



DIPARTIMENTO DI SCIENZE PURE E APPLICATE
CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DI BASE E APPLICAZIONI

Curriculum Scienza della complessità

CICLO XXXIII

**L'UMANESIMO MATEMATICO A URBINO
DAL TARDO RINASCIMENTO ALLA RIVOLUZIONE GALILEIANA**

Settore Scientifico Disciplinare: M-STO/05

RELATORE

Chiar.mo Prof. Vincenzo Fano

DOTTORANDO

Dott. Davide Pietrini

ANNO ACCADEMICO

2019/2020

INDICE

INTRODUZIONE	4
PRIMO CAPITOLO: LA CULTURA SCIENTIFICA NEL DUCATO DI URBINO	9
1.1 Per una definizione di “Umanesimo Matematico”	9
1.2 Le Matematiche. Incontri e scontri	13
1.3 Contesto storico. Urbino dei della Rovere	17
1.4 La riscoperta della matematica antica	17
SECONDO CAPITOLO: FEDERICO COMMANDINO	21
2.1 Vita di Federico Commandino	21
2.2 L’importanza del lavoro di Commandino	26
2.3 Commandino e Archimede	26
2.4 Commandino e Euclide	30
2.5 Lo <i>status</i> della matematica per Commandino	32
2.6 Metodo e stile argomentativo di Commandino	39
2.7 La nozione di <i>momentum</i>	41
2.8 Commandino tra filologia e matematica	44
2.9 Commandino e i suoi interlocutori	47
2.10 Commandino e le officine urbinati	50
TERZO CAPITOLO: GUIDOBALDO DEL MONTE	51
3.1 La vita di Guidobaldo del Monte	51
3.2 Guidobaldo e l’ambiente scientifico cinquecentesco	54
3.3 L’importanza della meccanica	56
3.4 <i>Mechanicorum Liber</i> : la meccanica applicata alle macchine	60
3.5 Gli avversari di Guidobaldo: Giordano, Cardano e Tartaglia	61
3.6 Dal <i>Mechanicorum Liber</i> a <i>Le Mechaniche</i> : l’autore Guidobaldo e il traduttore Pigafetta	65
3.7 Concetti chiave della meccanica di Guidobaldo: l’equilibrio indifferente, il piano inclinato e la rappresentazione delle macchine	68
3.7.1 Guidobaldo e la difesa dell’equilibrio indifferente	68
3.7.2 Il piano inclinato	75
3.7.3 La raffigurazione delle macchine: la rappresentazione geometrica incontra la rappresentazione tridimensionale	82
3.8 Le altre opere di Guidobaldo. Una breve rassegna	93

3.9	I lavori rimasti manoscritti _____	96
3.10	Guidobaldo e l'uso dello strumento per mostrare la correttezza di una teoria scientifica e per calcolare _____	97
3.11	Guidobaldo e Galilei. Gli esperimenti e l'affidabilità dello strumento _	100
QUARTO CAPITOLO: BERNARDINO BALDI _____		112
4.1	La formazione di Bernardino Baldi _____	112
4.2	Bernardino Baldi: poesia, prosa e storia per promuovere le <i>disciplinae mathematicae</i> _____	114
4.2.1	<i>Vite de' matematici</i> _____	115
4.3	Discipline matematiche ignobili e nobili. Il caso dell'architetto _____	119
4.3.1	<i>Automati</i> _____	123
4.3.2	<i>Excercitationes</i> _____	126
4.4	<i>Problemi meccanici</i> e pratiche argomentative da Aristotele a Galileo ____	127
4.4.1	<i>Quaestio</i> III e <i>Quaestio</i> XVI. Analogie e differenze nelle interpretazioni di Baldi e Galileo _____	145
QUINTO CAPITOLO: LE OFFICINE URBINATI E GLI STRUMENTI SCIENTIFICI NEL CINQUECENTO _____		153
SESTO CAPITOLO: MUZIO ODDI _____		165
6.1	La vita di Muzio Oddi. Formazione, liti e nomadismo _____	165
6.2	Oddi a Milano. La polemica con l'architetto Cogorani sul Forte di Sandoval _____	170
6.3	Oddi a Lucca. Il Consiglio Generale e la buona uscita _____	173
6.4	Le prefazioni nei trattati di Muzio Oddi. Un modo alternativo per raccontare la propria vita _____	179
6.4.1	<i>De gli Horologi solari nelle superficie piane</i> , 1614 _____	181
6.4.2	<i>Dello squadro</i> , 1625 _____	182
6.4.3	<i>Fabbrica et uso del compasso polimetro</i> , 1633 _____	183
6.4.4	La polemica con Raffaello Grimani da Orvieto _____	187
6.4.5	Risposta di Oddi ai dubbi di Grimani _____	192
6.4.6	<i>De gli Horologi solari</i> , 1638 _____	195
6.4.7	Oddi e l'accusa di plagio _____	195
6.5	Oddi tra sciagure, gnomonica, architettura _____	204
SETTIMO CAPITOLO: TRACCE DELLA SCUOLA COMMANDINIANA NELLA SCIENZA DI GALILEO, PROBLEMI E PROSPETTIVE DI RICERCA _____		205

7.1	Tracce della scuola commandiniana nella scienza di Galileo. Un riepilogo	205
7.2	Problemi aperti e prospettive di ricerca	218
APPENDICE		221
A1.	Un esempio di matematica pratica	221
A2.	Il lavoro editoriale di Commandino: una rassegna dei codici utilizzati	223
A3.	Commandino sulla via di Damasco. Il bagliore della matematica antica	227
A4.	Metodo e stile di Commandino	227
A5.	L'algebra negli <i>Elementi</i> di Commandino	232
A6.	La polemica a distanza con Giovanni Battista Benedetti	236
A7.	<i>Le Mechaniche</i> (1581): Guidobaldo e la difesa dell'equilibrio indifferente	243
A8.	Alcune riflessioni sui cambiamenti semantici dei termini <i>gravitas</i> , <i>aequeponderare</i> e <i>momentum</i>	250
A9.	Principio di compensazione	279
A10.	<i>Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro</i>	286
A11.	Alcune biografie dei matematici all'interno della <i>Cronica dei matematici</i> di Bernardino Baldi, pubblicate da Monticelli nel 1707 (Baldi, 1707)	288
A12.	Oddi e Leonardo. Incroci improbabili ma possibili	291
A13.	Ricostruzioni del modo di costruire un verticale da un orizzontale. Da Giulio Fuligatti a Muzio Oddi	297
BIBLIOGRAFIA		302

INTRODUZIONE

Gli sviluppi scientifici tra Quattrocento e Seicento attirano da molti anni l'attenzione degli studiosi per la vicinanza tematica e cronologica alla rivoluzione scientifica, canonicamente compresa tra la pubblicazione del *De Revolutionibus Orbium Caelestium* (1543) dell'astronomo polacco Niccolò Copernico e dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) di Isaac Newton. Con la speranza di ridurre al massimo eventuali fraintendimenti, riteniamo sia metodologicamente opportuno individuare immediatamente i confini del termine *scienza* nel periodo antecedente alla rivoluzione scientifica. A differenza delle scienze post rivoluzione scientifica, caratterizzate da una forte specializzazione e dall'autonomia dei saperi, nel Rinascimento il termine *scienza* era utilizzato come sinonimo di conoscenza (infatti, il vocabolo latino *scientia* può essere opportunamente tradotto con conoscenza) e per questo motivo tale termine necessitava di essere declinato¹. Noi limiteremo la nostra analisi alle *scientie mathematicae*, conosciute anche come *discipline mathematiche*. Con questa locuzione venivano indicate tutte quelle discipline che erano più o meno legate alle quattro arti del quadrivio (aritmetica, geometria, musica e astrologia), come ad esempio la meccanica, il fare di conto e l'architettura. Dal punto di vista dell'ambito di impiego, possiamo distinguere due tipologie di scienza matematica: una più qualitativa, prevalentemente *discussa* nelle università, e una scienza più quantitativa, *utilizzata* dai tecnici nella loro attività professionale. Abbiamo impiegato verbi diversi, *discutere* e *utilizzare*, per caratterizzare la scienza rinascimentale appartenente a due mondi culturalmente e socialmente distinti: la prima, insegnata in latino nelle università, era tendenzialmente improduttiva e fortemente legata alla tradizione matematica antica (Aristotele, Platone, Tolomeo, Euclide, ecc); mentre la seconda, tramandata in volgare, era adoperata dai tecnici per esigenze lavorative e spesso non era accompagnata da riflessioni teoriche. I tecnici ritenevano la prima inutile perché non adatta a risolvere problemi pratici. Non avendo le competenze lessicali per leggere i testi latini, essi non riuscivano ad apprezzare i principi geometrici contenuti nella letteratura matematica antica. Invece, i professori delle accademie ritenevano la scienza dei tecnici senza dignità, a causa del legame di quest'ultima con le attività produttive.

Lo strato sociale rappresentato dalla "categoria" dei tecnici, posto tra i colti che leggevano e scrivevano in latino e gli analfabeti, sarebbe stato definito da Carlo Maccagni come *strato culturale intermedio*. Esso si presentava come una realtà socio-culturale estremamente variegata ed eterogenea, caratterizzata da confini labili e fumosi. Architetti come Mariano di Jacopo detto il Taccola (1381-1453) e Francesco di Giorgio Martini (1439-1501), seppure leggessero e scrivessero in latino, possono essere collocati in questo strato intermedio. Tranne rare eccezioni, il mondo dei dotti e il mondo dei pratici non dialogarono tra loro fino al Cinquecento, quando Luca Pacioli (1447-1517) e Niccolò Tartaglia (1499-1557) sentirono l'esigenza di creare un ponte tra le due realtà. Pacioli, uomo colto e istruito formatosi inizialmente nelle scuole d'abaco e poi educato in ambiente ecclesiastico, scrisse trattati prevalentemente per coloro che non avevano la possibilità (sia linguistica che culturale) di accedere alle conoscenze più teoriche. Tartaglia, autodidatta e cresciuto in ambiente abachistico, pubblicò numerose opere, quasi tutte scritte in volgare, in cui traduceva e impiegava i contenuti della matematica antica.

Nel corso del nostro studio esamineremo la scienza del ducato di Urbino, in particolare le "discipline mathematiche" che si sono sviluppate tra il Tardo Rinascimento e la rivoluzione galileiana.

¹ Nell'ambiente rinascimentale dotta, il termine *scienza* era impiegato per indicare conoscenza in senso generico e pertanto tale termine necessitava di essere declinato. L'uomo di scienza era il filosofo e il gradino inferiore era occupato dall'astrologo (la professione di astrologo equivaleva a quella di matematico e a quella di medico). Accanto all'ambito dotta vi era l'ambito non dotta, il quale era costituito dai tecnici. Essi esercitavano le proprie conoscenze in base al settore culturale o professionale di appartenenza. Quest'ultimi utilizzavano le proprie conoscenze nei cantieri edili, nel commercio e nelle attività artigianali. Sul tema si veda per esempio Gamba, 2001b, p. 75.

Tra Quattrocento e Cinquecento il ducato di Urbino, grazie al mecenatismo di Federico da Montefeltro, fu meta di artisti, umanisti, matematici e architetti. Il simbolo della vitalità scientifica del ducato era rappresentato dal cantiere del Palazzo Ducale, in quanto espressione del connubio di arti figurative, arti meccaniche, architettura, ingegneria militare e matematiche. In questo substrato culturale affondò le radici la cosiddetta scuola matematica urbinata di Federico Commandino (1509-1575), un importante circolo di studio informale volto alla restaurazione dei testi della matematica antica da un punto di vista filologico e matematico. Gli allievi più importanti di Commandino furono Guidobaldo del Monte (1545-1607) e Bernardino Baldi (1553-1617). Ultimo esponente di questa illustre tradizione fu Muzio Oddi (1569-1639), allievo di Guidobaldo del Monte². Commandino, Guidobaldo e Oddi lavorarono a stretto contatto con le officine urbinati, famose per la costruzione di orologi e compassi. Vedremo che le conoscenze matematiche restaurate e applicate nel ducato di Urbino avrebbero influenzato la scienza di Galileo Galilei (1564-1642).

Il ruolo della scienza urbinata tardo rinascimentale, quale fase di raccordo tra la scienza classica e la scienza moderna, fu precedentemente segnalato da Raffaello Caverni nella *Storia del metodo sperimentale in Italia* (in particolare nel Libro IV), da Gino Loria nella *Storia delle Matematiche* e da Pierre Duhem nell'*Origine de la statique*³. Recentemente Paul Lawrence Rose, Enrico Gamba e Vico Montebelli hanno collocato in maniera inequivocabile da un punto di vista storico-culturale e documentale (P. L. Rose) e da un punto di vista tecnico-scientifico (E. Gamba e V. Montebelli) il contributo dato dalla scuola commandiniana, anche in relazione alla fase di passaggio verso la scienza moderna⁴.

Negli ultimi anni alcuni fondamentali e strategici convegni hanno fatto crescere notevolmente l'attenzione nei confronti dei prodotti scientifici della scuola matematica urbinata e del suo rapporto con la rivoluzione scientifica⁵. I convegni di studi per celebrare la nascita di Bernardino Baldi (2003)⁶, la morte di Guidobaldo del Monte (2007)⁷ e la nascita di Federico Commandino (2009)⁸ hanno immesso nuova linfa agli studi pionieristici e fondamentali di Rose, Gamba e Montebelli. Dal 2003, anno del convegno su Baldi, al 2013, anno della pubblicazione degli atti del convegno su Guidobaldo del Monte, sono stati pubblicati importanti studi che hanno permesso di calibrare meglio e di guardare con occhi nuovi l'apporto dato dal cosiddetto umanesimo matematico urbinata alla rivoluzione scientifica⁹. Al tempo stesso tali convegni hanno aperto le porte ad altre iniziative volte ad indagare gli altri protagonisti della scienza urbinata. Nel 2012 è stato organizzato un convegno di studi in occasione dei quattrocento anni dalla morte del pittore Federico Barocci per mettere in luce l'importanza dell'attività delle officine baroccesche e, più in generale, dei costruttori di strumenti scientifici nel ducato di Urbino¹⁰. Recentemente, nel 2019, è stato organizzato un convegno in occasione dei quattrocentocinquanta anni dalla nascita di Muzio Oddi, ultimo esponente della scuola matematica urbinata. Il convegno prevedeva una tavola rotonda conclusiva al fine di discutere i

² Il saggio bibliografico di Enrico Gamba (Gamba, 1988) rappresenta ancora un fondamentale punto di partenza per qualsiasi ricerca sull'ambiente scientifico urbinata quattrocentesco e cinquecentesco.

³ Caverni, 1891-1900; Loria, 1950; Duhem, 1905.

⁴ Rose, 1975, in particolare i capitoli 9, 10 e 11. Gamba e Montebelli, 1988.

⁵ Segnaliamo l'importante attività divulgativa del *Centro Interdipartimentale di Studi Urbino e la Prospettiva. L'umanesimo scientifico da Piero e Leonardo alla rivoluzione galileiana*, già *Centro Internazionale Urbino e la Prospettiva*, che da anni organizza eventi ed iniziative volte a promuovere e a valorizzare la cultura scientifica urbinata rinascimentale (<https://urbinoelaprospettiva.uniurb.it/>).

⁶ Convegno *Bernardino Baldi (1553-1617). Poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura*, Milano, 19-21 novembre 2003.

⁷ Convegno *400° anniversario della morte di Guidobaldo del Monte*, Urbino-Mombaroccio 15-16 giugno 2007.

⁸ Convegno *Federico Commandino (1509-1975): Umanesimo e Matematica nel Rinascimento Urbinate*, Urbino, 18-19 settembre 2009.

⁹ Per esempio su Commandino: Commandino, 2009. Su Guidobaldo: Becchi, Bertoloni Meli e Gamba, 2013; Frank, 2011; Frank, 2013a; Frank, 2013b; Renn e Damerow, 2010; Renn e Damerow, 2012; Van Dyck, 2006b. Su Baldi: Baldi, 2010; Becchi, 2004; Cerboni Baiardi, G., 2006; Crescimbeni, 2011; Ferraro, 2008; Nenci, 2005. Su Oddi: Oddi, Mu., 2005; Gamba, 2007; Marr, 2006.

¹⁰ Convegno: *I Barocci a Urbino tra arte e scienza*, Urbino 5-6 ottobre 2012.

problemi aperti e le prospettive di ricerca che contrassegnano l'attuale conoscenza dell'umanesimo matematico urbinato¹¹.

I numerosi lavori prodotti in questi ultimi anni hanno fortemente contribuito a mostrare il ruolo chiave di Commandino, Guidobaldo e Baldi nel substrato culturale preparatorio alla rivoluzione scientifica galileiana e a riqualificare, da un punto di vista tecnico-scientifico, il lavoro di Muzio Oddi. Tuttavia, queste ultime ricerche si presentano specialistiche e settoriali e non sempre tengono conto di una generale visione di insieme.

L'obiettivo del presente lavoro non è mostrare il ruolo della scienza urbinata nella complessa rivoluzione scientifica, ma si configura piuttosto come uno studio generale sull'ambiente scientifico urbinato¹². Tale lavoro nasce con l'intenzione di unire e armonizzare gli studi pubblicati in questi ultimi anni, in modo da delineare una panoramica generale e aggiornata dell'ambiente scientifico urbinato tardorinascimentale. Al tempo stesso, l'indagine e l'esame dei lavori sul tema ci hanno portato a riflettere nuovamente su questioni lasciate in sospeso. Nel corso della dissertazione evidenzieremo gli attuali problemi di ricerca e proporremo nuove linee d'indagine, anche con lo scopo di ridefinire la connessione tra la scuola commandiniana e l'impostazione metodologica di Galilei. Infatti, mostreremo che la cosiddetta scuola matematica di Federico Commandino, considerata giustamente una delle forme più rappresentative di umanesimo matematico, fu uno dei principali motori della cosiddetta rivoluzione galileiana.

Al fine di fornire una panoramica generale e al contempo un esame degli argomenti più specifici, la tesi è scritta su due livelli. Il primo livello è strutturato in modo da fornire una conoscenza biografica dei protagonisti della scuola matematica urbinata e dei loro contributi editoriali e scientifici più rilevanti. Il secondo livello, che si risolve nella parte dedicata alle appendici, è incentrato sull'analisi di tematiche di interesse più specialistico e ospita alcune ipotesi interpretative riguardanti argomenti circoscritti.

Il primo capitolo fornisce alcune indicazioni sulla scienza e sulla cultura del ducato di Urbino del Quattrocento, ambiente in cui l'umanesimo matematico cinquecentesco affonda le sue radici. In diverse occasioni Enrico Gamba ha ribadito l'urgenza di esaminare più in profondità, rispetto a quanto fatto, sia la forte asserzione dello storico dell'arte André Chastel, secondo cui nel Quattrocento «l'umanesimo matematico trova la propria sede più importante a Urbino»¹³, sia l'eventuale relazione tra l'umanesimo scientifico quattrocentesco e l'attività di traduzione e recupero filologico dei classici della matematica antica avvenuta nel Cinquecento.

Presso la corte quattrocentesca dei duchi Federico da Montefeltro (1444-1482) e Guidubaldo da Montefeltro (1482-1502 e 1504-1508) circolarono i più importanti architetti, pittori, matematici e filologi del tempo. Tale vivacità culturale era incoraggiata dal mecenatismo dei duchi e richiamata dal grande cantiere del Palazzo Ducale (1454-1500 circa). Se consideriamo l'Urbino feltresca come un centro culturale dotato di alcune fondamentali peculiarità che facilitavano gli incontri e lo sviluppo condiviso di saperi, come il dotto mecenatismo dei Montefeltro, la forza attrattiva del Palazzo Ducale, l'interesse applicativo del contenuto dei classici della matematica antica da parte dei protagonisti della corte ducale e le dimensioni contenute del ducato, possiamo accogliere senz'altro l'idea di Chastel, secondo la quale Urbino nel Quattrocento fosse sede dell'umanesimo matematico. Alla corte dei Montefeltro, in effetti, trovava spazio un'originale mescolanza che intrecciava «la matematica con le proporzioni della prospettiva, con la valenza simbolica delle figure geometriche, prime fra tutte i poliedri, con i rapporti spaziali tra volumi dell'architettura, con le armonie celesti dell'astronomia e

¹¹ Convegno: Muzio Oddi (1569-1639). *Tra ingegneria, matematica e strumentazione scientifica. Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita*, Urbino e Cesena, 17-18 settembre 2019.

¹² Questo studio ha ampiamente usufruito delle conversazioni con Enrico Gamba. Non posso che ringraziarlo enormemente per i suoi suggerimenti, consigli e spunti, i quali hanno costantemente guidato la mia ricerca.

¹³ Chastel, 1978, pp. 41 e 46-50. La prima edizione del libro di Chastel risale al 1965.

astrologia, allora inscindibilmente legate»¹⁴. Ciononostante, come vedremo in seguito, in quel periodo non avvenne una riscoperta in senso filologico della matematica antica. Per questo motivo sembra più opportuno definire invece *Umanesimo Matematico* quel periodo di restaurazione della matematica antica che contrassegnò l'Urbino del Cinquecento.

Negli anni che vanno dal 1508 al 1631 (ad eccezione della parentesi segnata dal breve dominio di Lorenzo di Piero de' Medici) il ducato di Urbino venne guidato dalla famiglia della Rovere. In questo periodo avvenne un vero e proprio recupero dei testi scientifici antichi grazie alla scuola matematica avviata da Federico Commandino. In seno alla scuola vennero tradotte in latino e in volgare, commentate e restaurate le principali opere di Archimede, Euclide, Tolomeo, Pappo, Apollonio, Sereno ed Erone¹⁵. Inoltre, in questi anni vennero scritti importanti trattati come il *Liber de centro gravitatis solidorum* (1565) di Commandino, il *Liber Mechanicorum* (1577) di Guidobaldo del Monte e *In Mechanica Aristotelis problemata exercitationes* (1621) di Baldi. Muzio Oddi fu l'ultimo interprete di questa illustre tradizione inaugurata da Commandino. Nonostante la sua vita fosse stata colma di avventure funeste e di episodi stravaganti (circostanze che l'hanno resa tanto interessante quanto le sue opere scientifiche), Oddi venne considerato dagli stessi contemporanei uno tra i più importanti architetti della sua generazione e tra i massimi esperti di matematica applicata.

Da un punto di vista dello studio dell'evoluzione del pensiero scientifico riteniamo che sia interessante individuare i collegamenti tra la scienza prodotta da una particolare epoca storica rispetto alla scienza prodotta dall'epoca precedente. Tuttavia, nel caso della scienza prodotta in contesto urbinato, non è agevole capire se ci fosse stata una continuità o una discontinuità tra i temi scientifici affrontati dai protagonisti del Quattrocento urbinato rispetto a quelli affrontati nel Cinquecento. Nonostante Commandino e i suoi allievi avessero inaugurato un nuovo filone di ricerca totalmente diverso dagli interessi dei predecessori e concentrato prevalentemente nel recupero della matematica antica, possiamo individuare alcuni elementi in comune tra le due epoche: 1) il mecenatismo mediante il quale i della Rovere ambivano al raggiungimento del prestigio e del potere (militare e culturale) dei predecessori e 2) la consapevolezza da parte dei principali protagonisti delle due generazioni che la propria attività "editoriale" e scientifica stesse segnando un'epoca. Dunque, anticipando la parte finale del primo capitolo, possiamo ritenere che la discontinuità intravista dagli studiosi sia piuttosto una diversità di interessi scientifici.

Il secondo capitolo riguarda Federico Commandino, traduttore, matematico e iniziatore della cosiddetta scuola matematica urbinata. Dopo aver ricostruito la sua biografia e il processo di restaurazione de *Sui corpi galleggianti* di Archimede e degli *Elementi* di Euclide, analizziamo l'importanza che Commandino attribuisce alla matematica. Terminano il capitolo alcune riflessioni sulle scelte terminologiche e sullo stile argomentativo che si cela tra le righe delle dimostrazioni geometriche.

Il terzo capitolo è incentrato sulla figura del matematico Guidobaldo del Monte. Anche in questo caso l'*incipit* del capitolo è dedicato alla biografia del pesarese. Segue poi la presentazione delle più importanti caratteristiche della sua meccanica e del *Mechanicorum Liber*. Conclude il capitolo un paragrafo in cui viene spiegato il rapporto scientifico tra Guidobaldo e il suo allievo e interlocutore Galileo.

Il quarto capitolo ha come protagonista il poliedrico Bernardino Baldi. Egli fu abate, storico, traduttore ed esperto di meccanica e di architettura. La breve nota biografica iniziale ha sempre la funzione di introdurre il personaggio oggetto del capitolo. Esaminiamo, quindi, una parte della sua produzione letteraria, in particolare focalizziamo la nostra attenzione sulla letteratura scientifica prodotta dall'urbinato. L'ultimo paragrafo è dedicato a un confronto degli stili argomentativi utilizzati da Baldi, Niccolò Tartaglia (1499-1557), Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) e Galileo Galilei

¹⁴ Una breve descrizione del periodo storico oggetto di questo lavoro è contenuta nella pagina web *La scienza ad Urbino* del sito del *Centro Interdipartimentale di Studi Urbino e la Prospettiva*: <https://urbinoelaprospettiva.uniurb.it/la-scienza-ad-urbino-2/>.

¹⁵ Sulla riscoperta di Archimede segnaliamo la rappresentazione teatrale dal titolo *Sulle tracce di Archimede. Viaggio nella Biblioteca Malatestiana* curata da Gabriele Marchesini, ora disponibile in formato libro e DVD (Marchesini, 2015).

(1564-1642) per commentare i *Problemi meccanici* di Aristotele. Inoltre, rileviamo che il commentario di Baldi contiene evidenti tracce di modernità sia dal punto di vista dello stile letterario sia dal punto di vista dei contenuti.

Nel capitolo sulle officine urbinati diamo risalto alla componente tecnica fortemente e diffusamente presente nel ducato di Urbino. In questa parte mostriamo l'importanza della collaborazione delle officine di Simone Barocci (1525-1608) e di Lorenzo Vagnarelli (1584-1675) con i protagonisti della scuola commandiniana.

Il capitolo sesto è dedicato all'architetto Muzio Oddi, la cui vita è profondamente intrecciata con la sua produzione scientifica e tecnica. La parte centrale del capitolo è dedicata ai suoi trattati, i quali ci permettono di indagare la sua attività di esperto di orologi solari. Inoltre, nel corso del capitolo notiamo che tutta la sua attività scientifica e molte delle sue polemiche riguardarono la necessità dell'uso delle dimostrazioni matematiche nelle professioni; tale approccio metodologico inserisce di fatto Oddi nella rivoluzione scientifica che al tempo era già in atto.

Il capitolo conclusivo si apre con una digressione sulle tracce della scuola matematica urbinata nella scienza di Galileo. La parte centrale è dedicata alle novità prodotte dall'ambiente urbinato tardorinascimentale in rapporto alla scienza della propria epoca. Chiude il capitolo conclusivo un paragrafo sui problemi aperti e sulle prospettive di ricerca.

Termina il lavoro una parte denominata Appendice, in cui esaminiamo temi più specifici e proponiamo ipotesi interpretative in merito ad alcune questioni storiografiche e scientifiche che meriterebbero di essere maggiormente studiate.

Concludo questa nota introduttiva esprimendo un sentito ringraziamento a Vincenzo Fano, Enrico Gamba, Pierluigi Graziani, Gino Tarozzi e Matteo Valleriani, i cui suggerimenti e commenti mi hanno costantemente accompagnato in questi tre anni. Il mio debito nei loro confronti è enorme. Ringrazio inoltre Mario Alai, Antonio Becchi e Flavia Marcacci, con cui ho condiviso stimolanti e proficue conversazioni e senza le quali questo studio sarebbe stato senza dubbio più povero. Ringrazio i docenti, gli assegnisti di ricerca, i dottorandi e gli ormai dottori di ricerca del Dipartimento di Scienze Pure e Applicate dell'Università di Urbino, in particolare Annamaria Amura, Stefano Calboli, Enrico Cinti, Alberto Corti, Antonella Foligno, Margherita Melani, Stefano Riffelli, Marco Sanchioni, Mirko Tagliaferri e Sara Tagliagamba, i quali mi hanno permesso di diversificare i miei studi e di entrare in contatto con diversi settori di ricerca. Ringrazio il gruppo del *Centro Interdipartimentale di Studi Urbino e la Prospettiva*, in particolare il Direttore Laerte Sorini, per avermi coinvolto direttamente nelle iniziative sull'umanesimo matematico urbinato. Inoltre, ringrazio Federico Marcucci, responsabile del Fondo Antico della Biblioteca dell'Università di Urbino, il personale della Biblioteca Oliveriana di Pesaro e lo staff del Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte di Berlino per la loro enorme disponibilità e imparagonabile competenza. Infine, ringrazio i miei genitori, i quali hanno incoraggiato continuamente i miei studi, Serena e Martina per aver pazientemente letto (e migliorato) molte parti di questo lavoro e per aver condiviso con me questi tre anni di ricerca.

PRIMO CAPITOLO: LA CULTURA SCIENTIFICA NEL DUCATO DI URBINO

1.1 Per una definizione di “Umanesimo Matematico”

Lo storico dell'arte André Chastel nel *Renaissance méridionale, 1460-1500*¹⁶, importante opera pubblicata nel 1965 in cui vengono descritte l'arte e la cultura del Rinascimento italiano, affermava che l'umanesimo matematico aveva avuto la propria sede più importante nell'Urbino quattrocentesco¹⁷. Una decina di anni dopo gli studiosi Paul Lawrence Rose¹⁸, Enrico Gamba e Vico Montebelli¹⁹ avrebbero portato contributi tali da rivelare tutta la problematicità della sua asserzione e la necessità di attribuire piuttosto l'etichetta di umanesimo matematico all'Urbino del Cinquecento. Tuttavia, se per “umanesimo matematico” intendiamo la combinazione *dell'interesse per le matematiche con l'assimilazione della cultura classica*, finalizzata all'emancipazione dell'uomo e all'affermazione della sua dignità, allora l'asserzione dello storico francese coglie nel segno. Infatti, in quel periodo, grazie in particolare al mecenatismo culturale dei Montefeltro (Federico da Montefeltro, duca dal 1444 al 1482, e Guidubaldo da Montefeltro, duca dal 1482 al 1502 e dal 1503 al 1508²⁰) e alla costruzione del Palazzo Ducale, la corte del ducato di Urbino²¹ era una delle corti più dinamiche e vitali dell'epoca e meta di curiosi, artisti, tecnici, architetti e traduttori provenienti da ogni luogo²². Non era un caso che Baldassarre Castiglione avesse scelto la corte dei Montefeltro

¹⁶ Chastel, 1978.

¹⁷ Oltre all'umanesimo matematico, Chastel individuava altri due umanesimi: quello epigrafico e archeologico, che aveva avuto il suo centro principale a Padova, e l'umanesimo filologico e filosofico, localizzato a Firenze (in Chastel, 1978, p. 41).

¹⁸ Rose, 1975.

¹⁹ Gamba e Montebelli, 1988.

²⁰ Guidubaldo è protagonista del famoso smantellamento di fortezze costruite dal padre (ad eccezione di San Leo e Maiolo). Tale distruzione di roccaforti sarà elogiata da Machiavelli nel *Principe* e nei *Discorsi sopra la prima Deca di Tito Livio*: «È suta consuetudine de' principi, per potere tenere più securamente lo stato loro, edificare fortezze, che sieno la briglia e il freno di quelli che disegnassino fare loro contro, et avere uno refugio sicuro da uno subito impeto. Io laudo questo modo, perché elli è usitato ab antiquo: non di manco messer Niccolò Vitelli, ne' tempi nostri, si è visto disfare dua fortezze in Città di Castello, per tenere quello stato. Guido Ubaldo, duca di Urbino, ritornato nella sua dominazione, donde da Cesare Borgia era suto cacciato, ruinò funditus tutte le fortezze di quella provincia, e iudicò senza quelle più difficilmente riperdere quello stato», *Principe*, XX, e «Guidubaldo duca di Urbino, figliuolo di Federigo, che fu ne' suoi tempi tanto stimato capitano, sendo cacciato da Cesare Borgia, figliuolo di papa Alessandro VI, dello stato; come dipoi, per uno accidente nato, vi ritornò, fece rovinare tutte le fortezze che erano in quella provincia, giudicandole dannose. Perché, sendo quello amato dagli uomini, per rispetto di loro non le voleva; e, per conto de' nimici, vedeva non le potere difendere, avendo quelle bisogno d'uno esercito in campagna, che le difendesse: talché si volse a rovinarle», *Discorsi*, II, XXIV. Sul tema si veda Falcioni, 2014. Sui duchi di Urbino si vedano Dennistoun, 1851, e Solari, 1973.

²¹ Il ducato di Urbino occupava all'incirca l'attuale provincia di Pesaro-Urbino, una parte della provincia di Ancona, la parte sud dell'Emilia-Romagna e una parte dell'Umbria. Confinava con la Stato della Chiesa, la Repubblica di Firenze e altri piccoli comuni del centro Italia. Urbino è stata la capitale del ducato fino al 1523, quando Francesco Maria I della Rovere decise di spostarla a Pesaro, parte del territorio ducale dal 1522. L'annessione di Pesaro, con le sue officine e la sua cultura astronomica, diversificò l'ambiente culturale e scientifico urbinato, il quale era caratterizzato piuttosto da un'interpretazione più pratica della matematica. Sul tema rimandiamo a Gamba, 1992.

²² Tra gli umanisti e filologi che giunsero a Urbino segnaliamo il poeta e astrologo napoletano Giovanni Pontano (1429-1503), il quale, secondo l'urbinate Bernardino Baldi, dedica un commentario a Federico da Montefeltro («scrisse egli un diffuso commentario sopra i *Frutti*, o *Centiloquio*, di Tolomeo, e donò la sua fatica a Federico Duca d'Urbino, col quale et in Roma et in Napoli con l'occasione de' servitij de' suoi principi haveva contratta grandissima domestichezza; essendo quel duca stato non solo grandissimo ne Farmi e ne la guerra, ma dottissimo e grandissimo amatore de' virtuosi», Baldi, 1998, *Vita di G. Gioviano Pontano*, p. 323); il filologo Niccolò Perotti (1430-1480), che aveva dedicato a Federico da Montefeltro la traduzione del pseudoaristotelico *De virtutibus et vitiis* (opera pubblicata nel 1504 a Fano) e il *Cornucopiae* (*Urb. lat.*, 301), un enciclopedico commento a Marziale (su Perotti si confronti D'Alessandro, 2015, e sugli interessi scientifici di Perotti si veda Napolitani e Giorello, 2012, p. 79); l'umanista Giovanni Sulpizio da Veroli (?), che curò l'*editio princeps* del *De architectura* di Vitruvio (1486); il libraio Vespasiano da Bisticci, il quale ebbe l'incarico di formare la biblioteca del Palazzo Ducale di Urbino. Per un efficace studio sul rapporto tra la corte feltresca, artisti e

come lo sfondo in cui ambientare la vita del cortigiano presentata nella sua opera *Libro del Cortegiano*²³. Tra i numerosi protagonisti del tempo che frequentarono la corte urbinata ricordiamo il cardinale e umanista Bessarione²⁴, il pittore matematico Piero della Francesca²⁵, l'architetto dalmata Luciano Laurana²⁶, l'architetto senese Francesco di Giorgio Martini²⁷, il maestro d'abaco Luca Pacioli²⁸, l'astrologo-matematico Paolo da Middelburg²⁹, il matematico Iacopo da Speyer³⁰, lo scultore Ambrogio Barocci³¹, il genio eclettico Leonardo da Vinci³² e l'architetto e umanista Leon Battista Alberti³³. Il ducato di Urbino diede anche i natali al pittore Raffaello Sanzio (1483-1520) e all'architetto Donato Bramante (1444-1514). Insomma, Urbino, a quel tempo, era un luogo in cui arte, "scienza", ingegno e cultura convivevano.

I protagonisti della vita cortigiana urbinata intrapresero anche una parziale riscoperta, seppure poco strutturata, dei testi e della matematica antica. Tuttavia, anziché cimentarsi in una vera e propria traduzione dei testi, essi preferirono fagocitare i contenuti per utilizzarli nelle proprie opere editoriali

architetti rimandiamo a Ciardi Duprè Dal Poggetto e Dal Poggetto, 1983. Per una panoramica sugli umanisti alla corte di Urbino rimandiamo a Bianca, 2004. Sulla formazione degli artisti nel Rinascimento segnaliamo Gamba, 2009b. Sulla formazione degli architetti si vedano Gamba, 2008, e Galluzzi, 2001. Per una generale descrizione della figura di artista-ingegnere nel Cinquecento rimandiamo a Valleriani, 2010, pp. 7-12.

²³ Castiglione, 1528.

²⁴ Bessarione (1403-1472) passò a Urbino sicuramente nel 1472 (Labowski, 1967).

²⁵ Piero della Francesca (1416?-1492) soggiornò a Urbino tra il 1469 e il 1472. Tra le sue opere ricordiamo il *De prospectiva pingendi* e il *De quinque corporibus regularibus*. Per la vita di Piero della Francesca si confronti Vasari, 1550. Su Piero della Francesca matematico si veda Gamba e Montebelli, 1996.

²⁶ Luciano Laurana (1420-1479) dal 1465 è architetto del Palazzo Ducale di Urbino.

²⁷ Francesco di Giorgio Martini (1439-1501) soggiornò stabilmente a Urbino dal 1475 al 1482, dove terminò il suo *Trattato di architettura civile e militare*. A Urbino Francesco di Giorgio Martini conobbe probabilmente Leon Battista Alberti. Francesco di Giorgio tradusse in volgare buona parte del *De architettura* di Vitruvio, tale lavoro avrebbe permesso l'accesso ai precetti vitruviani a un altro grande esponente dello strato culturale intermedio, Leonardo da Vinci. Su Francesco di Giorgio Martini si veda per esempio Gille, 1972.

²⁸ Luca Pacioli (1445?-1517) dedicò a Guidubaldo da Montefeltro la *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita* (1494). Pacioli fu uno dei più importanti maestri d'abaco del suo tempo. Egli promosse l'importanza sociale, economica e culturale delle discipline matematiche. La *Summa* unisce tradizioni algebriche, economiche e geometriche. Inoltre, segnaliamo la vivace attività di studio e di divulgazione portata avanti dal Centro Studi "Mario Pancrazi" sulla figura di Pacioli (<https://www.centrostudimariopancrazi.it/>).

²⁹ Paolo da Middelburg (1446-1534) fu astrologo e medico di corte nel 1480 e vescovo di Fossombrone nel 1494. Su Paolo da Middelburg si vedano Gamba, 2011, e Montebelli, 2015.

³⁰ Iacopo da Speyer (Giacoma da Spira), corrispondente di Regiomontano, fu amico di Battista Commandino e soggiornò spesso a Urbino. Si confronti per esempio Gamba, 2011.

³¹ Ambrogio fu capomastro del cantiere del Palazzo Ducale di Urbino dal 1472 al 1480 circa. Su Ambrogio Barocci si vedano Bentivoglio, 1983, e Ceriana, 2004.

³² Leonardo da Vinci giunse a Urbino nel 1502 al seguito di Cesare Borgia per studiare la pianta del Palazzo Ducale. Senza strumenti particolari, ma solo con l'ausilio di una bussola e del suo inseparabile taccuino, il genio toscano misurò la pianta del palazzo con estrema precisione. Al tempo Leonardo era principalmente conosciuto per le sue doti artistiche. Per questo motivo Pacioli dovette avergli assegnato l'incarico di disegnare i poliedri nel *Divina Proportione*. Lo stesso Baldi scrive: «Ne l'abbellire quest'opera pose Luca cotanta diligenza, che procurò che Leonardo da Vinci, pittore eccellentissimo de' suoi tempi, disegnasse et intagliasse le sue figure, affinché non si havesse da desiderare in loro l'artificio de la prospettiva di cui Leonardo era oltramodo pratico. Erano di maniera Leonardo et il nostro Luca domestici fra loro, che sempre si trovavano insieme, onde il frate suole nominarlo Leonardo suo», Baldi, 1998, *Vita di Fra' Luca dal Borgo S. Sepolcro*, p. 342. Su Leonardo si veda per esempio Gille, 1972. Sono disponibili online numerose banche dati che permettono di avere accesso ai manoscritti di Leonardo e alla sua biblioteca, come ad esempio *e-Leo* <https://www.leonardodigitale.com/>, curato dalla Biblioteca Leonardiana di Vinci, e *Leonardo e i suoi libri* (<https://mostre.museogalileo.it/bibliotecageniouniversale/index.php/it/>), a cura di Carlo Vecce e sponsorizzato dal Museo Galileo di Firenze.

³³ Non è ancora chiaro il periodo in cui Leon Battista Alberti soggiornò a Urbino. Tra gli altri ricordiamo anche il pittore Giusto di Gand, il pittore Paolo Uccello (su Uccello si veda per esempio Emmer, 2018) e il medico astrologo Camillo Leonardi (Gamba, 2001b).

e architettoniche³⁴. Per esempio Luca Pacioli inserì la traduzione volgare degli *Elementi* di Euclide insieme ai contenuti dei trattati archimedei *Sphaera et Cylindro* e *Circuli dimensio* nella *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita* (1494), *Distinctio Prima*, Cap. Primum, *Tractatus Geometrie, Pars Secunda*³⁵. Francesco di Giorgio Martini attinse dal *De architectura* di Vitruvio per scrivere il suo *Trattato di architettura civile e militare*. Piero della Francesca usò i *Conoidi e sferoidi* di Archimede per il suo *De quinque corporibus regularibus* (XV secolo) rimasto manoscritto³⁶. Anche le pagine degli scritti di Leonardo da Vinci usufruirono delle letture riguardanti la meccanica di Archimede, la geometria di Euclide e l'architettura di Vitruvio³⁷.

La grande vivacità e la dinamicità culturale che contrassegnarono il ducato di Urbino del Quattrocento furono favorite dal mecenatismo di Federico da Montefeltro. Federico non fu solo un condottiero, ma anche un uomo sensibile alla cultura umanistica e matematica e alle innovazioni tecnologiche in ambito civile e militare. Non è un caso che nel 1475 Federico avesse commissionato a Pedro Berruguete³⁸ un ritratto in cui veniva dipinto, insieme al figlio Guidobaldo, con le armi deposte e assorto nella lettura di un codice antico, ostentando così il suo potere e mostrando il suo rispetto per le lettere antiche (Fig. 1), quest'ultimo probabilmente maturato grazie all'educazione impartita dal suo maestro d'infanzia Vittorino da Feltre³⁹.



Fig. 1 Pedro Berruguete, *Ritratto di Federico da Montefeltro col figlio Guidobaldo*, Palazzo Ducale, Urbino, Galleria Nazionale delle Marche, <https://www.movio.beniculturali.it/>.

Altro elemento che dimostra l'importanza della cultura per il duca urbinato è la presenza di un'imponente biblioteca all'interno del Palazzo, la quale nacque quasi in concomitanza con la messa

³⁴ Solamente alcuni (come ad esempio Regiomontano, Iacopo da San Cassiano, Giorgio Valla e Bartolomeo Zamberti), grazie all'appoggio di mecenati disposti ad usare la cultura come strumento di propaganda, di potere e di prestigio, avviarono un preciso programma di recupero della scienza antica. Pertanto, possiamo dire che all'epoca la *restaurazione filologica* della matematica antica è da collocare piuttosto presso le corti veneziane, toscane e romane, e non a Urbino. Per maggiori informazioni sul tema rimandiamo a Rose, 1975, pp. 26-89.

³⁵ Nel 1509 Luca Pacioli pubblicò una versione latina degli *Elementi* di Euclide. Sul tema si veda per esempio Ciocchi, 2015.

³⁶ Gamba, Montebelli e Piccinetti, 2006; Dominique, 2016.

³⁷ Si veda per esempio Napolitani, 2010.

³⁸ Attualmente il quadro è stato attribuito a Berreguete, inizialmente si pensava fosse di Giusto di Gand.

³⁹ Federico da Montefeltro aveva combattuto per risollevare l'economia del ducato. Gran parte del suo successo avvenne grazie sia alla sua abilità militare sia al rapporto di fiducia che intercorreva tra le milizie e Federico. Alla base del loro patto militare vi erano tre peculiarità fondamentali che i soldati gli riconoscevano: fedeltà, onore e capacità militare. Federico utilizzò i soldi guadagnati per risollevare le casse del ducato e per investirli nell'ammodernamento del territorio e delle vie di comunicazione, in quanto, vivendo solo di agricoltura e artigianato, il ducato necessitava di vie commerciali. Dal punto di vista politico Federico cercò di essere giusto e imparziale secondo i precetti legislativi vigenti. Il suo ultimo atto fu la costruzione del Palazzo Ducale. Sulla famiglia Montefeltro si vedano Tommasoli, 1978; De La Sizeranne, 1979; Dal poggetto, P., 1982a; Zampetti, 1982; Maltese, 1982; Dal Poggetto, 1982b.

in opera dell'edificio. È stato stimato che alla morte di Federico la biblioteca contenesse oltre 900 volumi e per questo motivo gli stessi contemporanei la ritenevano una delle più importanti dell'epoca⁴⁰. Allo stesso modo è significativa la conformazione dello studiolo, luogo in cui pullulano giochi prospettici, rappresentazioni di strumenti scientifici e riferimenti a testi dell'antichità⁴¹. Inoltre, Federico aveva voluto che sulle pareti dello studiolo fossero rappresentati tutti i suoi maestri, sia reali che ideali (Fig. 2).



Fig. 2 Studiolo del Palazzo Ducale, Urbino,
Galleria Nazionale delle Marche,
<http://www.gallerianazionalemarche.it/collezioni-gnm/lo-studiolo/>.

Federico da Montefeltro, abbiamo detto, fu condottiero militare e astuto stratega, ma, al tempo stesso, ebbe anche profonda sensibilità per la cultura umanistica e per la tradizione scientifica antica. Solo grazie a un duca con tali caratteristiche Urbino poteva diventare luogo di riferimento per i maggiori intellettuali dell'epoca e assurgere a sede dell'umanesimo matematico.

A quel tempo la facciata esterna del Palazzo Ducale era ornata di 72 bassorilievi in pietra, le cosiddette formelle, raffiguranti congegni meccanici e strumenti bellici (Fig. 3 e Fig. 4). Le formelle, volute da Federico, erano posizionate alla base del Palazzo Ducale ed erano, per la loro bellezza e per la loro posizione, la prima cosa che catturava l'attenzione del passante. Esse, un misto di arte e ingegneria civile e militare, rappresentavano non solo uno dei primi esempi di comunicazione del potere militare e "tecnologico" mediante rappresentazioni scultoree, ma agivano anche come strumento di divulgazione scientifica⁴².

La capillarità della cultura tecnico-scientifica nella quotidianità quattrocentesca urbinata mostra l'importanza sociale della divulgazione e del recupero delle conoscenze scientifiche dell'antichità al tempo dei Montefeltro. Secondo questo punto di vista, l'asserzione di Chastel coglie nel segno e racchiude in poche parole la complessità e la dinamicità scientifica dell'ambiente urbinato quattrocentesco.



Fig. 3 Formella, Palazzo Ducale, Urbino,
Galleria Nazionale delle Marche,
<http://www.culturaitalia.it/>.

⁴⁰ L'elenco dei libri che è stato compilato da Cosimo Stornajolo ed è accessibile al link:
https://ia800506.us.archive.org/27/items/codicesurbinates01bibluoft/Codices_vrbinates_latini.pdf.

⁴¹ Mantovani e Serafini, 2008.

⁴² Bernini Pezzini, 1985; Gamba, 2008, p. 17; Molari e Molari, 2006a; Molari e Molari, 2006b.



Fig. 4 Formella, Palazzo Ducale, Urbino,
Galleria Nazionale delle Marche,
<http://www.culturaitalia.it/>.

Invece, se con la locuzione “umanesimo matematico” intendessimo il *recupero filologico* dei testi di *matematica antica*, allora sarebbe più opportuno individuare la sede dell’umanesimo matematico nell’Urbino del Cinquecento. In quegli anni, infatti, presso la corte dei della Rovere, Federico Commandino intraprese un impegnativo progetto scientifico-editoriale che avrebbe avuto come conseguenza il recupero di gran parte della letteratura matematica antica. Nel tempo, attorno a Commandino, si radunarono numerosi allievi che avrebbero poi proseguito il recupero dei testi antichi anche dopo la morte del loro maestro. Tra questi è opportuno citare almeno Guidobaldo del Monte e Bernardino Baldi. L’ultimo esponente di quella che sarà chiamata scuola matematica urbinata è Muzio Oddi, allievo di Guidobaldo del Monte.

1.2 Le Matematiche. Incontri e scontri

Nel Rinascimento la matematica non era una disciplina facilmente inquadrabile⁴³. Essa coincideva con le arti del quadrivio e si estendeva fino alla prospettiva, alla cartografia, all’architettura e alla scienza dei pesi⁴⁴. Proprio per la natura eterogenea della matematica, possiamo ritenere improprio parlare di matematica o matematiche e, sulla scorta delle definizioni date dagli stessi protagonisti dell’epoca, riteniamo sia più opportuno parlare di «Discipline Matematiche». Il matematico bresciano Niccolò Fontana, detto Tartaglia, per esempio, differenziava le pure matematiche (o speculative), ossia geometria e aritmetica, dalle matematiche miste (o subalterne), vale a dire da quelle matematiche che, sebbene fossero costituite da una parte più speculativa, erano generalmente impiegate in ambito pratico (per esempio nelle attività di conversione delle monete, nelle costruzioni architettoniche, nel calcolo delle superfici, ecc.). Solitamente la matematica pura, intellettuale e speculativa, era insegnata all’università (specialmente nella Facoltà di medicina). Tale matematica, considerata dotta, riguardava principalmente le arti liberali del quadrivio: musica, geometria, aritmetica e astronomia. L’astronomia coincideva con l’astrologia ed era principalmente insegnata in connessione con la pratica medica, poiché quest’ultima si basava sui calcoli astrologici⁴⁵. Verso la

⁴³ Seppure in maniera molto approssimativa, possiamo definire la nostra matematica come «insieme delle scienze che studiano in modo ipotetico-deduttivo entità astratte come i numeri e le misure», Enciclopedia Treccani. Sul tema si veda Vailati, 1911e.

⁴⁴ Tartaglia, 1543a, e Tartaglia, 1537.

⁴⁵ Le università di Parigi e Oxford erano famose per gli insegnamenti di teologia, mentre le università italiane erano apprezzate per i corsi di legge e medicina. Il corso di medicina aveva una durata di 5 anni: i primi 2 erano dedicati alla logica e alla filosofia naturale, gli altri 3 alla medicina teorica e pratica. In questi ambiti, la matematica, in particolare gli *Elementi* di Euclide, la *Sphaera* di Sacrobosco e Tolomeo, era insegnata in funzione degli studi medici. Tuttavia, la matematica non si configurava sempre come una matematica mistico-astrologica: per esempio la matematica dell’Università di Pisa era più astrologica, mentre a Padova era più tecnica (Crosland, 1975). Sul tema si vedano Pepe, 1998; Brizzi, 2001; Gatto, 2008. Tra gli astronomi più importanti del ducato di Urbino ricordiamo i pesaresi Camillo Leonardi e Collenuccio (Gamba, 2001b, pp. 78-79).

fine del '400 la matematica dotta iniziò ad essere accompagnata dall'insegnamento delle applicazioni pratiche. Un tale rinnovamento era stato richiesto anche dal matematico Regiomontano, il quale durante l'orazione inaugurale del ciclo di letture all'Università di Padova (primavera del 1464) aveva affrontato l'importanza della storia e dell'utilità delle arti matematiche per capire la filosofia naturale⁴⁶. Non è un caso che Regiomontano avesse proferito tale consiglio. Proprio in quegli anni il matematico tedesco stava portando avanti un'attività di ampio respiro di riscoperta dei codici archimedei.

Oltre alla dotta, esisteva, abbiamo detto, una matematica subalterna, la quale era prevalentemente utilizzata in ambito tecnico. La massima espressione della matematica pratica è rappresentata da quella matematica insegnata nelle scuole d'abaco e nelle botteghe. In questi ambienti la matematica era impiegata principalmente per risolvere problemi pratici ed era parte fondamentale nell'istruzione dei futuri artigiani, mercanti e artisti⁴⁷. A quel tempo la formazione degli artisti, artigiani e mercanti passava solitamente attraverso tre stadi: 1) fino ai 10 anni di età (circa) l'allievo frequentava la scuola elementare per imparare a leggere e a scrivere; 2) poi si iscriveva alla scuola d'abaco per imparare a far di conto, la quale era tendenzialmente a pagamento e durava circa 2-3 anni a seconda delle abilità e della capacità economica dello studente⁴⁸; e, infine, 3) l'apprendistato, che poteva durare dai tre ai sei anni, presso una bottega di un pittore, di un artigiano, di un mercante o al seguito di un bravo architetto militare. Terminata la formazione, il novello artista o il mercante in erba avrebbero potuto intraprendere una propria carriera. Mentre l'aspirante architetto sarebbe potuto diventare tale per meriti dimostrati o per meriti presunti o per promozione sul campo o grazie a un ente che gli conferiva l'incarico di architetto. Questi artisti, architetti, mercanti, che non avevano avuto una preparazione universitaria ma una preparazione incentrata nell'uso della matematica, avrebbero alimentato, grazie alla loro intraprendenza, lo sviluppo delle scienze tecniche⁴⁹.

Il metodo d'insegnamento in ambiente abachistico era basato essenzialmente sulla memorizzazione delle regole da utilizzare per risolvere casi pratici e specifici. La matematica che veniva insegnata era tratta principalmente dal *Liber abaci* di Pisano. Le scuole d'abaco favorirono anche una discreta diffusione in volgare dei primi libri degli *Elementi* di Euclide, soprattutto di quelli da cui si potevano estrapolare esempi di interesse didattico e pratico⁵⁰. Se la matematica dotta era nobile, intellettuale (profondamente connessa alle filosofie di Platone e Aristotele), insegnata in latino e appresa dai testi scritti, la matematica delle scuole d'abaco era intimamente legata al suo uso pratico, insegnata in volgare e appresa ascoltando e rubando con gli occhi gli insegnamenti del maestro.

Da un punto di vista sociale e culturale le due "categorie" spesso non dialogavano tra loro. Da una parte, i dotti tendevano a non riconoscere l'importanza dell'uso della matematica nelle attività professionali, accusando i pratici di avere di mira solo il guadagno, di contaminare la purezza della matematica stessa e di anteporre l'efficacia dell'esperienza alla validità della teoria matematica; dall'altra, i tecnici, che stavano diventando sempre più consapevoli sia del loro ruolo nella società sia dell'importanza della matematica per le attività pratiche. In più occasioni questi ultimi ribadirono il

⁴⁶ Byrne, 2006; Malpangotto, 2008.

⁴⁷ La matematica insegnata era prevalentemente algebra e il *Liber Abaci* era il testo di riferimento. Sul tema si confrontino Gamba, 1994b, Gamba e Montebelli, 1987, e Ulivi, 2008.

⁴⁸ La scuola d'abaco era una scelta alternativa alla scuola di grammatica, la quale preparava all'università. Tanti frequentavano la scuola di grammatica dopo aver frequentato la scuola d'abaco, come nel caso di Niccolò Machiavelli.

⁴⁹ Su questo argomento si vedano Gamba, 2008; Popplow e Renn, 2002; Gamba, 2009b. Sul tema si veda anche Rossi, 1988, capitolo *I meccanici, gli ingegneri, l'idea di progresso*, pp. 85-106.

⁵⁰ Dei quindici libri che tradizionalmente componevano gli *Elementi*, attualmente ad Euclide sono stati assegnati i primi tredici. Il quattordicesimo e il quindicesimo sono stati attribuiti rispettivamente a Ipsicle Alessandrino e a Isidoro di Mileto. Invece, nel Cinquecento vi erano diverse interpretazioni: alcuni pensavano che Euclide fosse l'autore di tutti i libri, altri ritenevano che fosse l'autore di alcuni e altri ancora che non fosse l'autore di nessuno. In ambiente abachistico, i teoremi di Euclide erano usati, per esempio, in agrimensura, per dirigere la deviazione del corso dei fiumi e per indirizzare le canalizzazioni. Sul tema si veda Appendice, A1.

valore dell'*habitus* pratico, per esempio nelle attività di architetto civile e militare, di stratega militare e di costruttore di strumenti scientifici⁵¹.

Lo storico Carlo Maccagni avrebbe definito questo dinamico livello culturale socialmente inferiore, rispetto a quello rappresentato dai professori e dagli accademici, come «strato culturale intermedio»⁵². Tale strato si posizionava a un livello intermedio tra gli analfabeti e i letterati, questi ultimi in grado di leggere e scrivere in latino e in greco. Lo strato culturale intermedio era costituito da mercanti, artisti, artigiani e architetti, cioè da quelle figure professionali dotate di grandi capacità tecnico-pratiche e che avevano avuto un'istruzione basata sulla frequentazione della scuola d'abaco, dove l'insegnamento avveniva in lingua volgare e mediante la cosiddetta scrittura mercantesca. Nel corso di queste lezioni il maestro non dimostrava o giustificava le sue procedure di calcolo, ma mostrava come usare specifiche regole matematiche per risolvere problemi reali. Dal canto loro, gli allievi ascoltavano e memorizzavano quello che il maestro diceva e rubavano con gli occhi quello che il mestro faceva (Fig. 5).

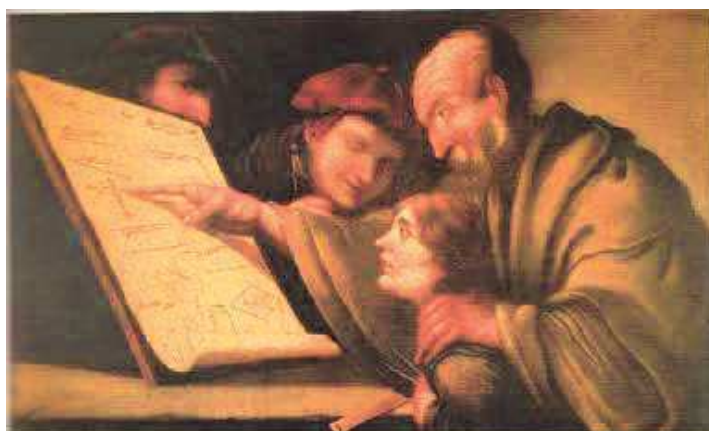


Fig. 5 Piero Vecchia (1603-1678), *Lezione di geometria in una scuola d'abaco*, in Gamba, 2009b.

Questi incontri e scontri produssero delle figure fondamentali come Luca Pacioli e Niccolò Tartaglia, i quali ebbero il grande merito di raccordare il mondo dei dotti, a cui apparteneva la conoscenza della matematica antica tramandata in greco e in latino, al mondo dei tecnici, più versati nell'uso delle matematiche e in grado di valorizzare massimamente il contenuto presente in testi che

⁵¹ Maffioli (Maffioli, 2002) racconta che nel caso di alcuni settori professionali si assistette a un conflitto tra matematici e pratici: «L'entrata di matematici e filosofi come Castelli e Cabeo all'interno del settore dell'idraulica produsse un avvicinamento di matematica e pratica e un nuovo conflitto tra matematici e pratici». Boyer, invece, non è dello stesso parere. Egli evidenzia che la tesi, per cui nel tardo Medioevo vi fosse una rivalità tra i matematici delle università e quelli delle scuole d'abaco, «sembra avere scarso fondamento», Boyer, 1976, p. 295. Probabilmente qualche attrito tra i due gruppi culturali doveva pur esserci, dal momento che i dotti, almeno fino al Quattrocento inoltrato, consideravano le attività pratiche di «serie b». Sui contrasti tra matematici e pratici si vedano anche Helbing, 2008, e Maffioli, 1998. Nel corso del tempo molti artisti-ingegneri iniziarono a scrivere testi con richiami ai modelli classici, Galluzzi, 1997, pp. 14-17, e Knobloch e Schneider, 2001. Diversamente Commandino accusava gli accademici di non apprezzare il valore delle matematiche: «Non posso far ch'io non mostri quanto mi turbi la sfacciata presunzione di certi, che si tengono Philosophi: percioche per qual cagione non debb'io più adirarmi, sentendo dir male delle Matematiche da coloro, debito de' quali sarebbe l'honorarle, et da difenderle, che da coloro i quali da' lacci di cupidigia di ricchezze sono strettamente legati?», Commandino, F., 1575b, «Prolegommi».

⁵² Maccagni, *Leggere, scrivere e disegnare la "scienza volgare" nel Rinascimento*, 1993, p. 646: «Riassumendo, lo strato culturale intermedio tra i dotti e gli analfabeti appare caratterizzato dalla capacità di esprimersi nelle forme del volgare parlato sia per mezzo della scrittura, individuata nella mercantesca, sia del disegno, e dal ricorso abituale al procedimento analogico che appare essere la conseguenza tanto del curriculum scolastico che dell'apprendistato». Sul tema anche Maccagni, 1981; Maccagni, 1996. Al cosiddetto «strato culturale intermedio» deve essere riferita anche la tradizione manualistica, la quale nel XV secolo ebbe un ruolo di rilievo nella diffusione delle conoscenze soprattutto in ambito abachistico.

erano per i loro colleghi linguisticamente inaccessibili⁵³. I primi anni del Cinquecento furono contrassegnati anche dalla riscoperta di importanti trattati che contribuirono ad avvicinare la cultura dotta alla cultura tecnica. Ad esempio, la riscoperta del trattato di meccanica *Quaestiones Mechanicae* (d'ora in poi *Problemi meccanici*), e la sua attribuzione ad Aristotele, produsse grande interesse da parte dei dotti nei confronti di un'importante disciplina matematica, la meccanica, allora diffusamente considerata scienza mista e criticata per lo stretto e congenito legame con la materia⁵⁴. Nel frattempo dall'Oriente arrivava la stampa a caratteri mobili, che non avrebbe lasciato la sua impronta solo su carta ma anche sulla circolazione delle idee e sulla cultura del tempo, riducendo la forbice tra i due mondi professionali tanto diversi e tanto lontani. Di lì a poco crebbero esponenzialmente il numero dei commenti e delle traduzioni dal greco al latino e dal latino al volgare da parte di professori universitari, che fossero umanisti o matematici, ma anche dagli afferenti al mondo dei pratici⁵⁵. La conseguenza sarebbe stata un diffuso cambio di prospettiva dei dotti nei confronti dell'esplicazione pratica della matematica; ciò avrebbe portato a un maggior coinvolgimento nel programma accademico delle cosiddette "discipline matematiche miste" e dei maestri d'abaco⁵⁶.

Queste caratteristiche della cultura quattrocentesca - il progressivo avvicinamento del mondo dei dotti al mondo dei pratici (e viceversa), l'emancipazione dei tecnici, la consapevolezza dell'utilità della matematica, l'embrionale riscoperta della matematica antica - saranno fattori fondamentali che

⁵³ Protagonisti di questo progressivo mutamento culturale sono anche gli stessi umanisti. L'interesse diffuso per la matematica ebbe come conseguenza anche una discreta produzione di trattati e di idee. Di seguito segnaliamo alcuni riferimenti bibliografici riguardanti l'opera di Tartaglia e di Pacioli. Su Tartaglia, oltre al paragrafo *Commandino e i suoi interlocutori* e alla vita scritta da Baldi nella *Cronica de' matematici* (Baldi, 1707, p. 133) e inserita in Appendice, A11, si vedano Valleriani, 2013; Pisano e Capecchi, 2016. Per alcune riflessioni sulla sua scienza rimandiamo al paragrafo *Concetti chiave della meccanica di Guidobaldo: l'equilibrio indifferente, il piano inclinato e la rappresentazione delle macchine*. Su Pacioli si veda Ulivi, 1994. L'urbinate Bernardino Baldi nella *Vita di Fra' Luca da Borgo di S. Sepolcro* scrive: «Prese dopo Luca l'habito di S. Francesco, e fecesi de la famiglia de' Minori, ove entrato, et attendendo con molta caldezza a gli studij e di filosofia e di teologia, diventò maestro in quella, si come appare da l'inscritioni de le sue epistole dedicatorie; e bene si scopre da chi legge l'opere sue ch'egli non v'attendesse infelicamente. Nondimeno assai (chiaro si vede essere stato ritardato in lui lo studio teologico da quello che con tutte le forze egli pose ne le discipline matematiche. Fattosi frate andò per varie parti del mondo peregrinando, desideroso d'imparare e d'insegnare altrui. [...] Suo fine nel comporre la detta opera, per quanto e dal proemio e da l'opera medesima si raccoglie, non fu semplicemente la speculatione, ma la pratica, di maniera che le sue contemplationi ad altro non riguardavano che a l'uso, onde sforzandosi d'aggiungere credito a la detta sua fatica si sforza nel proemio di mostrar ch'ella ha per esser utile a gli astrologi, a gli architetti, a' prospettivi, a' pittori, a' scultori, a' musici, a' cosmografi, et insomma a tutte farti mecaniche, e similmente a l'arte militare, a quella de' traffici, a la grammatica, a la dialettica, a la retorica, a la poesia, a la filosofia, a la medicina, a le leggi canoniche e civili, e finalmente a la teologia. [...] È manifesto dunque, il nostro frate Luca, oltre non haver havuto avanti a gli occhi ne la compositione di questa sua opera che la pratica, e principalmente la pratica mercantile, il che afferma egli stesso nel proemio, ove dice essersi mosso principalmente per l'utilità de' sudditi del Duca d'Urbino impiegati a' traffici et ad altri ingegnosi essercitij», Baldi, 1998, pp. 331-338. Oltre ad essere conosciuto per il suo lavoro divulgativo della matematica antica e del suo tempo, il frate di San Sepolcro è anche famoso per essere stato un dei primi plagiari della storia. Luca Pacioli aveva inserito nel *De divina proportionem* l'intero manoscritto *De quinque corporibus regularibus* di Piero della Francesca. Secondo la storiografia più recente la questione deve essere tuttavia ridimensionata per due motivi: in primo luogo, non esisteva ancora la proprietà intellettuale, quindi vi era l'idea che ciò che veniva scritto poteva essere utilizzato e rielaborato senza nessun vincolo e, in secondo luogo, la conversione del testo latino in volgare, contribuì di fatto alla migliore circolazione di un contenuto che altrimenti sarebbe rimasto confinato in un'opera comprensibile solo per pochi. Sul tema si veda anche Picutti (Picutti, 1989).

⁵⁴ Con la riscoperta dei *Problemi meccanici* e con l'attribuzione al "principe dei filosofi" di un'opera dedicata alla meccanica, iniziò a farsi largo, soprattutto in ambito accademico, l'idea che l'argomento non fosse così indegno da non essere studiato.

⁵⁵ Sgarbi, 2016.

⁵⁶ Come fu il caso dell'università di Padova, una tra le prime università ad ospitare le lezioni di meccanica nel proprio percorso didattico. Tra maestri d'abaco più importanti basti segnalare i già citati Pacioli e Tartaglia, i quali percorsero l'Italia per mettere a disposizione i propri servigi in cambio di ottimi stipendi. Per una discussione generale sul tema si veda anche Boas, 1973.

favoriranno la collaborazione dei matematici-umanisti con i matematici pratici e della contaminazione di teoria e pratica⁵⁷.

Nel piccolo ducato di Urbino, per le sue dimensioni, per la sua conformazione e per le sue numerose attività produttive e culturali, avveniva in maniera naturale la contaminazione tra i diversi livelli socio-professionali. Ai piedi del Palazzo Ducale e sotto l'ala protettrice dei Montefeltro si incontravano traduttori, astrologi, architetti, pittori e costruttori di strumenti scientifici. Tale ambiente scientifico culturale favorirà la grande stagione cinquecentesca di traduzione e di recupero della matematica antica, la quale consegnerà il ducato di Urbino alla storia in quanto sede dell'umanesimo matematico.

1.3 Contesto storico. Urbino dei della Rovere

Nel 1508 Guidubaldo da Montefeltro morì senza avere figli. Quindi, per non lasciare la casata senza eredi, il duca adottò suo cugino Francesco Maria della Rovere, figlio della sorella Giovanna. L'episodio segnò l'ingresso dei della Rovere alla guida del ducato di Urbino.

Nel corso degli anni le casate dei Montefeltro e dei della Rovere subirono due tentativi di appropriazione che destabilizzarono la quiete e la stabilità del ducato. Dal 1502 al 1504, Guidubaldo da Montefeltro fu costretto alla fuga dallo spietato Cesare Borgia, il quale era sostenuto politicamente dal padre papa Alessandro VI (1431-1503). Successivamente Francesco Maria I della Rovere, al termine di una dispendiosa guerra, nel 1516 cedette il ducato a Lorenzo de' Medici, appoggiato dal papa nuovo eletto, nonché zio, Leone X. Francesco Maria I riuscì a riprendere il ducato solo nel 1521, dopo la morte del papa.

I della Rovere governarono cercando di emulare la forza e il ruolo culturale dei predecessori e facendosi promotori di iniziative volte a dare prestigio alla casata⁵⁸. Come nel Quattrocento, l'Urbino del Cinquecento fu caratterizzata dalla presenza di importanti matematici, illustri generazioni di architetti militari e rinomati costruttori di strumenti di precisione⁵⁹. Tale ambiente favorì l'attecchimento della restaurazione della matematica antica e la nascita della cosiddetta scuola matematica urbinata, inaugurata da Federico Commandino.

Come sarà in seguito approfondito, la fiorentina "scuola commandiniana" e i costruttori di strumenti conosciuti in tutta "Europa" furono al centro di un proficuo dialogo professionale. Questa combinazione di *formae mentes* diverse avrebbe dato origine alle prime considerazioni epistemologiche sul rapporto tra materia e principi matematici, evidenziando i limiti di un'applicazione teorica ancora priva di alcuni concetti che verranno delucidati solo un secolo e mezzo più avanti, quali, per esempio, l'inerzia e l'attrito.

1.4 La riscoperta della matematica antica

Commandino, Guidobaldo e Baldi contribuirono fortemente al recupero di alcune fondamentali opere della matematica antica, tra cui i lavori di Archimede, Euclide, Pappo, Erone, Sereno, Apollonio e Tolomeo⁶⁰. Nel corso della trattazione mostreremo come la loro attività scientifico-editoriale sia stata

⁵⁷ Sul tema si confronta Rose, 1975, e Galluzzi, 1997, pp. 16-17; Di Teodoro, 2009. Sull'uso dei classici della meccanica per le applicazioni pratiche e per la trattatistica dei tecnici si vedano anche Fiocca, 1998; Davico e Lusso, 2013.

⁵⁸ Il mecenatismo roveresco ha tracce importanti anche nei lavori dei non urbinati: Clavio dedica a Francesco Maria II il trattato sull'astrolabio, allo stesso duca Giuseppe Unicornio e Ulisse Aldrovandi dedicano rispettivamente *Arithmetica universale* (1598) e il *De animalibus insectis libri septem, cum singulorum iconibus ad viuum expressis* (1602). Tuttavia, come vedremo, sarebbe stato difficile riprodurre l'autorevolezza di Federico da Montefeltro. Per esempio Francesco Maria II della Rovere non seppe sempre gestire le proprie emozioni, cedendo spesso ai suggerimenti dei cattivi consiglieri, come avvenne nel caso degli esili di Guidobaldo del Monte e Muzio Oddi.

⁵⁹ Sull'ambiente urbinata tecnico-scientifico si veda Gamba, 2001.

⁶⁰ Per un'agevole ricostruzione della scienza greco-ellenistica e del suo valore in rapporto alle conquiste della rivoluzione scientifica si confronti Russo, L., 2017.

fortemente condizionata dagli incontri con i tecnici, gli architetti, i costruttori e gli intellettuali dell'epoca.

L'attività di recupero dei testi di matematica di Commandino e dei suoi allievi deve essere inserita all'interno di una tendenza culturale iniziata anni prima, ma che non aveva ancora prodotto risultati eccellenti sia dal punto di vista filologico sia dal punto di vista della coerenza del contenuto matematico⁶¹. Commandino, più di altri, seppe unire nell'opera di restaurazione dei testi e dei procedimenti dimostrativi attenzione filologica e competenza matematica. Guidobaldo, l'allievo più illustre, avrebbe posto la matematica degli antichi (Archimede, Pappo, Euclide, Aristotele, Vitruvio, Tolomeo) alla base del *Mechanicorum Liber* e dei *Prospectivae Libri Sex*, opere che avrebbero segnato un'epoca nei rispettivi "ambiti disciplinari"⁶².

La *restauratio mathematicorum* portata avanti da Commandino era altresì inserita all'interno di una rete culturale, fatta di polemiche e di influenze, che univa i maggiori matematici dell'epoca e aveva una dimensione molto più ampia delle mura del ducato urbinato⁶³.

Inoltre, vedremo che nonostante rivendicassero frequentemente l'utilità della matematica contenuta nei testi antichi, Commandino e i suoi allievi tradussero principalmente in lingua latina. Ciò sembra paradossale e ambiguo, dal momento che, come abbiamo detto, i tecnici, generalmente poco abili con le lingue classiche, erano quelli che maggiormente potevano apprezzare l'utilità del contenuto matematico. La scelta di utilizzare il latino è riferibile a un motivo ben preciso: dare dignità alle discipline matematiche. Secondo lo storico e cultore di meccanica urbinato Bernardino Baldi, era necessario ripristinare la dignità delle discipline matematiche, perché certi «vili meccanici» avevano «imbrattato», col loro «sordido» comportamento tutto dedito al guadagno, la purezza delle matematiche⁶⁴. Questa missione poteva essere portata avanti solo scegliendo una lingua nobile in grado di conferire nobiltà anche alle matematiche stesse⁶⁵. L'ultimo esponente della scuola matematica urbinata, Muzio Oddi, è l'emblema della sintesi di teoria e pratica: egli utilizzò la matematica antica e i lavori dei suoi maestri per progettare strumenti, edifici e sistemi di difesa militare.

Sebbene il Quattrocento e il Cinquecento urbinati sembrino epoche distanti dal punto di vista della produzione scientifica, riteniamo che ci sia una continuità culturale e per certi versi anche scientifica. Nonostante Commandino e i suoi allievi avessero spesso rimarcato la novità e l'importanza sociale del proprio lavoro rispetto a quello prodotto dai predecessori urbinati, possiamo intravedere degli elementi di continuità con la cultura precedente, come per esempio, il mecenatismo

⁶¹ Già altrove era stata avviata una riscoperta della matematica antica. I centri più vitali furono in particolare Venezia, Firenze e Roma. A Venezia il Cardinale Bessarione (1403-1472), bibliofilo e possessore di numerosi codici greci, coinvolse Regiomontano (1436-1476) nell'opera di restaurazione della matematica antica. Negli anni successivi, l'eredità venne raccolta da Giorgio Valla (1447-1500), Bartolomeo Zamberti (1473-1539) e Giovan Battista Memmo (1466-1536), i quali contribuirono fortemente alla diffusione delle opere rispettivamente di Archimede, Euclide e Apollonio. A Firenze un personaggio centrale fu Emanuel Chrysoloras (1355-1415), il quale stimolò la riscoperta delle opere greche sia letterarie che matematiche. A Roma un forte impulso venne dato da Nicolò V (1397-1455), il quale fondò l'importante Biblioteca Apostolica Vaticana e si circondò di numerosi umanisti, tra cui l'umanista matematico Jacopo di San Cassiano (1400 circa-1454 circa), uno dei più importanti traduttori di Archimede. Possiamo altresì individuare le prime tracce di restaurazione della matematica antica già presso l'ambiente viterbese, dove nel XIII, stimolato dal trasferimento temporaneo della corte papale, si rivelò fucina di traduzioni, come quelle sui lavori di Archimede realizzata da Moerbeke. Indubbiamente nel 1500, grazie all'attività di Commandino e i suoi allievi e all'autorevolezza delle loro traduzioni, Urbino diventò la città simbolo di questa tendenza culturale. Per maggiori informazioni sul tema rimandiamo a Rose, 1975, pp. 26-89.

⁶² Sull'aspetto filologico del lavoro di Commandino rimandiamo al paragrafo *Commandino tra filologia e matematica*.

⁶³ Commandino era in corrispondenza con Francesco Maurolico, Maurolico conosceva Cristoforo Clavio, Clavio era in corrispondenza con Guidobaldo del Monte, Guidobaldo era al corrente dei lavori di Luca Valerio e conosceva Galileo Galilei, Galilei era stato allievo di Ostilio Ricci (su Ricci si veda per esempio Settle, 1987), Ricci era stato allievo di Niccolò Tartaglia, Tartaglia aveva conosciuto Commandino, i lavori di Commandino erano studiati da Galilei, Galilei studiava i lavori di Clavio, Clavio aveva studiato i lavori di Commandino. Sul tema si veda Shea, 2013, p. 97.

⁶⁴ Baldi, 1589a, *Discorso di chi traduce sopra le machine se moventi*, pp. 4r-14v.

⁶⁵ Sul lessico scientifico si vedano Manni, 1980; Altieri Biagi, 1965b; Castagné, 2015; Altieri Biagi, 1965a.

culturale roveresco, il quale era presentato dagli stessi della Rovere come un'estensione di quello dei loro predecessori, e l'interesse per alcuni lavori di Paolo da Middelburg e per la *Summa* di Pacioli⁶⁶. Pertanto, dal nostro punto di vista tra le due epoche non vi è una discontinuità culturale e scientifica, ma piuttosto una diversità di interessi; diversità che si sarebbe ripercossa anche sul nuovo modo di impiegare la stessa matematica da parte dei protagonisti del Cinquecento⁶⁷. Infatti, come vedremo, l'accuratezza filologica e matematica delle traduzioni di Commandino e la ricollocazione storico-cronologica di Euclide non devono essere inquadrati come una rottura con il passato, ma devono essere inserite all'interno di un più generale sforzo di perseguire l'incarico di recupero dei testi antichi assegnatogli dai suoi protettori, i quali, a loro volta, recepivano la diffusa fibrillazione culturale connessa alla restaurazione dei classici. La stessa restaurazione della matematica antica intrapresa da Commandino ripristinò anche un diverso modo di occuparsi di matematica, quello archimedeo, il quale nel Rinascimento veniva spesso collocato ai margini dei procedimenti dimostrativi. Invece, Guidobaldo del Monte scrisse il suo trattato sulla meccanica per fornire una sistemazione teorico-tecnica della scienza delle macchine semplici. Egli era anche pienamente consapevole del fatto che il suo *Mechanicorum Liber* fosse un trattato unico nel suo genere, in quanto primo trattato a stampa sulla meccanica. Portavoce di questo effervescente clima culturale e scientifico è Bernardino Baldi, allievo di Commandino, il quale iniziò la stesura delle vite dei matematici per elogiare il suo maestro, nonché restauratore del pensiero archimedeo. Commandino, Guidobaldo e Baldi si sentirono rappresentanti di una "nuova" matematica che, dopo un periodo di sonno profondo, ora stava vivendo una seconda giovinezza grazie alla loro attività di restaurazione dei testi. Essa, a differenza di quella tradizionale, basata sulla filosofia aristotelica e sulle conoscenze astrologiche, si fondava su dimostrazioni geometriche e sul rigore assiomatico-deduttivo. Lo stesso processo di recupero della

⁶⁶ Muzio Oddi possedeva e aveva studiato alcuni trattati di Paolo da Middelburg (Montebelli, 2015) e Federico Commandino intendeva migliorare linguisticamente la *Summa* di Luca Pacioli (Baldi, 1998, Vita di Commandino). Inoltre, secondo Bernini Pezzini (1983) Commandino (o più prudentemente qualche componente della sua famiglia) aveva consultato i codici di Francesco di Giorgio Martini: «Fra le numerose copie parziali o totali dei trattati dell'architetto senese eseguite nel Cinquecento, bisogna segnalare un codice di proprietà dell'avvocato Santini di Urbino, in gran parte copia del codice 24949 del British Museum, con quindici disegni riproducenti altrettanti rilievi del Palazzo ducale. Il codice, come farebbe supporre la provenienza, dovrebbe essere nato e conservato sempre in ambiente urbinato, circostanza che autorizza qualche riflessione. Il codice 24949 è da identificare con quello descritto al n. 607 del vecchio inventario della biblioteca del duca: "Francisci Georgii senensis Liber de Instrumentis bellicis et de aliis machinis sive historia cum prohemio tantum ad ill.mum D. Federicum feretranum". La descrizione farebbe pensare ad un codice di sole illustrazioni di macchine, senza testo, ad esclusione di una prefazione, caratteristiche corrispondenti a quelle dell'esemplare del Brit. Museum. Accanto alla descrizione sopra riportata, sempre nel vecchio inventario, è stato annotato da uno scrupoloso bibliotecario: "habuit Commandinus, restituit". Il codice quindi, che reca annotazioni di mano diversa da quella dell'artista, circa la funzionalità e realizzabilità delle macchine, dovette essere studiato nell'ambiente matematico e tecnico urbinato che gravitava intorno alla famiglia Comandino».

⁶⁷ Gamba, 2005, pp. 340-341. Questa discontinuità può essere ritrovata anche nelle poche citazioni, da parte degli urbinati del Cinquecento, degli autori della generazione precedente. Tuttavia, riteniamo che questa scarsità di citazioni sia dovuta principalmente a due motivi: l'ingresso tardo della stampa in Italia e la diversità dei temi oggetto di studio. Infatti, nel caso della traduzione dei testi di matematica antica, Commandino dichiarerà di essersi confrontato, per esempio, con i lavori di Regiomontano (in Commandino, F., 1558a, *Archimedis opera non nulla*, Lettera dedicatoria a Ranuccio Farnese) e Pacioli (secondo la testimonianza di Baldi in *Vita di Commandino* e i documenti riguardanti la scuola commandiniana conservati presso la Biblioteca Universitaria di Urbino, Busta 120). Nella dedica a Guidobaldo II della Rovere della traduzione delle coniche di Apollonio, dei Lemmi di Pappo e di due libri di Sereno, Commandino tesse le lodi della famiglia ducale, la quale ha reso grande il ducato nel corso del tempo: «Tu autem is es, cuius familiae magnam partem ornamento rum quae retinent, ipsa doctrina studia debeant. Nam Federicus proavus tuus, qui primus Ducalem honorem vestram in familiam intulit, cum plurimis rei militaris laudibus floruit, tum maximam inde sibi gloriam comparavit, quod unice litteras, litteratosque; semper dilexit. Quod cum libri multi in eius nomine à doctis hominibus editi, tum biblioteca, hebraeorum graecorum et latino rum libro rum copia mirabiliter instructa testantur – cuius vestigia Guidus Ubaldus filius imitatus, et ipse praeter haereditariam rei bellicae laudem cum omnibus litteris fuit eruditus, tum eruditorum hominum ingenio mirifice semper est delectatus, quos eosdem Franciscus Maria, nepo eius, idemque; pater tuus, quanquam studio rei militaris, cuius gloria praeter ceteros floruit, intentus, summo studio semper complexus est, ac mirifice coluit.» dedica, foglio non numerato (Commandino, 1566). Pertanto, Commandino si sente parte di una generazione illustre che ancora le sue radici nell'età aurea di Federico da Montefeltro.

“scienza” archimedeo e della geometria euclidea, messo in atto dai matematici del Cinquecento urbinate, portarono questi ultimi a indagare i fenomeni meccanici, alcuni portentosi come il comportamento della coclea, con gli strumenti della dimostrazione matematica. Diversamente, nel Quattrocento i temi affrontati erano riconducibili a una matematica rigidamente caratterizzata da due approcci: uno di tipo speculativo e l'altro di tipo pratico. Il primo era connotato di misticismo, in quanto si basava sulla divina proporzione e sul movimento degli astri. Il secondo, di tipo pratico, era impiegato nelle attività produttive e solitamente senza affidarsi a dimostrazioni matematiche.

Nonostante i diversi temi affrontati, come abbiamo precedentemente rilevato, i protagonisti del Cinquecento urbinate a volte espressero interesse verso la cultura matematica quattrocentesca. Commandino, ad esempio, apprezzava la *Summa* di Pacioli e intendeva realizzarne una nuova edizione più corretta dal punto di vista linguistico. Tuttavia, questa attrazione nei confronti della cultura scientifica precedente veniva generalmente tenuta nascosta, perché, e questa è una caratteristica di entrambe le epoche, gli stessi protagonisti tendevano a valorizzare la cultura scientifica del proprio tempo. Alla base di questo comune approccio possiamo collocare la profonda convinzione che il proprio prodotto scientifico ed editoriale stesse segnando culturalmente e socialmente un'epoca. Anche il mancato utilizzo da parte di Commandino di alcuni testi importanti per la sua opera di restaurazione, come ad esempio di alcuni codici molti antichi conservati nella biblioteca appartenuta a Federico da Montefeltro, non deve essere interpretato come un rifiuto della cultura dell'epoca precedente, ma può essere spiegato tenendo in considerazione due elementi. In primo luogo, Commandino cercò sempre la coerenza matematica e la correttezza filologica delle opere sottoposte a traduzione, e questo approccio lo portava ad escludere quelle versioni che, sebbene accettabili, non fossero in linea, secondo il suo punto di vista, con il genuino pensiero dell'autore. In secondo luogo, Commandino, negli anni in cui era impegnato nell'attività di traduzione, soggiornava presso le corti romane o bolognesi e quindi era spesso lontano da Urbino.

Possiamo concludere che tra le due epoche può essere intravista una continuità sia nel mecenatismo delle due famiglie ducali, in quanto entrambe furono propulsori del progresso delle conoscenze e delle loro applicazioni, sia nella consapevolezza da parte dei protagonisti delle rispettive epoche di appartenere a un'illustre generazione scientifica e culturale. Mentre la diversità, se così possiamo definirla, è nella rivendicazione di possedere una nuova matematica e nell'individuazione di nuove modalità di impiego⁶⁸.

⁶⁸ Gamba, 1988, p. 45.

SECONDO CAPITOLO: FEDERICO COMMANDINO

2.1 Vita di Federico Commandino



Fig. 6 Scuola del Barocchi, *Ritratto di Federico Commandino*, Urbania, Museo Comunale, in Gamba e Montebelli, 1988.

La vita di Federico Commandino può essere ricostruita utilizzando le più importanti fonti primarie, quali la *Vita di Federico Commandino* scritta dal suo allievo Bernardino Baldi, la corrispondenza, le sue lettere dedicatorie e le sue prefazioni alle opere. Invece, per quanto riguarda la bibliografia secondaria, i testi di riferimento sono i già citati *The Italian Renaissance of Mathematics* di Paul Lawrence Rose (1975), *Le scienze a Urbino nel Tardo Rinascimento* di Enrico Gamba e Vico Montebelli (1988) e la voce *Commandino* nel «Dizionario Biografico degli Italiani» curata da Concetta Bianca (1982).

Federico Commandino (Fig. 6) nacque a Urbino il 16 giugno 1509 (o 1506?)⁶⁹. I suoi genitori, Giovan Battista Commandino e Laura Benedetti, scelsero di chiamarlo Federico per omaggiare il duca Federico da Montefeltro⁷⁰. Suo padre, Battista Commandino, aveva ricoperto incarichi di architetto e di supervisore delle fortificazioni di Urbino per i duchi Guidubaldo da Montefeltro e Francesco Maria I della Rovere. Alla corte dei Montefeltro, Battista conobbe Paolo da Middelburg e Iacobo da Speyer, astrologo di corte e corrispondente di Regiomontano⁷¹. Il padre di Federico era perfettamente inserito nella corte ducale e si può presumere che volle per suo figlio un'educazione di primo ordine incentrata nell'apprendimento delle arti liberali, in particolare della musica e della grammatica. Fin dalla prima educazione Federico Commandino fu indirizzato verso lo studio dei testi classici e delle matematiche. Grazie al suo precettore maestro Giacomo Torelli da Fano il giovane Federico imparò latino e greco. Battista coinvolse nella formazione di suo figlio anche Giovan Pietro

⁶⁹ Il problema della nascita è una questione ancora irrisolta. Baldi nella *Vita di Federico Commandino* sostiene che Commandino morì nel 1575 a sessantasei anni, mentre invece nella lapide posta in suo onore all'interno della Chiesa di San Francesco di Urbino è riportata come data di nascita il 1506. La Chiesa di San Francesco ospita le lapidi di molti dei personaggi illustri di Urbino, tra cui Bernardino Baldi, Federico Barocci, Muzio Oddi.

⁷⁰ Probabilmente la famiglia Commandino dovette molto ai Montefeltro: il nonno paterno era stato segretario del duca Federico da Montefeltro.

⁷¹ Gamba, 2011. Su Regiomontano si veda anche Rose, 1975, pp. 90-117.

Grassi, con il quale Federico affinò il latino, la retorica e la dialettica e imparò la matematica⁷². Nel 1530 Federico Commandino seguì Grassi a Roma, il quale era stato chiamato dal cardinale e bibliofilo Nicolò Ridolfi, a quei tempi vescovo di Viterbo (dicembre 1532 - giugno 1533)⁷³. La conoscenza di Ridolfi permise a Federico di avere un primo contatto con il mondo dei codici e delle biblioteche. Grazie all'appoggio dei due protettori, Commandino poté ricoprire la carica di *camerero segreto*⁷⁴ al servizio del papa Clemente VII, al secolo Giulio dei Medici. Tra le varie mansioni, nelle ore dedicate al riposo doveva leggere e interpretare al pontefice i testi da quest'ultimo posseduti.

Nel 1534 Commandino iniziò a frequentare l'università di Padova, dove poté ascoltare le lezioni del filosofo averroista Marco Antonio de' Passeri detto Genova. Genova ebbe molti allievi che sarebbero diventati personalità importanti nell'ambito delle discipline scientifiche e nella fase di recupero dei testi matematici, tra cui Giacomo Zabarella, Daniele Barbaro, Speroni Sperone, Alessandro Piccolomini e Giovan Vincenzo Pinelli. A Padova Commandino ebbe come insegnanti anche il medico Giambattista Montano e il matematico Federico Delfino. La frequentazione universitaria di Commandino si rivelò irregolare, in quanto, ad esempio, il 19 ottobre 1537 era a Roma, da come risulta da una lettera ricevuta dal matematico fanese Tommaso Leonardi. Nella missiva Commandino chiedeva un parere su alcuni problemi matematici e sulle traduzioni di Euclide. Tommaso Leonardi, come mostrato dagli studi di Rose e di Montebelli, non ebbe un ruolo di poco rilievo nella formazione dell'urbinate, tanto che i due sarebbero rimasti in contatto fino al 1556. Grazie al matematico fanese, Commandino apprese l'algebra e affinò le sue competenze matematiche⁷⁵.

Dopo dieci anni di studio (1544), Commandino prese il titolo universitario in medicina a Ferrara sotto la supervisione di Anton Musa Brasavola, medico più sperimentatore che teorico⁷⁶. La notizia è riportata nella biografia scritta dal suo allievo Bernardino Baldi, anche se curiosamente rivela di non sapere il motivo per cui Commandino decise di addottorarsi a Ferrara.

Conseguito il titolo di dottore, Commandino ritornò a Urbino. Nel 1546 si sposò con Girolama, figlia di Antonio de Bonaventuri, la quale morirà quattro anni dopo le nozze, il 31 gennaio 1550. Tuttavia, farà in tempo a mettere al mondo due figlie e un figlio, morto prematuramente. Poco dopo il matrimonio, Federico fu chiamato come medico personale dal duca Guidobaldo II della Rovere per le campagne militari, a quel tempo Capitano della repubblica di Venezia. Ritornati insieme a Urbino, Federico approfondì gli studi di matematica presso la corte del duca, ivi ebbe modo di condividere gli studi con la moglie di Guidobaldo II, Vittoria Farnese, e con il fratello di quest'ultima, il cardinale nonché abile filologo Ranuccio Farnese, che soggiornava a Urbino dal 1549.

Nel 1550, dopo la morte del padre, del figlio e della moglie, Commandino decise di lasciare la pratica della medicina, ritenendola pratica «fallacissima», per rivolgere la sua attenzione alla matematica, scienza da lui considerata più esatta e certa⁷⁷. La sua conversione alle matematiche fu totale: mandò le figlie al convento delle monache di Santa Caterina e abbandonò Urbino per andare a Roma al seguito del cardinale Ranuccio Farnese. Tale scelta gli diede l'opportunità di intraprendere

⁷² Nel 1527 Battista coinvolse nell'educazione di suo figlio anche Giovan Pietro Grassi, che aveva seguito l'importante famiglia Orsini in fuga da Roma, a causa del saccheggio spagnolo

⁷³ Dismessa la carica, Ridolfi appoggiò l'ascesa di Pietro Grassi al vertice della diocesi di Viterbo (giugno 1533-1538).

⁷⁴ Il cameriere era addetto alla persona del papa. La funzione principale del cameriere segreto era quella di svolgere servizio presso l'anticamera, detta segreta, del papa.

⁷⁵ Su Tommaso Leonardi si vedano Rose, 1973b, e Montebelli, 1993. A Padova vi erano due facoltà: quella dei Giuristi e quella degli Artisti. La seconda includeva i filosofi, i medici e inizialmente i teologi. Secondo Alessandra Fiocca è molto probabile che Commandino a Padova possa aver frequentato i corsi di Andrea Vesalio, insegnante a Padova dal 1537. Sul tema Alessandra Fiocca ha presentato una relazione dal titolo *Le Università di Ferrara e di Padova al tempo di Federico Commandino*, all'interno del convegno internazionale "Federico Commandino (1509-1975): Umanesimo e Matematica nel Rinascimento Urbinate", 18-19 settembre 2009, Urbino.

⁷⁶ Durante gli anni universitari Commandino era in corrispondenza con Ettore Ausonio, grande appassionato di alchimia, matematiche, meccanica, strumenti di misura. Su Ausonio si veda Ventrice, 1998, p. 310.

⁷⁷ Nel 1550 morì anche il cardinale Niccolò Ridolfi. Alcune considerazioni sulla medicina al tempo di Commandino sono presenti in Appendice, A3.

una restaurazione dei testi di matematica antica di ampio respiro. Grazie a Ranuccio, conobbe i bibliofili e intellettuali Fulvio Orsini, Angelo Colocci, Marcello Cervini, Hurtado de Mendoza, Annibale Caro, Agnolo Caiano e Paolo Manuzio. Quest'ultimo sarebbe stato il tipografo dei primi lavori del nostro urbinato⁷⁸.

Nel 1550 Marcello Cervini, futuro papa Marcello II, donò a Commandino due opere che necessitavano di una profonda restaurazione: *De iis quae in aqua vehuntur* di Archimede (d'ora in poi *Sui corpi galleggianti*) e il *De analemmate* di Tolomeo. Al tempo stesso lo incaricò di migliorare le versioni allora disponibili. Scrive Bernardino Baldi nella *Vita di Commandino* che il *De Analemmate* era stato donato al giovane matematico urbinato da Marcello Cervini insieme al *περί οχουμένων*, cioè *Delle Cose che sono Condotte*. Il titolo in greco de *Sui corpi galleggianti* aprì un'annosa questione legata alla lingua del codice regalato da Cervini a Commandino. Tuttavia, lo stesso Commandino sottolinea nel libro sul centro di gravità dei solidi che i testi ricevuti erano in latino⁷⁹.

Nel 1553 Commandino andò a Venezia con Ranuccio Farnese alla ricerca dei codici per tradurre le opere di Archimede. Ranuccio, su indicazione di Commandino, prese in prestito dalla Biblioteca Marciana il codice E di Archimede e l'edizione commentata da Eutocio. A Venezia Commandino incontrò Niccolò Tartaglia e il matematico Giovan Battista Benedetti⁸⁰.

Nel 1558 Commandino diede alle stampe le sue traduzioni del *Planisphaerium* di Tolomeo e di Giordano⁸¹ e delle prime opere archimedee⁸², sancendo l'inizio del pieno recupero di gran parte della matematica antica. Commandino decise di occuparsi del *Planisphaerium* su richiesta del gesuita Baldassarre Torres, il quale invocava una nuova traduzione del testo latino, a causa della pessima comprensibilità della versione al tempo disponibile⁸³.

⁷⁸ *Archimedis opera non nulla* (Commandino, 1558a), *Planisphaerium* di Tolomeo e di Giordano Nemorario (Commandino, 1558b) e il commento al *De Analemmate* di Tolomeo (Commandino, 1562). Nel 1555 Commandino, durante gli incontri con il papa Marcello II, conobbe il cardinale Guglielmo Sirleto, ultimo possessore della traduzione latina dei codici greci archimedeei realizzata da Guglielmo da Moerbeke.

⁷⁹ Baldi, 1998, *Vita di Federico Commandino*, p. 503: «Oltra il detto libro di Tolomeo Dell'Analemma, gli fu donato dal medesimo Cardinale Cervino il testo greco d'Archimede inscripto [περί οχουμένων], cioè Delle Cose che sono Condotte». Commandino, 1565b, Lettera dedicatoria ad Alessandro Farnese: Non multos abhinc annos MARCELLUS II PONT. MAX. cum adhuc Cardinalis esset, mihi, quae sua erat humanitas, libros eiusdem Archimedis de ijs, quae vehuntur in aqua, latine redditos dono dedit». Sul tema rimandiamo al paragrafo in Appendice, A2.

⁸⁰ Si veda per esempio Bianca, 1982. Benedetti, allievo di Tartaglia, nacque nel 1530 e trascorse la sua giovinezza a Venezia fino al 1558-59. Nel 1558 Benedetti frequentò la corte dei Farnese di Parma, presso cui rimase fino al 1567 quando andò a Torino. La matematica di Benedetti, soprattutto quella contenuta nel *Diversarium speculationum mathematicarum et physicarum liber*, risente dell'ambiente culturale veneziano e della profonda conoscenza della tradizione archimedeica e della tradizione medievale della scienza dei pesi. La scienza di Benedetti è stata definita progressiva, in particolare per alcune sue idee molto innovative (come ad esempio la velocità di caduta dei corpi non proporzionale al peso) rispetto alla tradizione aristotelica. Il modo di esposizione non segue il procedimento dimostrativo dei matematici greci, ma si profila piuttosto come una rielaborazione del sapere antico.

⁸¹ Commandino, 1558b. Rocco Sinisgalli e Salvatore Vastola hanno curato una traduzione in italiano (Sinisgalli e Vastola, 1992a; Sinisgalli e Vastola, 2000).

⁸² Commandino, 1558a, *Archimedis Opera non nulla* contiene due dediche: la traduzione delle opere di Archimede è dedicata a Ranuccio Farnese, mentre il commentario che segue a Ottavio Farnese. Commandino dedica l'opera a Ranuccio Farnese perché gli riconosce il merito di avergli proposto una "seconda" vita. Invece, la dedica a Ottavio è più politica. Per comprendere il motivo di quest'ultima dedica sono utili le due lettere inviate rispettivamente nel 1556, in cui Tommaso Leonardi consigliava a Commandino di chiedere a Ottavio Farnese di finanziare le pubblicazioni, e nel 1560 (3 novembre 1560), in cui Commandino proponeva a Ottavio la sua intenzione di dedicargli le successive opere in cantiere in cambio «d'havere vivere honestamente per la mia vecchiezza». Entrambe le lettere sono state pubblicate da Rose, 1973b. Non si sa come sia finita la vicenda, fatto è che Commandino non dedicherà nessun'altra opera a Ottavio.

⁸³ Torres fu una figura importante nell'attività di restaurazione della matematica antica di Commandino, poiché, secondo Rose, fu responsabile dell'incontro a distanza tra Commandino e Maurolico e dovrebbe essere considerato chiave di volta per capire quale codice Cervini avesse dato Commandino (Rose, 1975). Nella dedica a Ranuccio Farnese, Commandino racconta le difficoltà che aveva incontrato nella traduzione del *Planisphaerium*. Difficoltà soprattutto causate dalla perdita del testo greco originale che lo costrinse a utilizzare solo il testo latino realizzato da Ermanno di Carinzia e da Roberto di

Nel 1562 Commandino pubblicò a Roma la versione restaurata del *De analemmate* di Tolomeo e il *De horologiorum descriptione*⁸⁴. Dal momento che il *De Analemmate* greco era perduto e il testo latino era fortemente corrotto, Commandino rivelò di aver dovuto attingere a tutte le sue energie, anche perché, dal suo punto di vista, la traduzione latina era stata realizzata da uno che conosceva poco il greco e meno la matematica. Sempre Baldi racconta che Commandino aveva inserito in appendice al *De analemmate* un libretto sugli orologi per far capire le applicazioni del contenuto del testo di Tolomeo e per insegnare il modo di descrivere gli orologi solari sulle superfici piane⁸⁵. Ciò perché, ricorda ancora Baldi, il *De analemmate* serviva più alla contemplazione che alla pratica. Questo lavoro venne utilizzato da Daniele Barbaro per commentare la parte sugli orologi solari contenuta nel Libro IX dei *Dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio* nell'edizione del 1567⁸⁶. Secondo Sinisgalli, la traduzione di Commandino ebbe un ruolo fondamentale nel processo di matematizzazione della prospettiva, grazie soprattutto all'introduzione delle sezioni coniche nella costruzione prospettica⁸⁷.

Nel 1563 a Urbino Commandino ricevette la visita di John Dee, durante la quale il matematico inglese gli consegnò un manoscritto che riteneva fosse stato scritto da Euclide⁸⁸. Dopo averlo cautamente esaminato, Commandino convenne che il testo fosse un rifacimento del *Libro sulle divisioni* di Euclide ad opera del matematico arabo Machometus Bagdedinus (Muhammad al-Baghdadi)⁸⁹. Dee affidò il testo a Commandino, perché pensava che l'urbinate fosse l'unico in grado di ristabilirne il corretto contenuto⁹⁰. L'opinione di Dee è interessante, in quanto mostra che, tra i contemporanei, Commandino rappresentava colui che più di tutti potesse essere in grado di restaurare la matematica antica. L'opera fu stampata nel 1570 a Pesaro sia in latino che nella versione volgare, quest'ultima venne curata da Fulvio Viani de' Malatesti (1570)⁹¹.

Keton nel 1143-1144 sulla base di un testo arabo di Maslama di Cordoba. Inoltre, per colmare le lacune, Commandino dovette procurarsi anche qualche nozione di ottica e di scenografia. Sul tema si veda per esempio l'introduzione di Sinisgalli e Vastola in Sinisgalli e Vastola, 1992b. Sinisgalli e Vastola hanno anche curato la traduzione italiana del *De horologiorum descriptione* (Sinisgalli e Vastola, 1994a).

⁸⁴ Commandino, 1562. Esiste una traduzione italiana de *L'analemma di Tolomeo* curata da Sinisgalli e Vastola, 1992b.

⁸⁵ Sinisgalli e Vastola 1994a. Sul tema si veda anche Vagnetti, 1979.

⁸⁶ Losito, 1989. Si veda anche Camerota, F., 2006, p. 148. Becchi, 2017a. Il *De analemmate* nella versione di Commandino fu utilizzato da Barbaro per la versione volgare del *De architectura* di Vitruvio: «& però hauendo ueduto, che nello Analemma di Vitruuio lo eccellente messer Federico Commandino fi ha portato egregiamente interpretandolo Analemma di Tolomeo, che è lo istesso con lo Analemma di Vitruuio, & che il punto è posto in quello, & che gli altri, che hanno scritto degli horologi, non hanno dato nel fondamento loro, giudicando quella esser uera, fola, et ispedita uia, che infegna, dimostra, et pratica una delle parti principali dell'Architettura, ha uoluto leuare dal nono libro i discorsi già fatti sopra gli horologi, et in loro uece riponere questi di Tolomeo, et, del Commandino, aggiugnendoui la facilità, che è propria sua, però, i lettori del rinouato Vitruuio gli haueranno questo obbligo di piu, come anco deono hauerlo per molte figure aggiunte; & specialmente quelle dei Cauedi, che sono difficili, et quelle dei bagni, & della palestra bellissime, che portano gran lume alle cose di Vitru.» Vitruvio, 1567, lettera di Franceschi de Franceschi sanese ai lettori. E anche «Tolomeo fa un trattato dello Analemma: & Federico Commandino molto dottamente lo espone, et per questa, et per altra cagione se gli deue hauere molte gratie; poi che per utilità comune egli li affatica», Vitruvio, 1567, Libro IX, cap. VIII, p. 398.

⁸⁷ Sinisgalli e Vastola, 1992b, ritengono che il testo non fosse stato largamente apprezzato dagli artisti a causa della matematica insita. Tali valutazioni sono indicatrici della distanza culturale che separava le due realtà. Per una contestualizzazione storica dell'opera tolemaica di Commandino, si vedano Sinisgalli, 2001, e Sinisgalli, 2000. Sull'argomento si veda anche Zerlenga, 2016.

⁸⁸ Così almeno allude Dee nella lettera Federico Commandino urbinati. Si confronti Commandino, 1570a, lettera di Ioannes Dee Londinensis. s. p. d.

⁸⁹ Rosen (in Rosen, 1970) scrive che John Dee fece visita a Commandino a Venezia nel giugno 1563. Il lavoro di Rosen fu anche oggetto dell'articolo di Rose, il quale sostiene che Dee fece visita a Commandino dopo il 1566, perché nella prefazione cita la traduzione di Apollonio, tuttavia non è detto che Commandino avesse già pubblicato il testo citato (Rose, 1972).

⁹⁰ Loria, 1950.

⁹¹ Commandino, 1570b.

Nel 1565 Commandino pubblicò a Bologna la traduzione de *Sui corpi galleggianti* con dedica a Ranuccio Farnese⁹². Sempre a Bologna diede alle stampe il *Liber de centro gravitatis solidorum* con dedica ad Alessandro Farnese, fratello di Ranuccio.

Nel 1566 dedicò a Guidobaldo II della Rovere la traduzione dei primi quattro libri delle coniche di Apollonio, con i lemmi di Pappo e i commenti di Eutocio, e dei due scritti di Sereno Antinensis. L'opera uscì dal torchio del tipografo bolognese Alessandro Benacci. Commandino a Bologna aveva avuto la possibilità di incontrare Girolamo Cardano e di donargli una copia della traduzione appena nata. Il testo fu utilizzato anche da Johannes Kepler⁹³.

Dal 1566 Commandino si stabilì definitivamente a Urbino, ricoprendo il ruolo di precettore di Francesco Maria II della Rovere.

Nel 1568 su richiesta dell'anatomista Bartolomeo Eustachio, Commandino progettò un compasso di proporzione a quattro punte (maggiormente conosciuto come compasso di riduzione) che poi consegnò a Simone Barocci in modo che potesse realizzarne la costruzione. In quegli anni Commandino probabilmente conobbe Mordente a Urbino, autore del *Modo di trovare con l'astrolabio, o quadrante, o altro instromento, oltre gradi, intieri, i minuti, et secondi, et ogn'altra particella* (1567), opuscolo in cui veniva descritta la costruzione di uno strumento per misurare i gradi⁹⁴. L'episodio è interessante perché da esso emerge un Commandino abile anche nella progettazione di strumenti scientifici e in stretto contatto con gli stessi costruttori.

Dopo la seconda metà degli anni Sessanta del Cinquecento attorno a Commandino iniziò a formarsi una sorta di scuola, quasi un circolo di studio, dove gli allievi aiutavano il maestro a disegnare le figure e a tradurre le opere e discutevano con lui di logica aristotelica e di filosofia naturale⁹⁵. Nel fondo urbinato ci sono alcuni documenti che possono essere identificati come le dispense che il matematico-filologo urbinato condivideva con i suoi allievi⁹⁶. Tra gli studenti che frequentarono il circolo di studio segnaliamo Valerio Spacciuoli (?-1591), Torquato Tasso (1544-1595), Guidobaldo dal Monte (1545-1609), Bernardino Baldi (1553-1617), Alessandro Giorgi, Giambattista Teofili, Felice Paciotti (1543-1622), Francesco Corona, Francesco Maria II della Rovere e Fulvio Viani de' Malatesti. Stranamente Commandino rimase sempre fuori dall'ambiente accademico, nonostante i suoi contatti avrebbero potuto aiutarlo se avesse voluto intraprendere una carriera universitaria⁹⁷.

Nel 1572, su richiesta di Alderano Cybo, Commandino tradusse *Aristarchi de magnitudinibus et distantis solis et lunae*. Sempre nel 1572, uscì la traduzione latina degli *Elementi* di Euclide. Questa conteneva l'importante *Privilegium* papale sia sulle opere pubblicate sia su quelle non ancora pubblicate⁹⁸. Nel 1575 uscì la versione volgare stampata in casa di Commandino e curata da Valerio Spacciuoli. Queste opere furono dedicate dal matematico urbinato a Francesco Maria II della Rovere, a sigillo della loro amicizia e del rapporto di lavoro che lo univa con la famiglia della Rovere. Infatti, Commandino insegnava le matematiche a Francesco Maria in cambio di una pensione che gli permettesse di vivere tranquillo⁹⁹. Commandino morì il 3 settembre 1575.

L'opera commandiniana di restaurazione della matematica si chiuse con la stampa postuma degli *Spirituali* (1575) di Erone (in parte già tradotti da Giorgio Valla, *De expeditibus et fugiendis rebus opus*, 1501) e l'uscita delle *Mathematicae collectiones* (1588) di Pappo, entrambe curate da

⁹² Ranuccio morì il 29 ottobre 1665, dopo la pubblicazione de *Sui corpi galleggianti*.

⁹³ L'edizione delle *Coniche* Commandino aveva soppiantato quella di Memmo (1537) ed era la migliore a disposizione. In *Astronomia Nova* Keplero, inoltre, cita esplicitamente gli *Sferoidi* di Archimede nella versione dell'urbinato (Keplero, 1609, p. 286).

⁹⁴ Fabrizio Mordente fece costruire il suo compasso da Simone Barocci. Sul tema si veda Camerota, F., 2000. Gamba (in Gamba, 1994b) pubblica una lettera inviata da Oddi a Giordani da cui emerge che, quando Commandino fece realizzare il compasso, Fabrizio Mordente era a Urbino.

⁹⁵ Sul tema si veda Frank, 2014a. L'autore colloca l'inizio delle lezioni nell'autunno 1568.

⁹⁶ Gamba e Montebelli, 1988, p. 25; Ciocci, 2018.

⁹⁷ Grossi, 1919.

⁹⁸ Si veda il paragrafo *Commandino e Euclide*

⁹⁹ Baldi, 1998, *Vita di Federico Commandino*.

Valerio Spacciuoli¹⁰⁰. Nel 1589 e nel 1592 uscirono le versioni volgari degli *Spirituali* curate rispettivamente da Giovan Battista Aleotti e da Alessandro Giorgi.

La vita di Federico Commandino contiene aspetti purtroppo ancora oscuri: per esempio non sappiamo ancora con precisione quali codici abbia utilizzato per le sue traduzioni.

2.2 L'importanza del lavoro di Commandino

Il lavoro scientifico di Commandino si risolse quasi esclusivamente nel recupero della matematica antica e nei commenti alle opere tradotte. Tutto iniziò, come abbiamo visto, dalla richiesta di Cervini di emendare il *De analemmate* di Tolomeo e i *Sui corpi galleggianti* di Archimede, già tradotti in latino da Moerbeke. In appendice al testo di Tolomeo, che conteneva notizie importanti sul modo di costruire l'analemma (per analemma si intende una curva geometrica a forma di otto che permette di descrivere la posizione del sole nei diversi giorni dell'anno)¹⁰¹, Commandino inserì anche un suo libretto riguardante il modo pratico di costruire gli orologi solari in base alle regole esposte nel libro, più teorico, che lo precedeva.

Ben più rilevante, alla luce delle successive fruizioni e dei successivi sviluppi del pensiero scientifico, fu la restaurazione dei due libri *Sui corpi galleggianti* di Archimede, i quali avrebbero costretto Commandino a recuperare gran parte dello scibile greco e a fare i conti con l'assenza di codici greci e con traduzioni latine lacunose e frammentarie. Infatti, a causa della geometria oscura e ambigua contenuta nel secondo libro, l'opera necessitava di una totale revisione basata sul recupero della letteratura matematica antica conosciuta al tempo di Archimede. L'opera sui *Sui corpi galleggianti* lasciò una traccia significativa nella storia della scienza. Dal primo libro può essere desunto il cosiddetto principio di Archimede (anche se Archimede non formula precisamente il principio, possiamo dedurlo dalle proposizioni III, IV, V, VI, VII). Il secondo libro è un concentrato di geometria e matematica, dove Archimede investiga le posizioni di equilibrio stabile dei paraboloidi¹⁰².

Correda la traduzione dell'opera sui galleggianti di Archimede il trattato *Liber de centro gravitatis solidorum*, con questa pubblicazione Commandino si proponeva di ripristinare il genuino ma perduto pensiero archimedeo sui centri di gravità dei solidi.

2.3 Commandino e Archimede

La storia editoriale dei lavori di Archimede si perde nei secoli, come anche le tracce del suo pensiero¹⁰³. Durante il medioevo Archimede non era molto letto, vuoi per la scarsa correttezza dei codici, vuoi per la complessa matematica contenuta¹⁰⁴. I testi di Archimede, a differenza di quelli di Euclide, di cui parleremo nel paragrafo successivo, non si diffusero generalmente tra le botteghe e le scuole d'abaco, le quali erano i luoghi in cui all'epoca si apprendeva principalmente la matematica pratica. Anche in ambiente accademico, i testi archimedei erano studiati con fatica. Ciò avvenne perché per comprendere la difficile matematica di Archimede bisognava disporre di altre conoscenze che Archimede non forniva, ma che erano presenti in altri testi di matematica antica allora

¹⁰⁰ Commandino, 1575b. Nel 1589 sarebbe uscita l'edizione volgare curata da Giambattista Aleotti. Commandino, 1588. Quest'ultima pubblicazione sarebbe stata oggetto di contesa tra gli eredi di Commandino, Francesco Barozzi e Guidobaldo del Monte si veda Rose, 1977, e l'Appendice, A2.

¹⁰¹ Barbaro nel *De Architettura* di Vitruvio: «Analemma è ragione cercata dal corso del Sole, & dall'ombra crescente, trovata dalla osservatione del solstitio del verno, dalla quale per ragioni d'Architettura, & per descrittioni del compasso è stato ritrovato lo effetto nel mondo», Vitruvio, 1567, Libro IX, cap. IV, p. 366.

¹⁰² Dijksterhuis, 1987, Chapter XIV. Floating Bodies; Russo, L., 2017.

¹⁰³ Su Archimede e sull'eredità dei suoi scritti si vedano gli atti del convegno Archimede e le sue fortune a cura di Fera, Gionta e Rollo, 2014; Napolitani, 2001; Dijksterhuis, 1987, Chapter II. The Works of Archimedes. Manuscripts and Editions. Per la diffusione delle traduzioni di Archimede nel mondo arabo si veda Sinopoli, 2015, p. 53.

¹⁰⁴ Rimandiamo alle note di Billanovich in Petrarca, 1943: tra i libri posseduti non sono segnalati testi di Archimede, a differenza di quanto fa intendere Napolitani.

indisponibili o incomprensibili¹⁰⁵. Inoltre, Archimede spesso dimostrava i suoi teoremi senza guidare il lettore. È chiaro che all'interno di un ambiente come quello abachistico, dove si imparava per applicazione di casi e rubando con gli occhi, i testi di Archimede erano poco utili all'apprendimento.

Le prime notizie in Occidente dei codici di Archimede arrivarono dal mondo arabo, nel quale circolavano due codici greci:

-il codice A, contenente *Sfera e cilindro I e II, Misura del cerchio, Conoidi e Sferoidi, Sulle Spirali, Sull'equilibrio dei piani I e II, Arenario, Quadratura della parabola*, i commenti di Eutocio a *Sfera e Cilindro*, alla *Misura del cerchio* e a *Sull'equilibrio dei piani*;

-il codice B, contenente *Sull'equilibrio dei piani I e II, Quadratura della parabola e Galleggianti I e II*.

Mentre il codice C, contenente *Sull'equilibrio dei piani I e II, Sui copri galleggianti I e II, Metodo, Spirali, Sfera e Cilindro I e II, Misura del cerchio, Stomachion* e riscoperto recentemente, non fu probabilmente utilizzato nelle traduzioni rinascimentali¹⁰⁶.

Guglielmo di Moerbeke, traduttore fiammingo tornato dall'Oriente e stanziatosi presso la corte papale di Viterbo, fu uno dei principali artefici del mancato oblio dei contributi di Archimede¹⁰⁷. Stimolato da un ambiente, quello viterbese, estremamente dinamico e interessato alle opere di matematica antica (ad esempio la corte viterbese era frequentata da Leonardo Pisano, Campano da Novara, Roger Bacon, Erazmus Ciolek Witelo, John Pecham), nel 1268-1289 Moerbeke aveva prodotto una traduzione latina dei codici greci A e B, ora conservata presso la Biblioteca Apostolica Vaticana (ms. Ottob. Lat 1850). La traduzione di Moerbeke (d'ora in poi codice O) stranamente non conteneva l'*Arenario* e i commenti di Eutocio alla *Sfera e il cilindro* e a *Sull'equilibrio dei piani*, mentre conteneva il *De analemmate* di Tolomeo. Purtroppo non sappiamo quando e in che modo i codici fossero arrivati a Viterbo, cioè se Moerbeke li avesse portati con sé dall'Oriente o fossero giunti a Viterbo mediante altri canali. In ogni caso, la traduzione di Moerbeke, di cui verranno realizzate solo poche copie, avrebbe permesso ai lavori archimedei di non cadere nell'oblio, considerato che in breve tempo i codici A e B fecero perdere le loro tracce. Sebbene avesse avuto carenze notevoli dal punto di vista della coerenza matematica, la traduzione moerbekiana ebbe il pregio di essere un testimone alquanto fedele dal punto di vista filologico dei codici archimedei. Incrementa il suo valore la perdita quasi immediata del codice B, il quale dal 1311 sparì dalla circolazione. Invece, il codice A circolò discretamente nel medioevo, quando alla morte del suo ultimo possessore, il cardinale Rodolfo Pio di Carpi, fece perdere le proprie tracce nel 1564¹⁰⁸.

Per quanto riguarda le numerose traduzioni tentate e i molteplici commentari prodotti, il Quattrocento fu un secolo fertile. Intorno al 1450 l'umanista Iacopo da San Cassiano (Cremonensis), su proposta del fondatore della Biblioteca Vaticana papa Nicola V e servendosi probabilmente di un codice diverso da A, elaborò una traduzione latina più chiara e agevole di quella di Moerbeke, senza tuttavia riuscire a colmare le lacune matematiche¹⁰⁹. Una copia della traduzione di Cremonensis (Biblioteca Apostolica Vaticana, Urb. Lat. 261) venne usata da Piero della Francesca, nel *Trattato d'abaco* e nel *De quinque Corporibus regularibus*, e da Luca Pacioli, nella *Summa*.

Intanto a Vienna il giovane tedesco Johannes Muller da Königsberg, conosciuto come Regiomontano e allievo di Peurbach, faceva la conoscenza del cardinale bizantino Basilio Bessarione, grande umanista, mecenate e bibliofilo. Regiomontano non era solo un giovane studioso, era anche

¹⁰⁵ Ad esempio, Campano aveva frainteso la teoria euclidea delle proporzioni, solitamente nelle scuole d'abaco non si andava più avanti del IV libro, di difficile comprensione era anche la teoria delle sezioni coniche.

¹⁰⁶ Attualmente le traduzioni del *corpus* archimedeo di riferimento sono Heath, 1897; Frajese, 1974; Dijksterhuis, 1987. Sulla trasmissione dei lavori archimedei e sulla meccanica medievale rimangono fondamentali Clagett, 1964-1984, e Clagett, 1972.

¹⁰⁷ Nel 1257 il Papa Alessandro IV aveva spostato la corte pontificia a Viterbo. La sede papale rimarrà in terra viterbese fino al febbraio 1281, quando sarà spostata a Orvieto.

¹⁰⁸ Il codice A, l'originale greco, era in mano a Giorgio Valla, che lo stava utilizzando per la stesura della grande enciclopedia *De expetendis et fugiendis rebus opus* uscita postuma nel 1501. Il codice A passò poi ad Alberto Pio e fece perdere le sue tracce nel 1564, alla morte del cardinale Rodolfo Pio di Carpi.

¹⁰⁹ D'Alessandro e Napolitani, 2012.

un abile matematico e ottimo traduttore: due caratteristiche che si sarebbero rilevate necessarie per proseguire efficacemente l'ardua riscoperta dei testi di matematica antica. Il mecenate bizantino aveva fiutato il talento. Nel 1462 spronò Regiomontano ad aggiornare il lavoro di Cremonensis. Bessarione, da parte sua, aiutò l'astronomo tedesco insegnandogli il greco e mettendogli a disposizione, oltre alla copia della traduzione eseguita dall'umanista cremonese, i numerosi testi di matematica antica di cui era in possesso (come ad esempio la traduzione di Memmo delle *Coniche* di Apollonio e gli *Elementi* di Euclide nella versione di Campano) e una copia del codice A, ovvero il cosiddetto codice E¹¹⁰. L'incontro si rivelò una miscela esplosiva. Da una parte, il matematico-umanista (Regiomontano) era in grado di porsi in modo critico e competente nei confronti sia del contenuto matematico sia dell'interpretazione filologica dei codici archimedei: due facce della stessa medaglia indissolubilmente connesse, tale che senza l'una sarebbe stato difficile comprendere pienamente l'altra. Dall'altra parte, Bessarione, bibliofilo e mecenate, era in grado di mettere a disposizione codici antichi e testi difficilmente reperibili¹¹¹.

Nel 1474 Regiomontano elaborò un *Programma* in cui annunciava di voler pubblicare in successione le *Coniche* di Apollonio, i *Problemi meccanici* attribuiti ad Aristotele, alcune opere di Erone e la discussione critica degli *Elementi* da parte di Campano. Riteniamo sia rilevante l'idea da parte di Regiomontano di usare la stampa per aumentare la fruibilità dell'opera. Purtroppo il lavoro annunciato da Regiomontano non vide la luce, a causa della sua morte prematura.

L'approccio del matematico tedesco fu estremamente innovativo. Finalmente, dopo i diversi tentativi di traduzione del *corpus* archimedeo effettuati da coloro che lo avevano preceduto, Regiomontano, grazie all'unione della sua sensibilità umanistica con la sua abilità matematica, si rese conto che per ripristinare correttamente il contenuto del codice A era necessario riappropriarsi degli altri testi di matematica antica appartenuti alla cultura matematica di Archimede¹¹².

Il lavoro di Regiomontano non sarebbe rimasto vano. Nel 1544 Thomas Geschauff (Venatorius) avrebbe pubblicato a Basilea l'*Editio princeps* comprendente la traduzione di Cremonensis del codice A rivista da Regiomontano e accompagnata dai commenti di Eutocio. Di lì a pochi anni, Commandino avrebbe conosciuto il programma di Regiomontano grazie alla prefazione pubblicata nell'*Editio princeps*.

Nel frattempo, parallelamente alle vicissitudini del codice A, il codice O stava circolando. In quegli anni il possessore era il prete tedesco Andreas Coner, che nel 1527 lo vendette a Marcello Cervini. Da O furono copiate parti che andarono a formare il cosiddetto codice M. Nel 1503 l'astrologo campano Luca Gaurico aveva usato il codice M per il suo trattato *Tetragonismus idest circuli quadratura per Camapanum, Archimedem Syracusanum atque Boetium mathematicae perspicacissimos adiventa*. Il lavoro di Gaurico ha il grande merito di aver reso pionieristicamente fruibili, mediante l'impiego della stampa, alcuni lavori di Archimede¹¹³.

Molto probabilmente il lavoro di Gaurico non ebbe grande diffusione, tanto che nel 1543 il matematico Niccolò Tartaglia pubblicò gran parte del codice M, con alcune correzioni matematiche, facendo intendere di essere stato lui a tradurre il codice archimedeo dal greco al latino. Tartaglia si era formato in ambiente abachistico, ma ben presto dovette lasciare la scuola d'abaco, in quanto non riusciva più a pagare il suo insegnante. Da autodidatta apprese anche qualche nozione di greco e latino. In poco tempo Tartaglia diventò uno tra i più stimati maestri d'abaco nonché autore di influenti trattati e di traduzioni. L'azione editoriale di Tartaglia mirava sia a divulgare l'importanza della teoria

¹¹⁰ Il codice greco E è ora alla Marciana, Venezia Z. Gr. 305.

¹¹¹ Su Regiomontano si veda Malpangotto, 2008.

¹¹² Sul ruolo avuto dagli umanisti nel recupero della matematica antica si veda per esempio Garin, 1994, e Rose, 1975. Sul tema Michela Malpangotto ha presentato una relazione dal titolo *Il ruolo dell'umanesimo matematico nella rivoluzione scientifica*, all'interno del convegno "Federico Commandino (1509-1975): Umanesimo e Matematica nel Rinascimento Urbinate", 18-19 settembre 2009, Urbino.

¹¹³ Gaurico, 1503. Nel 1501 era uscito postumo il *De expetendis et fugiendis rebus opus* di Giorgio Valla, una sorta di grande enciclopedia delle scienze. Il *De expetendis et fugiendis rebus opus* conteneva parti del codice A di Archimede (Valla, 1501).

geometrica per gli architetti e i tecnici sia a mostrare che anche i non dotti fossero in grado di tradurre testi difficili come quelli di Archimede. Sebbene Tartaglia non avesse avuto le competenze filologiche per tradurre Archimede, egli fu un matematico di ottimo livello. Infatti, Tartaglia si guardò bene dal pubblicare interamente il codice M. Da buon matematico, egli omise il secondo dei due libri che costituivano i *Sui corpi galleggianti*, senza peraltro citarne l'esistenza, perché era consapevole del fatto che la seconda parte dell'opera era troppo lacunosa e oscura, in sostanza era praticamente impubblicabile così come si presentava. Qualche anno dopo, nel 1551, Tartaglia pubblicò la traduzione volgare e commentata del primo libro dei galleggianti all'interno dei *Ragionamenti intorno alla sua travagliata inventione*. Nonostante il suo tentativo di omissione, l'editore Curzio Troiano, l'erede dei manoscritti di Tartaglia, nel 1565 avrebbe pubblicato anche il secondo libro de *Sui corpi galleggianti* (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus cum privilegio Troiano Curtio Venetiis*, Venezia, apud Curtium Troianum, 1565), rendendo di fatto palese, da una parte, le difficoltà di Tartaglia nel tradurre autonomamente i codici antichi e, dall'altra, che il matematico bresciano aveva a disposizione anche la seconda parte dell'opera sui galleggianti di Archimede¹¹⁴.

Le strade percorse dal programma editoriale di Regiomontano, seppure solo annunciato, e dal codice O, che finora stavano procedendo su vie parallele, si incontrarono nelle traduzioni di Federico Commandino. Come Regiomontano, Commandino era un buon matematico e un profondo conoscitore di greco e latino. Come abbiamo già in parte detto, il suo progetto di restaurazione di Archimede era iniziato con l'incontro con Marcello Cervini, il quale gli aveva donato il *De analemme* e *Sui corpi galleggianti* tratti dal codice O affinché potesse migliorarne la traduzione. Oltre al codice O, Commandino utilizzò il codice greco E conservato alla Biblioteca Marciana di Venezia, l'*Editio princeps* e, in particolare, la prefazione di quest'ultima in cui veniva presentato il lavoro di Regiomontano.

L'attività di restaurazione de *Sui corpi galleggianti* costrinse Commandino a recuperare gran parte del *corpus* Archimedeo, tanto che nel 1558 decise di pubblicare *Archimedis opera nonnulla*. L'opera comprendeva *Circuli dimensio* (*Misura del cerchio*), *De Lineis spiralibus* (*Sulle Spirali*), *Quadratura parabole* (*Quadratura della parabola*), *De conoidibus et sphaeroidibus* (*Conoidi e Sferoidi*) e *De arenae numero* (*Arenario*).

Nel 1565, circa dodici anni dopo la presa dell'incarico, terminò di emendare i libri I e II de *Sui corpi galleggianti*¹¹⁵. Contemporaneamente all'opera sui galleggianti, Commandino pubblicò anche il *Liber de centro gravitatis solidorum*¹¹⁶, in cui dimostrava che «[i]l centro della gravità del conoide rettangolo sta sull'asse, e lo divide in modo che la parte verso il vertice sia doppia della rimanente parte che sta verso la base»¹¹⁷, proprietà che, secondo l'urbinate, Archimede aveva utilizzato, ma senza darne la dimostrazione. Baldi rivelava che Commandino era persuaso che Archimede avesse studiato o dimostrato tale proprietà in qualche altra opera andata perduta. Pertanto, il *Liber de centro gravitatis solidorum* si configurava come un recupero *ex novo* delle proprietà dei solidi che Commandino riteneva conosciute da Archimede. In effetti, col senno di poi, l'intuizione di Commandino si sarebbe rivelata parzialmente corretta: Archimede aveva descritto, seppure per «mezzo della meccanica», come trovare il centro di gravità di un paraboloide di rotazione nel famoso codice C, venuto alla luce solo nel Novecento¹¹⁸.

Nella prefazione Commandino rivela che, a seguito dell'imminente pubblicazione de *Sui corpi galleggianti*, non poteva più attendere il lavoro di Maurolico sul centro di gravità (*De Momento*), seppure lo ritenesse migliore. Pertanto, Commandino scelse di pubblicare il suo trattato sui centri di gravità dei solidi, affinché l'opera sui galleggianti di Archimede potesse essere bene intesa. Il programma di edizione dei classici matematici da parte di Maurolico era pari per ampiezza e impatto

¹¹⁴ Tartaglia, 1543b; Tartaglia 1551.

¹¹⁵ Commandino, 1565a.

¹¹⁶ Commandino, 1565b.

¹¹⁷ Gamba e Montebelli, 2015, p. IX. Commandino, 1565a, Libro II, Proposizione II, 11 r, *Commentarius*: «[...] quod nos in libro de centro gravitatis solidorum propositione 29 demonstravimus».

¹¹⁸ Netz e Noel, 2007.

culturale a quello di Regiomontano, tuttavia tralasciava il rigore filologico per dare più spazio alla coerenza e alla correttezza matematica. Commandino era a conoscenza del lavoro di Maurolico, grazie probabilmente al ruolo di mediazione di Baldassarre Torres, conosciuto alla corte di Cervini. La scelta di Commandino di non differire oltre la pubblicazione era dettata probabilmente dalla voglia di portare a termine un lavoro iniziato circa dodici anni prima e di concludere finalmente il recupero dell'opera archimedeo con la completa restaurazione de *Sui corpi galleggianti*, traduzione pronta presumibilmente dal 1560¹¹⁹.

Nel 1566, dopo la morte di Ranuccio Farnese, Commandino pubblicò a Bologna, con dedica a Guidobaldo II della Rovere di Urbino, i testi che aveva emendato e utilizzato per correggere, leggere, interpretare, capire e restaurare i *Sui corpi galleggianti* e il *corpus* archimedeo, ovvero i primi quattro libri delle *Coniche* di Apollonio, con i lemmi di Pappo e i commenti di Eutocio, e i due libri di Sereno di Antinopoli (*De sectione conica* e *De sectione cylindri*)¹²⁰.

2.4 Commandino e Euclide

La storia degli *Elementi* di Euclide presenta caratteristiche diverse da quella dei codici archimedei¹²¹. Nel Trecento le opere di Euclide, in particolare gli *Elementi* e l'*Ottica*, circolarono discretamente, oltre che nell'ambiente universitario, anche nelle botteghe e nelle scuole d'abaco. In questi ultimi due luoghi professionali l'*Ottica* euclidea era impiegata per studiare la prospettiva¹²², mentre gli *Elementi* erano utilizzati specialmente nelle scuole d'abaco come contenitori di esempi di calcolo per insegnare a far di conto¹²³. Se questo primordiale uso permise una buona circolazione degli *Elementi* e in alcuni casi le prime traduzioni in volgare, era proprio l'ambiente tecnico stesso che ne impediva una conoscenza approfondita. I testi venivano solitamente copiati o tradotti in volgare dal maestro, a volte poco abile nell'uso del latino, per utilizzarli come testi di insegnamento; perciò era frequente che potesse incorrere anche in errori e in fraintendimenti. Spesso in ambito abachistico la lettura degli *Elementi* non andava oltre il IV libro, dal momento che in pochi avevano le competenze per comprendere il contenuto dei libri successivi. In queste scuole gli *Elementi* non erano impiegati per apprendere la geometria e i procedimenti dimostrativi, ma erano utilizzati come serbatoio da cui estrapolare esempi di uso pratico. Dal momento che, come abbiamo detto, le strategie di insegnamento erano l'emulazione e il rubare con gli occhi, è facile intuire come uno sforzo cognitivo superiore potesse mettere in difficoltà sia gli allievi e sia il maestro non avvezzo a certe pratiche.

Tra la fine del Quattrocento e l'inizio del Cinquecento l'introduzione della stampa contribuì alla veloce diffusione degli *Elementi* di Euclide, producendo come conseguenza una corsa alla loro emendazione ora filologica ora matematica. Nonostante il progressivo miglioramento delle versioni e una maggiore conoscenza storico-matematica del contenuto, fino alla seconda metà del Cinquecento si continuò ad attribuire gli *Elementi* a Euclide di Megara, anziché a Euclide di Alessandria. Si dovette aspettare l'intervento di Commandino per giungere finalmente alla corretta attribuzione¹²⁴.

¹¹⁹ Si confronti la lettera inviata da Duca di Parma Ottavio Farnese pubblicata in Rose, 1973b.

¹²⁰ Commandino, 1566.

¹²¹ Per una contestualizzazione della trasmissione degli *Elementi* e degli altri lavori di Euclide rimandiamo ai fondamentali Clagett, 1953; Heath, 1926; Folkerts, 1989. Invece sulla tradizione euclidea nel Rinascimento italiano si veda Gavagna, 2009.

¹²² Camerota, F., 2006.

¹²³ Alcune parti di Euclide circolavano tra le scuole d'abaco, in particolare nelle scuole di Firenze, Siena, Pisa, Brescia, Milano. Nel 1485 Raffaello Canacci, maestro d'abaco, tradusse parzialmente Euclide in volgare (Biblioteca Universitaria di Pisa). Sul tema si veda Ulivi, 2002.

¹²⁴ Giusti distingue tre momenti del processo di appropriazione degli *Elementi* di Euclide: fase della giustificazione, fase della sistemazione e fase della riforma del testo euclideo, vedi Giusti, 1993, *Euclides reformatus*, pp. 3-4.

Nel 1482 il tipografo tedesco Erhard Ratdolt pubblicò a Venezia la versione di Campano da Novara (1255-1261 circa) degli *Elementi* di Euclide¹²⁵. Se consideriamo che il primo testo stampato in Italia risale al 1465-1467, la pubblicazione degli *Elementi* di Euclide rappresentò una delle prime opere a stampa e tra le prime ad indirizzo matematico. L'edizione degli *Elementi* non fu il primo testo a stampa edito da Ratdolt: egli aveva iniziato la propria attività veneziana pubblicando nel 1476 la seconda edizione del *Kalendarium* di Regiomontano, libretto in cui venivano riportati i calcoli astronomici per determinare le fasi lunari, le eclissi e gli equinozi¹²⁶.

La caratteristica della versione di Campano era la coerenza matematica, che tuttavia andava a discapito della correttezza filologica. Di contro, nel 1505 Bartolomeo Zamberti, allievo di Giorgio Valla, proponeva una sua versione in cui prediligeva l'aspetto linguistico. Zamberti, affidandosi a uno sconosciuto codice greco¹²⁷, l'unico che aveva a disposizione, dava priorità alla correttezza filologica, senza emendare i passi matematicamente oscuri. Dalla traduzione di Zamberti emergeva una versione degli *Elementi* molto vicina all'originale, in cui diventava evidente dove fosse la mano dei commentatori e dove quella di Euclide. L'edizione di Zamberti spaccò il mondo dei lettori degli *Elementi*: alcuni ritenevano si dovesse privilegiare la bontà di un'edizione più filologicamente corretta a danno della coerenza matematica, altri invece sostenevano che si dovesse dare priorità alla coerenza di quest'ultima. Luca Pacioli, profondo conoscitore della lingua latina e richiestissimo maestro d'abaco (era stato chiamato a insegnare in molte scuole, città e comuni, in particolare ricordiamo la prestigiosa scuola di Rialto), nel 1509 pubblicò una versione latina degli *Elementi* (probabilmente aveva scritto anche una versione in volgare, ora perduta) in cui difendeva l'edizione di Campano dagli attacchi di Zamberti.

Nel 1516 ci fu un tentativo di unione delle due versioni: Jacques Lefèvre d'Etaples (Stapulensis) diede alle stampe un'edizione degli *Elementi* dove si giustapponevano le versioni di Campano e Zamberti nel tentativo di compensare le reciproche manchevolezze. La versione di Lefèvre avrebbe avuto ampio successo, tanto da essere continuamente ristampata fino al 1558 e da far passare inosservata l'*Editio princeps* del 1533 di Gryneus¹²⁸.

Una menzione particolare merita l'edizione degli *Elementi* di Euclide di Niccolò Tartaglia, pubblicata nel 1543 da Roffinelli. L'edizione di Tartaglia è molto importante per due aspetti: in primo luogo, essa era la prima versione a stampa degli *Elementi* di Euclide in volgare e, in secondo luogo, insieme alla versione latina di Archimede, uscita nello stesso anno e curata dallo stesso editore, andava a comporre la propaganda in favore dell'abilità umanistica da parte dei pratici. Per la sua edizione usò come base Campano e lo corresse usando sia la traduzione di Zamberti sia la propria esperienza come maestro d'abaco¹²⁹.

Il processo di correzione e di restaurazione, giocato principalmente su due filoni quasi paralleli, quello matematico e quello filologico, come era accaduto con Archimede, si concluse nel 1572 con la versione di Federico Commandino¹³⁰. Commandino aveva intrapreso la traduzione di Euclide su indicazione del duca Francesco Maria II della Rovere, il quale lamentava errori di traduzione, di stampa e di costruzione delle figure. Commandino basò la sua traduzione latina degli *Elementi* di Euclide su alcuni codici greci, tuttora sconosciuti, e sull'*Editio princeps* pubblicata nel 1533. Commandino usò inoltre il Commento di Proclo nella versione di Francesco Barozzi¹³¹. Stranamente

¹²⁵ Il tipografo aveva scelto la versione di Campano perché presumibilmente era la più diffusa in Occidente. Inoltre, quest'ultima era la stessa versione che aveva citato Regiomontano nel *Programma* del 1474. Campano aveva utilizzato la versione di Roberto da Chester basata su una traduzione araba affiancata da fonti latine, sulla versione degli *Elementi* di Johannes de Tinemue, su una traduzione fatta dal greco nella Sicilia normanna, sulla coeva *Arithmetica* di Giordano Nemorario e il commento di Anaritius agli *Elementi*. Correda la versione la presenza di commenti personali.

¹²⁶ Il *Kalendarium* di Regiomontano è disponibile al link: <https://www.univie.ac.at/hwastro/books/regioColMed.pdf>.

¹²⁷ Riccardi, 1887, p. 641.

¹²⁸ Nel frattempo, nel 1530, Maurolico stava lavorando a una sua versione, seppure elaborata sulla falsa riga di quella di Zamberti, caratterizzata da autonomia e originalità nelle dimostrazioni.

¹²⁹ Tartaglia, 1543a.

¹³⁰ Commandino, 1572b.

¹³¹ Anche Barozzi fu allievo di Marco Antonio de' Passeri. Sulla matematica di Barozzi si veda De Pace, 1993.

l'urbinate non usò alcuni tra i codici più antichi conservati presso la Biblioteca Apostolica Vaticana (come ad esempio BAV, Vat. Gr. 190)¹³². Commandino non si limitò all'emendazione e alla ricostruzione della veste matematica dell'opera euclidea, ma perfezionò anche le notizie storiche sull'autore e sulla composizione degli *Elementi*. I contemporanei di Commandino pensavano che Euclide fosse Euclide di Megara, famoso allievo di Platone. Il matematico urbinato aveva invece capito, sulla base del bagaglio di conoscenze possedute all'epoca dal matematico greco e dal fatto che venisse citato Aristotele, che fosse opportuno collocare l'autore degli *Elementi* più avanti di circa un secolo. Inoltre, Commandino attribuì i primi tredici libri a Euclide e l'inizio del quattordicesimo e l'inizio del quindicesimo a Ipsicle Alessandrino. Nel tempo i filologi collocarono la composizione degli *Elementi* in un periodo molto dilatato e assegnarono i primi tredici libri non a Euclide ma alla scuola di Euclide, il quattordicesimo libro a Ipsicle e il quindicesimo libro a Isidoro di Mileto¹³³. Il grande merito di Commandino è quello di aver ristabilito un'adeguata coerenza matematica interna e un'ottima veste letteraria a un testo che si presentava lacerato dalle interpretazioni. L'Euclide latino di Commandino, insieme alla versione degli *Elementi* di Clavio uscita nel 1574, sarebbe stato un testo di riferimento sul quale si formarono le successive generazioni di studiosi¹³⁴.

Inoltre, segnaliamo che con gli *Elementi* Commandino otteneva anche il *Privilegium* da Gregorio XIII. Col *Privilegium* papale veniva riconosciuta formalmente a Commandino la paternità della restaurazione dei testi di matematica antica e i diritti su tutti i lavori pubblicati e sui lavori non ancora pubblicati¹³⁵. Ciò è interessante perché dimostra che Commandino era consapevole del lavoro svolto e, così facendo, evitava che qualcuno se ne potesse appropriare. Nel 1575 uscì la versione volgare degli *Elementi*, stampata nella sua casa a Urbino e a cura del tipografo Domenico Frisolino¹³⁶. La scelta di tradurre gli *Elementi* latini in volgare rispondeva all'esigenza linguistica da parte di tecnici, di architetti e di curiosi non erano in grado di padroneggiare il latino ma interessati alle questioni contenute. Con la versione volgare di Euclide, la tanto profusa utilità delle discipline matematiche, annunciata da Commandino nelle sue traduzioni precedenti, prendeva finalmente consistenza¹³⁷.

2.5 Lo status della matematica per Commandino

Tra il Quattrocento e il Cinquecento l'insegnamento delle "Discipline Matematiche" era collocato al margine della formazione di un giovane, la quale era principalmente incentrata nell'insegnamento della grammatica, della dialettica e della filosofia naturale¹³⁸. Tuttavia, proprio a cavallo tra i due

¹³² Appendice, A2.

¹³³ Inoltre, nei *Prolegomeni*, dopo aver citato la diatriba tra Pietro Ramo e Giovanni Buteone sull'attribuzione degli *Elementi* a Euclide o a Teone di Alessandria, Commandino afferma che erano da attribuire a Euclide sia gli *Elementi* che le dimostrazioni, mentre a Teone i commentari per chiarire le dimostrazioni. Sul tema si veda Gamba, 2009a, pp. 24-25.

¹³⁴ Gavagna, 2009; Borgato, 1981. Marco Nathan, nel corso del seminario dal titolo *The Logic-Mathematical Foundations of Philosophy* (Seminario Synergia, Urbino, 22 aprile 2020) ha argomentato in favore dell'idea che alla base della conoscenza del sintetico a priori di Kant vi sia il procedimento assiomatico-deduttivo contenuto negli *Elementi* di Euclide.

¹³⁵ Tra i progetti incompiuti di Commandino coperti dal *Privilegium* papale vi erano anche le annunciate ma mai terminate traduzioni di Diophantus e Alcyone.

¹³⁶ Commandino, 1575a. Secondo Maria Moranti l'oscuro Frisolino è collaboratore di Franceschini, il quale non aveva accettato di eseguire la stampa della versione volgare degli *Elementi* di Euclide in casa di Commandino (Moranti, 1967; sul tema si veda anche Gamba e Montebelli, 1988, p. 25, nota 23). Il disegno dei capitoli è attribuito a Federico Barocci o alla sua bottega (Moranti, 1981).

¹³⁷ Commandino scrive nella prefazione al *De analemme* (Commandino, 1562, prefazione): «Pertinet autem ad eam optices parte, quam veteres scenographicen appellarunt. Nam optice, quae generis nome obtinuit; catoptricen, scenographicen. Haec postrema maximo usui est architectis, cum aedificiorum imagines, aut alii quidpiam describere volunt». E nella prefazione alle opere di Archimede Commandino scrive (Commandino, 1558a, prefazione): «Quam vero late pateant hae disciplina; quantas utilitates, et domesticis, et forensi bus rebus importent, ex earum di visione apertissime cognoscemus. Liquide primum vel circa ea versantur, quae quamvis a materia re ipsa separari non possunt: tamen cogitatione, atque intellectione, ut separabilia comprehenduntur: quod genus sun geoemtria, et Aritmetice».

¹³⁸ Gatto, 2008. La matematica era meno considerata della filosofia naturale anche perché quest'ultima, a differenza della matematica, ambiva a spiegare le cause dei fenomeni.

secoli le cosiddette discipline matematiche iniziarono ad acquisire sempre più valore e importanza sociale, in particolare a seguito della specializzazione delle tecniche, dell'aumentare delle conoscenze scientifiche e della loro applicazione nel contesto bellico, come nella costruzione di armi e di sistemi di difesa. L'«emancipazione» sociale delle matematiche è testimoniata anche dalle lettere dedicatorie e dalle prefazioni alle opere di Commandino, in cui spesso l'urbinate rivendicava l'utilità della matematica sia per la comprensione della realtà sia per il benessere della società, propagando la sua autonomia e la sua importanza nell'ambito del fabbricare, governare e commerciare¹³⁹. Questi temi vennero toccati anche nell'importante introduzione agli *Elementi* di Euclide, i *Prolegomena* (*Prolegomeni*) in cui l'urbinate delimitava il campo della matematica e il suo oggetto di studio¹⁴⁰.

Intendiamo ora analizzare i *Prolegomeni* di Commandino agli *Elementi* di Euclide. Nei *Prolegomeni*, Commandino, seguendo la classica tripartizione della conoscenza già esposta da Proclo, distingue la matematica dal divino e dalla conoscenza sensibile. Secondo Commandino il divino, che «tanto avanza» rispetto alle altre due, non è spiegabile con le parole; mentre la conoscenza sensibile è intimamente ancorata alla mutevole materia. La matematica è posta in mezzo, «perché se con diligentia si miri la sua conditione si troverà lontana da ogni materia, parte perché pare, che in certo modo le sia congiunta, avenga che senza cotal congiungimento sarebbe all'intelletto nostro per la sua debolezza incomprendibile». Questa divisione in gradi implica che la matematica ha più quantità di certezza rispetto alla filosofia naturale, la quale, secondo l'urbinate, si basa sulla probabilità. L'assegnazione di un ruolo intermedio alla matematica nella gerarchia della conoscenza serve soprattutto per sostenere la sua dignità e nobiltà. Questo obiettivo, ed è evidente nei *Prolegomeni* agli *Elementi*, poteva essere raggiunto prima di tutto mediante una genealogia autorevole delle «discipline matematiche»¹⁴¹.

L'oggetto di studio della matematica viene definito da Commandino distinguendo le due quantità trattate dalla matematica: la quantità continua e la quantità disgiunta. La continua si divide in mutabile e in non mutabile; mentre la disgiunta in quella che è disgiunta di per sé o rispetto ad altro. La geometria è matematica continua e non mutabile, l'astrologia è continua e mutabile, l'aritmetica è disgiunta di per sé, la musica è disgiunta rispetto ad altro¹⁴². A questo punto Commandino indica il tipo di quantità di cui la matematica si occupa. Secondo Commandino la matematica si occupa delle quantità che hanno la caratteristica di essere separabili dall'oggetto mediante l'immaginazione (come ad esempio il «diritto», il «curvo», ecc.), mentre non si occupa di quelle proprietà non separabili dai corpi (come ad esempio il «caldo», il «freddo», ecc.). Secondo la suddetta divisione, entità come punto, retta, cerchio non sono entità né metafisiche né intimamente legate all'oggetto sensibile, ma esse hanno origine nella realtà sensibile e possono essere disgiunte grazie all'intelletto e all'immaginazione. Seppure abbiano una base empirica, precisa Commandino, le matematiche non sono fallaci o instabili, come potrebbe essere la nostra conoscenza sensibile. Secondo Commandino la certezza della matematica risiede nell'autoevidenza degli assiomi e nel procedimento dimostrativo, che, partendo dalle premesse e mediante l'applicazione di regole corrette, rende veri i teoremi.

¹³⁹ Sulla giustificazione culturale della matematica nelle opere del Cinquecento si veda per esempio Ferraro, 2008, pp. 13-21. Sull'importanza della matematica per il fabbricare, governare e commerciare si vedano anche Ciocchi, 2003, e Rossi, 2017, pp. 60-78.

¹⁴⁰ «Prolegommeni» volgari sono la traduzione dei «Prolegomena» latini. Noi per comodità faremo riferimento alla versione volgare. Per un esame dei *Prolegomeni* rimandiamo a Gamba, 2009a, Rambaldi, 1989.

¹⁴¹ Commandino non si era limitato alla traduzione di Archimede, ma ne aveva sposato i principi e la dottrina. Per lui Archimede è la matematica. La critica, evidenzia Meli, alla certezza della conoscenza sensibile, ascrivibile al modo di indagare la natura da parte della filosofia naturale, può essere letta come una critica ad Aristotele. Meli ricorda pure che tra le letture di Commandino c'era anche l'opera di Giovanni Filopono di Alessandria, uno dei maggiori critici di Aristotele e autore di un commentario sul *De anima*. Secondo Meli, che cita l'articolo di Schmitt, Filopono potrebbe aver influenzato Commandino come ha influenzato il pensiero di Galileo (Bertoloni Meli, 1992, p. 12 e Schmitt, 1987).

¹⁴² L'armonia della musica è generata dal rapporto tra vari suoni. La classificazione delle quantità ricorda quella aristotelica in Aristotele, 1996b, *Categorie*, Capitolo VI.

*Tutte le Mathematiche trattano della quantità. E coll'aiuto di lei recano à fine tutto ciò, che à far si pongono. Quinci è cosa facile à conoscere quante e quali siano le parti di questa disciplina. Perché chi è, che non sappia essere due maniere di quantità, l'una continua, l'altra disgiunta? E che ciascheduna di queste in due si divide? Cioè la continua in mutabile, e non mutabile. La disgiunta in quella, ch'è per se, e nell'altra, che con rispetto si considera. Dalla qual divisione sorgono quattro maniere di Mathematiche. Quella scienza dunque che ha in consideratione le grandezze, e le figure continue non mobili si prese il nome di Geometria. E è la scienza di quantità continua, e immobile nel suo sito. L'altra, che considera la continua e sempre mobile, chiamasi Astrologia: e è cognitione di quantità continua sempre mobile, e di quelle cose che accadono a movimenti suoi. Nello stesso modo sta l'Aritmetica nella quantità disgiunta: e i numeri pari, o non pari senza farne con altri comparazione, da se stessi si considera: e è scienza di quantità disgiunta, e come da se stessa conosciuta. La Musica attende ad una reciproca habitudine de' suoni, da' quali nasce l'harmonia: generata in vero dalla quantità disgiunta, ma nondimeno congiunta in altro modo. E è questa notizia di quantità disgiunta, ma tra se stesse, e a se stesse vicendevolmente paragonate. Ma prima, che raccontiamo l'altre spetie delle matematiche, narreremo la ragione, e spiegheremo il modo, per cui diciamo con autorità d'huomini dotti la quantità così continua, come disgiunta essere soggetto de' Mathematici. Percioche non si deve assolutamente intendere di quel quanto, che è tra i sensibili, ne di quello, che intorno a corpi si considera: avenga che piu tosto si compresa tra i termini del Filosofo naturale, che dal Matematico questa consideratione. Quelle cose adunque, che sono col corpo naturale, ne da quello separar si possono, sono di due sorti: alcune, che ne con effetto, ne col pensiero dal corpo possono seprarsi, come il caldo, il freddo, e la secchezza: le quali cose egli ritiene in se come corpo naturale. Altre sono, che tuttoche con effetto disgiungere non si possano, con l'animo nondimeno si fingono talhora separate. Havendole egli non per se, ne per quanto egli è corpo naturale, ma per accidente: come sono il diritto, il curvo, il piegato, e altre cose tali. E dunque lo studio del Matematico in questo modo nelle quantità, e nelle figure tratte e rimosse dalla materia col pensiero, come cose separabili: e di quella dà le deffinitioni senza toccar punto la materia. Che cosa è la linea? *μηκος απλατές* lunghezza senza larghezza. Che cosa è triangolo? Una figura chiusa da tre linee. E il circolo? Una figura contenuta, e circonscritta da una sola linea. Non si fa qui mentione alcuna di materia: non si scorge per la ragione assegnata alcun vestigio di lei. Non sia però chi dubiti, che le matematiche cadano in qualche errore; essendo appoggiate à sì debole, e infèrmo soggetto, che solo colla imaginatione compreso si possegga. Perché il Geometra si serve della imaginatione, come d'una tavola: dividendo le grandezze: misurando gli spatii: disegnando le linee, e queste tutte s'imagina egli non come cose finte; ma come quelle, che siano in un certo modo con la Natura congiunte. Ne si possono chiamar puri sogni: ne per tali imaginazioni si macchiano di bugia le discipline matematiche. Le quali quanto sono per la conditione della materia alle divine scienze inferiori, altrettanto poi avanzano quelle nella stabilità, e certezza delle demonstrationi. Ma raccontiamo homai l'altre spetie delle Matematiche. Fatta dunque un'altra divisione, diciamo che le facultà amtematiche s'occupano nelle cose ò intelligibili, ò sensibili: intelligibili chiamando tutte quelle considerationi, che l'anima per se stessa suole eccitare togliendosi dalle forme materiali.¹⁴³*

Nei *Prolegomeni* Commandino individua nell'aspetto quantitativo dei fenomeni l'ambito di azione della matematica. Secondo l'urbinate le discipline matematiche si possono solo occupare delle parti quantitative e separabili delle cose e non della loro essenza o della loro qualità, poiché queste ultime non sono misurabili né quantificabili.

La distinzione tra quantità separabili e non separabili adombra la distinzione tra qualità oggettive (proprietà matematiche che risiedono nell'oggetto e ne danno conoscenza oggettiva) e qualità soggettive (proprietà legate alla sensazione e che ne danno conoscenza soggettiva) che emerge nel *Saggiatore* di Galileo (1623)¹⁴⁴. Tuttavia rileviamo un'importante difformità. Commandino

¹⁴³ Commandino, 1975a, *Prolegomeni*, pagine non numerate (p. II), corsivo nostro.

¹⁴⁴ Galilei, 1933c, *Il Saggiatore*. Zabarella, il cui pensiero ha condizionato anche il giovane Galileo (sul tema si vedano Wallace, 1992; Mikkeli, 2018), e Commandino frequentarono negli stessi anni l'università patavina, si può anche supporre che ci fosse stata anche una contaminazione reciproca delle idee riguardanti la gerarchia delle conoscenze.

differenziava le quantità separabili da quelle non separabili per delimitare il campo di studio della matematica. Invece Galileo distingueva le due qualità per argomentare da un punto di vista fisico l'origine della sensazione: secondo lo "scienziato" toscano le qualità come il caldo e il rosso non sono proprietà dell'oggetto percepito ma devono essere ascritte al soggetto che percepisce, mentre le qualità oggettive, che sono misurabili, risiedono nella materia e sono le uniche qualità che compongono i corpi¹⁴⁵. Dal punto di vista di Galileo le qualità sensibili non possono essere date senza quelle matematiche e non viceversa. Diversamente da Commandino, Galileo inseriva tale distinzione in un discorso più generale sull'origine del calore, che, secondo lo "scienziato" toscano, era dovuto alle particelle minime (gli atomi) che compongono la materia e che colpiscono i nostri sensi.

Restami ora che, conforme alla promessa fatta di sopra a V. S. Illustrissima, io dica certo mio pensiero intorno alla proposizione "Il moto è causa di calore", mostrando in qual modo mi par ch'ella possa esser vera. Ma prima mi fa di bisogno fare alcuna considerazione sopra questo che noi chiamiamo caldo, del qual dubito grandemente che in universale ne venga formato concetto assai lontano dal vero, mentre vien creduto essere un vero accidente affezione e qualità che realmente risegga nella materia dalla quale noi sentiamo riscaldarci.

Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo, in questo o quel tempo, ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poche o molte, né per veruna imaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata: anzi, se i sensi non ci fossero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per sé stessa non v'arriverebbe già mai. *Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc., per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altro che puri nomi, ma tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate ed annichilate tutte queste qualità; tuttavolta però che noi, sì come gli abbiamo imposti nomi particolari e differenti da quelli de gli altri primi e reali accidenti, volessimo credere ch'esse ancora fussero veramente e realmente da quelli diverse. [...]* Un corpo solido, e, come si dice, assai materiale, mosso ed applicato a qualsivoglia parte della mia persona, produce in me quella sensazione che noi diciamo tatto, la quale, se bene occupa tutto il corpo, tuttavia pare che principalmente risegga nelle palme delle mani, e più ne i polpastrelli delle dita, co' quali noi sentiamo piccolissime differenze d'aspro, liscio, molle e duro, che con altre parti del corpo non così bene le distinguiamo; e di queste sensazioni altre ci sono più grate, altre meno, secondo la diversità delle figure de i corpi tangibili, lisce o scabrose, acute o ottuse, dure o cedenti: e questo senso, come più materiale de gli altri e ch'è fatto dalla solidità della materia, par che abbia riguardo all'elemento della terra. E perché di questi corpi alcuni si vanno continuamente risolvendo in particelle minime, delle quali altre, come più gravi dell'aria, scendono al basso, ed altre, più leggeri, salgono ad alto; di qui forse nascono due altri sensi, mentre quelle vanno a ferire due parti del corpo nostro assai più sensitive della nostra pelle, che non sente l'incursioni di materie tanto sottili tenui e cedenti: e quei minimi che scendono, ricevuti sopra la parte superiore della lingua, penetrando, mescolati colla sua umidità, la sua sostanza, arrecano i sapori, soavi o ingrati, secondo la diversità de' toccamenti delle diverse figure d'essi minimi, e secondo che sono pochi o molti, più o men veloci; gli altri, che accendono, entrando per le narici, vanno a ferire in alcune mammillule che sono lo strumento dell'odorato, e quivi parimente son ricevuti i lor toccamenti e passaggi con nostro gusto o noia, secondo che le lor figure son queste o quelle, ed i lor movimenti, lenti o veloci, ed essi minimi, pochi o molti.¹⁴⁶

¹⁴⁵ Galilei, 1933c, *Il Saggiatore*, pp. 347-348. La distinzione di Galileo è analoga a quella che poi John Locke (*An Essay Concerning Human Understanding*, 1690) etichetterà, utilizzando termini di provenienza aristotelica, come contrapposizione fra qualità primarie e secondarie: Locke, 1836, Libro II, Capitolo VIII, paragrafi 9 e 10.

¹⁴⁶ Galilei, 1933c, *Il Saggiatore*, corsivo nostro.

Sebbene venga giustamente riconosciuta una traccia democritea nella distinzione galileiana delle qualità¹⁴⁷, non possiamo escludere che Galileo potesse aver anche attinto da alcuni lavori e commentari aristotelici, come ad esempio dal commentario di Giovanni Filopono di Alessandria al *De anima* di Aristotele, testo a cui Commandino si era fortemente ispirato¹⁴⁸. Nell'introduzione Giovanni Filopono di Alessandria proponeva una simile distinzione¹⁴⁹.

The mathematician, too, is concerned with the forms that are inseparable from their matter, though not with all of them but only with those that can be conceptually separated. These are the so-called common objects of perception, such as magnitudes and shapes. The form of flesh and bone and similar things cannot even be separated from their matter conceptually; for when the soft and the moist and the red and anything else of which the form of flesh is made up are being thought of, their appropriate matter is being thought of simultaneously, and when their matter is being subjected to abstraction, they too are subjected to abstraction. The mathematician, then, states the definitions of the forms in themselves, as they are the result of abstraction, not by taking account of the matter, but by stating them in themselves. This is also why he does not mention the cause in the definition; for if he also defined the cause, he would inevitably also include the matter. Since, then, he does not deal with matter, for this reason he will not mention the cause either. For example, what is a triangle? A shape encompassed by three straight lines. What is a circle? A shape encompassed by one line. In these definitions he does not mention matter, and hence he does not mention the cause through which this form is in this matter either – unless, perhaps, he will mention the causes of the concomitant attributes that necessarily belong to the figures, for example, why the three angles of the triangle are equivalent to two right angles.¹⁵⁰

Sulla conoscenza del commentario di Filopono da parte di Commandino non ci sono dubbi, perché l'urbinate lo cita nei suoi *Prolegomeni*¹⁵¹. Più difficile è capire se effettivamente Galileo avesse letto l'opera di Filopono, in quanto il testo non è stato censito tra quelli appartenuti a Galileo¹⁵². Secondo Bertoloni Meli, che cita un lavoro di Charles Schmitt, Filopono ebbe un impatto di notevole importanza sul pensiero di Galileo¹⁵³. Invece il toscano era sicuramente a conoscenza dei *Prolegomeni*, in quanto la versione latina degli *Elementi* di Euclide curata da Commandino è stata registrata tra i suoi libri¹⁵⁴.

Nei *Prolegomeni* Commandino scrive che per individuare le proprietà matematiche (geometriche) degli oggetti sia necessario compiere delle astrazioni. Per Commandino le proprietà matematiche degli oggetti sono separabili dalla materia e l'immaginazione è fondamentale per

¹⁴⁷ Shea, 2001.

¹⁴⁸ È opportuno precisare che il tema riguardante la “separazione” della componente matematica dei corpi mediante l'intelletto era già stato toccato da Aristotele nella *Fisica*, Libro II, capitolo 2 (Aristotele, 2008a), dove distingue l'ambito di competenza di un fisico da quello di competenza del matematico, libro che Galileo doveva aver posseduto. Tuttavia, Aristotele non si dilunga sulla distinzione tra ciò che è matematizzabile e ciò che non lo è. Tale distinzione riguardante gli attributi separabili e non separabili dall'oggetto fisico è tratteggiata anche nel *De generatione et corruptione*, ma diverso è il tema affrontato. Sul ruolo della matematica nell'opera aristotelica e sul suo rapporto con la fisica si veda Ugaglia, 2017. Si confronti anche Gamba, 2009a, p. 20.

¹⁴⁹ Claessens, 2015, individua la fonte nel commentario di Filopono al *De anima* di Aristotele. L'autore a p. 508 confronta la parte dei *Prolegomeni* riguardante l'ambito di studio del matematico con il commento di Filopono al *De Anima* di Aristotele, 57, 28–58, 3. Un'altra lettura che può aver influenzato la digressione introduttiva di Commandino è il mito della caverna di Platone.

¹⁵⁰ Philoponus in *de Anima*, 57, 28–58, 7. Philoponus, 2005, p. 75. Sul tema si veda Claessens, 2015, p. 508.

¹⁵¹ Commandino, 1575a, *Prolegomeni*, pagine non numerate, p. VII.

¹⁵² Filopono aveva anche ipotizzato la mancanza di proporzionalità tra velocità di caduta di un grave e il suo peso: «se lasciate cadere dalla medesima altezza due corpi l'uno dei quali sia parecchie volte più pesante dell'altro, vedrete che il rapporto fra i tempi impiegati a cadere non dipende dal rapporto fra i pesi, ma che la differenza di tempo è molto piccola», Clagett, 1972, p. 582; Boyer, 1976, pp. 289-290.

¹⁵³ Bertoloni Meli, 1992, p. 12, e Schmitt, 1987. In particolare, Bertoloni Meli scrive che Filopono può avere influenzato Commandino come ha influenzato il pensiero di Galileo.

¹⁵⁴ Si veda per esempio il *database* messo a disposizione dal Museo Galileo: <https://www.museogalileo.it/it/biblioteca-e-istituto-di-ricerca/progetti/banche-dati-e-bibliografie/863-biblioteca-di-galileo.html>.

compiere l'extrapolazione della matematica dalla materia e per interpretare il mondo sensibile. Grazie all'astrazione compiuta, il matematico, senza toccare la materia, riesce a rispondere a domande del tipo: «che cos'è un triangolo? Che cos'è un cerchio?» Le astrazioni, continua Commandino, non introducono falsità nella geometria, ma, al contrario, la certezza delle dimostrazioni tutela il processo conoscitivo¹⁵⁵. Queste questioni hanno avuto un ruolo importante nelle riflessioni dei filosofi dall'antichità ai giorni nostri. Porsi delle domande sull'esistenza degli oggetti matematici significa chiedersi se questi facciano invece parte di una natura effettivamente scritta galileianamente in «carattere matematico»¹⁵⁶ oppure se siamo noi che sentiamo la necessità di chiudere i fenomeni naturali in modelli matematici creati da noi stessi. Il mondo ha di per sé un significato matematico o siamo noi che diamo un senso matematico al mondo? Commandino non si era dilungato sulla questione, proponendo immediatamente un'altra divisione delle discipline matematiche, sulla base di quella data da Tartaglia.

Secondo l'urbinate le facoltà matematiche si occupano delle cose intelligibili o sensibili. Quelle che si occupano delle cose intelligibili sono l'aritmetica e la geometria; mentre le matematiche che si occupano delle cose sensibili sono l'arte delle macchine, astrologia, ottica, geodesia, canonica, musica e l'arte di fare i conti¹⁵⁷. Pertanto, Commandino investe la matematica di un ruolo unificatore capace di interconnettere il mondo empirico con il divino. Tuttavia, precisa Commandino, le matematiche non sono fallaci o instabili, come è la nostra conoscenza sensibile, perché sono sorrette da un procedimento dimostrativo che dà loro un forte grado di certezza. Nella gerarchia della conoscenza, le matematiche possono senza dubbio aiutarci nella comprensione delle cose naturali. Commandino, dopo aver elencato in che modo le professioni fanno uso della matematica e dispiacendosi di dare «cotal macchia a sì liberale et nobile disciplina», mostra l'utilità della matematica in modo da renderla intrigante a chi è più interessato all'utilità pratica e al guadagno che essa può portare, poiché gli uomini «solo per l'utile aprono gli occhi». Affermando che qualsiasi attività professionale e sociale in realtà usufruisce delle matematiche, Commandino intende promuovere e valorizzare l'importanza dell'oggetto del suo lavoro¹⁵⁸.

Hora, perché la maggior parte de gli huomini, et massimamente a questi tempi per l'utile solo aprono gli occhi à gli studi dell'arti nobilissime, et solo con questo disegno danno opera alle liberali discipline, vediamo di gratia se è vero, che le matematiche non vagliono punto, ne arrechino aiuto all'uso del viver humano; come il cieco et vergognoso desiderio del guadagno fece già dire falsamente a certi: i quali hanno fatto, che gli studiosi di questa facoltà siano ignoranti, et da quelli, che hanno altro studio alle mani pubblicamente beffati, come genti, che in cosa vana et di niun momento perdano il tempo, et la fatica. Poiché dunque trattiamo con gli huomini, che non sono mossi se non dalle ragioni dell'utile, contentiamoci di non vederla così sottilmente; et non ci dispiaccia di dare cotal macchia a sì liberale, et nobile disciplina; acciocche questi ancora sentendosi promettere guadagno s'inducano allo studio et all'amore di lei. Neghino prima costoro, se possono, che l'arti meccaniche non rechino aiuto a' negotii popolari.

Sulla base di quanto abbiamo esposto, non è da escludere che la frequentazione delle lezioni di Marco Antonio de Passeri potesse aver influenzato in qualche modo il pensiero di Commandino. Passeri, detto Genova, insegnava filosofia a Padova e aveva tra gli allievi anche Giacomo Zabarella, filosofo

¹⁵⁵ L'importanza della dimostrazione, ovvero la concatenazione mediante il corretto uso di regole logiche di assiomi (veri di per sé) e teoremi (veri sulla base della verità degli assiomi), possiamo trovarla esposta negli *Analitici secondi* di Aristotele (Aristotele, 1996a).

¹⁵⁶ Galilei, 1933c, *Il saggiaiore*.

¹⁵⁷ Sul ruolo delle matematiche si confronti anche Dee, 1570, *The Mathematicall Praeface to Elements of Geometrie of Euclid of Megara*.

¹⁵⁸ Anche il più importante degli aristotelici urbinati, Bonaventura, è grande sostenitore dell'importanza della matematica, tuttavia tra gli urbinati vi era anche chi, come il giurista Pietro Benedetti, difendeva la preminenza del diritto su tutte le altre scienze. Pietro Benedetti ricorda Platone che disprezzava il fare calcoli con l'abaco e critica l'astronomia per le sue diverse opinioni (Benedetti, 1570).

che avrebbe ottenuto la cattedra di logica e che sarebbe diventato importante per le sue teorie sul metodo scientifico. Similmente a come Commandino espone nei *Prelegomeni* agli *Elementi* di Euclide, Zabarella riteneva che la conoscenza fosse organizzata gerarchicamente: alla base la filosofia naturale, nel mezzo le matematiche e al vertice la filosofia. Le matematiche, per il loro ruolo mediano, sono per Zabarella scienza mista¹⁵⁹.

Abbiamo visto l'importanza del contributo di Commandino nel recupero delle opere di Archimede, Pappo, Apollonio ed Euclide. Tra i testi emendati da Commandino vi è anche un'opera di Aristarco di Samo, uno dei primi pensatori ad esporre una teoria di tipo eliocentrico, dal titolo *De magnitudinis et distantis Soli set Lunae*. Dal momento che la rivoluzione scientifica viene spesso inquadrata come l'esito di un duello risolutore tra geocentrismo ed eliocentrismo, potrebbe avere senso chiedersi se Commandino fosse stato più geocentrista o eliocentrista¹⁶⁰. Nonostante l'intrigante dilemma, rileviamo subito che il duello tra le due fazioni sostenitrici delle due principali visioni cosmologiche rappresentava una parte di un ben più complesso cambiamento scientifico e culturale. Il passaggio dalla scienza classica alla scienza moderna non ha avuto come esito il solo affermarsi del paradigma cosmologico eliocentrico, ma segnò anche un nuovo modo di fare scienza basato su diversi elementi: 1) sull'incontro della matematica teorica con la matematica applicata, 2) sulla fiducia nell'affidabilità dello strumento per condurre esperimenti e per sostenere una teoria, 3) sulla consapevolezza della fallibilità dei sensi e della presenza di variabili nascoste, come l'attrito, nello studio dei fenomeni, 4) sulla nobilitazione delle meccaniche e della matematica pratica, 5) sulla graduale messa in crisi della parola dell'autorità a fronte delle prove empiriche, 6) sulla fondazione di un lessico matematico, 7) sul ruolo dell'immaginazione e dell'astrazione, 8) sul recupero della matematica dei matematici e meccanici antichi e, indirettamente, della loro epistemologia. Quindi la polemica cosmologica è un aspetto di un più generale processo di acquisizione del proprio ruolo nell'universo e dei propri limiti conoscitivi¹⁶¹.

Prima di dare una valutazione sul presunto eliocentrismo o geocentrismo di Commandino, è necessario ricordare tre circostanze fondamentali che ci porteranno a ridimensionare il quesito da cui siamo partiti. In primo luogo, il *Commentarius* di Copernico, una sorta di riassunto per amici in cui l'astronomo polacco esponeva la sua teoria eliocentrica poi riversata nel *De revolutionibus orbium coelestium*¹⁶², iniziò a circolare intorno al 1530; tra i suoi fruitori è da segnalare papa Clemente VII, primo protettore di Commandino. In secondo luogo, il *De revolutionibus orbium coelestium* uscì postumo con la prefazione-scudo di Osiander, la quale offuscò le reali intenzioni dell'autore e, allo stesso tempo, ne permise una iniziale e indenne diffusione. In terzo luogo, anche i gesuiti, come ad esempio Cristoforo Clavio, si interessarono all'ipotesi di Copernico¹⁶³. Quindi possiamo supporre che Commandino fosse a conoscenza sia del contenuto del *De revolutionibus orbium coelestium* sia del dibattito cosmologico. Fino al 1616, anno in cui il *De revolutionibus orbium coelestium* venne messo all'Indice, era facile reperire certi libri e addentrarsi in certi studi. Al tempo di Commandino l'eliocentrismo era ancora un'ipotesi di lavoro, tanto che venne discussa anche da Clemente VII. È probabile che Commandino fosse entrato in contatto con tale teoria durante gli studi universitari. Brasavola, professore di medicina a Ferrara, nel 1544 aveva curato con Giovanni Girolamo Monferrato l'edizione a stampa di alcune opere di Celio Calcagnini, tra cui *Quod caelum stet, terra moveatur vel de perenni motu terrae* (*Il cielo sta fermo e la terra si muove o sul perenne moto della terra*)¹⁶⁴ composto nel 1525. Nello scritto l'autore sosteneva, solo con argomentazioni dialettiche e

¹⁵⁹ Mikkeli, 2018. Zabarella avrebbe rivendicato la fallacia della medicina. Dal momento che i due poterono frequentare negli stessi anni l'università patavina, si può anche supporre che ci fosse stata anche una contaminazione reciproca delle idee riguardanti la gerarchia delle conoscenze e l'affidabilità della medicina.

¹⁶⁰ Commandino, 1572a.

¹⁶¹ Koyré, 1970; Rossi, 1989; Rossi, 2000; Kuhn, 1996; Rossi, 2006.

¹⁶² Copernico, 1543.

¹⁶³ Per esempio i calcoli di Copernico saranno utilizzati per la sistemazione del calendario Gregoriano (1582). Sul tema si veda Cappelli, 1906.

¹⁶⁴ Calcagnini, 1525.

senza calcoli matematici né prove sperimentali, la rotazione diurna della terra. Riferimenti cosmologici erano anche nell'opera *Sui corpi galleggianti*, dove Archimede sostiene che le acque mantengano una forma sferica e che il loro baricentro sia coincidente con quello dell'universo. Pertanto, dal momento che anche Archimede alludeva a una conformazione geocentrica dell'universo, allora tale ipotesi doveva essere per Commandino di enorme valore.

Le prime, seppure parziali, prove empiriche arriveranno nel 1610 con la pubblicazione del *Sidereus Nuncius* da parte di Galileo¹⁶⁵. Vedremo, quando parleremo di Guidobaldo, che la comparsa della supernova del 1604 avrebbe creato discreto scompiglio e contribuito alla scelta di proibire nel 1616 la circolazione del *De revolutionibus orbium coelestium*. Dunque, al tempo di Commandino la discussione cosmologica era una delle tante discussioni dell'epoca. È da considerare che, vuoi per tradizione, vuoi per furbizia, Commandino e i suoi allievi rimasero spesso lontani da tali questioni, le quali sarebbero diventate progressivamente sempre più spinose. Inoltre, ricordiamo che nell'unica opera di Aristarco tradotta da Commandino non viene discusso l'eliocentrismo e che Commandino riporta senza commentare l'ipotesi eliocentrica di Aristarco, esposta da Archimede nel *De arenarum numero*¹⁶⁶. Pertanto, non è possibile attribuire a Commandino una posizione di tipo geocentrica o di tipo eliocentrica. Probabilmente, come del resto tutto l'ambiente urbinato, era sostenitore della cosmologia "intermedia" di Tycho Brahe¹⁶⁷.

Un'ultima considerazione. Spesso tendiamo ad attribuire i nostri modi di pensare, la nostra cultura e *forma mentis* a pensatori di tutt'altra epoca e a valutare, in base alle nostre conoscenze scientifiche, la scienza e le polemiche di altri periodi storici. Allo stesso modo, riteniamo importante chiedersi se gli urbinati del Cinquecento fossero più eliocentrici o geocentrici, perché sappiamo che il cambio di prospettiva cosmologica fu traguardo fondamentale che ha profondamente cambiato lo stesso modo di pensare. Il rischio è quello di valutare i traguardi scientifici senza tener conto delle conoscenze possedute (e non possedute) dei protagonisti e del bagaglio culturale delle varie epoche. Probabilmente Commandino non si chiedeva se la terra fosse al centro dell'Universo o in periferia. Il modello geocentrico (anzi tychoniano) era il più attendibile, dal momento che Aristotele (il Filosofo) e Archimede (il Meccanico), i massimi pensatori dell'antichità, erano persuasi di ciò e le osservazioni non avevano ancora dimostrato, in maniera attendibile, il contrario.

2.6 Metodo e stile argomentativo di Commandino

Nella Busta 120 conservata presso la Biblioteca Universitaria di Urbino (d'ora in poi BUU) sono presenti fogli manoscritti su come sviluppare una dimostrazione. Purtroppo non sappiamo a chi fossero appartenuti, dal momento che la busta non contiene solo scritti di Commandino ma anche quelli dei suoi allievi e degli urbinati della generazione successiva¹⁶⁸. Sarebbe interessante comprendere se nell'attività di restaurazione della matematica antica Commandino avesse seguito un metodo particolare, come fecero per esempio Francesco Maurolico e Luca Valerio, i quali recuperarono la matematica di Archimede in maniera del tutto innovativa¹⁶⁹.

Come ha affermato Ken Saito durante un convegno su Commandino, il filologo e matematico urbinato basava le sue ricostruzioni sull'impostazione archimedea¹⁷⁰. Inoltre, aggiungiamo noi, aveva come metodo dimostrativo di riferimento il procedimento euclideo, cioè la procedura attraverso cui

¹⁶⁵ Ma solo grazie a Newton si avrà una prima spiegazione teorica del funzionamento del sistema solare (Newton, 1687). I lavori di Galileo sui satelliti di Giove furono ritrovati e pubblicati da Albèri (Galilei, 1846).

¹⁶⁶ Nel testo Archimede criticava il rigore matematico di Aristarco, Bertoloni Meli, 1989.

¹⁶⁷ Gamba e Montebelli, 1988, pp. 55-57.

¹⁶⁸ La Busta 120 della BUU (Biblioteca Universitaria di Urbino) è stata studiata da Argente Ciocci in Ciocci, 2018. Le Buste 120 e 121 della Biblioteca Universitaria di Urbino sono consultabili online attraverso il portale ECHO del Max Planck Institut (<https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/home>).

¹⁶⁹ Il paragrafo prende spunto dalle conversazioni intrattenute con Pierluigi Graziani sull'argomento.

¹⁷⁰ Saito, K., 2009, *Le "Galleggianti" di Archimede nella versione del Commandino*, relazione presentata all'interno del convegno internazionale, "Federico Commandino (1509-1975): Umanesimo e Matematica nel Rinascimento Urbinato", 18-19 settembre 2009, Urbino.

da assiomi evidenti vengono dimostrati teoremi mediante la corretta applicazione di regole logiche. A differenza di Commandino, Maurolico trattò le proprietà quantitative come oggetti indipendenti e Luca Valerio introdusse classi di figure per facilitare la dimostrazione di teoremi generali¹⁷¹. Non è facile capire il motivo di questa diversità di approccio. Probabilmente fattori culturali, politici e relativi alla loro sensibilità matematica li hanno portati a intraprendere lo studio di Archimede con un approccio diverso e quasi antitetico rispetto a quello avviato da Commandino.

Nella seconda proposizione del secondo libro de *Sui corpi galleggianti* Archimede aveva applicato, senza allegare una dimostrazione, la proprietà per cui «il centro di gravità di qualunque segmento di conoide rettangolo è sull'asse, diviso in modo che la parte dell'asse verso il vertice sia doppia della restante». Commandino non commenta l'asserzione di Archimede, preferendo rimandare al *Commentarius* della proposizione XXIX del suo *Liber de centro gravitatis solidorum*, dove dimostra che «L'asse di un qualsivoglia segmento di conoide rettangolo è diviso dal centro della gravità in modo tale che parte di asse che va a terminare nel vertice del segmento, è il doppio della parte rimanente che va a terminare nella base»¹⁷².

Cerchiamo di individuare il metodo e lo stile argomentativo di Commandino, prendendo in considerazione il *Liber de centro gravitatis solidorum*, una delle due opere (l'altra è il *De Horologiorum descriptione*) non riconducibili a traduzioni di testi matematici antichi.

Nella parte iniziale del *Liber de centro gravitatis solidorum* vengono definiti: 1) il centro di gravità, 2) l'asse di un prisma, di un cilindro e di un cilindro obliquo, 3) l'asse di una piramide, di un cono e di un cono obliquo e il 4) il tronco. Inoltre, vengono individuati due postulati presi da *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede. Il primo postulato «1. I centri della gravità delle figure solide simili sono similmente posti» ricalca il V postulato de *Sull'equilibrio dei piani* «Aequalibus similibusquē figuris planis intere coaptatis, centra quoque grauitatum inter se coaptati oportet», e il secondo postulato «2. Se figure solide simili e uguali vanno a coincidere tra loro, anche centri della gravità coincideranno tra loro» si basa sul IV postulato de *Sull'equilibrio dei piani* «Similiter autem, si ab altero gravium auferatur aliquid non aequaeponderare; verum ad gravem, a quo nil ablatum est, deorsum tendere»¹⁷³.

Nel *Liber de centro gravitatis solidorum* Commandino dimostra i teoremi secondo una stringente logica euclidea. Dal punto di vista del metodo, possiamo dire che Commandino ragionò per simmetria e per analogia, scomponendo le figure in poligoni di cui sono già noti i centri di gravità¹⁷⁴. Inoltre, l'urbinate fece ampio uso del cosiddetto metodo di esaustione e delle dimostrazioni per assurdo. Questi due procedimenti erano già presenti nei trattati del siracusano; quindi Commandino usò espedienti archimedei, seguendone lo stile, al fine di ripristinare la genuina matematica andata perduta. Possiamo ritenere che il *Liber de centro gravitatis solidorum* venne strutturato impiegando il tipico, ordinato e rigido approccio archimedeo che già Commandino aveva adeguatamente ricostruito nel corso delle sue traduzioni¹⁷⁵.

Tuttavia, come Gamba e Montebelli hanno segnalato, il procedimento emulativo di Commandino non sembra essere sempre infallibile. Nel tentativo di colmare le lacune archimedee,

¹⁷¹ Napolitani, 1982; Napolitani e Saito, 2004.

¹⁷² A commento della Proposizione II del Secondo Libro de *Sui corpi galleggianti* Commandino scrive: «Sitque folidae magnitudinis a p o l grauitatis centrum r, ipfius uero i p o s centrum fit b.] Portionis enim conoidis; rectanguli centrum grauitatis est in axe, quem ita diuidit, ut pars eius, quae ad verticem terminatur, reliquae partis, quae ad basim, fit dupla: quod nos in libro de centro grauitatis solidorum propositione 29 demonstrauimus. Cum igitur portionis a p o l centrum grauitatis fit r, erit o r dupla r n: & propterea n o ipfius o r sesquialtera. Eadem ratione b centrum grauitatis portionis i p o s est in, axe p f, ita ut p b dupla fit b f», Commandino, 1565a, p. 11r. Si confronti con Commandino, 2015, proposizione XXIX.

¹⁷³ Sul tema si veda Gamba e Montebelli, 2015.

¹⁷⁴ Sul metodo di Archimede si vedano Archimede, 2013; Saito, 2013; Foligno, 2016/2017, in particolare il capitolo 2. *Ancient mathematics*.

¹⁷⁵ Sul tema si veda Appendice, A4.

esso appare talvolta soffrire di una mancanza di rigore, in quanto alcune affermazioni vengono giustificate concedendo troppo all'intuizione¹⁷⁶.

Dalla traduzione degli *Elementi* degli Euclide emerge uno stile argomentativo che, invece, sembra dirci qualcosa in più in merito agli studi e alle passioni matematiche di Commandino. Come ha rilevato Enrico Gamba, l'uso sistematico dell'algebra nei libri più difficili degli *Elementi*, appresa grazie al suo maestro Tommaso Leonardi da Fano, indica una discreta sensibilità per la matematica pratica e per i contenuti delle scuole d'abaco. Questo lato delle sue competenze matematiche è da considerarsi inusuale per un appartenente al mondo dei dotti, quale era Commandino¹⁷⁷. La vicinanza con il mondo abachistico è stata recentemente sottolineata da Vico Montebelli in occasione del convegno su Federico Commandino. Nella relazione Montebelli ricordava che dal 1574 il matematico urbinato era in contatto anche con l'algebrista Raffaello Bombelli, autore del trattato *L'algebra, parte maggiore dell'aritmetica*¹⁷⁸. Come ha messo in luce Argante Ciocchi, dai manoscritti emerge che Commandino stava elaborando un manuale di volgarizzazione della matematica archimedeo¹⁷⁹. Dunque, sembra che Commandino fosse interessato alle esigenze dei tecnici, in quanto tra i suoi obiettivi vi era anche quello di predisporre i testi da poco restaurati alla ottimale fruizione dello «strato culturale intermedio».

2.7 La nozione di *momentum*

Fino all'importante definizione di Galileo, la nozione di *momentum* fu spesso oggetto di fraintendimenti, causati soprattutto dalla difficoltà di interpretare lo stesso concetto univocamente¹⁸⁰. *Momentum* era frequentemente utilizzato o nella sua accezione temporale o nella sua accezione meccanica (inclinazione dovuta al variare dell'effetto di un peso in relazione al suo punto di applicazione) o nella sua accezione aristotelica (inclinazione naturale al moto). Con *momentum* veniva tradizionalmente tradotto in latino il lemma greco *ροπή*, termine frequentemente impiegato dai traduttori di Archimede per tradurre il comportamento meccanico della leva esposto ne *Sull'equilibrio dei piani*¹⁸¹.

Commandino impiegò *momentum*, ma senza chiarirlo, per definire *centrum gravitatis* nel *Liber de centro gravitatis solidorum*. Sebbene la traduzione del termine greco *ισόρροπος* con *aequalium momentorum* fosse in linea con il vocabolario filologico dell'epoca, probabilmente Commandino fu il primo a utilizzare il termine *momento* non per indicare un'inclinazione naturale al moto, accezione di estrazione aristotelica, ma per spiegare una proprietà meccanica dovuta al variare dell'effetto di un peso in relazione al suo punto di applicazione. Prima di Commandino, il termine *momento* era stato usato nella sua accezione meccanica da Francesco Maurolico all'interno di alcune sue opere che all'epoca non erano disponibili, se non in forma manoscritta (*Admirandi Archimedis Syracusani Monumenta omnia mathematica ... ex traditione doctissimi viri D. Francisci Maurolici* (1685) e *De*

¹⁷⁶ Gamba e Montebelli, 2015, pp. XX-XXVIII. Galileo aveva scritto che il *Liber de centro gravitatis solidorum* di Commandino «non mancasse di qualche imperfezione», Galilei, 1933b, Quarta giornata, p. 313. Lo stesso Guidobaldo commenta nelle *Meditatiunculae*, BNP (Bibliothèque Nationale de Paris), Fonds Latin 10246, f. 123 (Tassora, 2001, pp. 396-398): «Ultima propositio Federici Commandini De centro gravitatis solidorum, ut notavimus in ipso libro, falsa existit; hac ratione restitui poterit. Et haec demonstratio est Christophori Clavii e societate Jesu». Le *Meditatiunculae* sono state pubblicate in Tassora, 2001.

¹⁷⁷ Appendice, A5.

¹⁷⁸ Bombelli, 1572. Montebelli, V., 2009, *Commandino algebrista*, relazione presentata all'interno del convegno internazionale: "Federico Commandino (1509-1975): Umanesimo e Matematica nel Rinascimento Urbinate", 18-19 settembre 2009, Urbino.

¹⁷⁹ Ciocchi, 2018. L'interesse per l'algebra da parte di Commandino è rilevato anche da Bernardino Baldi (Baldi, 1998, p. 516).

¹⁸⁰ È possibile trovare una definizione di *Momento* nella voce Treccani curata da Gamna, Gamberai, Coppola, Calogero, 1943: «Di una forza di intensità F , applicata in un punto P , si dice "momento rispetto a un qualsiasi punto O (preso come centro o polo)" il prodotto Fd dell'intensità della forza per la distanza d del centro O dalla linea di azione della forza».

¹⁸¹ Galluzzi, 1979, pp. 41-62.

momentis aequalibus (1685))¹⁸². Alcuni anni dopo nella versione lunga de *Le mecaniche* scritta tra il 1592 e il 1599 (l'opera venne pubblicata per la prima volta in lingua francese – *Les Mechaniques* – ad opera di Marin Mersenne nel 1634, mentre la prima edizione a stampa italiana comparve nel 1649 a cura di Luca Danesi – *Della scienza della meccanica e delle utilità che si traggono dagli istromenti di quella* –)¹⁸³, Galileo definì il termine *momento*, mostrando una padronanza della nuova scienza meccanica non posseduta dai suoi predecessori e distinguendo *momento* dalla nozione di gravità, concetti finora rimasti indissolubilmente connessi¹⁸⁴. Secondo Galileo per gravità si deve intendere la «propensione di muoversi naturalmente al basso», invece *momento* è la «propensione di andare al basso cagionata, non tanto dalla gravità del mobile, quanto dalla disposizione che abbino tra di loro diversi corpi gravi». Il momento di una forza, continua Galileo, accresce o diminuisce in funzione alla distanza del suo punto di applicazione.¹⁸⁵

Commandino usò la traduzione latina di *ροπή* all'interno della definizione di centro della gravità di un solido per esprimere l'equilibrio meccanico dipendente dai pesi e dalle distanze dal centro di gravità, in linea con quanto Archimede aveva esposto nelle opere *Sull'equilibrio dei piani* e *Sui corpi galleggianti*.

Centrum gravitatis uniuscuiusque solidæ figuræ est punctum illud intra positum, circa quod undique partes æqualium momentorum consistunt. Si enim per tale centrum ducatur planum figuram quomodocunque secans semper partes æqueponderantes ipsam dividet.

Il centro della gravità di ciascuna figura solida è quel punto posto all'interno intorno al quale le parti di uguali momenti, comunque si mantengono reciprocamente ferme. Infatti se si manda un piano passante per tale centro, che tagli la figura in qualsivoglia modo, la dividerà sempre in parti che equiponderano.¹⁸⁶

Alcuni studiosi hanno evidenziato la problematicità della definizione data da Commandino di centro della gravità, in quanto soffrirebbe di una storica ambiguità dettata sia dalla difficoltà di porre in relazione grandezze differenti, come peso e distanza, sia dall'enigmaticità della variazione del peso di un corpo prodotta dalla posizione assunta. In effetti, nella parte iniziale Commandino scrive che il centro di gravità divide il corpo in due parti di uguali momenti che si mantengono reciprocamente ferme, ma nella frase successiva dichiara che queste parti dovranno pesare allo stesso modo

¹⁸² Sebbene fossero disponibili sin dal 1547, le opere Admirandi Archimedis Syracusani e *De momentis aequalibus* sarebbero state pubblicate postume. Sul tema si veda Moscheo, 1988. Sul tema si veda Galluzzi, 1979, pp. 41-118 e pp. 153-198

¹⁸³ Possono essere individuate due versioni de *Le Mecaniche*: una versione breve, scritta tra il 1592 e il 1593, e una versione lunga, scritta tra il 1592 e il 1599. La versione lunga venne pubblicata per la prima volta in francese nel 1634 da Marin Mersenne. Per ulteriori approfondimenti rimandiamo al saggio di Romano Gatto (Gatto, 2002a, pp. CXLV—CCXV). Un'edizione italiana verrà pubblicata da Luca Danesi nel 1649: Danesi, L., 1649, *Della scienza meccanica, e delle vtilità, che si traggono da gl'istromenti di quella. Opera cauata da manoscritti dell'eccellentissimo matematico Galileo Galilei, dal cauallier Luca Danesi da Rauenna. All'illustrissimo sig. patrone colendissimo F. Valerio Spreti commendatore gerosolimitano*, Ravenna, appresso gli Stamp. Camerali.

¹⁸⁴ Galilei, 2002, Versione lunga, Diffinizioni, pp. 48-49. Possono essere individuate due versioni de *Le mecaniche*: una versione breve, scritta tra il 1592 e il 1593, e una versione lunga, scritta tra il 1592 e il 1599. La versione lunga venne pubblicata per la prima volta in francese nel 1634 da Marin Mersenne. Per ulteriori approfondimenti rimandiamo ai saggi introduttivi di Romano Gatto in Galilei, 2002.

¹⁸⁵ Galilei, 2002, Versione lunga, Diffinizioni pp. 48-49. Sul tema si veda anche Gatto, 2002b, pp. CIV-CV

¹⁸⁶ Commandino, 2015, p. 7. Commandino aveva proposto una definizione alternativa di centro della gravità rispetto a quella data da Pappo.

(*aequeponderantes*)¹⁸⁷. L'ambiguità della definizione sorge dal fatto che le due parti potrebbero avere uguali momenti anche se non pesassero ugualmente¹⁸⁸.

Nel *Liber de centro gravitatis solidorum*, Commandino, forse proprio perché consapevole della difficoltà, usa *momento* solo una volta e all'interno della definizione di centro della gravità. Probabilmente Commandino era ben conscio della novità e della problematicità del concetto, tant'è che avrebbe voluto aspettare il *De momentis aequalibus* di Maurolico perché lo riteneva migliore del suo libro sui centri della gravità dei solidi. Secondo Guidobaldo, la definizione di centro della gravità di Commandino non deve essere considerata una *definitio*, ma piuttosto una *descriptio*. Guidobaldo avrebbe provato a migliorare la definizione di centro della gravità in *In duos archimedis aequaeponderantium libros paraphrasis*, ma con scarsi risultati¹⁸⁹. La corretta definizione di centro della gravità e la sua relazione con il concetto di momento non dovette essere una questione di poco conto, se molti intellettuali dell'epoca si occuparono del tema. Il 24 giugno 1607 il pittore e architetto Francesco Guerrieri scriveva a Cristoforo Clavio per chiedergli come si dovesse intendere la definizione di centro della gravità data da Commandino. Guerrieri rilevava che un corpo diviso in due parti da un piano può essere in equilibrio seppure le due parti abbiano diverso peso¹⁹⁰. Il matematico urbinato Muzio Oddi (1569-1639), in una lettera a Pier Matteo Giordani provò a porre rimedio, correggendo la definizione e aggiungendo "*semper in parte aequaeponderantes circa tale centrum ispa divideret*", quindi mettendo l'accento sul fatto che le due parti, pur avendo pesi diversi, si contrappesano rispetto al centro della gravità¹⁹¹.

Dalla corrispondenza galileiana emerge che l'opera di Commandino sui centri di gravità dei solidi fu alla base dei primi lavori del giovane Galileo¹⁹². Alcuni di questi lavori furono sottoposti a Clavio, a Guidobaldo e a Giuseppe Moletti, ma solo Guidobaldo rispose accettando la sua dimostrazione¹⁹³. Il toscano riteneva che alcune proposizioni dell'urbinato «non mancasse[ro] di

¹⁸⁷ «Infatti se si manda un piano passante per tale centro, che tagli la figura in qualsivoglia modo, la dividerà sempre in parti che equiponderano».

¹⁸⁸ Gamba e Montebelli, 2015, p. LXVI: «Guidobaldo traduce «aequeponderantes» con «peseranno ugualmente», pur rendendosi conto degli equivoci ai quali va incontro, cioè il ritenere che avere momenti uguali sia come avere lo stesso peso. Ma anche la versione latina di Commandino presentava delle difficoltà. La definizione di centro della gravità è formulata in due frasi distinte: la prima dice che esiste un punto rispetto al quale le parti del corpo, aventi uguale momento, si contrappesano; la seconda dice che un qualsiasi piano passante per quel punto divide il corpo in parti 'aequeponderantes'. Manca un nesso chiaro tra le due frasi, tra 'equiponderare' e 'momento'; in tali condizioni non c'è da stupirsi che 'equiponderare' venisse inteso come uguaglianza di peso e la nozione di centro della gravità fraintesa».

¹⁸⁹ Galluzzi, 1979, pp. 58-62 e Frank, 2011, pp. 331-387.

¹⁹⁰ APUG (Archivio storico della Pontificia Università Gregoriana), ms. 259, c. 112r. Francesco Guerrieri a Cristoforo Clavio, 24 giugno 1607, lettera pubblicata in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 251-252.

¹⁹¹ Gamba e Montebelli, 2015, p. LXVII. Per una più ampia discussione si veda l'Appendice, A8. L'interpretazione di Oddi è nella lettera conservata presso la Biblioteca Oliveriana Pesaro, ms. 413, c. 101r, Oddi a P. M. Giordani, Milano, 20 ottobre 1621.

¹⁹² Galilei, 1934a: Guidobaldo del Monte a Galilei, 16 gennaio 1588, n. 10. Sul tema si confronti anche il parere di Baldini e Napolitani riportato in Clavio, 1992, Nota alla lettera n. 42, p. 77. Galluzzi evidenzia i debiti di Galileo nei confronti di Commandino e di Guidobaldo (Galluzzi, 1979, pp. 203 e 206).

¹⁹³ Galilei, 1934a: Guidobaldo del Monte a Galilei, 16 gennaio 1588, n. 10: «E perchè nella sua mi dice di haver altre cose sopra i centri della gravezza, a me farà sempre favor grande a farmi partecipe delle sue cose, che, per questo saggio che mi ha mandato, non possono se non essere di esquisita dottrina; dalle quali so che non potrò se non imparar assai, havendo conosciuto in questa una esquisita et profonda scienza, et un modo di trattar molto bello et assai succinto e breve. Fra alcune lettere, che molti giorni sono occorsero fra il Padre Clavio et me, io le scrissi che l'ultima del Commandino, De centro gravitatis solidorum non era buona per non esser universale; il qual Padre mi mandò poi la sua dimostrazione, assai diversa da questa di V. S. Et ho havuto caro che questa sia stata buona occasione di haver havuto a conoscere, al meno per lettere, V. S». Sul tema si confronti anche il parere di Baldini e Napolitani riportato in Clavio, 1992, Nota alla lettera Volume II, Parte II, nota alla lettera n. 42, p. 77: «Da quanto ne dice qui Galileo, e soprattutto ne dicono Clavio nella sua risposta (lett. n° 43) e Galileo stesso nella replica (lett. n° 44), il lemma si identifica con certezza con uno relativo alla determinazione del centro di gravità del "conoideale rettangolo" (paraboloide di rotazione), il cui testo originale fu pubblicato nell'Edizione Nazionale delle *Opere* di Galileo insieme a teoremi sui "frustri di conoideale" (tronchi di paraboloide), tratti insieme ad esso dai manoscritti galileiani della BN di Firenze (I, pp. 187-208)».

qualche imperfezione»¹⁹⁴. Probabilmente la critica di Galileo era rivolta al carattere meno geometrico (e più algebrico) di alcune delle dimostrazioni contenute nel *Liber de centro gravitatis solidorum*. Secondo Gamba e Montebelli, il giudizio del toscano era principalmente rivolto alla XXXI proposizione, nella quale Commandino sembra sacrificare l'approccio geometrico tradizionalmente impiegato¹⁹⁵. La missiva sui centri di gravità tra Galileo e Guidobaldo avrebbe segnato l'inizio di una fruttuosa amicizia; un'amicizia che avrebbe portato il giovane toscano a scalare il mondo accademico e a lasciare un'impronta nella storia del pensiero scientifico¹⁹⁶.

2.8 Commandino tra filologia e matematica

Paul Lawrence Rose, Marshall Clagett e, più recentemente, Pier Daniele Napolitani hanno in varie occasioni messo in discussione il rigore filologico di Commandino¹⁹⁷. Tali studiosi hanno dimostrato che Commandino non utilizzò, mentre avrebbe potuto farlo, codici ben più antichi di quelli che sicuramente impiegò per le sue traduzioni. Infatti, a quel tempo Commandino aveva accesso alle biblioteche di Roma e di Urbino dove vi erano conservati codici molto antichi di Archimede, Pappo ed Euclide¹⁹⁸. Tuttavia, non sappiamo per quale motivo non li avesse utilizzati, nonostante avrebbe potuto farlo. La risposta alla domanda se Commandino fosse stato un filologo o no, è la seguente: probabilmente Commandino non ebbe un approccio da filologo, almeno secondo i nostri criteri. Commandino non confrontò le traduzioni e non propose un apparato critico con le varianti lessicali; la sua missione era invece esclusivamente quella di recuperare il testo greco da un punto di vista lessicale e della coerenza matematica¹⁹⁹. Commandino scelse le versioni dei codici e i termini che più rispettavano, secondo il suo punto di vista, il pensiero dei grandi matematici che lo avevano preceduto, coerentemente con il contesto matematico e lessicale dell'opera stessa.

Inoltre, è da considerare che il primo interesse di Commandino non fu l'*editio* filologica dei testi, ma tutelare i rapporti con i suoi mecenati, amici e protettori e curare le opportunità di remunerazione. Per esempio le traduzioni de *Sui corpi galleggianti* (1565) e del *De analemmate* (1558) erano state avviate su richiesta di Cervini; invece le edizioni di *Archimedis opera nonnulla* (1558), *Liber de centro gravitatis solidorum* (1565), delle *Collezioni Matematiche* di Pappo (1588) e delle *Coniche* di Apollonio (1566) erano lavori necessari per capire e per recuperare l'opera *Sui corpi galleggianti*²⁰⁰. La ricerca dei codici da parte di Commandino era, quindi, funzionale all'ottimale espletamento dell'impegno editoriale preso con i protettori e non una mera esibizione delle proprie abilità di traduzione dei testi antichi.

Connesso al perseguimento degli incarichi assegnategli dai suoi amici mecenati, vi era l'inevitabile aspetto remunerativo. L'attività di traduzione, che molte volte si prefigurava asfissiante, lunga e per niente semplice, doveva essere sostenuta sia materialmente (possibilità di consultare i codici) sia economicamente (costi legati alla stampa e al sostentamento del traduttore) da qualche facoltoso protettore che finanziasse l'opera e la sua preparazione²⁰¹. Il protettore, dal canto suo, faceva un investimento: il finanziamento non era solo un atto di munificenza, ma era parte di un preciso gioco politico. In ballo c'era il tentativo di attirare i consensi, manifestare il prestigio della propria corte e ostentare il proprio potere culturale. In effetti già da tempo iniziava a farsi strada (almeno fin

¹⁹⁴ Galilei, 1933b, Giornata quarta, p. 313.

¹⁹⁵ Gamba e Montebelli, 2015, pp. XXIII-XXVII.

¹⁹⁶ Si confronti il paragrafo 3.11 *Guidobaldo e Galilei. Gli esperimenti e l'affidabilità dello strumento*.

¹⁹⁷ Clagett, 1964-984; Rose, 1975; Napolitani, 2001.

¹⁹⁸ Come ad esempio l'attuale BAV, Vat. Gr. 190. Appendice, A2.

¹⁹⁹ Baldi, 1998, *Vita di Commandino*, p. 509. Si confronti anche Ciocci, 2018, pp. 251-252.

²⁰⁰ Su richiesta di Torres Commandino aveva tradotto il *Planisphaerium* (1558b), il *De superficierum divisionibus Liber* (1570) di Bagdedinus dopo l'incontro con Dee e gli *Elementi* (1572b) di Euclide su richiesta di Francesco Maria II della Rovere.

²⁰¹ Infatti, il contenuto della lettera inviata da Commandino a Ottavio Farnese del 1560 nasconde proprio questo intento. Sul tema si veda Rose, 1973b.

dal 1300) l'idea che il dominio culturale potesse essere uno strumento efficace, in quanto indicatore del proprio potere, da impiegare nel gioco politico tra signori, dove accanto alla forza delle armi assumeva sempre più valore la forza delle clientele.

A questo punto delle nostre riflessioni è bene porsi una domanda. Quali furono i fattori che portarono Commandino a occuparsi di matematica antica? Possiamo riassumere ciò che già abbiamo detto nei precedenti paragrafi nelle seguenti circostanze: 1) la formazione, 2) i protettori e 3) gli incontri presso le corti²⁰².

- 1) Per quanto riguarda la formazione, il padre Giovan Battista Commandino, architetto di professione, volle per il figlio una formazione umanistica. Grazie al precettore Grassi, Commandino poté crescere immerso tra le lettere e la matematica. L'interesse per la matematica fu rafforzato anche dalla fallibilità della medicina, che, agli occhi di Commandino, all'indomani dei suoi traumi familiari risultava essere una scienza ben meno certa della matematica.
- 2) Dal 1530 al 1575, cominciando da Ridolfi, passando per Farnese e Marcello II, fino ad arrivare a Francesco Maria II della Rovere, Commandino godette della vicinanza e del sostegno, economico e scientifico di protettori facoltosi e molto interessati alle scienze. I mecenati, a loro volta, oltre a saziare una vivida curiosità intellettuale, ricavano prestigio dalle pubblicazioni di tali opere. Infatti, la sua missione filologica venne particolarmente condizionata da Ranuccio Farnese, che lo prelevò da Urbino e lo portò con sé, permettendogli di accedere alle biblioteche più importanti d'Italia.
- 3) Passiamo infine al terzo elemento riguardante gli incontri presso le corti. Hanno avuto un ruolo importante nell'attività di Commandino anche gli intellettuali che incontrò presso le corti dei suoi protettori, come ad esempio gli intellettuali del calibro di Torres, Mendoza, Orsini e Caro. Questi erano appassionati di matematica, architettura, prospettiva e molti di loro possedevano biblioteche di enorme valore²⁰³.

Anche a causa del modo in cui si avvicinò alla matematica, possiamo dire che, a differenza di Maurolico e Valerio, Commandino non fu un matematico intraprendente e originale: non propose sue varianti alle dimostrazioni archimedee e dove Archimede omise, egli colmò le lacune seguendo il siracusano. Nel libro sui centri di gravità Commandino non percorse nuove vie dimostrative, ma perseguì la strada che avrebbe percorso Archimede, se ci fossero pervenuti tutti i suoi lavori. L'impostazione matematica di Commandino è calibrata in modo da ristabilire il contenuto matematico dei testi.

Da un punto di vista matematico, la venerazione eccessiva dei classici fu il maggior limite di Commandino²⁰⁴ e, dal punto di vista filologico, la cieca tentazione di restaurare il testo portò Commandino a compiere vere e proprie scelte di traduzione, come nel caso della Proposizione 6 della *Quadratura della Parabola*. Martin Frank ha recentemente mostrato che, nonostante avesse attinto da quattro diverse traduzioni con almeno tre varianti della stessa Proposizione 6, Commandino adottò la versione di Moerbeke, in cui si allude all'equilibrio stabile, con l'intento di fissare la coerenza matematica del *corpus* archimedeo²⁰⁵. La questione è rilevante, dal momento che il suo allievo Guidobaldo avrebbe dato un'interpretazione opposta alla proposizione in oggetto per supportare e

²⁰² Appendice, A3.

²⁰³ Frank, 2013a.

²⁰⁴ Napolitani, 2001.

²⁰⁵ Una con il riferimento all'equilibrio stabile (codice O), due senza il riferimento all'equilibrio stabile (codice E e la versione di san Cassiano) e una in cui vi è un riferimento al solo fatto che la bilancia equipondera. Sulla trasmissione della Proposizione 6 della Quadratura della Parabola si veda Napolitani e Gioiello, 2012, p. 91. Inoltre, alcune opere di Archimede tradotte da Commandino discordano tra loro su alcune questioni importanti, come ad esempio ne *Sull'equilibrio dei piani* e ne *Sui corpi galleggianti*. Dice giustamente Frank (Frank, 2015b) che ciò che era fondamentale per Commandino era recuperare il pensiero matematico originario di Archimede e renderlo comprensibile.

difendere l'idea che una leva spostata da una posizione orizzontale a una posizione obliqua, avente il centro di gravità coincidente con il fulcro, rimanesse in equilibrio e che, quindi, si trovasse in una condizione di equilibrio indifferente²⁰⁶.

Definire filologico il lavoro editoriale di Commandino, seppure utile per inquadrare l'attività dell'urbinate, non è propriamente corretto. Commandino non si avvicinò ai testi né da filologo né da matematico innovatore: il recupero filologico dei testi e l'intraprendenza matematica passarono in secondo piano rispetto al primo interesse di Commandino perseguito per quasi dodici anni, ovvero il recupero della coerenza lessicale e matematica dei *Sui corpi galleggianti* e, di conseguenza, il recupero della matematica antica al fine di restaurare completamente il testo archimedeo. Il recupero fedele del contenuto doveva perciò essere espresso mediante un'opportuna correttezza terminologica, che non significa filologica, come dimostra l'attenzione nella scelta dei termini e dei neologismi. Come scrive Frank, a differenza di Guidobaldo, che cercava piuttosto di usare Archimede per giustificare la condizione di equilibrio indifferente, l'obiettivo di Commandino era quello di "limitarsi" a fornire una traduzione più fluente e ragionevole possibile.

Tra i modelli linguistici utilizzati da Commandino nelle sue traduzioni possiamo individuare il *De architectura* di Vitruvio nella versione di Daniele Barbaro e probabilmente la lingua latina di Cicerone²⁰⁷. Commandino emendò quasi tutti i testi utilizzando come lingua di scrittura il latino, nonostante i contenuti potessero essere più utili ad architetti, ingegneri e meccanici²⁰⁸. Alla base della scelta di Commandino possiamo individuare molti motivi. Innanzitutto, ricordiamo che il latino era una lingua considerata nobile: il latino era, infatti, la lingua dei poeti, di Cicerone e di Vitruvio e la matematica poteva compiere il suo percorso di nobilitazione solo affidandosi alla spinta propulsiva di una lingua già nobile di per sé. Inoltre, il latino aveva un lessico solido e un vocabolario vasto e uniforme, da dove poter attingere in fase di traduzione. Il volgare, viceversa, era ancora difforme, liquido e cambiava da regione a regione, pertanto non aveva ancora maturato un vocabolario affidabile. Infine, da un punto di vista politico, il latino era la lingua "internazionale" degli intellettuali e delle corti. Possiamo pensare che i nostri urbinati avessero preferito il latino per comodità, per meglio essere compresi e per valorizzare la matematica. Tuttavia il latino, come abbiamo già detto, era per certi versi limitante. Anche se da tempo lo strato sociale intermedio si stava emancipando diventando sempre più dotto, tanti architetti, ingegneri, tecnici e pittori rimanevano esclusi da questa riappropriazione della matematica antica, perché, per usare un'espressione vinciana, erano «uomini senza lettere»; dunque, molti di coloro che avrebbero potuto effettivamente utilizzare la matematica antica per il bene delle città non conoscevano il latino e continuavano a rubare con gli occhi i segreti del mestiere. Commandino si cimerà nella traduzione volgare degli *Elementi* di Euclide proprio perché, scrive il curatore Spacciuoli, il latino non era inteso da tutti²⁰⁹. Come emerge dalla ricognizione dei manoscritti dell'urbinate effettuata da Argante Ciocchi, conservati presso la Biblioteca Universitaria di Urbino, a quel tempo Commandino era anche alle prese con la

²⁰⁶ Renn e Damerow, 2012.

²⁰⁷ Commandino era sicuramente a conoscenza dell'edizione del *De architectura* di Vitruvio pubblicata nel 1556. Per esempio nel *De analemmate* Commandino cita esplicitamente il *De architectura*: «Nam Vitruvius, quem omnia eorum scripta legisse, vel potius devorasse intelligimus, cum de architectura scribens in hunc sermonem de analemmate, ac gnomonicis rationibus incidisset, principia solum attigit, reliquas partes inchoatas, et imperfectas reliquit», Commandino, 1562, dedica a Ranuccio Farnese, pagine non numerate.

²⁰⁸ Gli ingegneri del Cinquecento si occupano di architettura, civile e militare e costruiscono macchine per muovere pesi e belliche, quindi potevano essere comprensibilmente più interessati alla teoria meccanica.

²⁰⁹ Commandino, 1575a, Prefazione di Spacciuoli: «Di quanta utilità elle [le matematiche] siano, dicalo [...] chi [...] attende al nobilissimo esercitio della guerra [...], i medici, i naviganti, i mercatanti, e finalmente i studiosi delle opere d'Aristotile, e di Platone [...]. Questo poco fa M. Federico Commandino mio suocero per ordine di V. E. tradusse in lingua latina [...]. Ma, perché tal lingua non e intesa da tutti quelli, che si servono delle mathematiche; essendo venuto all'orecchie del Commandino, che l'Italia desiderava (poiché ha quasi nel suo idioma libri di tutte le scienze) godere ancora le fatiche fatte da lui intorno a questo libro».

volgarizzazione di un manuale destinato ai “pratici”, in cui vengono affrontati i problemi di geometria archimedeica in stile abachistico²¹⁰.

A testimonianza dell’attenzione per i lavori in lingua volgare, è importante la valutazione data da Commandino alla *Summa* di Luca Pacioli e riportata da Bernardino Baldi:

Il Commandino conoscendo la bontà di quest’opera, e sentendo dispiacere di vederla immersa ne la feccia di lingua cotanto indegna, s’era risoluto di illustrarla e di lingua, e di correzioni, e di figure, e già haveva il tutto a buon termine quando fu sopraggiunto da la morte, che questa e molte altre fatiche fee rimanere imperfette.²¹¹

Secondo Commandino il lavoro di Pacioli era da apprezzare dal punto di vista del contenuto matematico, ma era tutto da rifare dal punto di vista della lingua, in quanto si presentava come un misto di toscano, veneziano e latino. L’obiettivo di Commandino era restaurare la lingua in modo da rendere il testo più comprensibile. Purtroppo morirà prima di cimentarsi nell’impresa²¹².

Infine, ricordiamo il parere del suo biografo e allievo Baldi sulla questione filologica. Baldi ricorda che Commandino da buon matematico non si fermava troppo sulle derivazioni dei nomi, atteggiamento da mero grammatico, perché per chi si occupava di scienze era secondario concentrarsi oltre misura sulla correttezza filologica dei termini. Nonostante questa scarsa predisposizione, Commandino riuscì a formare nuove voci e a uniformare alcuni vocaboli.

Ma posto ancora che malamente fossero stati investigati gl’etimi di quei nomi, non sa il Barocci che a’ matematici il fermarsi di proposito sopra le derivazioni de’ nomi, cosa da mero grammatico, è un trascendere di genere in genere, cosa di molto vitto nel fatto delle scienze? Non meritava dunque riprensione tale il Commandino, il quale, tutto che non facesse del grammatico, seppe con tutto ciò formar nove voci, chiamando egli “Conoide Parabolico” quello che da Archimede, al tempo del quale erano poco in uso i nomi delle settioni, è chiamato “Conoide Rettangolo”.²¹³

L’affermazione di Baldi sembra essere stata tenuta poco in considerazione da chi ha esaminato l’approccio filologico di Commandino. Da essa emerge che Commandino fosse stato più interessato al recupero della coerenza matematica del testo che alla esegesi linguistica.

2.9 Commandino e i suoi interlocutori

Commandino non condusse il suo lavoro di recupero dei testi di matematica antica senza nessun contatto o scambio di idee con i suoi contemporanei²¹⁴. Esso aveva raggiunto i cuori pulsanti della restaurazione e dello sviluppo delle matematiche, come le corti di Venezia, Roma e Messina. Commandino era amico di matematici-filologi del calibro di Niccolò Tartaglia (1499-1557), Francesco Maurolico (1494-1575) e Cristoforo Clavio (1538-1612). La conoscenza del lavoro editoriale di Commandino era arrivata anche in Inghilterra: pur di raggiungere Urbino e incontrare Commandino, il matematico astrologo John Dee (1527-1608) aveva superato il mare, attraversato il Nord Europa, varcato le Alpi e percorso mezza Italia.

²¹⁰ Busta 121, cartella 3. Sull’argomento si veda Ciocchi, 2018.

²¹¹ Baldi, 1998, *Vita di Fra’ Luca dal Borgo S. Sepolcro*, p. 339.

²¹² Rose, 1975, p. 208.

²¹³ Baldi, 1998, *Vita di Federico Commandino*, p. 509. Sull’evoluzione del lessico matematico si veda Manni, 1980.

²¹⁴ Alcuni studiosi (ad esempio Drake e Drabkin, 1969) ritengono che, a seconda dell’approccio alla matematica antica da parte dei protagonisti dell’epoca, possiamo dividere l’Italia in tre zone: il nord dove ad esempio Tartaglia e Benedetti furono promotori della faccia pratica della meccanica e delle sue applicazione; il centro dove Commandino, Clavio e Guidobaldo avviarono una restaurazione della matematica antica; il sud dove, uno su tutti, Maurolico metteva le basi per una nuova scienza matematico-meccanica reinterpretando il pensiero di Archimede.

Di enorme interesse sono le corrispondenze epistolari di Commandino con Clavio e Maurolico, di cui purtroppo sono pervenute poche lettere, in cui si scambiano dimostrazioni, libri e opinioni²¹⁵. Dalle missive emerge che Commandino aveva ricevuto da Clavio alcuni lavori sulla geometria della sfera e la versione degli *Elementi* di Euclide (1574)²¹⁶. I contatti tra Maurolico e Commandino sono impressi anche nelle opere a stampa: Maurolico, nel prologo *De linei horariis brevis tractatus* (1575), aveva citato il *Liber de horologiorum descriptione* di Commandino pubblicato nel 1562²¹⁷. Viceversa, Commandino riponeva grande stima nel messinese tanto da voler aspettare la pubblicazione del libro di quest'ultimo sui centri di gravità dei solidi, già annunciata nell'*Index lucubrationum Maurolyci*, perché convinto che fosse migliore del suo *Liber de centro gravitatis solidorum*²¹⁸. Commandino era a conoscenza dei lavori dello studioso siciliano grazie a Baldassare Torres che dal 1553 frequentava, seppure con poca continuità, la corte di Cervini²¹⁹. Maurolico risiedeva a Messina, in Sicilia, lontano dalle corti più vitali e più fornite di codici, come Roma, Firenze, Urbino, Parma, Venezia e Padova²²⁰. Non per questo si deve però pensare che il suo lavoro su Archimede fosse avvenuto senza nessun tipo di influenza culturale e codicologica. Tra le fonti utilizzate da Maurolico, ricordiamo almeno l'enciclopedia di Giorgio Valla (*De expetendis et fugiendis rebus opus*), il lavoro di Luca Gaurico (*Tetragonismus idest circuli quadratura per Camapanum, Archimedem Syracusanum atque Boetium mathematicae perspicacissimos adiventa*) e il *De curvis superficiebus* di Archimede. Sicuramente, da una parte, una minore esposizione ai circoli letterati e ai vincoli di commissione dei mecenati e, dall'altra, una maggiore facilità di azione permisero al matematico messinese di fare affidamento sulle proprie capacità e di recuperare la matematica antica in maniera originale secondo propri canoni. Proprio questa libertà di azione contribuì probabilmente alla lunga gestazione della traduzione degli *Elementi* di Euclide, la quale, benché fosse stata iniziata nel 1530, verrà portata a termine solo negli anni Settanta del Cinquecento. Possiamo definire il lavoro di Maurolico non come un recupero delle opere di matematica antica, ma piuttosto come una restaurazione dei suoi contenuti²²¹. Un altro fattore che spinse Maurolico ad avere un approccio più matematico che filologico è stato presumibilmente l'inserimento della sua attività scientifica all'interno della politica di rinnovamento dell'insegnamento gesuitico messinese²²². In quest'opera di rigenerazione della didattica della matematica intrapresa da Maurolico dovette aver avuto un ruolo anche Cristoforo Clavio, uno dei suoi più intimi interlocutori. Probabilmente i due si incontrarono nell'aprile del 1574, quando Clavio andò in Sicilia. Forse proprio grazie alla loro amicizia possiamo ritrovare tracce del metodo di Maurolico nell'opera di uno dei più importanti allievi di Clavio, Luca Valerio (1553-1618).

²¹⁵ Su Maurolico e Commandino si veda Napolitani, 1988. Su Maurolico segnaliamo anche i seguenti portali <http://maurolico.free.fr/intro.htm>; <http://maurolico.it/Maurolico/index.html>.

²¹⁶ Clavio, 1574.

²¹⁷ Maurolico, 1575.

²¹⁸ Baldi, 1707, p. 137: Baldi scrive che Maurolico era amico di Commandino ma non si conoscevano di persona: «Fù molto amico di Federico Comandino, ancorche già mai non si conoscessero di presenza».

²¹⁹ Nella Biblioteca Apostolica Vaticana è conservata una lettera inviata da Maurolico a Commandino l'8 ottobre 1557 sul modo di dividere un iperboloide di rotazione dato un piano parallelo alla base così che i segmenti hanno uguale proporzione (BAV, Barb Lat 304, 284 r). Parte della corrispondenza con Maurolico è conservata in BUU, Comune, Busta 120, cc. 185r-188v. Barb. Lat. 304, 204r: «Mauroli a 8 de ottobre le scrissi con el P. Messer Ieronymo este problema de Messer Federico». Su Maurolico si veda Moscheo, 2008, e la relativa bibliografia. Sull'opera matematica di Maurolico si veda anche Clagett, 1974.

²²⁰ Recentemente D'Alessandro ha discusso le due modalità di pronuncia del nome: Mauròlico o Maurolico. Secondo lo studioso le due interpretazioni possono essere accettate entrambe: la prima si basa sul presupposto che Maurolico derivi da Maurolykos, pertanto, seguendo le regole di accentazione latine, considera la "y" breve e quindi l'accento cade sulla terzultima sillaba; a difesa di questa interpretazione entra in soccorso lo stesso Maurolico, perché nei suoi versi egli stesso accentava la "o". La seconda interpretazione segue l'idea che il nome sia una latinizzazione del volgare Mauroli, si veda D'Alessandro, 2014. Su Maurolico si veda anche Rose, 1975, pp. 159-184.

²²¹ Giusti, 2014, e Gavagna, 2014.

²²² Napolitani, 1988.

Durante la ricerca dei codici in terra veneziana (1553), Commandino incontrò il maestro d'abaco Niccolò Tartaglia²²³. Tartaglia fu uno dei personaggi più importanti del 1500. Egli si era formato nelle scuole d'abaco per poi intraprendere una carriera da architetto militare e, parallelamente, da autodidatta, aveva imparato il latino e qualche nozione di greco per poi diventare una tra i maestri d'abaco più stimati dalle corti europee. La sua attività editoriale fu molto proficua: oltre alla versione latina delle opere di Archimede già citata, pubblicò *La Nova Scientia* (1537), una versione volgare degli *Elementi* di Euclide (1543), *Quesiti et inventioni diverse* (1546), *La travagliata inventione* (1551) e l'imponente opera in sei volumi *General trattato di numeri et misure* (1556). Nella prefazione alla sua versione degli *Elementi* di Euclide, Tartaglia descriveva come dovevano essere intese le "Discipline matematiche":

Le scientie Arti ouer Discipline Mathematiche, secondo il uolgo sono molte, cioè Arithmetica, Geometria, Musica, Astronomia, Astrologia, la Cosmographia, la Corographia, la Perspettiua, la Specularia, la scientia di Pesi, la Architettura & molte altre: Ma Bouetio Seuerino, & liaGiorgio Valla tolendo tal opinione da alcuni Greci uogliono, che le dette discipline Mathematiche siano solamente quatro, cioè Arithmetica, Geometria, Musica, & Astronomia, & che tutte le altre dicono essere subalterne, cioè dipendenti dalle dette quatro: Alcuni altri moderni (per alcune sue ragioni) vogliono che le dette discipline Mathematiche siano cinque (però che alle dette quatro aggiungono la Perspettiua). Nientedimeno il Reuerend. Sig. Pietro de Aliaco Cardinale, nella prima questione sopra Giouanni di Sacrobusto, conclude la Musica, & la Astronomia, & similmente la Perspettiua non esser pure Mathematiche (come è il uero) ma medie fra le mathematiche, & la scientia naturale: Per il che seguita solamente la Arithmetica, & la Geometria esser le pure Mathematiche, & tutte l'altre esser medie, ouer dipendenti, & miste delle Mathematiche discipline & della natural philosophia, eccettuando la Astrologia giudiciaria, laqual egli conchiude esser pura naturale, in quanto alla sua essentia.²²⁴

Anche il trattato *Quesiti et inventioni diverse* è profondamente connesso con l'ambiente urbinato: nel Libro Primo Tartaglia riporta i suoi dialoghi avuti con il duca Francesco Maria II della Rovere; nel Libro Ottavo descrive la sua apologia della medievale *Scientia de ponderibus*, la quale sarebbe stata discussa da Guidobaldo nel suo *Mechanicorum Liber*; nel Libro Settimo inserisce il suo commento ai problemi meccanici di Aristotele, i quali sarebbero stati oggetto delle *Exercitationes* di Baldi²²⁵.

John Dee, astrologo e matematico inglese, aveva raggiunto Urbino per fare la conoscenza di Commandino e per consegnarli un manoscritto da tradurre dal greco.

La densa rete che collega Commandino agli urbinati e ai non urbinati ci fa capire l'importanza e la pervasività del suo lavoro. Commandino aveva letto e studiato anche i lavori di Luca Pacioli, frate matematico di grande spessore culturale e di profonda dottrina, delle cui opere più importanti Commandino voleva risanare l'aspetto linguistico. Commandino probabilmente conobbe anche Giovanni Antonio Magini (1555-1617), lettore di matematica, astronomo stimato da Brahe e Kepler, costruttore di strumenti scientifici, assiduo frequentatore delle officine urbinati e anche cultore di scienze occulte. Magini era sicuramente in contatto con un illustre allievo di Commandino, Guidobaldo del Monte²²⁶. In conclusione, possiamo dire che per comprendere fino in fondo il lavoro scientifico-editoriale di Federico Commandino dobbiamo tenere in considerazione la collaborazione e lo scambio di idee con i suoi contemporanei.

²²³ Tartaglia stimava Commandino: il bresciano lo rivela pubblicamente nella seconda parte del *General trattato di numeri, et misure* (Tartaglia, 1556): «Al molto magnifico, et generoso signor, il signor conte Antonio l'Andriano suo honorandiss.: Et perche gia molti giorni ragionando con la eccellenza di messer Federico Comandino da Urbino peritissimo mathematico, quella mi certificò qualmente uostra Signorità molto li dilettaua, non solamente della speculatiua dottrina di Euclide Megarense, ma anchura della pratica speculatiua dell'arte magna».

²²⁴ Tartaglia, 1543a, f. 1v.

²²⁵ Tartaglia, 1959.

²²⁶ Gamba e Montebelli, 1988, p. 49.

2.10 Commandino e le officine urbinati

In questo paragrafo introduciamo il rapporto tra i protagonisti della scienza urbinata e le officine del ducato di Urbino. L'importante collaborazione tra gli esponenti della scuola commandiniana e le officine può essere considerato uno dei tratti distintivi dell'ambiente urbinato. Tale cooperazione verrà trattata in maniera più completa nel capitolo interamente dedicato alle officine urbinati²²⁷.

Nel 1547 Federico Badoer, ambasciatore della Repubblica di Venezia presso il ducato di Urbino, scriveva nella relazione al Senato che «De' meccanici, cioè delle arti, per quelle città [del ducato di Urbino] ch'io sono stato, le ho vedute avere artefici d'ogni sorte, e rari ne' lor mestieri»²²⁸. Infatti, all'epoca a Urbino vi erano numerosi costruttori di orologi, compassi e marchingegni. Avremo modo di mostrare più avanti che le officine urbinati del XVI e XVII secolo furono luoghi di rinomanza "europea". Infatti, nell'*Encomio della patria* Baldi descrive l'Officina di Urbino come l'officina del mondo²²⁹.

Possiamo far risalire la tradizione dell'officina urbinata ad Ambrogio Barocci, giunto a Urbino da Milano per lavorare alla costruzione del Palazzo Ducale. Purtroppo, sappiamo poco sul suo conto, tranne che il mestiere sarà ereditato dal figlio, Ambrogio anche lui. Quest'ultimo si sarebbe specializzato nella costruzione di astrolabi. L'attività venne portata avanti dal figlio, Simone. Simone Barocci (1525-1608) ebbe una prima formazione nella bottega del padre e, poi, secondo il parere dello storico Giovanni Pietro Bellori, andò a studiare sotto la disciplina di Commandino²³⁰. Commandino aveva affidato all'abilità di Simone Barocci il disegno di un compasso di riduzione (strumento per dividere le linee in qualsivoglia numero di parti uguali).

Nel corso del tempo, la via in cui abitava Commandino (via di S. Giovanni n. 14, ora via Barocci) si arricchì di residenze di matematici e di costruttori di strumenti. In poche centinaia di metri erano nati i costruttori Giovanni Battista Barocci, Giovanni Maria Barocci, Simone Barocci e il pittore Federico Barocci. Nella stessa via erano cresciuti anche Lorenzo Vagnarelli, allievo di Simone, e l'architetto Pietro Vagnarelli²³¹. La stessa composizione della via in cui il giovane Commandino crebbe ci fa intuire quanto la sua stessa formazione potesse aver risentito dallo stretto rapporto con l'ambiente dei tecnici. Sicuramente questa sua educazione "informale" contribuì a influenzare l'idea che fosse possibile un uso pratico della matematica antica.

²²⁷ Il *Quinto Capitolo* è interamente dedicato alle officine urbinati.

²²⁸ Segarizzi, 1913, p. 171.

²²⁹ Baldi, 1706, p. 127.

²³⁰ Gamba, 2019, *Orologi e strumenti matematici a Urbino*, relazione al convegno "Muzio Oddi (1569-1639). Tra ingegneria, E., matematica e strumentazione scientifica. Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita", 17-18 settembre 2019, Urbino e Cesena. Bellori, 1672, p. 170.

²³¹ Volpe, 2007.

TERZO CAPITOLO: GUIDOBALDO DEL MONTE

3.1 La vita di Guidobaldo del Monte



Fig. 7 Federico Barocci (Bottega), *Ritratto di Guidobaldo del Monte*,
1590-1599 circa,
in Mamiani, 1828, p. 43.

Qualche decennio fa Pierre Duhem, nella sua ricostruzione dell'evoluzione della meccanica statica, inquadrava Guidobaldo del Monte come puntiglioso e mediocre²³². Le ricerche di Rose, Gamba, Frank, Renn e Damerow hanno mostrato, invece, il ruolo fondamentale che ha avuto il “matematico” pesarese nel cosiddetto periodo “pre-galileiano”; soprattutto per quanto riguarda l'impatto sul giovane Galileo e il contributo dato al progresso scientifico²³³. Tra le numerose fonti che consentono di ricostruire la vita di Guidobaldo del Monte, citiamo la vita scritta da Bernardino Baldi e inserita all'interno della *Cronica de Matematici*²³⁴, la corrispondenza epistolare e l'opera *Elogi storici di Federico Commandino, G. Ubaldo Del Monte, Giulio Carlo Fagnani* del letterato Giuseppe Mamiani²³⁵.

Guidobaldo del Monte (Fig. 7) nacque a Pesaro l'11 gennaio 1545 da Raniero del Monte e Pianoso Minerva. Raniero era uomo di architettura e interessato alle pratiche astrologiche. La vicinanza della famiglia del Monte alla corte roveresca permise a Raniero di ottenere diverse cariche e privilegi, tra cui le cariche di capo delle lance spezzate, di capo delle battaglie e di governatore di Pesaro. Nel 1542 Raniero ottenne il feudo di Mombaroccio da Guidobaldo II della Rovere e chiamò il figlio Guidobaldo in suo onore. Guidobaldo del Monte ebbe una formazione di prim'ordine. Egli crebbe insieme a Francesco Maria II con cui condivise i maestri, la formazione e l'esercizio delle armi. Il rapporto con il duca Guidobaldo II venne sigillato dal matrimonio di sua figlia con il giovane del Monte.

Nel 1564, a 19 anni, Guidobaldo andò a studiare filosofia a Padova, dove tra i maestri ebbe Pietro Catena. Probabilmente, proprio durante i corsi di Catena ebbe il primo confronto con la *Meccanica* di Aristotele, dal momento che era uno dei temi principali delle lezioni²³⁶. Nel 1566 lasciò

²³² Duhem, 1905, Tomo 1, pp. 209-226, e Tomo 2, p. 351.

²³³ Rose, 1975; Gamba e Montebelli, 1988; Frank, 2011; Renn e Damerow, 2012.

²³⁴ Baldi, 1707, pp. 145-147, vita trascritta in Appendice, A11.

²³⁵ Mamiani, 1828, pp. 43-87. Anche se la biografia di Mamiani non è sempre precisa, essa è una fonte storica ricca di notizie. Altre importanti fonti sono indicate in Gamba e Montebelli, 1988, p. 16 e nota 7.

²³⁶ Le lezioni di Pietro Catena non dovevano essere molto entusiasmanti. Baldi nella sua Cronica riferisce che Catena «leggeva pubblicamente le Matematiche, e in lui viddi esporre le mecaniche 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», Baldi, 1707, pp. 135-136. Boas descrive i canali di diffusione delle conoscenze scientifiche e rileva che: «Finché la rivoluzione scientifica non produsse nuovi manuali e testi scolastici sui rudimenti delle matematiche e della filosofia naturale, l'istruzione accademica generale anche di coloro che sarebbero divenuti scienziati, era destinata a rimanere quasi completamente

l'università per svolgere i primi incarichi da architetto militare al seguito di Aurelio Fregoso, a quel tempo al servizio del granduca di Toscana per aiutare l'imperatore asburgico Massimiliano II nella guerra in Ungheria contro i turchi. Ignoriamo ancora il ruolo che Guidobaldo ebbe nella campagna militare.

Nel 1568 Guidobaldo ritornò a Urbino e iniziò a frequentare la scuola di Commandino. In questo periodo ebbe modo di conversare con molti dotti sia di filosofia sia di matematica. Tra questi ricordiamo il poeta Torquato Tasso²³⁷, il giurista Cesare Benedetti, il già citato Bernardino Baldi, i filosofi Federico Bonaventura²³⁸ e Iacopo Mazzoni²³⁹, l'intellettuale Pier Matteo Giordani e il naturalista Cristoforo Guarimone. Queste discussioni "interdisciplinari" incisero sulla sua *forma mentis* e stimolarono i suoi interessi per la filosofia naturale e la matematica. Un esempio di questa discussione è la diatriba cosmologica che coinvolse Guidobaldo e i suoi amici, a seguito dell'apparizione della supernova del 1604.

Nel 1571 Guidobaldo accompagnò il figlio del duca, Francesco Maria II, alla battaglia di Lepanto per supportare la lega cristiana, ma si dovette fermare a Messina perché colpito da una forma di sciatica. A Messina non sappiamo se ebbe modo di conoscere Francesco Maurolico²⁴⁰. Cosa certa è che da quel momento iniziò a occuparsi più assiduamente di matematica. Come per Commandino, un cambiamento improvviso avvenuto nella quotidianità portò Guidobaldo a dedicarsi totalmente allo studio delle matematiche: il cambio di rotta fu dovuto al suo stato di salute che rendeva difficoltosa qualsiasi altra occupazione a eccezione dello studio.

Negli anni successivi frequentò in maniera sempre più costante il laboratorio di Simone Barocci. La sua vicinanza col mondo dei tecnici è rilevante per comprendere la sua attività scientifica e l'intimo rapporto che per lui doveva esserci tra i principi geometrici e la loro applicazione pratica.

Nel 1577 pubblicò a Pesaro il *Mechanicorum Liber*, il primo testo a stampa dedicato alla meccanica. Dopo qualche anno, nel 1581, uscì la versione volgare curata da Filippo Pigafetta (uomo d'arme, letterato, viaggiatore, parente del più famoso Antonio Pigafetta che fece il viaggio con Magellano). Benché dal punto di vista del contenuto riprendesse fedelmente gli argomenti affrontati nella versione latina, la traduzione si rivelò importante e innovativa sia per lo sforzo di conversione dei termini latini in volgare sia per aver messo a disposizione di architetti e curiosi un libro in cui veniva mostrata l'applicazione e l'utilità pratica di concetti meccanici propri della matematica antica.

L'amicizia fraterna tra Francesco Maria II e la famiglia del Monte iniziò a incrinarsi nel 1586, quando, all'indomani della morte (avvenuta in febbraio) del vescovo di Pesaro, Francesco Maria del Monte, fratello di Guidobaldo, declinò la richiesta di Francesco Maria II della Rovere di ricoprire la carica ecclesiastica rimasta vacante²⁴¹. Francesco Maria del Monte rifiutò l'offerta, in quanto, probabilmente, preferiva rimanere alla corte di Ferdinando de' Medici²⁴². La rinuncia andò ad aumentare le preoccupazioni da parte dei della Rovere per un'ingerenza eccessiva da parte della casata fiorentina sulla corte urbinata. D'altronde vi era stato un precedente: nel 1516 Lorenzo de' Medici, nipote del Magnifico, appoggiato dal neopapa e zio Leone X, aveva costretto alla fuga Francesco Maria I della Rovere, il quale sarebbe riuscito a recuperare il ducato solo nel 1521, a seguito della morte di Leone X, nonché protettore del granduca toscano. Nel 1587, alla morte del

priva di contenuti scientifici utili. Verso la fine del Cinquecento e l'inizio del Seicento una persona istruitasi all'università avrebbe potuto riconoscere di averne ricevuto al massimo –e si trattava di un beneficio dubbio– un profondo disgusto per l'aristotelismo del sapere tradizionale, disgusto provocato da anni di preparazione nel pensiero e nel metodo scolastico», in Boas, 1973, Capitolo ottavo, p. 203.

²³⁷ Torquato Tasso tra il 1573 e il 1575 insegnò matematica a Ferrara.

²³⁸ Su Bonaventura si veda Diamanti, 2006.

²³⁹ Mazzoni, J., 1596, *Discorso a Madama ser.ma Granduchessa di Toscana, intorno alla cometa veduta di luglio 1596*, BAV Urb. Lat. 1363, 1r-24r.

²⁴⁰ Frank, 2011, p. 35.

²⁴¹ Mamiani (in Mamiani, 1828) scrive nella nota 41 che Guidobaldo nel 1585 fece servizio anche in Spagna e Francia. A supporto della sua tesi cita alcune lettere inviate a Teofilo Betti ritrovate nell'archivio della famiglia del Monte e ora andate perdute. Frank ritiene che l'informazione debba considerarsi affidabile (Frank, 2011, p. 44).

²⁴² Su Francesco Maria del Monte rimandiamo a Wazbinski, 1994.

padre, Guidobaldo ereditò il titolo di Marchese del Monte e le responsabilità amministrative e giuridiche di Mombaroccio. A febbraio venne eletto membro nel Concilio di Pesaro, ricoprendo la carica che era stata occupata fino a quel momento dal padre. Sempre nello stesso anno Guidobaldo ebbe l'incarico da parte del duca di risolvere per la seconda volta il problema delle fontane di Villa Miralfiore²⁴³.

Tra il 1587 e il 1588 Galileo sottopose a Guidobaldo alcuni lavori sui centri di gravità che sarebbero poi andati a costituire l'opera *Theoremata circa centrum gravitatis solidorum*. Galileo aveva inviato le sue "esercitazioni" a Giuseppe Moletti, a Cristoforo Clavio e a Guidobaldo, ma solo quest'ultimo rispose apprezzando l'intuizione del giovane toscano²⁴⁴. Nel 1588 Guidobaldo pubblicò il commento all'opera *In due Aequponderatium Libros Paraphrasis (Parafrasi sull'equilibrio dei piani)*²⁴⁵, uno dei pochi testi archimedei non revisionati da Commandino perché provvisto di un buon commento curato da Eutocio.

Dal 1588 i rapporti con i della Rovere peggiorarono notevolmente. L'insistente richiesta da parte di Guidobaldo al duca di erogare la dote della moglie Felice della Rovere e la collaborazione professionale della famiglia del Monte con i Medici, acerrimi nemici di Francesco Maria II, produssero malumori e gelosie tali da causare la messa al confino di Guidobaldo presso la sua dimora a Mombaroccio²⁴⁶. Infatti, in quegli anni l'amicizia e la collaborazione politica tra i del Monte e signori della Toscana diventava sempre più intensa. Nel 1588 fu conferita a Guidobaldo la prestigiosa carica di Visitatore Generale di tutte le città e fortezze toscane. Probabilmente fu durante questo soggiorno toscano che ebbe modo di incontrare di persona il giovane Galileo. Negli anni successivi Guidobaldo si sarebbe speso affinché Galileo potesse raggiungere una posizione accademica: nel 1589 Guidobaldo lo appoggiò all'università di Pisa e, a seguito del mancato rinnovo, nel 1592 riuscì a fargli ottenere la cattedra a Padova. Dopo essere ritornato a Pesaro nell'agosto 1589, all'inizio del 1590 Guidobaldo fece ritorno in Toscana per controllare i lavori architettonici avviati l'anno precedente²⁴⁷. In quello stesso anno Guidobaldo venne anche invitato al matrimonio tra Ferdinando I e Cristina di Lorena²⁴⁸.

Il rapporto di amicizia con i della Rovere, a causa del sempre più forte legame professionale con le corti toscane, arrivò ai minimi termini nel 1602, anno in cui Guidobaldo venne esiliato presso il suo marchesato di Mombaroccio. I biografi del matematico pesarese raccontano che in una lettera, inviata da Francesco Maria II della Rovere al papa, si narrava che tre persone, due dei quali erano sicuramente i cugini del duca (Ippolito e Giuliano della Rovere), avessero tentato non solo di influenzare l'amministrazione e la giurisdizione di Pesaro in assenza del duca²⁴⁹, ma anche di predisporre una congiura ai suoi danni²⁵⁰. Fu un evento che creò grande scalpore, in quanto il duca dovette giustificarsi sia con il papa sia con il granduca di toscana, essendo i tre uomini stimati dalle corti romane e toscane. Nonostante il pentimento di fronte alle autorità, Francesco Maria II mise al bando Ippolito e Giuliano. L'occasione venne sfruttata dal duca per esiliare Guidobaldo a

²⁴³ Guidobaldo era stato chiamato a dare il suo contributo allo stesso problema anche quattro anni prima. Sui lavori alle fontane di Villa Miralfiore si vedano Gamba, 1995, e Frank, 2011, pp. 43-44 e pp. 449-457.

²⁴⁴ I *Theoremata circa centrum gravitatis solidorum* (Galilei, 1929b) vengono introdotti da Salviati al termine della giornata quarta dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*. Guidobaldo rispondeva a Galileo che: «Fra alcune lettere, che molti giorni sono occorsero fra il Padre Clavio et me, io le scrissi che l'ultima del Commandino, De centro gravitatis solidorum non era buona per non esser universale; il qual Padre mi mandò poi la sua dimostrazione, assai diversa da questa di V. S.» (Guidobaldo a Galileo, 16 gennaio 1588). La dimostrazione citata nella missiva potrebbe essere la stessa che Guidobaldo commenta nelle *Meditationum*: «Ultima propositio Federici Commandini *De centro gravitatis solidorum*, ut notavimus in ipso libro, falsa existit; hac ratione restitui poterit. Et haec demonstratio est Christophori Clavii e societate Jesu», Tassora, 2001, pp. 396-398 (f. 123).

²⁴⁵ Del Monte, 1588.

²⁴⁶ Sin dal 1597 il nome di Guidobaldo non compare più tra i membri della famiglia del duca, si confronti Frank, 2011, p. 60.

²⁴⁷ Il secondo soggiorno toscano durò men di un mese: dal 12 gennaio 1590 al 9 febbraio 1590.

²⁴⁸ Per una datazione del viaggio in Toscana si veda Menchetti, 2013.

²⁴⁹ In quel periodo il duca soggiornava spesso presso la sua residenza a Casteldurante.

²⁵⁰ La vicenda è ricostruita in Frank, 2011, pp. 58-60 e Appendix I, I.5.4.

Mombaroccio, amico dei due cugini Della Rovere e accusato di aver complottato anch'egli contro Francesco Maria II²⁵¹. L'esilio forzato terminò nel maggio 1605, quando Francesco Maria II, in occasione del compleanno di suo figlio Federico Ubaldo della Rovere, unico erede al trono, conferì l'amnistia a tutti i criminali. In quell'occasione Guidobaldo addirittura andò a congratularsi con Francesco Maria II.

Gli ultimi anni di vita per Guidobaldo non furono semplici. Nel marzo 1606 la salute peggiorò considerevolmente e il dolore alla sciatica diventò sempre più insistente. Lo stesso anno Guidobaldo perse anche la causa con il duca per ottenere la dote della moglie. La morte lo colse il 9 gennaio 1607. Se ne andava uno dei "facilitatori" della rivoluzione scientifica; oltre ai suoi meriti scientifici, Guidobaldo fu uno dei primi a investire sul genio di Galileo Galilei e senza la protezione del pesarese Galileo avrebbe avuto probabilmente una carriera molto più difficile.

Guidobaldo fu un intellettuale dai numerosi interessi. Nel corso della sua intensa vita tradusse testi di matematica antica²⁵², realizzò strumenti scientifici e si occupò di problemi di idraulica, di architettura militare e civile²⁵³. Dai brevi fatti esposti riguardanti la vita di Guidobaldo, possiamo dedurre l'importante compresenza delle discussioni sia scientifiche sia filosofiche con i suoi amici e la convinzione (ereditata dal suo maestro Commandino) che la matematica antica fosse utile per le attività professionali. Ed è proprio la commistione di filosofia, matematica, teoria e pratica che spinse Guidobaldo a raccordare la filosofia naturale di Aristotele con la geometria di Archimede e, al tempo stesso, a controllare le ipotesi teoriche con gli esperimenti e (viceversa) a organizzare gli esperimenti sulla base dei modelli geometrici.

3.2 Guidobaldo e l'ambiente scientifico cinquecentesco

Numerose ricerche hanno dato risalto all'attività di Guidobaldo, calibrandola all'interno di un più vasto circuito scientifico-culturale e collegandola a quella di Galilei. Come vedremo più in dettaglio nei successivi paragrafi, l'attività di Guidobaldo si inserì pienamente nei dibattiti del tempo e contemporaneamente contribuì all'apertura di nuove frontiere scientifiche. Con il pisano Galilei ragionò sui centri della gravità, sul piano inclinato, sul moto dei proietti e sui problemi causati dall'attrito durante gli esperimenti di dinamica; con i veneti Giulio Savorgnan²⁵⁴ e Filippo Pigafetta discusse dell'affidabilità dello strumento scientifico per provare una teoria, in particolare della condizione di equilibrio indifferente, e dell'uso della meccanica teorica per l'architettura e per la costruzione di strumenti; con Giovan Battista Benedetti entrò (idealmente) in conflitto sulla posizione che deve assumere una leva in equilibrio posta in posizione obliqua e sulle "competenze" di meccanica che doveva avere Aristotele. Gli interessi di Guidobaldo risentirono anche delle attività professionali e del contesto sociale del ducato di Urbino, il quale era rinomato per le numerose officine di congegni scientifici, in particolare di orologi e compassi. In più occasioni Guidobaldo ebbe modo di collaborare con i costruttori Pietro Griffi e Simone Barocci (1525-1608), quest'ultimo fondatore dell'omonima officina di strumenti e capostipite di una lunga tradizione di artigiani e

²⁵¹ Montinaro, 2013.

²⁵² Come Commandino, Guidobaldo proveniva da una famiglia nobile e ciò deve aver influito sulla sua attività umanistico-matematica. Su questo tema si veda Biagioli, 1989.

²⁵³ Sugli strumenti ideati, progettati e costruiti di Guidobaldo si veda Gamba e Mantovani, 2013. A seguito delle discussioni tra il Conte de Tommasi, l'architetto Arduini e il soprintendente della costruzione Lazzaro sulla fornitura di acqua per una fontana, Guidobaldo presentò un *report* in cui dava una valutazione del problema. Nel 1583 supervisionò la costruzione di Villa Miralfiore. Nel 1598 Guidobaldo fu eletto dal concilio di Pesaro per costruire due archi di trionfo in occasione del passaggio del papa clemente VIII. Nel 1599 ricoprì il ruolo di architetto del Palazzo Mamiani a Pesaro oggi chiamato Palazzo Gradari. Inoltre, al servizio del duca di Mantova, fornì piante per la fortezza di Casale Monferrato. Nel 1589 Guidobaldo fu anche accusato del crollo della chiesa di Santa Maria degli Angeli in Pesaro. Seppure con diverse difficoltà, riuscì a difendersi e a difendere i muratori dalle accuse, mostrando che i problemi esistevano già in precedenza. Sul tema si veda Frank, 2011, pp. 109-115.

²⁵⁴ Su Savorgnan si vedano Ventrice, 1998, e Manno, 1987.

meccanici²⁵⁵. Queste frequentazioni dovevano aver contribuito ad alimentare in Guidobaldo l'idea che ci fosse una sostanziale armonia tra i principi matematici e la loro applicazione pratica. Tuttavia, questa sintonia non era per niente ovvia: nonostante la teoria insegnasse che una bilancia grande, e pertanto fornita di una scala graduata più densa da un punto di vista numerico, doveva essere più precisa di una bilancia piccola, gli orafi continuavano a utilizzare bilance piccole per pesare²⁵⁶. La questione era rilevante, perché a quel tempo la prassi pratica rivelava o l'inaffidabilità dei modelli geometrici per la costruzione degli strumenti oppure eventuali imbrogli da parte degli orafi²⁵⁷. Tartaglia, per esempio, per preservare la simbiosi di teoria e pratica, osservava che, quando si aveva a che fare con le bilance fisiche, era necessario considerare che il peso delle stesse bilance potesse influire sulla diversa sensibilità e sulla diversa precisione di pesatura. Tartaglia riteneva che, nel caso di bilance costruite con lo stesso materiale ma di dimensioni diverse, le bilance piccole fossero più precise (e perciò utilizzate dagli orafi) di quelle grandi, in quanto le piccole erano meccanicamente più leggere²⁵⁸. Guidobaldo non doveva essere a digiuno di questi ragionamenti se a Contarini scriveva «che la dimostratione [gli aveva] insegnato assai come si hanno da far l'esperienze, sopra le quali per chiarirsi bene bisogna[va] considerar molte cose: 1° che gli instrumenti siano piccoli più presto che grandi, come, per essemplio, le taglie con le sue girelle, che se fusse possibile di farle di ottone con li sui assi di ferro, sotili sotili»²⁵⁹.

Anche vivaci discussioni filosofiche facevano da sfondo alla vita culturale del ducato²⁶⁰. La cerchia di Guidobaldo comprendeva, tra gli altri, umanisti aristotelici e cultori di discipline matematiche²⁶¹. Guidobaldo, forse a causa della frequentazione di questi ambienti o forse perché

²⁵⁵ Si veda il *Quinto capitolo* sulle officine urbinati.

²⁵⁶ Foligno e Graziani, 2015, e Foligno, 2016/2017, argomentano in favore di un'evoluzione del concetto di punto da una concezione più ideale a una più materiale. Durante il Rinascimento le due visioni si incontrano e si scontrano mediante il tentativo di adeguare i principi geometrici, recuperati grazie alla rinascita della matematica antica, a una prassi empirica nel frattempo consolidata, adottata dagli artigiani, per la costruzione di macchine. Sul tema si vedano anche Ferraro, 2008, p. 93; Valleriani, 2009. Per quanto riguarda l'interpretazione di Galileo sulla questione si confronti Benvenuto, 2010, Capitolo 4 Il problema di Galileo. Lo studio della "trasformazione" degli oggetti della matematica ci consente di comprendere meglio la graduale e progressiva evoluzione dell'ambito di azione della matematica stessa in rapporto alla cultura del tempo: da una matematica più speculativa, propria della scienza antica, si giunge a una matematica utile soprattutto grazie alle sue applicazioni pratiche. La fase intermedia, fondamentale anch'essa nel processo mutazionale, è designata da un'informe e complessa fase rinascimentale, in cui vi è una mescolanza delle due forme di conoscenza che avrebbe dato adito ai primi confronti sul problema della resistenza dei corpi. Sull'argomento si veda anche Laird, 1986.

²⁵⁷ Le bilance degli orafi possono essere considerate bilance con sparto di sotto.

²⁵⁸ Tartaglia, 1959, Libro Settimo. Vedremo che Baldi sosterrà invece l'ipotesi contraria, che le bilance grandi sono più precise delle piccole, interpretazione già esposta negli aristotelici *Problemi meccanici*, Quesito 1 (confronta con parte su Baldi, coerenza e rimanda). Anche Giovan Battista Benedetti, nel commento alla prima Questione aristotelica, è sostanzialmente d'accordo nel ritenere le bilance grandi più precise di quelle piccole. Per una più ampia trattazione rimandiamo al capitolo su Baldi. Si veda Micheli, 1995, pp. 75-83; Gamba e Montebelli, 1988, pp. 72-81.

²⁵⁹ Favaro, 1899-1900. Seppure non affronti mai direttamente il problema riguardante la maggiore o minore precisione delle bilance grandi o piccole, Guidobaldo rivendicava continuamente l'importanza di costruirle con accuratezza. Si confronti anche con il commento di Filippo Pigafetta, traduttore della versione volgare del *Mechanicorum Liber*, in Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 64v: «Ne parmi etianto che fi habbia ad hauere punto di riguardo alla picciolezza, et grandezza delle girelle poste nelle taglie, et degli affetti fuoi, credendo che per neceffità habbiano da effere lauorati con mifura tale, et proportionone co fi accurata che mancando da quella non riefcano le dimostrationi alla esperientia; peroche, fi come nota l'autore poco appreffo, bafta che con certa conueneuole mifura, et proportionone le girelle nelle taglie fiano maggiori l'una dell'altra fi fattamente che le corde non fi tocchino e freghino fra loro, i cofi ven gano ad impedire i mouimenti delle pollanze, et de pefi».

²⁶⁰ Sull'interazione tra l'ambiente di corte e l'attività scientifica di Guidobaldo rimandiamo a Frank, 2013b.

²⁶¹ Frank ha recentemente mostrato che il contesto culturale eterogeneo che ha contrassegnato l'opera di Guidobaldo non è stato un *unicum*, ma anche l'opera di Giovan Battista Benedetti deve essere inserita all'interno del contesto culturale del matematico veneto per comprenderla in tutti i suoi aspetti. Anche Benedetti, come Guidobaldo, costruì strumenti e si occupò di matematica applicata, tuttavia senza, almeno ci sembra, usare strumenti per supportare le proprie teorie, sul tema si vedano Frank, 2015a; Frank, 2013b. Guidobaldo spesso si intratteneva in conversazioni con i seguenti intellettuali: Giulio da Thiene, Giacomo Contarini (Rose, 1976) e Gian Vincenzo Pinelli, amico di Galilei (Frank, 2011, *passim*). Lo stesso amico d'infanzia e di studio Francesco Maria II era profondo conoscitore della dottrina aristotelica ed estremo

attratto “scientificamente” da alcune questioni “interdisciplinari”, si occupò di tematiche vicine alla filosofia naturale, come avvenne ad esempio nel 1604 in occasione dell’apparizione della supernova. Quando quel corpo luminoso apparve nel cielo, nacque un vero e proprio dibattito sulla sua natura. In ballo c’era la tenuta della cosmologia aristotelica, cioè l’allora modello cosmologico di riferimento. Il tema della discussione verteva sulla localizzazione del corpo, cioè se il corpo dovesse essere posizionato nel cielo delle stelle fisse, e quindi se fosse una stella, o fosse piuttosto un fenomeno sublunare, e quindi fosse una cometa. Seppure le misurazioni collocassero il *nuovo* corpo tra le stelle fisse, gli astronomi e matematici del tempo furono restii nel leggere l’evento come una prova della corruttibilità dei cieli, dal momento che la fisica aristotelica aveva sempre funzionato e aveva sempre risposto adeguatamente alle perplessità dei suoi detrattori. L’apparizione di quel corpo nuovo, così luminoso e così visibile, sembrava tuttavia dare prova di una probabile incertezza del sistema aristotelico²⁶². Dalla corrispondenza con Pier Matteo Giordani emerge che anche Guidobaldo avesse fatto delle misurazioni e che avesse voluto confrontarle con quelle del gesuita Cristoforo Clavio. Per Clavio era opportuno parlare di nuova stella, dal momento che i calcoli erano inequivocabili e inserivano il corpo tra le stelle fisse. Secondo questo punto di vista, se il nuovo corpo luminoso avesse seguito il moto delle stelle fisse, allora il cielo sarebbe stato corruttibile e quindi Aristotele avrebbe potuto essersi sbagliato²⁶³. Se tradizionalmente la filosofia aristotelica e la matematica appartenevano ad ambiti diversi, in campo astronomico, settore comune a entrambe, il rischio era un corto circuito di portata devastante, in grado di far saltare i modelli cosmologici del tempo. Non è un caso che proprio nel terreno ambiguo della cosmologia venne giocata la partita della rivoluzione scientifica. In quell’occasione Guidobaldo uscì subito fuori dalla disputa, nonostante lo stesso Baldi riporti la notizia di un Guidobaldo appassionato di filosofia e di teologia. Diversamente, nelle questioni di meccanica Guidobaldo si mostrava ferreo e agguerrito sostenitore delle proprie idee²⁶⁴.

Da questa breve rassegna possiamo vedere chiaramente che il contesto culturale in cui si mosse Guidobaldo era profondamente variegato: esso comprendeva architetti, matematici e costruttori di strumenti. Per questo motivo riteniamo che le opere di Guidobaldo debbano essere considerate anche in rapporto alle sue eterogenee relazioni sociali e culturali.

3.3 L’importanza della meccanica

Il termine macchina deriva dal greco *μηχανή* e indicava originariamente il risultato di un’azione sorprendente e non prevedibile che permetteva di volgere a proprio vantaggio una situazione difficile. Tale abilità poteva essere intesa anche nel senso di macchinazione, se la sua finalità fosse stata per esempio ingannare l’avversario. “Macchina” poteva anche indicare semplicemente uno strumento che

appassionato di geometria e meccanica. In quegli anni la corte era frequentata da Jacopo Mazzoni, Federico Bonaventura, Cesare Benedetti, Torquato Tasso. Molti autori (per esempio Montinaro, 2013; Litta, 1842-1843) ritengono che il sonetto *Misuratore de’ gran celesti campi* contenuto nelle *Rime* di Torquato Tasso sia dedicato dall’autore a Guidobaldo dal Monte, tuttavia in più edizioni delle *Rime* compare la seguente didascalia *A Giovan Battista Benedetti*. Si confronti ad esempio l’edizione de *Le Rime* di Tasso curata da Basile (Tasso, 1994). La corte urbinata era frequentata anche da Tommaso conte di Carpegna (filosofo e diplomatico ma anche studioso di meccanica, ha chiesto a Baldi di scrivere le *Exercitationes* (Frank, 2013b, pp. 312-314), Curzio Ardizi (poeta e disegnatore della mappa delle fortificazioni in Tunisia), Omero Tortora (storico e studioso delle proprietà dei materiali dei cannoni), Giulio e Pier Matteo Giordani (filosofo e matematico).

²⁶² Rossi, 2006, *Cose prima mai viste*, pp. 107-128.

²⁶³ Sulle altre interpretazioni del fenomeno si veda Bertoloni Meli, 1992, pp. 26-28.

²⁶⁴ Si veda per esempio la difesa dell’equilibrio indifferente nel *Mechanicorum Liber* (sul tema si veda Appendice, A7), la corrispondenza con Filippo Pigafetta, Giacomo Contarini, Goto e Galileo Galilei è stata pubblicata in Frank, 2011, pp. 554-560; Favaro, 1899-1900; Gamba e Montebelli, 1988, pp. 251-259; Micheli, 1995, pp. 163-167; Galilei, 1934a, *Carteggio 1574-1610*.

permetteva di superare le difficoltà²⁶⁵. Nel corso degli anni il termine “macchina” designerà soprattutto strumenti usati in ambito edilizio, militare e teatrale per divertire le corti²⁶⁶.

La prima opera in cui viene data una trattazione geometrica della meccanica è lo scritto *Problemi meccanici* (Μηχανικά). Secondo l'autore dei *Problemi meccanici*, i movimenti meccanici possono essere ridotti alle proprietà del cerchio. Nell'*incipit* l'autore illustra il significato di “meccanica”²⁶⁷:

Oggetto del nostro stupore sono i fenomeni che accadono normalmente in natura e di cui ignoriamo la causa, e i fenomeni contrari, dovuti ad abilità e a interventi dell'uomo per suo proprio beneficio. La natura opera spesso in contrasto con il nostro vantaggio, perché il suo corso è sempre lo stesso, immutabile, mentre è vario e di volta in volta mutevole ciò che è utile per noi. Così, quando bisogna agire violando la natura, la difficoltà ci imbarazza e richiede una specifica abilità: quella particolare abilità che ci soccorre, davanti alle difficoltà di questo genere, noi la chiamiamo per questo *mechane*.²⁶⁸

Nei *Problemi meccanici* l'autore esamina il comportamento delle macchine semplici e di alcuni fenomeni meccanici con gli strumenti della filosofia naturale e considera gli oggetti delle matematiche come oggetti astratti dai corpi fisici. Queste modalità d'indagine hanno portato gli storici contemporanei a identificare l'autore con Aristotele o con un allievo della scuola peripatetica²⁶⁹. Invece, in epoca medievale e rinascimentale i commentatori e i traduttori attribuirono, quasi unanimemente, il trattato ad Aristotele (pertanto, per comodità anche noi identificheremo l'autore dei *Problemi meccanici* con Aristotele)²⁷⁰. L'attribuzione ad Aristotele rese l'opera meritevole di essere studiata, commentata e tradotta, tanto che iniziò a circolare velocemente anche tra i tecnici. Le prime volgarizzazioni del testo permisero a chi avesse avuto poca dimestichezza con la lingua latina di confrontarsi con un'opera da cui poter estrapolare una teoria geometrica utilizzabile nell'attività professionale²⁷¹.

Secondo molti autori del periodo, tra cui Guidobaldo, la meccanica doveva essere considerata disciplina intermedia tra le matematiche pure (geometria e aritmetica) e le arti pratiche, perché era caratterizzata da una parte più speculativa (geometria) e da una parte più pratica (in quanto il suo ambito di applicazione era l'oggetto sensibile): la meccanica era il terreno in cui dimostrazione ed esperienza si incontravano. Agli occhi di Guidobaldo la sintesi di speculazione teorica e capacità tecnica era legittimata anche dall'approccio di Archimede alla meccanica²⁷². Tuttavia, era noto che tra teoria e pratica non vi fosse un sistematico accordo. A volte l'applicazione pratica dei principi

²⁶⁵ Sul rapporto geometria-meccanica-natura si veda anche Napolitani, 2007, in particolare il capitolo 4 *La meccanica*.

²⁶⁶ Micheli, 1995. I geometri e matematici greci antichi usavano “macchina” anche per indicare procedimenti speciali che si avvalevano di strumenti speciali, cioè di strumenti diversi da riga e compasso. Sui costruttori urbinati di macchine si veda Gamba, 1992. Sull'analisi storica del concetto di meccanica si veda anche Camerota, M., 2013.

²⁶⁷ Per una contestualizzazione dei *Problemi meccanici* rimandiamo a Rose e Drake, 1971; Helbing, 2008. Per uno studio approfondito si veda Micheli, 1995.

²⁶⁸ Aristotele, 2010, p. 165.

²⁶⁹ Micheli, 1995, pp. 23-25 e 133-136.

²⁷⁰ Alcuni dubbi erano espressi da Cardano all'interno dell'*Opus novum* (Cardano, 1570, proposizione 109 e proposizione 114).

²⁷¹ Opera pressoché sconosciuta nel Medioevo, i *Problemi meccanici* nel Rinascimento ebbero un'ampia diffusione. Essi vennero inclusi nel secondo dei cinque volumi del *corpus* aristotelico greco stampato da Aldo Manuzio tra il 1495 e il 1498. Successivamente seguirono tradizioni e commentari ad opera di Vittor Fausto (1517), Nicolò Leonico Tomeo (1525), Alessandro Piccolomini (1547), Antonio Guarino (1573), Oreste Vannocci Biringucci (1582, traduzione volgare della versione di Piccolomini), Henri de Monanthheuil (1599), Giuseppe Biancani (1615), Bernardino Baldi (1621), Giovanni de Guevara (1627). Sul tema si vedano Camerota, M., 2013; Micheli, 1995, p. 136. Sull'argomento si vedano Sgarbi, 2016; Valleriani, 2010; Valleriani, 2009.

²⁷² In realtà le versioni trasmesse della vita di Archimede, a causa dei numerosi aneddoti di origine incerta, sono molto diverse, fino ad essere contraddittorie. Presumibilmente i nostri urbinati conoscevano i giudizi contrastanti sull'attività scientifica di Archimede e una omissione parziale di questi ultimi serviva a rendere più efficace la propaganda dell'importanza teorica e pratica della matematica antica.

geometrici mostrava l'inadeguatezza di una base teorica ancora scevra di alcune conquiste concettuali successive (come, per esempio, del concetto di attrito), mentre l'inappropriatezza degli strumenti tecnici, tutti diversi tra loro e poco precisi, rendeva sterile la messa in atto della teoria. Pertanto, gli architetti militari, per esempio, quando dovevano calcolare la gittata dei cannoni, sia per offendere sia per predisporre i sistemi di difesa, si affidavano all'esperienza che spesso si rivelava essere più attendibile del calcolo teorico²⁷³. Allo stesso modo il comportamento delle bilance reali non poteva essere semplicemente ridotto al comportamento delle bilance ideali, in quanto le seconde venivano considerate un'astrazione delle prime che, a loro volta, erano completamente immerse nella materia, perché esse stesse fatte di materia. Benché nello studio delle macchine in equilibrio il pesarese rilevasse l'armonia di teoria e pratica, Guidobaldo si rendeva conto che nello studio di macchine in movimento ci fosse, al contrario, un'evidente discrasia tra previsione teorica e il comportamento reale della macchina stessa. Questa consapevolezza spiega anche la sua predisposizione a studiare le condizioni di equilibrio delle macchine, la cosiddetta statica, a dispetto dello studio di sistemi in movimento. Se i *Prolegomeni* di Commandino hanno l'obiettivo di ripristinare il valore della matematica, il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte è manifesto dell'importanza della meccanica²⁷⁴. Nella prefazione Guidobaldo afferma con tono deciso che la meccanica non può essere considerata tale se la teoria meccanica (geometria) non è applicata alle macchine (fisica).

Perciò, ci sono alcuni matematici entusiasti del nostro tempo che dicono che la meccanica può essere considerata o matematicamente, rimossa [da considerazioni fisiche], o fisicamente. Come se, in qualsiasi momento, la meccanica potrebbe essere considerata separata dalla dimostrazione geometrica o dal moto effettivo! Sicuramente quando quella distinzione è fatta, mi sembra (per parlare delicatamente di loro) che tutti loro si reputano alternativamente come fisici e come matematici, è semplicemente che loro tengono il piede in due staffe, come dice il proverbio. La meccanica non può essere più chiamata meccanica quando è astratta e separate dalle macchine.²⁷⁵

Secondo Guidobaldo la meccanica è nobile e utile, perché permette di controllare il regno della natura. La meccanica, scrive Guidobaldo nella lettera dedicatoria al *Mechanicorum Liber* (1577), aiuta i lavoratori manuali, i costruttori, i marinai, i contadini e molti altri²⁷⁶.

Ci sono due qualità, Principe Illustrissimo, che sono di solito molto efficaci in aggiunta alla potenza dell'uomo, cioè, utilità è nobiltà. Mi sembra che questi si uniscano nel fare l'argomento della meccanica attraente e nel renderlo desiderabile al confronto con tutti gli altri. Perché se noi misuriamo la nobiltà di qualcosa dalla sua origine (come molti ora fanno), l'origine della meccanica è, da una parte, geometria e, dall'altra, fisica. Dall'unione di queste due viene la più nobile delle arti, la meccanica. Perché se noi consideriamo che la nobiltà è connessa sia alla sottostante materia che alla necessità logica degli argomenti (come a volte afferma Aristotele),

²⁷³ Infatti, architetti, bombardieri e matematici si dividevano sull'affidabilità dei principi geometrici: per alcuni la matematica aveva i requisiti per regolamentare la costruzione delle macchine e calcolare la traiettoria dei cannoni; per altri, invece, era molto più attendibile l'esperienza maturata nei cantieri e in guerra anziché le nozioni teoriche.

²⁷⁴ Il tentativo di nobilitazione della meccanica fa il paio con la valorizzazione della matematica messa in atto da un altro urbinato, nonché maestro, Commandino. Ciò è evidente soprattutto nei *Prolegomeni* agli *Elementi* di Euclide. Nonostante avesse elogiato più volte il lavoro di Commandino, Guidobaldo ribadiva che il suo maestro non si fosse occupato sufficientemente di meccanica. Questa affermazione, scrive Frank (in Frank, 2015b, pp. 441-443) lascia perplessi, perché Commandino si era occupato di meccanica nel testo sui galleggianti e nel libro sul centro di gravità dei solidi.

²⁷⁵ Del Monte, 1577, *Praefatio*, traduzione nostra. Le nostre traduzioni risentono fortemente del confronto con le versioni inglesi di Drake e Drabkin, 1969, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy. Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo, et Galileo*; Renn e Damerow, 2012, *The Equilibrium Controversy*.

²⁷⁶ Del Monte, 1577, *Praefatio*: «hinc demum Lignatores, Lapididae, Marmorarij, Vinitores, Olearij, Vnguentarij, Ferrarij, Aurifices, Metallici, Chirurghi, Tonfores, Piftores, Sartores, omnes deniq; opifices beneficiarij, tot, tantaq; vitæ humanæ suppeditarunt commoda» ([Con l'aiuto della meccanica,] anche, quindi, i taglialegna, marmisti, vignaioli, coloro che lavorano gli oli, unguenti, fabbri, orefici, minatori, chirurghi, barbieri, fornai, sarti, e tutti i lavoratori nelle arti utili, danno molti contributi importanti alla vita umana). Sul tema si veda anche Rossi, 2006, *I meccanici, gli ingegneri, l'idea di progresso*, pp. 95-98.

noi dovremmo senza dubbio considerare [la meccanica] la più nobile di tutte. Non solo incorona e perfeziona la geometria (come Pappo riferisce) ma anche detiene il controllo del regno della natura. Perché ogni cosa aiuta i lavoratori manuali, i costruttori, i trasportatori, i contadini, i marinai, e molti altri (in opposizione alle leggi di natura); tutto questo è campo della meccanica.²⁷⁷

La meccanica non aveva la sola capacità di aiutare a controllare la natura e di dirigerla verso un certo scopo prestabilito, ma, come Guidobaldo scriverà nella parafrasi *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede, pubblicata nel 1588, la meccanica era anche quel mirabile artificio mediante cui la natura riusciva a superare la natura stessa²⁷⁸. Nella prefazione al trattato *De Cochlea*, pubblicato postumo nel 1615, rimarcherà di nuovo la “naturalità” dell’azione meccanica. La coclea è uno di quei congegni meccanici che evidenzia tutta la paradossalità del binomio arte-natura, attraverso l’innalzamento della materia quale conseguenza di una successione continua di cadute all’interno del condotto elicoidale della vite. La coclea rappresenta un esempio in cui è lampante l’inevitabile e progressivo allontanamento del senso comune dal discorso scientifico²⁷⁹.

Sia nella prefazione scritta da Guidobaldo sia in quella scritta da Filippo Pigafetta, curatore della versione volgare del *Mechanicorum*, emerge l’importanza di dare dignità alla meccanica e di preservarla da «certi manipolatori di parole» e da coloro che ritengono «lei essere voce di ingiuria»²⁸⁰. Baldi, come vedremo, nel *Discorso di chi traduce sopra le Machine se moventi* attribuirà tale causa a due possibili ragioni: o «che, essendo per lo più 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 riputazione che la propria perfettione dovrebbe apportar loro» oppure «che ciò fosse nato dall’errore fatto dalle persone ignoranti, le quali senza distinguer l’Architetto dal lavoratore manuale, hanno dato il nome dell’Architetto al manuale»²⁸¹. Secondo questa ricostruzione, l’individuazione da parte di Guidobaldo, Pigafetta e Baldi di un nemico da cui preservare la meccanica sarebbe piuttosto funzionale al raggiungimento di due obiettivi, uno diretto e uno più indiretto. Il primo era dare dignità alla meccanica, rivendicandone, quasi esagerando, le sue origini illustri, affinché potesse essere finalmente elevata a scienza; il secondo riguardava la necessità di valorizzare, giustificando culturalmente, il proprio ambito di studio, anche rimarcando il poco

²⁷⁷ Del Monte, 1577, *Praefatio*, traduzione nostra.

²⁷⁸ Nella prefazione al *Mechanicorum Liber* Guidobaldo aveva affermato piuttosto il contrario, Del Monte, 1577, *Praefatio*, traduzione nostra: «E la meccanica, dal momento che opera contro natura o piuttosto in rivalità con le leggi di natura, sicuramente merita la nostra più alta ammirazione».

²⁷⁹ Gamba, 2001b, p. 92. Sul tema si veda anche Gatto, 2005, p. 275.

²⁸⁰ Del Monte, 1581, Pigafetta Ai Lettori: «Ma perciocche questa parola Mechaniche non verrà forse intesa da ciascheduno per lo suo vero significato, anzi troveransi di quello, che stimeranno lei essere voce di ingiuria, solendosi in molte parti d'Italia dire ad altri Mechanico per ischernò, e villania, e alcuni per essere chiamati Ingegneri si prendono sdegno: non sarà per avventura fuori di proposito il ricordare, che Mechanico è vocabolo honoratissimo, dimostrante, secondo Plutarco, mestiero alla Militia pertinente, e convenevole ad huomo di alto affare, e che sappia con le sue mani, e co'l senno mandare ad esecuzione opre meravigliose à singulare utilità, e diletto del vivere humano [...] L'essere Mechanico dunque, e Ingegniero con l'esempio di tanti valent'huomini, è officio da persona degna, e signorile: e Mechanica è voce Greca significante cosa fatta con artificio da move e, come per miracolo, e fuori dall'humana possanza grandissimi pesi con picciola forza [...]». Del Monte, 1577, *Praefatio*: «E come per certi manipolatori di parole che biasimano la meccanica, lasciamo andare via e pulire la vergogna, se loro hanno alcuni, e fermano falsamente facendo pagare [la meccanica di] mancanza di nobiltà e mancanza di utilità. Se loro ancora non auspicano di fare così, lasciamo lasciare loro, io dico, nella loro ignoranza; e lasciateci piuttosto seguire Aristotele, il capo dei filosofi, del cui bruciante amore per la meccanica è sufficientemente provato dall'acuta *Problemi meccanici* che diede alla posterità. In questo raggiungimento lui enormemente sorpassò Platone. Perché, quando Archita ed Eudosso stavano diligentemente esplorando l'utilità della meccanica, Platone (come Plutarco ci dice) dissuase loro da questo percorso, sul terreno che loro stavano mostrando alla massa e stavano rendendo pubblica la più nobile proprietà dei filosofi e ingannando, come era, il misterioso segreto del filosofo. Ma sicuramente, almeno nel mio giudizio, così un punto di vista [che è di Platone] è essere completamente rigettato, a meno che forse noi non vogliamo elogiare la distaccata contemplazione di così nobile soggetto per mettere in discussione i frutti, l'utilità, e l'obiettivo dell'arte», traduzione nostra.

²⁸¹ Baldi, 1589a, *Discorso di chi traduce sopra le Machine se moventi*, pp. 11r-11v.

apprezzamento da parte dei contemporanei²⁸². Concludiamo questo paragrafo con una provocazione. Abbiamo l'impressione che per Guidobaldo non fosse necessario studiare ed esaminare la *meccanica* perché utile, ma, al contrario, la *meccanica* fosse per lui utile perché rientrava nel suo settore di studio.

3.4 *Mechanicorum Liber*: la meccanica applicata alle macchine

Guidobaldo nel 1577 pubblicò il *Mechanicorum Liber*, uno tra i più importanti e influenti trattati di meccanica del Cinquecento, tanto da essere immediatamente apprezzato e discusso dai suoi contemporanei. Pochi anni dopo, nel 1581, uscì la traduzione volgare, *Le Mechaniche*, curata da Filippo Pigafetta. Successivamente, nel 1615, furono pubblicate a Venezia le seconde edizioni di entrambe le versioni²⁸³.

All'interno del *Mechanicorum Liber* Guidobaldo studia il comportamento delle cinque macchine semplici (attingendo pienamente dai frammenti della *Meccanica* di Erone riportati da Pappo nelle *Collezioni Matematiche*), riducendolo a quello della leva²⁸⁴, e introduce un tipo di equilibrio che troviamo ancora oggi nei manuali di scuola: l'equilibrio indifferente. Nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo usò le nozioni di baricentro e di leva per elaborare schemi geometrici delle macchine, al fine di stabilire le proporzioni geometriche tra forze e pesi applicati²⁸⁵. Possiamo definire il *Mechanicorum Liber* come una sintesi di interessi eterogenei in cui convergono, in primo luogo, elementi ascrivibili alla letteratura matematica antica appresa da Guidobaldo grazie alla frequentazione del circolo di studio avviato da Federico Commandino. Tra i molti testi che fanno da sfondo al trattato, rivestono un ruolo strategico gli *Elementi* di Euclide, i trattati di Archimede (in particolare *Sull'equilibrio dei piani*, di cui curerà una parafrasi nel 1588), il *Liber de centro gravitatis solidorum* scritto da Commandino con l'intenzione di recuperare *ex novo* un trattato perduto di Archimede, le *Collezioni Matematiche* di Pappo (il Libro VIII contiene importanti riferimenti alla meccanica di Erone), il *Sul cielo*, la *Fisica* e i *Problemi meccanici* di Aristotele²⁸⁶. In secondo luogo, nel *Mechanicorum Liber* entra la letteratura medievale-rinascimentale di indirizzo meccanico, come i *Quesiti et inventioni diverse* di Tartaglia e i trattati sulla scienza dei pesi di Cardano e di Giordano.

Nel *Mechanicorum Liber*, Guidobaldo non delinea solo le caratteristiche tecniche di una nuova meccanica fondata su principi geometrici²⁸⁷, ma presenta la sua teoria meccanica innanzitutto come affidabile, rivendicando la base sperimentale di tutti i teoremi inseriti²⁸⁸. Mediante l'opera è possibile ricostruire la cosiddetta controversia sulle condizioni di equilibrio di una leva, dibattito che ha fortemente coinvolto i maggiori matematici del tempo²⁸⁹. In conclusione, riteniamo che il *Mechanicorum Liber* possa essere visto come il prodotto di un nuovo modo di fare scienza, dove matematica antica, tecnologia, fisica strumentale, filosofia, istanze propagandistiche si intrecciano.

²⁸² Altieri Biagi, 1956b.

²⁸³ Frank, 2011, pp. 39-40.

²⁸⁴ Bertoloni Meli ricorda che Descartes aveva criticato l'impiego della leva per spiegare la carrucola (Bertoloni Meli, 2013, p. 112). Il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo e *Le mecaniche* di Galileo sono stati criticati da Huyghens, in quanto oscuri e superflui: «n. 3555*. Costantino Huygens a Renato Descartes [in Leida]. Breda, 8 settembre 1637. Bibl. dell'Accademia delle Scienze d'Amsterdam. Mss. XLIX, Lettres françoises de Constantin Huygens, T. I, pag. 759... J'ai veu autrefois ce que Guido Ubaldo en a escrit et depuis Galilaeo, traduit par le P. Mersenne; mais l'un et l'autre a pen de satisfaction, en imaginant que ces gens-la ne font qu'envelopper de superfluités obscures en deux ou trois positions, n'y ayant rien, à mon avis, qui se tienne d'une si claire et necessaire [façon?]....», (Galilei, 1937a, *Carteggio 1637-1638*).

²⁸⁵ Gamba, 1995.

²⁸⁶ In particolare, nel *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo individuiamo la compresenza della meccanica matematico-dimostrativa limitata ai casi statici (Archimede); della meccanica dei *Problemi Meccanici*, i cui principi esplicativi sono il cerchio e le diverse velocità; della meccanica di Erone, caratterizzate da regole basate su peso noto e potenza nota.

²⁸⁷ Per un'analisi della matematica nella meccanica di Guidobaldo si veda Van Dyck, 2013.

²⁸⁸ Gamba, 2001b.

²⁸⁹ Per un'analisi approfondita della controversia rimandiamo a Renn e Damerow, 2012.

3.5 Gli avversari di Guidobaldo: Giordano, Cardano e Tartaglia

La proporzione più importante del *Mechanicorum Liber* è la *Propositio* IV, della parte *De Libra* (per comodità noi faremo spesso riferimento alla versione volgare del *Mechanicorum Liber* curata da Piagafetta nel 1581, *Proposizione* IV, parte *Della Bilancia*), in cui Guidobaldo espone la teoria sull'equilibrio indifferente: se una bilancia con bracci uguali e pesi uguali applicati al termine dei bracci, avente il punto di sospensione coincidente con il baricentro, viene spostata da una posizione orizzontale a una posizione obliqua, allora la bilancia rimane nella nuova posizione²⁹⁰. All'interno Guidobaldo non si limita ad illustrare la sua ipotesi geometrica, ma la misura con i principali argomenti dei suoi avversari: la *gravitas secundum situm* (il peso più alto acquista più pesantezza posizionale del peso più basso a causa della sua obliquità di discesa), l'angolo misto (esso è l'angolo risultato dall'intersezione della linea dritta verso il basso - cioè della linea di direzione del peso verso il centro del mondo - e una linea curva) e il *meta* angolo (l'angolo tra il supporto della bilancia e il braccio). Il pesarese basa la sua critica su due principi: sulla definizione di Pappo di *centrum gravitatis*, secondo la quale il centro di gravità di un corpo deve mantenere sempre la stessa posizione²⁹¹, e su un'idea cosmologica, per cui le inclinazioni dei pesi presi singolarmente non disegnano linee parallele ma convergono verso il centro del mondo²⁹². Guidobaldo assume i principi di Giordano da Nemore, Niccolò Tartaglia e Girolamo Cardano per mostrare gradualmente le fallacie logiche e la falsità delle loro argomentazioni.

Seppure la vita del matematico Giordano da Nemore (1225?-1260?) sia ancora avvolta nel mistero, è indiscussa l'importanza dei trattati di statica a lui attribuiti (*Elementa Jordani super demonstrationem ponderum*, *Liber de ponderibus*, *Liber de ratione ponderis*). La scienza dei pesi di Giordano si basa principalmente sulla lettura delle opere matematiche greche tradotte in arabo dal matematico siriano Thabit Ibn Qurra²⁹³.

Il *Liber de ponderibus* si apre con sette supposizioni²⁹⁴:

1. Il moto di tutti i pesi è verso il centro [del mondo]²⁹⁵;

²⁹⁰ Alla base della teoria di Guidobaldo vi è il postulato archimedeo «Gravia aequalia ex aequalibus distanjijs aequponderare», Del Monte, 1588, Archimedis Postulata I.

²⁹¹ Del Monte, 1581, Della Bilancia, Proposizione IV, commento di Pigafetta, p. 28v: «Con proporre tre centri da effere confiderati in questa speculatione; l'uno è il centro del mondo; l'altro il centro della bilancia, et il terzo il centro della grauezza della bilancia, che in essa era vn nascosto secreto di natura. Senza questi tre centri, chiara cosa è, che non si puote venire in conoscimento perfetto, ne dimostrare gli effetti vari della bilancia» Sull'argomento si veda Van Dyck, 2006b, p. 391.

²⁹² Guidobaldo usa la convergenza dei pesi verso il centro come strumento dialettico per controbattere alle argomentazioni dei suoi avversari. Secondo Guidobaldo se i corpi sono presi singolarmente allora le loro inclinazioni convergono verso il centro del mondo. Invece se i pesi sono appesi ai bracci della bilancia, e quindi sono congiunti ad essa, si deve considerare come linea di caduta quella del centro di gravità del sistema bilancia. Per la Presupposta II del *Mechanicorum Liber*, che è direttamente collegata al Postulato VI de *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede (Postulato V nell'edizione di Dijksterhuis, 1987): «Inaequalium autem, sed similium centra gravitatum esse similiter posita», il centro di gravità non varia, pertanto l'equilibrio indifferente è salvo. Archimede non parla mai in maniera esplicita di linee parallele o convergenti dei pesi, sennonché ne *Sui corpi galleggianti*, I, prop. 2 [si veda Dijksterhuis, 1987, *Floating bodies*, I, prop. 2] vi sia un labile riferimento al fatto che le verticali lungo le quali i corpi cadono convergono verso il centro della terra Del Monte, 1581, Della Bilancia, pp. 17v-18v e Del Monte, 1577, De Libra, pp. 19v-20v. Sul tema si vedano anche Bertoloni Meli, 1992, pp. 25-26, Van Dyck, 2006b, e Gamba e Montebelli, 1988, pp. 215-250. Per una più ampia discussione si rimanda al paragrafo *Guidobaldo e la difesa dell'equilibrio indifferente*.

²⁹³ Su Giordano e sulla meccanica medievale si vedano Clagett, 1961; Moody e Clagett, 1952. Alcuni autori, come Commandino, Heiberg e Thurot, ritengono che i trattati attribuiti a Giordano avessero invece origine greca. Sul tema si veda Vailati, 1911b, p. 92.

²⁹⁴ In questa sede terrò come riferimento il *Liber de ponderibus* nella edizione di Petrus Apianus (1533), in quanto è il libro a cui Guidobaldo faceva riferimento. Cardano aveva in mano la stessa edizione. Invece Tartaglia aveva a disposizione una versione del *Liber de ratione ponderis*.

²⁹⁵ *Liber de ratione ponderis*: «Il moto di tutti i pesi è verso il centro [del mondo] e la virtù è una potenza di tendere verso il basso e di resistere al movimento di direzione contraria», Moody e Clagett, 1952, p. 175.

2. Quanto è più grave tanto più veloce discende;
3. E' più grave nella discesa, nella misura in cui il moto verso il centro è diritto;
4. E' più pesante secondo il sito, nella misura in cui nello stesso è meno obliqua la sua discesa;
5. Più è obliquo infatti meno prende discesa del diritto, per la stessa quantità [del percorso];
6. Un peso è meno pesante dell'altro secondo il sito, se dalla discesa dell'altro segue il moto contrario;
7. Il sito di uguaglianza è quello di equidistanza al piano dell'orizzonte²⁹⁶.

Le prime tre supposizioni sono conseguenza diretta della fisica aristotelica. La quarta introduce il concetto principale su cui si fonda la statica di Giordano: *gravitas secundum situm*²⁹⁷. Seppure quest'ultimo sia un concetto abbastanza controverso, esso ha svolto un ruolo fondamentale nella trattazione dei meccanici medievali e moderni. Per Giordano la pesantezza di un grave dipende dal sito in cui questo è posto e può essere quantificata analizzando l'obliquità di discesa del grave. L'obliquità di discesa si misura proiettando sulla verticale la porzione di circonferenza virtualmente coperta dalla caduta del peso²⁹⁸. Secondo tale concetto, Giordano dimostra che, se incliniamo una bilancia in equilibrio, il peso più in alto copre una porzione di circonferenza che, se proiettata sulla verticale, risulterà più lunga rispetto al peso posizionato in basso (Fig. 8).

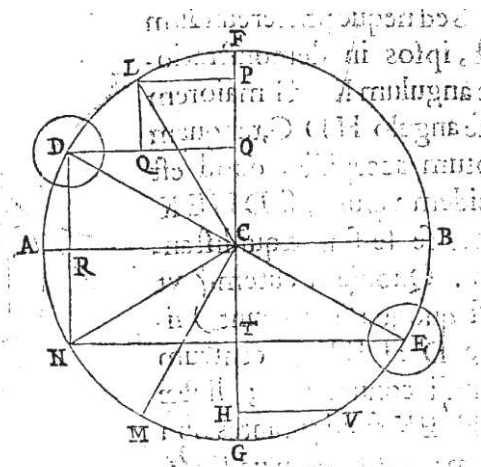


Fig. 8 Se $DA = EV$, allora $QC > TH$,
in Del Monte, 1577, *De Libra*, p. 8v.

Il concetto di *gravitas secundum situm* verrà successivamente espresso da Tartaglia in *Quesiti et inventioni diverse* (1546) nel seguente modo:

Dico, che il corpo .b. stante quel nel ponto .i. uien à effer piu graue, secondo il sito del corpo. a. stante quello in ponto.u. (come difotto appar in figura) perche il descenso del detto corpo b. dal ponto.i.nel ponto .l. è piu retto del descenso del corpo.a. dal ponto. u. nel ponto f. (per la seconda parte della quarta petition) perche capisse piu della linea della direttione, cioe, che nel descendere il detto corpo .b. dal ponto. i. nel ponto.l. lui capisse, ouer piglia della linea della direttione, la parte .x.y. et il corpo .a. nel discendere dal ponto.u.nel ponto.f.lui caperia della detta linea della direttione, la parte .f. et perche la parte .x.y. è maggiore della linea, ouer parte .f. (per la 17. diffinitione) piu obliquo fara il descenso dal ponto .u. al ponto .f. di quello dal ponto .i. al ponto

²⁹⁶ *Liber de ratione ponderis*: «Il sito di uguaglianza è quello di uguaglianza tra gli angoli rispetto alla perpendicolare, o tale che questi angoli siano retti, o tale che il raggio sia parallelo al piano dell'orizzonte». Moody e Claggett, 1952, p. 175.

²⁹⁷ Vailati individua nella variazione di peso secondo il sito una prima distinzione tra peso e massa di un corpo. Sempre Vailati fa risalire questa prima distinzione ad Aristotele (Vailati, 1911g). Sul tema si veda anche Ugaglia, 2015.

²⁹⁸ Frank, 2011, p. 268.

.1. Onde (per la seconda parte della quarta petitione) il corpo.b.in tal politione fara piu graue secondo il sito del corpo .a. [Fig. 9].²⁹⁹

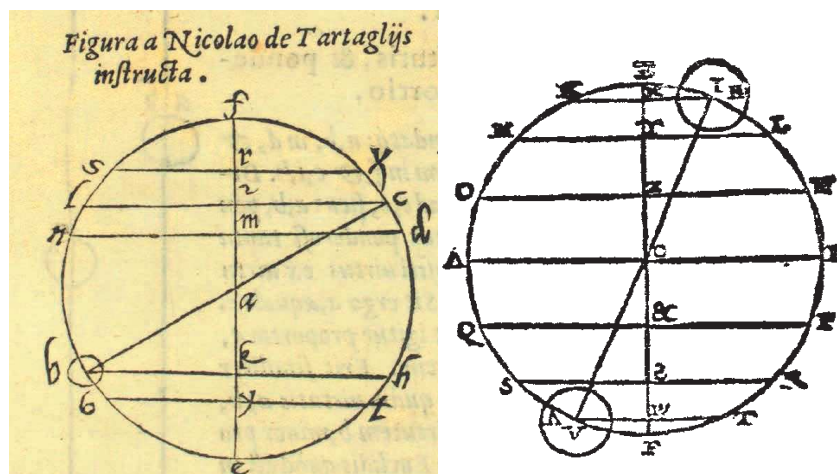


Fig. 9 Il peso posizionale in C è maggiore di quello in B, perché la discesa verticale ZM è maggiore della discesa verticale KY. La figura di sinistra è tratta da Tartaglia, 1565, p. 3v, la figura di destra è tratta da Tartaglia, 1959, 90v.

In *Quesiti et inventioni diverse* Tartaglia ripercorre la trattazione di Giordano e amplia gli argomenti a sostegno della *gravitas secundum situm*³⁰⁰. L'idea principale di Tartaglia è l'uso di angolo di contatto, mediante cui riesce a determinare la differenza posizionale dei pesi. Nel *Quesito XXXIII, Propositione VI*, dei *Quesiti et inventioni diverse*, Tartaglia individua la differenza degli angoli di contatto DBF e AHL, tracciati dall'incontro delle tendenze dei pesi con la circonferenza disegnata dalla rotazione della bilancia ACB (Fig. 10).

N. Sia effempi gratia, la medesima libra .a.b.c. della precedente propositione, nelle istremita, della quale siano pur appesi li dui corpi.a. b. eguali semplicemente in gravita, & sia abbassato con la mano il corpo.a.& eleuato il corpo.b. come di sotto appare in figura. Dico che in tal sito, il corpo.b. è piu ponderoso, ouer graue per uigor del sito del corpo .a. & che la differentia che è fra le gravita de questi dui corpi, eglie impossibile à poterla dar, ouer trouar fra due quantita ineguale, et per dimostrar questa propositione. Tiro le due rette linee .a.h. et .b.d. perpendicolare uerso il centro del mondo, et tiro anchora le due linee .a.l. et .b.m. contingente il detto cerchio, che descriue li bracci della libra, l'una nel ponto .a. et l'altra nel ponto .b. Et descriuo anchora una parte de una circonferentia d'un cerchio, contingente il medesimo cerchio .a.e.b. in ponto .b. la qual sia pur d'un cerchio simile, et eguale al medesimo cerchio .a. e. b. la qual parte pongo che sia la.b.z. tal che l'arco .b. z. uien à esser simile, et eguale all'arco .a.f. et anchora similmente posto, cioe nel medesimo sito, ouer luoco, et la linea .b.m. che continge, ouer tocca quello, et perche la obliquita dell'arco .a.f. (per quello che fu detto sopra la terza petitione) uien misurata, ouer considerata per meggio dell'angolo contenuto dalla perpendicolar .a.h. et dalla circonferentia .a.f. in ponto .a. et la obliquita dell'arco .b.f. uien misurata, ouer considerata per meggio dell'angolo contenuto dalla perpendicolar .b. d. et dalla circonferentia .b. f. in ponto .b. adunque il corpo .b. in tal sito ueneria ad esser tanto piu graue del corpo.a.quanto che il detto angolo (contenuto dalla perpendicolar .b.d. et dalla circonferentia .b.f. in ponto .b.) fara minore dell'angolo contenuto dalla perpendicolar .a.b. et dalla circonferentia .a.f. in ponto .a. et perche il detto angolo .h.a. f. è precisamente eguale all'angolo .d.b.z. et lo detto angolo .d.b.z. uien ad esser tanto maggiore dell'angolo contenuto dalla detta perpendicolare, b.d. et dalla circonferenza sia a.b.f. in ponto .b. quanto che è l'angolo della contingentia delli dui cerchij .b.z. et .b. f. in ponto

²⁹⁹ Tartaglia, 1959, Quesito XXXII, Propositione V.

³⁰⁰ Per una breve biografia si rimanda al capitolo su Commandino. Tartaglia fu protagonista della memorabile sfida con Ludovico Ferrari, allievo di Cardano, sulla risoluzione delle equazioni di terzo grado. Per una esauriente discussione si vedano Nenci, 2008, e Gavagna, 2012.

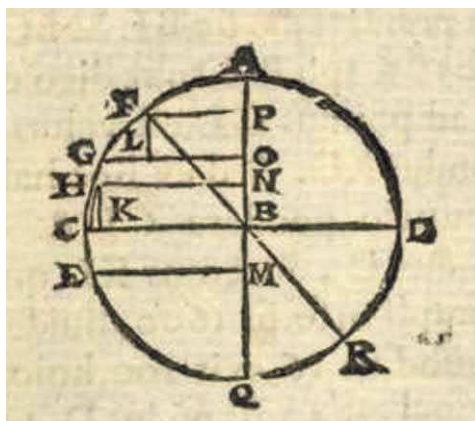


Fig. 11 Angolo metà secondo Cardano.

Se il supporto è AB , allora gli angoli metà sono FBQ e RBQ (e quindi $FBQ > RBQ$, dunque F più pesante). Se il supporto è BQ , allora gli angoli metà sono RBA e FBA (e quindi $RBA > FBA$, dunque R più pesante), in Cardano, 2004, Libro primo, p. 93.

3.6 Dal *Mechanicorum Liber* a *Le Mechaniche*: l'autore Guidobaldo e il traduttore Pigafetta

Mi proposi nell'animo, che utile sarebbe al ridurlo in volgare, accioche coloro i quali sono atti per altro ad intenderlo, ma non hanno conoscenza del Latino, potessero farne suo profitto.³⁰⁵

Da quanto scrive Pigafetta nella lettera dedicatoria indirizzata all'architetto Giulio Savorgnan, in molti erano interessati al *Mechanicorum Liber*. Tuttavia, l'ostacolo linguistico rappresentato dal latino era per numerosi architetti difficile da superare. Il *Mechanicorum*, il primo trattato a stampa dedicato alla meccanica, metteva a disposizione dei potenziali fruitori la possibilità di attingere a conoscenze geometriche altrimenti difficilmente reperibili³⁰⁶. Da come si evince nella prefazione del *Mechanicorum Liber*, non pochi architetti erano interessati a un testo in cui veniva mostrata l'applicazione pratica dei procedimenti geometrici esposti nelle opere di Pappo e Vitruvio³⁰⁷. Oltre all'esigenza dei professionisti di avere a disposizione un trattato di meccanica, la morte di Commandino dovette aver contribuito a velocizzarne la pubblicazione, dal momento che i trattati di meccanica erano rimasti fuori dalla sua restaurazione della matematica antica³⁰⁸.

A questo punto dovremmo chiederci perché Guidobaldo non scrisse il *Mechanicorum* direttamente in volgare, dal momento che il contenuto poteva maggiormente interessare non tanto gli umanisti ma gli architetti, tradizionalmente poco abili nella lettura dei testi in lingua latina. Presumibilmente la lingua volgare, ancora incerta, scarna e liquida, non era ancora in grado di rendere adeguatamente i vocaboli provenienti dalla letteratura matematica antica. Allo stesso tempo,

³⁰⁵ Del Monte, 1581, All'Illustrissimo Signor Giulio Savorgnano. Conte di Belgrado, lettera dedicatoria di Pigafetta.

³⁰⁶ Sulla trattatista rinascimentale si veda Gioseffi *et al.*, 1985. Per una discussione sulla trattatistica in particolare veneziana si veda Ventrice, 1998, pp. 311-312.

³⁰⁷ Si veda la prefazione al *Mechanicorum Liber*: «Ma ora penso che, sebbene non abbia completato di trattare qualsiasi cosa riguardante la meccanica, eppure ho fatto qualche progresso a tal punto che posso portare qualche aiuto a quelli che hanno imparato da Pappo, Vitruvio, e altri, cosa è una leva, una puleggia, un verricello, un cuneo e una vite, e come dovrebbero essere disposti cosicché i pesi possono essere mossi, e le molte proprietà presenti in queste macchine dalla virtù della leva, alle proprietà connesse con forza e peso, di cui sono desiderosi di imparare. Per questa ragione ho pensato che fosse tempo per me di sviluppare e dare qualche esempio del lavoro che ho fatto su questo argomento», Del Monte, 1577, *Praefatio*, traduzione nostra.

³⁰⁸ Le *Collezioni matematiche* di Pappo tradotte da Commandino, opera contenente parte della *Meccanica* di Erone, aspettavano ancora essere pubblicate. La stampa del *Mechanicorum Liber* sicuramente è stata sostenuta anche dal duca Francesco Maria II della Rovere, diretto destinatario dell'opera, Frank, 2103b. Il duca urbinato aveva anche esortato Guidobaldo alla pubblicazione del *De ecclesiasticis calendariis* e delle *Collezioni Matematiche* di Pappo. Per quanto riguarda la questione Pappo, rimandiamo Passalacqua, 1994.

Guidobaldo riteneva, come il suo maestro, che la lingua latina potesse conferire maggiore dignità alle discipline matematiche.

Per Guidobaldo la meccanica era scienza per architetti, capitani, ingegneri e per creatori di strumenti, ovvero per coloro che avessero ingegno tale da comprenderne i principi geometrici alla base delle applicazioni pratiche e non per i meri esecutori. Tuttavia, il latino serviva a mantenere alto il profilo nobile della meccanica. Esso separava i capomastri dai lavoratori manuali³⁰⁹. Pertanto, i destinatari ideali dell'opera erano coloro che potevano comprendere il contenuto e a fare buon uso della cifra geometrica della meccanica. La traduzione volgare (1581), curata da Pigafetta, uscirà quattro anni dopo la versione latina. Il titolo altisonante e molto più lungo dello stringato *Mechanicorum Liber* sembra essere altresì più dettagliato: *Le Mechaniche dell'illvstriss. Sig. Gvidovbaldo de Marchesi Del Monte tradotte in volgare dal Sig. Filippo Pigafetta: Nellequali fi contiene la vera Dottrina di tutti gli Istrumenti principali da mouer pefi grandisfimi con picciola forza. A beneficio di chi fi diletta di questa nobilissima scienza; & massimamente di Capitani di guerra, Ingegneri, Architetti, d'ogni Artefice, che intenda per via di Machine far opre marauigliose, e quasi sopranaturali. Et fi dichiarano i vocaboli, et luoghi più difficili*. Se il *Mechanicorum Liber* affidava una sorta di selezione "fisiologica" al latino stesso, che era anche garante della rispettabilità del contenuto, la versione volgare, non potendosi affidare alla lingua della scrittura, affidava la propria selezione al sottotitolo *A beneficio di chi si diletta di questa nobilissima Scienza; et massimamente di Capitani di Guerra, Ingegneri, Architetti, et d'ogni Artefice, che intenda per via di Machine far opre marauigliose, et quasi sopra naturali*. Pertanto, *Le Mechaniche* erano destinate principalmente a Capitani, Ingegneri, Architetti, Artefici e a coloro che si intendevano di meccanica, e meno ai lavoratori manuali.

Sebbene la versione volgare si presenti come una traduzione fedele del *Mechanicorum*, essa ospita alcune parti non presenti nella versione latina, come la lettera dedicatoria firmata da Pigafetta, alcuni commenti a nome del traduttore e l'errata trattazione del piano inclinato nella parte finale dell'opera. È noto dalla corrispondenza tra Guidobaldo e Pigafetta che la traduzione venne fatta sotto la stretta sorveglianza del matematico pesarese, soprattutto per quanto riguarda la scelta dei termini volgari³¹⁰. Dalla comunicazione epistolare emergono le difficoltà di traduzione dei termini appartenenti alla meccanica antica e per cui il vocabolario volgare non era ancora maturo. Pigafetta mirava a una totale conversione dei vocaboli latini utilizzando parole già presenti nella lingua italiana. Diversamente, Guidobaldo era per sacrificare la comprensione di alcuni termini lasciandoli in latino, in modo da non rischiare potenziali e inopportune variazioni di significato. Entrambi erano consapevoli che stavano fondando un lessico matematico nuovo per una lingua volgare caratterizzata ancora da evidenti difformità linguistiche tra le diverse aree territoriali³¹¹.

³⁰⁹ Henninger-Voss, 2000.

³¹⁰ BAM (Biblioteca Ambrosiana di Milano), Fondo Pinelli, ms R 121, sup, ff. 14r-15r Filippo Pigafetta a Guidobaldo. Padova, 5 novembre 1580: «Starò attendendo la Sua risposta, accioché tosto diasi principio a stampar il libro, riveduto e corretto da Lei, sì come rivede e corresse la traduttione della sua *Historia* il Bembo et il Giovio et ultimamente il buon Commandino», lettera pubblicata in Castagné e Frank, 2013. L'articolo appena citato contiene gran parte della corrispondenza tra Guidobaldo del Monte e Filippo Pigafetta e uno studio approfondito sul dibattito terminologico in fase di preparazione della versione volgare del *Mechanicorum Liber*.

³¹¹ Manni, 1980, per una sempre attuale analisi generale sulla trasformazione dei termini scientifici dal latino al volgare. Castagne, 2015. Sull'incertezza dei termini e sui modelli utilizzati per la traduzione è interessante la missiva inviata da Guidobaldo a Filippo Pigafetta, Pesaro, senza data, BAM, Fondo Pinelli, ms R121 sup., ff. 20r-21r: «*Avertimenti circa il tradurre*: Circa il tradurre di latino in volgare il libro delle *Mechaniche*, per esser questa una materia poco trattata in lingua italiana, e perché bisogna nominar molti termini matematici li quali non abbiamo nella nostra lingua, mi par che bisogni usar voci le quali facilitino la scienza e non la oscurino. E però mi par che in tutti i modi sia da lasciar le voci toscane, ma formarle dalle latine, le quali se ben non saranno propriamente volgare e toscane, nondimeno renderanno la scienza più facile e più chiara; come per esempio a dir «angolo diritto»: questo non vuol dir niente, ma a dir «angolo retto» significa benissimo quella sorte d'angolo. E però in tutti i modi io userei «linea retta, angolo retto, perpendicolare, parallela, equidistante, linea della direttione, magnitudine, angolo misto, angolo curvilineo, centro della gravezza, centro della gravità, triangolo equilatero, triangolo equicure, scaleno, lemma, corollario» e così gl'altri simili a questi. Insomma

Molti studiosi hanno recentemente mostrato che Guidobaldo non ebbe solo un ruolo consultivo nella fase di traduzione dei termini, ma controllò serratamente la stesura della versione volgare, influenzando anche il contenuto dei commenti scritti dal curatore Pigafetta per esplicitare maggiormente la materia³¹². Un caso emblematico è il famoso commento al termine della proposizione IV, della parte *Della Bilancia*, dove Pigafetta prende posizione in favore di Guidobaldo descrivendo alcune esperienze fatte dall'autore per dimostrare l'equilibrio indifferente. Il commento di Pigafetta non è nient'altro che la trascrizione di una lettera di Guidobaldo, in cui il pesarese suggerisce, quasi dettando, il contenuto in terza persona³¹³. Dalla corrispondenza tra Guidobaldo e Pigafetta emerge anche che l'autore intervenne pesantemente nelle scelte di traduzione del traduttore; nonostante ciò Guidobaldo decise di non essere «nominato in mod'alcuno».

Ora quello che liberamente Gli volevo dir è che se bene io darò una trascorsa alla Sua traduttione, non voglio però (che stampandosi) esser nominato in mod'alcuno né dire come fano molti «revista dall'autore» e V.S. mi farà gratia di compiacermi in questo, che altramente io non lo rivedrei in alcuno modo. Che se io lo fo, lo farò solo perché V.S. così cortesemente me lo dimanda, non perché anch'io conosco che V.S. abbi questo bisogno, lo farò però per levarGli parte della fatica.³¹⁴

Il motivo che spinse Pigafetta a tradurre il trattato di Guidobaldo è contenuto nelle prime pagine della dedica: il merito è di Giulio Savorgnan, conte di Belgrado, che aveva chiesto a Pigafetta una traduzione volgare per far conoscere la scienza delle macchine a chi non conosceva il latino³¹⁵.

Havendo io dunque veduti, e isperimentati questi vari difici ad Osopo; e estendomi stato da lei mostrato la prima volta il presente libro, e commendato sommamente, mi proposi nell'animo, che

dove bisogna nominar i termini della scienza, mi par che si facci grande errore nominarli altrimenti che per il proprio termine. Nel resto poi, dove non si ha da specificar il termine, laudo che si scriva politamente et italianamente che l'esquisitezza del parlare, per massime toscano, bisogna usarla nelle cose oratorie e poetiche, nelle quali ancora si può scappar, come fece Dante nel suo poema, volendo nominar l'angolo retto, disse «che retto non avesse». Poi queste voci e questi termini sono già nella nostra lingua accettati; sì come hanno fatto tutti quelli che hanno scritto e che scrivono in volgare cose mathematiche, per esempio Frate Egnatio Danti ch'ha fatto professione di scrivere fiorentino, ha usato fin i termini arabi volgarizzati, come «almecantaratti» et simili. E per concludere piglisi l'Euclide volgare di Federigo Comandino, e si osservino quelli termini che lui ha usato. Che se in quelle bande non ve ne sono, io ne mandarò uno di qua. E questa mi par che sia la maggior consideratione che si abbi d'avere nel tradurre cose matematiche, che facendo altramente si farebbe grandissimo errore», lettera pubblicata in Castagné e Frank, 2013, secondo gli autori la lettera deve essere collocata in una data precedente al 5 novembre 1580.

³¹² Del Monte, 1581, Pigafetta Ai Lettori: «Doue fi vede in alcuni luoghi di quefti trattati cotale forte di lettere picciole, differente dalle altre, come la prefente; auer tafi che non vi fono cofe dettate dall'Autore di quefto libro di Mechaniche, ma notate da colui che l'ha volgarizzato, à fine di chiarire qualche paffo difficile, et ageuolare l'intendimento a Lettori non cofi prattichi nelle Scole de Filofofi». Sullo scambio epistolare tra Guidobaldo e Pigafetta in merito alle scelte lessicali si veda Castagné, 2012, in particolare i capitoli 7 e 8. Sull'importante scolio al termine della proposizione IV si veda Micheli, 1995.

³¹³ BAM, fondo Pinelli, ms. D 34 inf, fols. 117-119, Del Monte a Pigafetta, 2 aprile 1581. Sfortunatamente, non c'è giunta la prima lettera riguardante il commento alla proposizione IV inviata da Pigafetta a Guidobaldo, dove probabilmente il veneziano chiedeva a Guidobaldo uno *scholium* sull'equilibrio indifferente di una bilancia. Guidobaldo approfittò di questa opportunità per dimostrare la validità, anche da un punto di vista pratico, della sua teoria.

³¹⁴ BAM, Fondo Pinelli, ms R121 sup., ff. 18r-19v, Del Monte a Pigafetta, 14 novembre 1580. Lettera trascritta in Castagné e Frank, 2013.

³¹⁵ BAM, Fondo Pinelli, Ms. R 121, sup. ff. 14r-15r, Pigafetta a Del Monte, Padova, 5 novembre 1580: «Mentre io ero a Osopo con l'Ill.mo S.r Giulio Savorgnano, il quale è stato cagione di questa traduttione, ogni giorno con quel Sig.re, che non fa mai altro che maneggiar difitii militari, si faceva prova delle taglie di cui ha assai e diverse, et ottimamente lavorate da un tedesco suo chiamato mastro Fait», lettera pubblicata in Castagné e Frank (2013). Savorgnan doveva essere particolarmente interessato alle applicazioni pratiche della teoria matematico-geometrica degli antichi. Nei *Quesiti et inventioni diverse* Savorgnan è uno degli interlocutori di Tartaglia. Gli ingegneri potevano ottenere due vantaggi dalla lettura del *Mechanicorum Liber*: un vantaggio di tipo conoscitivo e un vantaggio di tipo promozionale, in quanto l'opera delmontiana andava incontro al «desiderio di tanti tecnici di esibire un più elevato bagaglio culturale», Gamba, 2001b, p. 90. Sulla figura di Savorgnan si vedano Manno, 1987; Valerio e Vidon, 2018.

utile sarebbe ridurlo in volgare, acciocche coloro i quali sono atti per altro ad intendere, ma non hanno conoscenza del Latino, potessero farne suo profitto.³¹⁶

Il *Mechanicorum Liber* e la sua versione volgare rappresentarono da un punto di vista scientifico e sociale, un ponte in grado di collegare la meccanica dei principi geometrici alla meccanica dei cantieri. Il lavoro di Guidobaldo e, soprattutto, la versione di Pigafetta andavano incontro al nuovo e vitale interesse di coloro che avevano fiducia nella matematica in quanto portatrice di principi teorici applicabili alle attività professionali³¹⁷. Tuttavia, sembra che non sempre Guidobaldo si fosse curato della reale applicazione dei principi, essendo stata rilevata in più occasioni dagli ingegneri una discrepanza tra teoria e applicazione empirica. Alle accuse rivolte, Guidobaldo ribadiva che la differenza riscontrata nei *test* empirici dipendeva da come fossero costruiti gli strumenti³¹⁸.

3.7 Concetti chiave della meccanica di Guidobaldo: l'equilibrio indifferente, il piano inclinato e la rappresentazione delle macchine

La riflessione scientifica di Guidobaldo può essere riassunta in alcuni concetti di primaria importanza anche per lo stesso sviluppo della meccanica, come l'equilibrio indifferente, il piano inclinato e le modalità di rappresentazione delle macchine. Questi argomenti verranno esaminati nei successivi tre sottoparagrafi.

3.7.1 Guidobaldo e la difesa dell'equilibrio indifferente

Se apriamo un manuale di fisica è facile notare un andamento progressivo, che non vuol dire cronologico, nell'esposizione delle leggi e dei concetti scientifici. Dimentichiamo spesso che i concetti e le teorie scientifiche, che noi oggi riteniamo elementari, raramente si sono affermati senza aver dato adito a polemiche, perplessità o discussioni. Forse è proprio questa caratteristica che ha permesso e, in una certa misura, permette il continuo sviluppo del pensiero scientifico. Per esempio, anche se nel corso del Cinquecento la controversia sulle condizioni di equilibrio di una leva coinvolse i maggiori matematici del tempo, in ambito scolastico quasi mai la spiegazione delle condizioni di equilibrio di una leva è accompagnata da un'analisi storico-critica volta a contestualizzare l'evoluzione del concetto. L'esigenza di ricorrere frequentemente a un insegnamento nozionistico non permette di comprendere che molti argomenti studiati a scuola sono stati al centro di dibattiti durati anni. Le discussioni riguardanti le condizioni di equilibrio di una leva, in particolare sull'equilibrio indifferente, sono un esempio emblematico.

³¹⁶ Del Monte, 1581, All'Illustrissimo Signor Giulio Savorgnano. Conte di Belgrado, lettera dedicatoria di Pigafetta.

³¹⁷ Sull'evoluzione di alcuni principi di meccanica e di architettura si veda il saggio di Becchi, 2013. Si confronti per esempio anche l'affermazione di Alessandro Piccolomini in *De le istituzione di tutta la vita de l'homo nato nobile e in città libera* (1542) [Piccolomini, 1542] riguardante la distinzione tra meccanica-manuale del volgo e meccanica come scienza dimostrativa: «Ne le scienze mechanice, non è dubio alcuno, che utilissimo vi sia d'appararne almanco alcune cose in universale. Nè crediate che io intenda de l'arti che mecanice il volgo dimanda, ma mechanice si ha da dire quelle scienze, che essendoin mezzo tra le naturali e le mathematiche, anzi composte di quelle, ponghano i principii, donde ogni sorte d'ingegniosi machinamenti haver si possano». Il passo è riportato ed esaminato in Helbing, 2008. Si confronti anche con quanto scrive Pigafetta in Del Monte, 1581, Pigafetta Ai lettori: «L'effere Mechanico dunque, & Ingegniero con l'efempio di tanti valent'huomini, è officio da persona degna, et signorile: & Mechanica è voce Greca significante cosa fatta con artificio da muovere, come per miracolo, et fuori dell'humana possanza grandissimi pesi con piccola forza, è in generale comprende ciascun Dificio, Ordigno, Istrumento, Argano, Mangano, ouero ingegno maestreuolmente ritrouato; & lauorato per cotali effetti, & simili altri infiniti in qual si voglia scienza arte; & esercizio. La quale hò descritta così materialmente per darne vn certo saggio accomodato al gusto del più degli huomini; tralasciando le accurate diffinitioni à miglior tempo». Sul tema si veda anche Gamba, 1998, p. 351.

³¹⁸ Si veda il paragrafo *Guidobaldo e l'uso dello strumento per mostrare la correttezza di una teoria scientifica e per calcolare*.

Troviamo la prima formulazione dell'equilibrio indifferente nel *Mechanicorum Liber*, dove Guidobaldo si spese anche in una serrata analisi delle posizioni dei suoi avversari con l'intento di difendere la sua teoria³¹⁹. Per il matematico pesarese la questione non fu di poco conto, dal momento che dedicò alla proposizione IV ben 51 pagine, delle 72 che costituiscono la parte *De Libra*, e venne coinvolto in numerose discussioni sul tema, anche per via epistolare.

Così Guidobaldo definisce l'equilibrio indifferente nella *Propositione IV*:

La bilancia egualmente distante dall'orizzonte, et che habbia nelle stremità pesi uguali, et ugualmente distanti dal centro collocato in essa bilancia. Se ella indi sarà mossa, ò non, dovunque ella sarà lasciata, rimarrà.³²⁰

Per Guidobaldo l'abbaglio dei suoi avversari derivava dal fatto che questi avevano considerato «le gravezze solamente delle magnitudini, le quali sono poste nelle stremità della bilancia, senza la gravezza della bilancia». Invece, essendo «le braccia della bilancia eguali, avenirà lo istesso della bilancia, considerata la sua gravezza insieme co' pesi, ovvero senza pesi, percióche il centro istesso della gravezza senza pesi sarà anco centro della gravezza della bilancia sola»³²¹.

Le successive pagine della stessa *Propositione* sono tutte volte a criticare le dimostrazioni dei suoi avversari: «Cardano delle Sottigliezze», «Giordano dei Pesi» e «Tartaglia dei Quesiti et inventioni». La posizione da contrastare è così riassunta: «convengono questi autori in una sentenza, affermando, che la bilancia DE non si move in FG, ne rimane in DE, ma ritorna nella linea AB egualmente distante dall'orizzonte, mostrerò questa loro opinione non potere à modo alcuno fare» (Fig. 12)³²².

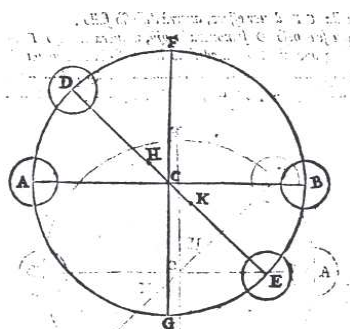


Fig. 12 Del Monte, 1577, *De Libra*, p. 6r

Per abbattere le tesi degli avversari, Guidobaldo elenca numerosi argomenti appellandosi principalmente a vizi di forma, circoli viziosi e petizioni di principio, fino ad arrivare alla spiegazione del suo equilibrio indifferente:

³¹⁹ Guidobaldo analizza anche le condizioni di equilibrio nel caso di pesi diversi rivelando la proporzionalità inversa tra distanze e pesi. Una trattazione più esauriente si trova nel suo commento all'opera archimedea *Sull'equilibrio dei piani* (Del Monte, 1588).

³²⁰ Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, proposizione IV, p. 5r; Del Monte, 1577, *De Libra*, Propositio IV, p. 5r.

³²¹ «Benché habbiamo considerato nelle cose predette le gravezze solamente delle magnitudini, le quali sono poste nelle stremità della bilancia, senza la gravezza della bilancia; niente di manco per essere anche le braccia della bilancia eguali, avenirà lo istesso della bilancia, considerata la sua gravezza insieme co' pesi, ovvero senza pesi, percióche il centro istesso della gravezza senza pesi sarà anco centro della gravezza della bilancia sola. Similmente se li pesi saranno appiccati nelle stremità della bilancia, come suole farsi, averrà l'istesso, purché le linee tirate da i punti ove sono attaccati i pesi verso i centri delle gravezze, (movasi la bilancia in qualsiasi modo) vadano à concorrere nel centro del mondo, peroche dove sono attaccati i pesi in questa maniera, ivi gravano, come se in quegli stessi punti havessero i centri delle gravezze», Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Proposizione IV, 5v; Del Monte, 1577, *De Libra*, Proposizione IV, 5v. Il problema della pesantezza della bilancia viene discusso più volte da Guidobaldo. Secondo il pesarese, finché si considera una bilancia con bracci uguali e con agli estremi pesi uguali, allora la gravezza della bilancia stessa può anche non essere presa in considerazione.

³²² Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Proposizione IV, 6r; Del Monte, 1577, *De Libra*, Proposizione IV, 6r.

Se noi consideriamo i pesi ovvero in quanto sono separati, uno dall'altro, ovvero in quanto sono tra loro congiunti: perche altra è la ragione del peso posto in E senza il congiungimento del peso posto in D, et altra di lui con l'altro peso congiunto, si fattamente che l'uno senza l'altro non si possa muovere. Imperoche la diritta, et naturale discesa del peso posto in E, inquanto egli è senza altro congiungimento di peso, si fa per la linea ES [Fig. 13]. Ma in quanto egli è congiunto col peso D, la sua naturale discesa non sarà piu per la linea ES, ma per una linea egualmente distante da CS. Percioche la magnitudine composta dei pesi ED, et della bilancia DE il cui centro della gravezza è C, se in nessun luogo sarà sostenuta, si muoverà naturalmente in giù nel modo che si trova, secondo la gravezza del centro per la linea diritta tirata dal centro della gravezza C al centro del mondo S, finche il centro C pervenga nel centro S [Fig. 14]. La bilancia dunque DE insieme co' pesi, in quella maniera, che si trova si muoverà in giù per modo tale, che il punto C si mova per la linea CS, fin che C pervenga in S, et la bilancia DE in HK; et habbia la bilancia in HK la positione istessa, che prima havea; cioè, che la HK sia egualmente distante da DE³²³.

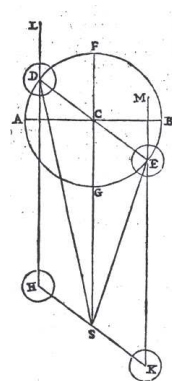
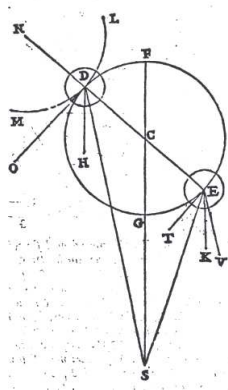


Fig. 13 Del Monte, De Libra, 1577, p. 8r.

Fig. 14 Del Monte, 1577, De Libra, p. 20v.

In quest'ultima arringa Guidobaldo manifesta la sua genuina posizione. Il pesarese ritiene che i pesi presi singolarmente seguano un percorso di discesa verso il centro del mondo, ovvero verso il loro luogo naturale. Invece, se i pesi sono posti su una bilancia, allora dobbiamo considerare i pesi e la bilancia come se fossero un sistema unico e in equilibrio, dal momento che il punto C è il baricentro del sistema. Infine, con un elegante espediente retorico, Guidobaldo riconsidera la possibilità di reintegrare la variazione della pesantezza dei pesi secondo il sito. Tuttavia, anche considerando questa «presupposta», Guidobaldo dimostra che si arriverebbe comunque a una situazione di equilibrio indifferente, in quanto gli angoli descritti dalle inclinazioni dei pesi e i *meta* angoli sono uguali³²⁴. La *Propositione IV* termina con un veloce ma importante riferimento al caso di una bilancia in equilibrio con pesi disuguali posti a distanze diverse. Facendo riferimento al trattato archimedeo *Sull'equilibrio dei piani*, Guidobaldo afferma che «Percioche sia la bilancia AB egualmente distante dall'orizzonte; et siano AB pesi disuguali, il centro della gravezza de i quali sia in C, et movasi la bilancia in DE; egli è manifesto, che la bilancia rimarrà non solamente in DE, ma in qual si voglia altro sito»³²⁵ (Fig. 15).

³²³ La spiegazione diventa progressivamente più tecnica: «[...] Et percioche l'angolo CEK è uguale all'angolo CDL et l'angolo CEG è uguale all'angolo CDF; sarà il restante angolo GEK al restante LDF eguale. Et essendo quella presupposta, che dice il peso esser più grave secondo il sito, quanto il quel medesimo sito la discesa è meno obliqua per chiara, et manifesta ricevuta, sarà anche da essere accettata senza dubbio quest'altra, cioè, che il peso sarà più grave secondo il sito, quanto nel sito medesimo meno obliqua sarà la salita; per non essere manco manifesta, ne meno conforme alla ragione, sarà dunque uguale la scesa del peso posto in E alla salita del peso posto in D. [...] Adunque il peso posto in D non muoverà in sù il peso posto in E. Dalle quali cose segue che i pesi posti in D E, in quanto tra loro sono congiunti, sono egualmente gravi» Del Monte, 1581, Della Bilancia, pp. 17v-16v; Del Monte, 1577, De Libra, pp. 19v-20v.

³²⁴ Si vedano anche le profonde analisi di Gamba e Montebelli, 1988, pp. 215-250; Renn e Damerow, 2012; Renn e Omodeo, 2013. Appendice, A7.

³²⁵ Del Monte, 1581, Della Bilancia, Propositione IV, 26v; Del Monte, 1577, De Libra, Propositione IV, 28v.

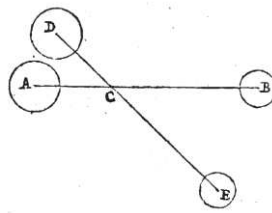


Fig. 15 Del Monte, 1577, De Libra, p. 28v.

La difesa dell'equilibrio indifferente non occupò solo le pagine del *Mechanicorum Liber*, ma proiettò Guidobaldo anche in diatribe a distanza. Per esempio, negli appunti contenuti nella sua copia del *Diversarum speculationum mathematicarum & physicarum liber*³²⁶ e nelle pagine delle *Meditationum* dissentì dalla posizione di Giovan Battista Benedetti. Altrove, in particolare nella corrispondenza con Contarini, Pigafetta, Guerrini e Clavio (con quest'ultimo polemizzò contro alcune asserzioni proferite da un certo Botuitus Nericius De Sala Gothus³²⁷), Guidobaldo rivendicò la correttezza delle sue ipotesi. La polemica tra Guidobaldo e i suoi interlocutori è interessante non solo per motivi evidentemente legati alla storia del pensiero scientifico e all'evoluzione delle idee, ma anche perché dalla corrispondenza emerge la problematicità che contraddistingueva l'uso ambiguo e la ricezione difettosa di alcuni termini. Molti di questi, come *gravitas*, *aequeponderare* e *momentum*, avrebbero contrassegnato la rivoluzione scientifica e il nostro lessico matematico³²⁸.

Guidobaldo non si limitò solo alla difesa geometrica e retorica dell'equilibrio indifferente, ma si prodigò anche per la salvaguardia di alcune speculazioni di matrice aristotelica contenute nei *Problemi meccanici* (Questioni 2 e 17³²⁹). L'obiettivo di questa ulteriore difesa era quello di mostrare anche una diretta continuità tra il pensiero di Archimede e di Aristotele³³⁰. Tale continuità venne rimarcata anche nel suo commento *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede. A differenza del suo maestro Commandino, per il quale Archimede era il *princeps scientiarum*, e del suo compagno di studi Bernardino Baldi, il quale - come vedremo - avrebbe usato Archimede per correggere i *Problemi meccanici*, Guidobaldo era convinto che vi fosse un sostanziale accordo tra la meccanica del siracusano e quella del filosofo greco. Secondo Guidobaldo, infatti, i traguardi di Archimede non potevano essere raggiunti senza le precedenti speculazioni di Aristotele³³¹. Per difendere i due approcci (aristotelico e archimedeo), apparentemente così distanti da un punto di vista del modo di indagare i fenomeni meccanici, Guidobaldo rivendicava il fatto che Aristotele e Archimede avessero operato su campi separati e che avessero dato fondamentali contributi secondo i rispettivi settori di riferimento. L'aristotelismo di Guidobaldo caratterizzò anche la sua posizione all'interno della disputa sulla natura della supernova del 1604. Un significativo campione di dati osservativi aveva rivelato che quell'oggetto, comparso all'improvviso nei cieli, doveva essere considerato una nuova stella, contraddicendo pertanto la cosmologia aristotelica e mettendo probabilmente Guidobaldo in serie difficoltà. Le frasi con cui Guidobaldo commenta le osservazioni avvenute a Praga sono

³²⁶ Benedetti, 1585.

³²⁷ Frank, 2011, pp 331-390.

³²⁸ Appendice, A8.

³²⁹ Questioni 2: «Perché la bilancia torna alla sua posizione iniziale, quando si toglie il peso mentre essa è inclinata verso il basso, se l'asse di sostegno sta sopra, e se invece sta sotto, la bilancia non torna alla posizione di partenza, ma rimane ferma?», Aristotele, 2010, p. 177; Questione 17 «Perché grandi pesi e corpi di grandi dimensioni possono essere spaccati da un cuneo, che è piccolo, e perché la pressione che esso esercita è forte?», Aristotele, 2010, p. 195. Guidobaldo esamina quest'ultimo problema riducendo il cuneo a un piano inclinato.

³³⁰ Van Dyck, 2006b. Laird invece scrive che Guidobaldo esclude dalla sua trattazione i concetti dinamici come le velocità virtuali e il lavoro dalla sua meccanica, perché ritiene che la statica di Archimede avesse superato l'approccio dinamico degli aristotelici *Problemi meccanici*. Guidobaldo, scrive sempre Laird, non include la dinamica nella sua meccanica, perché adotta l'equilibrio dei centri di gravità come principio fondazionale (Laird, 2013).

³³¹ Bertoloni Meli, 1992.

rivelatrici del suo disagio: «et i matematici si accorderanno presto presto fra loro à chiamarla stella. Ma non sapranno però rispondere alle ragioni dei filosofi, che'l cielo sia incorruttibile, et non patisci queste novità. Le quali ragioni bisognerà pur solverle, se fusse vero che questa cometa fusse stella»³³². La difficoltà di Guidobaldo è indicatrice di un cambiamento in corso, in cui i nuovi dati sperimentali contribuiscono a rendere più difficoltoso il dialogo tra «matematici» (cioè coloro che riponevano fiducia nella matematica per analizzare i dati sperimentali) e i filosofi, ovvero coloro che impostavano lo studio dei fenomeni naturali sulla base della filosofia aristotelica. Pochi anni dopo, le osservazioni di Galileo avrebbero aperto definitivamente il cielo chiuso delle stelle fisse. Ma soprattutto avrebbero spinto ad adottare un innovativo approccio metodologico secondo cui un'autorità, seppure autorevole, doveva essere continuamente messa alla prova delle osservazioni e delle dimostrazioni. Alcune tracce del pensiero aristotelico possono essere ritrovate anche nel *Mechanicorum Liber*. Nonostante l'opera delmontiana sia stata definita come un trattato di meccanica statica, all'interno sono presenti riflessioni che possono essere definite come ulteriori residui del pensiero aristotelico, notoriamente inquadrato come culla della scienza del moto³³³. Questa mescolanza non deve sorprendere, dal momento che il pesarese riteneva che la scienza di Archimede fosse una diretta prosecuzione della fisica aristotelica. Tuttavia, Guidobaldo avrebbe evitato di studiare in maniera programmatica il comportamento dei corpi in movimento, perché si rendeva conto che nel caso di esperimenti empirici, cioè esperimenti realizzati con oggetti fisici e reali, agivano forze difficili da quantificare e che ostacolavano il moto stesso dei corpi³³⁴. Eppure, quando Guidobaldo nella parte dedicata alla *Taglia*

³³² BOP (Biblioteca Oliveriana di Pesaro), ms 426, fol. 189r, Del Monte a Pier Matteo Giordani, 31 dicembre 1604, lettera pubblicata in Arrighi, 1965. Sull'argomento si veda anche Giostra, 2013. Nonostante l'adesione totale alla cosmologia aristotelica, in una lettera al filosofo Federico Bonaventura (Del Monte a F. Bonaventura, Biblioteca comunale, Forlì, Ms Autografi Piancastelli 755 (I), 8 dicembre 1588), Guidobaldo, proprio per «via di Aristotele», concede un'apertura al possibile movimento della terra, lettera pubblicata in Bertoloni Meli, 1992. Secondo Guidobaldo il movimento sarebbe causato dalla variazione del centro di gravità della terra a seguito della variazione delle masse sulla crosta terrestre: spostandosi le masse, il centro di gravità della terra doveva variare. Martin Frank ed Elio Nenci ritengono che il passo che ha in mente Guidobaldo sia Aristotele, *Sul Cielo*, 297 a31 - 297 b20. Sul tema si veda la discussione in Frank, 2011, pp. 250-252. Nelle *Meditatiunculae in Terram moveri hoc modo ostendetur* (Tassora, 2001, p. 291, f. 54, documento pubblicato anche in Gamba e Montebelli, 1988, p. 184), Guidobaldo considera la possibilità che la terra possa impercettibilmente muoversi a causa dello spostamento del centro di gravità dovuto al movimento dell'acqua e degli ammassi di terra. Seppure non credo abbia lasciato traccia nella storia del pensiero, l'opinione è interessante per il suo valore intrinseco e perché ci fa capire l'importanza delle *Meditatiunculae*, le quali rappresentano un laboratorio di idee, anche informi, in cui Guidobaldo poteva porre in discussione anche gli stessi principi della sua meccanica. Nella riflessione di Guidobaldo il possibile movimento della terra riguardava il centro di gravità (ovvero l'assetto meccanico della terra) piuttosto che il comportamento dinamico della terra (considerazione di tipo cosmologico). Questo è un altro elemento a favore del punto di vista di Gamba: i nostri urbinati non sono interessati alle questioni cosmologiche da un punto di vista filosofico.

³³³ La variabile «tempo non rientra nella statica di Archimede, appartiene piuttosto a quella mescolanza di equilibrio e movimento reperibile sia nelle Questioni meccaniche pseudo aristoteliche, sia nella meccanica eroniana dell'ottavo libro delle Collezioni matematiche di Pappo» Gamba, 1998, p. 348. Sul tema si vedano anche Sinopoli, 2015, pp. 23-50; Helbing, 2008; Benvenuto, 2006, pp. 3-14; Ugaglia, 2004.

³³⁴ Sulla rilevanza del peso degli strumenti fisici rispetto alle costruzioni geometriche segnaliamo il seguente passo: «Potrebbe forse alcuno dubitare in alcune dimostrazioni delle tagli e come in questa quinta propositione, tolta da me per esemplo per essere piu schietta delle altre, che in fatto con la esperienza non riuscissero in proportione le forze a pefi, come la ragione dimostra, peroche prefupponendoli nelle dimostrazioni matematiche le linee senza larghezza, et profondità, & così le altre cose imaginandoli separate dalla materia, ageuolmente li perfuadiamo essere vere come dicono. Ma la esperienza poi molte volte mostra diuerfità, & li trouiamo ingannati, facendo la materia grandemente variare le cose», Fig. N.1, Del Monte, 1581, Della Taglia, Commento di Pigafetta, pp. 63v-64r. La proposizione XV Della Leva contiene un Problema su come tenere in considerazione la pesantezza della leva nello studio delle condizioni di equilibrio (Del Monte, 1581, Della Leva, p. 55r; Del Monte, 1577, De Vecte, p. 60v).

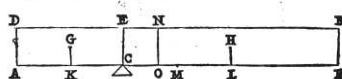


Fig. N.1 Del Monte, 1577, De Vecte, p. 60v.

fa riferimento al tempo e alla velocità, sembra uscire dallo studio delle condizioni di equilibrio di un sistema: «Hor in che modo questo instrumento della taglia si riduca alla leva, et perche un peso grande si mova da piccola forza, et in qual modo, et in quanto tempo», «Oltre à ciò la possanza move il peso istesso per ispatio uguale in tempo uguale, tanto con la corda involta intorno alla girella della taglia appiccata di sopra, quanto senza taglia, pur che li movimenti di essa possanza in velocità siano eguali», «E manifesto ancora per le cose dette, [...] che minore spatio è quello, il quale è descritto dal peso mosso, che dala possanza che tira» e anche «Dalle cose dette è manifesto etiandio che quanto più facilmente si move il peso, tanto maggiore essere etiandio il tempo; ma quanto più difficilmente, tanto minore essere; et cosi per lo contrario»³³⁵. Nella meccanica di Guidobaldo la compresenza di velocità, tempi, spazi, forze e pesi è funzionale all'analisi delle condizioni di equilibrio della taglia³³⁶. Guidobaldo si rendeva conto che tra le dette “grandezze” doveva sussistere una certa proporzione, ovvero quanto si guadagna in tempo si perde in forza e quanto si guadagna in velocità si perde in spazio³³⁷. Probabilmente è eccessivo individuare in questi luoghi l'enunciazione di un principio conservativo, secondo il quale in un lavoro meccanico la forza, il tempo, il peso e lo spazio si compensano: dal momento che se si guadagna in forza, vi è una perdita in tempo, perché maggiore è lo spazio e minore è la velocità³³⁸. Sebbene sia possibile individuare una somiglianza tra la proporzione di Guidobaldo e quello che avrebbe scritto Galileo qualche anno dopo nella versione

Nella lettera a Contarini Guidobaldo scrive: «Ma perché in atto pratico in questo caso la taglia di sotto, dove è attaccato il peso, ancor ella ha gravità, però bisogna pesar la taglia et il peso insieme, e la metà del tutto metter in N. Come se, per essemplio, il peso con la taglia pesaranno 7 libbre, bisogna in N attaccarvi 3 libbre et 1/2, sì come io avertisco a carte 101 nella seconda faccia, dove in qualche caso bisognarebbe considerer ancora la gravità delle funi, la quale in questo caso si può tralasciare, massime per le taglie piccoline, per adoperarsi spaghi et cordicelle sotili», Biblioteca Nazionale Marciana Venezia, mss. It IV, 63 (Ven. 259), Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900. Nella Propositione XXVI Della Taglia, Guidobaldo scrive: «Ma egli è da notare, che benche più volte sia stato detto nelle demonstrationi precedenti, la possanza sostenente il peso essere due volte tanto quanto esso peso, è tre, & così di mano in mano, come nella decimaquinta di questo è stato mostrato; nondimeno perciocché la possanza sostiene non solamente il peso, ma la taglia ancora, però egli pare, che sia mestieri porre la possanza di molto maggiore virtù, et di proportion maggiore verso il peso. il che è vero, se vogliamo considerare etiandio la grauezza della taglia. Ma perciocché cerchiamo la proportion che è fra la possanza & il peso, però habbiamo tralasciato questa grauezza della taglia, la quale se alcuno vorrà anche considerare alla possanza potrà aggiungere forza che sia eguale alla taglia, il che medefimamente si potrà offeruare nella corda. Et si come habbiamo ciò considerato nella decimaquinta, l'istesso parimente nelle altre potremo considerare», Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 97v; Del Monte, 1577, De Trochlea, p. 96v.

³³⁵ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 56v; Del Monte, 1577, De Trochlea, p. 62v; Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 71v; Del Monte, 1577, De Trochlea, p. 76v; Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 79r; Del Monte, 1577, De Trochlea, p. 83r; Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 101v; Del Monte, 1577, De Trochlea, p. 105v. Appendice, A9.

³³⁶ L'obiettivo del capitolo sulla Taglia era già stato esposto nella parte iniziale: «Con l'istrumento della Taglia si può muovere il peso in molti modi [...]. Hor in che modo questo istrumento della taglia si riduca alla leva, et perche un peso grande si mova da piccola forza, et in qual modo, et in quanto tempo; et perche la corda debba essere legata da un capo: et quale debba essere l'ufficio della taglia, che è posta di sotto, et quale di quella, che sta di sopra, et in che modo si possa trovare ogni proportion data nei numeri tra la possanza e il peso, diciamo», Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 56v; Del Monte, 1577, De Trochlea, pp. 62v-63r. Questo riferimento ai tempi, spazi, pesi e forze deve essere inserito all'interno dello studio del modo in cui viene raggiunta una situazione di equilibrio: «Si risponde che queste cose ben farebbono refistenza nel mouere il peso, ma non già nel sostentarlo: & bisogna notare con diligenza che l'autore in queste demonstrationi parla sempre del sostenere solamente con le forze i pesi che non calino al basso, non del mouere. Però confiderifi, che quando li pesi si hanno da far mouere con le possanze, allhora legirelle, & gli altri impedimenti faranno refistenza; ma quando si ha da far solamente che il peso stia fermo», Del Monte, 1588, Della Taglia, 64r.

³³⁷ Al termine del Corollario a conclusione della Propositione IX, commenta Guidobaldo: «Dopo queste cose egli è da considerare in che modo la forza mova il peso, et di più lo spatio, et il tempo della possanza, che move, et del peso che è mosso», Del Monte, 1588, Della Taglia, p. 70v; Del Monte, 1577, De Trochlea, pp. 74v-75r. Sul tema si veda Gatto, 2002b, pp. LXX-LXXXIX.

³³⁸ Camerota, M. e Helbing in *All'alba della scienza galileiana. Michel Varro e il suo De motu tractatus* propongono giustamente di preferire la locuzione “principio compensativo”, perché la qualifica di “principio conservativo” presuppone la nozione di “energia” (cioè la consapevolezza dell'esistenza di una generica attitudine dei corpi a compiere lavoro, considerata al di là delle specifiche forme che la detta attitudine assume), Camerota, M. e Helbing, 2000. Ringrazio Michele Camerota per i consigli sul tema.

breve de *Le mecaniche*, nel trattato guidobaldiano tale “principio” è sempre posto in connessione con il funzionamento delle macchine che vengono esaminate, mentre Galileo nella versione lunga de *Le mecaniche* farà un passo ulteriore e doterà tale principio di valenza generale³³⁹. All’inizio della parte sulla taglia Pigafetta scriveva nel commento (non sappiamo se anch’esso dettato da Guidobaldo) che non doveva essere facile riuscire a trovare nell’esperienza la corretta proporzionalità tra le forze e i pesi come indicato dalla teoria. Questa mancanza di proporzionalità, continua Pigafetta, deriva dal fatto che la materia fa «grandemente variare le cose», soprattutto «quando li pesi si hanno da far muovere con le possanze, allhora le girelle, et gli altri impedimenti faranno resistenza; ma quando si ha da far solamente che il peso stia fermo, et habbia il suo contrapeso semplicemente senza porre in consideratione altri rispetti, che è officio della possanza sostenere; allhora né le girelle, né altro danno resistenza veruna, et la prova fondata fu la ragione torna sempre per eccellentia, anzi pare che quanto più resistenza vi sia, tanto piu facilmente la forza sostenga». La distinzione tra «*potentia sustinens*» e «*potentia movens*» porterà Guidobaldo a riflettere su come considerare l’incapacità fisica che ha un peso molto piccolo, come per esempio un «minimo pezzolino di carta»³⁴⁰, di modificare un sistema in equilibrio. Guidobaldo era consapevole del fatto che se applichiamo pesi piccolissimi (oggi diremo sotto la tolleranza ammessa) su una bilancia reale in equilibrio, lo stato iniziale non varia e che quindi il lavoro meccanico è nullo.

E’ ben vero, et in questo la materia fa qualche resistenza, che se sopra le 3 libre e 1/2 poste in N se gli aggiungesse un peso di minima gravità come un gran di miglio, all’hora, se ben saranno piu di 3 1/2, non per questo moveranno le 7 in A; e questo ne è causa la materia, la qual vuol la parte sua ancor lei, e quanto sono piu grandi in materia, tanto piu resiste, sì come si prova tutto il giorno nelle libre che, per piccole e giuste che le siano e che habbino pesi da tutte due le bande eguali e giusti, non di meno a un di loro se gli potrà metter sopra et aggiunger un peso di tanto poco momento come un minimo pezzolino di carta, che la bilancia starà senza andar giù da detta

³³⁹ Nella versione breve de *Le mecaniche* Galileo non si allontana troppo dal campo della descrizione, mentre nella versione lunga compie una vera e propria generalizzazione del comportamento delle macchine in relazione ai tempi e agli spazi delle forze e dei pesi, Galilei, 2002, Versione lunga, Delle utilità che si traggono dalla scienza meccanica e dai suoi strumenti, pp. 45-46. Per una breve discussione sul principio di conservazione e sul debito che ha Galilei nei confronti di Aristotele si veda per esempio Helbing, 2008, pp. 584-585. Sull’argomento si vedano anche l’introduzione di Gatto, 2002b, p. LXXXVI, e Micheli, 1995, p. 149. Galileo scriverà: «Ma più bisogna notare, che quanto noi ci serviamo di fatica usando la lieva, tanto per l’opposito consumiamo più di tempo; e quanto sarà minore la forza del peso, tanto maggiore sarà lo spazio per lo quale si moverà la forza dello spazio in cui si muove il peso», Galilei, 2002, Versione breve, Della Lieva, p. 7. Nel *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo troviamo all’interno delle parti Della Leva e Della Taglia alcuni corollari che ricordano l’asserzione galileiana: «Da queste cose è manifesto, che maggiore proporzione ha lo spatio della possanza, che move allo spatio del peso mosso, che il peso alla medesima possanza» (Del Monte, 1581, Della Leva, p. 39r; Del Monte, 1577, De Vecte, p. 43r) e «Dalle cose dette è manifesto etiandio che quanto più facilmente si move il peso, tanto maggiore essere etiandio il tempo; ma quanto più difficilmente, tanto minore essere; et cosi per lo contrario» (Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 101v; Del Monte, 1577, De Trochlea, p. 105v). Per una breve discussione sul principio di conservazione e sul debito che ha Galilei nei confronti di Aristotele si veda anche Helbing, 2008, pp. 584-585. Secondo Camerota M. e Helbing l’anello mancante tra Guidobaldo e Galileo è Varro, il quale, come Galileo, conosceva i lavori di Guidobaldo (Camerota, M. e Helbing, 2000).

³⁴⁰ *Potentia sustinens* indica la forza che trattiene un peso e *potentia movens* indica la forza che muove un peso. Si confronti la lettera di del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, pubblicata in Favaro, 1899-1900. Sul tema si veda anche Frank, 2011, pp. 166-171. Al contrario Tartaglia in *Quesiti et inventioni diverse*, Tartaglia, 1959, Libro Ottavo, Quesito XXXIII, Prop. VI, riteneva che «ogni piccola quantita corporea, che fia aggiunta sopra il corpo.a. necessariamente in ogni fito fara piu graue del corpo.b. e pero non celfara di descendere continuamente fin alla linea direttione, cioe uigor fin al ponto.f. & cofi continuamente quello andara elleuando il corpo.b. per fin alla detta linea della direttione, cioe per fin al ponto.e.& se questo seguiria in tal fito, come che nella sottoscritta figura appare tanto piu seguiria nel fito della egualita, nel qual fito, ouer luoco non ui è, ouer faria alcuna differentia, uigor del fito, ne uigor delli lor descenfi, cioe che in tal fito fariano egualmente graui, e pero ogni piccola quantita di pefo per minima, che fia, che ui fia imposto dall’una delle bande di qual fi uoglia libra (cioe granda, ouer piccola de brazzi eguali) immediate fara declinare necessariamente quella da quella medesima banda, ouer braccio, & continuara tal sua declinatione (per le ragioni di sopra adutte) per fin alla linea della direttione, cioe per fin al ponto .f. la qual cofa faria contra à quelle due conclusioni, che adduce Aristotile sopra la sua prima queftione Meccanica, delle quale altra uoltane parlai con Vostra Signoria».

parte, né per questo la bilancia sarà falsa: dove è da considerare che la resistenza che fa la materia lo fa quando si hanno da mover i pesi e non quando se hanno da sostenere solamente, perché all'ora l'istrumento non si move né gira, e con queste considerationi la trovarà sempre che l'esperienza e la demonstratione andaranno sempre insieme.³⁴¹

3.7.2 Il piano inclinato

La versione volgare del *Mechanicorum Liber*, curata da Pigafetta, contiene l'errata trattazione di Pappo del piano inclinato. In questo paragrafo proveremo a ripercorrere i motivi che hanno portato Guidobaldo ad accettare la risoluzione data dal matematico alessandrino e ad inserirla ne *Le mechaniche*.

Per piano inclinato si intende una macchina (semplice) costituita da due piani disposti in maniera tale da formare un angolo di qualsiasi ampiezza. L'esempio tipico di piano inclinato è la rampa di accesso agli edifici sopraelevati. Più lunga e meno ripida è la rampa, meno è lo sforzo necessario per raggiungere la parte più alta dell'edificio. Il funzionamento del piano inclinato ha destato curiosità sin dall'antichità, perché, a causa di un ridotto livello di meccanizzazione dei processi produttivi, il corretto impiego di una macchina, quale il piano inclinato, poteva ridurre gli sforzi e facilitare i trasporti di oggetti pesanti.

Ora sappiamo che su un corpo in equilibrio sopra un piano inclinato agiscono quattro forze: una forza peso diretta verso il basso, una forza vincolare perpendicolare al piano, una forza parallela al piano (che è direttamente proporzionale alla forza peso e all'altezza del piano e inversamente proporzionale alla lunghezza del piano), e una forza equilibrante uguale per modulo e direzione alla forza parallela ma di verso contrario.

Una delle prime trattazioni del piano inclinato può essere individuata nella *Meccanica* di Erone, dove l'autore si chiede se è possibile mantenere in equilibrio una sfera appoggiata sul piano inclinato. Egli affronta il problema da un punto di vista descrittivo e comparativo, confrontando due parti diseguali di un cilindro posto su un piano inclinato e diviso da un piano perpendicolare a quello inclinato. Ora, scrive Erone, immaginiamo un altro piano perpendicolare all'orizzonte passante sul bordo del cilindro. Secondo Erone il cilindro rotola perché la parte più grande, posizionata nella parte inferiore del cilindro, avrà la meglio sulla parte superiore più piccola. Invece, se vogliamo mantenere il cilindro in equilibrio, allora dobbiamo applicare una forza sull'altro lato ed equivalente alla differenza tra il peso della parte maggiore del cilindro e la sua parte inferiore³⁴². Nel Libro VIII delle *Collezioni matematiche*, testo importantissimo per la cultura tardo imperiale e rinascimentale in quanto metteva a disposizione la meccanica di Erone disponibile solo in versione araba, Pappo di Alessandria esamina il problema del piano inclinato analizzandolo da un punto di vista geometrico e riducendolo al comportamento una leva.

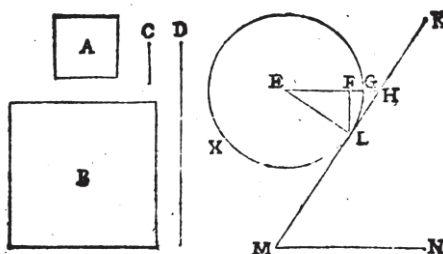


Fig. 16 Del Monte, 1581, Della Vite, p. 121r.

³⁴¹ BNM (Biblioteca Nazionale Marciana di Venezia), ms. It. IV, 63 Ven. 259, Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900.

³⁴² Erone, 1894, *Les mécaniques, ou L'élévateur de Hèron d'Alexandrie publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostà ibn Lûqâ et traduites en français par M. le baron Carra de Vaux*, De Vaux, C. (a cura di), Paris, Imprimerie Nationale, pp. 71-72. Ringrazio Alessia Valenti per i consigli sulla corretta interpretazione della traduzione francese. Sul tema si veda Di Pasquale, 2004.

Dopo aver mostrato che gli angoli EHL e KMN sono congruenti in quanto coppie di angoli alterni esterni (Euclide, *Elementi*, Libro I, Prop. 29) e che il triangolo ELF è simile al triangolo EHL (Euclide, *Elementi*, Libro VI, Prop. 8), Pappo considera la leva EFG con fulcro in F e con i bracci EF e FG in proporzione, dimodoché per bilanciare il peso (A) della sfera, che è concentrato in E , si deve applicare un peso B in G , tale che $FG : FE = A : B$ (Fig. 16). La conclusione è che «posto il peso A intorno al centro E , perciocché in suo luogo è la sfera, dunque il peso B posto intorn'al G peserà egualmente; di modo che la sfera per la inclinazione del piano non scenderà al basso; ma starà ferma, come se ella fosse nel sottoposto piano»³⁴³. Com'è noto, la trattazione di Pappo è errata, in quanto implica che per muovere un corpo su un piano orizzontale, caso particolare di piano inclinato, serve una forza pari al suo peso: «Passi il sottoposto piano egualmente distante dall'orizzonte per la linea MN [...] et sia il peso A mosso dalla possanza C nel sottoposto piano»³⁴⁴; mentre in realtà, scriverà Galileo, «rimossi tutti gl'impedimenti esterni ed avventizii, [il corpo può essere mosso] nel piano dell'orizzonte da qualunque minima forza»³⁴⁵.

Circa novecento anni dopo Pappo, Giordano da Nemore nel *De ratione ponderibus* risolverà correttamente il problema del piano inclinato. La soluzione sarà riproposta da Tartaglia nel suo *Quesiti et inventioni diverse* (1554)³⁴⁶.

³⁴³ Pigafetta traduce quasi testualmente la dimostrazione di Pappo (Commandino, 1588), Libro VIII, Theorema V, Prop. IX), pertanto abbiamo riportato direttamente la traduzione del veneziano. Inoltre, segnaliamo l'immediata applicazione pratica del problema, appena dimostrato geometricamente, contenuta sia nella versione latina di Pappo pubblicata nel 1588 sia nella versione volgare del *Mechanicorum Liber* curata da Pigafetta: «La risoluzione dunque del problema è stata geometricamente dimostrata, ma acciocché con un esempio facciamo et la costruzione, et la dimostrazione. Sia il peso A , per esempio, di ducento talenti, condotto nel piano equidistante all'orizzonte dalla possanza C movente; cioè siano quaranta huomini, che lo movano», Del Monte, 1581, Della vite, pp. 121r-122r.

³⁴⁴ Del Monte, 1581, Della Vite, p. 121r.

³⁴⁵ Galilei, 2002, Versione lunga, Della Vite, p. 68. Inoltre, se consideriamo un piano verticale, caso particolare di piano inclinato, servirebbe una forza infinita per tenere il peso in equilibrio.

³⁴⁶ Il problema del piano inclinato viene affrontato da Tartaglia in *Quesiti et inventioni diverse* (Tartaglia, 1559, Libro VIII, Quesito XLII, porposizione XV, pp. 97r-97v): «Se due corpi gravi descendano per vie de deverse obliquità, e che la proportion delle declinationi delle vie, e della gravità de detti corpi sta fatta una medesima, tolta [presa] per el medesimo ordine. Anchora le virtù dell'uno, e latro de detti due corpi gravi, in el descendere sarà una medesima. [...] Et perché la proportion della n z alla n g è sì come quella, che è dalla d y alla d g e pero sì come anchora quella della d b alla d k (per esser li detti tre tirangoli simili). Similmente la proportion della m x alla m h è sì come quella, che è alla detta d b alla d a (per esser li detti due tirangoli simili). Anchora la proportion della m x alla n z sarà sì come quella della d k alla d a e quella medesima (dal presupposto) e dalla gravità del corpo g alla gravità del corpo h , perché il detto corpo g . fu supposto essere semplicemente, egualmente grave con el corpo e adunque tanto quanto, che il corpo g è semplicemente più grave del corpo h vien à esser più grave per vigor del detto corpo g è per si vengono ad egular in virtù, over potentia, e per tanto quella virtù, over potentia, che sarà atta a far scendere luno dei detti due corpi, cioè a tirarlo in suso, quella medesima sarà atta, over sofficiente a fare ascendere anchora l'altro, adunque sel corpo e (per l'avversario) è atto, et sofficiente a far ascendere il corpo h per fin in m el medesimo corpo e saria adunque sofficiente a far ascendere il corpo in g , a lui eguale, e ineguale declinatione, la quale cosa è impossibile per la precedente propositione, adunque il corpo e non sarà de maggior virtù del corpo h in tali siti, over luochi, che è il proposito». Tartaglia aveva tradotto il *Liber de ratione ponderis* di Giordano nel *Iordani opusculum de ponderositate* (Tartaglia, 1565). L'opera, curata da Curzio Troiano, uscì postuma.

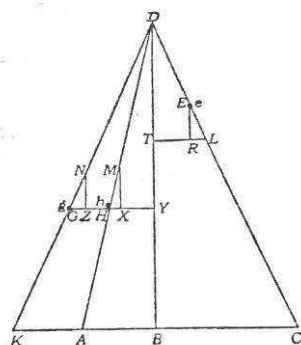


Fig. 37

Fig. 17 Clagett, 1972, p. 127.

Giordano immagina due pesi, collegati da un filo passante per D , che scendono l'uno sul piano DA e l'altro sul piano DC di maggiore inclinazione. L'intento di Giordano è dimostrare che, se due pesi in equilibrio scendono per due linee di diversa inclinazione, le linee di discesa sono proporzionali ai pesi e i pesi discenderanno secondo la stessa virtù³⁴⁷. Egli considera due pesi E e H posti rispettivamente sulle linee DC e DA . Quindi prende la linea DK , che ha uguale inclinazione della DC , e il peso G uguale al peso E . Secondo Giordano, se è possibile che il peso E discenda in L e che H si sollevi in M e che ciò avvenga a parità di spostamento ($NG = MH = EL$), possiamo stabilire una relazione tra i triangoli simili NGZ , MHZ e DBK . Pertanto, se $NZ : NG = DB : DK$, $MX : MH = DB : DA$ e $MX : NZ = DK : DA$, allora siamo in grado di porre la seguente proporzione $MX : NZ = G : H$ e quindi $E : H = DC : DA$. Tuttavia, dal momento che E è uguale al peso G , E non sarà in grado di alzare G , e pertanto E non sarà in grado di alzare H , «sic ergo manebunt».³⁴⁸ Quindi, se due pesi E e H sono proporzionali alle lunghezze dei rispettivi piani con inclinazione diverse, DC e DA , e aventi la stessa altezza DB , allora hanno la stessa potenza di discendere (Fig. 17).

Nonostante Guidobaldo fosse a conoscenza della corretta risoluzione di Giordano, il pesarese ripropose la trattazione del piano inclinato di Pappo³⁴⁹. Secondo una consolidata tradizione storiografica, tale interpretazione di Guidobaldo rappresenta uno dei suoi errori più vistosi. Fa da capostipite il giudizio di Duhem, la cui critica, peraltro rivolta a tutto il lavoro di Guidobaldo, avrebbe dato avvio a una tradizione difficile da risanare. Successivamente, numerosi lavori tentarono invece di riabilitare integralmente l'opera di Guidobaldo, valutando la scelta della trattazione errata di Pappo come un abbaglio di poco conto rispetto al grande apporto che il pesarese diede alla meccanica. Questi

³⁴⁷ Possiamo rendere virtù con gravità posizionale o, con una certa forzatura, momento. Si veda anche Vailati, 1911f.

³⁴⁸ Clagett, 1972, pp. 125-131. Per una più esauriente trattazione si veda anche Moody e Clagett, 1952.

³⁴⁹ Renn e Damerow, 2012. L'errata trattazione del piano inclinato, proposta ne *Le Mechaniche* di Guidobaldo, era stata rilevata da Giovanni Battista Baliani, il quale aveva scritto a Galileo: 3890. Gio. Battista Baliani a [Galileo in Arcetri]. Genova, 1° luglio 1639, in Galilei, 1937b, *Carteggio 1639-1642*: «Rispetto alla propositione che io cittai [Baliani, *De motu naturalium gravium solidorum*, 1638] nel suo trattato di Meccanica, di cui V. S. non ha memoria, la priego ramemorarsi che altre volte, non so in qual occasione, io le dissi che non ero soddisfatto di ciò che scrive il Guido Baldo della vite, fondato su l'ottava dell'ottavo di Pappo, se ben mi ricordo, e che di questa materia ne scriveva bene il Vieta [Viète] in un manuscritto di meccanica, che per tale mi haveva mandato da Napoli il S.r Gio. Batta Aijrolo [Airolo]; e perchè V. S. mi scrisse che io le mandassi tal propositione, come feci, V. S. replicò che tal propositione et opera era sua, e perciò l'ho sempre tenuta e tengo per sua, tanto più che così mi pare e dal suo stile e dalla sua solita sottilità e chiarezza: nel fine del qual trattato vi è un discorso molto bello della forza della percossa, che credo sia quello di cui fa mentione e in questi suoi Dialoghi e nella lettera che mi scrive». La risposta di Galileo non si fece attendere: tralascia l'errore di Guidobaldo per dilungarsi sulla difesa della paternità della sua dimostrazione. 3897*. Galileo a [Gio. Battista Baliani in Genova]. Arcetri, 1° agosto 1639, in Galilei, G., 1937b, *Carteggio 1639-1642*: «E qui voglio tornare a dirgli che non ho memoria alcuna di quelle scritture che ella dice essergli state mandate già come pensieri del Viète [Viète], da me affermatogli essere miei; e però desiderarei di rinfrescarne, col suo favore, la memoria, et in particolare dello scritto intorno alla percossa, il quale non può essere se non imperfetto, essendochè quello nel quale io mi quieto non è stato da me ritrovato salvo che da pochi anni in qua, nè io so d'haverne dato fuora intiera notitia». Per una contestualizzazione si veda Gatto, 2002b, pp. LXIV-LXX.

ultimi ritengono che Guidobaldo, così permeato di scienza antica, difficilmente avrebbe potuto accettare una soluzione geometrica medievale al posto del teorema del grande Pappo³⁵⁰.

La risoluzione del piano inclinato data dal matematico alessandrino venne integralmente riproposta nella versione volgare curata da Pigafetta, parte *Della vite*, proposizione II. Invece, nella versione latina compaiono solo tre fugaci riferimenti alla trattazione di Pappo: uno nella parte dedicata al cuneo e due nella parte dedicata alla vite³⁵¹. Nel *Mechanicorum* Guidobaldo, seguendo Pappo, si limitava a ricordare che la vite non è altro che un cuneo senza la percossa e quest'ultimo può essere ridotto a un peso che si muove sopra un piano inclinato. Riteniamo che il problema del piano inclinato svolga all'interno del trattato una funzione strategica: esso serviva per mostrare in che modo si potesse ridurre il comportamento della vite a un cuneo, il comportamento del cuneo a quello di un corpo sopra un piano inclinato e quest'ultimo alla leva³⁵². Scrive Guidobaldo nella parte dedicata al cuneo:

Ma percioche tutto il cuneo si move nel fendere, però possiamo considerarlo anche in un altro modo, cioè che mentre entra in quel che viene fesso, niente altro essere, che un muovere un peso sopra un piano inchinato all'orizzonte.³⁵³

Quindi chiosa Guidobaldo:

Questo movimento si riduce agevolmente alla bilancia, et alla leva; percioche quel che si move sopra il piano inchinato all'orizzonte, si riduce alla bilancia per la nona proposizione di Pappo dell'ottavo libro delle raccolte matematiche, percioche è una istessa ragione, che overo stando fermo il cuneo, il peso si mova sopra il lato del cuneo; overo che essendo egli mosso, si mova anco il peso sopra il suo lato, come sopra un piano inchinato all'orizzonte.³⁵⁴

Di seguito segnaliamo un elemento non tenuto sufficientemente in considerazione e che potrebbe avere una qualche importanza. Nella prefazione de *Le Mechaniche*, Pigafetta anticipa che

³⁵⁰ Secondo Laird un altro motivo dovrebbe dipendere dal fatto che la trattazione del piano inclinato avvenne all'interno della meccanica statica, e perciò Guidobaldo si chiedeva non quanta forza fosse necessaria per muovere un peso ma per sostenerlo (Laird, 2013, p. 42). Laird basa la sua analisi sul foglio 64 delle *Meditatiunculae*, in cui compare una digressione di Guidobaldo, riguardante i tre modi di risolvere il problema del piano inclinato riconducibili alla forma data da Pappo, ma priva del caso particolare di piano inclinato orizzontale. Diversamente nella versione volgare del *Mechanicorum Liber* viene riportata integralmente la trattazione esposta nel Libro VIII delle *Collezioni Matematiche* di Pappo, quindi anche il passo in cui fa riferimento alla forza necessaria per muovere il peso. La distinzione tra *potentia sustinens* e *potentia movens* è un tema centrale e sempre presente nelle digressioni di Guidobaldo. Nella corrispondenza Guidobaldo scrive a Contarini che «Per aver adunque la potenza cognita, quando io parlo e che dico “potentia sustinens”, si ha da intender che l'abbi tanta forza che la facci star il peso immobile, cioè sospeso e non più, e non come hanno creduto alcuni, che questa forza abbi da mover il peso, perché la sua forza et il suo valore è solo bastante a sostenere e non a mover il peso, e così si ha da intendere sempre questo termine potentia sustinens, sì come s'intende chiaramente dal corollario della prima proposizione De Trochlea. Et se la considererà nei problemi che sono nel libro, nei quali io propongo di mover i pesi, allora io fo la potenza sempre maggiore di quella che sostiene, et in questo modo gli riusciranno benissimo tutte le esperienze» (Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900, p. 308). Pigafetta aveva infatti precisato al termine della parte Della vite: «In questo loco è da por mente, che se l'Autore non ha feruato il modo di confiderare questi due vltimi iftrumenti, cioè il cuneo, et la vite, come ha fatto la leua, la taglia, & l'affè nella rota, ne quali puntalmente ha dimostrato la proporzione della forza col pefo; che ciò ha egli fatto per effere questi due iftrumenti, cioè il cuneo, & la vite per se stesli non atti ad effere confiderati in quanto sostengono il pefo, ma ben in quanto lo mouono. Percio che effendo, che le possanze le fuali mouono possano effere infinite, non se ne puo assegnare ferma regola, coe li farebbe della possanza, che sostiene, laquale è vna sola, et determinata. Hor che il cuneo non sia atto ad effere confiderato in quanto sostiene, questo è chiaro per se stesso: fimilmente che la vite non sia atta ad effere confiderata in quanto sostiene, ciò pur li vede manifesto nelle viti ordinarie da mouer pefi», Del Monte, 1581, Della Vite, p. 127v.

³⁵¹ Del Monte, 1577, De Cuneo, p. 115r; Del Monte, 1577, De Cochlea, p. 120r; Del Monte, 1577, De Cochlea, 124v.

³⁵² Van Dyck, 2006b, nota 50.

³⁵³ Del Monte, 1577, De Cuneo, p. 113v; Del Monte, 1581, Del Cuneo, p. 109r.

³⁵⁴ Del Monte, 1577, De Cuneo, p. 115 r; Del Monte, 1581, Del Cuneo, p. 110r.

la trattazione del piano inclinato, data da Pappo, doveva essere scritta con il carattere utilizzato per riportare i commenti del traduttore.

Pongafi anco mente, che à carte 121. nel trattato della Vite, è posto fra i detti dell'Autore il Problema di Pappo, il quale douea essere stampato con lettere differenti dalle altre, ma per in auertenza è stato messo co caratteri stessi delle propositioni del l'Autore, che è difetto. Non è stato possibile schiuare alcuni falli nello stampare.³⁵⁵

Per colpa del tipografo maldestro, il problema di Pappo è stato scritto con i caratteri delle proposizioni di Guidobaldo, anziché con i caratteri riconducibili ai commenti del curatore Pigafetta. Questo però non vuol dire che Guidobaldo non avesse condiviso la soluzione di Pappo, dal momento che l'intera traduzione avvenne sotto il controllo dell'autore. Lo storico della scienza Walter Roy Laird ritiene che nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo potesse averla omessa perché quest'ultimo non era pienamente convinto della trattazione del piano inclinato data dal matematico alessandrino. Pertanto, nonostante alcuni fugaci riferimenti, si guardò bene dall'inserirla nella versione latina³⁵⁶. Inoltre, nel trattato *De Cochlea*, uscito postumo, Guidobaldo non farà riferimento alcuno alla detta trattazione. Sebbene Guidobaldo avesse condiviso la soluzione errata di Pappo, verosimilmente a causa di una generale e cieca venerazione per tutta la matematica antica³⁵⁷, riteniamo che la questione meriti di essere meglio analizzata, soprattutto appoggiandosi allo studio della corrispondenza con Pigafetta.

Per un'accurata trattazione delle condizioni di equilibrio di un corpo sopra un piano inclinato bisognerà aspettare Galileo Galilei. Galileo analizzò il suddetto problema in più occasioni e in un tempo molto dilatato: alcuni riferimenti sono nello scritto giovanile *De Motu* (pubblicato postumo) e altri nelle opere mature come nel *Dialogo sui massimi sistemi del mondo*³⁵⁸ e nei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* (d'ora in poi *Discorsi*)³⁵⁹. In questi scritti Galileo usò il piano inclinato per studiare prevalentemente la velocità e il moto di un corpo³⁶⁰. Invece, nelle sue lezioni di meccanica, raccolte successivamente ne *Le mecaniche*, Galileo discusse esclusivamente la quantità di forza necessaria per equilibrare un corpo su un piano inclinato³⁶¹.

Il procedimento di Galileo è il seguente: egli considera un cerchio *AIC* con diametro *ABC* e immagina quest'ultimo come una leva con due bracci uguali (i raggi) sulle cui estremità sono affissi due pesi uguali. Quindi invita a considerare le diverse inclinazioni del braccio *BC* della leva nei punti più bassi della circonferenza (da *C* a *F*, *L*, *I*). Fa notare Galileo che, variando il braccio della leva

³⁵⁵ Del Monte, 1581, Pigafetta Ai Lettori.

³⁵⁶ Laird, 2013, p. 41: «it is possible that Guidobaldo was not happy with Pappus's proof, and that he omitted it from his Latin text for this reason».

³⁵⁷ «La propositione di Pappo allegata qui dall'Autore, et in altri luoghi di questo libro, hò riposta in loco convenevole nel Trattato della vite, stimando, che per aventura ella sia per tornare più al proposito della Vite, et servirle in più chiarezza, che al Cuneo. Là quale propositione mi fu mandata dall'Autore, et io se ben non le manca nulla, la hò rincontrata accuratamente co'l Pappo Greco del Sig. Pinello, per modo che si havrà perfettissima ed utile, et diletto di coloro, i quali niuna cosa di Pappo scrittore meraviglioso di Mecaniche hanno né veduto, né letto giamai», Del Monte, 1581, Del Cuneo, commento di Pigafetta, p. 110r.

³⁵⁸ Galilei, 1632, *Dialogo di Galileo Galilei Linceo matematico sopraordinario dello Studio di Pisa. ... Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico, e copernicano; proponendo indeterminatamente le ragioni filosofiche, e naturali tanto per l'vna, quanto per l'altra parte*, Firenze, per Gio. Batista Landini. Noi utilizzeremo l'edizione curata da Flora (Galilei, 2014).

³⁵⁹ Galilei, 1638, *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuoue scienze, Attenenti alla Mecanica & i Movimenti locali. Con una Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi*, Leida, appresso gli Elsevirii. Noi, per comodità, utilizzeremo l'edizione curata da Favaro (Galilei, 1933b).

³⁶⁰ Galilei, 2014, Giornata prima, pp. 21-30; Favaro, 1933b, Giornata prima, pp. 45-54. Per una maggiore discussione si veda l'introduzione di Giusti, 1990. Sul *De motu* si veda Camerota, M., 1992. Si confronti anche con il *De motu* di Benedetti in Benedetti, 1967.

³⁶¹ Galilei, 2002.

angolare, leva già impiegata nell'analisi *Dell'asse nella ruota e dell'argano*, diminuisce il momento del peso considerato inizialmente.

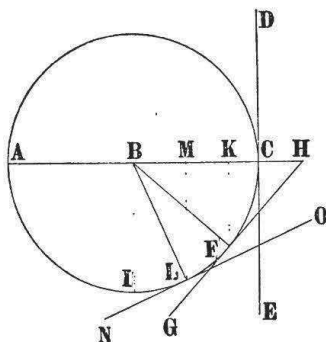


Fig. 18 Galilei, 2002, Versione lunga, Della Vite, p. 70.

il momento del peso C [, ora appeso al punto F,] non sarà più uguale al momento del peso A, per essere diminuita la distanza dal punto F dalla linea della direzione che dal sostegno B, secondo la BI, va al centro del mondo. Ma se tireremo dal punto F una perpendicolare alla BC, quale è la FK, il momento del peso in F sarà come se pendesse dalla linea KB; e quanto la distanza KB è diminuita dalla distanza BA, tanto il momento del peso F è scemato dal momento del peso in A [Fig. 18].³⁶²

Inoltre, scrive Galileo, possiamo considerare i pesi nei punti C, F, L, I come se fossero sopra dei piani tangenti alla circonferenza. Infine, stabilisce una proporzione tra le forze necessarie a sostenere i pesi C e F con la lunghezza e l'altezza del piano, cioè $C : F = HF : FK$.

[I]l momento integro ed assoluto che ha il mobile nella perpendicolare all'orizzonte, a quello che ha sopra il piano inclinato HF, avere la medesima proporzione che la linea HF alla linea FK, cioè che la lunghezza del piano inclinato alla perpendicolare che da esso cascherà sopra l'orizzonte.³⁶³

Conclude la trattazione del piano inclinato la regola che è arrivata fino a noi: «sopra il piano elevato la forza minima che muove il peso al medesimo peso avere la medesima proporzione che la perpendicolare dal termine del piano tirata all'orizzonte alla lunghezza d'esso piano», ovvero ai tempi di discesa lungo i piani inclinati. Galileo utilizzò la trattazione geometrica del piano inclinato anche per i suoi esperimenti, in particolare per quantificare l'accelerazione dei corpi³⁶⁴. Nella considerazione dello “scienziato” toscano appena riportata possiamo riconoscere la *gravitas secundum situm* risalente alla tradizione medievale della *Scientia de Ponderibus*, riportata in auge da Tartaglia, e le considerazioni del veneziano Giovan Battista Benedetti sulla leva angolare³⁶⁵. Abbiamo già delineato le caratteristiche della *gravitas secundum situm*, concetto medievale che Galileo doveva sicuramente conoscere³⁶⁶. Invece, più complicato potrebbe essere risalire a una possibile influenza dell'opera di Benedetti sul pensiero di Galileo.

³⁶² Galilei, 2002, Versione lunga, Della Vite, p. 70.

³⁶³ Galilei, 2002, Versione lunga, Della Vite, p. 71.

³⁶⁴ Per un esame approfondito si veda l'introduzione di Giusti ai *Discorsi* (Giusti, 1990). Per una breve e puntuale ricostruzione della vita di Galileo e della cronologia delle sue scoperte scientifiche si veda Camerota, M., 2008.

³⁶⁵ Renn e Omodeo, 2013. Nell'approccio galileiano al piano inclinato possiamo riconoscere le analisi di Benedetti riguardanti la proporzionalità inversa tra i pesi e le distanze perpendicolari dal fulcro rispetto alle linee d'inclinazione dei pesi.

³⁶⁶ Al tempo di Galileo la nozione di *gravitas secundum situm* era largamente conosciuta, in particolare mediante i *Quesiti et inventioni diverse* (1554), Libro VIII, di Tartaglia (in Tartaglia, 1959). Seppure non vi sia certezza che Galileo avesse letto tale lavoro tra il 1592 e il 1599, anni in cui scrisse le pagine che sarebbero poi confluite ne *Le mecaniche*, secondo il catalogo di Favaro (Favaro, 1886b) Galileo possedeva una copia di *Quesiti et inversioni diverse*.

Benedetti aveva discusso il comportamento della leva angolare nel capitolo *De Mechanicis*, inserito nella monumentale opera *Diversarum Speculationum Liber* pubblicata nel 1585. Nel capitolo in questione, il matematico veneziano analizza inizialmente il comportamento di una bilancia in equilibrio, critica poi le interpretazioni di Cardano e di Tartaglia e, infine, dedica l'ultima parte del capitolo ad alcune *quaestiones* contenute nei *Problemi meccanici* di Aristotele. Niente fa credere che Galileo potesse aver conosciuto direttamente l'opera del matematico veneziano. Tuttavia, è probabile che il pisano fosse entrato in contatto con i temi discussi da Benedetti attraverso Guidobaldo.

Come indicano le numerose annotazioni alla copia personale del *Diversarum Speculationum Liber*, Guidobaldo aveva studiato e ampiamente criticato la meccanica del veneziano. Il disappunto del pesarese emerge anche dai commenti riguardanti i paragrafi 2 e 3 del *De Mechanicis* riportati nei fogli 145 e 146 delle *Meditatiunculae* (una raccolta manoscritta di riflessioni scientifiche). Le carte comprese tra i fogli 232 e 237 delle *Meditatiunculae* sono denominate “carte galileiane” per l'estrema affinità del loro contenuto con le tematiche affrontate da Galileo nel corso della sua attività scientifica. Esse dimostrano che molto probabilmente Galileo e Guidobaldo ebbero occasione di riflettere insieme su alcune questioni scientifiche di comune interesse³⁶⁷. Tuttavia, attualmente non ci è dato sapere con precisione quando, come e su quali temi avessero discusso e su quali argomenti avessero fatto esperimenti o ragionato insieme. Un esempio potrebbe essere rappresentato dal foglio sciolto 145 bis, posizionato tra i fogli 145 e 146 delle *Meditatiunculae*, ma che ancora sfugge alla catalogazione. Nel foglio viene trattato il problema del piano inclinato alla maniera di Galileo (Fig. 19)³⁶⁸.

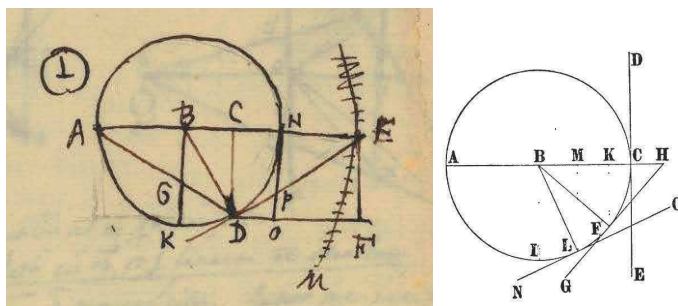


Fig. 19 A sinistra la figura nella trattazione del piano inclinato all'interno delle *Meditatiunculae* di Guidobaldo del Monte, in Tassora, 2001, p. 425 (*Meditatiunculae*, f. 145 bis); a destra il diagramma ne *Le mecaniche* di Galileo, in Galilei, 2002, Versione lunga, Della Vite, p.70.

La somiglianza dei due diagrammi che compaiono rispettivamente nel foglio 145 bis e ne *Le Meccaniche* di Galileo è notevole, come lo sono le rispettive dimostrazioni: sia Galileo che Guidobaldo (nel foglio 145 bis delle *Meditatiunculae*) riducono il problema del piano inclinato a una bilancia angolare, seppure il pesarese parta da considerazioni riguardanti la posizione del centro di gravità del

³⁶⁷ Molti fogli delle *Meditatiunculae* contengono numerosi argomenti di chiaro sapore galileiano, in particolare i fogli raggruppati tra le carte 232 e 237. Tuttavia, la domanda, se nelle *Meditatiunculae* fossero entrate le riflessioni tra i due, è ancora aperta. Sul tema si veda la discussione in Tassora, 2001, pp. 173-186.

³⁶⁸ Non sappiamo se e in quale misura i due avessero fatto esperimenti o semplicemente discusso di questioni scientifiche. Non sappiamo neanche quale fosse la reale posizione del 145 bis all'interno delle *Meditatiunculae*. Ci sembra ragionevole supporre che i due potessero aver discusso del piano inclinato durante l'estate del 1592 a Mombaroccio, quando i due presumibilmente svolsero esperimenti per calcolare la traiettoria dei proiettili. Oltre ad essere la data delle ultime pagine delle *Meditatiunculae*, il 1592 è anche la data di gestazione de *Le mecaniche* di Galileo. Pertanto, non ci sembra inopportuna l'idea che nel 1592 potessero aver dialogato insieme sulla riduzione del piano inclinato alla leva angolare e che Guidobaldo, o qualcun altro, avesse successivamente collocato tale trattazione tra le pagine di Benedetti in cui viene commentato proprio il comportamento della leva angolare. Per una più ampia discussione rimandiamo all'Appendice, A6.

sistema ABD ³⁶⁹. Probabilmente la nuova (e corretta) proposta di Guidobaldo era frutto delle conversazioni avute con il suo brillante allievo.

Una più approfondita ricerca, che tenga maggiormente conto dei manoscritti e delle informazioni desumibili dalle corrispondenze epistolari tra Galileo e di Guidobaldo, potrebbe gettare nuova luce sul contenuto della loro attività. Nonostante questa carenza di notizie, possiamo ragionevolmente supporre, come dimostrato dall'incrocio delineato nel corso del paragrafo tra *Mechanicorum Liber - Diversarum Speculationum Liber – Meditatiunculae - Le Mekaniche* di Galileo, che i due avessero potuto conversare anche della meccanica di Giovan Battista Benedetti. La trattazione del piano inclinato nel foglio 145 bis, il foglio volante posizionato accanto ad alcuni appunti di Guidobaldo sul *De Mechanicis* di Benedetti, va a suggellare l'ipotesi di un possibile ruolo pontefice rivestito dal matematico pesarese rispetto alla linea scientifica Benedetti - Galileo. Alla luce di queste ultime considerazioni, una nuova valutazione del rapporto Guidobaldo - Galileo potrebbe aprire un nuovo capitolo riguardante anche la formazione scientifica, metodologica e sperimentale dello stesso "scienziato" toscano. Alcuni studiosi si sono chiesti chi potesse essere il maestro tra Guidobaldo e Galilei, dal momento che in alcuni fogli delle *Meditatiunculae* sembra proprio che sia Guidobaldo l'allievo del pisano: probabilmente tra i due si era instaurato un rapporto tra pari, in cui uno apprendeva dall'altro e viceversa³⁷⁰.

La rettifica in calce di Pigafetta, da cui siamo partiti, e il brano riguardante il piano inclinato contenuto nelle *Meditatiunculae*, da un lato, pongono luce sulla falsa polemica in merito all'errore di Guidobaldo, il quale deve essere considerato piuttosto come un agevole modo che gli permetteva di ridurre il cuneo alla leva, dall'altro, rendono più nebuloso il rapporto tra Galileo e il pesarese. Un approfondito esame della corrispondenza delmontiana e una corretta datazione delle *Mediatuincolae* potrebbero rendere più chiara la questione.

3.7.3 La raffigurazione delle macchine: la rappresentazione geometrica incontra la rappresentazione tridimensionale

Il disegno è sempre stato un valido strumento per rappresentare le idee e per descrivere il significato delle parole. Per esempio, nel Rinascimento la rappresentazione tridimensionale rivestì un ruolo strategico nella trasmissione della conoscenza, in particolare nel campo dell'architettura e della meccanica. Essa fu utilizzato per investigare il funzionamento delle macchine e come strumento per comunicare aspetti pratici e operativi del progetto meccanico. Il disegno tridimensionale fu principalmente impiegato dagli appartenenti a quella categoria sociale definita da Carlo Maccagni *strato culturale intermedio*.

Uno dei più famosi membri dello *strato culturale intermedio* fu Leonardo da Vinci (Leonardo aveva frequentato la bottega di Andrea del Verrocchio). Egli impiegò il suo genio artistico per studiare la natura e colmare le sue lacune matematiche. La rappresentazione tridimensionale fu impiegata anche da altri famosi "ingegneri" come Francesco di Giorgio Martini (Francesco di Giorgio aveva frequentato la bottega di Lorenzo di Pietro chiamato il Vecchietta) e Mariano di Jacopo chiamato Taccola (Taccola aveva frequentato la bottega di Jacopo della Quercia). Leonardo da Vinci, Taccola e Francesco di Giorgio Martini usarono le loro capacità artistiche e le loro conoscenze geometriche anche per ideare macchine. In questi ambienti, il disegno era uno strumento utile all'apprendimento, per condividere la conoscenza e per indagare la natura. Secondo Paolo Galluzzi si deve proprio al cosiddetto artista-ingegnere l'introduzione più sistematica dell'immagine nella trattazione architettonica e macchinale³⁷¹. In verità, anche nei manoscritti antichi la descrizione delle

³⁶⁹ Tuttavia, questa non è l'unica trattazione del piano inclinato che compare nelle *Meditatiunculae*, in una pagina precedente, nel foglio 64, Guidobaldo aveva esaminato da diversi punti di vista il problema del piano inclinato, ma secondo il metodo di Pappo e quindi con una modalità errata. Si confronti Frank, 2011, pp. 256-261 e Tassora, 2001, pp. 85-86.

³⁷⁰ Frank e Napolitani, 2015.

³⁷¹ Galluzzi, 1997, pp. 14.

macchine è spesso accompagnata dalla rappresentazione visuale, come nel caso delle macchine in forma reale raffigurate nei manoscritti di Erone. Tuttavia, nei manoscritti antichi notiamo che frequentemente la rappresentazione soffre di un appiattimento bidimensionale³⁷².

Riteniamo essere rilevante il fatto che nel *Mechanicorum* Guidobaldo affianchi alla rappresentazione tridimensionale delle macchine semplici la loro schematizzazione geometrica, più idonea all'analisi delle reazioni vincolari e delle condizioni di equilibrio³⁷³. Questa doppia rappresentazione aveva lo scopo di rendere più agevole la comprensione delle reazioni vincolari a cui le macchine sono sottoposte. Per gli ingegneri, data la loro formazione, era importante “vedere” se la teoria esposta potesse avere un riscontro pratico. Pertanto, una rappresentazione reale e concreta di una macchina, tipica della cultura tecnica rinascimentale, garantiva maggiore impatto cognitivo³⁷⁴. In relazione a questa esigenza, nella prefazione del *Mechanicorum Liber* Guidobaldo aveva posto in evidenza il lato più “concreto” della meccanica. Scriveva il pesarese che la meccanica non può essere chiamata tale se astratta e separata dalle macchine³⁷⁵.

³⁷² Sul tema si veda Di Pasquale, 2004, pp. 10-12 e p. 179. Di Pasquale rileva che inizialmente gli umanisti erano più attenti alla trasmissione del testo scritto mentre i tecnici erano più interessati al ripristino delle raffigurazioni. Pertanto, alle descrizioni delle macchine contenute nel testo trascritto o tradotto non sempre venivano affiancate delle raffigurazioni. Ciò avvenne nel caso delle prime traduzioni dei *Problemi meccanici* di Aristotele (ad esempio di Vittore Fausto) e del *De architectura* di Vitruvio, opera che fino all'edizione di fra' Giocondo era sprovvista di raffigurazioni.

³⁷³ Diverso dal caso dalla rappresentazione geometrica delle macchine è l'uso dei diagrammi per esplicitare un problema geometrico. Questi ultimi furono impiegati in particolare dai traduttori dei testi di matematica antica per spiegare e favorire la comprensione del contenuto dei trattati geometrici, dotati spesso di diagrammi inaccurati ed eccessivamente specifici. Saito e Sidoli (Saito e Sidoli, 2012) argomentano in favore del fatto che i diagrammi erano impiegati anche dai matematici antichi. Tuttavia, secondo la ricerca condotta dai due autori, i diagrammi appaiono graficamente poco accurati ed eccessivamente specifici. Nel corso del tempo la stessa trasmissione dei manoscritti contribuì fortemente anche alla generalizzazione delle procedure e dei diagrammi. Tale processo di generalizzazione fu favorito dalle diverse competenze professionali che gradualmente iniziarono ad occuparsi di matematica antica, come gli stessi traduttori, che spesso intervenivano interpolando il testo e colmando le sue lacune secondo la propria formazione culturale, e i numerosi lettori, che leggevano il testo e, soprattutto, i diagrammi secondo i propri interessi intellettuali e pratici. L'uso dei diagrammi per meglio esplicitare il contenuto dei testi di matematica antica dovette essere un'esigenza, e spesso dichiarata, dei traduttori medievali e rinascimentali impegnati nell'attività di restaurazione della matematica antica. Oltre a una tendenza culturale, è pur vero che i diagrammi servivano a rendere più comprensibile i processi dimostrativi dei matematici antichi a un lettore di altra epoca e di altra cultura rispetto a quella di Euclide e di Archimede. Secondo Saito e Sidoli, i diagrammi non servivano a rappresentare visivamente gli oggetti in discussione, ma servivano per comunicare le relazioni matematiche tra oggetti, i diagrammi, pertanto, erano considerati rappresentazioni schematiche e aiutavano il lettore a orientarsi nel testo. Tuttavia, sembra ancora che sia difficile dare un giudizio netto sulla questione, soprattutto a causa della scarsità di autografi originali sopravvissuti alle epoche e pervenuti intatti.

³⁷⁴ Si confronti per esempio il contenuto del *Trattato di architettura civile e militare* di Francesco di Giorgio Martini (Mussini, 1991) e del *De Ingeineis* e il *De Machinis* di Mariano Taccola. Il *De Ingeineis* è costituito da quattro libri, redatti tra il 1419 e il 1450, ora conservati presso la biblioteca di Monaco di Baviera e presso la Biblioteca Nazionale di Firenze (Monaco, Bayerische Staatsbibliothek, *Codex Latinus Monacensis*, 197, *De ingeneis*, libri I-II, ripr. in facsimile: Prager e Scaglia, 1972, *M. Taccola and his book «De ingeneis»*, Cambridge, MA-London; I volumi III e IV sono invece conservati a Firenze, Biblioteca nazionale, *Palatino*, 766, ripr. in facsimile: Taccola, 1969, *Mariano di Jacopo detto il Taccola. Liber tertius de ingeneis ac edifiitiis non usitatis*, a cura di J.H. Beck, Milano. Il *De Machinis* è costituito da dieci libri redatti tra il 1430 e il 1449, i quali sono ora conservati presso la Biblioteca di Monaco di Baviera, la Biblioteca Nazionale di Parigi e la Marciana di Venezia (Monaco, Bayerische Staatsbibliothek, *Codex Latinus Monacensis*, 28800: *De rebus militaribus [De machinis]*, ripr. in facsimile: Scaglia, 1971, *M. Taccola, De machinis. The engineering treatise of 1449*, I-II, Wiesbaden 1971; Parigi, Bibliothèque nationale, *Fonds lat.*, 7239, ripr. in facsimile: Knobloch, 1984, *De rebus militaribus: De machinis 1449*, M. Taccola, Baden-Baden; Venezia, Biblioteca naz. Marciana, *Mss. lat.*, cl. VIII, 40 [=2941]). Apografi del *De rebus militaribus [De machinis]* sono a New York Public Library, *Spencer Collection*, 136. Per una breve ed essenziale ricognizione sul rapporto geometria-tecnologia-rappresentazione delle macchine si veda Popplow e Renn, 2002. Su Taccola e sui suoi lavori si veda Shelby, 1975. Per una discussione generale Galluzzi, 1997, in particolare p. 45; sul passaggio dal disegno naturalistico al disegno tecnico nell'opera di Francesco di Giorgio Martini si veda Marchis e Dolza, 1998. Sul tema si confrontino anche Lefèvre, 2004, e Gille, 1972.

³⁷⁵ Scrive del Monte nella prefazione al *Mechanicorum Liber*: «Neque enim amplius mechanica, si a machinis abstrahatur et seiungatur, mechanica potest appellari», Del Monte, 1577, *Prefaetio*. Riportiamo anche un estratto della lettera dedicatoria di Pigafetta: «Conciosia cosa, che la scienza delle Mechaniche giovi sommamente à molte, e importanti attioni

Paradossalmente, proprio questa convivenza di speculazione ed esecuzione, presente nel *Mechanicorum Liber*, aveva reso in precedenza la meccanica indegna agli occhi dei dotti e inutile alle esigenze pratiche dei tecnici³⁷⁶. Fu grazie alle prime traduzioni dei *Problemi meccanici* di Aristotele, alla diffusione delle tecniche di stampa e al fervente mecenatismo dei signori locali che, nel corso del tempo, i tecnici iniziarono a interessarsi alle applicazioni pratiche della matematica dei testi antichi. La prima traduzione dei *Problemi meccanici* avvenne nel 1517 e fu realizzata senza figure; nelle edizioni successive il contenuto descritto venne invece gradualmente affiancato dalle rappresentazioni geometriche e tridimensionali³⁷⁷. Accanto alle traduzioni o ai commentari del testo aristotelico iniziarono a proliferare trattazioni di meccanica in volgare prodotti da ingegneri per ingegneri, aventi lo scopo di divulgare la propria disciplina³⁷⁸. Le traduzioni di opere a indirizzo meccanico contribuirono ad avvicinare il mondo dei matematici umanisti al mondo dei tecnici. I primi con le loro traduzioni (anche se spesso in lingua latina) rendevano accessibile volontariamente o involontariamente il contenuto del testo aristotelico, ovvero della «prima trattazione geometrica di meccanica»³⁷⁹. I secondi, sempre più in grado di avere dimestichezza col latino, maturarono progressivamente un crescente desiderio di arricchire le proprie conoscenze meccaniche³⁸⁰. L'esempio più emblematico dell'incontro di matematica speculativa con la matematica pratica è

della nostra vita, à gran ragione fu ella dai Filosofi, e dai Re antichi stimata degna di laudi singularissime, e i Matematici vi hanno impiegato lo studio, e l'opera più che mezamente, e i Principi favoriti gli ingegneri eccellenti, e arricchiti. Ben è per certo di altissima speculatione, e di sottile manifattura, imperocche tocca quella parte della Filosofia, che tratta de gli elementi in universale, e del moto, e della quiete dei corpi, secondo i luoghi suoi, assegnando la cagione in certo modo de' loro movimenti naturali, e anco sforzandoli, per via di machine à partirsi dai propri siti, gli trasporta all'insù, e per ogni lato in movimenti contrari alla natura loro. [...] La onde egli è dibisogno considerare questa dottrina in due maniere: l'una in quanto va speculando [...], servendosi dell'Aritmetica, della Geometria, dell'Astrologia, e della filosofia naturale; e l'altra che poscia le manda ad esecuzione, e have necessità dell'esercitio, e lavoro delle mani, usando l'Architettura, la Pittura, il diegno l'arte de fabri, de legnaiuoli, de muratori, e d'altri mestieri tali, per modo che ella viene ad essere mescolata, e in parte composta dalla naturale filosofia, delle Matematiche, e delle arti manuali. Per la qualcosa chiunque si trova dotato d'ingegno acuto, o da fanciullo ha incominciato ad apprendere le già dette scienze, o a disegnare, o a lavorare di sua mano, potrà nel vero e ottimo mechanico, o inventore, o facitore di opere meravigliose riuscire. Infinite parti, e utilissime agli huomini comprende questa notizia [...] Ma Archimede, che fu il migliore artefice di quanti fecero giamai questa prefessione innanzi, e dopo lui, e quasi un lume, che poi ha illustrato tutto il mondo, accrebbe in colmo la reputazione della mechanica, e di povera arte, e vile, che prim aera, come vuole Plutarco nella vita di Marcello, nel numero delle arti nobili, e pregiate alla militia pertinenti la ripose», Del Monte, 1581, All'Illustrissimo Signor Giulio Savorgnan. Conte di Belgrado, dedica di Pigafetta. Koyré delinea i motivi che hanno portato il mondo antico a disinteressarsi della costruzione di macchini utili dal punto vista pratico: grande disponibilità di manodopera, la contemplazione era un qualcosa di superiore all'attività pratica, uso delle macchine per solo diletto, associazione della meccanica con il lavoro manuale, separazione della meccanica dalla geometria. Dalla fine del Medioevo in poi la mentalità cambia, tuttavia rimane una opposizione di fondo tra meccanica e arti liberali, cioè nobili. (Koyré, 2000b, pp. 61-86).

³⁷⁶ Russo, L. e Santoni, 2010, p. 58. Sulla polemica tra capitani e architetti si veda Gamba, 2008, p. 32.

³⁷⁷ L'edizione dei *Problemi meccanici* di Vittore Fausto non conteneva i disegni, questi vennero aggiunti nella successiva edizione curata da Tomeo, si confronti per esempio Helbing, 2008, p. 575. È opportuno ricordare anche l'importanza delle traduzioni di Vitruvio, in quanto ha contribuito fortemente ad avvicinare il mondo degli architetti alla teoria architettonica. Esempio, per la sua diffusione e la sua accuratezza, è la versione dell'umanista e vescovo Daniele Barbaro, la quale ospita le illustrazioni di Palladio. Su Barbaro si veda Tafuri, 1987. Barbaro usa Commandino per tradurre il libro IX di Vitruvio (nel libro si descrive l'utilità della meccanica). Si confronti anche la versione di Calvo in Staatbibliothek di Monaco eseguita per Raffaello. La prima edizione illustrata del trattato è quella curata da fra' Giocondo nel 1511. Esiste un *database* sviluppato dal Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte di Berlino (Max Planck Institute for the History of Science) che include e descrive numerose rappresentazioni di macchine contenute sia in testi manoscritti che in testi a stampa (<http://dmd.mpiwg-berlin.mpg.de/home>).

³⁷⁸ Per esempio Ceredi, 1567, *Tre discorsi sopra il modo d'alzar acque da' luoghi bassi*, Parma, appresso Seth Viotti; Lorini, 1596, *Delle fortificationi di Buonaiuto Lorini, nobile fiorentino, libri cinque. Ne' quali si mostra con le piu facili regole la scienza con la pratica, difortificare le città, & altri luoghi sopra diuersi siti. Con tutti gli auuertimenti, che per intelligenza di tal materia possono occorrere*, Venetia, appresso Gio. Antonio Rampazetto; Ramelli, 1991, *Le diverse et artificiose machine* (1588). Per quanto riguarda la trattatistica degli architetti si veda D'Amico, 2012.

³⁷⁹ Micheli, 1995, p. 23

³⁸⁰ Russo, L. e Santoni, 2010, pp. 66-73. Micheli, 1995, p. 136. Rose e Drake, 1971. Sul rapporto umanisti e tecnici si veda per esempio Galluzzi, 1997, pp. 14-15.

rappresentato da Niccolò Tartaglia. La sua attività divulgativa può essere riassunta come un tentativo, solo in parte riuscito, di divulgare l'importanza e l'utilità della teoria matematica per architetti e ingegneri. Nella *Nova Scientia* (1537) e nei *Quesiti et inventioni* (1546), oltre a ripercorrere i quesiti aristotelici, alludeva alla possibilità di calcolare geometricamente le linee di tiro di un cannone e di creare la relativa tabella. Purtroppo non sappiamo se tale tabella fosse stata effettivamente realizzata e messa alla prova. Tuttavia, è emblematico lo scetticismo del duca di Urbino, interlocutore di Tartaglia in *Quesiti et inventioni*, e di Giovan Battista Belluzzi, il quale, nel *Trattato delle fortificationi*, criticava l'attendibilità e l'affidabilità delle speculazioni teoriche al confronto con la "precisione" della pratica³⁸¹. Tartaglia aveva descritto la sua "invenzione" con queste parole:

N. El costrutto de tal inuentione è questo, che per la notitia de unsol tiro di qual si uoglia pezzo, posso formar una tauola de tutti li tiri che tirara quel tal pezzo in ogni elleuatione, cioe a ponto per ponto, et a minuto minuto della nostrasquadra, la qual tauola sara di tal sostantia, ouer proprieta, che qualunque psona la hauera a presso dise, non solamente sapra tirare, ma sapra far tirare ogni grosso bombardero con tal sorte pezzi di lontano quanti passa li parira (pur che non sia piu lontano del maggior tiro di tal pezzo) & che non hauera la detta nostra tauola, non potra imparare alcuna particolarita di tal inuentione, ma tal secreto restara solamente a presso di colui che hauera tal tauola, & non ad altri. **S.D.** Mo si colui che hauera tal uostra tauola non uora tirare lui medesimo, ma uora far tirare a un'altra seconda persona, non sara necessario che tal seconda persona impari tal secreto. **N.** Non Signor Eccellentissimo, anzi tal seconda persona restara come restano li garzoni di speciari de medicine, li quali continuamente componeno medicine, secondo che gli uengono or dinate dalli medici, & tamen mai imparano a saper medicare. **S.D.** Questa mi pare una cosa molto dura da credere, & tanto piu che nel nostro libretto (a me intitolato) uoi diceti che mai tirasti di artegliaria, ne di schioppo, & colui che sa un giudicio di una cosa, della quale non habbia uisto lo effetto, ouer isperientia, lamaggior parte delle uolte se inganna, perche solamente l'occhio è quello che ne rende uera testimonianza delle cose immaginate. **N.** Eglie benuero che il senso isteriore, ne dice la uerita nelle cose particolare, ma non nelle uniuersale, perche le cose uniuersale sono sottoposte solamente al intelletto, & non ad alcun senso. **S.D.** Basta se me fareti ueder questo (cosa che non credo) el me parera un miracolo. **N.** Tutte le cose che accadeno per natura, ouer per arte pareno de grande ammiratione, quando che di quelle non si sala causa, mapresto uostra Eccellentia se ne potrachiarire, facendone far laisperientia con un pezzo. **S.D.** Voglio andare per fina à Pesaro, subito che sia ritornato, certo la uoglio uedere.³⁸²

I capitani e gli uomini d'arme ritenevano che la pratica valesse mille volte la teoria. Secondo loro un buon uomo d'arme non era colui che sapeva applicare qualche teoria geometrica, ma colui che aveva esperienza e buon occhio. Un buon bombardiere sapeva che gli strumenti impiegati nelle campagne militari non erano uniformi e quindi, per calcolare ad esempio la gitatta di un cannone, considerava nei suoi calcoli anche le difformità tra i cannoni, tra le palle e tra le striature del collo del cannone. Se alcuni ingegneri erano ancora persuasi che fosse più importante il saper fare piuttosto che conoscere i principi, altri invece, come Tartaglia, ritenevano fosse importante estrapolare le indicazioni applicative dalla matematica antica³⁸³. Tuttavia, nel Cinquecento la teoria militare non

³⁸¹ Bibiloteca Oliveriana di Pesaro, Bellucci, G., *Trattato delle fortificationi*, ms 196, cc. 19v-20r. Gamba, 2008, pp. 36-37.

³⁸² Tartaglia, 1959, Libro Primo, pp. 6v-7r.

³⁸³ Ruscelli, 1568, *Precetti della militia moderna, tanto per mare, quanto per terra, trattati da diuersi nobilissimi ingegni, & raccolti con molta diligenza dal signor Girolamo Ruscelli. Ne' quali si contiene tutta l'arte del bombardiero, & si mostra l'ordine che ha da tenere il maestro di campo, quando vuole accampare il suo essercito*, Venetia, appresso gli heredi di Marchio Sessa, p. 40 r «Et auendo sempre auuertenza d'accommodarti al sito, non vi essendo in questo la piu ferma regola, che'l giudicio del predetto foldato, Che con lo studio di Vitruuio, di Leon Battista, o di altro Architeto, Geometra, o Cosmografo con le lor dottrine non s'impara il modo di combattere, ci difese, che s'ufa oggidì con la scientia, che fi ha a trouar nel foldato, di grande esperienza, esser altuto, animoso, et conoscer tutto quello che lo nemico polla antiuedere per offenderti, et in ogni fortuna esser ricco de partiti, tener sempre il nemico lontano, et quando t'è appressò non auer paura. et la sua Geometria è conofcer ogni mimimo auantaggio, di saper star sempre a caualieri del tuo nemico,

era ancora pronta per imporsi sulle consuetudini pratiche, essendo la speculazione teorica ancora informe e priva di strumenti per calcolare l'inerzia e la resistenza³⁸⁴. Per questi motivi calcolare a tavolino la traiettoria del tiro di un cannone non era semplice³⁸⁵. Le valutazioni di Tartaglia erano sbagliate principalmente perché il bresciano non possedeva una buona teoria della traiettoria e non aveva previsto le differenze strutturali dei cannoni. Tuttavia, possiamo configurare il tentativo di Tartaglia in quella consapevolezza che gradualmente si stava facendo strada tra i tecnici: l'importanza della matematica per l'attività pratica. Nel frontespizio della *Nova Scientia* (1537) Tartaglia rappresenta l'importanza delle discipline matematiche per raggiungere la conoscenza più alta: la Filosofia. Secondo l'allegoria raffigurata, l'accesso alla filosofia è mediato da due cinte pseudo dantesche. La prima cinta, che ospita la filosofia personificata seduta sul trono, è presieduta da Platone e Aristotele, i quali tengono in mano un cartiglio con scritto "Nessuno si appresti a questa materia senza la filosofia". Nella cinta secondaria sfilano le "scienze" intermedie e gli esperimenti di tiro, raffigurati dalle traiettorie delle palle dei cannoni. All'ingresso del mondo della *Nova Scientia* vi è Euclide, il quale simboleggia l'importanza della geometria e del metodo assiomatico-dimostrativo per il percorso conoscitivo³⁸⁶. Nel frontespizio le traiettorie dei cannoni sono rappresentate realisticamente alla maniera rinascimentale. All'interno del libro Tartaglia le rappresenta in maniera geometrica (Fig. 20). Notiamo che secondo Tartaglia la traiettoria non aveva la forma di parabola, ma il moto era composto da tre *step* (una linea diritta secondo la direzione del lancio, una linea curva e una linea retta verso il centro del mondo). Dalle opere di Tartaglia emerge che il suo interesse per la doppia rappresentazione riguardò prevalentemente la raffigurazione delle procedure geometriche per applicazioni militari e non la doppia rappresentazione delle macchine.

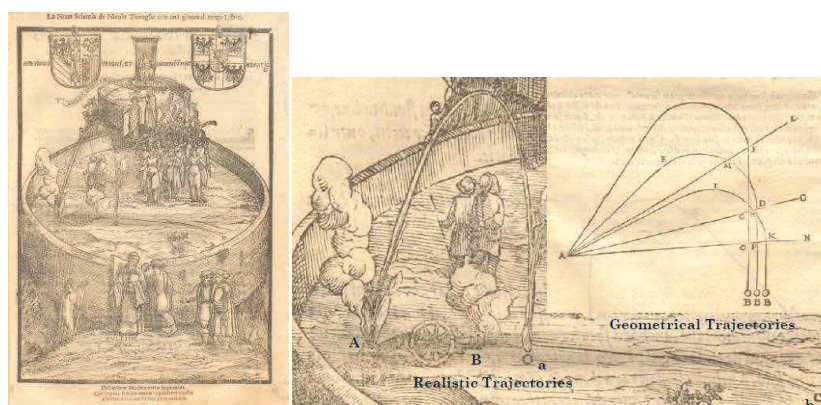


Fig. 20 Confronto della traiettoria della palla di cannone rappresentata in forma realistica con la traiettoria rappresentata in forma geometrica.
A sinistra frontespizio della *Nova Scientia* di Tartaglia,
a destra dettaglio del frontespizio e rappresentazione geometrica,
in Tartaglia, 1537, Frontespizio e Libro secondo.

per che la furia, l'empito de cannoni, nè quello dell'armate di picche, nè la tempesta delle palle, che gli archibufieri fanno fioccare con spauento d'ineuitabil morte, faranno perdere la sua dottrina al foldato, ma fi bene al Matematico, al Cofinografo, et al Geometra».

³⁸⁴ Tartaglia non pensava che le bilance reali dovessero comportarsi in maniera diversa da quelle ideali, ma che si dovesse considerare le ideali come caso limite di quelle reali. Secondo Tartaglia se consideriamo astrattamente le bilance, allora le più grandi sono più precise delle piccole; se invece consideriamo quelle reali, allora dobbiamo introdurre lo strano comportamento della materia: altrimenti non può essere spiegato il motivo per cui i gioiellieri usavano bilance piccole. Diversamente Benedetti prenderà atto che le bilance sono sostenute non da un punto matematico ma da «linea, aut superficie naturali in materia esistente», quindi bisognerà tener conto di una resistenza che può essere quantificata. Gamba e Montebelli, 1988, p. 73-74.

³⁸⁵ Gamba, 2001b, p. 91; Gamba, 1998.

³⁸⁶ Tartaglia, 1537; Cuomo, 1997; Drake e Drabkin, 1969, p. 19. Baldi nelle *Croniche de Matematici* scrive nella vita Platone che non era permesso entrare in accademia per la contemplazione a chi non conosce la geometria, Baldi, 1707, pp. 13-14.

Un precedente di doppia rappresentazione di uno stesso oggetto possiamo individuarlo anche nel *De divina proportione* di Luca Pacioli. All'interno dell'opera il matematico di Sansepolcro prima descrive e rappresenta in maniera geometrica i poliedri, poi, poche pagine più avanti, inserisce delle tavole disegnate da Leonardo da Vinci in cui i poliedri sono raffigurati tridimensionalmente. Pacioli fu tra i primi a considerare la rappresentazione uno strumento adeguato per diffondere l'importanza sociale e culturale delle matematiche, in quanto pienamente consapevole sia delle potenzialità tecniche degli appartenenti al cosiddetto strato culturale intermedio sia dei loro limiti lessicali che ostacolavano il pieno accesso alla conoscenza matematica degli antichi³⁸⁷. Crediamo che la presenza di una doppia e complementare rappresentazione di uno stesso oggetto all'interno di un trattato sia in grado di darci delle informazioni anche per meglio valutare la cultura scientifica del tempo. Dal nostro punto di vista la doppia rappresentazione esprime la necessità di comunicare la matematica secondo un doppio registro linguistico, al fine di favorire l'ingresso dei non dotti ai piani più alti del sapere.

Come abbiamo già anticipato il *Mechanicorum Liber* lasciò il segno anche in questa delicata e fondamentale fase di avvicinamento degli architetti alle opportunità applicative messe a disposizione dalla matematica teorica. Nel trattato Guidobaldo proponeva una lettura geometrica del funzionamento e delle applicazioni delle macchine semplici, mostrando che la teoria poteva e doveva guidare la pratica, e affiancava alle loro rappresentazioni geometriche le loro rappresentazioni realistiche, proprie della tradizione rinascimentale³⁸⁸.

³⁸⁷ Ciocchi, 2003.

³⁸⁸ Gamba, 1995; Bertoloni Meli, 2006, pp. 24-25; Gamba, 1998. Un altro tentativo di affiancamento della rappresentazione geometrica a quella tridimensionale delle macchine, e delle procedure operative, possiamo individuarlo nel *De re metallica* del filologo e filosofo tedesco Georg Agricola, pubblicato nel 1556, dove nel libro V l'autore descrive come i "misuratori" dovrebbero individuare correttamente la posizione dello spazio e lunghezza della profondità a cui dovrà essere inserita la mina. Agricola, per facilitare il calcolo dei "misuratori", consiglia di stabilire una proporzione (Fig. N.2) tra il triangolo minore avente come lati *O*, *M*, *N* e il triangolo maggiore avente come lati la fune a piombo (*D*), il tirante (*F*) e la base della montagna che unisce la base del pozzo alla punto in cui il tirante è fissato a terra (Agricola usa indirettamente i criteri di similitudine tra triangoli): «Finita mi truovo hauer una parte di questo libro, perciò ne uengo al'altra nela quale tratterò del'arte de misuratori de luoghi, e dico, che i metallieri usano di misurare il fodo de monti, a finche i padroni possano hauer cura del territorio loro, e che i lor cauatori non entrino fu quel d'altrui. Perche o il misurato remifura quello spazio che interamente ancor non è cauato, che è o fra la bocca dela mina, et il pozzo, a quella profondità abbassato: ouero fra la bocca del pozzo, e la mina, infin'a quelluogo che sotto il pozzo è fatto: ouero fra l'uno e l'altro tutto che la mina eziandio non sia così longa, ch'ella giunga al pozzo: ne il pozzo così profondo che arriui a la mina, ma in cialcun luogo bifogna cauare. O dentro ne le mine, e ne le fosse coperte egli pone i confini del'aie, fisco me il maestro de metallieri sopra la terra ordina e disegna con i lor confini le medefime aie. L'uno el'altro modo cofiste ne la misura del triangolo. Il piccol fi dee misurare, e da quello farafsi giudizio del maggiore. Ma soprattutto le cose egli bifogna diligentemete hauer cura di non uscir punto fuori de la uera misura perche se da principio per nostra negligezia noi cadremo in un ben piccolo errore, questo ala fine partorirane de grandi. E perche non tutti i pozzi, essendo egliino differenti in uno stesso modo son abbassati giu nel profondo dela terra nei piegati monti in un modo medesimo se ne calano giu ne la ualle, e pianura, però si fanno uarij triangoli. [...] Il misuratore (siccome ho detto) si serve de l'arte sua, quando i padroni de le caue desiderano di sapere quanti pasci di spazio ui resta da cauare, o facciasi la mina uerso il pozzo e che a quello ancor non arriui o che la fossa del pozzo per ancora non sia tanto abbassata, che giunga a quella profondità che ha il fuolo dela mina, che gl'è sotto: ouero che ne iui arriui la mina nela fossa del pozzo abbassa tafia perche nel vero ei bifogna che i metallieri sappiano quati pasci di spazio restano dale mine a pozzi, o da pozzi a le mine, afinche si possa far buon conto, e discorrer dele spese che s'hanno a fare, o i padroni de la mina piena di metalli possano sollecitare il cauar del pozzo, e del metallo, prima che la mina u'arriui, e per la sua giuridizione caui una parte del metallo», Agricola, G., 1563, *Opera di Giorgio Agricola De l'arte de metalli partita in XII libri. Tradotti in lingua toscana da m. Michelangelo Florio*, Basilea, per Hieronimo Frobenio et Nicolao Episcopo, pp. 101-105.

Riteniamo che la convivenza della riproduzione geometrica delle macchine (tipicamente archimedeica) con la loro ricostruzione reale propria della tradizione ingegneristica, facente capo a Erone ed entrata nella cultura scientifica del tempo tramite le *Collezioni Matematiche* di Pappo, stia ad indicare una complementare modalità, e non per questo antinomica, di rappresentare nella maniera più adeguata e accessibile il funzionamento delle macchine. Questa doppia rappresentazione serviva a facilitare la comprensione del testo da parte degli architetti, degli ingegneri e dei costruttori, più a loro agio con le rappresentazioni tridimensionali delle macchine (Fig. 21). La doppia rappresentazione di una stessa macchina è emblema altresì di una fase di transizione, non cronologica ma metodologica, tra quelle due fasi che Koyré avrebbe chiamato mondo del pressappoco e universo della precisione. Scriveva Koyré nell'importante saggio *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*: «In effetti, quando si studiano i libri di macchine dei secoli XVI e XVII, quando si fa l'analisi delle macchine (reali o semplicemente progettate) di cui essi ci offrono descrizioni e disegni, si è colpiti dal carattere approssimativo della loro struttura, del loro funzionamento, della loro concezione. Esse sono spesso descritte con le loro dimensioni (reali) esattamente misurate. In compenso non sono mai 'calcolate'. Anche la differenza fra quelle che sono irrealizzabili e quelle che sono state realizzate non consiste nel fatto che le prime siano state 'mal calcolate', mentre le seconde lo sono state 'bene'»³⁸⁹. Diversamente, la scienza delle macchine di Guidobaldo è proiettata verso

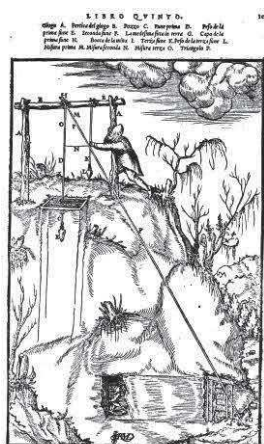


Figura del triangolo c'ha un'angolo diritto, e tre lati disuguali.



Fig. N.2 Agricola, 1563, pp. 103-104.

Il *De re metallica*, benché scritto in latino, è un trattato versatile e destinato soprattutto ai tecnici, come dimostra la presenza dei numeri disegni e l'importante glossario in appendice volto a tradurre i termini tecnici latini nei corrispondenti tedeschi: «Grandissima fatica, e sollicitudine di uero, io ci ho messa, et qualche buona spesa ancora percioche io non pure ho descritte le uene, gli strumenti, i uasi, i canali, le macchine, et le fornaci, ma eziandio a spese mie ho salariati i dipintori per farne i ritratti naturali, afinche le cose non conosciute che si danno ad intendere con parole, non rechino difficoltà ueruna a le persone al di d'hoggi, o de tempi a uenire. [...] Le cose certamente nele quali consiste tal arte, a le volte mancano de proprii nomi: o sia perche quelle siano nuoue, o perche quantunque uecchie, i nomi con i quali si chiamauano, si siano posti in oblio: però dala necefsità (cui si perdona) astretto, con piu parole congiunte insieme, n'ho dato adintendere alcune, et alcune altre con parole nuoue, com'è quel che mette dentro, lo sceglitore, il lauatore, et il cocitore: et alcune n'ho dichiarate, e mostrate con i loro uocaboli vecchi, come è la carriuola», Agricola, 1563, prefazione di Agricola. Come Commandino e Guidobaldo, nella prefazione Agricola rivendicava la nobiltà e l'utilità del tema contenuto nell'opera e assicura il lettore dell'affidabilità di quest'ultimo: «Ma come che io m'habbia tralasciato quel che io no ho ne ueduto, ne letto, ne udito da persone degne di fede, sia pur certo almeno ciascuno, che io non ho scritto cosa niuna, la quale io non habbia ueduta, o letta, o con accuratissima diligenza esaminata, quando che da altrui mi sia stata racconta. Il medesimo uoglio che si per suada ogn'uno che io habbia fatto nel insegnare, o sia nel dare le regole, et i precetti di quelle cose che si debbano fare, o nel raccontare quelle che soglia no farli senza biasimare punto quelle che si fanno o riprovarle», Agricola, 1563, prefazione di Agricola. L'opera rimarrà per due secoli il riferimento imprescindibile in ambito di tecnica mineraria. Sul tema si veda Walton, 2017, p. 98. Per una completa analisi sull'importanza e sul ruolo delle immagini nella trattatistica rinascimentale si veda Lefèvre, 2004, e Andersen, 2007.

³⁸⁹ Koyré, 2000a, p. 95.

l'universo della precisione, in quanto il pesarese calcola e costruisce, preannunciando di fatto l'affacciarsi del pensiero tecnologico³⁹⁰.

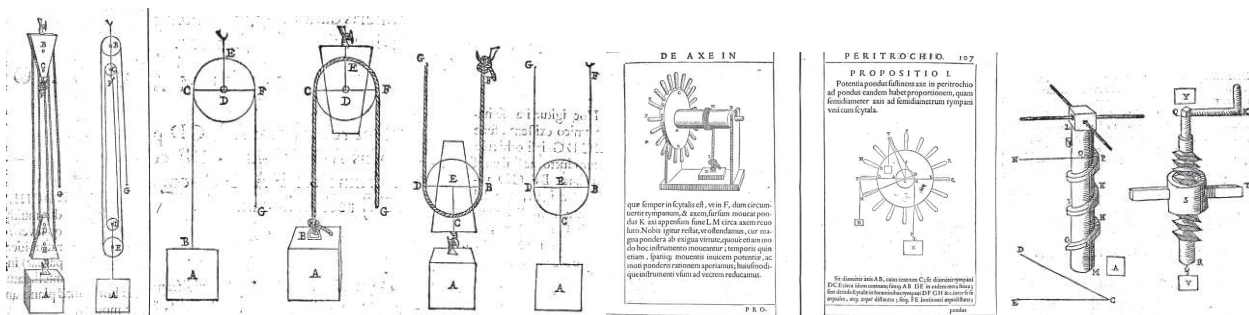


Fig. 21 Macchine semplici (carrucola, verricello, vite) rappresentate da Guidobaldo del Monte nel suo trattato sulla meccanica in forma tridimensionale e in forma geometrica, in Del Monte, 1577, pp. 62v, 63v, 65v, 106v, 107r e 128v.

Molte figure di Guidobaldo ricordano quelle tramandate dai traduttori della *Meccanica* di Erone filtrata da Pappo (Fig. 2).

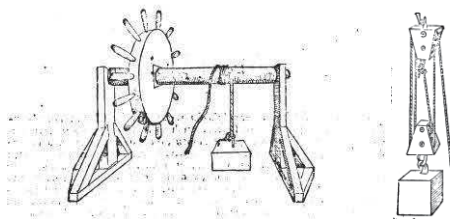


Fig. 22 Macchine semplici rappresentate nella versione di Pappo tradotta da Commandino e curata da Guidobaldo del Monte, in Commandino, 1588, Libro Ottavo.

Nell'opera di Guidobaldo non solo la teoria incontra la pratica, ma anche la geometria incontra la rappresentazione "tridimensionale" delle macchine. Come abbiamo detto, il *Mechanicorum Liber*, essendo scritto in latino, non era accessibile a tutti, ma solo a chi era in grado di comprenderlo e di

³⁹⁰ Inoltre, Gamba (in Gamba, 1995) rileva che nelle *Meditationum* ci sono tracce anche di problemi tipici della cultura abachistica come, ad esempio, su come misurare l'altezza, la profondità e le inclinazioni di una torre (Fig. N.3). Guidobaldo in *De misurar* scrive: «Per voler misurar l'altezze, profondità, et inclinazioni si farà in questo modo». All'elenco dei modi associa figure "realistiche" a quelle geometriche (Tassora, 2001, pp. 240-246, ff. 9-12).

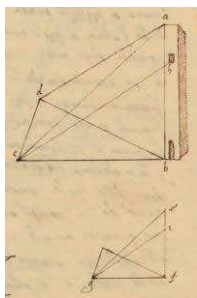


Fig. N.3 Tassora, 2001, p. 240 (f. 9).

Guidobaldo risolve i problemi utilizzando le leggi dei seni contenute nel *De triangulis* di Regiomontano, Libro II. Un problema pratico è il modo da Guidobaldo per calcolare quanti "toppi" di grano stanno in una fossa: «Proposto di saper quanti stara di grano sta in una fossa da grano la qual'in fondo sia di diametro 7 piedi, alta 6 piedi, et in cima di diametro», Tassora, 2001, pp. 549-552, ff. 243-244.

utilizzare l'esplicazione teorica del funzionamento dei congegni³⁹¹. Pertanto, le rappresentazioni realistiche delle macchine avevano la funzione di facilitare la comprensione della loro controparte geometrica ad architetti, ingegneri e costruttori, perché più a loro agio con la rappresentazione tridimensionale delle macchine. Guidobaldo unì questi due modi per meglio divulgare la sua meccanica. Analizziamo ora la doppia rappresentazione del verricello all'interno della parte *Dell'Asse nella rota* (Fig. 23).

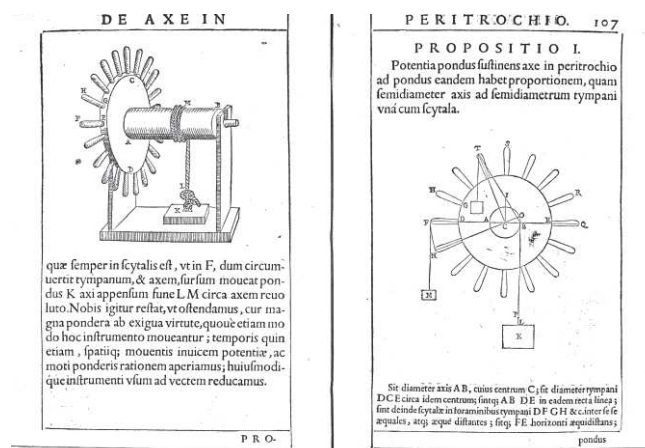


Fig. 23 Del Monte, 1581, *Dell'Asse nella rota*, pp. 102v-103r;
Del Monte, 1577, *De Axe in Peritrochio*, pp. 106v-107r.

Sulla sinistra possiamo notare l'Asse nella rota (verricello) in prospettiva laterale, cioè raffigurato secondo la rappresentazione tridimensionale. Essa è costituita da un asse robusto orizzontale in legno con una corda resistente, da un corpo pesante, da leve radiali per girare l'asse nella rota con minimo sforzo. Sulla destra noi abbiamo la stessa macchina rappresentata geometricamente in sezione verticale perpendicolare all'asse del verricello³⁹². In questa raffigurazione il cerchio con il diametro minore corrisponde all'asse e il cerchio con il diametro maggiore corrisponde alla ruota. In questa parte del trattato, Guidobaldo riduce il comportamento dell'asse nella rota al principio della leva e usa in particolare la *Proposizione 6 de Sull'equilibrio dei piani* di Archimede per esaminare il rapporto tra peso, possanza (forza che tiene il peso in equilibrio) e i due bracci. Guidobaldo considera una leva FCB e la seguente proporzione: la forza (M) sta al peso (K) come il mezzo diametro dell'asse (CB) è alla lunghezza del manico con il mezzo diametro della ruota ($FD + DC$)³⁹³. Nel *Mechanicorum Liber* la rappresentazione visuale affianca la riduzione geometrica del verricello alla leva. Secondo Guidobaldo, le competenze geometriche devono guidare la realizzazione pratica, mentre la pratica è la dimensione dove la dimostrazione assiomatico-dimostrativa trova la sua applicazione. Guidobaldo è consapevole che il progresso della scienza deve passare attraverso il dialogo con i tecnici.

Il *Mechanicorum Liber* e la sua versione volgare avranno un impatto notevole nella cultura tecnica dell'epoca. Molti autori di trattati tecnici citeranno il *Mechanicorum Liber* e useranno per le

³⁹¹ Henninger-Voss, 2000.

³⁹² Gamba, 1998.

³⁹³ Guidobaldo considera il seguente scenario. Se forze F e H premono sui manici della ruota FE e HG , allora la corda ML si avvolge nell'asse AB , muovendo il peso K verso l'alto. Quindi Guidobaldo si chiede perché questo strumento permette di muovere corpi pesanti con poca forza. Secondo il pesarese, noi possiamo individuare le proporzioni tra pesi e diametri della ruota. Conseguentemente, egli considera una forza G su T in grado di sostenere il peso K . Secondo Guidobaldo, per avere una condizione di equilibrio, G dovrebbe essere più pesante di M , perché noi dobbiamo considerare forze e pesi appesi alla leva TIB a non a TCB . Se consideriamo la leva TIB , come fa Guidobaldo, il nuovo fulcro (I) separa la leva TI , più corto di TC , e in IB , più lungo di CB ; dunque, in questa situazione necessitiamo di più forza per sostenere o muovere lo stesso peso K del precedente esempio. In ogni caso Guidobaldo non investiga specificatamente il caso di forza movente applicata a T o a F . Questo sarà fatto gli anni successivi da Benedetti e da Galileo, mediante l'uso della leva angolare.

loro opere la nuova veste geometrica della meccanica divulgata da Guidobaldo³⁹⁴. Il diffuso uso del contenuto del *Mechanicorum* conferma l'interesse da parte degli architetti e degli appassionati di meccanica per la meccanica teorica e per le sue applicazioni pratiche. Questo gruppo sociale interessato all'impiego pratico dei principi geometrici era l'ideale destinatario dell'opera di Guidobaldo³⁹⁵. L'architetto Oreste Biringucci Vannocci nel 1582 aveva tradotto la parafrasi di Piccolomini dei *Problemi meccanici* di Aristotele. Al termine della traduzione, Biringucci Vannocci aggiunge ulteriori *questioni* su come la vite può essere ridotta alla leva, citando esplicitamente «la bell'opera Mecanica del gran Guidubaldo degl'Illustriss. Marchesi del Monte, nella quale fi vede vna ingegnosa vnione, dell'Eccellentissimo Commandino, d'Euclide, d'Archimede, di Pappo, e d'Aristotile istesso», nella quale si mostra che la vite non è nient'altro che un cuneo. Il traduttore chiude la traduzione rimandando chi volesse approfondire la questione a *Le Mechaniche* di Guidobaldo. L'ingegnere e capitano di ventura Agostino Ramelli, nella prefazione alla bilingue *Diverse et artificiose macchine* (1588) ricostruisce la "storia" della meccanica attingendo pienamente dai trattati del tempo, in particolare dal *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo³⁹⁶.

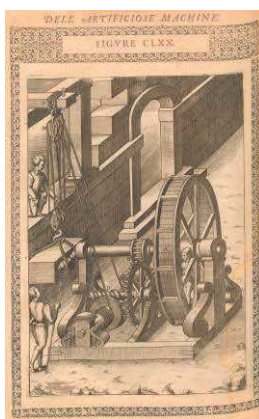


Fig. 24 Macchina per alzare pesi,
in Ramelli, 1588, p. 277v.

L'architetto Bonaiuto Lorini, cresciuto nella bottega di Bernardo Buontalenti, nel trattato *Delle fortificazioni* (1596) riprende esplicitamente il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo (Fig. 25)³⁹⁷:

Ma perche da graui Autori ne è stato trattato a pieno; e maffime vltimamente dal Sig. Guido Vbaldo, dal Monte, che ne ha scritto con quel bell'ordine, e facilità, che fi può defiderare; e non douendo appropriarmi l'altrui fatiche, mi rapporterò a effo Signore, et anderò solo mostrando sommariamente con quella maggior facilità, e breuità che potrò, quegli effetti della lieua, cioè nelle taglie, nella vite, e nell'asse, e nella ruota, che più pollono seruire per intelligenza di quanto ne occorre dire in materia dell'inuestigare, e fabricare le proposte machine, e quelle sapere proportionatamente non solo comporre, & ordinare, ma con quella chiarezza, che ancor fi ricerca, saper col compasso ritrouare la forza, cioè la multiplicatione delle sue lieue, accioche poi nell'effettuar l'opera in forma reale, non fi venga a restare ingannati di tal sua forza, come spesso accade a quelli, che confidano solo nella facilità, che mostrano i Modelli piccoli senza sapere i necessarj suoi fondamenti.³⁹⁸

³⁹⁴ La traduzione di Oronce Finè da parte del Delfinato viene dedicata a Guidobaldo (Oronce, 1587, *Opere di Orontio Fineo del Delfinato: diuise in cinque parti; arimetica, geometria, cosmografia, & orioli, tradotte da Cosimo Bartoli ... et gli Specchi, tradotti dal caualier Ercole Bottrigaro*, Venezia, presso Francesco Franceschi Senese). Per una storia dell'ingegneria si rimanda a Gasca, 2006.

³⁹⁵ Lo stesso Guidobaldo aveva avuto incarichi di architetto e si era occupato della progettazione di sistemi idraulici per conto di Francesco Maria II della Rovere. Si veda sull'argomento Gamba, 1995.

³⁹⁶ Si veda Carugo, 1991.

³⁹⁷ Sul tema si veda anche Trabucco, 2015.

³⁹⁸ Lorini, 1596, *Delle fortificatione*, Venetia, Gio. Antonio Rampazetto, Libro V, Cap. I, pp. 171-172.

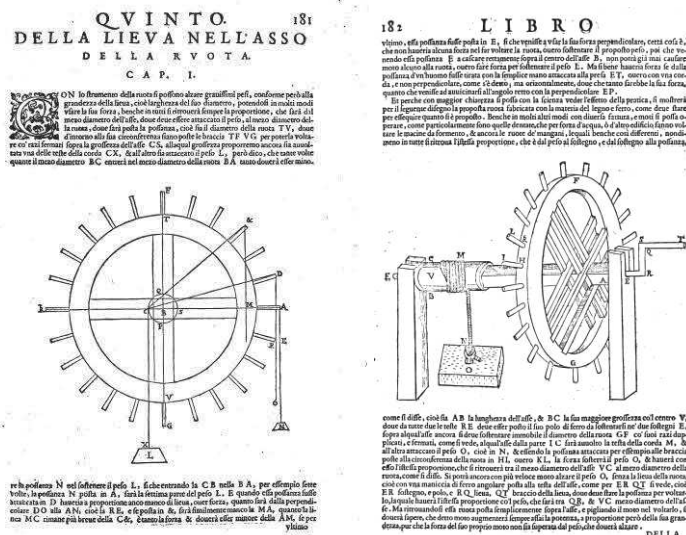


Fig. 24 Rappresentazione dell'Asse della ruota alla maniera di Guidobaldo del Monte, in Lorini, 1596, pp. 181-182.

Seppure sia fondamentale conoscere la teoria, secondo Lorini, quasi ricalcando l'avvertimento di Guidobaldo, il meccanico non può semplicemente traslare nella materia i principi teorici del matematico, in quanto la materia si lascia difficilmente accomodare, ma deve «sapere prevedere le difficoltà».

Doue che il puro Matematico se le imagina di niuna grauità, e girate intorno a linee e punti indiuisibili. E però il giudicio del Mecanico, che deue ordinare, e comandare agli efecutori dell'opera, confiste in grandissima parte nel sapere preuedere le difficoltà, che apportano le diuersità delle materie, con che si conuiene operare.³⁹⁹

Al termine della parte dedicata alla meccanica, mostra come l'analisi geometrica delle macchine semplici sia estremamente utile per fabbricare alcuni strumenti a beneficio dall'architetto militare.

Pigafetta, il traduttore del *Mechanicorum Liber* in volgare, recupera l'insegnamento di Guidobaldo in *Discorso di M. Filippo Pigafetta d'intorno all'historia della aguglia, et alla ragione del muoverla* (1586), dove descrive lo spostamento dell'aguglia dalla spina del Circo di Nerone al centro della Piazza di San Pietro, la quale era allora in fase di ampliamento. A differenza delle rappresentazioni realistiche di Domenico Fontana in *Della transportatione dell'obelisco vaticano et delle fabriche di nostro signore papa Sisto V* (1590), Pigafetta aveva adottato lo stile geometrico per descrivere l'impresa⁴⁰⁰. Il trasporto dell'obelisco vaticano dovette essere un'impresa di grande impatto; anche Baldi la ricorda nei due Sonetti romani: *Sopra l'Obelisco del Vaticano* e *Sopra il medesimo mosso da Sisto V* (Fig. 25)⁴⁰¹. Come sottolinea lo storico della filosofia Oreste Trabucco, se la *mission* di Guidobaldo era fondare geometricamente la meccanica, l'obiettivo di Pigafetta, di Savorgnan e dei promotori dell'opera di Guidobaldo era esportare il contenuto del *Mechanicorum* nei cantieri civili e militari per impreziosire le proprie conoscenze⁴⁰². In effetti ricorda Enrico Gamba, il

³⁹⁹ Lorini, 1596, p. 172.

⁴⁰⁰ Fontana, 1590, *Della transportatione dell'obelisco vaticano et delle fabriche di nostro signore papa Sisto V*, Roma, appresso Domenico Basa; Pigafetta, 1586, *Discorso di M. Filippo Pigafetta d'intorno all'historia della aguglia, et alla ragione del muoverla*, Roma, appresso Bartolomeo Grassi.

⁴⁰¹ Baldi, 1590, Sonetti romani, pp. 279-280.

⁴⁰² Trabucco, 2015, p. 434: Guidobaldo intendeva il *Mechanicorum Liber* come atto di fondazione di una meccanica rigorosamente edificata su principi geometrici. Contarini, Savorgnan e Pigafetta miravano a esportarne la materia nei cantieri civili e militari. Sull'argomento si veda anche Becchi, 2013.

beneficio della versione italiana del *Mechanicorum Liber* riguardava piuttosto l'innalzamento del livello culturale dei tecnici e del loro credito sociale, che un miglioramento immediato di certe operazioni. Tuttavia, continua Gamba, iniziava a farsi strada l'idea che prima di realizzare bisognasse conoscere meglio di quanto già si sapesse⁴⁰³.

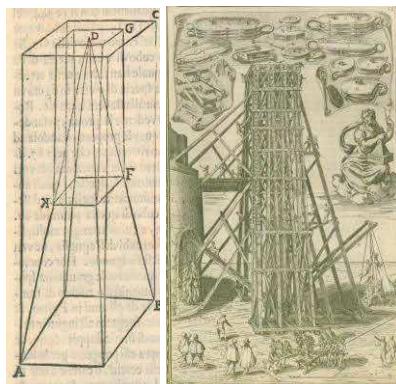


Fig. 25 A sinistra rappresentazione geometrica dell'obelisco, in Pigafetta, 1586, e a destra rappresentazione tridimensionale di Fontana, in Fontana, 1590, p. 12r.

Nel 1629 uscì la traduzione (postuma) del tedesco Daniel Mögling del *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte, curata da Mattahaeus Merian⁴⁰⁴. Ciò indica un persistente interesse nei confronti dell'opera, anche fuori dal confine italiano. In questo luogo ci preme ricordare la struttura del frontespizio: alla rappresentazione geometrica delle macchine è associata la loro rappresentazione reale alla maniera rinascimentale (Fig. 26)⁴⁰⁵.

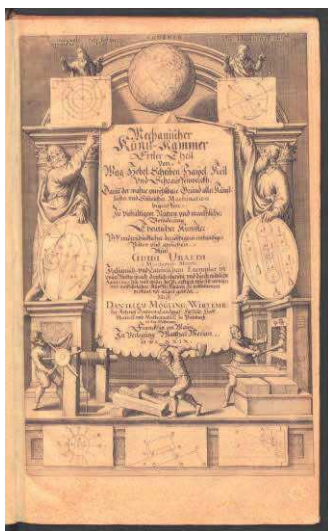


Fig. 26 Mögling, 1629, frontespizio.

3.8 Le altre opere di Guidobaldo. Una breve rassegna

Planisphaeriorum Universalium Theorica, Pesaro 1579 (2^a ed., Colonia, 1581).

L'opera contiene alcuni procedimenti per costruire i planisferi da un punto di vista geometrico e le descrizioni di strumenti utili per disegnare archi ed ellissi. Nel testo, pubblicato due anni dopo il

⁴⁰³ Gamba, 1998, p. 351.

⁴⁰⁴ Mögling, 1629, *Mechanischer Kunst-Kammer Erster Theil Von Waag Hebel Scheiben Haspel Keyl und Schrauffen, Begreifend die wahre Fundamenta aller Machination*, Frankfurt am Main, Caspar Röteln.

⁴⁰⁵ L'opera contiene anche i commenti di Bernardino Baldi ai *Problemi meccanici* di Aristotele. Per un esame approfondito si veda Popplow, 2013.

Mechanicorum Liber, possiamo intravedere, come dice Sinisgalli, lo sviluppo «di una nascente mentalità tecnologica che si affianca alla speculazione teorica»⁴⁰⁶.

De Ecclesiastici Calendarii Restitutione Opusculum, Pesaro 1580.

Nonostante l'imprecisione del calendario giuliano fosse nota fin dall'emanazione (46 a.C.), fu solo nel 1400 che lo sfasamento dei giorni, ampliato dalla strana cadenza della Pasqua, diventò evidente. Il dibattito che maturò in seno al V Concilio Lateranense (1512-1517), presieduto da un personaggio ben noto ai nostri urbinati, Paolo da Middelburg, non portò ad alcuna soluzione. La sistemazione del calendario avvenne nel 1582, quando Gregorio XIII coinvolse nei lavori l'ordine dei gesuiti⁴⁰⁷. Negli anni a cavallo tra la pubblicazione del *Mechanicorum* e la versione volgare, Guidobaldo si occupò della delicata questione riguardante la riforma del calendario gregoriano. Guidobaldo pubblicherà l'opuscolo nel 1580, dopo la richiesta di Jacopo Mazzoni, fatta pervenire attraverso il duca, di un contributo del pesarese alla riforma del calendario (12 dicembre 1579).⁴⁰⁸

In Duos Archimedis aequae Ponderantium Libros Paraphrasis Scholijs Illustrata, Pesaro, 1588.

Nell'opera *In Duos Archimedis aequae Ponderantium Libros Paraphrasis Scholijs Illustrata* (Pesaro 1588), Guidobaldo commenta il trattato archimedeo *Sull'equilibrio dei piani*, testo in cui Archimede espose il cosiddetto principio della leva. Il trattato non era stato oggetto di parafrasi da parte Commandino, in quanto era già provvisto del commento di Eutocio. Guidobaldo pubblicò una parafrasi de *Sull'equilibrio dei piani* per rafforzare l'attendibilità del suo trattato sulla meccanica e per difenderne il contenuto, a seguito delle continue e numerose perplessità pervenute dai suoi corrispondenti a causa di alcune sfasature incontrate nell'applicazione pratica della geometria contenuta nel *Mechanicorum Liber*⁴⁰⁹. La prefazione della parafrasi include numerosi aspetti interessanti già esaminati da Martin Frank. In questa sede riporteremo solamente l'importanza del binomio arte-natura esposta da Guidobaldo⁴¹⁰. Secondo il matematico pesarese, seppure l'arte sembri andare contro natura, non vi è contrasto tra le due; anzi esse possono essere poste in relazione in tre modi: l'artificio può imitare la natura, l'artificio può adempiere a ciò che la natura non può, l'artificio può superare la natura. In ogni caso, precisa Guidobaldo, l'artificio deve essere considerato atto di natura e quindi, anche in quest'ultimo caso, è la natura che supera se stessa.

Pappi Alexandrini Mathematicae collectiones. A Federico Commandino Vrbinatae, Venezia, 1588.

Sempre nel 1588 Guidobaldo curò la traduzione delle *Collezioni matematiche* di Pappo eseguita da Commandino. Come abbiamo visto nel capitolo su Commandino, nel 1587 Guidobaldo venne coinvolto da Francesco Maria II nell'*affaire* Pappo. A seguito di alcuni ritardi e incomprensioni, che fecero sospettare gli eredi di un tentativo di appropriazione dell'opera da parte di Francesco Barozzi, la bozza di Commandino venne ripresa dal duca e consegnata a Guidobaldo. L'urbinate cercò di procurarsi alcune copie greche ma, a causa del poco tempo a disposizione, come scrisse a Giulio Veterani, dovette pubblicare velocemente la versione del suo maestro senza poterla migliorare, lasciando gli spazi bianchi in «alcuni luoghi dove manca qualche cosetta». Nella nota anonima al Candido Lettori, che probabilmente è stata scritta da Guidobaldo stesso, si ripete grosso modo il contenuto della lettera a Giulio Veterani⁴¹¹. L'opera di Pappo ospitava lunghi frammenti della *Meccanica* di Erone, a quel tempo disponibile solo in arabo e che sarà recuperata solo nel nell'Ottocento.

⁴⁰⁶ Sinisgalli e Vastola, 1994b. Sugli strumenti tecnici descritti si veda Gamba e Mantovani, 2013.

⁴⁰⁷ Montebelli, 2015; Gamba, 2011; Marzi, 1896; Cappella, 1906.

⁴⁰⁸ Su Mazzoni si veda Serassi, 1790.

⁴⁰⁹ Baldi, 1887, p. 41.

⁴¹⁰ Frank, 2011, pp. 172-212.

⁴¹¹ Passalacqua, 1994.

Perspectivae libri sex, Pesaro, 1600.

I *Perspectivae libri sex* hanno avuto un ruolo fondazionale nell'ambito della teoria matematica della prospettiva equiparabile a quello del *Mechanicorum Liber* nella meccanica⁴¹². I sei libri sulla prospettiva contengono numerose novità tecniche, tra le quali citiamo almeno la matematizzazione del punto di convergenza delle linee, che sarà chiamato punto di fuga⁴¹³. Guidobaldo si era formato principalmente sulle opere di Vitruvio⁴¹⁴ e di Brunelleschi⁴¹⁵, sul *De Pictura* (1435) di Leon Battista Alberti⁴¹⁶, sul *De Prospectiva Pingendi* (circa 1482) di Piero della Francesca e sugli scritti del suo maestro Commandino. Fanno parte della sua cultura prospettica anche le opere di Giovan Battista Benedetti e di Giacomo Barozzi da Vignola⁴¹⁷. Seppure il metodo di costruzione applicato nei precedenti lavori sulla prospettiva fosse molto simile al punto di convergenza esposto nei *Perspectivae libri sex*, l'opera delmontiana rappresentava comunque una novità soprattutto perché metteva le basi per la matematizzazione della prospettiva, aprendo così la strada alla geometria proiettiva⁴¹⁸.

Nonostante l'opera fosse accompagnata da grandi ambizioni, l'eccessivo tecnicismo e i numerosi teoremi ebbero invece un effetto controproducente, non contribuendo affatto a una sua diffusa fruizione tra i professionisti del settore. L'opera fu comunque largamente apprezzata, tanto da essere considerata già nel 1663 un punto di riferimento per lo studio della prospettiva⁴¹⁹.

Problematum Astronomicorum Libri Septem, Venezia 1609.

Nel 1609 uscì postuma l'opera sui problemi astronomici. Di enorme interesse è il primo libro in cui Guidobaldo rappresenta e descrive alcuni strumenti astronomici. Tali rappresentazioni sono molto accurate, almeno secondo le conoscenze del periodo, tanto da essere assimilabili a disegni tecnici⁴²⁰. Nonostante la grande attenzione per la descrizione degli strumenti, Enrico Gamba rileva che l'opera contiene alcuni procedimenti che sono corretti solamente dal punto di vista matematico e non dal punto di vista tecnico. In effetti è probabile che Guidobaldo non pubblicò il testo, benché già nel 1580 fosse quasi pronto, perché egli stesso non era convinto del contenuto⁴²¹.

⁴¹² Per una trattazione più esaustiva e approfondita rimando ad Andersen, 2007; Sinisgalli, 2001; Andersen e Gamba, 2008.

⁴¹³ Frajese, 1969, p. 349.

⁴¹⁴ Riguardo l'influenza del *De Architectura* di Vitruvio rimando all'accurata analisi in Tiriticco, 2013. Secondo Guidobaldo Vitruvio non scriveva sulla meccanica scientificamente quanto Archimede: «Credo bene che egli "Archimede" si sdegnasse di scrivere come fece Vitruvio, il quale insegna come si debbono accomodar le travi e legar le machine per tirar li pesi, essendo cosa il trattarne di questo modo molto vile; ma scriverne scientificamente siccome egli ha fatto in questi libri che ho citati di sopra, è cosa molto bella et da non sprezzar, et da non tener per bassa. Et quest'è quant'io Gli posso dir succintamente secondo la mia opinione sopra Archimede», in Frank, 2011, p. 108. Cfr BAM, D34 inf, fol. 121r; 29 aprile 1581.

⁴¹⁵ Brunelleschi aveva inventato la prospettiva geometrica, in base all'ottica euclidea e tolemaica.

⁴¹⁶ Il *De Pictura* è stato scritto nel 1435, probabilmente dapprima in volgare e poi in latino. Sulla questione relativa alla lingua del *De Pictura* si veda Sinisgalli, 2006.

⁴¹⁷ Commandino, 1558b; Barozzi da Vignola, 1583, *Le due regole della prospettiva pratica di Iacomo Barozzi da Vignola con i comentarij del R.P.M. Egnatio Danti*, Roma, Francesco Zannetti; Benedetti, 1585, *Jo. Baptistae Benedicti Patritii Veneti Diversarum speculationum mathematicarum & physicarum liber*, Taurini, apud Haeredem Nicolai Bevilacqua.

⁴¹⁸ Andersen, 2013. Scrive Guidobaldo nel *Perspectivae Libri Sex*: «Desidererei che fosse ben chiaro che l'oggetto proprio e peculiare della prospettiva non è niente affatto diverso dall'oggetto della geometria dalla quale dipende. Anzi i volumi, le superfici, le linee, i punti, analizzati dal cultore della prospettiva riguardano la natura affine e l'analisi dell'oggetto geometrico», traduzione in Sinisgalli 1984, Libro I.

⁴¹⁹ Andersen, 2013; Gamba e Morini, 2000.

⁴²⁰ Per una più ampia descrizione degli strumenti contenuti rimando a Gamba e Mantovani, 2013; Rose, 1976; Frank, 2011, Part B, Capitolo 1; Gamba, 1992.

⁴²¹ Gamba, 2019, *Orologi e strumenti matematici a Urbino*, relazione al convegno "Muzio Oddi (1569-1639). Tra ingegneria, E., matematica e strumentazione scientifica. Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita", 17-18 settembre 2019, Urbino e Cesena.

De Cochlea Libri Quatuor Superiorum Permissu, et Privilegii, Venezia 1615.

Nei *De Cochlea Libri* dovevano confluire alcune parti poco approfondite del *Mechanicorum Liber*. Nel *Mechanicorum* Guidobaldo non si era troppo dilungato sull'argomento, perché le parti sulla bilancia e sulla leva erano maggiormente supportate da verifiche sperimentali e perché presumibilmente gli interessava maggiormente difendere il suo equilibrio indifferente, anziché analizzare altri aspetti delle macchine semplici.

3.9 I lavori rimasti manoscritti

Meditatiunculae Guidi Ubaldi et Marchionibus Montis S. Mariae De Rebus Mathematicis.

Le *Meditatiunculae* (Bibliothèque Nationale, Paris, Ms. latin 10246, ex supp. latin 1058)⁴²² sono una raccolta di riflessioni scientifiche. Alcune di esse sarebbero confluite nelle opere a stampa, altre invece danno l'impressione di essere state sviluppate a seguito del riesame di opere già pubblicate e altre ancora sembrano essere state frutto delle conversazioni avute con il suo allievo Galileo Galilei⁴²³.

De Proportione Composita Opusculum (Biblioteca Oliveriana di Pesaro, Ms. 631)⁴²⁴.

Nell'opuscolo Guidobaldo discute la proporzione composta introdotta nella definizione VI, Libro V, degli *Elementi* di Euclide («una proporzione si dice composta da proporzioni, quando le quantità delle proporzioni, moltiplicate tra loro, avranno prodotto qualche proporzione»), la quale, conseguenza probabilmente di un'antica interpolazione, mal si accordava con le altre definizioni esposte nel Libro V. Qualche anno dopo, Galileo avrebbe definito la proporzione composta nel seguente modo: «S'immagini V.S. le due grandezze A, B dello stesso genere; avrà la grandezza A alla B una tal proporzione; e dopo concepisca essere posta fra di loro un'altra grandezza C, pur dello stesso genere: si dice che quella tal proporzione che ha la grandezza A alla B viene ad essere composta delle due proporzioni intermedie, cioè di quella che ha la A alla C e di quella che ha la C alla B. questo è per l'appunto il senso secondo 'l quale Euclide si serve della predetta definizione»⁴²⁵.

In Quintum Euclidis Elementiorum Librum Commentarius Opusculum (Biblioteca Oliveriana di Pesaro, Ms. 630)⁴²⁶.

In questo manoscritto l'intento di Guidobaldo è quello di commentare il libro V di Euclide liberandolo dai commenti e interpolazioni affinché «Euclide rimanga Euclide»⁴²⁷.

De stella magorum.

Nel manoscritto, conservato presso la Biblioteca Vaticana Apostolica (BAV), Guidobaldo discute l'esatta natura della stella di Betlemme⁴²⁸.

⁴²² Tassora, 2001.

⁴²³ Tassora (Tassora, 2001, pp. 29-51) ritiene che le *Meditatiunculae* siano state scritte tra il 1586 e il 1593. Invece Frank (in Frank, 2013a) propone di spostare la data al 1570, anno a cui viene fatta risalire la genesi del *Mechanicorum Liber*. Secondo Frank alcuni fogli delle *Meditatiunculae* contengono riflessioni su argomenti di tipo meccanico che poi sarebbero confluiti nel trattato sulla meccanica delmontiano.

⁴²⁴ L'opuscolo è stato studiato e pubblicato da Giusti, 1993, e Giusti, 2013.

⁴²⁵ Galilei, 1933b, Giornata quinta, p. 360; si veda anche Giusti, 1990, p. 45.

⁴²⁶ Giusti, 1993.

⁴²⁷ Guidobaldo dedica un lungo commento alla definizione VIII di Commandino per interpretare la relazione che intercorre tra due grandezze proporzionale e, indirettamente, chiarire il termine *analogia*, che il suo maestro lascia inalterata nella doppia traduzione (latina e volgare) di Euclide. Secondo Guidobaldo se *A* e *B*, *E* e *F* sono in proporzione e così via, allora *ABCD* e *EFGH* saranno in analogia perché in *EFGH* ci sono le stesse proporzioni che in *ABCD*. Quindi Guidobaldo generalizza l'essere in proporzione chiamando tali grandezze proporzionali: *analogia* è similitudine di proporzioni, non di uguaglianze. Per un'analisi della parafrasi di Guidobaldo rimandiamo a Giusti, 2013, e a Giusti, 1993.

⁴²⁸ Sul tema rimandiamo a Giostra, 2013.

De motu Terrae (opuscolo forse andato perduto).

Come indica il titolo, lo scritto riguardava il moto della terra. Orazio del Monte diede notizia dell'opuscolo nel catalogo preparato per Galilei. Le *Meditatiuncolae* contengono un foglio intitolato *Terram moveri hoc modo ostendetur*. Esso è probabilmente un riassunto dell'opuscolo andato perduto. Guidobaldo scriveva nelle *Meditatiuncolae* che la terra subiva un movimento meccanico seppure cosmologicamente rimanesse ferma. Secondo il pesarese la causa del movimento è il cambio di baricentro dovuto al dislocamento di porzioni di terra, come, ad esempio, lo spostamento delle acque e l'erosione di montagne⁴²⁹.

3.10 Guidobaldo e l'uso dello strumento per mostrare la correttezza di una teoria scientifica e per calcolare

Abbiamo visto l'importanza della proposizione IV e il commento di Pigafetta posto al termine di essa. Dal commento emerge l'importanza data da Guidobaldo allo strumento per supportare una teoria, in quanto ivi allude alla base sperimentale dei teoremi inseriti nel *Mechanicorum*. Pigafetta, che scrive sotto "dettatura" di Guidobaldo, riferisce che l'autore aveva costruito bilance per «chiarire la verità» dell'equilibrio indifferente e che uno di questi strumenti era in mano a Giovanni Vincenzo Pinelli, il quale sarebbe stato in grado di confermare quanto esposto nella proposizione. È fondamentale, continua Pigafetta, che gli strumenti impiegati siano costruiti bene e in maniera accurata, in tal caso «è cosa sicurissima, che la pratica con la theorica vanno sempre insieme»⁴³⁰.

I quali con molte ragioni si sono sforzati di provare non solamente il contrario, ma hanno etiandio affermato per certo, che la sperienza mostra la bilancia non dimorare già mai ferma se non quando ella è egualmente distante dall'orizzonte. Laqual cosa in tutto è contraria alla ragione prima, per essere la dimostratione della sudetta quarta propositione tanto chiara, facile, et vera, che non so, come se le possa in modo alcuno contradire. Et poi all'esperienza: concio sia che l'autore abbia fatto sottilissimamente lavorare bilancie giuste a posta per chiarire questa verità, una delle quali ho io veduto in mano dell'Illustre Signor Gio. Vincenzo Pinello, mandatagli dall'istesso autore, la quale per essere sostenuta nel centro della sua gravezza, mossa dovunque si vuole et poi lasciata, sta ferma in ogni sito dove ella vien lasciata. Ben è egli vero che non bisogna, nel fare

⁴²⁹ Gamba, 2005, p. 351. Si confronti anche con l'opuscolo *Terram moveri hoc modo ostendetur*, f. 54r (Tassora, 2001, p. 291) e con la lettera inviata da Guidobaldo a Federico Bonaventura (8 dicembre 1588), in cui l'urbinate critica l'ipotesi di Andrea Cislalpino contenuta nei *Peripateticarum Quaestionum Libri Quinque* (1571), pubblicata in Bertoloni Meli, 1992: «Dove mi par che quest'huomo non consideri troppo bene quello che dice, perché vuole che la terra habbi il moto della trepidatione, che havendo lei questo moto, dice il Cislalpino che non accade a darlo al cielo, come che'l cielo habbi questo moto ogni sei hore, come vuol che habbi la terra, poi che quest'è causa del flusso del mare. Ma vuole però che questo moto della terra venghi dal cielo. Ma se dal cielo, la terra si dovrebbe mover in giro, come il cielo. Ma si vede che attribuisce alla terra il moto della trepidatione per salvar il flusso del mare. Ma è cosa poco da filosofo per salvar il moto del mare indurre nella terra un altro moto più stravagante, che per salvar questo della terra bisognava trovarne un altro, e poi un altro, e così in infinito». Rileviamo gli opposti punti di vista di Guidobaldo e Galileo rispetto alla teoria delle maree. Galilei utilizzava, tra gli altri argomenti, l'abbassamento e l'innalzamento delle acque per giustificare il moto della Terra; per Guidobaldo, secondo la critica a Cislalpino, ciò è inconcepibile in quanto si giungerebbe al *progressus in infinitum* aristotelico. Tuttavia, ammette Guidobaldo sempre nella stessa lettera, di avere «n capriccio, che la terra si muova, et questo per via di Aristotele»; ovvero a causa dello spostamento del baricentro della terra, a sua volta causato dallo spostamento delle masse sulla superficie terrestre. Se per Galileo la rotazione della terra provocava le maree, per Guidobaldo, al contrario, lo spostamento delle acque provocava il movimento della terra.

⁴³⁰ Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, in Favaro, 1899-1900. Come emerge anche dalla corrispondenza tra Guidobaldo e Pigafetta (BAM, D34 inf., fol. 139r); Del Monte a Pigafetta, 2 maggio 1581: «La bilancia sì che credo che Dio sa quel che La riuscirà, bisogna che V.S. l'attachi, perché non si può così tener saldo con la mano che basti poi quando La moverà la bilancia, bisogna avertir che la non pigli l'andar o in su o in giù, perché ogni minima cosa la fa muovere; et Dio voglia che nel portarla la non si muova. Io l'ho provata molte volte et sempre è stata dove la si è lasciata. Averò caro che V.S. me ne avisi, e s'ella è mal fatta, (per non defraudar alcun mastro) La non si meravigli perché l'ho fatta io medesimo, però se La si guasta io ne rifarò un'altra. E mi basta di mandarghela così goffa perché mi basta che la serva a V.S. per mostra, acciò La ne facci far una da quel mastro buono et La potrà far far come quelle che si pesano li scudi», in Frank, 2011, pp. 559-560.

cotesta esperienza, correr così a furia, per essere cosa oltra modo difficile, come dice l'autore di sopra, il fare una bilancia, la quale sia nel mezo delle sue braccia sostenuta a punto, et nel centro proprio della sua gravezza. Per la qual cosa egli è da por mente e che qualora alcuno si mettesse a far cotale esperienza, et non gli riuscisse, non perciò si deve sgomentare, anzi dica pur fermamente di non haver bene operato et un'altra volta ritorni a farne la speranza, finché la bilancia sia giusta et eguale, et venga sostenuta a punto nel centro della gravezza sua.⁴³¹

Da questa testimonianza emergono due importanti elementi: il ruolo dello strumento nella prassi scientifica e la consapevolezza che la corretta costruzione dello strumento sia fondamentale per condurre esperimenti. Quest'ultima accortezza è necessaria, seguendo Guidobaldo, per limitare il manifestarsi di alcune variabili nascoste in grado di inficiare gli esperimenti, come l'attrito e la composizione dei materiali, i quali non consentivano facilmente di studiare il comportamento dei corpi, soprattutto se in movimento⁴³².

Egli è pero d'auertire in questa parte che con difficoltà si puote lauorare vna bilancia materiale, che in vno punto solamente sia sostenuta come con lamentela immaginiamo, et habbia le braccia dal centro così eguali non solamente in lunghezza ma in larghezza, et in profondità, è grossezza, che tutte le parti di quà, ci dilà perfino a punto egualmente. percioche la materia difficilissimamente patisce cotale giusta misura. Per la qual cosa se considereremo il centro essere in essa bilancia, non bisogna ricorrere al senfo, conciosia, che le cose artificiate non si possano ridurre a quel sommo grado di perfezione.⁴³³

In questa citazione giace tra le righe un problema, oggi diremmo epistemologico, che sarebbe arrivato fino a noi: non è semplice eseguire esperimenti e costruire strumenti perfetti, completamente aderenti alla loro teorizzazione geometrica e in grado di interferire al minimo con la materia che essi stessi esaminano⁴³⁴. Secondo Guidobaldo, se nell'indagine delle condizioni di equilibrio di una macchina è comunque possibile riscontrare una corrispondenza tra pratica e teoria, nello studio del comportamento delle macchine in movimento la materia produrrà qualche resistenza, tale da condizionare la corretta analisi del moto. Guidobaldo non aveva ancora gli strumenti concettuali e matematici per calcolare l'attrito ed era perfettamente consapevole della problematicità di una sua adeguata valutazione quantitativa. Queste considerazioni allontaneranno il pesarese dallo studio del comportamento delle macchine in movimento⁴³⁵.

⁴³¹ Per un esame e una comparazione del commento di Pigafetta con il contenuto della lettera di Guidobaldo si veda Frank, 2011, pp. 295-302 e Micheli, 1995, pp. 153-167.

⁴³² Guidobaldo intravede l'importanza di preferire strumenti piccoli a quelli grandi perché più leggeri e quindi anche più sensibili «Et di più le dico che la dimostrazione mi ha insegnato assai come si hanno da far l'esperienze, sopra le quali per chiarirsi bene bisogna considerar molte cose: 1° che gli instrumenti siano piccoli più presto che grandi, come, per essemplio, le taglie con le sue girelle, che se fusse possibile di farle di ottone con li sui assi di ferro, sotili sotili; et che le girelle siano benissimo tornite, le quali non balassero attorn'agli assi, ma però che girassero con un soffio se fosse possibile, questo sarebbe benissimo, perché le taglie grandi, che sono atte a levar gran pesi, non sono così buone a chiarirsi delle minutezze, sì come si mostra, con essemplio chiaro nelle bilancie, che, per chiarirsi d'ogni minutia, bisogna tuor quelle piccoline da pesar li scudi, et non quelle di legno grande, che si pesano cose grosse come carne et simili, se ben tutte sono giuste», in Guidobaldo a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900. Lo stralcio di lettera appena riportato ricorda ciò che aveva scritto Tartaglia in *Quesiti et inventioni diverse*, in merito alla diatriba sul tipo di bilance che era da preferire. È da considerare che però Tartaglia anteponeva motivi di tipo platonico-matematico ai motivi di ordine fisico, Tartaglia, 1959, Libro Ottavo, pp. 79v- 80r.

⁴³³ Del Monte, 1581, Della bilancia, Propositione IV, Del Monte, 1577, De Libra, Propositio IV pp. 22r-22v.

⁴³⁴ Un problema epistemologico profondamente attuale in filosofia della scienza e nella ricerca scientifica, soprattutto per quanto riguarda lo studio del comportamento dei quanti.

⁴³⁵ Bertoloni Meli, 1992, paragrafo 3. Scriveva Guidobaldo a Contarini che «Dove è da considerare che la resistenza che fa la materia lo fa quando si hanno da mover i pesi e non quando se hanno da sostenere solamente, perché all'hora l'instrumento non si move né gira: e con queste considerationi la troverà sempre che l'esperienza e la dimostrazione andaranno sempre insieme», 9 ottobre 1580, Del Monte a Contarini, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900.

La difesa dell'equilibrio indifferente non rimase confinata solo all'interno del *Mechanicorum Liber*. Molti architetti e intellettuali, sottoponendo l'affidabilità dell'impalcatura teorica esposta nel *Mechanicorum* alla prova empirica, trovarono delle contraddizioni tra il comportamento empirico delle macchine reali e quello previsto dalla teoria. Alla mancanza di conformità, tra la teoria contenuta nel *Mechanicorum Liber* e gli esperimenti empirici, sollevata da Giacomo Contarini (nobile veneziano, militare, architetto e collezionista di strumenti meccanici e libri) e da altri corrispondenti, Guidobaldo rispose che egli stesso aveva messo alla prova l'equilibrio indifferente e che, per ottenere un riscontro affidabile, era necessario che le bilance fossero costruite bene⁴³⁶.

Dai commenti di Pigafetta e dalla corrispondenza di Guidobaldo che precede la pubblicazione dell'edizione volgare emerge che per i due fosse necessario distinguere il «sostenere» dal «muovere»: il primo è indagabile secondo i principi archimedei ed è sperimentabile a patto che le macchine siano costruite diligentemente, il secondo invece nasconde delle variabili non quantificabili e legate alla resistenza della materia. Il 9 ottobre 1580 Guidobaldo scriveva a Contarini:

Hora, fatto questo, circa il mio libro è d'avvertire una cosa molto principale la quale ha fatto ingannare molti circa le esperienze, che è ch'io fo gran differenza dalla forza che sostiene un peso, e da la forza che lo move. Come per essemplio nella terza propositione de Trochlea dove dice: Se la fune sarà menata per due girelle etc., che all'hora la potenza che sostiene sarà la metà manco del peso. Questo l'esperienza gle lo mostra giustissimamente in questo modo. La metta in alto le taglie come sta la figura di detta 3^o propositione e La metta in A un peso di sei libre et in N vi attacchi un peso di 3 libre il quale farà l'offitio della potenza, senza dubio la troverà che staranno fermi, et questo è quanto alla schietta propotione.⁴³⁷

Circa un mese dopo la lettera precedente, il 18 dicembre 1580, Guidobaldo scriveva ancora a Contarini. Del Monte era sorpreso dell'esito diverso degli esperimenti condotti dal suo interlocutore e indicava alcune necessarie miglioni da apportare:

Mi rincresce che hora ch'el sig.r Giulio Savorgnano si ritrova in Venetia di non vi esser ancor io, acciò tutti insieme ci potessimo chiarir delli effetti delle Machine, ché, a dir il vero, io non so da che si nasca questa diversità di esperienze, perché io di nuovo ho fatto tutte le esperienze con le taglie, et in fatti trovo che nel sostenere la esperienze mi torna per a punto con la dimostrazione, e non vi è differenza nessuna, però io gli domando per gratia che la faci di nuovo due sole esperienze con le taglie, secondo che stanno questi disegni che gli mando, e la cerchi di pesar li pesi con una stadiera esquisita, et l'avertisca di legar le corde come sta nel disegno, e poi la mi faci gratia d'avvisarmi come gli riesce: perché io l'ho provato molte volte e mi riesce per l'apunto giustissimamente, essendo che nel sustenere non è possibile che la materia facci resistentia; nel muovere sì bene, et è quella che V.S.Ill.ma mi ha scritto, cioè del semidiametro dell'asse al semidiametro della girella, come dice Aristotele nelle Questioni Mecaniche. [...] [L]a mi favorisca dunque di far queste due sole esperienze et di avisarmi come gli riescano, perché a me

⁴³⁶ Non solo Contarini aveva manifestato un disaccordo tra teoria ed esperimento, ma anche altri, come per esempio Savorgnan. «Mi rincresce ancora ch'io non fui presente quando V.S. Ill.ma era dal Sig.r Giulio Savorgnano, sì per esser in quella dolcissima conversatione, come anche perche so che averia imparato molte cose, in particolare sopra le machine, sopra le quali V.S. Ill.ma m'invita a voler dir il mio parere circa la esperienza e la dimostratione. Sopra le quali discorrendo brevemente la deve sapere che prima che io habbia scritto cosa alcuna sopra le Mechaniche, mai (per non far errore) ho voluto determinar cosa alcuna per minima che ella sia, se prima io non vedeva con effetto che la esperienza si confrontasse apunto con la demonstratione, e di ogni minima cosa ne ho fatto la sua esperienza. Dove ho anco fatto una libra la quale mi mostra verissimamente che havendo il centro nel mezzo di essa, mossa la libra dove si vuole, sta ferma dove si lascia, come dice la 4.ta propositione (De Libra) nel mio libro delle Mechaniche, che è cosa che dà fastidio a molti che non l'hanno saputa far materialmente. Insomma, questa è cosa sicurissima, che la pratica con la theorica vanno sempre insieme, né si discostano punto l'una dall'altra», Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900.

⁴³⁷ Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900.

riescono benissimo, ene ho fatto l'esperienza pesando li pesi in due muodi, cioè la stadiera e con le bilancie, e mi torna benissimo ogni cosa.⁴³⁸

In generale possiamo dire che all'idea che la matematica allora disponibile non fosse infallibile, ovvero non fosse capace di quantificare la discrasia tra principi geometrici e loro applicazione nello studio del moto a causa della resistenza della materia stessa, potevano seguire due reazioni: evidenziare l'inaffidabilità della matematica rispetto alla "precisione" dell'esperienza oppure cercare di eliminare o ridurre tali variabili in fase di applicazione della matematica alla materia. Lo stesso Tartaglia, come Guidobaldo, perseguiva questa seconda tendenza. Per il matematico bresciano la frizione tra matematica e materia doveva essere vista come «il presupposto di una metodologia scientifica volta a ricercare le mediazioni necessarie per rendere i fenomeni sensibili commisurabili alla ragione matematica»⁴³⁹.

Guidobaldo, in collaborazione con l'officina Barocci e autonomamente, costruì e perfezionò strumenti per supportare e mettere alla prova le proprie ipotesi e per misurare e raccogliere dati. Tra gli strumenti elaborati e migliorati da Guidobaldo, segnaliamo le leve a bracci uguali aventi il baricentro coincidente con il fulcro, le carrucole per stabilire le giuste relazioni tra potenza e resistenza, la bilancia idrostatica esposta nelle *Meditatiunculae*⁴⁴⁰, il compasso di proporzione e l'orologio a calice. Per il pesarese la teorizzazione geometrico-matematica doveva sempre guidare la costruzione degli strumenti e la corretta realizzazione degli esperimenti permetteva di controllare la teoria. Secondo Guidobaldo del Monte i teoremi meccanici potevano essere messi alla prova mediante espedienti empirici e, viceversa, le applicazioni pratiche erano a loro volta giustificate dalla teoria. Per questo motivo possiamo dire che Guidobaldo ebbe un approccio da tecnologo⁴⁴¹.

Inoltre, abbiamo precedentemente presentato la reazione sicura di Guidobaldo alle perplessità dei suoi corrispondenti capitani, architetti militari e intellettuali. Nelle sue risposte il pesarese chiedeva che gli strumenti costruiti e gli esperimenti eseguiti per verificare i teoremi fossero rispettivamente ben fabbricati e corretti sulla base dei principi teorici esposti. Nell'approccio tecnico-applicativo di Guidobaldo non c'è nessun riferimento alla possibilità che le proposizioni del *Mechanicorum Liber* da lui esposte fossero errate o imperfette. Questo perché nella sua idea di meccanica persisteva altresì un certo pregiudizio cognitivo che lo portava ad affrontare la prova empirica con l'intenzione di verificare la propria ipotesi. Come mostreremo nella parte conclusiva, troveremo questo approccio, che possiamo considerare tipico degli scienziati contemporanei, anche nell'atteggiamento di Galileo. Nonostante un approccio "limitato" da *bias* cognitivi, Guidobaldo contribuì a cambiare il modo di fare "scienza": per il pesarese non bastava più osservare i fenomeni in natura, ma era necessario raccogliere i dati e ricreare in maniera controllata il fenomeno che veniva studiato. Da una scienza qualitativa vengono mossi i primi passi verso una scienza più quantitativa, in cui lo strumento inizia ad avere un ruolo fondamentale.

3.11 Guidobaldo e Galilei. Gli esperimenti e l'affidabilità dello strumento

La storiografia ha riconosciuto in Galileo uno dei padri della rivoluzione scientifica⁴⁴². Tra le caratteristiche che hanno contrassegnato la sua scienza ricordiamo l'uso consapevole di un metodo scientifico, il rifiuto dell'autorità libresca e la promozione dell'affidabilità dello strumento nella

⁴³⁸ Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900.

⁴³⁹ De Pace, 1993.

⁴⁴⁰ Per maggiori approfondimenti si rimanda al saggio di Frank e Napolitani, 2015.

⁴⁴¹ Gamba, 1995.

⁴⁴² Sulla vita e sulle opere di Galileo segnaliamo i seguenti portali:

Il Portale Galileo curato dal Museo Galileo: <https://portalegalileo.museogalileo.it/indice.html> e

The Galileo Project: <http://galileo.rice.edu/index.html>.

ricerca scientifica. L'intento di questo paragrafo è cercare di dare prova della condivisione di una metodologia e di alcune attività scientifiche tra Galileo e Guidobaldo⁴⁴³.

Com'è noto, Galileo riuscì a fare tanta strada grazie al suo ingegno e alla sua audacia, ma senza l'aiuto di Guidobaldo del Monte la sua carriera universitaria, che può essere tradotta con stabilità economica, tranquillità personale e incontri accademici, sarebbe stata molto più complicata. Guidobaldo non solo lo aiutò, ma fu anche il suo primo mentore. Nonostante l'amicizia e la collaborazione scientifica tra Guidobaldo e Galilei siano più che comprovate, allo stato attuale delle nostre conoscenze è difficile dire chi effettivamente fosse stato il maestro e chi l'allievo durante le numerose ricerche, riflessioni ed esperimenti che i due condussero insieme⁴⁴⁴. Sicuramente Guidobaldo imparò molto da Galileo e, viceversa, Galileo trasse enorme beneficio dalle chiacchierate col suo rispettabile mentore. Le pagine delle *Meditatiunculae* rendono la matassa ancora più difficile da dipanare, in quanto dei brani ivi contenuti ricordano alcuni passi che compaiono negli scritti pubblicati da Galileo. Il modo di trattare certi temi e il loro ruolo all'interno dell'ecosistema delle rispettive ricerche scientifiche fanno pensare che ciò che per Guidobaldo potesse essere un punto di arrivo, per Galileo dovesse essere meglio indagato. È molto probabile che il loro dialogo fosse diventato piuttosto un dialogo tra pari. Un dialogo che nel corso del tempo subì un raffreddamento, presumibilmente a seguito del nuovo indirizzo di ricerca perseguito da Galilei, la dinamica, in quanto andava fuori dallo spettro di studio del pesarese.

Gli studiosi hanno analizzato su più livelli (lessicale, scientifico e storico) la corrispondenza (1588-1592) e le pagine delle *Meditatiunculae* (1587-1593 circa), in cui Guidobaldo ragiona su molti temi che sarebbero stati esaminati anche da Galileo all'interno di alcune opere giovanili (per esempio ne *La Bilancetta* e nel *De motu antiquiora*) e della maturità (come, ad esempio, *Le meccaniche* e *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* - d'ora in poi *Discorsi* -)⁴⁴⁵.

Il primo contatto tra Guidobaldo e Galileo avvenne tra la fine del 1587 e l'inizio del 1588, quando Galileo spedì a Guidobaldo, Moletti e a Clavio alcune dimostrazioni sui centri di gravità dei solidi, purtroppo andate perdute. Guidobaldo fu l'unico ad apprezzare la dimostrazione del giovane pisano⁴⁴⁶. Queste lettere fanno intendere che i primi interessi di Galileo furono temi vicino alla centrobarica. Dalla risposta di Guidobaldo si evince che Galileo volesse dimostrare un teorema

⁴⁴³ Nella lettera alla Granduchessa di Toscana Cristina di Lorena, il matematico pisano enuncia in maniera chiara e consapevole in cosa consista un metodo scientifico. Nel *Saggiatore*, cap. VI, difende il ruolo della matematica nella nostra attività conoscitiva e definisce il suo oggetto d'indagine: l'aspetto quantitativo dei corpi e non qualitativo. Galilei, 1933c, *Il saggiatore*.

⁴⁴⁴ Il problema è già stato segnalato da Frank e Napolitani (in Frank e Napolitani, 2015). Su Guidobaldo e Galileo si veda anche Shea, 2013; Naylor, 1974.

⁴⁴⁵ Lo scambio epistolare tra i due va dal 1588 al 1602. Le pagine delle *Meditatiunculae* sono datate 1570-1593, sul tema si veda Tassora, 2001, pp. 29-51, e Frank, 2013a.

⁴⁴⁶ Galilei, 1934a, *Carteggio 1574-1610*. Del Monte a Galilei, 16 gennaio 1588: «E perchè nella sua mi dice di haver altre cose sopra i centri della gravetza, a me farà sempre favor grande a farmi partecipe delle sue cose, che, per questo saggio che mi ha mandato, non possono se non essere di esquisita dottrina; dalle quali so che non potrò se non imparar assai, havendo conosciuto in questa una esquisita et profonda scienza, et un modo di trattar molto bello et assai succinto e breve. Fra alcune lettere, che molti giorni sono occorsero fra il Padre Clavio et me, io le scrissi che l'ultima del Commandino, De centro gravitatis solidorum non era buona per non esser universale; il qual Padre mi mandò poi la sua dimostrazione, assai diversa da questa di V. S. Et ho havuto caro che questa sia stata buona occasione di haver havuto a conoscere, al meno per lettere, V. S.». Baldini e Napolitani nella *Corrispondenza di Clavio* scrivono nella Nota alla lettera n° 42, Clavio, 1992, Volume II, Parte II, p. 77: «Da quanto ne dice qui Galileo, e soprattutto ne dicono Clavio nella sua risposta (lett. n° 43) e Galileo stesso nella replica (lett. n° 44), il lemma si identifica con certezza con uno relativo alla determinazione del centro di gravità del "conoidale rettangolo" (paraboloide di rotazione), il cui testo originale fu pubblicato nell'Edizione Nazionale delle *Opere* di Galileo insieme a teoremi sui "frustri di conoidale" (tronchi di paraboloide), tratti insieme ad esso dai manoscritti galileiani della BN di Firenze (I, pp. 187-208)». Anche Galluzzi evidenzia i debiti di Galileo nei confronti di Commandino e di Guidobaldo, in Galluzzi, 1979, pp. 203; 206.

esposto nel libro di Commandino *Liber de centro gravitatis solidorum*, testo che tuttavia sembra non essere stato posseduto da Galilei⁴⁴⁷.

Ai contatti epistolari tra Guidobaldo e Galileo fecero seguito probabilmente due incontri, rispettivamente nel 1588 in Toscana e nel dicembre 1592 a Mombaroccio. In occasione del soggiorno marchigiano è probabile che realizzarono insieme alcuni esperimenti. Tra gli studi scientifici che hanno condiviso segnaliamo la questione del moto del proietto. Esso era un problema di grande importanza, perché rientrava in quelle conoscenze proprie dell'arte militare e necessarie per imporsi nelle guerre: conoscere la traiettoria della palla di un cannone ancora prima di sparare garantiva un enorme vantaggio dal punto di vista della pianificazione della strategia militare. Permetteva di capire come e dove posizionare i cannoni prima di attaccare, senza eccedere nei tentativi per prendere la mira, e consentiva di elaborare in modo sapiente ed efficace i sistemi difensivi. Tuttavia, saper calcolare la traiettoria non era sufficiente per elaborare una buona strategia militare, perché le armi erano tutte diverse tra loro. Pertanto, rimaneva più affidabile il giudizio di quello stratega che a occhio calibrava i cannoni ed elaborava la strategia difensiva. Tartaglia aveva provato ad elaborare una tabella di tiro, ma si rivelò ben presto imprecisa. La tabella non ebbe nessun tipo di corrispondenza con la prova empirica, a riprova che la teoria matematica non era pronta per imporsi sulla cara e vecchia esperienza. Le misure di Tartaglia non avevano la capacità predittiva perché la teorizzazione del moto era sbagliata e non teneva in considerazione la diversità dei materiali usati per la costruzione dei cannoni (Fig. 27 e Fig. 28)⁴⁴⁸. Nonostante la traiettoria calcolata da Tartaglia includesse un moto

⁴⁴⁷ Nella sempre attuale *Libreria di Galileo Galilei* (Favaro, 1886b), Favaro inserisce i seguenti volumi: *Elementi* di Euclide nell'edizione latina di Commandino, *Archimedis opera non nulla* di Commandino, il *Libro del modo di dividere le superficie attribuito a Machometo Bagdadino* nell'edizione di Viani, il *De analemmate* di Tolomeo nell'edizione di Commandino, *Spirituali* curati da Giorgi, *Le Collezioni Matematiche* di Pappo tradotte da Commandino, *Sull'equilibrio dei piani* commentato da Guidobaldo, il *Planisphaerium Universalium Theorica* di Guidobaldo, *Problematum Astronomicum* di Guidobaldo, *De Cochlea* di Guidobaldo. Stranamente non compaiono il *Liber de Centro Gravitatis* e il *Mechanicorum Liber*, nonostante Galileo li citi nella corrispondenza e nei *Discorsi*: Galilei, 1934a, n. 7, brano di provenienza ignota, data 1588, Bologna: «Quanto al teorema, egli dubita se il centro del pezzo della piramide sia il punto o: per ciò che, stando la deffinitione del centro delle gravità de' corpi posta da Pappo et adoprata dal Marchese Del Monte nelle *Mecaniche*, non segue che se per lo centro o supposto passerà un piano, quel pezzo si divida in due parti ugualmente pesanti, come dovria quando fosse veramente il centro. Et il Comandino, che la medesima materia tratta nel libro *De centro gravium* alla XXVI propositione, molto più s'accosta a trovar il centro, che non par che faccia questa demonstratione, quantunque da quella del Comandino non sia molto differente»; Galilei, 1937b, G. Galilei a Gio. Battista Baliani, 1 settembre 1639, n. 3912: «Quello che ella dice intorno alla proposizione prima del mio secondo Dialogo, se si dovea apprendere per principio o pure dimostrarlo, io l'ho passato come cosa per sè stessa assai chiara: perchè, che nel vette la forza alla resistenza risponda reciprocamente alle distanze dal punto del sostegno, sicome è stato dimostrato da altri nelle *Mecaniche*, dependentemente da quello che dimostra Archimede negli *Equeponderanti*, può prendersi come di già conclusione nota; e che poi, piegata ad angoli retti la minor distanza sopra la maggiore, trovi la forza il medesimo contrasto dalla resistenza, non mi pare che deva esser messo in dubbio, e tanto più che, se bene ho in memoria, credo che il Sig.^r Guidobaldo nelle sue *Mecaniche* ponga questa medesima conclusione e che la dichiari assai a bastanza». Secondo Bonera e Giudici, la versione utilizzata da Galileo per *Delle cose che stanno in su l'acqua*, in Galilei, 1933a, doveva essere *De iis quae vehuntur in aqua libri duo* di Commandino: «Archimedis, *De iis quae vehuntur in aqua*, cum commentaris F. Commandini urbinatis, Bononiae, ex officina A. Benaci, MDLXV. E' questa probabilmente la versione latina dell'opera di Archimede che Galileo conosceva, anche se esisteva una precedente versione latina dovuta a Guglielmo di Moerbeke, ripresa da Tartaglia», in Bonera e Giudici, 1996, p. 7, nota 153. Tuttavia, nella Biblioteca di Galileo non compare nessuna edizione de *Sui corpi galleggianti* di Archimede. Si confronti anche il brano nei *Discorsi*: «Salv. Queste sono alcune proposizioni attenenti al centro di gravità de i solidi, le quali in sua gioventù andò ritrovando il nostro Accademico [...]; ed applicossi a questa contemplazione ad istanza dell'Illustrissimo Sig. Marchese Guid'Ubaldo Dal Monte, grandissimo matematico de' suoi tempi, come le diverse sue opere pubblicate ne mostrano», Galilei, 1933b, Giornata quarta, p. 313. Il Museo Galileo ha messo a disposizione degli studiosi uno strumento di ricerca online che permette di trovare i testi posseduti da Galileo (<https://www.museogalileo.it/it/biblioteca-e-istituto-di-ricerca/progetti/banche-dati-e-bibliografie/863-biblioteca-di-galileo.html>).

⁴⁴⁸ In *Quesiti et inventioni diverse* Tartaglia descrive la traiettoria come non rettilinea in nessun punto a causa della minore o maggiore gravità, Tartaglia, 1959, Libro Primo, 10v-12v. Il maestro d'abaco bresciano pensava che un proiettile lanciato seguisse una traiettoria costituita da tre fasi: una prima quasi rettilinea in direzione del lancio, poi formava una curva ed infine giungeva verso il suo luogo naturale ovvero verso il centro del mondo. Gatto, 2005, p. 274. Pisano e Capecchi, 2006. Per le notizie biografiche si veda il paragrafo *Commandino e i suoi interlocutori*.

misto rappresentato dalla curvatura tracciata dal proietto (ipotesi inizialmente condivisa anche da Galilei nel *De motu*, 1590), questa rimaneva parzialmente inquadrabile all'interno della fisica aristotelica (Fig. 29)⁴⁴⁹. Ora, invece, sappiamo che il moto di un proietto segue una traiettoria a forma di parabola.

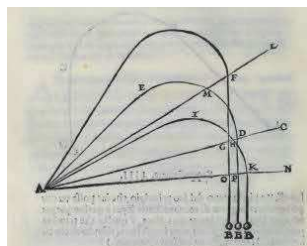


Fig. 27 Tartaglia, 1537, Libro II, Suppositione IV.

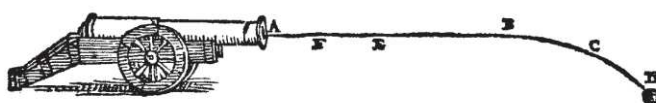


Fig. 28 Tartaglia, 1559, Libro I, p. 11v.

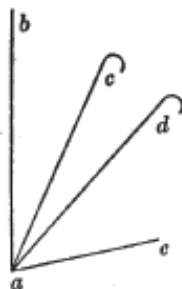


Fig. 29 Galilei, 1629a, *De motu antiquiora*, p. 340.

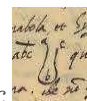
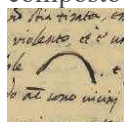
Molto probabilmente Guidobaldo e Galileo fecero esperimenti insieme sul moto dei proietti, come dimostra il contenuto di una missiva inviata da Bonaventura Cavalieri a Galileo, a seguito della pubblicazione del *Lo specchio ustorio overo trattato delle settioni coniche, et alcuni loro mirabili effetti intorno al lume, caldo, freddo, suono, e moto ancora* (1632). Nella missiva Cavalieri si difendeva dalle accuse mosse da Galileo, pervenute in una lettera andata perduta, riguardanti la paternità della scoperta – di fatto lo rimproverava di avergli rubato l'idea – della forma parabolica della traiettoria del proietto che il matematico milanese aveva descritto ne *Lo specchio ustorio*. Nella lettera Bonaventura rispondeva rivelando le sue buone intenzioni: egli era convinto che Galileo avesse già pubblicato le sue ricerche sul moto parabolico, dal momento che l'urbinate Muzio Oddi gli aveva raccontato di alcuni esperimenti sul tema eseguiti molti anni prima con Guidobaldo⁴⁵⁰.

⁴⁴⁹ Sicuramente Galileo aveva posseduto i *Quesiti et inventioni diverse* e la *Nova scientia* di Tartaglia. Il Museo Galileo possiede i *Quesiti et inventioni diverse* e la *Nova scientia* in versione digitale con postille probabilmente di mano di Galileo. Nel catalogo della Biblioteca di Galileo curato dal Museo Galileo nella nota ai *Quesiti et inventioni diverse* viene riportata la seguente annotazione: "Favaro: Libreria di Galileo, 254. "Questa voce registriamo sulla fede del Berti, il quale (Storia dei manoscritti galileiani, ecc., Roma, 1876, pag. 7) avverte espressamente la esistenza di un esemplare di tale opera postillato da Galileo, senza però indicare di quale edizione si tratti." (La citazione di Favaro si limita all'indicazione dell'autore e del titolo. L'esemplare segnalato dal Berti si trova nella Biblioteca del Museo Galileo, segnato MED 0976/02). Favaro: Libreria di Galileo, Sezione: Trattati speciali di matematiche". Mettendo insieme tutte le informazioni a disposizione possiamo ritenere che Galileo avesse scoperto la forma della traiettoria del proietto prima del 1592.

⁴⁵⁰ Galilei, 1935b, Galileo a Cesare Marsili, 11 settembre 1632 e Bonaventura Cavalieri a Galileo, 21 settembre 1632. Sul tema si veda Renn, 2001. Galilei, 1935b, *Carteggio 1629-1632*, Galileo a Cesare Marsili, 11 settembre 1632: «Tengo lettere dal P. Fra Buonaventura, con avviso come S. P. ha nuovamente stampato un trattato dello specchio ustorio, nel

Un'altra testimonianza riguardante la condivisione degli esperimenti sulla traiettoria del proietto è ravvisabile nelle *Meditatiunculae*, dove l'esperimento descritto per calcolare la traiettoria di un proietto è simile al modo che Galileo propone per disegnare le linee paraboliche nella Seconda Giornata dei *Discorsi*⁴⁵¹. Tuttavia, rileviamo due importanti differenze: la prima riguarda la forma della traiettoria del proietto. Guidobaldo riteneva, sbagliando, che fosse simile (e quindi non uguale) a una parabola; invece, Galileo riteneva che la traiettoria di un proietto avesse una forma parabolica e che fosse, sbagliando anch'egli, equivalente a quella tracciata da una catena⁴⁵². La seconda differenza riguarda l'angolazione del piano: Guidobaldo faceva riferimento a un piano che «stia quasi perpendicolare all'horizonte, che se ben la palla va saltando, va però facendo li punti», invece Galileo usa «uno specchio di metallo, tenuto non eretto all'orizzonte, ma alquanto inchinato, sì che la palla nel moto vi possa camminar sopra, calcandolo leggermente nel muoversi, lascia una linea parabolica»⁴⁵³. Scrive Guidobaldo nelle *Meditatiunculae* (Fig. 30):

Se si tira una palla, o con una balestra, o con artiglieria, o con la mano o con altro instrumento, sopra la linea dell'horizonte, il medesimo viaggio fa nel callar, che nel montar, e la figura è quella, che rivoltata sotto la linea horizontale fa una corda, che non stia tirata, essendo l'un e l'altro composto di naturale, e di violento, et è una linea in vista simile alla parabola, et hyperbole



E questo si vede meglio con una catena, che con una corda per che la corda *abc* quando *ac* sono vicini la parte *b* non si accosta come dovrebbe, perciocché la corda resta in se dura. Che non fa così una catena, o catenina. La esperienza di questo moto si pò far pigliando una palla tinta d'inchiostro, e tirandola sopra un piano di una tavola, il qual stia quasi perpendicolare all'horizonte, che se ben la palla va saltando, va però facendo li punti, dalli quali si vede chiaro, che siccome ella ascende, così anco discende, et è così ragionevole, perché la violentia che ella ha acquistata nell'andar in su, fa che nel callar vadi medesimamente superando il moto naturale nel venire in giù. Che la violentia che superò da *b* al *c* conservandosi fa che dal *c* al *d* sia eguale a *cb*, e descendendo di mano in mano perdendosi la violentia fa che dal *d* al *e* sia eguale a *ba*. Essendo

quale con certa occasione dice havervi inserito la proposizione e dimostrazione della linea descritta da i proietti, provando come è una linea parabolica. Io non posso nascondere a V. S. Ill.ma, tale avviso essermi stato di poco gusto, nel vedere come di un mio studio di più di 40 anni, conferitone buona parte con larga confidenza al detto Padre, mi deva ora esser levato le primizie, e sfiorata quella gloria che tanto avidamente desideravo e mi promettevo da sì lunghe mie fatiche; perchè veramente il primo mio intendimento, che mi mosse a specular sopra 'l moto, fu il ritrovar tal linea, la quale se ben, ritrovata, è poi di non molto difficile dimostrazione, tuttavia io, che l'ho provata, so quanta fatica vi ho hauto in ritrovar tal conclusione: e se il P. F. Buonaventura m'havesse, innanzi la pubblicazione, significato il suo pensiero (come forse la civil creanza richiedeva), io l'havrei tanto pregato, che mi harebbe permesso che io havessi prima stampato il mio libro, dopo il quale poteva egli poi soggiugner quanti trovati gli fusse piaciuto». Galilei, 1935b, *Carteggio 1629-1632*, Buonaventura Cavalieri a Galileo, 21 Settembre 1632: «Aggiungo di più che io veramente pensai che in qualche luogo Ella ne avesse trattato, non avendo'io potuto aver fortuna di vedere tutte le opere Sue; e questo, molto me l'ha fatto credere il sentirla fatta tanto publica e per tanto tempo, che l'Oddi mi disse, dieci anni sono, che'Ella ne aveva fatto qualche esperienza con il Sig.r Guid'Obaldo dal Monte; e questo pure mi ha reso trascurato in non scriverGliene prima, stimando in realtà ch'Ella punto non si curasse, anzi fosse più tosto per aver grato, che un Suo discepolo, con un'occasione si opportuna, si mostrasse seguace della Sua dottrina, quale tuttavia confessa aver da Lei imparata.»

⁴⁵¹ Galilei, 1933b, Giornata seconda, pp. 185-186. Per un confronto degli esperimenti di Galileo con quelli di Guidobaldo si veda Naylor, 1974.

⁴⁵² Probabilmente successivamente Galileo si rese conto di qualche differenza tra la parabola e la traiettoria tracciata da una catena, se nella Quarta giornata dei *Discorsi* scrive «Ma più voglio dirvi, recandovi insieme maraviglia e diletto, che la corda così tesa, e poco o molto tirata, si piega in linee, le quali assai si avvicinano alle paraboliche: e la similitudine è tanta, che se voi segnerete in una superficie piana ed eretta all'orizzonte una linea parabolica, e tenendola inversa, cioè col vertice in giù e con la base parallela all'orizzonte, facendo pendere una catenella sostenuta nelle estremità della base della segnata parabola, vedrete, allentando più o meno la detta catenuzza, incurvarsi e adattarsi alla medesima parabola, e tale adattamento tanto più esser preciso, quanto la segnata parabola sarà men curva, cioè più distesa; sì che nelle parabole descritte con elevazioni sotto a i gr. 45, la catenella camina quasi ad unguem sopra la parabola», Galilei, 1933b, Giornata quarta, pp. 309-310.

⁴⁵³ Bertoloni Meli, 1992, paragrafo 3.

che non vi è ragione, che dal *c* verso *de* mostri, che si perda a fatto la violentia, che se ben va continuamente perdendo verso *e*, nondimeno sempre se ne resta, che è causa, che verso *e* il peso



non va mai per linea retta.

Una corda che sostenta un peso, tanto sostiene essendo corta, quanto lunga. È ben vero che nella longa, prima per la sua gravità, poi perché nella lunga ci possono esser molte parti deboli, può essere che ella si tronchi più facilmente e da minor peso. Ma se dove ella si stronca per la sua distrattione, la corda fusse sostenuta poco di sopra, e poco di sotto fusse stato il peso senza dubbio ella medesimamente si sarebbe stroncata, perché si sarebbe nel medesimo modo distratta.⁴⁵⁴

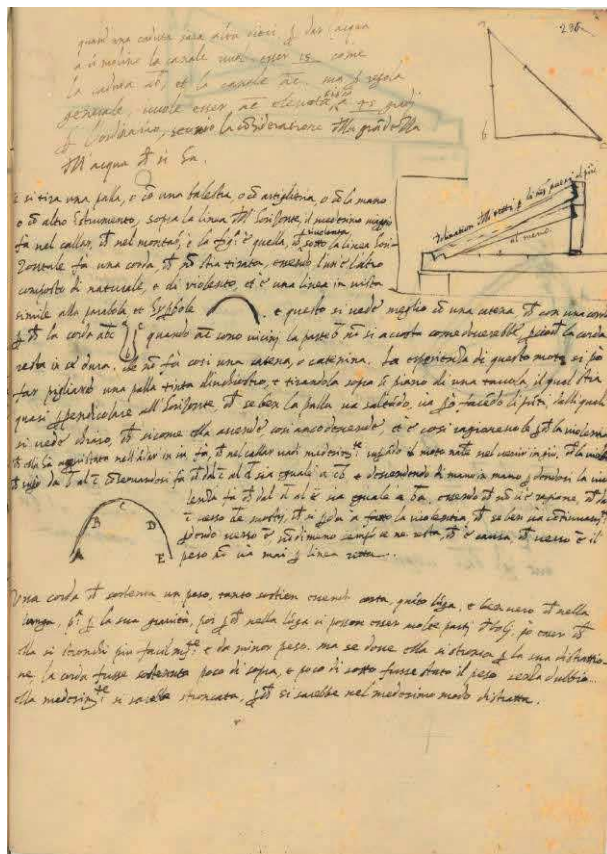


Fig. 30 Pagina delle *Mediatuuncolae* in cui Guidobaldo descrive l'esperimento per tracciare il moto del proietto, Tassora, 2001, p. 547 (f. 236).

Invece, con la sua profonda capacità narrativa, Galileo scrive nella Seconda giornata dei *Discorsi*:

Salv. Modi di disegnar tali linee ce ne son molti, ma due sopra tutti gli altri speditissimi glie ne dirò io: uno de i quali è veramente maraviglioso, poiché con esso, in manco tempo che col compasso altri disegnerà sottilmente sopra una carta quattro o sei cerchi di differenti grandezze, io posso disegnare trenta e quaranta linee paraboliche, non men giuste sottili e pulite delle circonferenze di essi cerchi. Io ho una palla di bronzo esquisitamente rotonda, non più grande d'una noce; questa, tirata sopra uno specchio di metallo, tenuto non eretto all'orizzonte, ma alquanto inchinato, sì che la palla nel moto vi possa camminar sopra, calcandolo leggermente nel muoversi, lascia una linea parabolica sottilissimamente e pulitissimamente descritta, e più larga e più stretta secondo che la proiezione si sarà più o meno elevata. Dove anco abbiamo chiara e sensata esperienza, il moto de i proietti farsi per linee paraboliche: effetto non osservato prima

⁴⁵⁴ Cfr. Tassora, 2001, pp. 545-546 (f. 236).

che dal nostro amico, il quale ne arreca anco la dimostrazione nel suo libro del moto, che vedremo insieme nel primo congresso. La palla poi, per descrivere al modo detto le parabole, bisogna, con maneggiarla alquanto con la mano, scaldarla ed alquanto inumidirla, ch   cos   lascer   pi   apparenti sopra lo specchio i suoi vestigi. L'altro modo, per disegnar la linea, che cerchiamo, sopra il prisma, procede cos  . Ferminsi ad alto due chiodi in un parete, equidistanti all'orizzonte e tra di loro lontani il doppio della larghezza del rettangolo su 'l quale vogliamo notare la semiparabola, e da questi due chiodi penda una catenella sottile, e tanto lunga che la sua sacca si stenda quanta    la lunghezza del prisma: questa catenella si piega in figura parabolica, s   che andando punteggiando sopra 'l muro la strada che vi fa essa catenella, aremo descritta un'intera parabola, la quale con un perpendicolo, che penda dal mezo di quei due chiodi, si divider   in parti eguali. Il trasferir poi tal linea sopra le faccie opposte del prisma non ha difficolt   nessuna, s   che ogni mediocre artefice lo sapr   fare. Potrebbe anco con l'aiuto delle linee geometriche segnate su 'l compasso del nostro amico, senz'altra fattura, andar su l'istessa faccia del prisma punteggiando la linea medesima.⁴⁵⁵

Guidobaldo e Galilei probabilmente discussero anche del problema del piano inclinato (nelle *Meditatiuncolae*, a differenza del *Mechanicorum*, viene risolto correttamente e alla stessa maniera di Galileo nei *Discorsi* e nel *De Motu*) e parlarono del *Liber de centro gravitatis solidorum* di Commandino⁴⁵⁶, del famoso episodio della corona di Archimede e dell'isocronismo del pendolo⁴⁵⁷. Questi temi sono quelli che possiamo ricavare dall'incrocio dei lavori e degli appunti dei due studiosi, di cui probabilmente ne possediamo solo una piccola parte. Cosa certa    che Guidobaldo non ebbe per Galileo solo un ruolo da mecenate, ma fu uno dei suoi pi   importanti interlocutori⁴⁵⁸.

Da un punto di vista metodologico, Guidobaldo lasci   in eredit   a Galileo l'importanza degli strumenti per l'attivit   scientifica, in particolare per provare una teoria, e la consapevolezza dei limiti degli stessi dispositivi. Per Guidobaldo, lo strumento non serviva solo per raccogliere dati e per misurare, ma era fondamentale per dare supporto alle argomentazioni in difesa di una certa teoria scientifica. Secondo la prospettiva delmontiana, uno strumento    in grado di controllare le ipotesi se costruito rispettando le regole matematiche. Tuttavia Galileo compir   un passo ulteriore, generalizzando l'idea di affidabilit   a tutti quei dispositivi adeguatamente realizzati e impiegabili nella ricerca scientifica. Sia Galileo sia Guidobaldo misero a punto strumenti per provare l'isocronismo del pendolo⁴⁵⁹. In una lettera, peraltro famosissima, i due studiosi si confrontano sull'ampiezza delle oscillazioni dei pendoli e sulla possibilit   di studiare con precisione il comportamento di oggetti in movimento. Scriveva Galileo a Guidobaldo nel 1602:

Piglio dunque due fili sottili, lunghi ugualmente due o tre braccia l'uno, e siano AB, EF, e gli appicco a due chiodetti A, E, e nell'altre estremit   B, F lego due palle di piombo uguali (se ben niente importa se fussero disuguali), rimuovendo poi ciascuno de' detti fili dal suo perpendicolo, ma uno assai, come saria per l'arco CB, e l'altro pochissimo, come saria secondo l'arco IF; gli lascio poi nell'istesso momento di tempo andar liberamente, e l'uno comincia a descrivere archi grandi, simili al BCD, e l'altro ne descrive de' piccoli, simili all'FIG; ma non per   consuma pi  

⁴⁵⁵ Galilei, 1933b, Giornata Seconda, pp. 185-186.

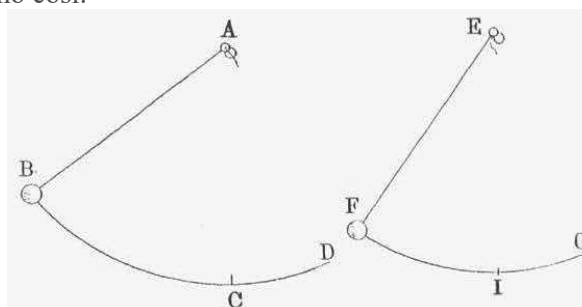
⁴⁵⁶ Galilei, 1934a, *Carteggio 1574-1610*, Del Monte a Galilei in Firenze, 16 gennaio 1588. Cfr con Tassora, 2001, pp. 396-399 (*Meditatiuncolae* ff. 123-125): «Ultima propositio Federici Commandini *De centro gravitatis solidorum*, ut notavimus in ipso libro, falsa existit; hac ratione restitui poterit. Et haec demonstratio est Christophori Clavii e societate Jesu». E anche Galileo, 1933b, Giornata Quarta, p. 313.

⁴⁵⁷ Cfr. Tassora, 2001; Frank e Napolitani, 2015. Sul piano inclinato (*Meditatiuncolae*, f. 145 bis), sulla corona di Archimede (*Meditatiuncolae*, ff. 119-120), sull'isocronismo del pendolo (Galilei a Del Monte, 29 novembre 1602), sulle condizioni di equilibrio di una leva (*Meditatiuncolae*, ff. 30-32).

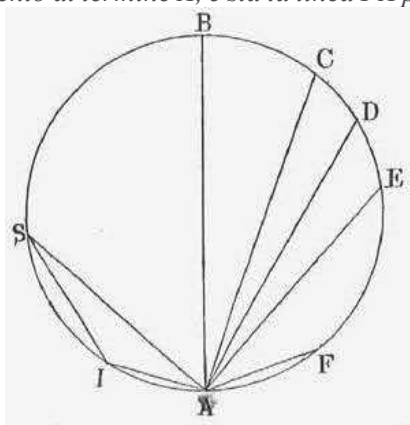
⁴⁵⁸ Non dobbiamo dimenticare la presenza fondamentale di un altro marchigiano nella formazione di Galileo: Ostilio Ricci. Su Ricci si vedano Settle, 1971; Guidone, 2001.

⁴⁵⁹ La nozione di isocronismo del pendolo stabilisce che il tempo di oscillazione di pendoli di eguale lunghezza    costante (cio   le oscillazioni sono isocrone), qualunque sia l'ampiezza dell'oscillazione. Gamba, in Gamba, 2001b, pp. 103-105, ha ripetuto l'esperimento di Galileo con due pendoli lunghi 103 cm, rivelando che bastano poche oscillazioni per ottenere una sfasatura.

tempo il mobile B a passare tutto l'arco BCD, che si faccia l'altro mobile F a passare l'arco FIG. Di che mi rendo sicurissimo così.



Il mobile B passa per il grand'arco BCD, e ritorna per lo medesimo DCB, e poi ritorna verso D, e va per 500 e 1000 volte reiterando le sue reciprocazioni; l'altro parimente va da F in G, e di qui torna in F, e parimente farà molte reciprocazioni; e nel tempo ch'io numero, verbi grazia, le prime cento grandi reciprocazioni BCD, DCB etc., un altro osservatore numera cento altre reciprocazioni per FIG piccolissime, e non ne numera pure una sola di più: segno evidentissimo che ciascheduna particolare di esse grandissime BCD consuma tanto tempo, quanto ogni una delle minime particolari FIG. Or se tutta la BCD vien passata in tanto tempo in quanto la FIG, ancora le loro metà, che sono le cadute per gli archi disuguali della medesima quarta, saranno fatte in tempi uguali. Ma anco senza stare a numerar altro, V. S. Ill.ma vedrà che il mobile F non farà le sue piccolissime reciprocazioni più frequenti che il mobile B le sue grandissime, ma sempre andranno insieme. *L'esperienza, ch'ella mi dice aver fatta nello scatolone, può essere assai incerta, sì per non esser forse la sua superficie ben pulita, sì forse per non esser perfettamente circolare, sì ancora per non si potere in un solo passaggio così bene osservare il momento stesso sul principio del moto: ma se V. S. Ill.ma pur vuol pigliare questa superficie incavata, lasci andar da gran distanza, come saria dal punto B, liberamente la palla B, la quale passerà in D, e farà nel principio le sue reciprocazioni grandi d'intervallo, e nel fine piccole, ma non però queste più frequenti di tempo di quelle. Quanto poi al parere irragionevole che, pigliandosi una quarta lunga 100 miglia, due mobili uguali possino passarla, uno tutta, e l'altro un palmo solo, in tempi uguali, dico esser vero che ha dell'ammirando; ma se consideriamo che può esser un piano tanto poco declive, qual saria quello della superficie di un fiume che lentissimamente si muovesse, che in esso non haverà camminato un mobile naturalmente più d'un palmo nel tempo che un altro sopra un piano molto inclinato (ovvero congiunto con grandissimo impeto ricevuto, anco sopra una piccola inclinazione) haverà passato cento miglia: nè questa proposizione ha seco per avventura più inverisimilitudine di quello che si habbia che i triangoli tra le medesime parallele et in basi uguali siano sempre uguali, potendone fare uno brevissimo e l'altro lungo mille miglia.* Ma restando nella medesima materia, io credo haver dimostrato questa conclusione, non meno dell'altra inopinabile. Sia del cerchio BDA il diametro BA eretto all'orizzonte, e dal punto A sino alla circonferenza tirate linee utcumque AF, AE, AD, AC: dimostro, mobili uguali cadere in tempi uguali e per la perpendicolare BA e per piani inclinati secondo le linee CA, DA, EA, FA; sicchè, partendosi nell'istesso momento dalli punti B, C, D, E, F, arriveranno in uno stesso momento al termine A, e sia la linea FA piccola quant'esser si voglia.



E forse anco più inopinabile parerà questo, pur da me dimostrato, che essendo la linea SA non maggiore della corda d'una quarta, e le linee SI, IA utcumque, più presto fa il medesimo mobile il viaggio SIA, partendosi da S, che il viaggio solo IA, partendosi da I. Sin qui ho dimostrato senza trasgredire i termini meccanici; ma non posso spuntare a dimostrare come gli archi SIA et IA siano passati in tempi uguali: che è quello che cerco. Al Sig.r Francesco mi farà grazia rendere il baciamento, dicendogli che con un poco d'ozio gli scriverò una esperienza, che già mi venne in fantasia, per misurare il momento della percossa: *perquanto al suo quesito, stimo benissimo detto quanto ne dice V. S. Ill.ma, e che quando cominciamo a concernere la materia, per la sua contingenza si cominciano ad alterare le proposizioni in astratto dal geometra considerate; delle quali così perturbate siccome non si può assegnare certa scienza, così dalla loro speculazione è assoluto il matematico.*⁴⁶⁰

Nella lettera sopra riportata Galileo difende l'idea secondo cui il tempo di oscillazione di pendoli di eguale lunghezza è costante, qualunque sia l'ampiezza dell'oscillazione⁴⁶¹. Notiamo che Galileo usa il pendolo per compiere l'esperimento, mentre, emerge dalla lettera, Guidobaldo riproduce l'oscillazione del pendolo utilizzando la superficie di uno scatolone. Dopo aver criticato l'esperimento di Guidobaldo realizzata nello scatolone, in quanto «essere assai incerta, sì per non esser forse la sua superficie ben pulita, sì forse per non esser perfettamente circolare, sì ancora per non si potere in un solo passaggio così bene osservare il momento stesso sul principio del moto», lo studioso toscano propone un esperimento mentale e da questa esagerazione possiamo evincere tutto il suo genio: Galileo confronta «un piano tanto poco declive, qual saria quello della superficie di un fiume che lentissimamente si muovesse, che in esso non haverà camminato un mobile naturalmente più d'un palmo nel tempo che un altro sopra un piano molto inclinato (ovvero congiunto con grandissimo impeto ricevuto, anco sopra una piccola inclinazione) haverà passato cento miglia». Allora Galileo afferma che «né questa proposizione ha seco per avventura più inverisimilitudine di quello che si habbia che i triangoli tra le medesime parallele et in basi uguali siano sempre uguali, potendone fare uno brevissimo e l'altro lungo mille miglia. Ma restando nella medesima materia, io credo haver dimostrato questa conclusione, non meno dell'altra inopinabile».

Segue poi un interessante riflessione in cui Galileo associa in maniera molto spericolata la validità dell'isocronismo del pendolo alla caduta di mobili uguali in tempi uguali sia se sono posti sulla perpendicolare BA sia se sono posti su piani inclinati. Quest'ultima asserzione sembra frutto di un'intuizione, in quanto Galileo ammette che «non può spuntare a dimostrare come gli archi SIA et IA siano passati in tempi uguali: che è quello che cerco». Nei *Discorsi* ribadirà che la velocità di caduta e il periodo del pendolo non dipendono dal materiale con cui sono costituiti i gravi, ma dalla resistenza del mezzo⁴⁶².

⁴⁶⁰ Galilei, 1934a, *Carteggio 1574-1610*, n. 88, Galilei a Del Monte, 29 novembre 1602, corsivo nostro.

⁴⁶¹ Museo Galileo, Approfondimento, Isocronismo del Pendolo.

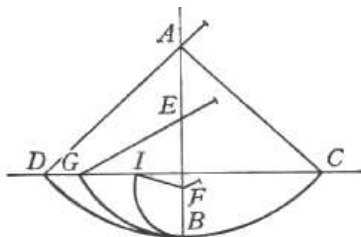
⁴⁶² Sul tema si veda Braccisi, 1992, pp. 21-27. «Giornata Prima. Salv. L'esperienza fatta con due mobili quanto più si possa differenti di peso, col fargli scendere da un'altezza per osservare se la velocità loro sia eguale, patisce qualche difficoltà: imperò che se l'altezza sarà grande, il mezzo, che dall'impeto del cadente deve esser aperto e lateralmente spinto, di molto maggior pregiudizio sarà al piccol momento del mobile leggerissimo che alla violenza del gravissimo, per lo che per lungo spazio il leggero rimarrà indietro; e nell'altezza piccola si potrebbe dubitare se veramente non vi fusse differenza, o pur se ve ne fusse, ma inosservabile. E però sono andato pensando di reiterar tante volte la scesa da piccole altezze, ed accumulare insieme tante di quelle minime differenze di tempo, che potessero intercedere tra l'arrivo al termine del grave e l'arrivo del leggero, che così congiunte facessero un tempo non solo osservabile, ma grandemente osservabile. In oltre, per potermi prevaler di moti quanto si possa tardi, ne i quali manco lavora la resistenza del mezzo in alterar l'effetto che dipende dalla semplice gravità, sono andato pensando di fare scendere i mobili sopra un piano declive, non molto elevato sopra l'orizzontale; ché sopra questo, non meno che nel perpendicolo, potrà scorgersi quello che facciano i gravi differenti di peso; e passando più avanti, ho anco voluto liberarmi da qualche impedimento che potesse nascer dal contatto di essi mobili su l' detto piano declive: e finalmente ho preso due palle, una di piombo ed una di sughero, quella ben più di cento volte più grave di questa, e ciascheduna di loro ho attaccata a due sottili spaghetti eguali, lunghi quattro o cinque braccia, legati ad alto; allontanata poi l'una e l'altra palla dallo stato perpendicolare, gli ho dato l'andare nell'istesso momento, ed esse, scendendo per le circonferenze de' cerchi descritti da gli spaghetti eguali, lor semidiametri,

Alla fine della lettera, Galileo ritorna su uno dei più importanti insegnamenti del suo mentore: «perquanto al suo quesito, stimo benissimo detto quanto ne dice V. S. Ill.ma, e che quando cominciamo a concernere la materia, per la sua contingenza si cominciano ad alterare le proposizioni in astratto dal geometra considerate; delle quali così perturbate siccome non si può assegnare certa scienza, così dalla loro speculazione è assoluto il matematico». Galileo, come Guidobaldo, riteneva che fosse necessario costruire perfetti strumenti per fare precisi esperimenti in modo da superare i limiti pratici di variabili non ancora controllabili (attrito e difficoltà di costruire strumenti identici) e intimamente legati allo studio del moto.

Possiamo supporre che Guidobaldo avesse tramandato a Galileo l'importanza dello strumento per provare una teoria e, allo stesso tempo, Guidobaldo avesse meditato con Galilei sui problemi riguardanti lo studio del moto. Per superare tali difficoltà, Galileo avrebbe incluso sistematicamente anche un'idea che si sarebbe rivelata estremamente feconda per il progresso del pensiero scientifico: l'uso strategico dell'esperimento mentale per coadiuvare il ragionamento logico-dimostrativo e la

passate oltre al perpendicolo, son poi per le medesime strade ritornate indietro; e reiterando ben cento volte per lor medesime le andate e le tornate, hanno sensatamente mostrato, come la grave va talmente sotto il tempo della leggiera, che né in ben cento vibrazioni, né in mille, anticipa il tempo d'un minimo momento, ma camminano con passo egualissimo. Scorgesi anco l'operazione del mezzo, il quale, arrecando qualche impedimento al moto, assai più diminuisce le vibrazioni del sughero che quelle del piombo, ma non però che le renda più o men frequenti; anzi quando gli archi passati dal sughero non fusser più che di cinque o sei gradi, e quei del piombo di cinquanta o sessanta, son eglin passati sotto i medesimi tempi», Galilei, 1933b, Giornata prima, pp. 128-129.

L'esperienza del pendolo ritornerà anche nella Giornata terza dei *Discorsi* dedicata al moto dei proietti, parte in cui esamina il moto di caduta dei gravi:



«Figuratevi, questo foglio essere una parete eretta all'orizzonte, e da un chiodo fitto in essa pendere una palla di piombo d'un'oncia o due, sospesa dal sottil filo AB, lungo due o tre braccia, perpendicolare all'orizzonte, e nella parete segnate una linea orizzontale DC, segante a squadra il perpendicolo AB, il quale sia lontano dalla parete due dita in circa; trasferendo poi il filo AB con la palla in AC, lasciate essa palla in libertà: la quale primieramente vedrete scendere descrivendo l'arco CBD, e di tanto trapassare il termine B, che, scorrendo per l'arco BD, sormonterà sino quasi alla segnata parallela CD, restando di pervenirvi per piccolissimo intervallo, toglitogli il precisamente arrivarvi dall'impedimento dell'aria e del filo; dal che possiamo veracemente concludere, che l'impeto acquistato nel punto B dalla palla, nello scendere per l'arco CB, fu tanto, che bastò a rispingersi per un simile arco BD alla medesima altezza. Fatta e più volte reiterata cotale esperienza, voglio che ficchiamo nella parete, rasente al perpendicolo AB, un chiodo, come in E o vero in F, che sporga in fuori cinque o sei dita, e questo acciò che il filo AC, tornando, come prima, a riportar la palla C per l'arco CB, giunta che ella sia in B, intoppando il filo nel chiodo E, sia costretta a camminare per la circonferenza BG, descritta intorno al centro E; dal che vedremo quello che potrà far quel medesimo impeto che, dianzi, concepito nel medesimo termine B, sospinse l'istesso mobile per l'arco BD all'altezza della orizzontale CD. Ora, Signori, voi vedrete con gusto condursi la palla all'orizzontale nel punto G, e l'istesso accadere se l'intoppo si mettesse più basso, come in F, dove la palla descriverebbe l'arco BI, terminando sempre la sua salita precisamente nella linea DC; e quando l'intoppo del chiodo fusse tanto basso che l'avanzo del filo sotto di lui non arrivasse all'altezza di CD (il che accaderebbe quando fusse più vicino al punto B che al segamento dell'AB con l'orizzontale CD), allora il filo cavalcherebbe il chiodo e se gli avvolgerebbe intorno. Questa esperienza non lascia luogo di dubitare della verità del supposto: imperò che, essendo li due archi CB, DB eguali e similmente posti, l'acquisto di momento fatto per la scesa nell'arco CB è il medesimo che il fatto per la scesa dell'arco DB; ma il momento acquistato in B per l'arco CB è potente a rispingere in su il medesimo mobile per l'arco BD; adunque anco il momento acquistato nella scesa DB è eguale a quello che sospigne l'istesso mobile per il medesimo arco da B in D; sì che, universalmente, ogni momento acquistato per la scesa d'un arco è eguale a quello che può far risalire l'istesso mobile per il medesimo arco: ma i momenti tutti che fanno risalire per tutti gli archi BD, BG, BI sono eguali, poichè son fatti dall'istesso medesimo momento acquistato per la scesa CB, come mostra l'esperienza; adunque tutti i momenti che si acquistano per le scese ne gli archi DB, GB, IB sono eguali» Galilei, 1933b, Giornata terza, pp. 205-207.

prova empirica⁴⁶³. Non conosciamo le precise circostanze che permisero a Galileo di superare Guidobaldo. Sicuramente, uno di questi principali elementi fu la stessa conoscenza della meccanica di Guidobaldo e dei suoi limiti.

Attualmente gli studiosi del pensiero galileiano concordano nel ritenere che Galileo non fece le sue scoperte in maniera ordinaria *step by step*, ma, per usare le parole di Thomas B. Settle, le sue scoperte furono piuttosto l'esito di un reticolo in cui si intrecciarono supposizioni, errori, esperimenti empirici, esperimenti mentali, scoperte e riscoperte. Galileo riuscì a interpretare correttamente i suoi esperimenti (piano inclinato -1592-, moto dei proietti -1592-, isocronismo del pendolo -1589- e lanci dalla Torre di Pisa -1590-) nel periodo in cui veniva a chiarire, e quindi a scoprire, la legge di caduta di un grave⁴⁶⁴, conseguenza a sua volta della corretta interpretazione del moto parabolico del proietto. Fondamentale per la sua ricerca fu la decisione di basare la sua interpretazione degli esperimenti su un principio dinamico ovvero sul moto uniformemente accelerato. Riteniamo che Renn, Damerow, Rieger e Settle abbiano indicato la corretta via di approccio all'itinerario galileiano della scoperta. Lo studio del moto, e il passaggio da un approccio dinamico a uno cinematico, in connessione con le nuove esperienze, nuove intuizioni e vecchi errori, l'uso della logica deduttiva e l'uso degli esperimenti mentali ed empirici portarono Galilei a rivalutare le passate esperienze e a fare nuove scoperte (in particolare, la traiettoria del proiettile e la legge di caduta dei gravi). Questi collegamenti costituirono una rete di ricerca in continua evoluzione, sia sperimentale sia teorica, che permise a Galileo di inaugurare la scienza moderna⁴⁶⁵. In questo puzzle euristico, gli esperimenti empirici ebbero un ruolo fondamentale, sia per investigare sia per narrare gli esiti dell'attività scientifica. In questo senso, la consapevolezza delle potenzialità e dei limiti, sia dello strumento nella prassi scientifica sia dell'esperimento per controllare una teoria, fu la più evidente eredità che Guidobaldo consegnò a Galileo.

Sempre riferibile all'esperimento empirico è la capacità di costruzione e di innovazione dello strumento e del suo utilizzo sperimentale. Galilei come Guidobaldo sviluppò, inventò e perfezionò molti dispositivi. Per entrambi lo strumento non serviva solo per raccogliere dati e per misurare, ma era fondamentale per supportare e mettere alla prova le proprie ipotesi. L'uso sperimentale dello strumento rappresentava per entrambi un perfetto banco di prova che consentiva di saggiare l'affidabilità delle conoscenze teoriche⁴⁶⁶.

⁴⁶³ Palmerino ritiene che Galileo non inventò nulla, dal momento che l'esperimento mentale era proprio della tradizione aristotelica, es. se ciò che è mosso è mosso da qualcosa, allora ciò che muove deve essere mosso da qualcosa'altro; tuttavia, non si può procedere all'infinito pertanto deve essere qualcosa che muove ma non è mosso. Sul tema si vedano Palmerino, 2011 e Gendler 1998. Sull'uso del ragionamento logico nella ricerca scientifica da parte di Galileo si veda Finocchiaro, 1974.

⁴⁶⁴ Sul tema si veda Van Dyck, 2006a.

⁴⁶⁵ Inizialmente Galileo pensava che la traiettoria di un proietto fosse una catenaria. Di seguito indichiamo una brevissima cronologia riguardante l'attività scientifica di Galileo dal perfezionamento della teoria sul moto dei gravi alla corretta formulazione della legge di caduta (secondo cui un corpo si muove in modo uniformemente accelerato): 1586 scrittura della *Bilancetta*; 1590 scrittura del *De Motu*; elaborazione errata della traiettoria del proietto sulla base della lettura delle opere di Tartaglia; critica della trattazione di Pappo del piano inclinato; 1592 esperimenti con Guidobaldo e uso del piano inclinato per esaminare matematicamente e sperimentare la traiettoria del proietto; 1592-1599 circa elaborazione delle versioni de *Le mecaniche*: nella versione lunga compare la definizione di "momento" e la legge del piano inclinato; uso del piano inclinato come strumento euristico per studiare l'accelerazione dei gravi; 1602 formulazione dell'isocronismo del pendolo; 1604 lettera a Paolo Sarpi in cui Galileo espone la legge di caduta dei gravi; individuazione di una teoria matematica che gli consente di collegare tra loro i risultati precedentemente acquisiti, ovvero di una cinematica in cui l'accelerazione ha un ruolo fondamentale; spiegazione geometrica della relazione tra velocità e spazio e inserimento del tempo come variabile; uso dell'acqua come mezzo in modo da misurare più agevolmente la velocità di caduta dei corpi. Vanno ad arricchire il complesso percorso della "scoperta" alcune convinzioni, come l'idea che la velocità di caduta sia proporzionale al tempo e non allo spazio e l'importanza di una più accurata analisi dell'*impetus*. In conclusione, Galileo riuscì a trovare la legge oraria del moto dopo aver capito che la forma della traiettoria di un proietto ha la forma di una parabola e dopo aver introdotto l'accelerazione nell'analisi quantitativa del moto dei gravi. Sul tema si vedano Renn *et al.*, 2001 e Giusti, 1990.

⁴⁶⁶ Valleriani, 2010; Valleriani e Renn, 2000. Sul tema rimandiamo al *Settimo capitolo*.

Galileo dovette molto all'ambiente urbinato, sia dal punto di vista lavorativo che scientifico⁴⁶⁷. La conoscenza dei difficili contenuti della letteratura matematica antica e della scienza medievale e contemporanea permise a Galileo, con la baldanza che lo contraddistingueva, di fare il folle volo verso la conoscenza. Galileo poté allora risolvere la questione del piano inclinato utilizzando il metodo di Giordano, poté proficuamente riflettere sulle velocità virtuali, fu in grado di definire il concetto di momento senza equivoci (qui è ravvisabile la presenza di Commandino filtrata da Guidobaldo), riuscì a superare il problema dell'attrito, scoprì la traiettoria del moto del proietto, si rese conto che un corpo in assenza di forze esterne permane nel suo stato di quiete o di moto⁴⁶⁸ e scoprì la velocità di caduta di un grave.

⁴⁶⁷ Grazie a Guidobaldo, Galileo venne probabilmente a conoscenza del testo di Benedetti, il quale deve aver condizionato in qualche modo il pensiero del toscano. Si veda Appendice, A6.

⁴⁶⁸ Il principio di inerzia verrà enunciato formalmente da Newton nei suoi *Principia* (Newton, 1687, Axiomata sive Leges Motus, Lex. I).

QUARTO CAPITOLO: BERNARDINO BALDI

4.1 La formazione di Bernardino Baldi



Fig. 31 Sebastiano Zamboni, *Ritratto di Bernardino Baldi*, 1781.

Bernardino Baldi (Fig. 31) fu uno dei più insigni rappresentanti della cultura urbinata⁴⁶⁹: egli fu poeta, letterato, storico, biblista, orientalista, conoscitore di 12 lingue ed esperto di gnomonica, di architettura e di meccanica. Baldi nacque a Urbino il 5 giugno 1553 da Francesco Baldi e Virginia Montanari. La sua prima educazione venne impartita dall'umanista urbinato Gianantonio Turaneo, con il quale Baldi apprese greco e latino. Dal 1570 al 1575, Baldi frequentò il circolo matematico diretto da Federico Commandino, grazie al quale poté studiare matematica e apprendere l'importanza, sia culturale sia applicativa, della letteratura matematica antica. Sebbene la "scuola" di Commandino non prevedesse un vero e proprio percorso didattico strutturato, il programma di apprendimento era strettamente funzionale alla restaurazione dei classici della matematica antica⁴⁷⁰. Come il suo maestro Commandino e il marchese di Mombaroccio Guidobaldo del Monte, dal 1573 al 1575 Baldi andò a Padova per studiare medicina. Dal 1575 al 1580 Baldi ebbe come maestro Maximos Margunios, insegnante di greco ed esperto di Omero e di poesia greca. Risalgono a questi anni le traduzioni da parte di Baldi del *Discorso di Leontio artefice sopra la sfera di Arato et fabbrica di quella* e della *Belopoeeca* di Erone⁴⁷¹.

Nel 1575, dopo la morte di Commandino, Baldi fu per qualche anno allievo di Guidobaldo.⁴⁷² In quegli anni, probabilmente stimolato dalla vitalità dello stesso ambiente in cui era immerso, Baldi iniziò a tradurre in volgare alcune opere del suo maestro Commandino e a sistemare le traduzioni di quest'ultimo rimaste incompiute a causa della morte improvvisa⁴⁷³.

⁴⁶⁹ La letteratura di riferimento per una ricostruzione della vita e dell'opera di Bernardino Baldi è la seguente: Irene Affò, 1783, *Vita di Monsignore Bernardino Baldi da Urbino*, Parma, Carmignani; Guido Zaccagnini, 1908, *Bernardino Baldi nella vita e nelle opere*, Pistoia, Tipo-litografica toscana e Giovan Mario Crescimbeni, 2011, *La vita di Bernardino Baldi, Abate di Gualtalla*, a cura di I. Filograsso, Urbino, QuattroVenti. Gli studi di P. L. Rose, 1975, di A. Serrai, 2002, di A. Becchi, 2004 e l'introduzione di E. Nenci in Baldi, 1998, hanno dato un contributo fondamentale per la conoscenza della sua produzione letteraria e del suo apporto in ambito meccanico e architettonico.

⁴⁷⁰ Gli allievi contribuivano anche alla realizzazione dei disegni dei diagrammi.

⁴⁷¹ *Discorso di Leontio artefice sopra la sfera di Arato et fabbrica di quella* è conservato presso le Smithsonian Libraries, Washington D.C. (USA), ms. 235 B. Baldi ricevette la versione greca della *Belopoeeca* da Margunios. Essa fu finita nel 1612 ma fu pubblicata solo nel 1616 ad Augsburg. Sul tema si veda Laird, 2017.

⁴⁷² Guidobaldo cita Baldi in *Problematum astronomicorum* (Del Monte, 1609) e Baldi cita Guidobaldo in Egloga XVII, pp. 208-209 (Baldi, 1859). Sul carteggio di Baldi si veda Saviotti, 1901.

⁴⁷³ Nel 1576 Baldi iniziò la traduzione in volgare degli *Automati* di Erone. Nel 1578 cercò di migliorare la traduzione realizzata da Commandino dell'ottavo libro delle *Collezioni matematiche* di Pappo, in quanto risultava essere

Nel frattempo, iniziò ad ottenere anche i primi incarichi di corte. Nel 1580 Baldi assunse il ruolo di tutore di matematica alla corte guestallese di Ferrante II Gonzaga e nel 1582 iniziò a frequentare la corte milanese di Carlo Borromeo. In quegli anni, probabilmente stimolato dal colto ambiente milanese, iniziò a scrivere il commentario ai *Problemi meccanici* di Aristotele⁴⁷⁴.

Dal 1586 Baldi accettò la proposta religiosa e politica proveniente dalla corte di Gueſtalla, accettando la carica di abate a capo della neo-abbazia dell'omonima città⁴⁷⁵. Durante gli anni della sua carriera ecclesiastica il tema delle sue riflessioni sarà sempre più orientato verso i problemi morali e teologici.

Nel 1589 Baldi pubblicò finalmente la versione italiana degli *Automata* di Erone, iniziata durante gli studi con Commandino e terminata nel 1576⁴⁷⁶. La posticipazione della pubblicazione della traduzione fu probabilmente dovuta ai nuovi incarichi che gli vennero assegnati negli anni intercorsi e che certamente lo distrassero da altri interessi⁴⁷⁷.

Nel 1596 il vociferare sull'intenzione di declassare l'Abbazia portò Baldi a recarsi direttamente a Roma per intercedere con il Papa Clemente VIII. Baldi rimase a Roma fino al 1598, dove approfittò degli insegnamenti di Giambattista Raimondi sulla lingua araba⁴⁷⁸. Negli anni successivi alcuni malumori ed incomprensioni con la corte guastallese ebbero l'effetto di riavvicinare Baldi alla corte urbinata. Non è un caso che in questo periodo (presumibilmente nel 1601) si collochi l'incarico assegnatogli da Francesco Maria II di scrivere la vita di Federico da Montefeltro⁴⁷⁹. Negli anni che seguirono, Baldi riprese ad occuparsi di tematiche scientifiche. Dal nostro punto di vista è interessante l'uso della poesia e della prosa per veicolare argomenti scientifici, come ad esempio per raccontare l'origine del cannone e l'impiego del cannocchiale⁴⁸⁰.

Nel 1606 Baldi iniziò a riflettere più insistentemente sulla possibilità di stampare alcune opere matematiche a lungo rimaste manoscritte. A quegli anni, infatti, risale la corrispondenza con l'editore Mark Welser di Augsburg. Nel 1609 l'urbinata lasciò definitivamente la carica di abate di Guastalla, a causa delle continue frizioni con la corte guestallese, e entrò al servizio del duca di Urbino Francesco Maria II. Negli anni successivi, Baldi terminò in successione *Il breve trattato dell'istoria* (1611), i due trattati esegetici riguardanti il *De architectura* di Vitruvio *De verborum vitruvianorum significatione* e *Scamilli impares vitruviani*, e il *Belopoeeca* (1616) di Erone⁴⁸¹.

Nel 1621, quattro anni dopo la sua morte, avvenuta il 10 ottobre 1617, a Mainz videro la luce le *Exercitationes* sui *Problemi meccanici* di Aristotele⁴⁸². Sulla storia editoriale delle *Exercitationes* rimandiamo al saggio di Elio Nenci *Bernardino Baldi's "In mechanica Aristotelis problemata exercitationes"*⁴⁸³. Lo studioso Antonio Becchi ipotizza che i manoscritti di Baldi, dopo essere stati ereditati dal nipote, nel tempo confluirono nella biblioteca della famiglia Albani. In effetti, a seguito dell'invasione francese (1797-1798) i manoscritti presero più strade ed alcune senza ritorno.

profondamente incoerente (Bibliothèque Nationale, Paris, ms Latin 10280, fols 182-202). La versione di Baldi sarà usata da Guidobaldo durante il suo precario tentativo di emendare il testo. Baldi sembra aver avuto accesso anche a qualche altro codice greco, lo stesso che potrebbe essere stato utilizzato da Barozzi. Il ms 10280, non contiene solo la versione di Baldi delle *Collezioni matematiche*, ma anche *Belopoeeca* e altri autografi. Per i dettagli rimandiamo al lavoro di Rose, 1974. Baldi collaborò anche alle traduzioni degli *Elementi* di Euclide e degli *Spirituali* di Erone.

⁴⁷⁴ Sul tema si veda Becchi, 2004.

⁴⁷⁵ Dal 1585 il Papa Sisto V aveva elevato la chiesa di Guastalla ad Abbazia.

⁴⁷⁶ Baldi, 1589a.

⁴⁷⁷ Ferraro, 2008, pp. 12-13.

⁴⁷⁸ Raimondi possedeva anche antiche versioni delle *Collezioni matematiche* di Pappo, si confronti Passalacqua, 1994.

⁴⁷⁹ Baldi, 1824.

⁴⁸⁰ Baldi descrive la genealogia del cannone ne *L'Artiglieria*, Serrai, 2002, pp. 184-186. Baldi dedica anche un epigramma al cannocchiale di Galileo: *Per l'occhiale del S. Galileo Galilei*, in Baldi, 1914, vol. I, p. 113. Anche Orazio del Monte, figlio di Guidobaldo, in una lettera a Galileo aveva apprezzato le capacità del cannocchiale (Galilei, 1934a, Orazio del Monte a Galilei, 16/06/1610). Sul tema si confronti Becchi, 2004, p. 112.

⁴⁸¹ Baldi, 1859 (*Il trattato dell'istoria* è stato donato al duca urbinata nel 1611. Terremo in considerazione la versione ristampata nel 1859); Baldi, 1612a; Baldi, 1612b; Baldi, 1616.

⁴⁸² Baldi, 1621.

⁴⁸³ Nenci, 2011.

Attualmente i documenti baldiani sono perlopiù distribuiti in molte biblioteche italiane e estere: Biblioteca Nazionale di Napoli (6 miscellanee di Baldi), Biblioteca Angelica di Roma (6 manoscritti e un codice di sua appartenenza), Biblioteca Laurenziana di Firenze (contiene la traduzione autografa degli Automata), Faculté de Médecine di Montpellier (contiene la traduzione di Hortus Delitiosus di Aldrisi), Bibliothèque Nationale di Parigi, Biblioteca Ecclesiastica Romana e il Centro Internazionale di Studi Rosminiani (questi due ultimi istituti contengono i manoscritti delle vite dei matematici)⁴⁸⁴.

Nei secoli successivi, l'infatuazione per la sua vocazione poetica non favorì la conoscenza dei suoi contributi maggiormente inerenti al settore delle "matematiche", oscurando di fatto le intuizioni meccaniche contenute nelle sue opere. Recentemente, in particolare a seguito dell'importante traduzione commentata de *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes*, l'opera matematica di Baldi è stata adeguatamente valorizzata e inserita tra quelle opere che hanno maggiormente segnato l'eterogenea fase di passaggio dalla scienza rinascimentale alla scienza moderna⁴⁸⁵.

4.2 Bernardino Baldi: poesia, prosa e storia per promuovere le *disciplinae mathematicae*

Baldi trascorse gran parte della sua vita lontano dal ducato di Urbino. Ciononostante, la sua produzione letterario-scientifica fu profondamente intrecciata con l'ambiente urbinato. Baldi era consapevole che la sua fosse una generazione illustre e che, da una parte, gli splendori del suo ducato e, dall'altra, la riscoperta della matematica antica stessero segnando un'epoca⁴⁸⁶. Possiamo individuare un illustre predecessore della consapevolezza del valore delle matematiche in Luca Pacioli, il quale, come Baldi, segnalava con vigore l'importanza della matematica per il progresso della società.

Baldi impiegò l'espedito letterario per promuovere le discipline matematiche, per narrare le gesta dei suoi duchi e per ricordare l'eminenza dei matematici a cui il ducato di Urbino diede i natali⁴⁸⁷. Nel *Breve trattato dell'istoria* Baldi espone un insieme di precetti che, secondo il suo punto di vista, devono essere tenuti in considerazione dallo storico nella sua attività di narrazione e di ricostruzione dei fatti. L'opera venne terminata dall'urbinato nel 1611 e nello stesso anno venne offerta a Francesco Maria II della Rovere⁴⁸⁸. Di qualche interesse potrebbe essere porre in relazione le indicazioni contenute nel *Breve trattato* con le modalità di esposizione delle biografie dei duchi (Federico da Montefeltro e Guidubaldo da Montefeltro), opere che sarebbero state pubblicate due secoli dopo la morte dell'intellettuale urbinato. Tuttavia, Uberto Motta rileva che tale accostamento potrebbe essere ingannevole, perché il *Breve trattato* fu compilato dopo l'elaborazione delle vite di Federico e di Guidubaldo da Montefeltro. Secondo Motta la reiterata, e alla fine accantonata, pubblicazione delle vite dei duchi fu presumibilmente causata da un approccio baldiano alle biografie non encomiastico, tanto da non incontrare le pretese celebrative del duca Francesco Maria II⁴⁸⁹. Dal nostro punto di vista tale approccio appare essere molto vicino ai principi che deve seguire lo storico ed esposti nel trattato sul modo di raccontare la storia. Nonostante la compilazione delle vite dei duchi avesse preceduto l'elaborazione del *Breve trattato*, è possibile che già al tempo della scrittura delle biografie l'approccio storico di Baldi fosse stato guidato da quella stessa correttezza morale tratteggiata, quasi in maniera programmatica, nel *Breve trattato dell'istoria*.

⁴⁸⁴ Becchi, 2017b; Baldi, 1998. Per un elenco delle biblioteche e degli archivi nei quali sono conservati i volumi provenienti dalla biblioteca Albani si veda il progetto *Disiecta membra. Tracce e testimoni delle Biblioteche Albani* (<http://www.archivioalbani.it/index.php?id=29052>), curato da Brunella Paolini e Antonio Becchi.

⁴⁸⁵ Baldi, 2010; Becchi, 2004.

⁴⁸⁶ Gamba scrive che «l'ambiente scientifico urbinato è il primo caso di "comunità scientifica" che fa la storia di se stessa», Gamba, 1988, p. 36.

⁴⁸⁷ Baldi, 1824; Baldi, 1821; Baldi, 1706; Baldi, 1590, *Descrizione del Palazzo d'Urbino*; Baldi, 1859, *Breve Trattato dell'Istoria*. Sul tema si veda anche Gamba, 2005.

⁴⁸⁸ Pezzolesi, 1990.

⁴⁸⁹ Motta, 2005.

Baldi usò l'espedito letterario, ora in forma di prosa ora in forma di poesia, anche per narrare temi di carattere scientifico. Per l'urbinate, tali forme letterarie rivestivano un canale prediletto sia per celebrare alcune conquiste tecnologiche dell'uomo, come l'artiglieria e la bussola, sia per tessere la loro genealogia, come avviene ad esempio nei casi de *La nautica*, *L'Artiglieria*⁴⁹⁰ e dell'*Invention del Bossolo da navigare*. Le opere in volgare appena citate testimoniano l'efficacia comunicativa che aveva il componimento poetico, grazie all'intreccio delle componenti umanistiche, metaforiche e scientifiche. La poesia e la prosa, per Baldi, hanno la capacità di divulgare le questioni morali, la storia locale e le conoscenze scientifiche. Baldi usò l'espedito poetico anche per elogiare e ricordare le menti più raffinate del suo tempo. Un esempio è il componimento di lode in volgare al *Signor Guidobaldo de' Marchesi del Monte* contenuto nei *Concetti Morali* e dato alle stampe poco prima della morte del Marchese di Mombaroccio⁴⁹¹. Probabilmente anche Baldi, come Pietro Bembo, riteneva che la lingua del volgo avesse i requisiti per essere emancipata, e la poesia, genere nobile di per sé, era il canale più adeguato per elevarla⁴⁹². Nonostante Baldi scegliesse abitualmente il volgare per scrivere i componimenti poetici⁴⁹³, apprezzati anche da Giacomo Leopardi⁴⁹⁴, ci sono importanti eccezioni in cui Baldi preferì utilizzare la lingua latina, come nel caso di alcuni distici dedicati agli orologi e al costruttore Pietro Griffi, nei quali quest'ultimo viene addirittura paragonato a un piccolo dio⁴⁹⁵.

De horologio
 Labitur atque tacet
 Nunquam revocabile tempus
 At taciti lapsus aera
 Sonora movent.⁴⁹⁶

Su Pietro Griffi:
 Cum fingas parvos orbes, animesque metalla
 Parvula, te parvum, dixero, Gryphe, Deum.⁴⁹⁷

In questi casi probabilmente Baldi impiegò il latino per elogiare argomenti riguardanti l'arte meccanica, la quale, come diremo più diffusamente nei paragrafi successivi, era generalmente considerata vile.

4.2.1 *Vite de' matematici*

Una delle fatiche letterarie che maggiormente occupò Baldi fu la compilazione de *Le vite de' matematici* (d'ora in poi *Vite*), opera in volgare rimasta manoscritta e più volte rimaneggiata, a causa

⁴⁹⁰ L'Artiglieria è stata in parte pubblicata da Serrai, 2002, pp. 184-186. Essa è conservata nella Biblioteca Nazionale di Napoli, codice XIII, D. 38, cc. 195 r-226v. Per una presentazione dell'Artiglieria, si veda Serrai, 2002, pp. 147-148.

⁴⁹¹ Baldi, 1607, XXI, pp. 51-53, e anche *Epitaffio del S. G. Baldo dal Monte*. 236., in Serrai, 2002, Appendice VII, p. 229.

⁴⁹² Siekiera, 2009.

⁴⁹³ Zaccagnini, 1908, distingue i diversi stili toccati da Baldi poeta: poesia lirica, egloga, epigramma e poema.

⁴⁹⁴ Scrive Leopardi «Aggiungi Bernardino Baldi, autor corretto nella lingua, e molto elegante: “Ma che stiamo Perdendo il tempo, e altrui biasmando insieme, Quando altro abbiam che fare?” Ed altrove: “Ma che perdiamo il tempo, e non andiamo Ad impetrar da lei” con quello che segue. Sia detto per incidenza, che se bene delle Egloghe di questo scrittore è conosciuta e riputata solamente quella che s'intitola Celeo, o l'Orto, nondimeno tutte l'altre (che sono quindici, senza un Epitalamio che va con loro), e maggiormente la quinta, la duodecima e la decima- quarta, sono scritte con semplicità, candore e naturalezza tale, che in questa parte non le arrivano quelle del Sannazzaro nè qual altro si sia de' nostri poemi pastorali, eccettuato l'Aminta e in parecchie scene il Pastor fido». Leopardi, 1824. Si veda anche Serrai, 2002, p. 25.

⁴⁹⁵ Sull'argomento Enrico Gamba ha presentato una relazione dal titolo *Orologi e strumenti matematici a Urbino* in occasione del convegno di studi “Muzio Oddi (1569-1639). Tra ingegneria, matematica e strumentazione scientifica. Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita”, 17 settembre 2019

⁴⁹⁶ Baldi, 1609, p. 43.

⁴⁹⁷ Baldi, 1609, p. 28.

di una costante insoddisfazione dovuta alle difficoltà incontrate nel reperire le singole biografie. Nelle *Vite de' matematici*, Baldi non persegue l'interesse di fare la storia della matematica *tout court*, ma piuttosto intende rinnovare la memoria storico-biografica dei matematici dall'antichità ai suoi giorni. Il genere letterario della biografia vantava illustri predecessori, come Giorgio Vasari, Diogene Laerzio e Plutarco. Tuttavia, il modello, nonché fonte, che Baldi seguì e da cui principalmente attinse per le informazioni biografiche fu *Scholarum mathematicorum* di Pietro Ramo, opera in cui veniva ripercorsa la storia delle matematiche. Nonostante il genere letterario a cui l'opera può essere ascritta non fosse nuovo al tempo di Baldi, è di grande interesse l'uso che viene fatto della narrazione storica per dare risonanza alla memoria dei matematici illustri. Probabilmente le difficoltà di rintracciare le fonti portò Baldi a redigere parallelamente un riassunto delle *Vite* che avrebbe preso il nome di *Cronica de matematici*. Quest'ultima fu pubblicata nel 1707 per i tipi di Angelo Antonio Monticelli. Nella *Cronica de matematici*, come nelle *Vite*, l'urbinate percorre le biografie dei matematici illustri, evidenziando il loro lavoro da un punto di vista più storico-biografico che matematico.

Alla base del progetto baldiano delle *Vite* vi era la volontà di ricordare l'importanza del lavoro editoriale del suo maestro Federico Commandino. Tuttavia, le finalità inizialmente individuate nel corso della stesura assunsero progressivamente connotati diversi e ad ampio spettro: ciò che era stato pensato come un raffinato necrologio dedicato alla celebrazione della vita del suo maestro cambiò presto aspetto, diventando un memoriale storico-biografico allargato ai più eminenti matematici e avente il fine di valorizzare sia la matematica sia il ruolo dei matematici nella società. Dal momento che l'oggetto dell'opera non era l'analisi dei contributi dati dai singoli matematici, ma riguardava esclusivamente la narrazione delle loro biografie, preferì usare il volgare anziché il latino, lingua questa più adatta a un trattato di matematica indirizzato a pochi intellettuali. Diversamente, l'uso del volgare appariva più idoneo alla narrazione divulgativa delle *Vite*, opera che era destinata a molti e che mirava ad avere un'ampia diffusione nel "volgo".

Ancora una volta potrebbe essere di qualche interesse chiedersi se Baldi avesse o meno osservato le regole esposte nel suo *Breve trattato* per scrivere le *Vite de' Matematici*. Ha già segnalato Elio Nenci nella sua introduzione alle *Vite* che, seppure sia possibile porre in relazione le modalità di esposizione delle *Vite* con i capitoli che scandiscono il *Breve trattato dell'istoria*, le regole esposte nel *Breve trattato* sembrano piuttosto essere state elaborate per narrare le gesta dei cavalieri, i motivi delle guerre e gli accadimenti storici in generale, anziché le biografie dei matematici.

Come abbiamo detto, la prima biografia delle *Vite* ad essere scritta fu quella di Federico Commandino all'indomani della sua morte, avvenuta nel 1575. Terminata la redazione, come egli racconta, Baldi proseguì la narrazione allargandola alle vite dei matematici illustri. Il suo lavoro, tra ricerca delle biografie e sistemazione di queste ultime, durò circa 14 anni, cioè fino al 1589⁴⁹⁸. Tuttavia, come scrive l'autore in calce a molte biografie, molte di esse furono migliorate e modificate anche negli anni successivi (sicuramente alcune di esse furono rimaneggiate fino al 1595). Possiamo stabilire una cronologia di redazione delle vite incrociando le notizie contenute nelle singole biografie con la datazione delle missive inviate per richiedere le informazioni biografiche⁴⁹⁹.

Dopo la morte di Baldi, i fogli delle *Vite* passarono agli eredi che non seppero dargli la dovuta visibilità. Nel corso dell'Ottocento Baldassarre Boncompagni, grande letterato e uomo colto, acquistò i codici e intraprese un'importante valorizzazione delle biografie baldiane mediante la pubblicazione di molte di esse nel suo *Bullettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche*. La

⁴⁹⁸ Baldi, 1887, Narducci A' lettori.

⁴⁹⁹ L'ordine temporale di redazione delle biografie risenti nettamente della difficoltà che ebbe Baldi nel reperire il materiale biografico. Secondo P. L. Rose possiamo distinguere le *Vite* in due gruppi: il primo gruppo (A) scritto tra il 1575 (la prima scritta fu quella di Commandino) e il 1589 (l'ultima vita del gruppo A ad essere scritta fu quella di Filippo Mendeo, a questo primo gruppo risale anche la stesura della Prefazione). Successivamente alla scrittura di queste vite (tra il 1590 e il 1592) Baldi dovette compilare una seconda serie di vite (A1). Il secondo gruppo (B) venne scritto tra l'ottobre 1595 (la prima vita di questo secondo gruppo fu quella di Archimede) e il dicembre 1595 (la vita di Giulio Monaco fu probabilmente inserita per ultima), Rose, 1975, pp. 253-269. Elio Nenci invece sostiene che tutte le vite siano state scritte entro il 1590 e, successivamente, sistemate e modificate fino al 1595, Baldi, 1998, pp. 31-45.

prima vita ad essere pubblicata da Boncompagni fu quella di Commandino (1714). Le *Vite* vennero successivamente acquistate dall'avvocato Luigi Celli e nel 1939, in seguito alla morte di quest'ultimo, la figlia donò la biblioteca all'Istituto di carità di Roma. Nel corso degli anni solo 59 vite delle 202 totali furono pubblicate (incluse le vite di Erone e Vitruvio pubblicate dallo stesso Baldi in lingua latina rispettivamente nel *Belopoecca* e nel *De Verborum Vitruvianorum significatione*)⁵⁰⁰.

Tra le vite più importanti inserite nelle *Vite de' matematici*, ricordiamo quelle di Archimede, Vitruvio, Piccolomini, Zarlino Gioseffo (Zarlino Musico), Giordano, Bonatti, Pacioli, Paolo da Middelburg, Copernico e Commandino. Le biografie di Copernico e di Commandino sono, per diversi motivi, due tra le vite di maggiore interesse. La vita di Copernico è la biografia più antica pervenutaci dell'astronomo polacco. La vita di Commandino è la biografia più lunga e punto di partenza per qualsiasi ricostruzione storico-scientifica dell'umanesimo matematico urbinato. Andrete ora ad esporre brevemente il contenuto delle vite dei matematici che riteniamo di maggior interesse in relazione all'oggetto della nostra trattazione. Per una maggiore e più esauriente contestualizzazione storica delle biografie e analisi del loro contenuto rimandiamo ai lavori di Narducci, Bilinski e Nenci⁵⁰¹.

Nella narrazione della vita di Archimede, Baldi celebra Guidobaldo del Monte, ovvero colui dotato dell'«istesso genio d'Archimede» e riferisce alcuni motivi che hanno portato Guidobaldo a pubblicare la parafrasi *Sull'equilibrio dei piani*⁵⁰². Tra questi, secondo Baldi, vi era l'intenzione di «chiudere la bocca a coloro che giudicassero nove, inaudite e poco ferme le cose ch'Egli aveva scritte nel suo trattato delle Meccaniche»⁵⁰³. Baldi ricorda che per Guidobaldo la meccanica archimedeica non poteva contraddire la filosofia aristotelica perché, secondo il pesarese, Archimede aveva «seguito in tutto e per tutto le pedate d'Aristotile»⁵⁰⁴. Al termine della vita, Baldi ripercorre il momento della morte di Archimede, mettendo a confronto le varie leggende sulla morte del siracusano e sottolineando la sua completa dedizione alla speculazione matematica.

Nella vita di Vitruvio Baldi rivendica l'importanza della «teorica» per le arti pratiche, tuttavia, ribadisce l'urbinato, l'arte ha bisogno sia dell'occhio (teorica) sia della mano (abilità tecnica). Pertanto «[t]accia 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». A differenza degli architetti «empirici solamente», secondo Baldi, Vitruvio e Alberti ebbero un approccio sia teorico che pratico nei confronti dell'architettura⁵⁰⁵. Dopo aver descritto per sommi capi il contenuto del *De architectura*, Baldi conclude la vita facendo riferimento ad alcuni suoi lavori scritti per chiarire i termini architettonici ritenuti più oscuri⁵⁰⁶. In quegli anni Baldi stava lavorando a due opere, pubblicate nel 1612, riguardanti il lessico vitruviano, il *De Verborum Vitruvianorum Significatione* e gli *Scamilli Impares Vitruviani*, entrambe edita da Marcus Welser e scritte in latino perché destinate a un pubblico erudito e internazionale⁵⁰⁷. Nell'opera *Scamilli*, basandosi su alcune interpretazioni del tempo e sulla sua esperienza personale in ambito di teoria dell'architettura, Baldi prova a interpretare l'espressione vitruviana *scamilli impares*, dove con il termine *scamilli* venivano generalmente intesi i gradini disposti su un piedistallo e usati frequentemente nelle architetture antiche per ragioni di ottica, in modo da correggere l'effetto di concavità alla base della colonna⁵⁰⁸. L'urbinato interpretò il passo vitruviano sugli *scamilli impares* in due modi: il primo nel senso di ispessimento del *dado* dei

⁵⁰⁰ Narducci, 1871, p. 47; Favaro, 1876, p. 169, che include la vita in volgare di Erone Mecanico; Boncompagni, 1879, pp. 420-427.

⁵⁰¹ Baldi, 1887; Bilinski, 1977; Baldi, 1998.

⁵⁰² Baldi, 1887, p. 36.

⁵⁰³ Baldi, 1887, p. 41.

⁵⁰⁴ Baldi, 1887, p. 55.

⁵⁰⁵ Baldi, 1887, p. 80.

⁵⁰⁶ Baldi, 1887, pp. 85-88.

⁵⁰⁷ Biffi, 2005.

⁵⁰⁸ Bettini, 2006.

piedistalli, mentre il secondo quale elemento architettonico posto tra il capitello e l'architrave⁵⁰⁹. Nonostante la vita di Vitruvio contenga numerosi elogi nei confronti di Alberti, rimane da capire il motivo per cui le *Vite* siano prive della vita di quest'ultimo.

La vita di Piccolomini è storiograficamente interessante perché rappresenta un esempio di come le vite fossero un'opera sottoposta a una continua lavorazione: nella vita di Piccolomini Baldi lascia vuoti gli spazi destinati al nome dei genitori dell'intellettuale senese; segno questo che le vite non erano complete.

La vita di Zarlino Gioseffo (Zarlino Musico), contemporaneo di Baldi, è l'unica vita di un musicista contenuta nelle *Vite de' matematici*. L'urbinate evidenzia principalmente le sue doti di teorico della musica e di matematico.

Nella vita di Bonatti, astrologo particolarmente versato nell'astrologia giudiziaria e per questo motivo, secondo Baldi, Dante lo inserisce all'Inferno, l'urbinate dichiara la sua avversione per quel tipo di astrologia, in quanto non utile e non matematica. Essa, rispetto all'astrologia naturale (cioè meteorologica e medica) applicabile nella pratica medica, aveva l'ambizione di dire qualcosa di certo sul futuro partendo da pochi e non attendibili elementi.

Dalla vita di Fra' Luca emerge che Commandino avesse intenzione di trasferire in buona lingua la *Summa* di Pacioli, scritta in maniera barbara, ma dotata di un contenuto di livello.⁵¹⁰ Nella vita viene citato anche Leonardo da Vinci, in quanto autore delle lettere disegnate e delle illustrazioni dei solidi poste al termine del *De Divina Proportione*. È opportuno riferire che Leonardo è citato da Baldi esclusivamente come pittore⁵¹¹. Questo perché, presumibilmente, agli occhi degli uomini del Cinquecento, Leonardo da Vinci era conosciuto ed apprezzato prevalentemente per le sue doti artistiche. L'etichetta di genio eclettico dovette essere stata associata a Leonardo solo successivamente con la riscoperta dei suoi codici e, soprattutto, a causa di un'ubriacatura storiografica elargita dal ritrovamento di materiale sepolto e disperso. Diciamo "ubriacatura" perché spesso si è ritenuto (e si ritiene) oltre misura, a cominciare da Duhem, che Leonardo avesse già anticipato, con consapevolezza, alcune conquiste meccaniche e, più in generale, scientifiche che avrebbero avuto la loro forma compiuta e un'adeguata sistemazione teorica solo nel 1600 inoltrato. Sicuramente Leonardo poteva aver intuito la corretta trattazione del piano inclinato, alcune questioni di ordine architettonico e le modalità di costruzione di macchine dal funzionamento anche complesso. Tuttavia, dal nostro punto di vista, ribadiamo, Leonardo ha intuito e non formulato la risoluzione del piano inclinato, ha visualizzato e non analizzato meccanicamente problemi architettonici e ha disegnato e non costruito empiricamente tutte le macchine che può aver immaginato, in quanto si sarebbe dovuto scontrare con vuoti teorici che sarebbero stati colmati successivamente da Galileo e Newton. Leonardo era un'artista con una geniale capacità intuitiva e immaginativa; questa gli permetteva di interpretare ed esaminare "visualmente" problemi complessi di ordine geometrico, meccanico ed architettonico. Il suo genio deve essere individuato nella sua capacità di investigare problemi di qualsiasi natura e non nella sua indagine teorica, in quanto non aveva le conoscenze per farlo e la sua incostanza non gli permetteva di analizzare con dedizione e sistematicità un particolare problema. La vita di Pacioli contiene anche un interessante riferimento al famoso ed enigmatico *Ritratto di fra Luca Pacioli con un allievo*. Baldi attribuisce l'opera a Piero della Francesca. Tuttavia, recenti scoperte ed analisi fanno pensare che Baldi avesse errato nell'attribuzione. Attualmente è difficile definire con certezza chi fosse l'autore e l'intimo significato dell'opera. Invece è certo che il dipinto venne eseguito e organizzato secondo le indicazioni del frate di Sansepolcro, rendendo di fatto tale opera

⁵⁰⁹ Bettini, 2006, p. 230.

⁵¹⁰ Questa intenzione è confermata anche dal contenuto dei manoscritti di Commandino conservati nel fondo BUU, sul tema si veda Ciocci, 2018.

⁵¹¹ Galluzzi scrive sul trentenne Leonardo procinto a intraprendere la sua esperienza milanese: «Giunto a Milano come artista di buona reputazione ma ancora non conosciutissimo, Leonardo farà presto apprezzare le proprie straordinarie qualità», Galluzzi, 1997, p. 58.

una delle massime espressioni dell'importanza dell'arte per valorizzare le matematiche e la rilevanza di queste ultime nella società⁵¹².

A differenza delle *Vite de' matematici*, la *Cronica de matematici* si presenta come un elenco di numerose biografie molto brevi. Probabilmente Baldi decise di scrivere la *Cronica* per dare spazio alle vite prive di un soddisfacente corredo biografico dovuto alle difficoltà nel reperire notizie adeguate. Nella *Cronica* Baldi riporta numerosi profili di autori a lui contemporanei, come ad esempio quelle di Benedetti, Guidobaldo, Maurolico e Tartaglia. Inserisce, inoltre, le vite di Aristotele, Platone, Ctesibio ed Alberti⁵¹³.

4.3 Discipline matematiche ignobili e nobili. Il caso dell'architetto

Nella vita di Vitruvio Baldi dichiara espressamente che narrerà le biografie dei matematici e non degli architetti pratici. Quindi, secondo Baldi, Vitruvio e Leon Battista Alberti non dovevano essere considerati architetti? La risposta è negativa. Baldi considerava Vitruvio e Alberti architetti, ma non architetti esclusivamente pratici, in quanto avevano competenze sia teoriche sia pratiche. In effetti il primo era famoso (e lo è tuttora) più per il suo trattato sull'architettura che per le sue costruzioni edilizie (sembra che l'unica opera architettonica di cui diresse i lavori fosse stata la basilica di Fano), mentre il secondo è stato autore di importanti trattati sulle regole che devono essere osservate dall'architetto e dall'artista nella realizzazione delle opere⁵¹⁴. Ma Baldi cosa intendeva per architetto pratico? Prima di tentare di dare una risposta, è necessario ricordare che all'epoca di Baldi stavano avvenendo importanti mutamenti culturali e scientifici. Il primo, di ordine culturale, riguardava la forte consapevolezza che l'architetto stava maturando rispetto al proprio ruolo nella società e all'utilità della propria opera. Il secondo mutamento, di ordine scientifico, riguardava la progressiva appropriazione da parte dei tecnici dei contenuti teorici di alcune discipline matematiche, come la meccanica e l'architettura, grazie alla spinta propulsiva data dalla volgarizzazione dei testi. La volgarizzazione dei trattati contribuì anche a dipanare conoscenze meccaniche e architettoniche prima proibite a causa del latino, lingua usata tradizionalmente per il recupero della matematica antica e, allo stesso tempo, ostica per molti dei professionisti che frequentavano i cantieri, in quanto privi di una formazione umanistica⁵¹⁵. Tuttavia, non tutti gli architetti erano interessati al contenuto dei testi di matematica antica. Alcuni, gli architetti pratici, erano più propensi ad affidare la propria pratica *operandi* all'esperienza, senza tener conto di una possibile utilità tecnica conferita dalla teoria meccanica e dalla geometria. Per Baldi l'architetto pratico non era solo colui che dava priorità alla propria esperienza, rispetto alla "modellizzazione" delle pratiche operative, ma era anche chi finalizzava la propria opera all'ottenimento di un guadagno, anziché fare progredire le conoscenze mediante il sapiente incontro di "scienza" e tecnica.

Proviamo ad analizzare la posizione di Baldi. Per l'urbinate, la matematica considerata di per sé è contemplativa, e per questo nobile e degna, ma se è applicata alla materia allora riesce ad

⁵¹² Per un esame della misteriosa attribuzione e delle indicazioni matematiche contenute nel *Ritratto di fra Luca Pacioli con un allievo* rimandiamo a Gamba, 2010; Ciocci, 2017.

⁵¹³ Baldi, 1707. Sulla doppia lettura *Cronica-Vite* si veda l'introduzione di Nenci in Baldi, 1998. Alcune delle vite contenute nelle *Croniche* sono trascritte in Appendice, A11.

⁵¹⁴ Per una contestualizzazione del ruolo della meccanica da un punto di vista sociale sia nella cultura greca sia nella cultura rinascimentale rimandiamo a Ferraro, 2008.

⁵¹⁵ Sul tema si veda anche Sgarbi, 2016, e Galluzzi, 1997. Per esempio il vescovo e filologo Claudio Tolomei in una lettera al Conte Asostino de Laudi (14 novembre 1542) notava che Vitruvio dovrebbe essere meglio tradotto soprattutto perché «le cose d'architettura son desiderate assai, e praticate oggidì da uomini che non hanno molta intelligenza di lingua latina, siccome scultori, dipintori, mastri di legname e architettori volgari», Berbiellini, 1757, pp. 5-6. La stessa esigenza è rivendicata da Giovanni Francesco Peverone, uomo colto che ha rivestito numerose cariche pubbliche con qualche mansione da architetto civile ricorda l'importanza di volgarizzare la scienza latina (Peverone, 1558). La seconda parte del trattato è molto interessante in quanto Peverone si cimenta nella traduzione volgare degli *Elementi* di Euclide per poi individuare alcuni ambiti di applicazione come, ad esempio, il calcolo dell'altezza delle torri e il modo di livellare gli acquedotti.

esprimere tutta la sua meraviglia. Infatti, nella prefazione manoscritta alle *Vite*, pubblicata da Narducci, Baldi scrive che la matematica è una scienza contemplativa, «poiché l'oggetto loro per sé stesso è intellettuale e non materiale», ma poco dopo si affretta a chiarire che «se tu cerchi l'opere, applicandole alla materia, ne trarrai meraviglie»⁵¹⁶. Quindi Baldi non riteneva che le discipline matematiche dovessero essere avulse da qualsiasi contatto con la materia, ma, al contrario, che la mano dovesse essere «ministra dell'intelletto». Seguendo il suo maestro Commandino, Baldi ricorda che le discipline matematiche, le quali hanno come oggetto di applicazione il dato sensibile e per questo sono dette anche matematiche subalterne, devono essere considerate degne e nobili al pari della matematica pura, perché le matematiche subalterne devono (o almeno dovrebbero essere) guidate dalle dimostrazioni che avvengono «per forza di ragioni Mathematiche», tanto che «né l'ingegno né le matematiche giuerebbono se bisognando poi uenire a esecuzione la mano non fosse atta minifra dell'intelletto»⁵¹⁷. Nel *Discorso di chi traduce sopra le Machine se moventi*, inserito come introduzione alla traduzione degli *Automati*, Baldi aggiunge alla sua riflessione sul rapporto matematica – pratici che i meccanici del suo tempo sono «stimati vili, e persone di niun conto [...] [, perché] essendo per lo più le persone che v'attendono, plebee, d'animo abietto, mercenarie, e tutte date alla sordidezza del guadagno, le cose trattate dal loro ne vengono affette, in un certo modo, e ne perdono quella riputazione che la propria perfettione dovrebbe apportar loro [...]. Benché altri potrebbero forse dire, che ciò fosse nato dall'errore fatto dalle persone ignoranti, le quali senza distinguer l'Architetto dal lavoratore manuale, hanno dato il nome dell'Architetto al manuale medesimo»⁵¹⁸.

⁵¹⁶ Prefazione manoscritta di Baldi alle *Vite* pubblicata da Narducci, in Baldi, 1887, pp. 1-3, e rimasta manoscritta: «Che scrivendo io d'un mio Maestro tacessi, e comportassi che se ne stesse immersa nell'obliuione la memoria di tanti e tanti altri eccellentissimi Matematici: da' quali non un huomo, né una città sola, ma le Provincie intere, et il Mondo tutto ha ricevuto dottrina. [...] E se queste cose paiono di poco momento chi mi negarà che da le regole de' Matematici non prendano le forme loro le città, le fortezze, i Teatri, i Palazzi, i Tempii, e tutti gli altri edifitii così pubblici come privati? [...] queste fabricano le machine offensive e difensive, ne' i tempi della pace in tutte le opere de gli huomini hanno grandissima parte. E per finirla in una parola, se tu vuoi le contemplazioni purissime, l'hai da le matematiche, poiché l'oggetto loro per sé stesso è intellettuale e non materiale; ma se tu cerchi l'opere, applicandole alla materia, ne trarrai meraviglie. [...] Quanto poi s'aspetta al titolo de l'opera, io la chiamo Vite de' Matematici, e non de' Geometri o Astrologi, per abbracciarvi tutto il genere, sotto al quale si raccolgono gli Aritmetici, i Musici, i Mecanici, i Perspettivi, e gli altri che attendono a quelle professioni, che alle matematiche son subalterne».

⁵¹⁷ Baldi, 1589a, 10v.

⁵¹⁸ Baldi, 1589a: «Dico dunque che la divisione, la quale si fa delle subalterne alle Mathematiche, v'è quella parte, ò spetie di loro che ha preso il nome delle Machine, e si chiama Mechanica, ò Machinativa, avvenga che non sempre le dimostrazioni Mathematiche versino intorno à gli accidenti propri delle quantità separate dalla materia; ma tal'hor anco s'adattino a soggetti sensibili, e dimostrino 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 moltiplicata di quelle machine 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 subalterne alle Mathematiche, percioche, se bene il suggetto è fisico, sono dimostrate per forza di ragioni Mathematiche: la onde Mathematiche sono, in quanto la dimostrazione, e naturlae, in quanto s'aspetta al suggetto, come insegnò benissimo il Filosofo nelle posteriori Resolutorii, e nel principio de Mechanici. Noi, lasciate da parte l'altre subalterne, ragioneremo delle Mechaniche, e di queste non abbracceremo tutto il genere, ma discorreemo solo di quella parte di lui, che si distente intorno alle Machine Semoventi. [...] Il che non avviene in queste semoventi, nelle quali iil principio del moto che è il contrapeso, se ne sta nascosto [...] Maestro di queste macchine, secondo Pappo, e Ateneo438, 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 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'esecuzione la mano non fosse atta ministra all'intelletto, manco industria richiedono, come si disse, gli spiritali; un poco maggiore le semoventi stabili; grandissime poi le semoventi 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 ignegnossissime e di conseguenza, nobili, che più adoperano l'ingegno, e meno il corpo, e essendo tale la natura di queste, che gli artefici soprattutto gli altri vagliano dell'intelletto, a meno del corpo: 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

Pertanto, secondo Baldi l'architetto pratico non è solo colui che non apprezza la meccanica e l'architettura come discipline teoriche, affidandosi esclusivamente all'esperienza, ma anche chi nel corso del tempo ha cosperso la meccanica di indegnità per averla impiegata solo per l'utile economico e non per l'utile sociale, in quanto, sottolinea Baldi, la meccanica dovrebbe avere come fine l'utile per la società e il piacere onesto. L'arringa dell'urbinate ha come obiettivo quello di ripristinare l'antica dignità delle discipline matematiche, in particolare della meccanica e dell'architettura. Per questi motivi, Baldi scelse di assegnare al latino, lingua più nobile e aulica del volgare, la trasmissione delle sue opere di meccanica più rilevanti dal punto di vista della novità del contenuto e che andavano al di là di una mera traduzione o esposizione narrativa, come i commentari al *De Architectura* di Vitruvio e ai *Problemi meccanici* di Aristotele. Il latino consentiva a Baldi di conferire dignità alla meccanica e di giustificare culturalmente il proprio lavoro, in quanto quest'ultimo riguardava un settore tradizionalmente di competenza dei lavoratori manuali. La dignità della meccanica e dell'architettura, matematiche miste e nobili ma spesso denigrate e collocate tra le arti vili, viene ribadita sia nel *Discorso di chi traduce sopra le Machine se moventi* sia nella prefazione alle *Exercitationes*⁵¹⁹. Questo tentativo di nobilitazione delle arti meccaniche non rappresentava una novità. Esso si inseriva in una tendenza che possiamo inquadrare in un'anacronistica esigenza di autonomia delle singole discipline. A questa tendenza possiamo ascrivere, oltre il *Mechanicorum Liber* (1577) di Guidobaldo del Monte e la sua versione volgare (1581), il *De re metallica* (1556) dell'intellettuale Giorgio Agricola – testo di mineralogia e di metallurgia in latino avente un'appendice contenente la traduzione tedesca dei termini tecnici latini –, il *De re Pirotechnia* (1540) dell'artigiano Vannoccio Biringuccio – trattato in volgare riguardante la polvere da sparo e la metallurgia – e il *De humani corporis fabrica libri septem* (1542) del medico Andrea Vesalio – opera considerata uno dei primi trattati di medicina moderna (in quanto l'arte medica veniva presentata meno galenica e più pratica) –. Tutte queste opere avevano dato lustro alle arti tecniche e contribuito alla loro diffusione. I numerosi trattati pubblicati sono indicatori di un processo di emancipazione sociale e culturale degli esponenti delle professioni più tecniche e considerate tradizionalmente meno nobili rispetto a quelle specificatamente intellettuali, disancorate per definizione dall'uso pratico⁵²⁰. Dal punto di vista di Baldi, era necessario ripristinare la dignità delle discipline matematiche miste, la cui “rispettabilità” era dovuta al fatto che fossero costituite da una componente teorica. Per recuperare il loro onore, secondo Baldi bisognava ristabilire la predominanza dell'intelletto sulla

affette, in un certo modo, e ne perdono quella reputatione che la loro perfettione dovrebbe apportare loro; e ciò avviene appunto 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 abbiano 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 [...] Il chiamar dunque Mechanici i Ministri de Mecanici ha consperso il nome di quella bruttura che hoggi di porta seco. O per questa dunque o per quell'altra cagione che ciò si sia avvenuto. Nobil dunque per stesse sono queste arti, ma ignobilitate da gl'accidenti, che dicevamo; e della nobilità loro potiamo accorgerci di qui, che l'invention loro è antichissima, e antichissima la riputazione: che è meravigliosa, che principalmente è aiutata dalla purità, e della finezza dell'intelletto; che non imbratta il corpo, che non ha molto bisogno della forza di lui; e insomma, che per se stessa non dirizzata la guadagno, ma solamente a un piacere, che fra quelli del senso, comq quello della musica è puro, e honesto [...]. Veniamo hora a dire qualche cosa del fine à che sono ritrovate, come serve alla felicità, percioche di qui pigliano tutte le cose che si fanno, natura di buone, o di cattive [...] Nondimeno a chi considera il vero, il biasimo e la lode non è nell'istrumento, il quale come semplicemnte è buono, così semplicemnte deve lodarsi, ma in colui che bene o male, cioè, o virtuosametne, o viziosamente se ne serve».

⁵¹⁹ E' complicato risalire all'origine della denigrazione delle meccaniche, per esempio nel Medioevo, periodo in cui la cultura ufficiale era intrisa di scolasticismo, le arti meccaniche non venivano sempre ritenute vili e di ostacolo al percorso conoscitivo. Sul tema si veda, per esempio, Walton, 2014.

⁵²⁰ Sulla trattatistica “tecnica” cinquecentesca e sullo sviluppo della consapevolezza dei “presupposti metodologici” da parte dei tecnici riguardo alla propria disciplina si veda Rossi, 2017, pp. 60-78.

manualità, in quanto quest'ultima doveva essere sempre guidata dal sapere e dalla conoscenza⁵²¹. L'urbinate aveva affidato queste sue convinzioni anche alla forza comunicativa della poesia: ad esempio, nel caso dell'*Arciero, ovvero della felicità del Principe* Baldi innalza le capacità tecnico-architettoniche alle virtù civili⁵²².

Baldi non rinchiuse solo nel testo scritto le sue elucubrazioni riguardanti l'architettura, poiché più volte ebbe modo di intervenire nelle attività architettoniche, come nel caso degli incarichi ricevuti dal Duca di Guestdalla Ferrante II Gonzaga e durante la sua permanenza a Roma e a Urbino. Ci sono notizie sul fatto che l'urbinate fosse stato responsabile anche del rifacimento della pianta della Chiesa di Santa Chiara e dell'aggiunta della cupola⁵²³. Inoltre, nella Biblioteca Oliveriana di Pesaro è presente un manoscritto riconducibile a Baldi dal titolo *Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro* (BOP, ms. 328, tomo I, cc. 5r-8v)⁵²⁴. Tale manoscritto è inserito in una lettera inviata il 26 agosto 1730 da Pompeo Compagnoni, il quale probabilmente aveva ricevuto l'autografo da Pietro Polidori, ad Annibale degli Abati Olivieri⁵²⁵. Purtroppo il manoscritto di Baldi è senza data, pertanto non possiamo collocarlo cronologicamente con certezza, anche se possiamo ritenere che venne presumibilmente scritto prima del 1614, anno della costruzione del nuovo porto. Nel manoscritto *Parere di Bernardino Baldi intorno al porto di Pesaro*, che trascriviamo in appendice, Baldi applica le sue conoscenze geometriche in modo da trovare una soluzione pratica per ridurre sia il rischio di cedimento degli argini del fiume Foglia sia i danni arrecati dal fiume al porto di Pesaro⁵²⁶.

Negli anni che vanno dal 1550 al 1850, il territorio pesarese aveva spesso sofferto le piene più o meno distruttive del fiume Foglia con conseguente abbassamento della salubrità dell'aria dovuto al terreno paludoso circostante. Le piene furono controllate a stento con la costruzione di strutture lignee chiamate *palizzate*, aventi lo scopo di rendere più solidi gli argini del fiume. Le memorie pesaresi ricordano l'esondazione del 1558, a seguito della quale Francesco Maria II della Rovere incaricò, tra il 1613 e il 1614, l'architetto ducale Niccolò Sabbatini⁵²⁷, allievo di Guidobaldo del Monte, di deviare il tragitto del fiume con conseguente costruzione di un nuovo porto. L'opera promossa dal duca non risolse completamente il problema: nel 1695 una nuova piena causerà la rottura degli argini e farà tremare le aree circostanti⁵²⁸. Secondo Baldi i motivi responsabili delle esondazioni del Foglia erano riconducibili alla eccessiva portata del fiume, la quale doveva essere causata soprattutto da tre ragioni connesse alla lunghezza del suo percorso (il Foglia nasce dal Monte Sovara, nell'Alpe della Luna in Toscana, e ha una lunghezza di circa 90 km): dalle piogge che cadono sull'Appennino, da quelle che

⁵²¹ Baldi, 2010, Prefazione dell'autore: «Tutta la meccanica, secondo quanto ne dice Erone [...] si divide in razionale (cioè teorica) e chirurgica (cioè manuale), che possiamo meglio chiamare pratica. La razionale è oggetto di ricerche e di dimostrazioni teoriche in base a ragione della geometria, dell'aritmetica e della fisica; la chirurgica si occupa della materia, e si articola nelle diverse arti del bronzo, del legno, della scultura, della pittura, della edilizia, della costruzione delle macchine, della taumaturgia, e nelle altre arti dello stesso genere». Di Pasquale, 2004, pp. 225-226, cita un passo dalle *Collezioni Matematiche* di Pappo in cui viene ricordata che l'idea della meccanica costituita da una parte teorica e una pratica sia da far risalire alla tradizione eroniana. Un tentativo di ribadire la differenza tra meccanica "a trazione razionale" dalla meccanica "a trazione manuale" lo troviamo nell'*Encomio della patria*. Qui Baldi divide la società in quattro gradi, posizionando al terzo grado quelli «che frà i sordidi meno sono imbrattati nell'arti meccaniche» e al quarto grado gli «artefici vili». Sicuramente queste accuse non erano rivolte ai Barocchi, oltre per un motivo campanilistico dal momento che le produzioni delle officine urbinati erano largamente apprezzate, soprattutto perché pensiamo che la loro collaborazione, nel caso specifico di Simone Barocci, con Commandino e Guidobaldo potessero rappresentare l'emblema di come Baldi immaginava dovesse essere compiuto il lavoro di meccanico.

⁵²² Baldi, 1590, pp. 429 e 501; Siekiera, 2009, p. 305.

⁵²³ Serrai, 2002, p. 24.

⁵²⁴ Intendo ringraziare la dott.ssa Brunella Paolini e il personale della Biblioteca Oliveriana di Pesaro per la cordialità e professionalità mostrate durante la ricerca.

⁵²⁵ Zaccagnini, 1908, pp. 105-106. Si veda anche Serrai, 2002, pp. 23-24 e Becchi, 2004, pp. 54-57.

⁵²⁶ Appendice, A10. Baldi ricorda i detriti del fiume Foglia sia nel componimento *La Nautica* (Baldi, 1590, p. 41) sia nella *Descrittione del palazzo d'Urbino*, composta tra il 1586-1587 (Baldi, 1590, Capitolo *Della materia del Palazzo*, p. 559). Sulla *Descrittione del palazzo d'Urbino* si veda l'introduzione di Sikiera, in Baldi, 2010.

⁵²⁷ Gamba ricorda che una copia dell'opera di Sabbatini sulla scenografia, *La pratica di fabricar scene*, è stata ritrovata nella biblioteca di Leibniz. Gamba, 2001b, p. 105.

⁵²⁸ Sul tema si vedano Domenico, 1842, pp. 32-37; Degli Abati-Olivieri Giordani, 1774; Bertini e Catolfi, 2010.

cadono sui monti d'Urbino e dal loro incontro con il mare agitato. Inoltre, evidenzia Baldi, passando per luoghi arati e coltivati il fiume trascinava a valle molta terra. Dopo aver illustrato le ragioni, Baldi esamina i danni che il fiume arrecava al porto per poi proporre dei rimedi. Innanzitutto, Baldi rileva che le palificate erano state rovinare dal fiume impetuoso a causa del fondo arenoso e della «brevità dei pali», i quali difficilmente sarebbero potuti resistere a una «grossa fiumana». Infine, dopo aver quantificato le forze del fiume che spinge sulle travi e la resistenza della palificata, l'urbinate proponeva un'alternativa. Scrive Baldi che una buona soluzione potrebbe essere quella di riempire la metà inferiore di pietra e la metà superiore di fascine e terra e, per evitare che la forza del fiume sposti la punta dei pali, rinforzare i pali che affondano sul fiume con pali verticali di sostegno più lunghi e porre pali inclinati che spingano sulla palificata in modo da ridurre il rischio di cedimento. L'uso di pali inclinati per sorreggere la palificata trova spiegazione geometrica nell'importante commento alla *Quaestio XVI* dei *Problemi meccanici* di Aristotele, dove Baldi spiega l'importanza architettonica dei puntelli inclinati per sostenere una trave orizzontale⁵²⁹. Qui Baldi afferma che l'aggiunta di supporti produce una maggiore distribuzione dei pesi e, dunque, questa configurazione permette una migliore resistenza della struttura. Senza entrare nei dettagli, ricordiamo solamente che nel commento alla *Quaestio XVI* Baldi chiarifica l'affidabilità di questa pratica architettonica applicando il principio della leva.

Seguendo le orme di Guidobaldo, secondo Bernardino Baldi la costruzione tecnica deve essere guidata da una teorizzazione matematico-geometrica. In questo senso possiamo dire che nell'approccio meccanico di Baldi, come in quello di Guidobaldo, possiamo intravedere un approccio da tecnologo.

4.3.1 Automati

Negli anni che seguirono la morte di Commandino, i suoi migliori allievi portarono avanti il progetto del maestro dando lustro alle opere rimaste incompiute. Lo stesso fece Bernardino Baldi, il quale nel 1589 pubblicò la versione volgare *De gli Automati, ovvero delle machine se moventi* di Erone di Alessandria⁵³⁰.

Il trattato di Erone rappresentava una pietra miliare nella letteratura ingegneristica dell'epoca. Nell'opera Erone espone le tecniche di costruzione degli automi, rivelando il mistero che si cela dietro il movimento di alcuni marchingegni che sembrano muoversi da soli. Le macchine esaminate nel testo eroniano sono perlopiù strumenti teatrali e scenici. Secondo Nenci, Baldi tradusse gli *Automata* in volgare perché vedeva l'importanza dell'opera solamente nel suo interesse storico, dal momento che i contenuti tecnici erano ormai superati dalle nuove tecnologie⁵³¹.

Baldi antepone al trattato sugli automi il già citato *Discorso di chi traduce sopra le Machine se moventi* (d'ora in poi *Discorso di chi traduce*). Nel *Discorso di chi traduce* Baldi presenta lo status della meccanica, quale disciplina «subalternata» alle matematiche e caratterizzata dall'armonica unione della due componenti: teoretica ed empirica. Le stesse argomentazioni in favore dell'importanza della meccanica verranno in parte ribadite nella prefazione alle *Exercitationes*. Nelle pagine successive del *Discorso di chi traduce* Baldi illustra i primi congegni inventati dal grande architetto e inventore Dedalo e, infine, descrive gli strumenti dei più famosi costruttori fino ai suoi giorni⁵³². Nel proemio trova spazio anche un breve ma incisivo riferimento all'officina Barocci e alla fabbrica di Pietro Griffi da Pesaro. Nel *Discorso di chi traduce*, Baldi scrive che tutti gli automati si possono dividere in due tipi: spirituali e semoventi. I primi hanno «il moto dallo spirito rinchiuso»; i secondi si muovono grazie a un sistema nascosto di pesi e contrappesi, che è parte della macchina

⁵²⁹ Baldi, 2010, pp. 231-233. Sul tema si veda Becchi, 2004, pp. 80-82.

⁵³⁰ Ferraro, 2008, p. 12, riferisce che Gian Vincenzo Pinelli mise a disposizione di Baldi un manoscritto degli *Automata* più corretto di quello che aveva a disposizione Commandino. Sulla traduzione degli *Automati* da parte di Baldi si veda anche Micheli, 2005.

⁵³¹ Baldi, 1998, pp. 36-45.

⁵³² Sugli automi nell'antichità si veda Micheli, 1980.

stessa. Gli spirituali, a loro volta, possono dare principio al moto mediante l'applicazione di diversi stratagemmi, come la spinta dell'aria e dell'acqua. Le macchine semoventi si distinguono in due tipi: mobili, se tutta la macchina si muove, e stabili, se solamente alcune parti della macchina si muovono. Nel *Discorso di chi traduce* assurge a ruolo centrale il sentimento di meraviglia suscitato dalle macchine che sembrano muoversi da sole. Tuttavia, chiarisce Baldi, la meraviglia non deve essere riferita al senso di miracolo che proviamo osservando tali macchine semoventi, ma piuttosto dalla capacità che ha l'uomo di fare uso di ciò che la natura gli fornisce e di riprodurre artificialmente il comportamento della natura stessa grazie alle conoscenze tecniche e matematiche. Secondo Baldi l'abilità tecnica deve essere guidata dai principi matematici: è proprio questo rapporto di "sottomissione" della componente pratica alla componente matematica il custode della dignità e della reputazione della meccanica. Secondo Baldi nel corso del tempo la dignità delle meccaniche è stata fortemente danneggiata, perché «dopò che cominciorno à maltrattarle i ciurmatori, i salimpanchi, i circolatori, & altre genti infami, e mercenarie, e ciò ha cagionato che la parola Mechanico, la quale alle orecchie greche suonava con titolo di honorato inventore, e fabricatore di Machine; alle genti di questo tempo, e paritocolamente Italiane, altro non significhi, eccetto che vile mercenario, abietto, volgare e sordido [...]». Il chiamar dunque Mechanici i Ministri de Mekanici ha consperso il nome di quella bruttura che hoggi di porta seco». Verso la parte finale del *Discorso di chi traduce*, Baldi inserisce un'interessante riflessione sul valore morale dello strumento⁵³³. Baldi si chiede se la tecnica possa contribuire al conseguimento della felicità o la ostacoli. Secondo Baldi gli strumenti sono in generale «cosa buona, come sono i penelli, le seghe, et i danari». Tuttavia, essi possono essere «oprate malamente, cioè fuori di tempo et à cattivo fine». Pertanto, la tecnica non deve essere considerata né buona né cattiva, poiché, scrive Baldi, queste valutazioni morali possono essere attribuite solamente all'uso che l'uomo fa degli strumenti. Le considerazioni di Baldi hanno come obiettivo quello di difendere la dignità delle macchine, le quali, rispetto alle ingannevoli «arti soprannaturali», sono indirizzate verso un «honesto» e «virtuoso» piacere. Parafrasando e decontestualizzando il discorso dell'urbinate, viene spontaneo chiedersi cosa potesse aver pensato del cannone, ovvero uno tra gli strumenti più pericolosi, in quanto strumento di distruzione, e più utili, in quanto fondamentale strumento di difesa in un'epoca segnata da lotte intestine. Nella traduzione delle *Belopoeica* di Ctesibio e tramandata da Erone, un trattato tecnico sulla costruzione delle armi da getto, Baldi descrive l'artiglieria come fulmini o mostri. Il suo giudizio verrà rimarcato nel poema *L'artiglieria*⁵³⁴. Le considerazioni appena citate sembrano presagire i dilemmi etici che accompagnano gli attuali sviluppi della tecnologia, che inducono a chiedersi se la scienza non debba autolimitarsi ed evitare di percorrere strade pericolose, come ad esempio lo studio di virus letali e le nuove frontiere della

⁵³³ Baldi, 1589a, *Discorso di chi traduce sopra le machine se moventi*: «Veniamo hora a dire qualche cosa del fine a che sono ritrovate, e come serva alla felicità, perciocché di qui pigliano tutte le cose che si fanno, 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 fono i penelli, le feghe, & i danari, nondimeno che poffano effere oprate malamente, cioè fuori di tempo & à cattivo fine; Cofi pare ancora che fia in strumento de la felicità il traftullo, & il giuoco, auenga che prefo per recreatione, e per folleuamento del'animo, oppreffe dalla fomma de penfieri, egli fia degno di lode, oue prefo per principale attione e fatto fine, merita biafimo, e uituperio. Nondimeno à chi confidera il uero, il biafimo, e la lode non è nell'instrumento, il quale, come femplicemente è buono, cofi femplicemente deue lodarfi, ma in colui che bene ò male, cioè, ò uirtuofamente, ò uitiofamente fe ne ferue. Vi fono certi luoghi, e tempi, ne quali da più feueri filofofi, che habbiano infinitu repubbliche, e fatto lecito il celiar dalle fatiche, & ricrearfi con qualche honefto piacere, il che fommamente gioua alla particolare, & alla publica felicità; e di qui fono i di geniali, le fefte, gli fpettacoli, le caccie, le giofite, & i publici conuiti. Fra le cofe dunque che poffono fomminiftrarci honefto, & uirtuofa piacere, poffono ragioneuolmente riporfi quefte machine, di che noi parliamo; e ciò tanto più, che dall'ingegno pendono tutti quefti artificij, e non dall'arti diaboliche, e riprouate, come fono quelle degl'incantatori, che con l'aiuto de mali fpiriti fanno trauedere. Seruefi dunque luna de' principij naturali, e l'altra de' fopranaturali, ma diabolici: La onde rifpondono colì fra loro, come la magica, e la magia naturale, luna delle quali è difcacciata da tutte le leggi, e l'altra abbracciata, e lodata fopra modo».

⁵³⁴ Baldi, 1616, pagina non numerata (p. II). Ne *L'artiglieria* Baldi scrive: Dopo mille anni e mill'anni, al secol nostro;/ gia per mille cagion nimico al cielo,/ venisse à noi lo spaventoso ordigno,/ dalle mani di Pluton (Biblioteca Nazionale di Napoli, ms XIII D. 38, c. 196r, in Serrai, 2002, p. 184).

manipolazione genetica. Queste riflessioni spesso trascurano l'importanza della libertà della ricerca, la quale non può e non deve essere considerata né negativa né positiva. Negativo o positivo, come nel caso del «penello» di Baldi, sarà invece l'uso che può essere fatto dello strumento. Diversamente, come all'epoca di Baldi è difficile trovare una giustificazione alle ricerche in ambito bellico se non i viscerali interessi economici e geopolitici che le guidano. Ci vantiamo spesso della superiorità della nostra cultura rispetto a quella medievale o premoderna, poiché caratterizzata dal progresso economico, scientifico, industriale e "sociale". Tuttavia, questo progresso nasconde, ma neanche troppo, delle contraddizioni che non ci fanno certo essere più "evoluti" di coloro che sono vissuti in epoche precedenti. In alcune scelte politiche e in alcuni nostri comportamenti privati non sembriamo essere del tutto progrediti. Per esempio, all'indomani della Prima e della Seconda guerra mondiale e degli stermini che hanno dilaniato intere popolazioni sarebbe forse ragionevole smettere di investire nel settore bellico. Invece, al contrario, si persegue ancora imperterriti questa strada, quasi avendo cancellato senza rimorsi le tracce di un passato ancora molto vicino. Secondo il nostro punto di vista, investire nelle armi leggere e di distruzioni di massa ha come scopo la preservazione del potere politico ed economico mediante l'incremento della cosiddetta strategia della tensione. Infatti, gli investimenti in questo settore vengono tendenzialmente giustificati facendo riferimento alla necessità di prevenire le ostilità o di difendere la propria incolumità. Alla base di tale motivazione possiamo collocare l'idea di diffidenza (ancora) radicalmente ancorata nell'animo umano, e che con fatica può essere estirpata, che favorisce potenziali situazioni di guerra di tutti contro tutti. Aristotele scriveva nella *Politica* che l'uomo è un animale politico, in quanto è portato per natura a unirsi con i propri simili e a formare una comunità. Per Aristotele questa indole, propria dell'uomo, doveva essere un qualcosa di positivo per l'intero genere umano. Molti secoli dopo, forse a causa dei numerosi conflitti di cui l'uomo si era reso nel tempo protagonista, Thomas Hobbes riprenderà l'asserzione aristotelica e la declinerà secondo il carattere dell'uomo del suo tempo. Secondo il filosofo inglese, l'uomo sceglie di unirsi in una comunità per sopravvivere alla violenza dei suoi simili propria dello stato di natura in cui vige un regime di guerra tutti contro tutti. Pertanto, secondo Hobbes, nello stato di natura l'uomo non è un "animale politico" ma un lupo bramoso ed egoista. Secondo la realtà che abbiamo davanti, ci sembra piuttosto che la stessa politica sia il luogo naturale in cui l'uomo può legittimamente riversare sull'altro la sua perenne volontà di sopraffazione.

Nel 1592, un altro allievo di Commandino, Alessandro Giorgi, pubblicò la versione volgare di un'altra opera di Erone, gli *Spirituali*⁵³⁵. Nell'*Introduzione* Giorgi rivendica il ruolo dell'ingegno nel porre in esecuzione la meccanica. L'arte meccanica, continua Giorgi, è fondata sia nella ragione sia nell'esperienza, entrambi componenti dell'ingegno. L'esperienza, acquistata per mezzo di molte prove simili apprese dai sensi, ma meno nobile dell'arte meccanica, ha comunque un ruolo attivo nell'ingegno del Meccanico ed è persino guida di colui «che non sappia la ragione de gli effetti».

L'isperimenta è vna notitia acquistata col mezzo dimolte proue simili apprese da i sensi; l'artefice inelprto molte volte non consegue il fine, per cagione della materia che tratta, la cui natura è à lui forse mal nota, ma chi opera colmezzo de l'isperimenta, tutto che non sappia la ragione de gli effetti, la pratica li è guida, ne lo lascia in tutto errare, tuttauia l'isperimenta è pure assai men nobile de l'arte. L'instrumento è differente dalla machina; perché è più semplice, come sono il martello, la sega, e simili, euui anco vn'altra differenza, che l'instrumento non si moue à operare da se, ma qualche machina li bene.⁵³⁶

In questo passo sarebbe troppo trovare un indizio delle galileiane «sensate esperienze» e «necessarie dimostrazioni» o addirittura un germe della futura visione empiristica della conoscenza. L'intenzione di Giorgi è quella di ricordare l'utilità dell'esperienza, la quale dovrebbe però essere sottomessa alla conoscenza teorica delle cause. Tre anni prima della versione di Giorgi era stata pubblicata un'altra

⁵³⁵ Commandino, 1575b.

⁵³⁶ Giorgi, 1592, p. 4v.

versione degli *Spirituali* curata dall'architetto Giovan Battista Aleotti. Quest'opera fu sicuramente consultata da Giorgi, come dimostrano alcuni interni, seppure cintillinati, riferimenti⁵³⁷.

Gli *Spirituali* di Erone contengono numerosi progetti di automi azionabili mediante la pressione dell'acqua, del vapore e dell'aria. L'opera eroniana si apre con un'importante digressione, avente la forma di proemio in cui si descrive che l'aria è un corpo che occupa spazi vuoti⁵³⁸. Al proemio di Erone entrambi i traduttori fanno seguire dei loro commenti, sebbene con alcune differenze: Aleotti da architetto e ingegnere usa esempi riferibili all'artiglieria militare; Giorgi, invece, da allievo "fedele" di Commandino, è più attento all'etimologia linguistica dei termini impiegati⁵³⁹.

Nel 1616 Baldi pubblicò una seconda opera di Erone riguardante la costruzione di armi da getto, il già citato *Belopoeica*. In appendice all'opera Baldi inserisce la vita di Erone, nel quale discute il concetto di vuoto. Sebbene Baldi ritenesse dal punto di vista del contenuto tale traduzione obsoleta per i progressi compiuti dall'artiglieria, egli era convinto che le indicazioni potessero fungere da stimolo per i moderni inventori e da *divertissement* per gli animi liberali. *Belopoeica* è un'opera estremamente interessante ma che ancora, ad eccezione del contributo di W. Roy Laird in *Mathematical practitioners and the Transformation of Natural Knowledge in Early Modern Europe*, non ha riscosso molta attenzione da parte degli studiosi⁵⁴⁰.

4.3.2 *Exercitationes*

In *mechanica Aristotelis problemata exercitationes* (d'ora in poi *Exercitationes*), cioè "esercitazioni" sui *Problemi meccanici* di Aristotele, sono il lavoro baldiano che recentemente ha più affascinato gli studiosi. Sebbene ora siano ricondotti alla scuola peripatetica, noi - in linea con l'interpretazione data dalla maggior parte dei commentatori rinascimentali - attribuiremo i *Problemi meccanici* ad Aristotele. Le *Exercitationes* di Baldi sono state commentate e tradotte in italiano da un'equipe multidisciplinare grazie a un progetto PRIN, vinto nel 2006, dal titolo *La tradizione della meccanica antica nel Rinascimento. Alle origini della meccanica moderna: problemi filosofici, scientifici e filologici*⁵⁴¹.

Le *Exercitationes* ebbero una gestazione molto lunga, a causa delle morti improvvise dell'editore, prima, e dell'autore, poi. Solo nel 1621, grazie all'intervento della moglie dell'editore che rilevò la casa editrice, l'opera vide la luce. Numerosi studiosi hanno notato che nelle commemorazioni e negli elogi dell'urbinate vengono spesso segnalate altre opere, anche in volgare, sulla meccanica aristotelica. Fabrizio Scarlencino, che aveva a disposizione notizie di prima mano, per esempio, affermava che nel 1582 Baldi aveva scritto due commentari sui *Problemi meccanici*⁵⁴². Gli studiosi ritengono che nel corso del tempo questi scritti andarono perduti o che fossero le bozze che confluirono progressivamente nelle *Exercitationes*. Questa seconda ipotesi è la più ragionevole, dal momento che Baldi rimaneggiò costantemente l'opera almeno fino al 1586, come testimonia il riferimento nella prefazione al libro sulla statica *De Beghinselen der Weeghconst* (1586) di Stevin. L'opera di Baldi, benché avesse avuto un'immediata diffusione, non dovette incontrare dei giudizi

⁵³⁷ Aleotti, 1589.

⁵³⁸ Commandino, 1575b, pp. 1r-9v.

⁵³⁹ Giorgi, 1592, pp. 12r-12v; Aleotti, 1589, p. 8.

⁵⁴⁰ Laird, 2017.

⁵⁴¹ Lo studio e la traduzione italiana delle *Exercitationes* baldiane furono al centro del progetto di interesse nazionale (PRIN 2006) intitolato *La tradizione della meccanica antica nel Rinascimento. Alle origini della meccanica moderna: problemi filosofici, scientifici e filologici* e coordinato da Gianni Micheli (Università di Milano, Dipartimento di Filosofia, 2006-2008), Antonio Becchi (Università di Genova, Dipartimento di Scienze per l'architettura, 2006-2007) e Orietta Pedemonte (Università di Genova, Dipartimento di Scienze per l'architettura, 2008). Il risultato del progetto fu la traduzione italiana delle *Exercitationes* (Baldi, 2010), pubblicata nel 2010 a cura di Elio Nenci.

⁵⁴² Baldi, 2010.

completamente positivi, soprattutto per la scarsa qualità delle figure allegate⁵⁴³. Infatti, Daniel Mögling, che inserirà un'ampia parte del commentario baldiano nella sua edizione sulla meccanica, correggerà le figure adeguandole al testo⁵⁴⁴. Pochi mesi dopo la diffusione delle copie, Oddi affiderà a una lettera inviata a Pier Matteo Giordani la sua critica sia nei confronti della pessima estetica dell'edizione, in particolare della qualità delle immagini, sia in merito al metodo di analisi delle questioni aristoteliche. Riguardo a quest'ultimo punto segnaliamo la critica al tentativo di Baldi di correggere Aristotele con Archimede, perché, secondo Oddi, Aristotele, per la cultura scientifica del proprio tempo, aveva già intuito molto e perché Archimede aveva seguito la pista tracciata da Aristotele. Oddi rileva anche la petizione di principio di alcuni argomenti di Baldi, per esempio in merito al problema della diversa velocità di due ruote concentriche con diametro diverso, e alcune errate approssimazioni di calcolo⁵⁴⁵. L'opera venne pubblicata in latino perché tale lingua si presentava come strumento di nobilitazione della meccanica e come un mezzo che avrebbe conferito maggiore visibilità all'opera che, grazie all'editore tedesco, ambiva fin dall'inizio a una diffusione su larga scala.

Nelle *Exercitationes* Baldi commentava la meccanica di Aristotele utilizzando come parametri le dimostrazioni matematiche della statica archimedeica e le esperienze dei tecnici. Da un punto di vista epistemologico, Baldi non si allontanò dalla tradizione culturale in cui era immerso, in quanto continuava a distinguere programmaticamente oggetti matematici (punti non materiali, linea e piani) da oggetti fisici (corpi)⁵⁴⁶. Diversamente Galileo opererà un netto cambio di impostazione, amalgamando le due interpretazioni della natura. Nonostante questa profonda differenza metodologica, le *Exercitationes* contengono alcune intuizioni di notevole interesse e alcune di queste, filtrate da Giovanni de Guevara, verranno rimodulate da Galileo nei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*. Nel commentario di Baldi convergono altresì le diverse tradizioni esegetiche della meccanica aristotelica, come la parafrasi di Piccolomini, il ruolo strategico rivestito dal centro di gravità, filtrato da Pappo, e il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte.

Pierre Duhem sostiene che Baldi avesse tratto alcune ipotesi architettoniche riguardanti la meccanica delle travi e alcune considerazioni sul centro di gravità da Leonardo da Vinci⁵⁴⁷. Come rileva Antonio Becchi, l'interpretazione dello studioso francese è forse troppo incauta. Nonostante Baldi fosse stato alla corte di Carlo Borromeo negli anni in cui i codici del genio toscano facevano il loro accesso alle biblioteche milanesi, non sappiamo se l'urbinate avesse avuto modo di studiare gli scritti di Leonardo. È invece più probabile che le fonti di Baldi fossero le opere di Archimede, di Pappo e, aggiunge Becchi, di Villelundo, con cui sembra aver avuto una certa familiarità⁵⁴⁸.

4.4 *Problemi meccanici e pratiche argomentative da Aristotele a Galileo*

I *Problemi meccanici* aristotelici hanno impegnato e fatto discutere molti matematici del tempo. Baldi, Tartaglia, Guidobaldo, Benedetti e Galileo si misurarono con il contenuto dell'opera peripatetica, cercando di chiarire o di correggere, soprattutto mediante l'uso di nozioni archimedee, il senso dei concetti meccanici esposti. Molti studiosi hanno mostrato che l'esame dei *Problemi*

⁵⁴³ Le *Exercitationes* circolarono ampiamente: Oddi possedeva una copia, Daniel Mögling inserisce alcuni brani nella sua opera, i commenti baldiani furono alla base degli *Elements of Architecture* (1624) di Henry Wotton, de Guevara cita le *Exercitationes* nel suo commentario.

⁵⁴⁴ Mögling, 1629.

⁵⁴⁵ Sul tema Gamba, 2005. BOP, ms 413, cc. 11-12, Oddi a P. M. Giordani, 1620, in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 187-189.

⁵⁴⁶ Rose, 1974, p. 251-253

⁵⁴⁷ Si veda anche Capecchi, 2003, p. 14.

⁵⁴⁸ Antonio Becchi (in Becchi, 2017b) ha esaminato il codice baldiano conservato presso la Biblioteca di Napoli. Secondo lo studioso, il codice è una bozza delle *Exercitationes* ed esso potrebbe dirci qualcosa in più sulla datazione o almeno sul periodo in cui Baldi avrebbe lavorato all'opera, in quanto nel codice viene raffigurato un uomo che si china per raccogliere un oggetto da terra simile a quella pubblicata da Villalpando nel 1604 in *Ezechielen Explanations* (Villalpando, 1596-1604, vol. 3, p. 323).

meccanici ebbe un ruolo essenziale dell'evoluzione che ha vissuto la meccanica tra Cinquecento e Settecento⁵⁴⁹. Pertanto, riteniamo sia interessante porre a confronto le interpretazioni date da alcuni dei più importanti meccanici del XVI e del XVII secolo rispetto ai quesiti dei *Problemi meccanici* di Aristotele. Prima di procedere anticipiamo che saranno esaminate solo alcune tra le più importanti questioni meccaniche e che non sempre tali questioni saranno confrontate con i commenti di tutti i matematici elencati; questo perché non sempre questi ultimi si esposero sulle questioni prese in esame. Nel corso di questo paragrafo esaminiamo l'introduzione di Aristotele e le questioni I, II, IX, XVII, XVIII⁵⁵⁰. Dedicheremo invece un intero paragrafo alla *Quaestio* III, dal momento che è una tra le questioni più interessanti e maggiormente feconde. Nel corso dell'esame della questione III faremo anche riferimento al commento baldiano della *Quaestio* XVI, uno dei brani delle *Exercitationes* più innovativi. Non ci dilungheremo troppo nell'esame di quest'ultima, in quanto è già stata analizzata da Antonio Becchi, a cui rimandiamo per ulteriori approfondimenti⁵⁵¹.

Prima di confrontarsi con i *Problemi meccanici* aristotelici, Baldi apre il suo commentario con la definizione di meccanica. Secondo l'urbinate essa deve essere intesa come «quella disciplina che si serve della materia naturale e di dimostrazioni geometriche tratte dalla centrobarica e delle speculazioni relative alla leva e alla bilancia, provvedendo a ciò che è necessario e utile all'uomo, assecondando, o superando, con la propria forza la natura stessa, ottiene risultati meravigliosi». All'interno della descrizione Baldi fa convergere gli argomenti meccanici tramandati da Archimede, Pappo e Guidobaldo. Per l'autore urbinato la meccanica ha una natura mista, cioè materiale e geometrica, in quanto il suo campo di applicazione è la materia; mentre la sua azione è giustificata sulla base di dimostrazioni geometriche riconducibili alla centrobarica e al comportamento della leva. Inoltre, precisa l'urbinate, la meccanica provvede all'utile e alla necessità dell'uomo, assecondando e superando la natura. Sebbene usi Archimede per correggere Aristotele, in particolare facendo riferimento alle considerazioni di Archimede contenute ne *Sull'equilibrio dei piani*, Baldi non si distanzia dalla filosofia aristotelica basata sulla teoria dei luoghi naturali e sulla distinzione grave e leggero.

Nella parte dedicata all'*Oggetto della meccanica*, Baldi si dilunga nel definire centro di gravità. Baldi completa il concetto già stato esposto nel *Liber de centro gravitatis solidorum* di Commandino, precisando che il centro di gravità può essere all'interno o all'esterno del corpo, come nel caso di una ciambella. Conclude il paragrafo un riferimento al fatto che in un corpo potremmo individuare due centri di gravità, in quanto, scrive Baldi, se un corpo con centro di gravità in *B* viene spinto violentemente verso *D*, possiamo ritenere che, «con la ragione», «il corpo acquisirà un altro centro di gravità» (Fig. 32). Infatti, Baldi si affretta a spiegare, se considerato «realmente» il centro di gravità è uno, mentre sono due se sono considerati in relazione al moto violento e al moto naturale.

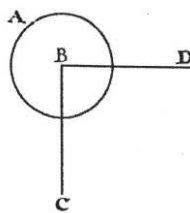


Fig. 32 Baldi, 2010, p. 74.

L'urbinate argomenta questa sua affermazione utilizzando come esempio la traiettoria di un proietto teorizzata da Tartaglia, in cui lo stesso corpo percorre tre movimenti: uno rettilineo violento, uno curvo e uno rettilineo naturale. Se noi osserviamo i tre movimenti separatamente, allora possiamo considerare il corpo come costituito da tre centri; invece, spiega Baldi, se noi consideriamo i moti come parte di un unico moto, allora il centro sarà sempre lo stesso, ovvero «l'unico B» (Fig. 33):

⁵⁴⁹ Sulla questione si vedano Becchi, 2008, e, più in generale Micheli, 1995.

⁵⁵⁰ Utilizzeremo come tradizione di riferimento quella curata da Ferrini (Aristotele, 2010).

⁵⁵¹ Becchi, 2004.

Sia infatti B il centro della gravità naturale del corpo A: qualora il corpo venga rilasciato, per sua natura cadrà in C, ma nel caso in cui esso venga spinto violentemente verso D, il corpo acquisirà un altro centro di gravità dalla violenza con cui, essendo mosso, viene portato in D. in realtà è lo stesso, ovvero l'unico B, però sono due se la violenza e la natura sono considerate separatamente.

Questi centri seguono due moti, entrambi rettilinei: uno naturale, l'altro violento. C'è poi un terzo moto, misto di questi due, esso non è rettilineo, ma curvo.

Infatti sia lasciato con violenza un corpo A; prevalendo la violenza, il corpo sarà portato in linea retta in B; ma esaurendosi la violenza poco a poco sarà portato in C dopo aver compiuto una linea curva e mista; fintanto che viene spinto avanti è per violenza, in quanto si porta verso le parti inferiori è per natura. Giunto che sia in C, venuta a cessare la violenza e rimanendo attiva la natura, il corpo cade verticalmente lungo CD.

Insomma questi centri, e questi moti, il naturale appunto e il violento, si combinano insieme in modi diversi.⁵⁵²

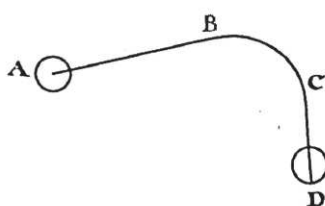


Fig. 33 Moto di un corpo lanciato con violenza, Baldi, 2010, p. 74.

Baldi passa poi ad esaminare il famoso *incipit* della parte introduttiva dei *Problemi meccanici*. Aristotele, dopo aver parlato dello stupore causato sia dai fenomeni naturali, di cui ignoriamo la causa, sia dai fenomeni meccanici contrari all'ordine naturale, espone le caratteristiche straordinarie e ambigue del cerchio. Lo stupore suscitato dalla non conoscenza dei fenomeni che accadono in natura e dalla paradossalità dei fenomeni artificiali prodotti dall'uomo è direttamente collegato al senso di meraviglia, il quale, come viene descritto nella *Metafisica*, è fonte dello stimolo alla conoscenza da parte dell'uomo.

Nel paragrafo *La leva e la bilancia secondo Aristotele*, Baldi spiega il senso di meraviglia esternato da Aristotele facendo riferimento al fatto che una leva possa alzare grandi pesi con piccola forza sia nel fatto che questo avvenga nonostante il peso della leva stessa: «Aristotele, proprio all'inizio delle *Questioni meccaniche*, scrive che desta meraviglia il fatto che un grande peso venga mosso da una forza esigua, aggiungendo un peso al peso, dato che anche la leva è un peso». Baldi non commenta il sentimento di meraviglia di Aristotele suscitato da tale prodigio meccanico. Chiarisce solamente che tale stupore può essere alleviato considerando che «se si confronta il peso della leva con i pesi da muovere esso è pressoché nullo». Al contrario da come sostenuto da Aristotele, continua l'urbinate, il peso della leva può aiutare chi muove. Diverso è il caso, scrive Baldi, se il peso è posto tra il fulcro e la potenza o quando la potenza è posta tra il fulcro e il peso, allora il peso della leva influisce sulla potenza applicata in quanto la leva viene sollevata insieme al peso⁵⁵³.

Fin dalle prime battute del commento di Baldi possiamo notare che l'indagine razionale sarà preferita ad un approccio descrittivo. L'indagine razionale dei misteri che si celano dietro i fenomeni meccanici è spia di una mentalità moderna che possiamo riferire anche al nostro urbinato, il quale sembra essere perfettamente conscio delle potenzialità della ragione umana e dell'idea che non c'è nessun imperscrutabile velo di Maya che ostacola la possibilità di conoscere la causa dei fenomeni naturali. Secondo Baldi, la meccanica è la disciplina che più esprime l'avvicinamento tra ragione

⁵⁵² Baldi, 2010, pp. 74-77.

⁵⁵³ Baldi, 2010, pp. 79-81.

umana e natura, in quanto permette all'uomo di comprendere i segreti dei fenomeni meccanici grazie alla strada indicata dal matematico siracusano Archimede. Galileo sarà ancora più esplicito e, senza mezzi termini, liquiderà brutalmente il senso di meraviglia aleggiato da Aristotele, riconducendolo all'ignoranza che abbiamo delle cause responsabili del fenomeno.

Degno di grandissima considerazione mi è parso, avanti che discendiamo alla speculazione delli strumenti mecanici, il considerare in universale, e di mettere quasi inanzi agli occhi, quali siano i commodi, che dai medesimi strumenti si ritraggono: e ciò ho giudicato tanto più doversi fare, quanto (se non m'inganno) più ho visto ingannarsi l'universale dei mecanici, nel volere a molte operazioni, di sua natura impossibili, applicare machine, dalla riuscita delle quali, ed essi sono restati ingannati, ed altri parimente sono rimasti defraudati della speranza, che sopra le promesse di quelli avevano conceputa. Dei quali inganni parmi di avere compreso essere principalmente cagione la credenza, che i detti artefici hanno avuta ed hanno continuamente, di potere con poca forza muovere ed alzare grandissimi pesi, ingannando, in un certo modo, con le loro machine la natura; istinto della quale, anzi fermissima costituzione, è che niuna resistenza possa essere superata da forza, che di quella non sia più potente.⁵⁵⁴

Dopo aver confrontato il commento di Baldi con il contenuto nell'*incipit* dei *Problemi meccanici* di Aristotele, riprendiamo la seconda parte dell'introduzione, in cui l'autore dei *Problemi meccanici* riconduce le proprietà della leva e il senso di stupore dato dai fenomeni meccanici alla natura ambigua del cerchio. Scrive Aristotele che il cerchio ha in sé la compresenza simultanea di contrari: 1) il cerchio è generato da ciò che sta fermo e da ciò che è mosso; 2) la linea che delimita il cerchio è caratterizzata dalla compresenza di concavo e convesso; 3) il cerchio è generato da moti contrari, in quanto durante il movimento l'ultimo punto della linea della circonferenza diventa via via il primo; 4) il raggio non si muove con la stessa velocità in tutti i suoi punti, tanto che il punto più distante dal centro si muove con maggiore velocità rispetto al punto più vicino al centro. Secondo Aristotele quest'ultima peculiarità è dovuta al fatto che la linea del cerchio è necessariamente generata da un duplice movimento caratterizzato da un rapporto non costante tra i due moti. Baldi, diversamente da Aristotele, ritiene che 1) il cerchio non sia generato da ciò che sta fermo e dal moto, ma solo dal moto e dal fatto che il raggio durante il movimento mantiene sempre la stessa lunghezza; 2) il cerchio non sia l'unica figura che presenta una linea che è allo stesso tempo concava e convessa, ma qualsiasi linea curva presenta questa caratteristica; 3) il cerchio non sia prodotto da spostamenti contrari; 4) il cerchio non sia necessariamente generato da un moto misto (uno naturale e uno violento) e dal rapporto non costante tra i moti (causa secondo Aristotele della linea circolare), perché da un rapporto non costante si potrebbe ottenere anche una figura diversa dal cerchio come un'ellisse. Le ultime pagine della nota introduttiva riguardano i giusti rapporti per disegnare figure circolari concentriche. In questo luogo evidenziamo la penetrante analisi dell'urbinate: Baldi sostituisce i rapporti tra lunghezze di circonferenze con rapporti di velocità con cui i punti, che costituiscono le rispettive circonferenze, percorrono gli spazi delle dette circonferenze in una certa frazione di tempo ($s = vt$). L'intuizione di Baldi è interessante, in quanto introduce la relazione tra spazio, tempo e velocità nell'analisi del comportamento delle macchine⁵⁵⁵. Gianni Micheli rileva che le critiche di Baldi sono su una lunghezza d'onda diversa rispetto all'approccio aristotelico, in quanto, diversamente dalle considerazioni «operative» di Aristotele, le analisi di Baldi «riguardano la genesi della figura sotto l'aspetto strutturale»⁵⁵⁶.

⁵⁵⁴ Galilei, 2002, Versione lunga, Delle utilità che si traggono dalla scienza mecanica e dai suoi instrumenti, p. 45.

⁵⁵⁵ «Quindi come AC sta a CD così la circonferenza AFBH sta alla circonferenza DGEI. Ma muovendo la linea CA intorna al centro C ruota pure, contemporaneamente, CD; dunque i due punti A e D compiono una rotazione nel medesimo tempo; pertanto A, percorre nello stesso tempo uno spazio maggiore, e perciò è più veloce. Allora la velocità sta alla velocità come la circonferenza alla circonferenza, come il diametro al diametro, per cui ciò che si muove in un punto più lontano dal centro, si muove più rapidamente di ciò che ne dista di meno; come dovevasi dimostrare», Baldi, 2010, p. 91. Sul tema si veda anche la nota 30 di R. Gatto in Baldi, 2010, p. 91.

⁵⁵⁶ Micheli, 1995, p. 42-43.

Benedetti nel *Diversarum Speculationum Liber* invece riteneva che la linea che circonda il cerchio non dovesse essere intesa come avente una concavità e una convessità. La circonferenza è caratterizzata dalla convessità e la superficie che circonda il cerchio è caratterizzata dalla concavità e queste due linee, secondo Benedetti, sono l'una diversa dall'altra. Il matematico veneziano continua la sua digressione accusando Aristotele di aver errato nel considerare i rapporti del moto che producono le linee rette e la figura circolare⁵⁵⁷.

*Quesito I. Ciò che accade nel caso della bilancia pone il primo quesito: per quale motivo le bilance grandi sono più precise di quelle piccole?*⁵⁵⁸

Secondo Aristotele le bilance più grandi sono più precise di quelle piccole perché se prendiamo due cerchi concentrici, nello stesso tempo il raggio *EF* copre sulla circonferenza esterna uno spazio di arco maggiore (*FA*) rispetto all'arco della circonferenza interna (*CG*) individuato dal segmento *EG*, e quindi il punto in *A* si muove più velocemente rispetto al punto in *C* (Fig. 34). Pertanto, l'ampiezza del movimento prodotta da uno stesso peso è maggiore nelle bilance grandi.

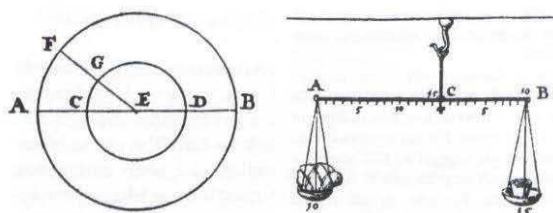


Fig. 34 Diagramma geometrico di un astrolabio (a sinistra) e rappresentazione reale di una bilancia (a destra).

La precisione di questi due strumenti, sostiene Baldi, deriva dalla loro grandezza o piccolezza, in Baldi, 2010, p. 94-96.

Baldi è d'accordo con il filosofo greco, tuttavia ritiene che la spiegazione non stia nella distinzione grandi/piccole, ma nel fatto che, e in questo segue direttamente l'insegnamento di Guidobaldo, si devono tenere in considerazione sia «l'ostinazione della materia» sia la *difficoltà di costruire bilance perfettamente aderenti a quelle elaborate teoricamente ed astrattamente*. Quindi, scrive l'urbinate, ecco spiegato il motivo per cui i gioiellieri usano bilance piccole e i macellai usano quelle grandi: i primi usano *bilance piccole* non perché sono teoricamente più precise ma perché sono *materialmente* più precise in quando sono realizzate con meno materia. I macellai usano bilance grandi semplicemente perché sono più resistenti e nel loro lavoro la maggiore resistenza è da preferire a discapito della sensibilità⁵⁵⁹.

Tartaglia affronta tale problema nei Quesiti I-III, Libro VII del trattato dialogico *Quesiti et inventioni diverse*⁵⁶⁰. In queste pagine il matematico bresciano critica la risposta data da Aristotele tenendo conto principalmente di due fattori: in primo luogo, se noi valutiamo il comportamento delle bilance fisiche, allora le più piccole devono essere più precise di quelle grandi perché sono meno provviste di materia e ogni sorta di peso farà inclinare una bilancia qualsiasi; in secondo luogo, nonostante una prima accettazione della valutazione aristotelica, ritiene che le bilance ideali piccole o grandi si comportino allo stesso modo. Commenta poi l'esempio dei pesatori di gioielli e dice che le bilance dei gioiellieri devono essere più precise di quelle dei macellai, perché le prime sono più piccole, dunque hanno meno materia e sono più simili a una bilancia ideale. Il commento di Tartaglia al dilemma bilance piccole e grandi è molto simile a quello esposto da Baldi. Tuttavia, l'urbinate

⁵⁵⁷ Micheli, 1995, pp. 44; 54-56. Nel caso specifico Benedetti riteneva che considerare la linea retta prodotta da una proporzione determinata, come la diagonale di un paretlogramma, fosse inesatto

⁵⁵⁸ Aristotele, 2010, p. 169.

⁵⁵⁹ Baldi, 2010, pp. 93-97, corsivo nostro.

⁵⁶⁰ Tartaglia, 1959, pp. 79r-80v.

riconde "delmontianamente" la diversità di precisione all'attrito e al fatto che è difficile costruire bilance perfettamente in linea con la loro elaborazione geometrica⁵⁶¹.

Anche Benedetti, come Tartaglia, critica la ragione addotta da Aristotele, secondo la quale le bilance grandi debbano essere più precise delle piccole a causa della maggiore velocità dei punti più lontani dal centro. Benedetti riconduce tale comportamento a ragioni geometriche riguardanti il principio della leva⁵⁶².

Le considerazioni di Aristotele vengono giudicate negativamente da Galileo. All'inizio dei *Discorsi* il toscano riteneva che, rimembrando il monito del suo maestro Guidobaldo, si dovesse tenere sempre conto dell'imperfezione della materia, la quale spesso non si lasciava facilmente accomodare dalle purissime dimostrazioni matematiche. Tuttavia, per Galileo, se astraessimo tutte le imperfezioni della materia, in modo da considerarla perfettissima, la macchina maggiore sarebbe uguale alla minore maggiore, eccetto «che nella robustezza e resistenza contro alle violente invasioni; ma quanto più sarà grande, tanto a proporzione sarà più debole». Secondo l'interpretazione data da Galileo si può geometricamente dimostrare che le maggiori, seppure costruite in proporzione alle minori, siano meno resistenti di queste ultime.

Salv. Il detto del vulgo è assolutamente vano; e talmente vano, che il suo contrario si potrà profferire con altrettanta verità, dicendo che molte machine si potranno far più perfette in grande che in piccolo: come, per esempio, un oriuolo, che mostri e batta le ore, più giusto si farà d'una tal grandezza che di un'altra minore. Con miglior fondamento usurpano quel medesimo detto altri più intelligenti, i quali della riuscita di tali machine grandi, non conforme a quello che si raccoglie dalle pure ed astratte dimostrazioni geometriche, ne rimettono la causa nell'imperfezione della materia, che soggiace a molte alterazioni ed imperfezioni. Ma qui non so s'io potrò, senza inciampare in qualche nota di arroganza, dire che né anco il ricorrere all'imperfezioni della materia, potenti a contaminare le purissime dimostrazioni matematiche, basti a scusare l'inobbedienza delle machine in concreto alle medesime astratte ed ideali: tuttavia io pure il dirò, affermando che, astraendo tutte l'imperfezioni della materia e supponendola perfettissima ed inalterabile e da ogni accidental mutazione esente, con tutto ciò il solo esser materiale fa che la machina maggiore, fabbricata dell'istessa materia e con l'istesse proporzioni che la minore, in tutte l'altre condizioni risponderà con giusta simmetria alla minore, fuor che nella robustezza e resistenza contro alle violente invasioni; ma quanto più sarà grande, tanto a proporzione sarà più debole. E perché io suppongo, la materia essere inalterabile, cioè sempre l'istessa, è manifesto che di lei, come di affezione eterna e necessaria, si possano produr dimostrazioni non meno dell'altre schiette e pure matematiche. Però, Sig. Sagredo, revochi pur l'opinione che teneva, e forse insieme con molti altri che nella meccanica han fatto studio, che le machine e le fabbriche composte delle medesime materie, con puntuale osservanza delle medesime proporzioni tra le loro parti, debban essere egualmente, o, per dir meglio, proporzionalmente, disposte al resistere ed al cedere alle invasioni ed impeti esterni, perché si può geometricamente dimostrare, sempre le maggiori essere a proporzione men resistenti che le minori; sì che ultimamente non solo di tutte le machine e fabbriche artificiali, ma delle naturali ancora, sia un termine necessariamente ascritto, oltre al quale né l'arte né la natura possa trapassare: trapassar, dico, con osservar sempre l'istesse proporzioni con l'identità della materia.⁵⁶³

Prima di passare alla successiva questione, rileviamo la diversità delle considerazioni appena esposte, le quali indicano la formazione degli autori e il sostrato culturale-scientifico in cui affondano le loro considerazioni epistemologiche. Da una parte Benedetti riporta spiegazioni geometriche, dall'altra Tartaglia attinge principalmente dall'esperienza tecnica. Invece, Aristotele, Baldi e Galileo, seppure con notevoli differenze, usano entrambi gli approcci e fanno dialogare le considerazioni geometriche, elaborate tenendo conto di bilance astratte, con la consistenza dei materiali, che emerge

⁵⁶¹ Pisano e Capecchi, 2015.

⁵⁶² Benedetti, 1585, p. 153. Sulla scienza di Benedetti si vedano Omodeo e Renn, 2019; Renn e Damerow, 2012.

⁵⁶³ Galilei, 1933b, Prima giornata, pp. 50-51.

nel caso di bilance reali e materiali. Il problema del funzionamento geometrico delle bilance era un dilemma rilevante sia perché la bilancia era lo strumento più utilizzato nel commercio, sia perché la bilancia era la macchina semplice a cui le altre macchine potevano essere ricondotte. Oggi sappiamo che il grado di precisione di una bilancia analogica è dovuta essenzialmente alla sua sensibilità e quest'ultima dipende principalmente dall'attrito. Una bilancia enorme e molto “densa” di materia può essere estremamente precisa se l'attrito è ridotto al minimo.

*Questione II. Perché la bilancia torna alla sua posizione iniziale, quando si toglie il peso mentre essa è inclinata verso il basso, se l'asse di sostegno sta sopra, e se invece sta sotto, la bilancia non torna alla posizione di partenza, ma rimane ferma?*⁵⁶⁴

In entrambi i casi Aristotele usa come riferimento la perpendicolare tracciata (AM) sull'asse di sostegno di una bilancia in equilibrio e posizionata orizzontalmente; tale perpendicolare divide la bilancia in due parti aventi la stessa lunghezza. Quindi l'autore dei *Problemi meccanici* propone di applicare un peso su una delle estremità dei due bracci, tale da causare lo spostamento della bilancia rispetto alla posizione iniziale. Nel caso di una bilancia con sparto di sopra Aristotele rileva che, rispetto alla perpendicolare individuata inizialmente, la lunghezza del braccio su cui pone il peso (QE) è minore della lunghezza della parte sollevata (QH). Quindi se la parte su cui grava il peso è più corta allora è anche più leggera (Fig. 35). Pertanto, togliendo il peso, il braccio opposto, più lungo, riequilibrerà l'altra parte della bilancia. Nel caso di una bilancia con sparto di sotto Aristotele adopera lo stesso esempio, rilevando però che la parte inclinata verso il basso (KO) è più lunga dell'altro braccio (KR). In questo caso, sostiene Aristotele, dal momento che la parte inclinata verso il basso è più lunga, e quindi anche più pesante, allora la bilancia rimarrà inclinata (Fig. 38).

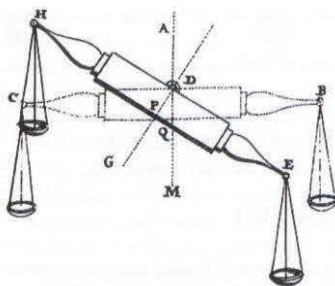


Fig. 35 Rappresentazione tridimensionale della bilancia con sparto di sopra, in Baldi, 2010, p. 98.

Baldi evidenzia immediatamente che il quesito aristotelico non tiene conto di una terza possibile posizione del sostegno, in quanto se prendiamo in considerazione una leva omogenea dal punto di vista della densità, il sostegno può essere posto anche centralmente, oltre che nella parte superiore e nella parte inferiore della bilancia.

Dopo aver ripercorso le dimostrazioni del filosofo greco, Baldi affronta il problema di una bilancia con sparto di sopra. Ma, anziché considerare la lunghezza dei bracci della bilancia inclinata in riferimento alla perpendicolare che divideva la bilancia in posizione orizzontale (DE), Baldi confronta le lunghezze dei due bracci ottenute rispetto alla nuova perpendicolare che cade sulla bilancia inclinata (DG), mostrando che i bracci rimangono della stessa lunghezza. Quindi, conclude Baldi non distanziandosi dalla soluzione aristotelica, se togliamo il peso, la bilancia ritorna in posizione orizzontale (Fig. 36).

⁵⁶⁴ Aristotele, 2010, p. 177.

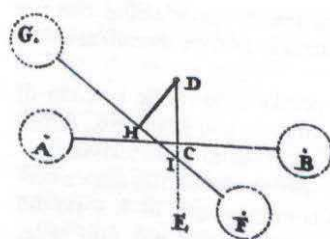


Fig. 36 Rappresentazione geometrica della bilancia con sparto di sopra,
in Baldi, 2010, p. 100.

Baldi continua la sua riflessione esponendo l'importante problema della resistenza che arreca la materia: l'urbinate rileva la possibilità che, aggiungendo un piccolo peso, la bilancia non si sposterebbe; e questo avviene perché il peso non riuscirebbe a «vincere» l'attrito meccanico. Secondo Baldi la resistenza può essere quantificata in due modi. Il primo tiene conto degli angoli di contatto, individuati a seguito dell'inclinazione della parte *B* della bilancia. Per esempio, scrive Baldi, se consideriamo le porzioni di circonferenza *CE* e *CG*, determinate rispettivamente dall'inclinazione di una bilancia con centro di gravità in *C* sospesa prima al punto *D* e poi al punto *F*, l'angolo di contatto *ACE* sarà minore dell'angolo di contatto *ACG* (Fig. 37). Dal momento che gli angoli di contatto dipendono dalla variazione del punto sospensione (*D* e *F*), la resistenza, scrive Baldi, «è tanto maggiore quanto meno il centro di gravità dista dal sostegno sopra, intorno al quale si volge la bilancia»⁵⁶⁵. Il secondo modo è ottenuto applicando il principio della leva, dato che la «resistenza sarà tanto più facilmente superata, con lo stesso sostegno e lo stesso peso, quanto più lungo sarà il braccio della bilancia» (Fig. 37)⁵⁶⁶.

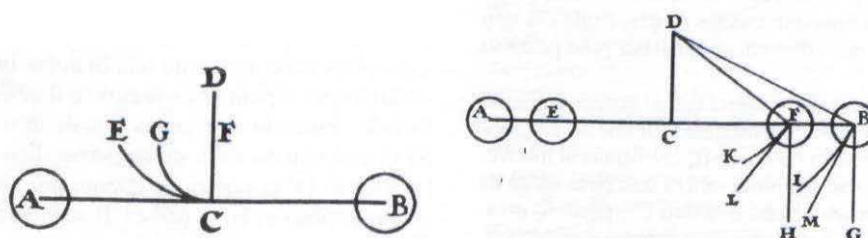


Fig. 37 A sinistra la quantificazione della resistenza mediante l'espedito dell'angolo di contatto e a destra la quantificazione della resistenza mediante la differenza di lunghezza del braccio della bilancia,
in Baldi, 2010, p. 108.

Baldi scrive che questo argomento sulla sensibilità della bilancia non era stato trattato da nessuno. Probabilmente l'urbinate non era a conoscenza delle penetranti riflessioni sull'argomento da parte di Guidobaldo nella lettera inviata a Contarini⁵⁶⁷.

Per quanto riguarda il secondo caso, il comportamento di una bilancia con sparto di sotto, Baldi rileva immediatamente che la dimostrazione di Aristotele non tiene in considerazione il «centro di gravità». Dopo aver ricostruito la dimostrazione di Aristotele, infine Baldi puntualizza che se la bilancia potesse ruotare liberamente, si capovolgerebbe andando sulla linea *LMN* (Fig. 38).

⁵⁶⁵ Baldi, 2010, p. 109.

⁵⁶⁶ Baldi, 2010, pp. 109-111.

⁵⁶⁷ BNM di Venezia, ms. It. IV, 63 Ven. 259, Del Monte a Contarini, 9 ottobre 1580, lettera pubblicata in Favaro, 1899-1900.

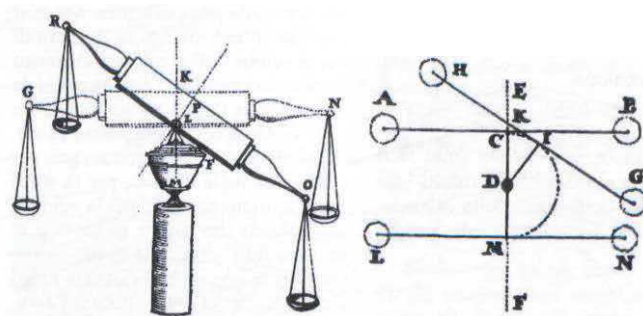


Fig. 38 Bilancia con sparto di sotto, in Baldi, 2010, p. 116.

Baldi conclude il commento alla questione II esaminando la bilancia con il sostegno al centro sulla base del contenuto della parte *Della Bilancia*, proposizione IV del *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo.

Nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo aveva diffusamente fatto riferimento ai *Problemi meccanici* per due motivi: il primo era legato alla necessità di misurare il proprio trattato di meccanica con l'opera del grande filosofo Aristotele; il secondo motivo, più strumentale, riguardava la difesa dell'equilibrio indifferente. Nella proposizione IV della parte dedicata alla bilancia, dopo aver esposto il suo equilibrio indifferente e respinto le argomentazioni degli avversari, Guidobaldo prende in esame l'ultima freccia che i sostenitori della *gravitas secundum situm* avevano ancora potenzialmente a disposizione, ovvero una pericolosa somiglianza, agli occhi di Guidobaldo, del concetto di *mèta* angolo esposto da Cardano con la soluzione data dall'autore dei *Problemi meccanici* per risolvere la questione riguardante il comportamento fisico di una bilancia con sparto di sopra e con sparto di sotto⁵⁶⁸. Aristotele aveva risolto il problema della rottura dell'equilibrio nel caso di una bilancia con sparto di sopra prendendo in considerazione il fatto che nel caso di una bilancia in posizione obliqua la parte *ZAM* è maggiore della parte *EAM* (Fig. 39). La spiegazione data da Aristotele, in effetti, è molto simile alla differenza tra le ampiezze dei *mèta* angoli (se il supporto è *AB*, allora $FBQ > RBQ$ e quindi *F* è più pesante; se il supporto è *BQ*, allora $RBA > FBA$ e quindi *R* è più pesante) proposta da Cardano per difendere l'equilibrio stabile di una bilancia equipesante spostata da una posizione orizzontale a una posizione obliqua (Fig. 40).⁵⁶⁹

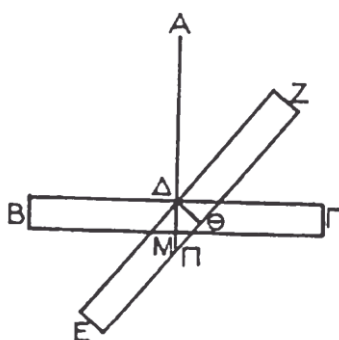
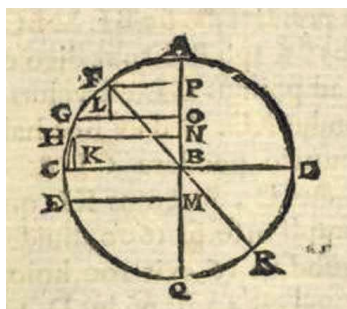


Fig. 39 Aristotele, 2010, p. 374, immagine tratta da Forster, 1913.

⁵⁶⁸ Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, p. 19v; Del Monte, 1577, *De Libra*, p. 21v.

⁵⁶⁹ Sul tema si veda anche il paragrafo 3.5 *Gli avversari di Guidobaldo: Giordano, Cardano e Tartaglia*.



Tuttavia, secondo Guidobaldo «né Aristotele, né l'esperienza favoriscono questa loro opinione, anzi più tosto le sono contrari». Il pesarese riteneva che le dimostrazioni di Aristotele non fossero «fondate nell'angolo maggiore, ò minore, et nella giacitura della trutina, come essi dicono», poiché, interpreta Guidobaldo, la posizione dell'autore dei *Problemi meccanici* sarebbe invece da porre in relazione alle linee dei centri di gravità dei pesi⁵⁷⁰. Per supportare ulteriormente la sua proposta, Guidobaldo aggiunge che la stessa differenza tra gli angoli misti andrebbe a confermare la sua interpretazione. Secondo il pesarese se prendiamo in considerazione l'angolo GFB , che è maggiore dell'angolo KEA , allora il peso E è più pesante (perché la sua discesa è meno obliqua) del peso F (Fig. 41)⁵⁷¹.

Dopo aver affrontato il problema della bilancia con sparto di sopra, Guidobaldo esamina il problema di rottura dell'equilibrio nel caso di una bilancia con sparto di sotto. Discusso il problema da un punto di vista geometrico, il pesarese analizza la conclusione di Aristotele, secondo cui la bilancia doveva rimanere ferma nella sua posizione inclinata senza capovolgersi. Secondo Guidobaldo il filosofo greco era giunto a tale conclusione perché considerava la bilancia «come ella è in fatto» e per questo la bilancia con sparto di sotto andava ad appoggiarsi sulla trutina e pertanto rimaneva nella sua posizione senza ruotare (Fig. 42)⁵⁷².

⁵⁷⁰ Del Monte, 1581, Della Bilancia, p. 20v; Del Monte, 1577, De Libra, p. 22v.

⁵⁷¹ Del Monte, 1581, Della Bilancia, p. 22r; Del Monte, 1577, De Libra, p. 24r.

⁵⁷² Del Monte, 1581, Della Bilancia, pp. 24v-25r.

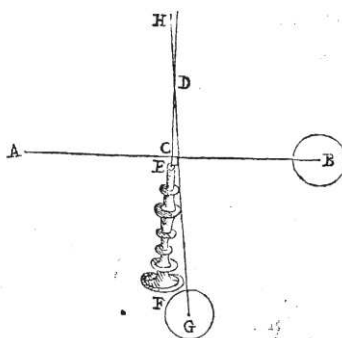


Fig. 42 Del Monte, 1577, *De Libra*, p. 27r.

Salvato Aristotele, Guidobaldo ricorda il motivo per cui nei *Problemi meccanici* non si dava notizia del caso di una bilancia con il sostegno coincidente con il baricentro e, quindi, dell'equilibrio indifferente: «questa però tralasciò egli [Aristotele], come nota, si come egli sole tralasciare le cose molte note».

Nei *Quesiti* IV, V, VI e VII del Libro VII, Tartaglia menziona senza commentare la spiegazione data da Aristotele nel caso del comportamento di bilance con sparto di sotto e con sparto di sopra. La sua attenzione è principalmente rivolta alla inconcepibile mancanza della trattazione del caso di una bilancia con sparto nel mezzo e coincidente con il centro di gravità. A tale caso specifico dedica gran parte del Libro VIII, dove illustra, secondo la tradizione della *gravitas secundum situm*, il comportamento di una bilancia con pesi uguali posizionati sui bracci alla stessa distanza dal fulcro e con il fulcro coincidente con il centro della bilancia⁵⁷³.

Benedetti commenta in un unico capitolo le questioni II e III di Aristotele. Benedetti è d'accordo con la valutazione data dal filosofo greco in merito al comportamento di una bilancia con sparto di sopra, mentre è in disaccordo riguardo alla posizione che deve avere una bilancia con sparto di sotto, quando è spostata dalla sua posizione iniziale. Questa seconda parte è considerata da Benedetti come «completamente sbagliata», perché la bilancia «continu[erà] a cadere fino a quando il supporto rimane sopra della bilancia». Benedetti non adduce prove perché ritiene che questa proposizione sia «per sua stessa natura [...] perfettamente chiara»⁵⁷⁴. A differenza delle critiche che abbiamo precedentemente riportato, il confronto che Benedetti intrattiene con i predecessori non si basa su un confronto riverente, ma è finalizzato all'esposizione del proprio punto di vista. La proposta meccanica di Benedetti contenuta nel *De mechanicis* fa leva su considerazioni geometriche e fisiche, a cui spesso collega intuizioni profondamente innovative tali da risultare di difficile interpretazione e ambigue ai suoi contemporanei⁵⁷⁵.

Abbiamo visto che numerosi commenti alla questione II dei *Problemi meccanici* non concordano con l'interpretazione data dall'autore. Tartaglia e Guidobaldo correggono la questione aristotelica affidandosi a una nuova ricostruzione geometrica del comportamento della bilancia con sparto di sotto. Baldi corregge la riflessione aristotelica utilizzando il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo ed appoggiandosi ad alcuni esempi empirici. Invece, Benedetti non è persuaso dell'infallibilità di Aristotele. Anzi, a tratti è estremamente critico nei confronti degli argomenti del filosofo greco. Questa indifferenza nei confronti del rispetto dell'autorità, che possiamo cogliere nell'approccio di Benedetti, sarà presente anche nell'impostazione galileiana.

⁵⁷³ Tartaglia, 1959, pp. 80v-94v. Pisano e Capecchi, 2015.

⁵⁷⁴ Benedetti, 1585, p. 154. Sul tema si veda anche Renn e Damerow, 2012.

⁵⁷⁵ Per esempio, Becchi scrive in merito all'interpretazione data da Guidobaldo ai primi capitoli della sezione *De Mechanicis* del *Diversarum Speculationum Liber* di Benedetti che «[al]l'originalità dell'esempio proposto da Benedetti, [...] faceva da contraltare la critica severa, a tratti sprezzante di Guidobaldo, che evidentemente fraintendeva il testo che aveva davanti», Becchi, 2015, pp. 389-390.

*Questione IX. Perché possiamo muovere con più facilità e rapidità oggetti sollevati o trascinati con l'aiuto di cerchi più grandi?*⁵⁷⁶

La risposta di Aristotele è direttamente collegata alla fondamentale considerazione inserita all'interno del quesito I, cioè che «quanto più lungo è il raggio, tanto maggiore è lo spazio percorso nello stesso tempo». Da ciò segue che le bilance più grandi si muovono più velocemente di quelle più piccole.

Seppure Baldi sia d'accordo con l'opinione aristotelica, cioè che bilance più grandi siano più vantaggiose delle piccole, l'urbinate rileva la falsità, se presa alla lettera, dell'asserzione del filosofo greco. Secondo Baldi, non è vero che le bilance grandi si muovono più velocemente di quelle piccole. Al contrario, ricalcando la relazione esposta da Guidobaldo nel suo *Mechanicorum Liber*, «nelle macchine per sollevare la facilità del movimento è contraria alla velocità», cioè che la facilità di movimento è inversamente proporzionale alla velocità. La spiegazione, dice Baldi, deve essere trovata in un'altra causa, attinta dai «principi della meccanica»: la carrucola muove pesi tanto più facilmente quanto maggiore è il rapporto tra il diametro della carrucola e il diametro dell'asse. L'urbinate continua il suo commento facendo l'esempio delle manovelle rettilinee e curve e ritenendo che il funzionamento di queste ultime possa essere ridotto alla leva con fulcro tra potenza (FK , HI) e peso (i semidiametri dell'asse). Infine, Baldi evidenzia l'importanza della curva della manovella dell'arrotino in quanto permette di facilitare il movimento (Fig. 43)⁵⁷⁷.

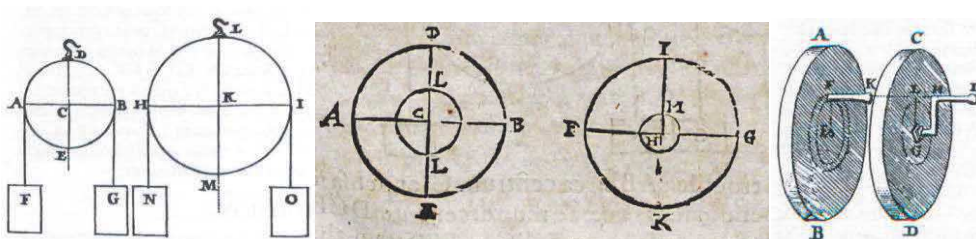


Fig. 43 Rappresentazioni geometriche di carrucole e rappresentazione tridimensionale di manovelle, in Baldi, 2010, pp. 192-196.

Anche Galileo si confronta che la questione aristotelica, rilevando l'errore di Aristotele e notando che più è grande la girella più i bracci della leva e del semidiametro sono lunghi e che quindi, dal momento che le proporzioni sono mantenute, il vantaggio è nullo. L'unico beneficio ottenuto è che l'applicazione della forza viene facilitata⁵⁷⁸.

Dal che possiamo comprendere quanto puerilmente s'ingannasse Aristotile, il quale stimò che, col far maggiore la girella ABC, si potesse con manco fatica levare il peso, considerando come all'accrescimento di tale girella si accresceva la distanza DC; ma non considerò che altrettanto si cresceva l'altra distanza del peso, cioè è l'altro semidiametro DA. Il beneficio, dunque, che da tale stromento si possa trarre, è nullo in quanto alla diminuzione della fatica [Fig. 44].⁵⁷⁹

⁵⁷⁶ Aristotele, 2010, p. 189.

⁵⁷⁷ Baldi, 2010, pp. 191-199.

⁵⁷⁸ Galilei, 2002, Versione lunga, Delle taglie, pp. 60-67. La stessa conclusione era stata raggiunta da Guidobaldo nel *Mechanicorum Liber*. Sul tema si veda anche l'Appendice, A9.

⁵⁷⁹ Galilei, 2002, Versione lunga, Delle Taglie, p. 62



Fig. 44 Galilei, 2002, Versione lunga, Delle Taglie, p. 61.

Il funzionamento della carrucola con asse della puleggia fissa è stato oggetto di numerose interpretazioni. Esso può essere associato a una leva di primo genere, avente però il vantaggio di permettere all'operatore di deviare la forza applicata, in modo da poter facilitare il lavoro.

*Quesito XVII. Perché grandi pesi e corpi di grandi dimensioni possono essere spaccati da un cuneo, che è piccolo, e perché la pressione che esso esercita è forte?*⁵⁸⁰

Secondo Aristotele il cuneo consiste di due leve opposte e ognuna ha un peso e un fulcro. Nell'esercizio del lavoro l'impeto del colpo accresce l'efficacia del peso che colpisce e la velocità aumenta la forza (Fig. 45).

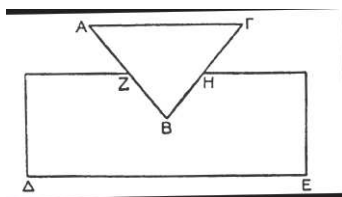


Fig. 45 Aristotele, 2010, p. 379, immagine tratta da Forster, 1913.

Baldi chiarisce subito che dovrà discostarsi dalla spiegazione data dal filosofo greco. Aristotele, secondo Baldi, è nel falso perché se il comportamento del cuneo si riduce a due leve opposte, allora la prima deve annullare l'altra e non è possibile che riescano ad agire contemporaneamente. Liquidata la spiegazione aristotelica passa alla causa individuata da Guidobaldo basata sull'angolo di inclinazione del cuneo. Quest'ultima deriva dall'applicazione del teorema di Pappo del piano inclinato. Secondo Baldi è fallace anche ridurre la vite al cuneo e il cuneo alla leva, come aveva fatto Guidobaldo, perché «i corpi che si muovono su piani inclinati hanno fulcri certi e rapporti determinati sia dei bracci che dei pesi», mentre questi rapporti e fulcri non possono essere determinati nel caso del cuneo. Pertanto, per Baldi bisogna individuare altri principi. L'urbinate anticipa che non verranno presi in considerazione i punti, perché, secondo la classica definizione euclidea, il punto è ciò che non ha parti, e di queste entità matematiche non si deve occupare il meccanico. Diverso è il caso delle linee e delle superficie, le quali, benché siano anch'esse oggetti matematici, possono essere ricondotte rispettivamente a oggetti reali come punteruoli, aghi e chiodi (linee) e spade e accette (superficie). Distinte le cose atte a scindere, Baldi esamina il comportamento del cuneo non dal punto di vista del cuneo stesso ma dell'oggetto che viene scisso. Secondo Baldi, l'oggetto si comporta come due leve di primo genere divise dal cuneo che rappresenta il peso: maggiore è il rapporto lunghezza e altezza della parte scissa più facilmente verrà superata la resistenza (Fig. 46).

⁵⁸⁰ Aristotele, 2010, p. 195.

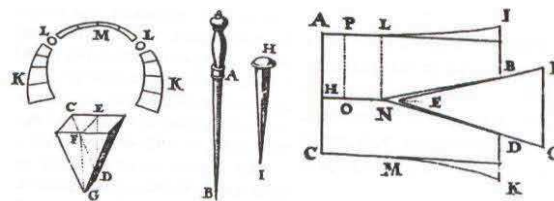


Fig. 46 Cunei e azione del cuneo, in Baldi, 2010, pp. 260-262.

Diversamente Guidobaldo aveva considerato l'azione del cuneo in due modi alternativi: o come una leva di secondo genere, con la resistenza tra la forza e il fulcro, o come un qualcosa che muove un peso sopra un piano inclinato (Fig. 47)⁵⁸¹.

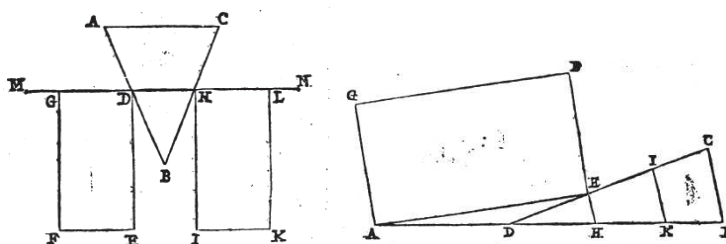


Fig. 47 A sinistra l'azione del cuneo esaminata come una leva di secondo genere e a destra l'azione del cuneo considerata come un corpo su un piano inclinato, in Del Monte, 1577, De Cuneo, pp. 110r-114r.

Guidobaldo concludeva l'analisi con una considerazione molto interessante in cui possiamo intravedere il concetto di lavoro, inteso come energia scambiata tra due sistemi: «che quanto più sarà grave, tanto si farà la percossa maggiore. Et oltre a ciò quanto più sarà lunga la distanza tra AC [tra il cuneo e ciò che percuote il cuneo, come ad esempio un martello], farassi parimente maggiore percossa: peroche ciascuna cosa grave, mentre si move, prende più di gravetza mossa, che stando ferma, et davantaggio anco più, quanto più da lontano è mossa» (Fig. 48)⁵⁸².

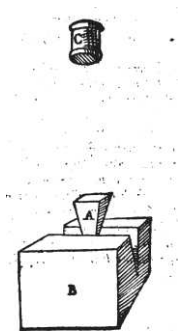


Fig. 48 Del Monte, 1577, De Cuneo, p. 118r.

Benedetti dopo aver criticato l'interpretazione data da Aristotele, propone di considerare il cuneo come una leva di secondo genere, anzi una doppia leva di secondo genere, dove il punto di contatto cuneo-legno sono i punti di applicazione della forza. Dal punto di vista di Benedetti la forza agisce sui fianchi del cuneo, la resistenza è la parte del legno che bisogna ancora scalfire e il fulcro è ciò che rimane al di sotto della resistenza. Il cuore della dimostrazione di Benedetti è nell'idea che la leva di primo genere AON sia equivalente alla leva di secondo genere OEU , in quanto la forza applicata N richiesta per alzare A è sufficiente a U per alzare E (Fig. 49 e Fig. 50). Secondo Benedetti questa equivalenza è legittimata da «communi scientia». Nel corso del suo trattato Benedetti usa

⁵⁸¹ Secondo Guidobaldo il cuneo può essere ridotto al piano inclinato, il piano inclinato alla bilancia e la bilancia alla leva, Del Monte, 1581, Del Cuneo, p. 110r; Del Monte, 1577, De Cuneo, p. 115r.

⁵⁸² Del Monte, 1581, Del Cuneo, p. 113v; Del Monte, 1577, De Cuneo, p. 118r.

frequentemente l'espressione «communi scientia», scienza comune o conoscenza comune, tanto da dare l'impressione che spesso faccia uso dell'intuizione per argomentare le sue ipotesi. L'impiego di «communi scientia» all'interno di una dimostrazione assume dei connotati oscuri e ambigui rispetto agli *Assiomi* posti da Euclide all'inizio dei suoi *Elementi* e dalle *Notitie Comuni*, cioè assiomi comuni, poste da Guidobaldo all'inizio del *Mechanicorum Liber*. Infatti, Guidobaldo aveva criticato la superficiale, se non mancata, giustificazione di alcune ipotesi di Benedetti, commentando la sua copia del *Diversarum Speculationum Liber* con un infastidito «sua communis [scient]ia multa probat [si]ne demonstratione»⁵⁸³. Riteniamo che la critica in merito all'uso improprio di «communi scientia» sia riconducibile, oltre ad un'ostilità di fondo nei confronti di un trattato di meccanica, che non citava in nessun luogo il suo *Mechanicorum Liber*, al fatto che, da un punto di vista metodologico, l'appello a una conoscenza o a un sapere comune doveva essere posto alla base dell'impalcatura dimostrativa e non nel mezzo di una dimostrazione. Guidobaldo si rendeva conto che rivolgersi alle conoscenze comuni in una dimostrazione in corso non era un buon modo per dimostrare efficacemente un teorema.

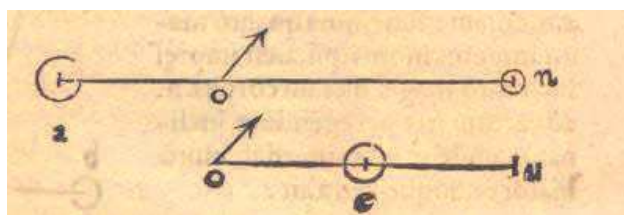


Fig. 49 Benedetti, 1585, De Mechanicis, p. 162.

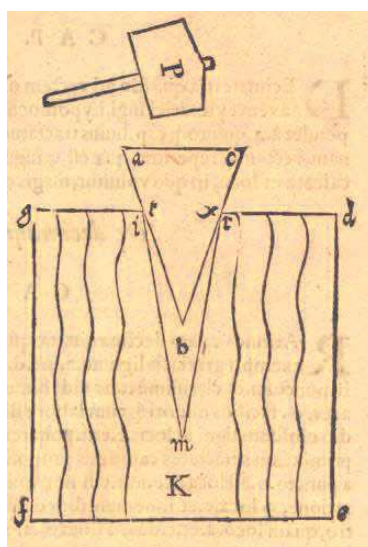


Fig. 50 Benedetti, 1585, De Mechanicis, p. 162.

Anche Galileo, nella *Forza della percossa* all'interno de *Le Mecaniche*, rileva la falsità della soluzione aristotelica. Secondo il toscano non bisognava ridurre il comportamento del cuneo alla leva o alla lunghezza del manico del martello, perché ci sono altri strumenti che percuotono, producendo lo stesso effetto, senza essere dotati di manico.

Perché ad Aristotile o ad altri che volessero la cagione di questo mirabile effetto ridurre alla lieva o alla lunghezza del manubrio o manico del martello, parmi che, senza altro lungo discorso, si possa scoprire l'infermità delli loro pensieri dall'effetto di quei stromenti, che, non avendo manico,

⁵⁸³ Benedetti, 1585, De Mechanicis, p. 162. Renn e Damerow, 2012, p. 246

percotono o col cadere da alto a basso, o coll'esser spinti con velocità per traverso. Dunque ad altro principio bisogna che ricorriamo, volendo ritrovare la verità di questo fatto.⁵⁸⁴

Secondo il toscano il modo adeguato per risolvere la questione posta da Aristotele era ricorrere alla relazione che intercorrere tra resistenza, forza, spazio e velocità: se consideriamo una forza (P) che sia la metà della resistenza (R), la resistenza sarà mossa dalla forza purché questa si muova con doppia velocità o doppia distanza (d) maggiore rispetto a quella coperta dalla resistenza ($P : 2R = dRx : 2dP \rightarrow dRx = (2dP \times P) : 2R$)⁵⁸⁵. E' evidente che l'analisi di Galileo non è sufficiente, perché, come rileva Romano Gatto, Galileo ritiene che il prodotto tra resistenze coinvolte sia costante, mentre in realtà la proporzione non è costante, ma dipende dalla natura delle stesse resistenze considerate (es. vi è differenza se i corpi sono costituiti di ferro, legno o burro). Questa convinzione avrebbe portato Galileo anche a ritenere la pressione e la percossa omogenee. In ogni caso, Galileo doveva essere consapevole della problematicità delle sue congetture. Infatti, scriverà in conclusione del capitolo: «[s]o che qui nasceranno ad alcuni delle difficoltà ed istanze, le quali però con poca fatica si torranno di mezzo; e noi le rimetteremo volontariamente tra i problemi meccanici, che in fine di questo discorso si aggiungeranno»⁵⁸⁶. Galileo era però troppo fiducioso: il problema della forza della percossa rimarrà uno dei temi più delicati e su cui sarebbe ritornato a più riprese, fino all'abbozzata Sesta Giornata *Della forza della percossa*, in cui qualificherà la forza della percossa come costituita da un aggregato di infiniti momenti, «perché non vi è resistenza, benché grandissima, che non venga superata da forza di percossa minimissima»⁵⁸⁷.

*Quesito XVIII. Perché se si costruiscono due pulegge su due blocchi di legno disposti tra di loro in modo contrario e si passa tutt'attorno a esse una corda, con un'estremità attaccata a uno dei due blocchi, e l'altra fissata o applicata alle pulegge, si possono muovere grandi pesi, anche se la forza di trazione è piccola, tirando un capo della corda?*⁵⁸⁸

La puleggia, dice il filosofo greco, funziona come una leva e quindi è in grado di spostare più facilmente un oggetto rispetto all'impiego di una mano. Inoltre, afferma Aristotele, più pulegge ci sono più il peso verrà sollevato con facilità.

Baldi ritiene l'esposizione di Aristotele oscurissima e la corregge attingendo prevalentemente dal *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo. Innanzitutto, Baldi precisa che non è sempre vero, a differenza di quanto dice Aristotele, che è più facile muovere pesi con la carrucola anziché con la mano e «che la riduzione del peso viene fatta dalla girella in basso, non da quelle in alto». Appoggiando le proprie argomentazioni sulla meccanica guidobaldiana, Baldi rileva correttamente che le carrucole fisse, cioè quelle ancorate al sostegno, non sono vantaggiose, mentre sono vantaggiose quelle mobili, ovvero quelle solidali con il corpo da sollevare. Questo perché le prime si comportano come leve di primo genere e le seconde come leve di secondo genere. Inoltre, contraddicendo l'idea aristotelica, rileva che non sempre aumentando il numero di carrucole aumenti la facilità di sollevare il peso⁵⁸⁹. Infine, Baldi propone, ed è questa la parte interessante del commento,

⁵⁸⁴ Galilei, 2002, Versione lunga, Della forza della percossa, p. 76. Helbing, 2000.

nota che Aristotele non parla mai di martello. Probabilmente Galileo si riferiva alla scure contenuta nella questione XIX.

⁵⁸⁵ «E questo sarà co 'l ridurci inanzi gli occhi quello, che in ogni altra operazione meccanica s'è veduto accadere: cioè che la forza, la resistenza ed il spazio, per lo quale si fa il moto, si vanno alternamente con tal proporzione seguendo, e con legge tale rispondendo, che resistenza eguale alla forza sarà da essa forza mossa per egual spazio e con egual velocità di quella che essa si muova. Parimente, forza che sia la metà meno di una resistenza potrà muoverla, purché si muova essa con doppia velocità, o, vogliam dire, per distanza il doppio maggiore di quella che passerà la resistenza mossa», Galilei, 2002, Versione lunga, Della forza della percossa, p. 76.

⁵⁸⁶ Galilei, 2002, Della forza della percossa, p. 77.

⁵⁸⁷ Galilei, 1933b, Sesta giornata, p. 345. Sul tema si veda anche la nota di Adriano Carugo e Ludovico Geymonat in Galilei, 1958, pp. 847-856.

⁵⁸⁸ Aristotele, 2010, p. 197.

⁵⁸⁹ Baldi, 2010, pp. 267-269

un sistema fatto di carrucole, riducendolo a un sistema di leve, in cui è evidente la riduzione del peso in base al numero e alla disposizione delle carrucole. Dalla disposizione delle leve, Baldi mostra che l'intero peso iniziale viene «ripartito fra i punti fissi A, K, O, S» e la «potenza che lo sostiene in T» (Fig. 51)⁵⁹⁰.

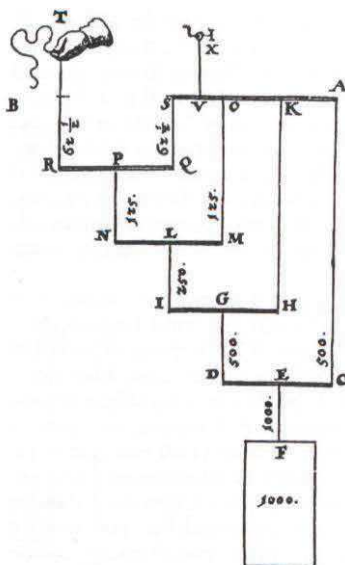


Fig. 51 Baldi, 2010, p. 272.

Benedetti senza commentare la riflessione di Aristotele, inserisce solo un esempio di combinazioni di carrucole, riducendo il loro funzionamento alle bilance in modo da spiegare meglio le proprietà di questa macchina semplice⁵⁹¹.

Concludiamo il paragrafo evidenziando il grande numero di esempi di ordine pratico contenuto nelle *Exercitationes*. A Baldi interessava non solo correggere alcuni problemi meccanici con la geometria archimedeica, ma anche discutere tali problemi facendo riferimento a esempi tratti dall'esperienza e dalla pratica. Nella questione II, in cui sono commentate le condizioni di equilibrio di un corpo, Baldi propone una dimostrazione basata sul centro di gravità rilevando giustamente che, come nel caso di una picca tenuta in piedi e in equilibrio, se la linea a piombo del centro di gravità del peso cade nel piano d'appoggio, allora il peso rimane in equilibrio. Tuttavia, nota ancora Baldi, e qui è estremamente presente l'influenza di Guidobaldo, che talvolta è difficile realizzare "esperimenti" perfetti per mettere in pratica queste «speculazioni» a causa dell'«impedimento dell'imperfezione della materia». Secondo Baldi i precari comportamenti di una picca e di una trottola sono fortemente condizionati dalle imperfezioni della materia. Dal momento che la base entro cui cade la linea a piombo del centro di gravità è stretta, basta una minima imprecisione nella conformazione dell'oggetto affinché si rompa l'equilibrio. Infatti, messa una trottola in movimento, a un certo punto il moto andrà scemando (a causa dell'attrito) e vedremo la trottola oscillare producendo continui spostamenti della linea a piombo del centro di gravità fino alla caduta su un fianco (Fig. 52)⁵⁹².

⁵⁹⁰ Baldi, 2010, pp. 271-273.

⁵⁹¹ Benedetti, 1585, pp. 163-165.

⁵⁹² Baldi, 2010, p. 103.

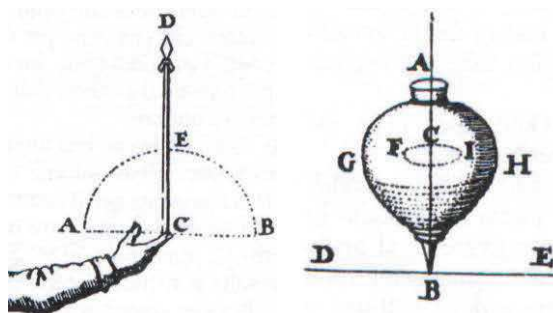


Fig. 52 Baldi, 2010, pp. 102-104.

Sempre nello stesso quesito Baldi, per spiegare il comportamento di una leva curva, fa l'esempio delle «figurine» bilanciate con pesi e contrappesi (Fig. 53)⁵⁹³. Chiude il commento le descrizioni di due macchine militari: ariete e testuggine⁵⁹⁴.

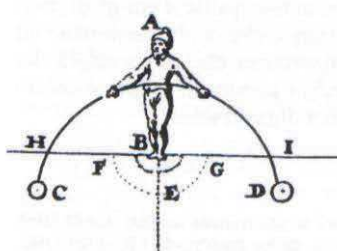


Fig. 53 Baldi, 2010, p. 112.

Nella *Quaestio* IX Baldi descrive il funzionamento della manovella curva azionata dall'arrotino⁵⁹⁵. Nella *Quaestio* XVI illustra il comportamento di volte sollecitate dal peso. Nel *Quaestio* XVII, Baldi associa i diversi tipi di cuneo ai nostri denti (Fig. 54). I molari servono per frantumare (quindi potrebbero essere associati a uno scalpello), i canini per perforare (quindi sono simili a un chiodo), gli incisivi per tagliare (quindi possono essere considerati spade)⁵⁹⁶. Al termine della *Quaestio* Baldi riporta un esempio tratto dalla professione e dall'esperienza dei legnaiuoli⁵⁹⁷.

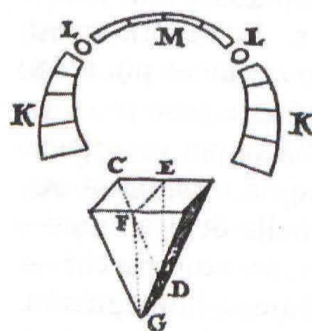


Fig. 54 Baldi, 2010, p. 260.

Infine, rileviamo che nel commento baldiano è possibile cogliere una impostazione metodologica caratterizzata dalla compresenza integrata di tradizioni diverse di pensiero. Nel commento di Baldi ai *Problemi meccanici* è presente una timida mescolanza, che si rivelerà molto

⁵⁹³ Baldi, 2010, p. 113.

⁵⁹⁴ Baldi, 2010, p. 115.

⁵⁹⁵ Baldi, 2010, p. 197.

⁵⁹⁶ Baldi, 2010, p. 261.

⁵⁹⁷ Baldi, 2010, p. 263.

feconda, delle procedure provenienti dalla pratica empirica con le dimostrazioni assiomatico-deduttive.

4.4.1 *Quaestio* III e *Quaestio* XVI. Analogie e differenze nelle interpretazioni di Baldi e Galileo

Abbiamo appena riportato alcuni esempi che sottolineano le differenze interpretative ed argomentative da parte di Baldi, Benedetti, Tartaglia, Guidobaldo e Galileo rispetto ad alcune questioni meccaniche aristoteliche. In questo paragrafo intendiamo esaminare il commento aristotelico alla questione III, il quale contiene un barlume del principio archimedeo della leva esposto nella famosa Proposizione 6, Libro I, *Sull'equilibrio dei piani*, e lo metteremo a confronto con le riflessioni di Baldi e Galileo. Infine, confronteremo rapidamente i suddetti stili argomentativi con quelli di Tartaglia e di Benedetti. Crediamo che un confronto tra le diverse argomentazioni sia interessante per esaminare analogie e differenze rispetto all'importante eredità rappresentata del principio della leva adombrato nella questione aristotelica e formalizzato da Archimede⁵⁹⁸. Al termine del paragrafo mostreremo che il commento di Baldi alla questione XVI contiene interessanti intuizioni che saranno impiegate da Galileo nei *Discorsi* per analizzare la resistenza alla rottura dei corpi solidi⁵⁹⁹.

Prendiamo la questione III come esposta da Aristotele:

*Perché con l'aiuto della leva forze di debole entità spostano grandi pesi, come si è detto anche all'inizio, nonostante vi si aggiunga il peso della leva stessa?*⁶⁰⁰

Il quesito è diviso in due parti: la prima contiene l'idea che con l'aiuto di una leva una piccola forza riesce a spostare grandi pesi; il secondo fa riferimento al fatto che il peso della leva non va ad interferire sull'azione della leva stessa. Quest'ultima parte non è di poco conto. La precisazione serve ad evidenziare che la leva presa in considerazione è materiale e non astratta. Archimede invece, esponendo il principio della leva in termini geometrici, aveva evitato qualsiasi riferimento alla materia. Se l'interpretazione di Aristotele, come vedremo, è formulata sulla base di osservazioni empiriche, quella successiva di Archimede avrebbe avuto una forma molto più generale e geometrica. Tuttavia, recenti studi e la riscoperta del *Metodo dei teoremi meccanici* indicano che i Postulati posti dal siracusano e i teoremi furono rispettivamente individuati e dimostrati avendo in mente anche espedienti meccanici⁶⁰¹. Notiamo anche che Aristotele si riferisce alle condizioni di rottura dell'equilibrio, cioè allo spostamento dei pesi (Fig. 55), e non alle condizioni di equilibrio, tema che fa da sfondo all'opera *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede. Aristotele spiega la questione nei seguenti termini:

Di certo, quanto minore è un peso, tanto più è facile spostarlo, e senza leva è in ogni caso minore. Ne è forse causa la leva, che si comporta come una bilancia che abbia l'asse sotto e che è divisa in parti non uguali? C'è di fatto corrispondenza tra il fulcro e l'asse: entrambi stanno fissi, come sta fisso il centro. Ora, considerando il centro da cui parte, il raggio più lungo si muove più velocemente, sotto la spinta di un peso uguale; inoltre, tre sono gli elementi della leva: il fulcro, asse o centro, e i due pesi, uno che causa il movimento e un altro che viene mosso. Così, il

⁵⁹⁸ Dijksterhuis, 1987; Mach, 1992, pp. 11-17; Frajese, 1974, pp. 403-404.

⁵⁹⁹ Sulle *Exercitationes* di Baldi si veda Gatto, 2005, Sulle analisi di Galileo in merito alla resistenza dei corpi solidi si veda Valleriani, 2009. Sulle *Exercitationes* di Baldi si veda anche lo studio generale in Nenci, 2011. Sulla questione XVI si veda Becchi, 2004.

⁶⁰⁰ Useremo come traduzione di riferimento la versione di Ferrini (Aristotele, 2010, pp. 179-181).

⁶⁰¹ «Vedendoti poi, come ho detto, diligente ed egregio maestro di filosofia, e tale da apprezzare anche nelle matematiche la teoria che [ti] accada [di considerare], decisi di scriverti ed esporti nello stesso libro le caratteristiche di un certo metodo, mediante il quale ti sarà data la possibilità di considerare questioni matematiche per mezzo della meccanica», Frajese, 1974, *Metodo di Archimede sui teoremi meccanici*, Lettera ad Eratostene, p. 572. Sul tema si veda anche il *Capitolo Settimo*.

rapporto tra il peso mosso e quello che lo muove è inverso al rapporto tra le rispettive distanze dal centro: in ogni caso, quanto più è grande la distanza dal fulcro, tanto più facile sarà il movimento.⁶⁰²

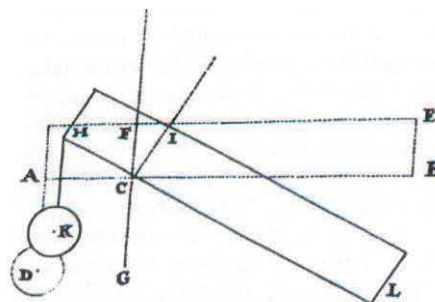


Fig. 55 Rottura dell'equilibrio di una leva, in Baldi, 2010, p. 124.

Nella citazione appena trascritta, Aristotele pone in relazione i pesi posti su una leva con le rispettive distanze dal fulcro, arrivando a individuare l'importante rapporto di proporzionalità $P : p = d : D$, in cui molti studiosi hanno visto un principio dei lavori virtuali⁶⁰³. La descrizione di Aristotele è una descrizione meramente qualitativa, basata sulla differenza delle velocità, dovuta alle lunghezze dei bracci, e sull'osservazione empirica. La dimostrazione geometrica, abbiamo detto, verrà data successivamente da Archimede nel primo libro *Sull'equilibrio dei piani*⁶⁰⁴. A differenza di Aristotele, che argomenta la sua intuizione fisica, Archimede dimostra le Propositioni mediante un procedimento assiomatico-deduttivo.

Anche Guidobaldo, in un corollario al termine della Propositione IV della parte *Della Leva*, si sofferma sull'importante relazione che deve sussistere tra distanze e pesi che agiscono su una leva: lo spazio della forza che muove sta allo spazio del peso mosso come il peso sta alla forza movente. Tali riflessioni sull'equilibrio di una bilancia in rapporto ai possibili spostamenti delle parti che compongono il sistema fanno supporre che Guidobaldo avesse accluso nel *Mechanicorum Liber* il

⁶⁰² Aristotele, 2010, pp. 179-181.

⁶⁰³ Sebbene la tradizione storiografica generalmente concordi su questo aspetto, il nostro punto di vista è leggermente diverso. Riteniamo che se vogliamo vedere un principio dei lavori virtuali nel lavoro aristotelico, crediamo sia più opportuno fare riferimento alla *Fisica* di Aristotele, Libro VII, capitolo 5, perché nella *Fisica*, oltre a porre in relazione i tempi con spazi percorsi del motore e del mosso, si fa riferimento a situazioni di equilibrio, mentre nei *Problemi meccanici* non si fa riferimento all'equilibrio ma alle condizioni di rottura dell'equilibrio. Sul tema si confronti per esempio quanto scritto in Benvenuto, 2010, capitolo 1. *Principio dei Lavori virtuali*; in Capecechi, 2012; in Sinopoli, 2015, p. 44 e in Vailati, 1911b. Possiamo definire lavoro virtuale in questo modo: in un sistema in equilibrio il lavoro totale di tutte le forze applicate è nullo per qualunque possibile spostamento delle parti del sistema. Quindi il Principio dei lavori virtuali può essere enunciato nei termini seguenti: «la condizione necessaria e sufficiente affinché un sistema di forze, agenti sopra un sistema materiale, si faccia equilibrio, è che per qualsiasi variazione infinitesima di configurazione, consentita dai vincoli, il corrispondente *lavoro virtuale* complessivo delle forze (cioè la somma degli ipotetici lavori infinitesimi che le forze eseguirebbero se il sistema effettuasse la variazione considerata) sia nullo o negativo; il tutto con la restrizione che i vincoli del sistema siano senza attrito, ovvero che il lavoro delle forze d'attrito sia computato con quello delle altre forze» in Amaldi e Giorgi, 1933. Alla base del principio vi è l'idea che le potenze del sistema si compensano; in altri termini che l'equilibrio sia mantenuto se i prodotti dei pesi per i rispettivi spostamenti sono uguali. Per virtuale si intende un movimento potenziale e non effettivo che non incide sull'equilibrio del sistema, in quando i carichi e le reazioni vincolari si compensano. Per una proposta di connessione tra il concetto di lavoro virtuale e il principio di compensazione nell'opera di Guidobaldo rimandiamo all'Appendice, A9.

⁶⁰⁴ Frajese, 1974, *Sull'equilibrio dei piani*, Libro I, Propositione 6: Le grandezze commensurabili sono in equilibrio se sospese a distanze inversamente proporzionali ai pesi. Propositione 7: Ed anche le grandezze sono tra loro incommensurabili, similmente manterranno l'equilibrio se sono poste a distanze inversamente proporzionali alle grandezze.

principio dei lavori virtuali. Il rapporto di proporzionalità espresso da Guidobaldo non sfuggì al matematico Joseph-Louis Lagrange, il quale gli attribuì una prima formulazione del principio⁶⁰⁵.

*La causa è quella già esposta: il raggio che più dista dal centro descrive un cerchio più grande. Perciò a una maggiore distanza del motore dal fulcro, corrisponde un maggiore spostamento, anche se la forza applicata è la stessa. Sia aB la leva, G il peso, D la forza che agisce, e il fulcro; D , con il movimento che imprime, raggiunge H , e G , il peso che viene spostato, raggiunge K [Fig. 55].*⁶⁰⁶

La spiegazione si basa sull'identificazione del raggio con il braccio della leva. Secondo Aristotele più il raggio è lungo (e quindi il braccio), più vi è un maggiore spostamento a parità di forza applicata. Diversamente Archimede avrebbe dimostrato la proposizione appoggiandosi in particolare alla Proposizione 5 e ai Postulati I e VI de *Sull'equilibrio dei piani*. La risposta di Aristotele segue direttamente le dimostrazioni date nei primi quesiti. In particolare riconduce la facilità di movimento del braccio più lungo al fatto che il braccio più lungo possa essere anche inteso come un raggio di un cerchio maggiore rispetto al cerchio di raggio minore descritto dal braccio più corto. Pertanto più lungo è il braccio, maggiore è la velocità di movimento. Secondo Aristotele questa è la causa responsabile del principio fisico che, avendo due corpi equipesanti e posti su una bilancia ma a diversa distanza dal fulcro, permette al corpo più distante dal fulcro di sollevare l'altro.

Analizziamo ora la ricostruzione di Baldi. L'urbinate reinterpreta l'argomentazione di Aristotele sulla base del centro di gravità in rapporto a due sistemi equiponderanti. Baldi rileva che in caso di rottura dell'equilibrio i due sistemi non si trovano più in una situazione di uguaglianza ($P : p \neq d : D$). L'urbinate ritiene che la causa non sia da individuare nella maggiore o minore velocità dovuta alla lunghezza del braccio, perché, rileva giustamente, la velocità è conseguenza necessaria e non la causa. Pertanto, si chiede Baldi, come potremmo interpretare tale effetto in una condizione di equilibrio? Secondo l'urbinate, la causa dell'equilibrio di una leva è data dal rapporto permutato tra bracci e pesi, quest'ultimo riconducibile all'uguaglianza di stato tra le due parti equiponderanti. Nel corso della sua dimostrazione, Baldi propone di considerare bracci e pesi equipollenti, intuendo l'equivalenza, tutta moderna, tra la proporzionalità inversa tra pesi e distanze dal fulcro ($P : p = d : D$) e l'uguaglianza dei prodotti tra pesi e rispettive distanze dal fulcro ($P \times D = p \times d$)⁶⁰⁷. Conclude il commento un'importante riflessione che rimanda alla seconda parte della questione, cioè in che modo agiscono i bracci sulla leva stessa. Secondo l'urbinate i bracci operano non in quanto pesi, ma in quanto forze. Questa precisazione è dettata dal fatto che per Baldi le condizioni di equilibrio di una leva non dipendono solo dai pesi ma dall'effetto (o alla forza) che essi acquistano in rapporto alla loro posizione sulla leva. Baldi intuisce in maniera profondamente innovativa che, se consideriamo i bracci come potenze o forze (*potentiae* o *vires*), è possibile porre in relazione diretta i pesi e con le rispettive distanze dal fulcro. In questa digressione si assiste a un primitivo passaggio concettuale da gravità posizionale a momento ponendo come causa dell'equilibrio l'uguaglianza di stato, concetto che è anche impresso nel frontespizio dell'opera (Fig. 56)⁶⁰⁸.

⁶⁰⁵ Lagrange, 1811-1815, p. 20: «Pour peu qu'on examine les conditions de l'équilibre dans le levier et dans les autres machines, il est facile de reconnaître cette loi, que le poids et la puissance sont toujours en raison inverse des espaces que l'un et l'autre peu vent parcourir en même temps : cependant il ne paraît pas que les anciens en aient eu connaissance. Guido Ubaldo est peut-être le premier qui l'ait aperçue dans le levier et dans les poulies mobiles ou moufles». Mach ritiene, giustamente, che la trattazione di Guidobaldo sia più geometrica che meccanica e che manchi una piena comprensione del principio (Mach, 1992, p. 79). Sul tema si vedano Bertoloni Meli, 2013, p. 110 e nota 9; Bertoloni Meli, 2006; Ferraro, 2008, p. 124. Si confrontino anche Del Monte, 1581, Della Leva, pp. 38v-39r; Del Monte, 1577, De Vecte, pp. 42v-43r; Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 64r-64v.

⁶⁰⁶ Aristotele, 2010, p. 181.

⁶⁰⁷ Baldi, 2010, pp. 130-131: «Da quanto abbiamo dimostrato appare dunque chiaro che, poiché si è conservata la proporzione permutata dei bracci e dei pesi, si ottiene l'equilibrio. Ma si potrebbe osservare che se i bracci sono pesi, o equipollenti a pesi, il carico gravante sul fulcro si raddoppia». Sul tema si veda l'analisi di Gatto, 2005.

⁶⁰⁸ Baldi, 2010, pp. 130-131.

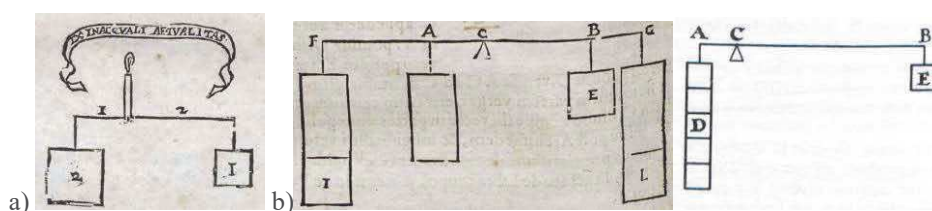


Fig. 56 Equilibrio tra pesi di diversa magnitudo. Baldi rappresenta la proporzionalità inversa tra pesi e rispettive distanze dal fulcro, in Baldi, 2010, frontespizio “Ex inaequali aequalitas” (a) e pp. 128-130 (b).

Baldi si discosta dalle analisi di Aristotele e critica la causa principale addotta dal filosofo greco, cioè che la velocità dipende dalla lunghezza del braccio, in quanto un sistema in equilibrio un braccio non ha velocità in atto se non in potenza. E pertanto, continua Baldi, la differente velocità è conseguenza del movimento e non il contrario, cioè che il diverso movimento non è dato dalla diversa velocità. Anche in questo caso Baldi attinge pienamente dal *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo (*Della Bilancia*, proposizioni V e VI e *Della Leva*, proposizione IV) e al principio della leva esposto nell’opera *Sull’equilibrio dei piani di Archimede*, Libro I, prop. 6⁶⁰⁹.

Nelle proposizioni V e VI della parte *Della Bilancia* e nella proposizione IV della parte *Della Leva* del *Mechanicorum Liber*, Guidobaldo stabilisce una relazione tra pesi, rispettive distanze dal centro e spazi di percorrenza. Nella proposizione V Guidobaldo mostra quale sia il rapporto tra pesi e le rispettive distanze dal fulcro⁶¹⁰. Mentre nella proposizione VI, partendo dal presupposto che pesi uguali posti alla stessa distanza in riferimento al centro della gravità del sistema leva hanno gravezza uguale, rileva che variando la distanza del peso dal fulcro cambia anche la sua gravezza⁶¹¹. In questa proposizione è evidente la difficoltà di Guidobaldo, in quanto, non avendo ancora piena dimestichezza con la nozione di momento, si lascia andare a lampanti ambiguità rischiando di far risorgere il concetto di *gravitas secundum situm* che nella proposizione IV della stessa sezione aveva faticosamente messo sotto il tappeto. Invece nella proposizione IV della parte *Della Leva* Guidobaldo non pone in relazione i pesi con le rispettive distanze, ma stabilisce una proporzione tra spazi di percorrenza dei pesi lungo le porzioni di circonferenza, disegnate dal movimento della leva, con le distanze del punto di applicazione dei pesi dal fulcro. Questa proporzione è molto importante perché qui Guidobaldo sembra alludere al concetto di spostamento virtuale. Lo stesso concetto è utilizzato anche in altre circostanze come, ad esempio, nella parte dedicata al verricello in *Dell’Asse nella rota*, proposizione I (Fig. 57)⁶¹².

⁶⁰⁹ Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Propositione VI [Del Monte, 1577, *De Libra*, Propositio VI]; Del Monte, 1581, *Della Leva*, Propositione IV, Del Monte, 1577, *De Vecte*, Propositio IV]; Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Propositione V [Del Monte, 1577, *De Libra*, Propositio V].

⁶¹⁰ Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Propositione V: «Due pesi attaccati nella bilancia, se la bilancia sarà tra loro in modo divisa, che le parti rispondano scambievolmente à pesi; peseranno tanto ne’ punti dove sono attaccati, quanto se l’uno et l’altro fosse pendente del punto della divisione».

⁶¹¹ Del Monte, 1581, *Della Bilancia* Propositione VI: «I pesi uguali nella bilancia appiccati hanno in gravezza quella proportion, che hanno le distanze, dalle quali stanno pendenti. [...] Corollario. Da questo è manifesto, che quando il peso è più distante dal centro della bilancia, tanto egli è anco più grave, et per conseguente moversi più velocemente».

⁶¹² Del Monte, 1581, *Della Leva*, Propositione IV: «Se la possanza moverà il peso appicato nella leva, sarà lo spatium della possanza mossa allo spatium del peso mosso, come la distanza dal sostegno alla possanza, alla distanza dell’istesso sostegno sin allo appiccamento del peso. [...] Corollario. Da queste cose è manifesto, che maggiore proportion ha lo spatium del peso mosso, che il peso alla medesima possanza. Percioche lo spatium della possanza allo spatium del peso ha la medesima proportion, che il peso alla possanza, che sostiene il detto peso. Ma la possanza, che sostiene è minore della possanza che moue, però il peso haurà proportion minore alla possanza che lo move, che alla possanza, che lo sostiene. Lo spatium dunque della possanza che moue allo spatium del peso haurà proportion maggiore, che il peso all’istessa possanza». Si confronti il corollario con quelli nella parte *Dell’Asse nella rota* a p. 105r.

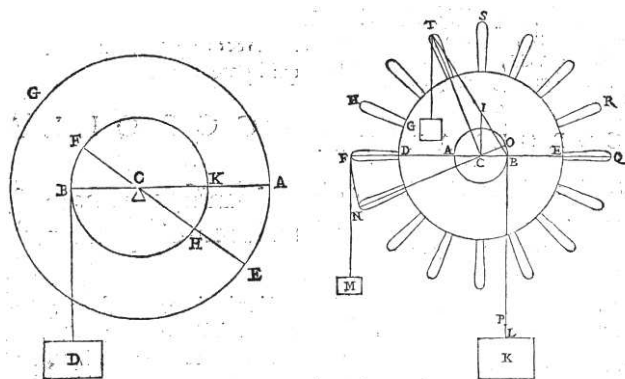


Fig. 57 Proporzione tra pesi e distanze dal fulcro nel caso di leve e di reazioni vincolari, in Del Monte, 1577, *De Vecte*, p. 42v e *De Axe in peritrochio*, p. 107r.

L'impressione è che, per giustificare la riduzione delle macchine semplici alla leva, Guidobaldo riduca molte delle sue dimostrazioni alla combinazione di pesi e distanze. In effetti, come anche lo stesso pesarese rileva nel corso della trattazione, alla base delle sue proposizioni ci sono le Proposizioni 5 e 6 e i Postulati I e VI de *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede, Libro I. Nonostante gli studiosi recentemente abbiano posto l'attenzione sulla debole dimostrazione tramandata da Archimede nella Proposizione 6, non sembra che Guidobaldo avesse nulla da commentare sulla sua completezza e coerenza logica. D'altronde Archimede era per Guidobaldo autorità indiscutibile nel suo campo e nel *Mechanicorum Liber* l'autorità di Archimede serviva a conferire supporto ai teoremi contenuti. Tuttavia, nella *Paraphrasis* de *Sull'equilibrio dei piani* Guidobaldo commenterà le proposizioni 6 e 7 di Archimede rivelando, in maniera soffusa, alcune sue perplessità⁶¹³. In effetti, anche al tempo di Guidobaldo, alcuni intellettuali non erano convinti della correttezza formale della proposizione di Archimede. In una lettera a Pier Matteo Giordani Oddi scrive che avrebbe elogiato maggiormente Niccolò Cabeo «se non [gli] avesse detto, che la sesta d'Archimede degli equiponderanti non conclude bene, e che quell'appensione di pesi in diversi siti non prova bene che i pesi permutam.te presi hanno la stessa proportione che le distanze, quantunque la proposta sia vera»⁶¹⁴.

Abbiamo visto che Guidobaldo esaminò il comportamento della bilancia da una prospettiva generalmente geometrica. Lo stesso giudizio non può essere espresso nei confronti dell'approccio di Baldi, il quale, soprattutto per la natura dell'opera oggetto di commento, include diffusamente considerazioni di tipo tecnico-operativo. Tuttavia, queste riflessioni di natura empirica sono curiosamente assenti nel commento alla *Quaestio* III. Probabilmente l'importanza del tema trattato e il continuo confronto con Archimede portò Baldi a trattare il comportamento della leva in modo geometrico e senza abbassare il livello della sua digressione ad esempi presi dalla pratica. Tuttavia, riteniamo che il *modus operandi* dei pratici scorresse, seppure sotterraneamente, anche nelle riflessioni contenute nel commento alla questione III.

Galileo si confrontò con l'importante relazione che deve instaurarsi tra pesi e rispettive distanze dal fulcro nella Seconda giornata dei *Discorsi*, dove analizza le condizioni di resistenza dei materiali⁶¹⁵. La dimostrazione fornita dal toscano è la seguente. Appoggiandosi sui Postulati archimedei I e VI⁶¹⁶, Galileo considera un parallelepipedo di densità uniforme e in equilibrio, i cui punti estremi sono appesi con delle corde su un'asta. Quindi suppone di tagliare il parallelepipedo in un punto qualsiasi. Allora individua i centri dei due nuovi prismi ottenuti e immagina di appendere i

⁶¹³ Del Monte, 1588, pp. 60-76.

⁶¹⁴ BOP, ms 413, cc. 239-240, Oddi a P. M. Giordani, lettera pubblicata in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 194-197.

⁶¹⁵ Galilei, 1933b, Seconda giornata, pp. 151-154.

⁶¹⁶ Frajese, 1974, pp. 397-399, Postulato I: Chiediamo [che si ammetta] che pesi uguali [sospesi] a distanze uguali si facciano equilibrio; che pesi uguali [sospesi] a distanze disuguali non si facciano equilibrio, ma producano pendenza dalla parte del peso che si trova a distanza maggiore. Postulato VI: Che se grandezze a certe distanze si fanno equilibrio, anche grandezze ad esse uguali poste alle stesse distanze si faranno equilibrio. Galileo, 1933b, Giornata seconda, pp. 151-154.

due punti centrali sulla stessa asta inizialmente considerata. Dopo aver reciso le corde estreme, il nuovo stato di equilibrio dei due prismi, caratterizzato dal rapporto inverso tra i pesi e le rispettive distanze dal centro, risulta essere equivalente al sistema precedente costituito dall'unico parallelepipedo (Fig. 58). Alla base della speculazione di Galileo doveva nascondersi l'idea, esposta nella Prima giornata, secondo la quale i solidi sono composti da atomi di materia indivisibili e infiniti, i quali permettono di tagliare il prisma in qualsiasi punto. Galileo conclude la dimostrazione con riferimenti a casi particolari di leve materiali, stabilendo di volta in volta i rapporti tra peso e resistenza in relazione alla conformazione della leva. Galileo aveva dimostrato il rapporto inverso tra pesi e distanze in relazione ai centri di gravità di un solido, e diviso a sua volta in altri solidi più piccoli, anche nella versione lunga de *Le mecaniche*⁶¹⁷. Nella versione breve invece Galileo esaminava il comportamento della leva alla luce del rapporto inverso tra distanze e pesi per poi introdurre la relazione tra tempo e «fatica», dove «quanto noi ci serviamo di fatica usando la lieva, tanto per l'opposito consumiamo più di tempo»⁶¹⁸.

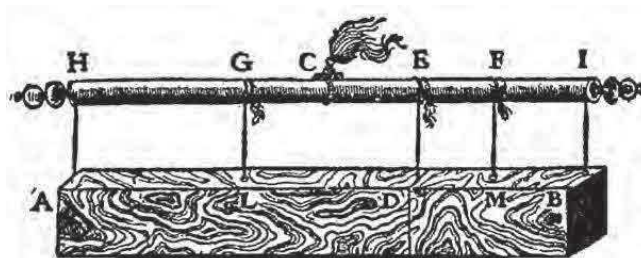


Fig. 58 Galilei, 1933b, Seconda giornata, p. 153.

Nei *Discorsi* Galileo pone in stretta relazione le condizioni di resistenza dei materiali con l'analisi delle condizioni di equilibrio e di rottura di una leva. Secondo Galileo l'elemento responsabile della resistenza dei materiali è da ricercare nelle condizioni di condensazione e di rarefazione dei corpi (tale interpretazione sarebbe stata criticata da Descartes), queste ultime determinate dalla presenza e dall'organizzazione degli infiniti atomi indivisibili che costituiscono la materia⁶¹⁹. Baldi aveva esaminato le condizioni di rottura e di deformazione dei corpi all'interno del commento alla *Quaestio XVI*. Il commento baldiano alla questione XVI è stato profondamente analizzato da Antonio Becchi. Tra i tanti temi affrontati, Becchi auspica che la *Questio XVI* venga finalmente e adeguatamente ricollocata nella storia della meccanica e dell'architettura. Senza dilungarci ulteriormente su tale problematica, rimandando al lavoro di Becchi per una puntuale riflessione sulla questione, ci limitiamo a presentare un tema che da Baldi è arrivato a Galilei mediante il commento di Giovanni de Guevara ai *Problemi meccanici* (1627)⁶²⁰. Nel commento alla Questione XVI Baldi, come avrebbe fatto successivamente Galileo, aveva rilevato il ruolo fondamentale delle

⁶¹⁷ Galilei, 2002, Versione lunga, Definizioni, pp. 50-52.

⁶¹⁸ Galilei, 2002, Versione breve, Della Lieva, pp. 6-8.

⁶¹⁹ Galileo, 1933b, Prima giornata, pp. 92-105. Scrive Galileo: «Salv: [...] Non so adesso, Sig. Simplicio, se i Signori Peripatetici, a i quali io ammetto, come verissimo concetto, il continuo esser divisibile in sempre divisibili, sì che continuando una tal divisione e suddivisione mai non si perverrebbe alla fine, si contenteranno di concedere a me, niuna delle tali loro divisioni esser l'ultima, come veramente non è, poiché sempre ve ne resta un'altra, ma bene l'ultima ed altissima esser quella che lo risolve in infiniti indivisibili, alla quale concedo che non si perverrebbe mai dividendo successivamente in maggiore e maggior moltitudine di parti; ma servendosi della maniera che propongo io, di distinguere e risolvere tutta la infinità in un tratto solo (artificio che non mi dovrebbe esser negato), crederei che dovessero quietarsi, ed ammetter questa composizione del continuo di atomi assolutamente indivisibili, e massime essendo questa una strada forse più d'ogni altra corrente per trarci fuori di molto intrigati laberinti, quali sono, oltre a quello già toccato dalla coerenza delle parti de i solidi, il comprender come stia il negozio della rarefazione e della condensazione, senza incorrer per causa di quella nell'inconveniente di dovere ammettere spazii vacui, e per questa la penetrazione de i corpi: inconvenienti, che amendue mi pare ch'assai destramente vengano schivati con l'ammetter detta composizione d'indivisibili», Galileo, 1933b, Prima giornata, pp. 92-93.

⁶²⁰ Becchi, 2004. Becchi sottolinea che troppo poco si è tenuto in considerazione il magma informe che ha caratterizzato la fase post-leonardiana e pre-galileiana, portando a ritenere erroneamente che nel mezzo non ci fosse nulla di interessante.

condizioni di *rarefactio* (rarefazione), *condensatio* (condensazione) e *constipatio* (addensamento) nelle analisi della resistenza alla rottura e della deformazione dei materiali. Tuttavia, l'urbinate non si soffermava sulle cause responsabili di tali condizioni, sennonché alludendo al concetto di *penetratio corporum*⁶²¹.

Probabilmente Galileo non aveva letto le *Exercitationes* di Baldi, ma sicuramente aveva presente il commento di de Guevara ai *Problemi meccanici*, sia perché menziona il testo di de Guevara nei *Discorsi* sia perché, come si desume dal carteggio, de Guevara aveva chiesto insistentemente a Galileo, però senza ricevere risposta, impressioni su alcune supposizioni contenute nel suo commentario⁶²², in particolare sulla possibilità di interpretare il paradosso della ruota supponendo l'esistenza di atomi infiniti e indivisibili⁶²³. Nel suo commento de Guevara inserisce sia la possibilità di interpretare il paradosso della ruota presumendo l'esistenza di atomi infiniti e indivisibili (*Quaestio* XXIV) sia la distinzione tra *rarefactio* e *condensatio*, responsabile della resistenza o rottura dei materiali (*Quaestio* XVI). Al contrario di Galileo, de Guevara conosceva molto bene le *Exercitationes* dell'urbinate, in quanto più volte cita il testo di Baldi nel commentario⁶²⁴. Pertanto, possiamo dire che alcune idee di Baldi (tra le quali sicuramente l'idea di individuare come causa di rottura del solido la condensazione e la rarefazione delle particelle che compongono il solido stesso) possano essere arrivate a Galileo mediante de Guevara.

È importante notare che il commento baldiano alla Questione XVI ha un contenuto tecnico-operativo e, come rileva lo stesso urbinato, è destinato agli architetti. All'interno del commento al quesito XVI Baldi fa probabilmente entrare le sue esperienze di cantiere maturate a Guevara, Roma e Urbino⁶²⁵. Invece nel commento alla Questione XIV, che anticipa tematicamente la Questione XVI, sono maggiormente presenti considerazioni geometriche. Senza remore, invece, nell'analisi della resistenza dei corpi Galileo mescola considerazioni geometriche relative alle condizioni di equilibrio della leva con l'indagine degli atomi indivisibili e infiniti che compongono la materia⁶²⁶.

Vediamo ora brevemente come Tartaglia e Benedetti hanno discusso l'abbozzo di principio della leva adombrato nella questione III dei *Problemi meccanici* di Aristotele. Tartaglia esamina il rapporto inverso tra pesi e distanze usando la gravità secondo il sito esposta nelle proposizioni

⁶²¹ Baldi, 2010, pp. 222-224: «Dicimus autem materiam, quatenus ad hanc contemplationem spectat, in duplici esse differentia. Aut enim rarefactionis et constipationis est incapax, ut in chalybe videmus, [v]itro, metallo, marmore, aut capax quidem, et haec duplex: Vel enim natura nata est ad rectitudinem quandam, ut arborum flagella virgaeque, aut non item, ceu stannum, plumbum, et caetera eiusmodi. Esto primo vitreum corpus gracile, procerum, teres AB, manu capiatur in A, itaque pondere ipsius corporis prevalente ad partes B, quia in C puncto, quod circa medium est, ex parte superiori non fit rarefactio, nec in inferiori constipatio, nec interim datur penetratio corporum, fit fractio a superiori parte, et pars CB a reliqua parte AC, avulsa et separata cadit in D. Succedit autem ipsa separatio rarefactionis».

⁶²² Galilei, 1935a, *Carteggio 1620-1628*: Giovanni di Guevara a Galileo, 15 novembre 1627, n° 1839; Giovanni di Guevara a Galileo, 24 gennaio 1628, n° 1851. Scrive Galileo nei *Discorsi*: «Salv: [...] Orsù, già che si è messo mano a i paradossi, veggiamo se in qualche maniera si potesse dimostrare, come in una continua estensione finita non repugni il potersi ritrovar infiniti vacui; e nell'istesso tempo ci verrà, se non altro, almeno arrecata una soluzione del più ammirabil problema che sia da Aristotele messo tra quelli che esso medesimo addimanda ammirandi, dico tra le questioni mecaniche; e la soluzione potrebbe esser per avventura non meno esplicante e concludente di quella che egli medesimo ne arreca, e diversa anco da quello che molto acutamente vi considera il dottissimo Monsig. di Guevara», Galilei, 1933b, Prima giornata, p. 68.

⁶²³ de Guevara, 1627. Galilei, 1933, pp. 68, 165. Galilei, 1935a, *Carteggio 1620-1628*: Giovanni de Guevara a Galileo, 15 novembre 1627, n° 1839; Giovanni de Guevara a Galileo, 24 gennaio 1628, n° 1851 Giovanni de Guevara a Galileo 15 novembre 1627, n. 1839; de Guevara a Galileo, 24 gennaio 1628, n. 1851; de Guevara a Galileo, 2 marzo 1629, n. 1935; de Guevara a Galileo, 20 aprile 1629, n. 1945; de Guevara a [Galileo], 2 settembre 1629, n. 1956. De Guevara discute il paradosso della ruota nella *Quaestio* XXIV. Nei *Discorsi* Galileo connette il paradosso della ruota con il problema della resistenza dei materiali e con l'idea che la materia sia costituita da infiniti vuoti e da atomi infiniti e indivisibili, Galilei, 1933b, Prima giornata, pp. 66-73. Sul tema Carugo, 2005. Sul commento ai *Problemi meccanici* di de Guevara si veda anche Camerota, M., 2014.

⁶²⁴ Per esempio le *Exercitationes* baldiane sono ricordate da de Guevara nel commento alla *Quaestio* III e nel commento alla *Quaestio* XIV. Si confronti De Guevara, 1627, p. 89 (*Quaestio* III) e p. 158 (*Quaestio* XIV).

⁶²⁵ Becchi, 2004, p. 57.

⁶²⁶ Nenci, 2013.

precedenti. Nelle sue considerazioni Tartaglia ricorre spesso all'uso di esempi pratici per spiegare la proposizione di Archimede (Fig. 59)⁶²⁷.

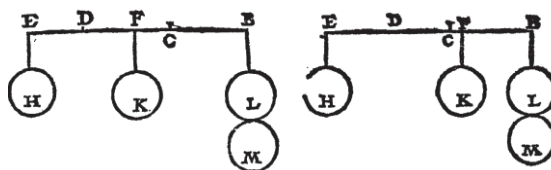


Fig. 59 Tartaglia, 1959, Quesito XXXVI, Proposizione IX, p. 94v.

Benedetti analizza il rapporto tra pesi e distanze all'interno dei capitoli I e II del *De mechanicis*⁶²⁸. In questi capitoli, Benedetti riconduce la causa della gravità di un peso posto a una certa distanza dal fulcro alla più o meno pressione del detto peso sul fulcro. In altre parole, secondo Benedetti un peso più è lontano dal centro più è pesante, perché meno preme sul fulcro; al contrario, un peso più è vicino al fulcro meno è pesante, perché più preme sul fulcro. Nei capitoli successivi esamina il rapporto tra pesi posti su una bilancia e le distanze dal centro della bilancia ai punti a cui i pesi stessi sono appesi. La ricostruzione poggia ampiamente sulle proposizioni archimedee, in particolare vengono utilizzati il Postulato I, la Proposizione 5 e la Proposizione 6. A differenza di Tartaglia, che spesso usa esempi pratici per argomentare in favore delle proprie proposizioni, Benedetti usa le dimostrazioni geometriche per spiegare problemi di ordine pratico. All'interno dei trattati di Tartaglia e Benedetti, la dimostrazione archimedeica della Proposizione 6 è impiegata dai due autori per giustificare la *propria meccanica*. Infine segnaliamo alcune differenze dal punto di vista dello stile espositivo. Sebbene Tartaglia abbia impiegato il dialogo, il suo modo di argomentare segue il caratteristico procedimento archimedeo, caratterizzato da assiomi e concatenazione logica. Tartaglia usò la forma dialogica per meglio riportare le discussioni intrattenute con duchi, capitani e intellettuali; ciò gli consentiva di rimarcare l'interesse per la matematica da parte dei nobili dell'epoca (ostentando anche le sue conoscenze sull'argomento e la qualità dei suoi incontri) e per dare fluidità ai ragionamenti, caricandoli di *appeal*. Invece la sua volontaria aderenza allo stile dimostrativo archimedeo serviva a legittimare le sue digressioni in volgare e pronunciate da un autodidatta. Al contrario, la parte *De Mechanics* di Benedetti sembra essere caratterizzata dalla concatenazione di argomenti piuttosto che da dimostrazioni. Benedetti sembra abbastanza disinvolto nelle sue riflessioni e libero dal deferente confronto con l'autorità. Questa sua indifferenza metodologica pare aver prodotto due effetti: la presenza di alcune velate contraddizioni interne (uso del termine *gravitas* per indicare l'attuale concetto di momento) e la formulazione di ipotesi che avrebbero anticipato alcune intuizioni galileiane (come la soluzione "antiaristotelica" per spiegare la velocità dei corpi in caduta libera).

Il disinvolto approccio di Benedetti alla meccanica, in quanto spesso incurante dell'autorevolezza della tradizione filosofica, e l'intreccio del procedimento assiomatico-deduttivo con le conoscenze tecnico-operative tipiche del cantiere, che pervade il commento baldiano, avrebbero caratterizzato anche la pratica argomentativa di Galileo. Possiamo ragionevolmente supporre che le modalità dimostrative e argomentative che hanno caratterizzato le disquisizioni e i commenti di Tartaglia, di Benedetti (filtrato da Guidobaldo) e di Baldi (filtrato da de Guevara) sarebbero entrate nei lavori di Galileo.

⁶²⁷ Tartaglia, 1959, Libro VIII, Quesito XXXV, Proposizione VIII e Quesito XXXVI, Proposizione IX. Nella sua traduzione di Archimede [Tartaglia, N., 1543b, *Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi per Nicolaum Tartaleam*, Venetijs, per Venturinum Ruffinellum], la Proposizione 6 di Archimede coincide con la Proposizione IV della versione pubblicata da Tartaglia (Tartaglia, 1543b).

⁶²⁸ Benedetti, 1585, pp. 141-143.

QUINTO CAPITOLO: LE OFFICINE URBINATI E GLI STRUMENTI SCIENTIFICI NEL CINQUECENTO

È difficile ricostruire la genealogia degli strumenti scientifici, come è difficile individuare quale dovesse essere il ruolo della tecnica nell'antichità. Il letterato e storico Giuseppe Boffito ritiene che tra gli strumenti più antichi debbano essere considerati l'orologio solare (XII secolo a.C.), le rudimentali bussole (XI secolo a.C.) e gli astrolabi (IV secolo a.C.), in quanto rispondono a quelle necessità primordiali dell'uomo di conoscere la misura del tempo e la direzione dello spazio. Secondo Boffito l'orologio solare era inizialmente costruito posizionando un gnomone eretto su una superficie. Mentre la bussola rudimentale corrispondeva a un ago magnetico galleggiante che riusciva a indicare, seppure in maniera grossolana, la direzione. La bussola in senso moderno (caratterizzata dall'impernamento dell'ago magnetico e dall'inserimento della rosa dei venti all'interno) fece la sua apparizione nel XII secolo d.C. circa ad Amalfi. Nel Seicento molti ritenevano che l'inventore dell'importante strumento fosse stato l'amalfitano Flavio Gioia (XIII secolo d.C.)⁶²⁹. Lo stesso Bernardino Baldi dedicò all'invenzione della bussola il componimento poetico *L'invenzione del bossolo da navigare*⁶³⁰. Il terzo tra gli strumenti ritenuti più antichi, l'astrolabio, era costituito da un asse inclinato con una sfera mobile e da un emisfero cavo, fisso e concentrico; l'astrolabio era utilizzato soprattutto per studiare il cielo⁶³¹.

Nel tardo Rinascimento, ricorda l'urbinate Polidoro Virgili, le invenzioni più importanti furono la stampa (diffusa in Cina sin dall'anno 1000, venne introdotta in Occidente solo nel 1455 da Johannes Gutenberg) e l'artiglieria⁶³². Queste due novità ebbero un forte impatto sulla nuova epoca, in quanto la prima permise di diffondere la conoscenza riproducendo libri senza errori e interpolazioni, mentre la seconda diede un nuovo volto alle inevitabili guerre tipiche dell'assetto geopoliticamente frammentato del territorio "europeo". Importanti innovazioni avvennero anche nel settore della navigazione. La necessità di aprire nuove rotte commerciali contribuì a perfezionare gli stessi strumenti impiegati, come la bussola e le carte nautiche. A questa vitalità "tecnologica" diede il proprio apporto anche l'ambiente tecnico-scientifico urbinato con i suoi architetti militari⁶³³ e le sue officine di strumenti scientifici.

Negli anni che vanno dal mecenatismo di Federico da Montefeltro alla devoluzione del ducato di Urbino allo Stato della Chiesa (1631), l'ambiente urbinato fu uno tra i centri italiani più vitali e dinamici del Rinascimento. Uno dei motivi di attrazione di illustri maestranze fu il grande cantiere del Palazzo Ducale, il cui basamento era ornato da 72 formelle in pietra raffiguranti macchine a uso civile e a uso militare scolpite dal milanese Ambrogio Barocci e disegnate dal senese Francesco di Giorgio Martini e dal riminese Roberto Valturio. La mostra di meccanica che all'esterno sfoggiava il Palazzo Ducale dovette aver stimolato la curiosità per i congegni meccanici da parte degli artisti, architetti, costruttori e intellettuali che, passeggiando accanto al palazzo, potevano vedere e ammirare ogni giorno la meccanica esposta in una galleria artistica a cielo aperto.

Uno dei maestri artigiani venuti a Urbino per lavorare al palazzo ducale fu, come abbiamo detto, Ambrogio Barocci. Il capostipite della famiglia Barocci fu un certo Antonio di origine milanese. Quest'ultimo e suo figlio, il già citato Ambrogio, arrivarono a Urbino e insieme lavorarono alla fabbrica del Palazzo Ducale. Nel corso dei lavori al Palazzo Ducale, probabilmente Ambrogio rivestì

⁶²⁹ In realtà sembra che l'attribuzione dell'invenzione della bussola a Flavio Gioia sia da imputare a un fraintendimento grammaticale. Sulla questione si vedano Nenci, 2005, e la relativa bibliografia; Boffito, 1982, pp. 54-61.

⁶³⁰ Baldi, B., 1901.

⁶³¹ Boffito, 1982, pp. 3-19. Una descrizione degli strumenti utilizzati nell'antichità è anche in Yan e Ceccarelli, 2009, e Russo, L., 2017, capitolo 4. *La tecnologia scientifica*, in particolare l'orologio e la bussola vengono descritti nelle pagine 128-131 e 138-142.

⁶³² Virgili, 1587; Virgili, 2005, p. 51v.

⁶³³ Tra gli architetti militari urbinati più importanti nonché ideatori di macchine belliche segnaliamo: Scirro Scirri da Casteldurante, Gentile Veterani da Urbino, Valerio Pompei da Pesaro e Iacomo Castriotti da Urbino. Sul tema rimandiamo a Gamba, 2008.

anche il ruolo di capomastro, dal momento che la sua attività incluse, oltre alla semplice decorazione del palazzo, anche mansioni più complesse⁶³⁴. L'attività di scultore e costruttore venne ereditata da suo nipote, anch'egli di nome Ambrogio, il quale ebbe due figli: Federico, il pittore⁶³⁵, e Simone, che portò avanti l'officina e che si distinse nella costruzione di strumenti scientifici, di orologi solari e di orologi da corredo. Simone Barocci (1525-1608) è considerato l'effettivo fondatore dell'officina urbinata. I suoi allievi furono Fabio Liera, Panezio Panezi e Lorenzo Vagnarelli (1584-1675), il quale rilevò l'attività. Botteghe importanti furono anche quelle avviate dai cugini di Simone: Giovanni Battista e Giovanni Maria Barocci, quest'ultimo attivo soprattutto a Roma⁶³⁶. Giovanni Maria fu artefice di un importante e pregiato orologio meccanico realizzato su commissione da Guidobaldo II della Rovere per papa Pio V⁶³⁷. L'orologio, dopo essere stato prelevato da Napoleone durante l'occupazione romana, è attualmente parte di una collezione privata. All'epoca l'officina Barocci era una tra le più conosciute e più rinomate, tanto da risultare agli occhi dell'urbinate Baldi la «bottega del mondo»⁶³⁸.

Nel 1500 costruire un buon orologio meccanico non doveva essere affatto facile. Nel caso di orologi da corredo (portatile o da tavolo), la loro realizzazione richiedeva grande maestria, come l'arte di un orefice, e questo li rendeva molto costosi e pregiati rispetto agli orologi da torre, i quali erano invece costruiti da fabbri. In generale la costruzione di un orologio da corredo richiedeva doti artigianali di elevato livello, rudimentali conoscenze di meccanica – per il posizionamento dei pesi e contrappesi per regolare il perfetto sincronismo del meccanismo interno –, e l'utilizzo di strumenti per dividere in modo da ottenere ingranaggi con dentature regolari⁶³⁹. Tuttavia sembra che gli orologi dell'epoca non fossero molto precisi. Ciò perché essi erano costruiti principalmente per essere esibiti e sfoggiati. Gli orologi venivano apprezzati in particolar modo per la loro eleganza e per i marchingegni che contenevano all'interno. La precisione non era necessaria, in quanto il tempo veniva misurato nel lungo periodo avendo come riferimento il sole e nel breve periodo avendo come riferimento le preghiere. Sebbene tali orologi non avessero utilità pratica, poiché spesso venivano preferiti ad essi altri sistemi di misurazione del tempo, paradossalmente, da un punto di vista dello *status* sociale, il meccanismo misterioso che celava questi orologi garantiva dignità all'ideatore⁶⁴⁰.

⁶³⁴ Su Ambrogio Barocci si veda Ceriana, 2004. Sul tema si veda anche Bedini, 2001, pp. 9-16.

⁶³⁵ Bedini, 2001, pp. 30-31.

⁶³⁶ Bedini, 2001, pp. 31-46. Panicali (in Panicali, 1988, pp. 67-98) descrive un orologio da camera di Simone Barocci e un astrolabio costruito da Giovanni Maria Barocci. Oddi, inoltre, nel Proemio del trattato *De gli Horologi solari* ricorda l'orologio costruito da Giovanni Maria Barocci per Pio V, si confronti Oddi (Oddi, Mu., 1638, Proemio, pp. 10-11).

⁶³⁷ Gamba, 2005, p. 344. L'orologio era considerato un prodigio della tecnica, tant'è che Baldi gli dedicò un sonetto, sul tema si confronti Becchi, 2004, p. 112. Sui sonetti di Bernardino Baldi dedicati agli orologi costruiti dai Barocci si veda Perini Folesani, 2019.

⁶³⁸ Panicali ricorda che Morpurgo era persuaso che alcuni orologi dei Barocci erano stati raffigurati da Tiziano nei suoi dipinti. Panicali, correggendo la forte affermazione di Morpurgo, ritiene invece che il pittore avesse dipinto orologi secondo lo stile degli orologi dei Barocci (Panicali, 1988, pp. 102-104). In ogni caso, o che Tiziano avesse raffigurato gli orologi dei Barocci o che Tiziano avesse invece dipinto orologi secondo lo stile dei Barocci, la somiglianza degli orologi testimonia il grande apprezzamento dei prodotti barocceschi da parte degli uomini del tempo. Per questo motivo, come evidenzia Panicali, anche gli eredi dell'officina urbinata firmavano i propri orologi "Barocci Urbino" (Panicali, 1988, pp. 114-118).

⁶³⁹ Gamba, 1992.

⁶⁴⁰ Gamba, 1992. Nell'antichità la costruzione di macchine era considerata inutile principalmente per due motivi: il primo di ordine scientifico, tra la teorizzazione del marchingegno e la sua costruzione pratica vi era un abisso a causa della mancanza di alcuni concetti scientifici (come ad esempio l'attrito), e il secondo, più importante, di ordine culturale, cioè la grande disponibilità di forza lavoro rendeva vano l'impiego di macchine, senza dubbio più costose dell'uso degli schiavi. Ciò produceva un circolo vizioso: la grande disponibilità di manodopera, più economica, rendeva inutile l'impiego di macchine e l'assenza di macchine utilizzabili rendeva necessario perpetuare la schiavitù. La conseguenza fu che la manodopera, qualsiasi essa fosse, divenne attività connotata di inferiore moralità, perché associata all'attività degli schiavi, rispetto all'esercizio intellettuale favorito dall'agio e dall'ozio. Sul tema si veda ad esempio Dijsterhuis, 1971, pp. 101-105.

Con il tempo il costruttore smise di essere solo un fabbricatore, diventando progettista di strumenti. Questo dualismo di esecutore e ideatore nell'attività del costruttore fu una tappa necessaria che favorì l'incontro della scienza con la tecnica⁶⁴¹.

Come indica Muzio Oddi nel proemio all'opera *Fabrica et uso del compasso polimetro* (1633), successivamente la bottega dei Barocchi si specializzò anche nella costruzione di compassi, oggetti che richiedevano per la loro realizzazione buone competenze matematiche, affinché potessero essere affidabili e precisi. Oltre per la costruzione dei compassi, le conoscenze matematiche erano fondamentali per la costruzione di automi ed orologi astronomici. Questi strumenti dovevano essere estremamente precisi, in quanto erano impiegati in attività professionali. Pertanto, era frequente che per superare il problema i costruttori si avvalevano delle competenze dei matematici⁶⁴². Infatti, l'ottimale costruzione di un automa, di un orologio astronomico o di un compasso poteva avvenire solo grazie alla combinazione delle competenze tecniche con le conoscenze matematiche.

Secondo una consolidata tradizione storiografica l'evoluzione della tecnica ha generalmente risentito del progresso delle conoscenze scientifiche, pertanto possiamo ritenere che la qualità dello strumento possa essere ritenuta un indicatore della salute della scienza del periodo⁶⁴³. Tuttavia, è pur vero che nel Rinascimento per motivi culturali tecnica e matematica teorica raramente si influenzarono reciprocamente. Le domande provenienti dall'ambiente dei tecnici e i progressi da loro compiuti rimanevano confinati all'interno del loro mondo, mondo non in grado, almeno nel primo Rinascimento, di dialogare con i professori delle università, custodi della matematica pura. Questa distanza era tracciata da due fattori: 1) da un diffuso rigetto dell'uso pratico della scienza da parte dei matematici e 2) dall'inaccessibilità della letteratura matematica antica per la maggior parte dei tecnici. In più, la scienza intellettuale discussa (spesso asetticamente) nelle università non era tanto avanzata da sostenere la progettazione tecnica ed era pertanto generalmente inadatta alle applicazioni pratiche. Abbiamo già mostrato le caratteristiche culturali di questa epoca di transizione, in cui la divisione dei due strati sociali fu assottigliata, seppure gradualmente e con fatica, grazie soprattutto al lavoro del frate matematico Luca Pacioli e del matematico autodidatta Niccolò Tartaglia. In questa fase di avvicinamento ebbe un ruolo non marginale l'opera di Federico Commandino e dei suoi allievi, i quali instaurarono una proficua collaborazione con gli esponenti dell'officina Barocchi⁶⁴⁴.

Nonostante i pochi orologi e strumenti scientifici attribuibili all'officina dei Barocchi pervenutici, quest'ultima fu tra le più rinomate dell'epoca come dimostra le numerose e significative commissioni ricevute. Per esempio, tra il 1568 e il 1570, Fabrizio Mordente affidò a Simone Barocchi la costruzione di due strumenti: una specie di cilindro per dividere le circonferenze in parti uguali e il compasso "Roverino" per dividere i segmenti (Fig. 61)⁶⁴⁵. Lo strumento per dividere la circonferenza in parti uguali era stato elaborato nel 1554 e presentato nell'opuscolo *Modo di trovare con l'Astrolabio, o Quadrante, o altro instromento, oltre gradi, intieri, i minuti, et secondi, et ogn'altra particella*, 1567 (Fig. 60)⁶⁴⁶.

⁶⁴¹ Sul tema si veda per esempio Koyre, 2000a, in particolare le pp. 100-102.

⁶⁴² Frank, 2013b, p. 317 riporta una lettera di Girolamo Arduini inviata a Giovanni de' Tommasi, 1 settembre, 1583: «Ho mandato a dire a mastro Pietro orologiaio, che dia l'orologio della trataruca al S.r, Guid'Ubaldo, acciò veda se è giusto; il mastro me ha detto che subito lo portarebbero et vi sono poi stato io, et ho ritrovato che mastro Pietro è andato a Imola, et non sarà qui prima che domani» (BOP, ms 434, fol. 57r-57v). Sul tema si veda anche Gamba, 2001, pp. 84-87.

⁶⁴³ Boffito, 1982, p. XIV.

⁶⁴⁴ Si confronti il paragrafo *Commandino e le officine urbinati*.

⁶⁴⁵ Gamba, 1994a, p. 804.

⁶⁴⁶ Camerota, F., 2012; Camerota, F., 2004, pp. 15-17.



Fig. 60 Mordente, F., *Modo di trovare con l'Astrolabio, ò Quadrante, ò altro instromento, oltre gradi, intieri, i minuti, et secondi, et ogn'altra particella*, Venezia, 1567, in Camerota, F., 2004, Tav. 15.

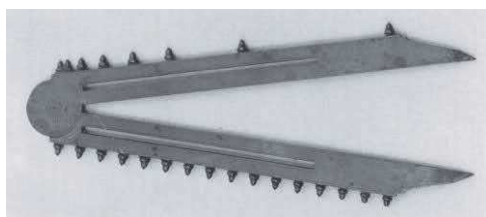


Fig. 61 Compasso roverino (Museo Correr, Venezia, cl. XXIX, n° 78), in Camerota, F., 2004, Tav. 16.

Come racconta Oddi, Commandino consegnò sempre a Simone un progetto per migliorare i compassi allora in circolazione: il compasso perfezionato da Commandino è attualmente conosciuto come compasso di riduzione⁶⁴⁷. Ancora secondo Oddi Guidobaldo fece costruire a Simone Barocci il suo compasso delle divisioni⁶⁴⁸. Anche Galileo realizzò a Urbino alcuni modelli del suo compasso geometrico e militare. Dalla corrispondenza di Oddi si evince, inoltre, che vi fossero richieste da tutta Italia⁶⁴⁹. Gli stessi duchi urbinati, consapevoli del prestigio delle officine sparse nel proprio ducato, usavano donare le produzioni delle officine ai loro omologhi. In alcuni casi i duchi proibivano ai costruttori di lavorare per altri, come ad esempio fece Francesco Maria II della Rovere nei confronti di Pietro Griffi⁶⁵⁰. Dalla corrispondenza della famiglia Vincenzi si desume che a Simone Barocci arrivarono commissioni, oltre che dalla corte urbinata, da numerosi signori italiani, in particolare per la fornitura di astucci di strumenti matematici. Gli *stucci* dovevano essere di ottima qualità, se molti committenti, pur di avere un astuccio di fattura barocca, accettavano di sopportare l'aggressività e i ritardi che avevano reso famoso il costruttore Simone. Questi *stucci* contenevano gli strumenti dell'architetto, come una squadra snodata che serviva da archipendolo, una squadra zoppa (una specie di grafometro) con una calamita (aveva la funzione di bussola) che serve per rilevare le posizioni, due compassi con le punte di acciaio e con la penna, due compassi di minore grandezza, un compasso a molla con la vite, un compasso per dividere le linee rette e i cerchi, un compasso con la punta per tagliare cartoni, una lancetta contenente altri quattro strumenti, una riga e una squadra snodata, un paio di forbici, un temperino, un compasso dalla carta marina (il cosiddetto compasso nautico), uno stile per costruire gli orologi solari, una canula per la matita, uno strumento per fare angoli retti e uno per riportare gli angoli⁶⁵¹. L'officina urbinata fu nel tempo molto apprezzata, tanto che anche Muzio

⁶⁴⁷ Camerota, F., 2000, pp. 5-7, propone una classificazione dei compassi volta a diradare una volta per tutte la confusione che nel corso degli anni si è creata sulle varie nomenclature. In questa riorganizzazione dei nomi, Filippo Camerota rileva che il compasso di Commandino deve essere identificato come un compasso di proporzione a quattro punte.

⁶⁴⁸ Guidobaldo intrattenne rapporti epistolari con Giacomo Contarini sul compasso di Mordente. Si veda per esempio Biblioteca Ambrosiana Milano, J 231 Inf., cc. 194v-196v, Del Monte a Giacomo Contarini, Pesaro, 6 ottobre 1577, lettera pubblicata in Rose, 1968. Sul tema si vedano Gamba, 1994a, e Camerota, F., 2004, in particolare le pp. 12-17.

⁶⁴⁹ Sull'officina dei Barocci si veda Morpurgo, 1966; Morpurgo, 1950; Panicali, 1988; Bedini, 2001, pp. 25-26.

⁶⁵⁰ Gamba, 1992.

⁶⁵¹ Panicali, 1988, pp. 38-48.

Oddi, durante i suoi anni di esilio forzato, ricevette continuamente dai suoi protettori e dai suoi amici milanesi, come ad esempio dal mercante Pieter Linder, richieste di astucci baroccheschi⁶⁵².

Come abbiamo già riferito, Barocci realizzò un compasso di riduzione su progetto di Commandino⁶⁵³. Tra i due probabilmente non ci fu solo una collaborazione professionale, ma, secondo Giovanni Pietro Bellori, Simone dovette per un periodo frequentare il circolo di studio del filologo-matematico urbinato⁶⁵⁴. La collaborazione tra il restauratore della matematica antica e uno dei più famosi costruttori di strumenti scientifici dell'epoca è un elemento che ancora una volta intendiamo evidenziare. Se è vero che uno dei fattori che permette alla scienza di progredire sia l'incontro e, soprattutto, il dialogo tra tecnica e matematica. Possiamo intravedere nella piccola Urbino una prima indicazione della fecondità del dialogo tra le due visioni della scienza, a quel tempo molto distanti, che avrebbero altresì evidenziato reciprocamente i propri limiti⁶⁵⁵.

Alla morte di Simone Barocci, l'officina venne custodita e portata avanti da Lorenzo Vagnarelli, il quale seppe mantenere alto il prestigio della bottega nel campo della meccanica di precisione, anche se sembra che Vagnarelli non fosse particolarmente versato nella geometria⁶⁵⁶. Alla morte di quest'ultimo, l'officina venne rilevata da Eusebio Bruni e Annibale Luciani. Negli anni Lorenzo Vagnarelli fondò presso i suoi laboratori una scuola per la formazione teorica e pratica degli artigiani. Essa era conosciuta come Accademia degli Istrumenti Matematici e sembra avesse avuto larga popolarità⁶⁵⁷.

I compassi sono gli strumenti che probabilmente meglio rappresentano l'evoluzione del rapporto matematica e tecnica. Essi nel corso delle epoche subirono una progressiva trasformazione in base all'evoluzione delle competenze matematiche. Filippo Camerota distingue il compasso di riduzione, caratterizzato da due gambe incrociate e fabbricato per disegnare in scala o per comparare misure diverse tra loro (Fig. 62), dai compassi di proporzione, ovvero compassi che permettevano di svolgere operazioni e calcoli complessi. Questi ultimi divennero sempre più sofisticati fino a diventare dei veri e propri calcolatori⁶⁵⁸.

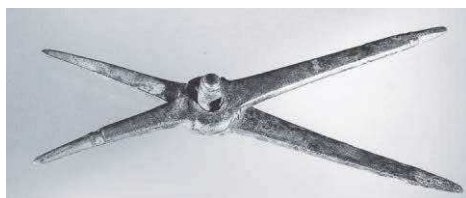


Fig. 62 Compasso di riduzione ritrovato a Pompei (Napoli, Museo Archeologico Nazionale, Inv. 286791), in Camerota, F., 2004, Tav. 3.

Il compasso di proporzione può essere di diversi tipi: a quattro punte, a otto punte e a gambe piatte.

Il primo è il tipo di compasso progettato da Commandino (impropriamente chiamato compasso di riduzione). Esso è simile al compasso di riduzione, ma si differenzia da quest'ultimo per l'incisione di varie scale proporzionali sulle gambe e perché permette di svolgere poche e semplici operazioni

⁶⁵² Sul tema Marr, 2011, Chapter 5. Sugli strumenti costruiti da Vagnarelli si veda Marr, 2011, Appendix C.

⁶⁵³ Bedini, 2001, pp. 18-25

⁶⁵⁴ Bellori, 1672, p. 170. La notizia è ribadita anche da Silvio A. Bedini in Bedini, 2001, p. 19.

⁶⁵⁵ Ci troviamo d'accordo con Salvo D'Agostino quando scrive che «il procedimento di controllo di una teoria mediante uno strumento è possibile nella misura in cui ci si può fondare su una legalità dell'uso dello strumento stesso, quando cioè esistono teorie strumentali controllate e teorie da controllare», D'Agostino, 1983, p. 182.

⁶⁵⁶ Bedini, 2001, pp. 46-53. Marr, 2001, p. 151. Si veda anche la lettera inviata da Oddi a Camillo Giordani, Lucca, 7 novembre 1629, ms 413, cc. 175-176: «Quando al segnarlo [il compasso polimetro] certa cosa è che il Vagnarelli non lo saprebbe farlo da sé, per la peritia di geometria che ne si richiede, ma io ho fatto le tavole et hogliole mandate un pezzo fa», lettera pubblicata in Gamba, 1994a, pp. 810-812.

⁶⁵⁷ Gamba, 1975, p. 178. Bedini, 2001, p. 19.

⁶⁵⁸ Camerota, F., 2000, pp. 5-7.

geometriche e stereometriche, senza svolgere però operazioni di calcolo (Fig. 63). Probabilmente anche Leonardo aveva ideato dei compassi con tali caratteristiche.



Fig. 63 Compasso di riduzione del tipo progettato da Federico Commandino nel 1568, Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze, Inv. 655, in Camerota, F., 2004, Tav. 11.

Il compasso di proporzione a otto punte è invece quello progettato da Fabrizio Mordente e discusso da Giordano Bruno nei suoi *Dialoghi*⁶⁵⁹. Esso è un compasso tecnicamente più avanzato del compasso “Roverino” precedentemente progettato. Questa nuova versione è dotata di cursori scorrevoli e permette, oltre alle operazioni del compasso a quattro punte, per esempio di misurare le frazioni del grado, di calcolare le radici e di effettuare rilevamenti topografici (Fig. 64).

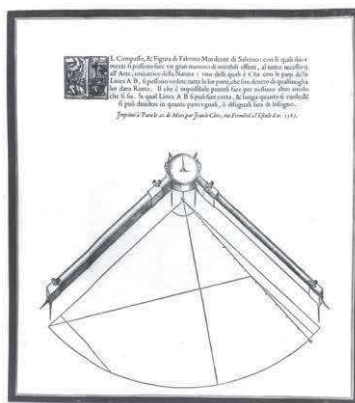


Fig. 64 F. Mordente, *Il Compasso e Figura di Fabritio Mordente...*, Paris, 1585, in Camerota, F., 2004, Tav. 26.

Il compasso di proporzione a gambe piatte è un compasso che permette di fare calcoli anche complessi. Esso è un vero e proprio strumento di calcolo. Il compasso delle divisioni di Guidobaldo, simile plausibilmente a quello illustrato da Gallucci (Fig. 65) e da Clavio (Fig. 66), e il compasso geometrico militare di Galileo, descritto nel 1606 e raffigurato nell’edizione del 1744 (Fig. 67), sono varianti di quest’ultima categoria⁶⁶⁰.

⁶⁵⁹ Bruno, G., 1586, *Dialogi duo de Fabricii Mordentis Salernitani prope divina adinventione ad perfectam cosmimetriae praxim*, Parisiis, ex Typographia Petri Cheuillot. Sul tema si veda Camerota, F., 2000.

⁶⁶⁰ Camerota, F., 2000, pp. 6-7.

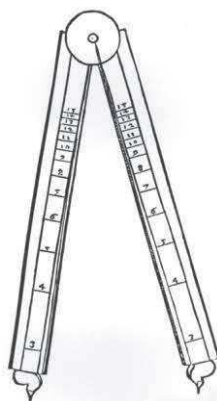


Fig. 65 G.P. Gallucci, *Della fabrica et uso di diversi strumenti...*, Venezia, 1598, cap. XXI, in Camerota, F., 2004, Tav. 13.

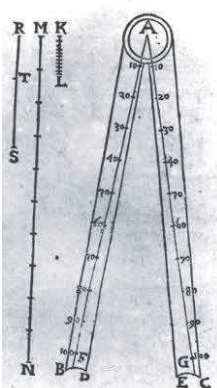


Fig. 66 C. Clavio, *Geometria Practica*, Roma, 1604, I, I), in Camerota, F., 2004, Tav. 14.

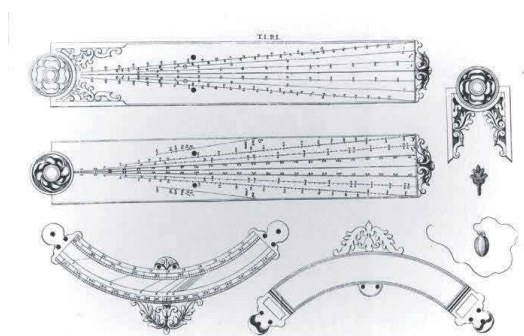


Fig. 67 G. Galilei, *Le operazioni del compasso geometrico et militare*, in *Opere di Galileo*, Padova, appresso Gio. Manfrè, 1744, in Camerota, F., 2004, Tav. 29.

L'ideazione e la progettazione di strumenti e macchine giocheranno un ruolo decisivo nel processo che avrebbe portato alla nascita della scienza moderna. Lo strumento, infatti, non consentiva soltanto il potenziamento dei sensi e soprattutto della vista, come nel caso del cannocchiale di Galileo, ma, lo rimarchiamo ancora una volta, era emblema della sintesi tra matematica ed esperienza. Col tempo lo sviluppo delle procedure di misurazione contribuì alla migliore quantificazione delle acquisizioni esperienziali e alla più efficace attribuzione di valori numerici alle proprietà osservabili in rapporto all'evoluzione temporale di questi ultimi. Infatti, se confrontiamo i due compassi disegnati da Leonardo nel *Manoscritto H* (Fig. 68) – manoscritto datato 1493-1494 – con il compasso oggetto del trattato *Fabbrica et uso del Compasso Polimetro* (1633) del matematico urbinato Muzio Oddi (Fig. 69), notiamo che il compasso descritto da Oddi, costituito da diverse scale metriche è ideato

come un vero e proprio strumento di calcolo. Sebbene Vagnarelli ricevette i progetti da Oddi, non sappiamo se effettivamente il compasso polimetro venne costruito⁶⁶¹. Nella Royal Library di Windsor Castle è catalogato un disegno di compasso attribuito a Oddi. Forse potrebbe essere uno dei disegni consegnati a Vagnarelli (Fig. 70).

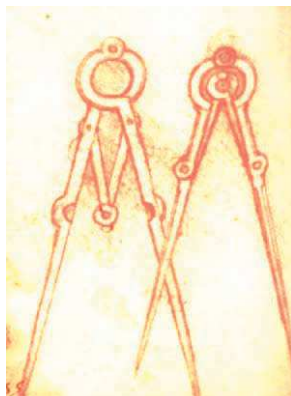


Fig. 68 Compassi di Leonardo da Vinci, in *Manoscritto H*, folio 108v, 1493-1494 circa, Parigi, Institut de France.

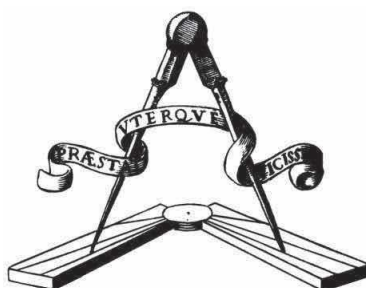


Fig. 69 Compasso polimetro di Muzio Oddi, in Oddi, Mu., 1633, frontespizio.

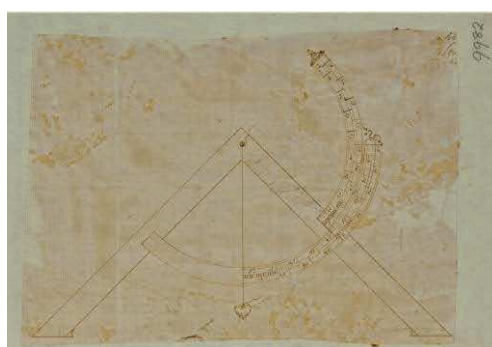


Fig. 70 Compasso disegnato da Muzio Oddi, in Royal Library and Royal Archives, Windsor Castle, RCIN 909982
<https://www.rct.uk/collection/about-the-collection/the-royal-library-and-royal-archives>.

Per la ricchezza delle sue funzionalità, il compasso polimetro di Oddi, così come quello di Guidobaldo e di Galileo, rappresentava un vero e proprio strumento di calcolo. Esso permetteva di dividere segmenti e circonferenze, di costruire poligoni, di trovare i lati di qualsiasi figura regolare

⁶⁶¹ BOP, ms 413, c. 178r, Muzio Oddi a Camillo Giordani, Lucca, 21 novembre 1629 e BOP, ms 413, c. 180r, Muzio Oddi a Camillo Giordani, Milano, 19 dicembre 1629. Le lettere sono state pubblicate da Gamba, in Gamba, 2007, pp. 356-357. Tuttavia, Gamba e Montebelli rilevano (in Gamba e Montebelli, 1988, p. 145) che Vagnarelli riuscì poi costruirlo, gli autori citano la lettera inviata da Muzio Oddi a Matteo Oddi, il 28 giugno 1617, in BUU, Fondo Congregazione Carità, Busta 47, fasc. V, c. 570.

equivalente a una data, di determinare diametri di palle di uno stesso materiale ma di pesi diversi e diametri di palle di stesso peso ma di diversi materiali, di determinare i lati dei cinque corpi regolari e di eseguire velocemente calcoli anche piuttosto complessi⁶⁶². Al contrario di quello progettato da Oddi, i due compassi di Leonardo da Vinci qui presi in considerazione sembrerebbero piuttosto strumenti che consentivano soprattutto di controllare le proporzioni. Altri compassi disegnati dal toscano danno invece l'impressione di essere stati ideati per svolgere alcune semplici operazioni geometriche e stereometriche e non solo per comparare. Oddi aveva ideato il compasso polimetro per rispondere a esigenze di calcolo, mentre probabilmente per Leonardo era più importante il valore estetico e pratico dei suoi dispositivi, rispetto alla possibilità di un loro impiego nelle procedure di misurazione e di computazione. La diversità dei compassi e delle loro funzionalità, progressivamente sempre più complesse, riflettono la rivoluzione culturale e scientifica, alle cui radici possiamo tuttavia collocare le riflessioni di Leonardo da Vinci⁶⁶³.

Abbiamo notizie degli strumenti costruiti dall'officina Barocci in collaborazione con i "membri" della scuola matematica urbinata anche nel trattato *De gli Horologi solari* (1638) di Muzio Oddi. Nel trattato l'architetto urbinato ricorda che Guidobaldo commissionò a Simone Barocci un orologio solare in una mezza sfera di ottone, conosciuto comunemente come orologio a calice (orologio solare a rifrazione)⁶⁶⁴. Nello stesso luogo Oddi riferisce anche che nella fontana del giardino pensile del Palazzo Ducale fosse presente una meridiana a rifrazione costruita da un ignoto costruttore e realizzata utilizzando come modello l'orologio disegnato nella mezza sfera in ottone.

Tra quante cose belle, & ammirabili, che in proposito d'Horologi da Sole sono state ritrovate infino al giorno d'hoggi, nissuna e che per mio credere pareggi quella del farli nel concavo d'un vaso, con si fatto artificio, che l'ombra non mostri l'hore giuste, se non quando è tutto ripieno d'acqua, non potendoli, non senza meraviglia vedere, che col fare i Raggi Rinfranti, storcere l'ombra del Gnomone, la dirizzano in parte che ne faccia conoscere il vero. Chi di così curiosa cosa ne sia stato l'autore, non saprei darne certa notitia, non sapendo che nessuno de gl'Antichi n'habbia lasciato memoria alcuna: *ben so de moderni, che l'anno 1572 l'Illustrissimo Signor Guidobaldo de Marchesi del Monte ne fece fare uno da Simone Baroccio, eccellente artefice, in una mezza sfera d'Ottone, & hollo havuto nelle mani molto tempo il quäle serui pòi come per modello d'uno, che d'ordine del Duca Francesco Maria Secondo, ne fu Fabricato entro la tazza della fonte, che è nel Giardino pensile del suo Magnificentissimo Palazzo d'Urbino come si vede fino algiorno d'hoggi.*⁶⁶⁵

Prima di indagare le sorti della meridiana nella fontana del giardino pensile del Palazzo Ducale di Urbino, intendiamo riflettere sull'orologio a calice fatto costruire da Guidobaldo a Simone Barocci, il quale dovette essere un oggetto di indubbio interesse se Bernardino Baldi, forse anche per eccessivo campanilismo, gli dedicò un epigramma:

Sopra un orologio da sole oprato con acqua del P. Guido Baldo de' Marchesi del Monte
Non è tazza di bacco e di Fileno
Quel che là vedi concavo emisphero;
Orologio è ch'al sol dimostra il vero,
Se fin'a l'orlo è di bell'onda pieno.

⁶⁶² Gamba e Montebelli, 1988, pp. 145-155. Sul tema si vedano anche Camerota, F., 2000; Gamba, 1994a.

⁶⁶³ In generale, possiamo dire che la diversità dei compassi rispecchia la diversità delle epoche e degli interessi degli ideatori. Nel primo Rinascimento i compassi venivano progettati prevalentemente per risolvere problemi legati all'eterogeneità delle unità di misura, poiché queste ultime erano antropomorfe (pollici, piedi, braccia) e variavano da regione a regione a causa della frammentazione politica italiana.

⁶⁶⁴ Oddi scrive a Pier Matteo Giordani, BOP, ms 413, 7v-8r: «Guidobaldo del Monte à Mutio suo, Il gusto che ti viddi prendere dell'horologio coi raggi rinfranti nell'acqua, che io inventai per servire al serenissimo nostro padrone, mi hà mosso a inviarti quest'opuscolo che hò scritto intorno ad esso», brano pubblicato in Marr, 2011, Web Appendix, Italian Quotations, 23.1.

⁶⁶⁵ Oddi, Mu., 1638, p. 99, corsivo nostro.

Ha dunque doppio il vaso in sé calore.
Poi ch'a' labri dà il fonte, agli l'ore.⁶⁶⁶

Possiamo riconoscere nell'orologio costruito dal binomio del Monte-Barocci un indicatore dell'importante collaborazione che dovette instaurarsi tra i due. Esso è un esempio di come il contesto urbinato facilitasse l'incontro e la condivisione di conoscenze tecniche e scientifiche. Tale incontro permetteva anche il mutuo progresso della tecnica e delle conoscenze scientifiche, favorendone l'avanzamento reciproco. Se la rivoluzione scientifica è passata anche dall'abbattimento delle barriere culturali che dividevano il mondo dei teorici dal mondo dei pratici, allora possiamo dire che a Urbino si fanno le prove generali di ciò che accadrà nei decenni successivi.

Recentemente Filippo Camerota ha gettato luce sulle sorti del cimelio urbinato⁶⁶⁷. Lo studioso ritiene che l'orologio costruito da Barocci su progetto di Guidobaldo, descritto da Oddi e da Baldi nell'epigramma, sia l'orologio solare a rifrazione ora conservato presso il Museo di Storia della Scienza di Firenze, Collezione Medicea, dal 1574 (Fig. 71).



Fig. 71 Orologio solare a rifrazione attribuito a Simone Barocci, Museo Galileo, Istituto e museo di storia della scienza, collezione Medicea, inventario 241, <https://catalogo.museogalileo.it/oggetto/OrologioSolareRifrazione.html>.

Ritorniamo ora alla meridiana a rifrazione nella fontana localizzata nel giardino pensile. Bernardino Baldi nella *Descrittione del Palazzo d'Urbino*, opera datata 1587, ricorda solo che al centro del giardino del Palazzo Ducale vi era una fontana, senza citare l'eventuale funzione di orologio solare.

Fatto questo [Luciano Laurana] divise tutta l'area ne suoi quadri, lasciandovi le strade di buona larghezza, e dove fanno la croce cavandovi una rotondità, nel mezo della quale alzò una fontana di pietra con un gran vaso tutto d'un pezzo, posato sopra un piede à guisa di coppa. A questa s'ascende con tre scalini agevolissimi, che la circondano. Acqua non getta ella continuamente, per non haverne di vena: ma solamente a tempo secondo l'occasione, e la volontà de Signori.⁶⁶⁸

Roberto Panicali ritiene che, se davvero quella fontana avesse avuto la funzione di orologio solare, tale peculiarità avrebbe destato la curiosità di Baldi e sarebbe stata ricordata nella sua descrizione della fontana del Palazzo Ducale. Secondo Panicali, quella fontana venne resa un orologio solare ad acqua solo successivamente. Se ciò fosse, la trasformazione dovrebbe essere avvenuta tra il 1587 e il 1631, anno della devoluzione del ducato di Urbino alla Stato della Chiesa. Tuttavia, secondo recenti studi la fontana attualmente presente nel giardino pensile del Palazzo Ducale non è un orologio

⁶⁶⁶ Baldi, 1914, p. 82. L'epigramma è citato in Camerota, F., 2003, p. 28.

⁶⁶⁷ Camerota, F., 2003.

⁶⁶⁸ Baldi, 1590, *Descrittione del Palazzo d'Urbino*, p. 543-544.

solare ad acqua, ma un orologio solare a secco⁶⁶⁹. Ciò infittisce il mistero: probabilmente l'orologio descritto da Oddi deve essere ancora trovato.

Nel corso del tempo anche a Pesaro si era sviluppata un'importante tradizione di costruttori di congegni meccanici, in particolare di automi e di orologi astronomici. Sono note le abilità di Lucio Agnesi, di Pietro Griffi, di Bernardino Campi e di suo figlio, Bartolomeo Campi. Quest'ultimo aveva costruito una tartaruga in grado di camminare e di servire gli stuzzicadenti ai commensali⁶⁷⁰.

Con la devoluzione del ducato di Urbino allo Stato della Chiesa, le officine persero gradualmente vitalità soprattutto a causa di un progressivo eclissamento di quella scienza urbinata che tanto era stata alimentata dalla scuola commandiniana e dai duchi urbinati, i quali spesso offrivano ai loro omologhi doni di fattura barocca. Le officine continuarono a fabbricare orologi e compassi, ma non riuscirono a specializzarsi nella costruzione di lenti, ambito che stava risentendo positivamente degli sviluppi dell'ottica e delle strabilianti osservazioni in ambito astronomico, soprattutto all'indomani dell'apparizione della supernova del 1604 e delle osservazioni di Galileo nel 1609. Com'è noto il cannocchiale di Galileo rappresentò da questo punto di vista una fase di svolta⁶⁷¹. Le sue osservazioni cambiarono il modo di guardare il cielo e di giudicare il nostro ruolo dell'universo. Conseguentemente produssero un effetto propulsivo per quanto concerne la costruzione di strumenti ottici e lo studio dei principi dell'ottica. Benché Galileo non avesse avuto profonde conoscenze in materia che gli permettessero di giustificare l'attendibilità delle sue osservazioni, l'innovazione tecnica segnò un importante passo verso la progressiva fiducia nello strumento in quanto ausilio utile per ampliare i sensi e per meglio conoscere la realtà fisica. Tuttavia, scriveva Galileo nel *Saggiatore*, la realtà mostrata dai sensi non è configurabile come un qualcosa di oggettivo. Secondo il toscano la conoscenza sensibile è una conoscenza legata alla percezione soggettiva delle particelle corpuscolari che colpiscono i sensi; mentre potremmo avere una conoscenza oggettiva della struttura della natura qualora fossimo in grado di comprendere le relazioni matematiche e geometriche. Eppure, puntualizza Galileo, anche questa conoscenza oggettiva fornisce un'immagine della natura parziale, in quanto l'uomo non può conoscere il libro della natura nella sua completezza, come Dio lo conosce direttamente e immediatamente («extensive»), ma solo in minima parte («intensive») combinando le sensate esperienze e le certe dimostrazioni. E di questa minima parte però può avere conoscenza certa e necessaria⁶⁷².

Il cannocchiale di Galileo non permise solamente di conoscere meglio il cielo, ma rappresentò un fondamentale punto di svolta per la fiducia nella tecnica all'interno della pratica osservativa. La combinazione delle due lenti, una convessa e una concava, utilizzate da Galileo per implementare il cannocchiale venne impiegata per costruire i primi microscopi. Un altro innovatore della pratica dell'osservazione fu l'astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601), il quale costruì e descrisse nei suoi trattati numerosi strumenti astronomici. Gli stessi urbinati tenevano molto in considerazione le osservazioni di Brahe, in quanto apprezzavano le sue notevoli competenze matematiche e la sua raffinata abilità nel realizzare strumenti.

Il cannocchiale e il microscopio permisero all'uomo di espandere enormemente i propri sensi, aprendogli definitivamente le porte dell'infinitamente grande e dell'infinitamente piccolo. L'uomo poté dunque rendersi conto che la realtà fisica non era solo quella che riusciva a vedere, ma che c'era

⁶⁶⁹ Gamba e Mantovani, 2013; Gamba, 1985; Panicali, 1988, pp. 122-129.

⁶⁷⁰ Gamba, 1992. Sull'argomento Enrico Gamba ha presentato una relazione dal titolo *Orologi e strumenti matematici a Urbino* in occasione del convegno di studi *Muzio Oddi (1569-1639). Tra ingegneria, matematica e strumentazione scientifica. Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita*, 17 settembre 2019.

⁶⁷¹ Orazio del Monte, figlio di Guidobaldo, in una lettera a Galileo aveva apprezzato le potenzialità del cannocchiale: «L'invention del'occhiale è cosa veramente di grandissimo gusto, nè mi posso persuadere che Olandesi, o altri ingegni barbari, vi siano a parte. Ma questa, d'haver scoperto quattro pianeti di più, è cosa maravigliosa, et simile allo scoprimento d'un mondo novo; et V. S. Ecc.ma potrà con molta ragione gareggiar di gloria con il Colombo, non che avvantaggiare il Montereccio: et io, che professo portarle particolare affetto, godo in estremo che il suo nome cresca con il suo molto merito», (Galilei, 1934a, Orazio del Monte a Galilei, 16/06/1610).

⁶⁷² La distinzione tra «intensive» ed «extensive» è presente nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), Galilei, 2014, Giornata prima, pp. 109-110.

molto altro che, a causa della limitatezza dei sensi, gli era precluso. La rivoluzione scientifica, come scrive Salvo D'Agostino, non è solo caratterizzata dal fatto che gli strumenti di precisione consentirono di vedere fenomeni nuovi, ma dal fatto che gli strumenti permisero di vedere i fenomeni in modo nuovo⁶⁷³.

Possiamo ancora respirare la cultura tecnica che aveva reso famoso Urbino durante il Rinascimento. All'inizio di via Barocci (Fig. 72) possiamo ancora trovare la casa natale di Federico Commandino. Pochi passi più avanti, una lapide in via Barocci n. 18 contraddistingue casa Barocci, dove ebbero i natali il pittore Federico⁶⁷⁴, Simone Barocci e gli orologiai Giovanni Battista e Giovanni Maria. Al civico 19, invece, era nato e lavorava Lorenzo Vagnarelli, allievo di Simone e l'architetto Pietro Vagnarelli. Ai numeri 34 e 27, sempre di via Barocci, si trovavano rispettivamente le case di Pompilio Bruni e Annibale Luciani, collaboratori di Vagnarelli all'officina e insegnanti di matematica applicata alla costruzione di strumenti⁶⁷⁵. Via Barocci è la via più rappresentativa di Urbino, non solo perché prende il nome da un'illustra famiglia largamente apprezzata dai suoi contemporanei per le doti artigiane, ma perché nei quasi 200 metri di lunghezza e nei pochi metri di larghezza matematica, arte e scienza si mescolavano mettendo le basi per la rivoluzione galileiana.



Fig. 72 Via Barocci, Urbino.

⁶⁷³ D'Agostino, 1983, p. 173. Il tema qui accennato prende spunto dalle conversazioni avute con Vincenzo Fano sull'argomento.

⁶⁷⁴ Le lettere maiuscole degli *Elementi* di Euclide tradotti da Federico Commandino sono state molto probabilmente realizzate da Federico Barocci. Sul tema si veda Moranti, 1981.

⁶⁷⁵ Gamba e Montebelli, 1988, pp. 175-178.

SESTO CAPITOLO: MUZIO ODDI

6.1 La vita di Muzio Oddi. Formazione, liti e nomadismo



Fig. 73 Johannes Troschel, Ritratto di Muzio Oddi, Milano, Civica raccolta di stampe “A. Bertarelli”, pubblicata in Gamba e Montebelli, 1988, Fig. 7. Sull’attribuzione del ritratto a Troschel si veda Marr, 2011, pp. 126-127.

Le principali notizie per ricostruire la vita di Muzio Oddi possono essere desunte dalle biografie di Pier Girolamo Vernaccia, di Vittorio Rossi e di Carlo Grossi⁶⁷⁶. Recentemente i lavori di Gamba e Montebelli, Alexander Marr e Sabine Eiche hanno gettato nuova luce sulla sua vita e sulla sua attività scientifica, dandogli visibilità internazionale e al contempo un ruolo di rilievo nell’ambiente scientifico del tempo e nella progettazione di importanti lavori edilizi e di strumenti scientifici⁶⁷⁷.

Muzio Oddi (Fig. 73) fu l’ultimo esponente dell’illustre tradizione matematica che ha contrassegnato il Cinquecento urbinato. Egli nacque e si formò a Urbino, ambiente pieno di vitalità scientifica e culturale, in cui i restauratori della matematica antica dialogavano con i costruttori degli strumenti scientifici. Questo sodalizio, che era sorto in maniera naturale e spontaneo, fu facilitato dalle piccole dimensioni del ducato e si rifletté sulla formazione dello stesso Muzio.

Oddi ebbe una vita alquanto frenetica, soprattutto se confrontata con gli altri tre urbinati. Egli fu costretto a vivere molti anni fuori dal ducato, ma sempre auspicando un ritorno nella sua cara patria. Oddi nacque a Urbino il 14 ottobre 1569. Il padre Lattanzio fu un capitano militare e la madre, Lisabetta Genga, apparteneva a un’illustre famiglia di architetti. Il biografo Gian Vittorio Rossi narra che il padre, indeciso su quale nome dare a suo figlio, scrisse più nomi su più pezzettini di carta e li mise in un’urna. La sorte volle che più volte uscì il nome Muzio, quasi come «presagio della fermezza con cui doveva tollerare gli infortuni», come il romano Muzio Scevola⁶⁷⁸. Oddi fu allievo dello zio materno Nicolò Genga e di Guidobaldo del Monte. Da giovane frequentò per un breve periodo la bottega di Federico Barocci (1530 circa-1612), luogo in cui apprese le basi della prospettiva e in cui forse poté entrare in contatto con i manoscritti di Leonardo da Vinci⁶⁷⁹. Muzio probabilmente abbandonò la carriera pittorica per problemi di vista. Egli ebbe contatti epistolari anche con

⁶⁷⁶ Vernaccia, 1740; Rossi, G. V, 1692; Grossi, 1819.

⁶⁷⁷ Gamba e Montebelli, 1988; Marr, 2011; Eiche, 2005.

⁶⁷⁸ Grossi, 1819. Durante l’assedio di Roma da parte degli Etruschi (508 a.C.), Muzio Scevola tentò di assassinare il re etrusco Porsenna, ma, non conoscendolo, sbagliò persona e pugnalò un altro. Avendo fallito, Scevola bruciò la sua mano destra e, con grande fermezza, non la tolse dal braciere finché non fu completamente consumata.

⁶⁷⁹ Appendice, A12.

Bernardino Baldi e Francesco Paciotti. Presumibilmente questi ultimi non ebbero un ruolo da insegnanti nella formazione del giovane Oddi, anche perché in quel periodo Baldi e Paciotti erano saltuariamente a Urbino⁶⁸⁰.

Tra il maggio e il luglio 1595 Oddi partì per la Borgogna in qualità di ingegnere militare al seguito delle truppe capitanate da Alessandro Brunori e inviate da Francesco Maria II in appoggio alla Spagna nella guerra contro la Francia nell'ottava guerra di religione francese tra cattolici e protestanti. Nel novembre del 1595 rientrò a Urbino per malattia⁶⁸¹. Il 14 giugno 1596, venne nominato ingegnere ducale da parte del duca Francesco Maria II della Rovere. Tra i 1596 e 1597 Oddi fu a Pesaro, impegnato nei suoi primi lavori architettonici. Nel 1598 fece ritorno a Urbino. In questo periodo condusse diversi progetti tra cui l'ampliamento della Chiesa della Croce, la costruzione di parte dell'attuale municipio di Senigallia, la cattedrale di Fabriano e la cupola del duomo di Urbino che verrà eseguita successivamente nel 1604, ma in sua assenza. Nel 1789 la cupola crollò a causa di un terremoto.

Nel 1599 iniziarono le difficoltà. Il 30 luglio 1599, insieme all'urbinate Urbano Virgili, Oddi venne condannato in contumacia all'esilio per aver pescato in zona vietata e per aver fatto il bagno nudo nel Metauro, un'area situata in prossimità della residenza a Casteldurante di Francesco Maria II. In quel periodo Oddi era a Casteldurante per dirigere i lavori di ampliamento della dimora del duca. La vicenda dovette risolversi il 7 ottobre, quando, secondo documenti ufficiali, Virgili fu costretto a pagare un'ammenda di pochi scudi. Probabilmente anche per Oddi andò allo stesso modo⁶⁸². Due anni dopo, nel 1601, Oddi venne accusato da Giuseppe Azzolino, un depositario del duca, di stare eseguendo male i lavori a Casteldurante per conto di Francesco Maria II. Oddi reagì ferocemente alle accuse, non solo incolpò il depositario di maldicenza, ma lo minacciò e lo ferì brutalmente. Oddi si diede alla fuga, rifugiandosi presso la Repubblica Veneta. Sebbene non sappiamo quanto ci sia di vero nella vicenda, nella dimora di Muzio a Casteldurante vennero trovati oggetti appartenenti al guardaroba ducale⁶⁸³. Mediante il suo agente in terra veneta Giulio Brunetti, il duca provò, senza esito, a farsi consegnare il fuggiasco dai veneziani. Il duca distribuì anche un identikit con la speranza che qualcuno potesse individuarlo e riconsegnarlo per la dovuta punizione.

Mutio Oddi d'Urbino, professione d'Architetto
Di anni 30
Di giusta statura

⁶⁸⁰ Diversamente Vernaccia sostiene che Baldi e Paciotti furono maestri di Oddi. Sul rapporto tra Oddi e Paciotti abbiamo poche notizie. Al contrario, sulla possibilità che Oddi e Baldi potessero aver discusso di tematiche di comune interesse sembra indicato dal contenuto di alcune lettere. Per esempio, dalla corrispondenza sappiamo che Baldi apprezzava le competenze di Oddi nel campo della gnomonica. Il 25 febbraio 1598 Baldi aveva scritto a Pier Matteo Giordani che il suo lavoro sulla gnomonica era terminato e che avrebbe voluto farlo vedere a qualcuno come Cristoforo Clavio, Guidobaldo del Monte o Muzio Oddi. Inoltre, aggiungiamo l'intuizione di Napolitani e Baldini (Clavio, 1992, Volume II, Parte I, 1570-1592, pp. 189-193 e le rispettive note nel Volume II, Parte II, 1570-1592, pp. 127-129). I curatori della corrispondenza di Clavio ritengono che l'autografo anonimo 79 bis, contenente alcune dimostrazioni gnomoniche e inviato nel 1592 a Clavio da Giulio Fuligatti, sia stato scritto da Bernardino Baldi e che sia da porre in relazione con il contenuto della lettera inviata il 26 aprile 1588 (lettera n. 52) da Baldi a Clavio. Dal momento che le dimostrazioni contenute nell'autografo anonimo possono essere poste in relazione con il contenuto della lettera del 1588 e sono discusse da Giulio Fuligatti e Clavio nel 1592, i due studiosi collocano la data di spedizione dell'allegato sulla gnomonica tra l'ottobre del 1588 e l'agosto del 1592. Tralasciamo di commentare il manoscritto e l'interessante disegno che lo correda per porre solamente l'attenzione su una frase posta a metà dello scritto: «Ultimamente ho trovato un modo da far i Cilindri in manco due hore, il qual modo ho insegnato ad alcuni giovani miei compatrioti». Dato che a quel tempo Oddi aveva tra i 19 e i 23 anni, è plausibile che uno di quei giovani compatrioti fosse Oddi. Se tale ipotesi fosse vera, acquisterebbe più credito la supposizione che identifica Baldi un altro maestro di Oddi. Un'adeguata discussione di questa vicenda e del rapporto Baldi-Oddi si trova in Becchi, 2017b, p. 52.

⁶⁸¹ Eiche, 2005, pp. 7-8.

⁶⁸² Gamba e Montebelli, 1988, pp. 110-111.

⁶⁸³ La vicenda è così raccontata nei documenti conservati presso l'Archivio Comunale Urbana, Archivio antico, busta 60, fasc. I, cc. 77r-78r, il sopralluogo venne fatto il 3 settembre 1601. La notizia è riportata in Gamba e Montebelli, 1988, p. 111.

Curvo un poco nell'andare
Vista corta et occhi piccoli
Poca barba et castagnaccia
Cattivo colore
Magro et asciutto.⁶⁸⁴

Nel dicembre 1601 Oddi è di nuovo in patria, probabilmente l'architetto urbinato trovò un'intesa informale con il suo duca. Nel gennaio 1602 Oddi scrisse al padre da Macerata, dicendogli di aver trascorso un mese dal suo amico Ippolito Capi, a Casteldimezzo vicino Pesaro⁶⁸⁵. Dal 22 maggio 1602 al 15 giugno 1605 Oddi fu architetto della Basilica della Santa Casa di Loreto, dove prese il posto di Lattanzio Ventura. A Loreto collaudò la gran botte, costruita da Felice Nassimbene da S. Ginesio e Quinto da Sarnano e disegnò sia gli scompartimenti della sagrestia della Basilica sia gli stucchi eseguiti, tra il 1604 e il 1605, da Stefano Zuccari e da Francesco Fiorentino.

Il 16 maggio 1605 nacque Federico Ubaldo della Rovere, l'atteso erede di Francesco Maria II. Nell'occasione il duca concesse un'amnistia di cui beneficerà anche lo stesso Oddi. Infatti, poche settimane dopo (1 giugno), tramite atto notarile, Oddi trovò un accordo con Giuseppe Azzolino; successivamente (probabilmente avvenne il 9 giugno) si riconciliò ufficialmente anche con il duca Francesco Maria⁶⁸⁶. Il momento di pace durò poco. L'anno successivo Oddi venne incarcerato nella Rocca di Pesaro. Nonostante il fatto sia raccontato da tutti i biografi, la dinamica sembra essere ancora incerta. Secondo Grossi, Oddi fu accusato di aver intercettato una lettera, indirizzata da Francesco Maria II al marchese Ippolito della Rovere, odiato dal duca, e di averla data alla moglie del duca Livia della Rovere, la quale doveva rimanerne all'oscuro⁶⁸⁷. Il duca dovette andare su tutte le furie. Ippolito si rifugiò a Roma e il 18 agosto 1606 Oddi venne rinchiuso nella Rocca di Pesaro⁶⁸⁸. Durante la prigionia Oddi scrisse due capitoli del trattato sugli orologi solari, tre capitoli dell'opera sullo squadro, una parte del libro sul compasso polimetro e i *Gheribizzi* riguardanti l'abbellimento urbanistico di Urbino⁶⁸⁹. Intorno alla metà del 1610 la prigionia venne convertita in esilio.

Riportiamo ora il commento di Carlo Promis sulla vicenda esposto all'interno dell'*Antologia italiana, giornale di scienze, lettere ed arti*. Secondo Promis, che riporta una lettera inviata da Oddi a Pier Matteo Giordani, l'architetto urbinato era senza colpa. Dalla lettera emerge che Oddi non poteva raccontare a voce il motivo della sua incarcerazione, in quanto erano coinvolte potenti personalità⁶⁹⁰. Dal quel momento Oddi fu costretto a un lungo peregrinare.

Che il reato apposto all'Oddi fosse mera calunnia facilmente si prova dall'indole onestissima ch'egli ebbe; ma allora tali accuse si davano per le quali vano era all'innocente vittima sino il pensiero d'una discolpa. La causa della disgrazia fu raccolta allora dalle voci sommesse del popolo, più tardi dalle bocche dei vecchi cortigiani, giacchè Muzio non ne parlò mai chiaro neppure coi confidenti suoi, sapendosi partecipe di altissimo arcano, complice o nemico di grandi personaggi, come si può comprendere dalla lettura di quanto scrisse assai dopo ad un suo amico e fautore, dopo avere nel 1627 ottenuto un indulto ([in nota:] Lettera a P. M. Giordani. Carteggio autografo dell'Oddi, fog. 151 di Lucca, 8 ottobre 1627). «Sarò subito a Pesaro et allora le dirò a

⁶⁸⁴ Vernarecci, 1889; Vernarecci, 1893. Sul tema si veda anche Gambioli, 1918.

⁶⁸⁵ Eiche, 2005, p. 10.

⁶⁸⁶ Probabilmente il motivo del viaggio di Francesco Maria II della Rovere a Loreto è riconducibile alla volontà di riappacificarsi con Muzio Oddi. L'11 giugno 1605 Oddi è ancora a Loreto da dove scrive a Ippolito Capi, a cui chiede di cercare il fratello per sostituirlo affinché potesse giustificarsi al processo riguardante il reato commesso nell'agosto 1601, Eiche, 2005, pp. 10-11.

⁶⁸⁷ Secondo le accuse pare che Oddi avesse agito in cambio di favori da parte della duchessa (Gamba e Montebelli, 1992, p. 35).

⁶⁸⁸ Eiche, 2005, pp. 12-13.

⁶⁸⁹ Gli scritti avviati in prigionia sono elencati da Servolini (Servolini, 1933), Grossi racconta come Oddi riuscì a costruire un compasso rudimentale e come riuscì ad escogitare dei modi per ottenere una carta e inchiostro per scrivere. Sui *Gheribizzi* si veda Oddi, Mu., 2005.

⁶⁹⁰ Oddi fu sempre molto parco nel raccontare i fatti della triste vicenda per via epistolare.

bocca ciò che ho fatto in materia delle mie pretensioni, et quale strada et pretesto habbia preso perchè una lunga lettera che li ho scritto li capiti alle mani, et se bene lo stimi negotio spallato, non ho voluto per questo stare di metterli un pulce nell'orecchie, che se haverà coscienza et stimolo d'honore che non le sia per molestarla finchè viverà». E l'accennata lettera io la credo scritta a qualcuno dei favoriti del duca, che di molti ne aveva ed indegnissimi, autore a quanto pare della disgrazia di lui. Risulta eziandio la gravità della cosa dal perpetuo silenzio che l'Oddi serbonne anche dopo morto nel 1631 Francesco Maria; sicchè egli stesso scrivendo due anni dopo all'amico Linder da Norimberga suo zelantissimo, ed accennando alla mala sua sorte, diceva: «non voglio far qui un mercato di lamenti per venderli alla compassione, né accrescere il mio giusto dolore allungando il discorso delle mie ingiuste sventure: dirò solo che questo (cioè il trattato del Compasso) fu il Zimbello che servì per farmi tenere a bada da un mignone, acciò l'inganno tesomi avesse più sicuro effetto, et perciò, come arzigogolo di così lagrime vole ricordanza, hollo tenuto sempre ascoso».⁶⁹¹

Verso la metà del 1610 Oddi si vide convertire la prigionia in esilio. L'11 agosto Oddi era a Milano, da dove scrisse ad Antonio Magini. A Milano Oddi dovette ricostruire la propria vita e dovette soprattutto trovare incarichi che gli permettessero di vivere tranquillo. Nel corso del suo esilio milanese Oddi diede lezioni di arte militare, di geometria applicata, di prospettiva e di gnomonica. All'inizio trovò lavoro probabilmente nel castello di Bulà (settembre 1610). Il 19 marzo 1613 vinse il concorso di Lettore di Matematiche presso le Scuole Palatine. Sebbene lo stipendio non fosse così elevato, esso gli diede maggiore stabilità e tranquillità economica. Negli anni milanesi insegnò architettura militare e l'uso delle meridiane all'amico e mercante tedesco Pieter Linder e insegnò scienze matematiche a Giovan Battista Caravaggi⁶⁹². Oddi fu assunto anche dal fondatore dell'Accademia del Disegno, Federico Borromeo, per insegnare prospettiva agli allievi dell'Accademia. Tra questi ultimi vi erano anche Daniele Crespi e Francesco Bellone. Alexander Marr nel suo importante *Between Raphael and Galileo: Mutio Oddi and the Mathematical Culture of Late Renaissance Italy* riferisce che nel 1613 Oddi fu anche ingaggiato per insegnare prospettiva agli scalpellini della Cattedrale. È probabile che tra i partecipanti alle lezioni ci fosse anche Francesco Borromini. Inoltre, Oddi insegnò geometria e matematica alla contessa Giovanna Borromeo (nipote di Federico Borromeo): in questo periodo trovare una donna che avesse la possibilità di apprendere le matematiche, e più in generale di studiare, rappresentava un'eccezione. Per le sue lezioni, Oddi utilizzò principalmente testi in volgare per meglio farsi capire dai tecnici che frequentavano la sua scuola⁶⁹³.

Le competenze matematiche di Oddi vennero apprezzate dalle più importanti famiglie milanesi, come le famiglie Trivulzio, Settala, Borromeo e Visconti, per le quali Oddi eseguì lavori e fece da intermediario per l'acquisto di strumenti scientifici di fattura urbinata⁶⁹⁴. Spesso, consapevole della rinomanza delle officine, offriva compassi ai suoi protettori con la speranza di poter rinforzare la propria condizione sociale e lavorativa. Grazie a Federico Borromeo Oddi ricevette degli incarichi presso la Veneranda Fabbrica del Duomo⁶⁹⁵. Durante il soggiorno milanese frequentò architetti, tecnici militari, matematici e intellettuali come Giovan Battista Caravaggi, Giuseppe Barca, il conte Marliani e Bonaventura Cavalieri.

Durante il suo soggiorno milanese Oddi ebbe numerosi incarichi, sebbene precari. Nel 1614 a Oddi venne affidato l'incarico di ingegnere militare nella guerra contro il ducato di Savoia, tuttavia partecipò saltuariamente allo scontro bellico⁶⁹⁶. Nell'ottobre 1618 Oddi venne consultato dalla

⁶⁹¹ Promis, 1848, pp. 380-381.

⁶⁹² Marr, 2005.

⁶⁹³ Marr, 2011, pp. 78-79.

⁶⁹⁴ Oddi era anche amico di Galeazzo Arconati, cugino di Borromeo. In quel periodo Arconati stava acquisendo numerosi manoscritti di Leonardo da Vinci. Forse Oddi ebbe modo di consultarli. Appendice, A12.

⁶⁹⁵ Oddi fece costruire per Borromeo una sfera d'argento per studiare il moto della luna, BOP, ms 413, f 163v-164r, Oddi a Camillo Giordani, 3 novembre 1629.

⁶⁹⁶ Marr, 2005, pp. 22-23.

Repubblica di Lucca per alcuni lavori di arginatura del Serchio⁶⁹⁷. Tra il 1618 e il 1622 disegnò il complesso della Certosa di Pavia e del refettorio⁶⁹⁸. Nel 1623 fu a Bologna per questioni di idraulica⁶⁹⁹. Probabilmente, a causa dei molti rapporti lavorativi, Oddi non dovette godere della tranquillità necessaria per perseguire i suoi studi. Infatti, impiegò venti anni per concludere i trattati iniziati durante la prigionia: nel 1614 pubblicò *De gli Horologi solari nelle superficie piane* dedicato a Gian Giacomo Teodoro Trivulzio⁷⁰⁰ e nel 1625 pubblicò *Dello squadra* dedicato al conte Bernardino Marliani⁷⁰¹. Inoltre, negli anni in cui Oddi è a Milano (1610-1625), il ducato milanese fu segnato da due conflitti: la guerra di Monferrato (1613-1617) e la guerra di Valtellina (1620-1639).

Probabilmente la nuova situazione civile influì sulla scelta di Oddi di lasciare Milano per accettare l'incarico di Architetto di tutte le fortificazioni offerto dalla Repubblica di Lucca, incarico che prevedeva un rassicurante contratto quinquennale. Nel maggio del 1625, Oddi si recò a Lucca per prendere ufficialmente servizio (seppure la nomina porti la data 4 aprile). Il contratto della durata di cinque anni e rinnovabile prevedeva uno stipendio di 30 scudi al mese, la fornitura dell'alloggio e l'indennità di trasferta di 50 scudi. Oddi rimase a Lucca per undici anni, fino al 1636. L'incarico lucchese diede a Oddi quella stabilità economica che tanto cercava e che a Milano non era riuscito a trovare. A Lucca Oddi andò a sostituire suo fratello Matteo, il quale aveva ottenuto licenza per andare Milano. Sebbene a Lucca Oddi avesse avuto uno stipendio fisso, la tranquillità lucchese si rivelò ben presto eccessiva, traducendosi in una noia pervasiva a causa dell'ambiente intellettuale poco stimolante, della mancanza di competenti interlocutori scientifici e delle incombenze da cantiere che occupavano molto del suo tempo, tanto da fargli dimenticare cosa avesse pensato il giorno prima. Scriveva Oddi a Pier Matteo Giordani che: «Tutt'ora mi sono ingegnato d'applicarmi alle Matematiche ma sono in paese che non ci è pur uno, con chi possa conferire qual si sia bagatella che faccia et che possa credere di poter stare una giornata intiera speculando senza havere da combattere co Muratori, Manovali, et gente si fatta, che mi fan perdere non dirò il filo di quando havesse pensato di notte di fare il giorno, ma la pazienza stessa»⁷⁰². Insomma, quella serenità economica, che tanto aveva ricercato, si tramutò presto in inquietudine a causa di un ambiente che non gli permetteva di concentrarsi nelle matematiche e di intrattenersi proficuamente con altri matematici.

A Lucca Oddi ottenne anche incarichi di modifica e di rifacimento di architetture civili. Eseguì, per esempio, alcuni lavori nel Duomo, tra cui la Cappella del Santuario della Cattedrale, e fu consultato da Matteo Bernardini per la ristrutturazione della facciata di San Martino. A quest'ultimo Oddi, anziché suggerire delle piccole migliorie, rispose proponendo una totale e profonda rivisitazione della facciata della Cattedrale, consigliando una soluzione "alla moderna". Tale soluzione prevedeva l'eliminazione di molti elementi architettonici, come ad esempio il portico, considerati dall'architetto urbinato inutili e non funzionali. Per Oddi bisognava prediligere l'armonia tra le parti, ridurre il numero eccessivo finestre e apportare decorazioni anticheggianti. Alcune delle sue idee contenute nella proposta furono tenute in considerazione, come il posizionamento di angioletti di marmo per decorare il Tempio del Volto Santo, la maggior parte però vennero criticate, come l'idea di eliminare il portico. Probabilmente la sua proposta non riscosse largo seguito⁷⁰³.

Negli ultimi anni del suo secondo mandato (maggio 1630 - maggio 1635), il suo soggiorno lucchese fu discontinuo per le continue licenze richieste per andare a Urbino. Ormai provato dalla vecchiaia e a seguito della morte del duca Francesco Maria II della Rovere, avvenuta il 23 aprile

⁶⁹⁷ Belli Barsali, 2004.

⁶⁹⁸ Gamba e Montebelli, 1992. Gli autori pubblicano anche lettera inviata da Oddi al priore della Certosa di Pavia don Agostino Garzoni.

⁶⁹⁹ Gamba e Montebelli, 1988, pp. 115-116. Nel 1620 Oddi consegnò alla Biblioteca Ambrosiana di Milano il manoscritto che John Dee aveva portato a Commandino.

⁷⁰⁰ Oddi, Mu., 1614.

⁷⁰¹ Oddi, Mu., 1625.

⁷⁰² BOP, ms 413, c 192, Oddi a P. M. Giordani, Lucca, 24 aprile 1630, parte di lettera pubblicata in Gamba e Montebelli, 1988, p. 118.

⁷⁰³ Sul tema si veda l'articolo di Loretta Vandi (Vandi, 2016). Vandi riferisce che gli otto angioletti vennero tolti durante il restauro del 1838. Sui lavori a Lucca si confronti anche Trenta, 1822, pp. 343-365.

1631, a Oddi si prefigurava la possibilità di un più stabile soggiorno a Urbino, meta ambita e ricercata e troppo a lungo proibita dall'odio del sospettoso duca caldeggiato dai suoi consiglieri. Nel 1636 Oddi ottenne il buon servito dal Consiglio lucchese e, quindi, poté fare definitivamente ritorno in patria. Il 30 aprile 1636 Oddi riferì a Camillo Giordani che un suo amico a Firenze gli aveva parlato di un trattato, scritto da un certo Raffaello Grimani, in cui veniva pubblicamente criticato. La risposta di Oddi non si fece attendere. Nel 1637 avrebbe pubblicato a Perugia *Risposta ai dubbi di Raffaello Grimani da Orvieto*⁷⁰⁴.

Il 7 luglio 1636 Oddi arrivò a Urbino e venne accolto con tutti gli onori. Dopo pochi giorni, Oddi andò alla Santa Casa di Loreto per completare la sagrestia. Il 13 novembre 1636 tornò definitivamente a Urbino, dove acquistò la casa del grande pittore urbinato Raffaello Sanzio. Sempre nel 1636 eseguì disegni per la chiesa di Sant'Ubaldo a Gubbio e si dedicò alla costruzione di una villa di campagna a Camogliano. Nel 1638 pubblicò a Venezia *De gli Horologi solari*⁷⁰⁵.

Tra l'ottobre e il novembre 1638 Oddi fu Gonfaloniere del Comune⁷⁰⁶. Il 18 novembre Oddi fece approvare l'istituzione della lettura di "Matematiche" presso il Pubblico Studio, l'attuale Università degli Studi di Urbino, di cui ricoprì il ruolo di primo lettore con stipendio di 120 scudi annui. Morì il 15 dicembre 1639, lasciandosi dietro una vita tra luci e ombre e il confino durato circa 35 anni. Il suo forsennato peregrinare dipese sia dalla personalità sospettosa di Francesco Maria II, alimentata dai suoi avidi consiglieri, sia dall'orgoglioso carattere di Muzio, il quale in più occasioni aveva difeso testardamente il suo operato contro tutto e tutti, lasciandosi andare anche ad atti di violenza⁷⁰⁷. Il suo ritorno a Urbino, avvenuto a 67 anni, rappresenterà il lieto epilogo di una tragica vita. Finalmente Urbino poté abbracciare l'ultimo esponente di quella scuola matematica che aveva reso grande il piccolo ducato marchigiano, ma che ormai stava vivendo un progressivo affievolimento. La produzione matematica urbinata stava perdendo vitalità, in parte a causa della minore spinta propulsiva generata dalla devoluzione del ducato allo Stato della Chiesa, ma soprattutto a causa dei nuovi settori indagati dall'attività scientifica, della diaspora degli urbinati verso i grandi centri culturali come Bologna e Roma e dello spostamento geografico del baricentro della scienza post concilio tridentino⁷⁰⁸.

6.2 Oddi a Milano. La polemica con l'architetto Cogorani sul Forte di Sandoval

Negli anni in cui Oddi era a Milano (1610-1625), il ducato milanese fu segnato dalla guerra del Monferrato, tra il ducato di Mantova (controllato dalla Spagna) e il ducato di Savoia, e dalla guerra in Valtellina, scoppiata nel 1620 e inquadrabile nel contesto della guerra dei Trent'anni. In quel tempo l'Italia era politicamente molto frammentata e per questo motivo qualsiasi pretesto, come le contese dinastiche, poteva essere sufficiente per scatenare una guerra. Solitamente lo scontro bellico non riguardava solamente i due protagonisti, ma spesso veniva ingrossato dall'intervento di complicati e fragili sistemi di alleanze con altre potenze, le quali, a loro volta, portavano dentro la battaglia le loro specifiche ambizioni economiche, territoriali o personali.

⁷⁰⁴ Oddi, Mu., 1637.

⁷⁰⁵ Oddi, Mu., 1638.

⁷⁰⁶ I Gonfalonieri erano magistrati che avevano il compito di amministrare la giustizia

⁷⁰⁷ Sulle congiure e la travagliata vita di Oddi si consiglia l'appassionante racconto divulgativo scritto da Gamba dal titolo *Tra esilio, congiure e malefatte: la travagliata vita di Muzio Oddi, architetto e matematico* (Gamba, 2017), dove l'autore narra le vicende dell'urbinato dandogli un taglio thriller.

⁷⁰⁸ Secondo Schmitt, il concilio di Trento (1545-1563) causò uno spostamento di baricentro della ricerca scientifica dal sud Europa al centro Europa: il controllo delle conoscenze insegnate e studiate da parte degli ordini cattolici sarebbe stato progressivamente sempre più asfissiante, in quanto tale controllo sarebbe diventato strumento di propaganda religiosa e di manipolazione delle conoscenze. Pertanto, si dovette assistere a un appiattimento della ricerca scientifica in prossimità dei centri di potere religioso, in quanto vincolata dalle disposizioni religiose, e alla ricerca oltralpe di editori e tipografi intenzionati a stampare libri dal contenuto scomodo. Infatti, dai primi anni del Seicento la scienza si sposterà nel mondo protestante, diventando di anima francese e tedesca (Schmitt, 1975, pp. 35-56).

Nel 1612 il territorio del duca di Mantova e Monferrato Francesco IV Gonzaga, morto senza lasciare eredi (maschi), fu oggetto di contesa tra il duca di Savoia Carlo Emanuele I e gli spagnoli, i quali fino ad allora avevano controllato le successioni dinastiche. Gli spagnoli, governatori del ducato di Milano e alleati con la Repubblica di Genova, avevano bisogno del territorio del Monferrato perché rappresentava un canale per l'accesso al mare (Fig. 74). Invece, il duca di Savoia, padre della moglie (Margherita di Savoia) del defunto duca, nonché nonno dell'unica figlia di Francesco IV Gonzaga, riteneva di dover esercitare la tutela per l'unica erede del ducato⁷⁰⁹.



Fig. 74 Suddivisione dell'Italia nel 1600, in <https://it.wikipedia.org/>.

Durante la prima guerra per la successione del Monferrato (1613-1617), il governatore spagnolo Giovanni de Mendoza fece costruire un forte in prossimità del territorio vercellese, approssimativamente presso Bolghero, per dissuadere le intenzioni bellicose del duca di Savoia, il quale nel frattempo aveva ordinato di condurre a termine le fortificazioni di Vercelli. In quella zona, la costruzione di un forte serviva per controllare la viabilità e come eventuale base militare. Il forte fu chiamato Sandoval, in onore di Francisco Sandoval, potente duca di Lerma e ministro del re spagnolo Filippo III. I lavori iniziarono nel settembre 1614 e finirono nel dicembre dello stesso anno. Il progetto fu disegnato da Claudio Cogorani, un architetto che aveva già alle spalle numerose opere presso le corti europee più importanti. Il forte progettato da Cogorani era caratterizzato dalla forma pentagonale con un perimetro di circa 1 km e 600 metri, dalla presenza del fossato e da alcuni edifici, come una chiesetta e una residenza temporanea per il governatore. Sebbene il lavoro e l'artefice furono apprezzati dal governo spagnolo, in un paio di lettere inviate a Camillo Giordani e Pier Matteo Giordani, Muzio Oddi criticò aspramente sia il progetto che l'autore. Nella prima, indirizzata a Camillo il 16 novembre 1614, Oddi sosteneva che il forte costruito da Cogorani avesse molte imperfezioni e fosse troppo vicino alla frontiera di Vercelli, quindi facilmente raggiungibile dai cannoni degli avversari (Fig. 75, Fig. 76 e Fig. 77). Oddi ricorda con una certa amarezza che era stato chiamato dal governatore per proporgli l'incarico di progettare il Forte, ma non poté accettare l'invito perché malato. Questo non fu l'unico contatto tra l'urbinate e il duca di Lerma, in quanto in una lettera Oddi scriveva a Giovan Battista Caravaggio che il duca spagnolo gli aveva domandato uno stucco di fattura urbinata⁷¹⁰. Ciononostante, Oddi sostiene che il governatore avrebbe scelto comunque Cogorani perché era appoggiato dal duca di Parma Ranuccio I Farnese, mentre lui era «vilipeso» dal proprio⁷¹¹.

⁷⁰⁹ Castronovo, 1977.

⁷¹⁰ BUU, fondo Congregazione Carità, Busta 47, fascicolo V, f. 824r, Oddi a Giovan Battista Caravaggio, 27 giugno 1631.

⁷¹¹ Oddi a Camillo Giordani, Milano, 16 novembre 1614. Lettera pubblicata in Promis, 1848, pp. 384-387.



Fig. 75 Posizione del Forte di Sandoval in Fabio di Gio. Antonio Magini, *Signoria di Vercelli*, 1620, immagine tratta da Beltram, 1995, p. 89.

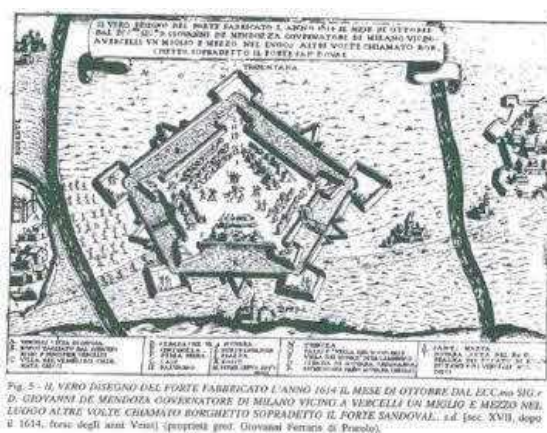


Fig. 76 Disegno del Forte di Sandoval, immagine di proprietà di Giovanni Ferraris di Prarolo e pubblicata in Beltrame, 1995, p. 117.



Fig. 77 Territorio di Borgo Vercelli, o' sia Bolgaro Campo di Pieve Squadra di Romagnano Contado di Novara, misurato dal Geometra Antonio Le Jeune in occasione della misura generale del novo censimento dello Stato di Milano principiata il giorno 15 febraro e terminata il giorno 8 marzo. Coll'assistenza d'Agostino Magottini Console, Carlo Blesa, Giovanni Martinengo, Giovanni Battista Terrazza e Giovanni Decimo. Copiata dalli dissegnatori Tenente Gerolamo Corradini e Nicola Sovico in fogli 33, anno 1723, foglio 20, Archivio di Stato di Torino (<https://archiviodistatotorino.beniculturali.it/>),

immagine disponibile al link:
<http://archiviodistatotorino.beniculturali.it/dbadd/visua.php?uad=740366&indx=20&rife=>.

Nella lettera indirizzata a Pier Matteo Giordani, Oddi esprimeva la sua avversione nei confronti di Cogorani. In particolare, l'architetto urbinato riteneva che le sue opere fossero generalmente considerate pregevoli solo perché la sua persona era sostenuta dall'autorità del duca di Parma.

Coccorano, che sa d'Architettura quanto le mie scarpe, è stato aiutato, et portato innanzi dal S. R. Duca di Parma suo padrone, et benché si vedano, et cognoscano manifestatamente da tutti, i suoi errori, l'autorità nondimeno di chi lo porta può tanto che si battezzano per cose consideratissime et fatte con somma prudenza.⁷¹²

Secondo Oddi, Cogorani non aveva conoscenze di architettura e riuscì a far carriera solo perché appoggiato dal duca di Parma. Dalle parole di Oddi emerge che Cogorani, come molti architetti senza abilità, probabilmente fece carriera solo perché appoggiato politicamente dal suo protettore.

La prima guerra di successione del Monferrato si concluse nel 1617 con la pace di Parigi e Madrid. La seconda guerra di successione iniziò nel 1627 e si concluse nel 1631, innestandosi nel contesto più ampio della guerra dei Trent'anni. Nel 1638 Vercelli venne conquistata dalle truppe spagnole: sei anni dopo il forte di Sandoval venne demolito per la sua inutilità militare⁷¹³.

Le uniche notizie riguardanti la polemica sul lavoro di Cogorani possono essere ritrovate nella Biblioteca Oliveriana di Pesaro (corrispondenza con Camillo e Pier Matteo Giordani) e nella Biblioteca Universitaria di Urbino. Non sono ancora noti i disegni di Oddi di modifica del Forte Sandoval, ammesso che li abbia fatti e che non siano andati perduti.

6.3 Oddi a Lucca. Il Consiglio Generale e la buona uscita

Nel 1500 la Repubblica di Lucca era ancora protetta da mura di epoca medievale che cingevano solo parzialmente la città ed era dotata di sistemi di difesa che risultavano obsoleti rispetto agli importanti progressi dell'arte militare. Gli alti torrioni erano più un bersaglio per gli avversari che efficaci sistemi di difesa e gli stretti camminamenti non permettevano il facile impiego dei cannoni. In più, accanto a Lucca, la Firenze medicea stava mettendo in atto una politica di espansione a danno dei territori toscani limitrofi. L'idea di dotare la Repubblica di Lucca di sistemi di difesa più efficaci (terrapieni per resistere alla forza delle palle di cannone, bastioni -detti anche baluardi-, fossati e spazi più ampi per l'uso dell'artiglieria pesante) per proteggere la propria libertà e indipendenza portò il Consiglio Generale lucchese a individuare i migliori architetti militari in circolazione in modo da rafforzare il proprio sistema di fortificazione (Fig. 78).

Nel 1543 l'organo incaricato dal Consiglio Generale, l'Offizio sopra le Fortificazioni, iniziò la ricerca di architetti. L'Offizio, istituito nel 1504, era costituito da sei cittadini coadiuvati da tecnici stipendiati e aveva una funzione di carattere organizzativo. Nel 1544 Antonio da Colle, incaricato dal Consiglio degli Anziani, convinse Jacopo Seghizzi da Modena ad accettare la carica di Architetto delle fortificazioni lucchesi. A quel tempo Seghizzi era architetto del duca di Urbino Guidobaldo II della Rovere. A Seghizzi seguirono Francesco Bondedi da Pesaro e Baldassarre Lanci d'Urbino. Successivamente il consiglio lucchese si rivolse a Francesco Paciotti, che entrò in polemiche con Vincenzo Civitali, l'unico ingegnere lucchese chiamato a dirigere i lavori di fortificazione. Dopo Paciotti ricevette l'incarico l'architetto Pietro Vagnarelli. Dal numero di architetti urbinati che vennero assunti per fortificare le mura lucchesi, si può supporre che il ducato di Urbino fosse un luogo in cui era facile trovare i migliori architetti militari dell'epoca. Sicuramente Lucca evitò di assoldare architetti toscani, in modo da mantenere i progetti sulle fortificazioni nascosti ai potenti dei territori limitrofi.

⁷¹² BOP ms. 413, c. 39. Oddi a Pier Matteo Giordani, 18 novembre 1614, Milano; lettera parzialmente pubblicata in Promis, 1848, p. 387.

⁷¹³ Sul tema si veda Beltrame, 1995.



Fig. 78 Tavole delle fortificazioni di Lucca relative agli anni 1575 e 1600, in Martinelli e Puccinelli, 1983.

Negli anni successivi l'incarico di architetto venne affidato a Matteo Oddi (1576-1626), fratello di Muzio. Muzio Oddi venne nominato Architetto delle fortificazioni lucchesi il 4 aprile 1625⁷¹⁴. Nel 1626 il governo lucchese fece pervenire a Muzio la richiesta di rafforzare maggiormente il lato ovest delle mura. Nonostante alcune proposte architettoniche di Muzio furono inizialmente criticate, successivamente il nuovo architetto urbinato riuscì ad entrare in sintonia con il consiglio lucchese e con i loro incaricati alla supervisione dei lavori, tanto che nel 1627 venne coniata una medaglia di bronzo in suo onore. In questi anni Muzio Oddi completò i progetti del bastione San Paolino e del bastione Santa Croce e disegnò il progetto, dirigendone anche i lavori di costruzione, del bastione San Donato nuovo (Fig. 80 e Fig. 81). La posizione del nuovo bastione costrinse Muzio a spostare più avanti la linea di fortificazione (Fig. 79).

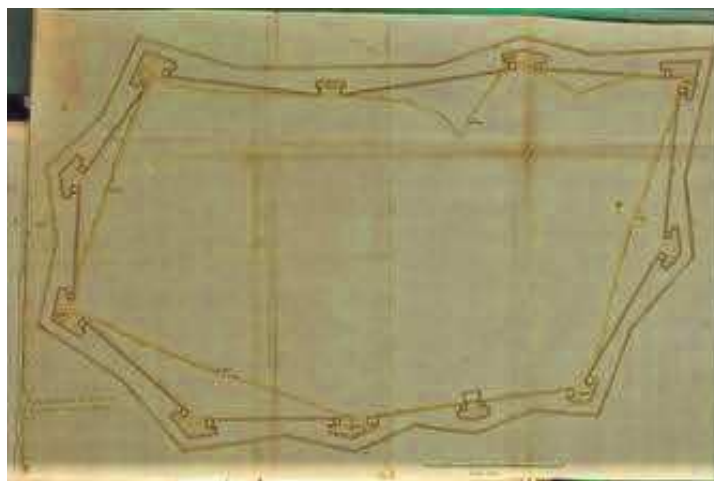


Fig. 79 La nuova linea della fortificazione di Lucca dopo l'intervento di Muzio Oddi,
in Royal Library e Royal Archives, Windsor Castle,
Fortificazione di Lucca, RCIN 910176,
<https://www.rct.uk/collection/about-the-collection/the-royal-library-and-royal-archives>.

⁷¹⁴ Oddi aveva preso ufficialmente servizio il 4 aprile 1625, tuttavia arrivò a Lucca solo il 15 maggio 1625.



Fig. 80 Bastione San Donato,
in Royal Library e Royal Archives,
Windsor Castle, RCIN 910180,
<https://www.rct.uk/collection/about-the-collection/the-royal-library-and-royal-archives>.

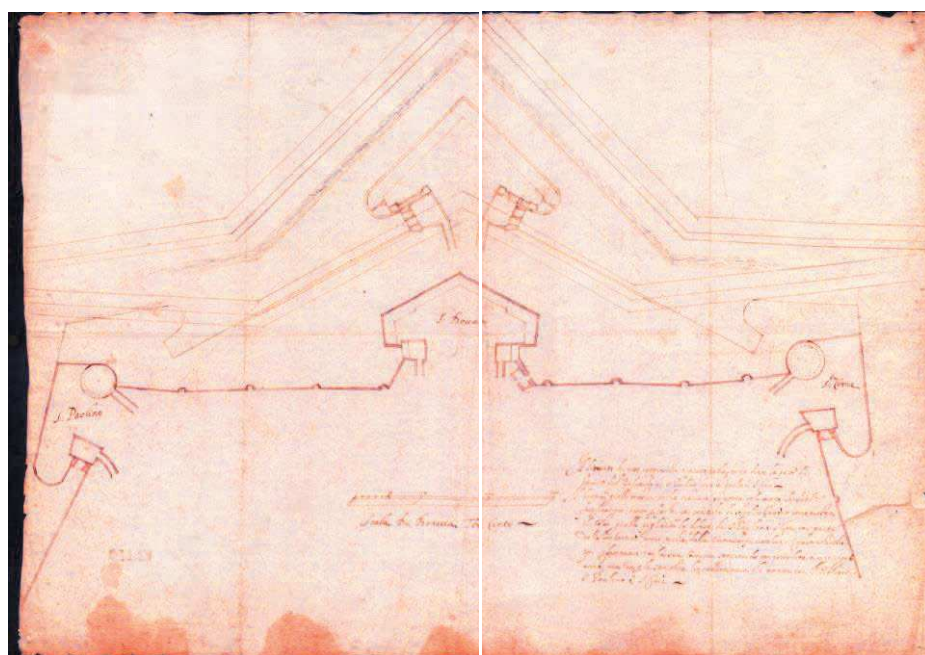


Fig. 81 Bastione San Donato, ASL, Fortificazioni 42, n. 70.
Tavole in Martinelli, 2011. Il progetto è posteriore al 1590, quindi è attribuibile a Oddi.

Durante gli anni lucchesi Oddi si occupò anche di architetture civili, come ad esempio degli ammodernamenti di Cattedrali e di Ville⁷¹⁵. Secondo Matteo Burioni, Oddi progettò il giardino prospettico di Villa Garzoni a Collodi⁷¹⁶.

Nel 1627 Muzio pubblicò a Milano il libro *Precetti di architettura militare* del fratello defunto⁷¹⁷. Nello stesso anno venne invitato dalla Repubblica di Genova per fare un sopralluogo delle fortificazioni, ma il Senato lucchese non gli diede il permesso.

Nel 1630 scade il contratto quinquennale con Lucca. Probabilmente anche a causa del rancore ancora vivo del duca Francesco Maria II della Rovere, Oddi preferì rinnovare per altri cinque anni il suo contratto con la Repubblica lucchese. Ciononostante, come emerge dalla corrispondenza, fremeva dalla voglia di tornare in terra urbinata. In effetti durante questo secondo quinquennio la sua presenza a Lucca fu discontinua, a causa delle numerose licenze avute per tornare a Urbino, giustificate spesso come permessi per motivi personali⁷¹⁸. Durante il secondo rinnovo Oddi progettò la costruzione della porta San Donato Nuova e ne diresse i lavori. Essa non ha un aspetto monumentale, né sembra una fortezza, ma una delle sue più evidenti caratteristiche è la disposizione armonica e simmetrica dei suoi componenti. Anche dalle stesse dichiarazioni di Oddi, la posizione degli ornamenti (come la porta falsa e le statue di San Paolino e San Donato) è funzionale al mantenimento della «debita prospettiva» (Fig. 82)⁷¹⁹. Infine, evidenziamo la presenza dell'innovativa disposizione delle due stanze all'interno della porta San Donato Nuova. Contrariamente a quanto era stato fatto finora a Lucca, Oddi posizionava la stanza più grande del corpo di guardia verso la città e la stanza del corpo di guardia minore verso l'esterno (Fig. 83). Ciò avrebbe evitato che la guarnigione potesse essere tagliata completamente fuori in caso di assalto. Porta San Donato Nuova è emblema dello stile architettonico di Oddi, dove l'armonia e la simmetria si conciliano con la funzionalità.



Fig. 82 Porta San Donato Nuova, esterno.

⁷¹⁵ Sul tema si veda Belli Barsali, 2004.

⁷¹⁶ A quel tempo Collodi stava subendo gli attacchi da parte dei banditi. La situazione diventò così insostenibile che nel 1628 il Consiglio Generale lucchese discusse il rinforzamento del borgo di Collodi. Lucca inviò quindi il suo architetto, Muzio Oddi, per una prima perlustrazione. Il progetto di Oddi prevedeva che Villa Garzoni, proprietà del cavaliere Romano Garzoni, dovesse essere parte integrante della fortificazione. La proposta scatenò un contenzioso (1633) tra il comune di Collodi e il proprietario della villa, costringendo Oddi a valutare un progetto alternativo. Alla fine la cinta fu fatta e la villa venne inglobata. Della vicenda ci preme porre in risalto che, secondo Matteo Burioni, anche il giardino prospettico potrebbe essere stato progettato da Oddi e disegnato utilizzando i metodi che lo stesso Muzio aveva descritto nel trattato *Dello Squadro*, pubblicato qualche anno prima (1625) a Milano. Sul tema si veda Burioni, 2009.

⁷¹⁷ Oddi, Ma., 1627.

⁷¹⁸ Per esempio, nel 1633 ottenne licenza per tornare a Urbino dal 21 agosto alla fine di ottobre.

⁷¹⁹ Archivio di Stato di Lucca, Fortificazioni, 10, 11 febbraio 1639. Sul tema si veda anche Martinelli e Puccinelli, 1983.

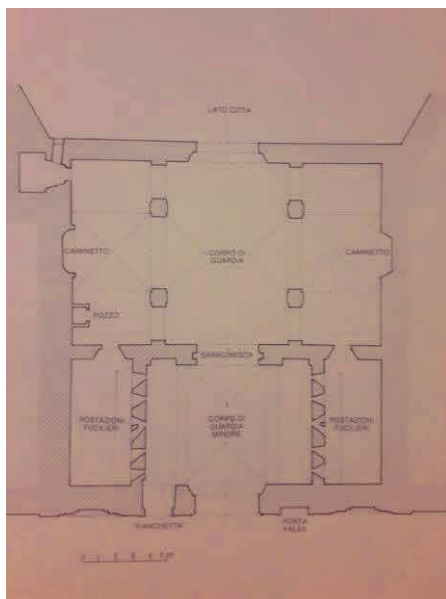


Fig. 83 Porta San Donato Nuova, interno, in Martinelli e Puccinelli, 1983.

Il 20 maggio 1635 Lucca gli propose un terzo rinnovo e sempre nel 1635 Milano gli offrì l'incarico di ingegnere di tutte le fortificazioni. Oddi accettò la proposta della Repubblica di Lucca. Tuttavia, dopo qualche mese chiese di essere licenziato. La voglia di tornare in patria era troppo forte. Alla fine dell'aprile 1636 ottenne la buona uscita dal Consiglio Generale lucchese con l'accordo di consegnare tutti i progetti per il completamento delle opere iniziate. La scelta di Oddi di interrompere il terzo rinnovo appena stipulato produsse una forte reazione da parte del Consiglio Generale lucchese. Dopo aver ricevuto la richiesta licenziamento di Oddi, il 23 aprile 1636 il Consiglio Generale fece recapitare in Senato una relazione da cui emerge lo sdegno e l'amarezza dei cittadini nei confronti dell'opera di Oddi e del suo atteggiamento assenteistico, dando l'impressione che la scelta di Oddi di «andarsene» andasse anche incontro a quelle che erano le esigenze del consiglio e della cittadinanza lucchese.

Due sono i capi che contiene la scrittura di Muzio Oddi datoci a considerare col decreto da VS del presente. Il *primo*, che ritrovandosi esso Muzio assai *gravato dagli anni*, e con *pochissima sanità*, dice assolutamente che per entro al presente mese *vuol partire e tornarsene a casa*. Il *secondo*, che gli sia pervenuto alle orecchie, che dalli *due colonnelli Orazio Sforzosi e Filippo del Conte* nella visita ultimamente fatta della fortificazione nuova vi abbiano *scoperti errori e mancamenti* notabili. Sopra che avendo fatto le debite considerazioni, ci siamo finalmente risolti di riferire, che restiamo con molta maraviglia che senza avere minima considerazione allo stato de' tempi presenti, né al termine in che si ritrova la fortificazione della città verso la parte di ponente principiata da lui, e ridotta al segno che tutti li magnifici esperti cittadini posson sapere, né alli moli ti benefizj e favori che in diversi tempi gli ha fatto l'Eccell. Consiglio, *abbia fatto risoluzione così assoluta e improvvisa*, e senza almeno dimandare buona licenza come la convenienza portava et *se era a questa età, e in così poco buono stato di sanità, perchè recusare la condotta che pochi mesi sono li diede l'Eccell. Consiglio per due anni, la quale recusata da lui per parerli il tempo troppo breve*, convenne all'Eccell. Consiglio quasi forzatamente per così dire, partirsi dalla prima deliberazione e rieleggerlo per anni 5 con li soliti scudi 45 al mese, e più la pigione della casa, e con donativo di scudi cento: qual carica essendo stata da lui accettata, preso il donativo e ancora il salario, *ora che è venuto il tempo e la stagione di lavorare*, e che ancora si dovrebbe esser cominciato, il che non è seguito, non avendo lui prestato la solita assistenza, *dice assolutamente che se ne vuole andare, facendosi lecito di variare la sua opinione sempre e quando a lui commoda senza avere alcun riguardo e rispetto che si deve all'Eccell. Consiglio*. Questo modo di trattare non può piacere solo all'istesso Ecc. Consiglio ma anche a nessun cittadino che abbia affetto alli faterelli pubblici, et se si volesse reprimere tale ardire

secondo che meriterebbe et che forse fariano altri principi ciascuno conosce quello che sarebbe conveniente fare ma perché è stato sempre solito l'Ecc. Consiglio di trattare con tutti con la sua solita benignità et anche perché esso Mutio Oddi resti maggiormente confuso da' favori di questo principe, crediamo che si dovesse lasciare andare, *ordinando che gli sia fatto il suo ben servito, e pensare a provvedersi di altro soggetto di meno età e più al bisogno della Repubblica*. Concordiamo però che sia molto a proposito prima che partire, *lasci all'Offizio le scritture e altri disegni che possano servire per tirare avanti la nuova fabbrica*, con dare ancora altri ricordi che si stimassero utili et opportuni per il servizio pubblico. Et fu decreto, che Muzio Oddi s'intenda licenziato dal servizio dell'Eccell. Consiglio, e l'Offizio procuri di ritirare et avere le scritture e disegni, e di provvedere con altro ingegnere conforme al contenuto del presente capitolo della relazione letta con le considerazioni et li avvertimenti che all'Offizio parranno.⁷²⁰

Dal verbale della seduta, oltre al fatto di *volersene andare*, emergono ulteriori motivi che sotterraneamente hanno spinto il Consiglio ad accogliere la richiesta di licenziamento da parte dell'urbinate: 1) la «risoluzione così assoluta e improvvisa» del contratto; 2) il rifiuto della «condotta che pochi mesi sono li diede l'Eccell. Consiglio per due anni»; 3) l'aver preso il «donativo» e il salario e «ora che è venuto il tempo e la stagione di lavorare [...], dice assolutamente che se ne vuole andare»; 4) la sua mancanza di rispetto nei confronti dell'Eccellentissimo Consiglio, in quanto ritenne lecito «variare la sua opinione sempre e quando a lui commoda senza avere alcun riguardo e rispetto». Accanto ai motivi esposti, più «moralì» che professionali, vengono riportate anche altre ragioni, come l'età, il suo assenteismo e alcuni errori nei lavori. Dal nostro punto di vista, le continue licenze richieste da Oddi contribuirono indirettamente ad alimentare un certo malcontento e a fare intuire che il suo unico pensiero fosse quello voler trascorrere la sua vecchiaia nella sua cara Urbino. Pertanto, conclude il Consiglio «che gli sia fatto il suo ben servito, e pensare a provvedersi di altro soggetto di meno età e più al bisogno della Repubblica». Il consiglio però non si limitò solo a queste affermazioni, le quali sarebbero state tranquillamente accettate da Oddi, perché quest'ultimo era sicuramente consapevole che il suo comportamento assenteista avrebbe suscitato malumori. Nel verbale viene sottolineata la cattiva esecuzione dei lavori da lui diretti. Due colonnelli, Orazio Sforzosi e Filippo del Conte rivelano che avevano scoperto in alcuni lavori di Oddi «errori e mancamenti». La valutazione sull'operato espressa nella relazione dovette turbare profondamente Oddi, tanto che nell'aprile 1636 l'architetto urbinato scrisse in una lettera a un destinatario ignoto di auspicare che, «alla presenza di quanti giudicherà con il bisogno e che però sappiano di questa professione, siano chiamati detti signori Colonnelli [Sforzosi e del Conte] et altri a dire e mostrare in che i due considerano questi errori e questi mancamenti. Perché spero in Dio benedetto, che mi darà lo spirito da sapermi diffendere e rendere le regioni d'ogni sua parte, e far conoscere sensatissim.te che tutto quello c'ho fatto sta bene, e sono cose buone, reali e secondo i precetti dell'arte»⁷²¹.

Possiamo supporre che in generale il lavoro di Oddi fosse stato apprezzato dai lucchesi, in quanto in suo onore il Consiglio generale decretò di coniare una medaglia (Fig. 84)⁷²². Un'altra medaglia, raffigurata nel dipinto Linder Gallery Interior, venne fatta incidere dai suoi estimatori milanesi (Fig. 85)⁷²³. Servolini riferisce dell'esistenza di una terza medaglia fatta incidere in Germania nel 1624 da Linder. A supporto di quest'ultima ipotesi, l'autore cita una lettera di Giovan Battista Caravaggio a Muzio Oddi datata 8 marzo 1625⁷²⁴.

⁷²⁰ Archivio di Stato di Lucca, Riformagioni segrete, 377, 1636-7, ff. 165-167, corsivo nostro. Documento pubblicato in Trenta, 1822, pp. 362-363.

⁷²¹ BUU, Fondo della Congregazione di Carità, busta 47: Casa Vincenzi e Oddi, 1540 – 1642, fascicolo V, Lettere scritte da Muzio Oddi, di carattere familiare, sottosezione 9: Altre lettere indirizzate ad altre persone non identificabili, cc. 661-662, Oddi a Destinatario ignoto, 6 aprile 1636.

⁷²² Servolini, 1933, pp. 9 e 16, nota 23

⁷²³ Marr, 2011, p. 194-196.

⁷²⁴ Servolini, 1933, p.16 nota 23. È probabile però che queste ultime due medaglie siano in realtà la stessa medaglia.



Fig. 84 Fronte: MVT : ODD : URBIN : A. // HAEC SIBI PROPUGNACVLA POS : A. MDCXXVII. RESP : LVC.
Retro: HIS MUNITA PRAESIDIIS, in Servolini, 1933, p. 14.



Fig. 85 MVTIUS ODDVS VRBINAS MATEM[ATICUS]. ET ARCHIT[ECTUS]. AE[TATE] S[UAE] AN[N]I. LVIII.
La medaglia è ritratta nel dipinto Linder Gallery Interior (periodo di fabbricazione: inverno 1626/primavera 1627),
in Marr, 2011, pp. 194-196.

Rispetto a quelli dei suoi colleghi architetti che si sono avvicinati alla direzione delle fortificazioni lucchesi, i progetti di Oddi contengono elementi architettonici che possono essere ricondotti alla tradizione classica, in particolare alla letteratura vitruviana. Oddi riteneva che l'armonia e le proporzioni dell'edificio fossero elementi estetici fondamentali e, per ben progettare costruzioni civili e militari, ci si dovesse affidare alle conoscenze matematiche. Concludiamo questo paragrafo condividendo il giudizio di Servolini, secondo cui Oddi fu grande architetto militare e buon architetto civile⁷²⁵. Noi aggiungiamo che probabilmente i suoi lavori vennero apprezzati e al tempo stesso criticati sia per lo stile architettonico eccessivamente classico e poco creativo riconducibile alle letture di Vitruvio e di Leon Battista Alberti⁷²⁶.

6.4 Le prefazioni nei trattati di Muzio Oddi. Un modo alternativo per raccontare la propria vita

L'avvento della stampa contribuì enormemente alla diffusione delle idee e alla divulgazione delle conoscenze. Tuttavia, i sostenuti costi, dovuti soprattutto a un procedimento tipografico ancora poco efficiente, costringevano gli autori a non intraprendere la via della pubblicazione senza il sostegno di mecenati. Spesso opere già pronte venivano pubblicate con ritardo, tanto che l'autore correva il

⁷²⁵ Gamba e Montebelli, 1992, pp. 61-62 riportano una lettera di Oddi sulla costruzione di una torre al porto di Pesaro (BUU, Fondo del Comune, busta 47, fasc. IV, cc. 638r-639v). La torre venne realizzata ottanta anni dopo ma non secondo il disegno prospettato da Oddi.

⁷²⁶ Servolini, 1933, pp. 14-15. Servolini riferisce che la sua opera lucchese venne largamente apprezzata da Antoine de Ville.

rischio di farsi rubare le idee da altri. Il libro stampato, rispetto a un manoscritto, permetteva una maggiore e più agile fruizione. I manoscritti, al contrario, erano fortemente legati alla necessaria e faticosa trascrizione che spesso modificava il testo originario mediante omissioni, interpolazioni e commenti. Spesso accadeva che la trascrizione di un manoscritto producesse un testo completamente diverso dalla sua fonte primaria, diventando di volta in volta un oggetto nuovo e unico. Diversamente dai manoscritti, per il diverso processo di produzione, i libri a stampa sono oggetti direttamente collegati al loro autore e al loro stampatore. Grazie alle tipografie, che consentivano la perfetta riproduzione del libro da copiare, iniziava ad acquistare importanza la paternità intellettuale dell'oggetto prodotto dai torchi, la quale era favorita anche dal frontespizio che frequentemente ospitava i nomi dell'autore e dell'editore. Questa nuova caratteristica del testo a stampa provocò anche conflitti intellettuali sulle idee esposte tramite i libri. Assistiamo nel corso del 1600 ad accuse di plagio da parte di autori che, non riuscendo a stampare il libro, vedevano pubblicata la propria idea da altri⁷²⁷. In effetti, in quegli anni dare alle stampe un lavoro non era facile, soprattutto perché era molto costoso e, quindi, era necessario trovare un mecenate che fosse favorevole alla pubblicazione e avesse adeguate possibilità economiche per pubblicarlo⁷²⁸. Inoltre, elemento non secondario, era importante che l'autore ritenesse la propria opera degna di essere stampata; accadeva frequentemente che autori non convinti del contenuto del proprio lavoro ritardassero la stampa, assistendo alla pubblicazione delle proprie idee da altri, gli stessi con cui le avevano condivise. La congiuntura di questi elementi faceva la differenza tra un lavoro che sarebbe stato stampato o sarebbe invece rimasto nel cassetto del proprio studiolo⁷²⁹.

I libri erano spesso corredati della lettera dedicatoria e dalle prefazioni, nelle quali generalmente confluivano alcuni dettagli direttamente connessi alla preparazione del libro. Pertanto, il libro non era solo un portatore di contenuto, ma, nella sua globalità, era anche effigie delle dinamiche sociali, culturali, economiche e scientifiche di un determinato periodo storico. Questi riflessi del *framework* culturale erano inseriti nelle tre componenti del libro che, nel periodo storico preso in esame, erano considerate tra le più importanti: Frontespizio, Lettera dedicatoria e Prefazione o Proemio. Nel Frontespizio veniva presentato l'oggetto dell'opera, solitamente mediante l'uso di simboli e di motti, nella Lettera dedicatoria vi era sempre presente un riferimento a coloro che avevano reso possibile l'impresa e nella Prefazione o nel Proemio venivano inseriti i motivi dell'opera.

Nelle opere dei nostri urbinati è facile trovare un proemio prima della trattazione. Commandino, Guidobaldo del Monte, Baldi e Oddi lo usarono soprattutto per contestualizzare il proprio lavoro dal punto di vista storico e per rivendicare l'importanza della materia trattata. Ad esempio, nei prolegomeni alla traduzione degli *Elementi* di Euclide Commandino definisce l'ambito di studio della matematica e sottolinea il suo ruolo nella società. Guidobaldo approfitta della prefazione al suo *Mechanicorum Liber* per ricordare le origini nobili della meccanica e per annunciare l'importanza applicativa dei teoremi che seguiranno, in quanto, rivendica con fierezza, la meccanica non è tale se separata dalle macchine. Baldi nel *Discorso di chi traduce a le macchine se moventi* presenta l'automa come oggetto che meglio esprime la dignità del Meccanico rispetto al lavoratore manuale, in quanto il primo conosce la causa del meccanismo che si cela dietro a un evento che appare prodigioso, mentre il secondo opera senza cognizione di causa e solo in funzione del guadagno.

Le parti introduttive ai trattati hanno un ruolo chiave anche nei trattati di Muzio Oddi. Esse sono utili per comprendere le ragioni che hanno spinto l'autore alla pubblicazione delle opere. In

⁷²⁷ Cozzando (Andrea) Leonardo nel 1740 pubblicò un volume *De plagiariis lib. singularis* (in *Miscellanea di varie operette*, Venezia, Lazzarini 1740) che raccoglie i plagi del tempo, su Cozzando si veda la biografia curata dall'Enciclopedia Bresciana

(<http://www.enciclopediabresciana.it/enciclopedia/index.php?title=COZZANDO>)

e la voce *Cozzando Leonardo* curata da Petrucci (Petrucci, 1984).

⁷²⁸ Possiamo avere un'idea di quanto potesse costare pubblicare un trattato dal libro dei conti di Oddi. Per un'esauriente analisi rimandiamo a Marr, 2006.

⁷²⁹ Sul tema si veda anche Maccagni, 1987.

questo paragrafo esamineremo alcune delle informazioni desumibili dalle opere di Muzio Oddi e che riteniamo essere più rilevanti rispetto alle tematiche affrontate in questo lavoro.

6.4.1 *De gli Horologi solari nelle superficie piane*, 1614

Il frontespizio di *De gli Horologi solari nelle superficie piane* è caratterizzato da un sole che sprigiona raggi, i quali sono chiusi da una cinta di nuvole (Fig. 86)⁷³⁰. Al centro, in primo piano, è posta una meridiana in orizzontale. Mentre a lato possiamo leggere un'iscrizione «Qual hor rimosse». Il disegno a prima vista sembra non rivelare alcunché, ma guardandolo più attentamente notiamo una stranezza: in un trattato in cui si parla di orologi solari, che per funzionare necessitano del sole, è disegnata una meridiana su cui non arrivano i raggi del sole, pertanto probabilmente il frontespizio potrebbe avere un significato nascosto. Il significato del frontespizio verrà spiegato nella lettera dedicatoria indirizzata a Pieter Linder, contenuta del trattato *De gli Horologi solari* del 1638⁷³¹.



Fig. 86 Oddi, Mu., 1614, frontespizio.

Il trattato *De gli Horologi solari nelle superficie piane* è dedicato al conte Gian Giacomo Teodoro Trivulzio, futuro cardinale. Trivulzio è un nobile che, secondo Oddi, attende con assiduità e con diligenza alle matematiche, in quanto sa che «queste possono recarle infinito aiuto, e splendore nel maneggiare le Guerre, e nel condurre Esserciti Reali». Come Guidobaldo e Commandino, Oddi è convinto che le matematiche siano utili ai capitani⁷³².

Nell'avvertenza *Ai lettori*, Oddi comunica di avere in mente di dare alle stampe un libro della stessa materia, in cui però verranno trattati gli orologi costruiti su superfici verticali, concave, convesse e di altre tipologie. Il motivo per cui Oddi è costretto a rimandare la pubblicazione è relativo al fatto che vorrebbe aspettare «che si quietino le acque ancora fluttuanti delle sue sciagure; per appoggiarlo poi, al patrocinio di che deve per ragion d'obbligo». Il breve e fulmineo riferimento alle sue sciagure, che ancora si devono acquietare, è probabilmente un riferimento al suo forzato peregrinare, iniziato nel 1601 con la fuga veneziana e proseguito, dopo quattro anni di carcere, nel 1610 con l'esilio milanese.

Nel Proemio Oddi, dopo aver ricordato che la stessa materia è stata discussa da «uomini dotti»⁷³³, definisce i termini orologio e gnomonica. Secondo Oddi la novità della sua opera consiste

⁷³⁰ Sull'analisi tecnica delle modalità di costruzione degli orologi solari impiegate da Muzio Oddi segnalò la relazione di Flavio Bernacchia, *Verifica e analisi degli orologi solari orizzontali di Muzio Oddi*, presentata all'interno del convegno "Muzio Oddi (1569-1639) tra ingegneria, matematica e strumentazione scientifica. Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita", 17-18 settembre 2019, Urbino e Cesena.

⁷³¹ Si veda il paragrafo *De gli Horologi solari*, 1638.

⁷³² Oddi, Mu., 1614, Lettera dedicatoria.

⁷³³ Il riferimento esplicito è a Commandino, 1558b.

«nello scrivere brevemente (come desidero) il modo, come tutti questi si disegnano con una medesima regola», tenendo «l'istesso ordine, aggiungendo à ciascheduna operatione le demonstrationi matematiche, per renderle più chiare, e più grate (se non erro) à più persone». Chiude il proemio un cenno al geocentrismo: «Il giorno naturale, cioè quel spatio di tempo, che consuma il Sole in un perfetto rivolgimento; mediante il primo mobile; d'intorno à tutta la Terra, si divide quasi da tutte le nationi del Mondo in ventiquattro parti, le quali con nome proprio si chiamano hore». In una lettera a Pier Matteo Giordani Oddi rigettò la teoria eliocentrica, prediligendo i giudizi dell'astronomo Scipione Chiaramonti rispetto agli «artifitii del Galileo» ma, soprattutto, rigettò le discussioni astronomiche, ritenendole «materie fastidiose, odiose e piene di molta fatica»⁷³⁴. All'epoca delle osservazioni di Galileo, non deve stupire che persistessero tali posizioni. La rivoluzione astronomica fu lenta e graduale. Tuttavia, sembra che Oddi volesse rimanere informato dell'andamento della discussione in ambito astronomico, se nel 1625 rivelò a Camillo Giordani che aveva chiesto alla Congregazione di Roma di poter leggere alcuni libri proibiti sul moto della terra⁷³⁵. Nel 1637 Oddi acquistò lenti concave e convesse forse per costruire un proprio telescopio e per mettere alla prova dei sensi le elucubrazioni di Galilei⁷³⁶.

6.4.2 *Dello squadro*, 1625



Fig. 87 Oddi, Mu., 1625, frontespizio.

Il trattato *Dello squadro* (Fig. 87) è dedicato al conte Bernardino Marliani, il quale, scrive Oddi, lo appoggiò per la carica di pubblico lettore di matematiche nelle Scuole Palatine⁷³⁷. Il patronato di Marliani gli permise di approdare a un «sicuro porto di quiete, dove [può] havere commodità, & otio di ridurre à fine queste, & altre fatiche simili». Oddi ritiene che la materia contenuta nell'opera possa essere utile a chi deve tracciare facilmente due allineamenti perpendicolari tra loro. Bernardino Marliani è una figura nota ai nostri urbinati: nel 1580 aveva fatto da intermediario per il trasferimento di Bernardino Baldi presso i Gonzaga. Infine Oddi inserisce nella lettera dedicatoria anche il racconto delle sue sciagure:

che tale fù invero la mia sciagura; quando perdei non solo i beni di fortuna, la sanità, e per lo spatio di quattro anni intieri, infino la luce del Sole: ma, & è quello, che più mi pesa; irrecuperabilmente per sempre, il chiaro della gratia del mio Signore. Dovendo hora per giusta cagione lasciarle vedere col mezzo delle stampe; è ragione, che ciò faccia sotto i felicissimi auspicij di V.S. Illustrissima; avvenga che, quando pure alla fine piacque à Dio, Ottimo, Massimo,

⁷³⁴ Galilei, 1936b, *Carteggio 1634-1636*: n. 2943, Oddi a Pier Matteo Giordani, 17 maggio 1634.

⁷³⁵ BOP, ms. 413, c. 130 v. Oddi a C. Giordani: «La Congregazione di Roma mi ha concesso licenza di molti libri proibiti, particolarmente del Cardano e di tutti quelli che trattano il moto della terra».

⁷³⁶ BUU, Fondo Comune, Busta 118, fasc. 4°, f. 3r, si confronti Marr, 2011, p. 309, nota 111.

⁷³⁷ Sulla realizzazione e distribuzione del trattato *Dello squadro* di Oddi rimandiamo a Marr, 2006.

di liberarmi da i cattivi, & inhumani portamenti di quel dispietato, che mi teneva in custodia, contrarmi d'un'angosciosa, e tenebrosa buca; nel venire rilegato in questa nobilissima Città di Milano, [piena] di magnificenza, & splendore, [e dove] sono coltivate, & havute in pregio le scienze, & l'arti più eccellenti.⁷³⁸

Conclude la lettera a Marliani la descrizione della sua permanenza in prigione e di come riuscì ingegnosamente a mantenersi intellettualmente attivo: «che in quell'horrido luogo m'ingegnai d'abbozzar così di grosso col carbone, per essermi severamente; per non dire barbaramente; vietata ogn'altra commodità». Come emerge dalla lettera dedicatoria, Oddi sarebbe voluto ritornare a Urbino e pertanto si dispera di essere ancora lontano dal «chiaro della gratia» del suo signore.

Invece nel Proemio Oddi riferisce il motivo dell'opera. Sebbene molti avessero scritto regole e cercato diversi modi, strumenti e maniere per poter eseguire con facilità e correttezza le misurazioni, l'urbinate riteneva opportuno stampare un'opera in cui venisse data priorità alla descrizione della forma dello strumento, all'esposizione dei principi geometrici alla base del funzionamento dello strumento e alle sue applicazioni tecniche, come in agrimensura e in agricoltura, in particolare per calcolare le distanze, per realizzare le piante degli edifici, per misurare le distanze in modo da posizionare adeguatamente l'artiglieria, per le opere di canalizzazione delle acque, per conoscere le altezze e le profondità dei luoghi, per la realizzazione di mappe geografiche⁷³⁹.

Però stimando io, che non sia per essere riputato temerario il pensiero di chi cerchi darne notizia un poco più chiara, di quella, che se n'è havuta infino ad hora, et che possa riuscire di profitto, et gusto à coloro, che si servono di esso; mi son posto à scriver brevemente la fabrica sua, et à raccorre in questo opuscolo quelle operationi, che mi sono parse più principali, et di consideratione; spetando, che quando ben anco da questo non se ne trahesse tutto quel frutto, che mi sono presupposto, che almeno deve essere gradita la volontà, con la quale hò intrapresa questa fatica.⁷⁴⁰

6.4.3 *Fabbrica et uso del compasso polimetro, 1633*



Fig. 88 Oddi, Mu., 1633, frontespizio.

Oddi dedicò il trattato al suo amico Pieter Linder. Il loro profondo rapporto di amicizia umana e culturale è stato immortalato nel dipinto di Daniele Crespi, nel quale i due sono ritratti durante una conversazione di geometria (Fig. 89). Nel dipinto Oddi sta discutendo le modalità di costruzioni degli

⁷³⁸ Oddi, Mu., 1625, Lettera dedicatoria.

⁷³⁹ Lo squadro è tra quegli strumenti più antichi. Esso è la versione moderna della groma, strumento usato per il rilevamento topografico fin dall'Antico Egitto, sul tema si veda per esempio Russo, L., 2017, pp. 126-128.

⁷⁴⁰ Oddi, Mu., 1625, Proemio, p. 3.

specchi ustori, sferici e parabolici, un tema che doveva appassionarlo notevolmente anche perché su tale argomento scrive a Camillo e Pier Matteo Giordani, a Caravaggi e a Bonaventura⁷⁴¹.



Fig. 89 Daniele Crespi, *Mutio Oddi e Peter Linder*, 1620 circa. L'identità di Muzio Oddi è stata attribuita da Alexander Marr in Oddi, Mu., 2005, e ribadita in Marr, 2011, pp. 86-90.

Il dipinto ricorda molto il famoso, enigmatico e misterioso *Ritratto di fra Luca Pacioli con un allievo*, ora conservato nel Museo di Capodimonte di Napoli (Fig. 90). Il quadro rappresenta Luca Pacioli immerso in una lezione di geometria con al fianco un nobile giovane, identificabile in Guidubaldo da Montefeltro. Il quadro, realizzato sotto la stretta sorveglianza di Pacioli, esprime meravigliosamente il ruolo pedagogico e sociale della matematica. Nonostante diverse supposizioni, non sappiamo chi sia l'autore, chi sia il nobile raffigurato, e cosa Pacioli stia indicando. Pacioli con questo quadro impiegò l'arte per divulgare e valorizzare la forza della matematica. Secondo Baldi l'autore del quadro fu Piero della Francesca: «Ne vi fu pittore, scultore, o architetto de' suoi tempi che seco non contrahesse strettissima amicitia, fra' quali vi fu Pietro de Franceschi suo compatriota, pittore eccellentissimo e perspettijvo, di mano di cui si conserva ne la guardarobba de' nostri serenissimi Principi in Urbino il ritratto al naturale d'esso frate Luca col suo libro avanti de la Somma Aritmetica et alcuni corpi regolari finti di cristallo appesi in alto, ne' quali, e da le linee, e da' lumi, e da le ombre, si scopre quanto Pietro fosse intendente ne la sua proffessione»⁷⁴². Evidentemente anche per Oddi l'arte pittorica, e in generale il disegno, erano strumenti per raccontare, mediante la rappresentazione, l'importanza sociale della matematica⁷⁴³. Come nel *Ritratto di fra Luca Pacioli con un allievo*, nel dipinto raffigurante Oddi e Linder in una lezione di geometria arte e matematica si intrecciano valorizzandosi reciprocamente.

⁷⁴¹ La corrispondenza con Bonaventura è stata pubblicata da Procissi (Procissi, 1960). Il problema geometrico è discusso in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 161-164. Sul tema si vedano anche le lettere inviate a P. M. Giordani il 26 aprile 1634 e il 31 maggio 1634 pubblicate in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 194-201 e Gamba, 1975, pp. 167-168. La modalità di costruzione degli specchi riflettenti non era l'unico problema su cui Oddi stava ragionando in quel periodo. Sempre in quegli anni Oddi stava riflettendo su come correggere un errore di Orontio Fineo riguardante il trattare gli orologi solari negli anelli BOP 413, 206 Oddi a C. Giordani, Lucca 17 settembre 1631: «Ne scrissi in Fiandra et Cognet me lo risolse ma nel mezzo cerchio; il P.re Aquilonio invece di resolver questo me ne mandò due che lui giva cercando, da Simon Stivino non hebbi risposta essendo il pover huomo poco dopo morto, Cristino da Torino fece una sua certa sua linea inflessa che chiamo Pileare, Curtio Cossati, et Frà Bonav.ra [Cavalieri] Gesuatto ci attesero un pezzo a Milano poi se ne staccarono, hollo scritto al P.re Grienbergher a Roma et fattolo proporre al s.r. Gallileo et l Guiducci a Fiorenza ma da nessuna parte ho potuto haverne la compositione geometrica», lettera pubblicata in Gamba, 2007, pp. 358-359. L'anno dopo, nel 1632, Cavalieri scrisse a Oddi di averlo saputo risolvere solo «mechanicamente», Cavalieri a Oddi, 22 giugno 1632, in Procissi, 1960. Sul tema anche Gamba, 2007, pp. 350-351.

⁷⁴² Baldi, 1998, *Vita di Fra' Luca dal Borgo S. Sepolcro*, pp. 343-344. Sul tema si vedano Gamba, 2010, e la monografia Kulski, 2019, in cui l'autore sostiene che sia Leonardo il pittore del quadro.

⁷⁴³ Sul tema si veda Marr, 2011, in particolare Part IV.



Fig. 90 Jacopo de' Barbari, *Ritratto di fra Luca Pacioli con un allievo*, Museo Capodimonte, Napoli,

<http://www.museocapodimonte.beniculturali.it/il-ritratto-di-luca-pacioli-a-capodimonte/>.

La presenza della componente matematica caratterizzò un altro dipinto legato a Pieter Linder, l'opera *Linder Gallery Interior*, riconducibile alla Bottega di Jan Bruegel il Vecchio (Fig. 91). In questo dipinto l'arte assurge a veicolo dei dibattiti astronomici e a strumento di comunicazione delle più importanti innovazioni scientifiche dell'epoca. Tra gli strumenti scientifici squadernati sopra il tavolo posizionato al centro della scena, possiamo notare una medaglia recante il profilo di Muzio Oddi. Marr nota che la conversazione geometrica dipinta da Crespi tra l'architetto e matematico urbinato e Linder sembra aver ispirato il quadro raffigurante la lezione tra maestro e allievo posta sul tavolo di destra.



Fig. 91 Bottega di Jan Bruegel il Vecchio (1568-1625), *Linder Gallery Interior*, ca. 1622-1629, New York, Collezione Privata, immagine accessibile al link:

<https://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzostrozzi/oggetto/BottegaJanBruegelVecchioLinderGalleryInterior.html>.

Qui non ci soffermeremo nei dettagli. Rimandiamo al lavoro di Micheal John Gorman e Alexander Marr per un esame sia del rapporto tra arte e matematica nell'attività scientifica di Oddi sia del ritratto di Crespi e della Galleria di Linder⁷⁴⁴. Evidenziamo solamente che, secondo gli autori, il disegno riveste un ruolo fondamentale sia nell'opera architettonica sia geometrica di Oddi. Noi aggiungiamo che, nell'opera di Oddi, il disegno sembra spesso svolgere alcune funzioni visuali tipiche del disegno tecnico, in quanto le rappresentazioni nei trattati sugli orologi solari e sullo squadro, ora più geometriche ora più visuali, supportano pedissequamente le dimostrazioni.

Ritorniamo al trattato sul compasso polimetro. Nelle prime battute della lettera dedicatoria Oddi afferma che il suo libretto sa di *crambe recocta*, in quanto in tanti hanno già discusso di compassi.

⁷⁴⁴ Marr, 2011, pp. 167-214 e Sulla Galleria di Linder si veda anche Gorman, 2009; Gorman e Marr, 2007.

Sebbene associ il suo trattato al “cavolo riscaldato”, Oddi ritiene che il contenuto possa essere utile a coloro che intendano costruire il compasso polimetro, ovvero una variante del compasso di proporzione e simile a quello geometrico e militare di Galileo. Infatti, il trattato mira a soddisfare non solo richieste dei «mastri da Urbino, che lavorano tanto eccellentemente di strumenti matematici», ma addirittura la «curiosità universale». Nella lettera dedicatoria Oddi ritorna anche sulle sue sciagure: «tanto hà fascinato la delicatezza di certi ingegni la novità, che ogni componimento che non l’areca, riesce tanto povero d’applauso quanto può esser ricco di fatica; se io quello ambissi, facile mi sarebbe il non incontrar biasimo, raccontando come, e da *chi*, mi fù comandato: ma diversi *rispetti* mi permettono infedele à questo proprio interesse per altro lecito: troppo fuggo il rinovare le mie doglianze; ne voglio far qui un mercato di lamenti, per venderli alla compassione; ne accrescere il mio *giusto dolore*, allungando il discorso delle mie ingiuste sventure; dirò solo, che questo fù lo *Zimbello*, che servì per farmi tenere à bada da un *Mignone* acciò l’inganno tesomi havesse più sicuro effetto, e perciò come arzigogolo di così lagrimevole ricordanza, *hollo tenuto sempre ascoso*»⁷⁴⁵. Sebbene Oddi non riveli il motivo delle sue sofferenze, sembra alludere al fatto che, ed è questa la cosa interessante, che il libro fosse stato commissionato da quel duca che poi lo spedì in carcere. Il libro, rivela Oddi, fu «Zimbello» (richiamo per uccelli) che un «Mignone» (un suo favorito) usò per tenerlo a bada. Questa enigmatica frase potrebbe alludere ad ulteriori cause responsabili della prigionia, di cui Oddi si sentiva colpevole e meritevole del «giusto dolore».

Il proemio, contenente delle informazioni sulla realizzazione dei primi compassi di proporzione, è stato discusso e analizzato da molti studiosi⁷⁴⁶. Basti ricapitolare le notizie principali ivi contenute:

- 1) Bartolomeo Eustachio desiderava avere uno strumento col quale si potesse dividere le linee rette in parti uguali e con le punte da ambo le parti («ò la briga d’haversi à provvedere di molte paia di quella sesta, che hanno le punte d’ambe le parti»). Nel 1568 chiese a Commandino di progettarglielo, e quest’ultimo inviò il progetto a Simone Barocci. Il compasso richiesto era dotato di punte doppie e con una fessura lungo le aste, attraverso le quali scorrevano due bottoncini attaccati a due molle. Queste due aste erano congiunte insieme con un perno, posto al centro dello strumento, e da una vite diritta che lo teneva unito.
- 2) Guidobaldo, che a quei tempi studiava con Commandino, fece costruire a Barocci un compasso più economico di quello del suo maestro e avente le seguenti caratteristiche: esso era a gambe piane, dotato di maggior numero di divisioni per le linee rette, in grado di dividere le circonferenze dei cerchi e di trovare i lati dei poligoni.
- 3) Durante gli anni questo strumento fu accresciuto di molte cose utili. Pertanto, Oddi chiarisce che sua intenzione non è quella di fare la storia dello strumento, ma «di dare una sommaria notitia del modo di segnare, et adoperare questo strumento [...]; bastandomi d’havere accennato, chi di quel primo ne sia stato l’inventore». Infine, cita coloro che hanno perfezionato con delle aggiunte il compasso di proporzione di Guidobaldo: Michel Coignet, Giorgio Galge Maier, Galileo Galilei e D. Henrion Fran.

Secondo Oddi Commandino non inventò il compasso di riduzione (più precisamente compasso di proporzione a quattro punte, secondo la terminologia posta da Filippo Camerota), ma ne fece fare uno a Simone Barocci. Tuttavia, Oddi ritiene che il compasso di Commandino sia l’archetipo del compasso di proporzione a gambe piate (chiamato compasso di divisione) inventato (anche se è più che altro un’innovazione) da Guidobaldo.

Al termine del proemio Oddi espone il motivo della pubblicazione dell’opera: «et alcuni altri che sarebbero abili à lavorarne, se ne restano per non saperli segnare; il che è stato principalmente la cagione, per la quale io fui incitato alla fatica di scrivere questo opuscolo; *col quale hò desiderato di*

⁷⁴⁵ Oddi, Mu., 1633, Lettera dedicatoria, corsivo nostro.

⁷⁴⁶ Camerota, F., 2004; Gamba, 2004a; Rose, 1968; Rosen, 1968.

soccorrere al bisogno degl'uni, et sodisfare al desiderio degl'altri: havendo nella prima parte mostrato il modo, che si deve tenere in segnare le sopradette sei linee, et nell'altre due, con quale ordine, et regola s'adoprina, considerandole, ò come segnate nello strumento fabricato come si è accennato di sopra ò segnate in una semplice riga senz'altra fattura: mà brevemente con uno esempio, ò due al più per volta di quelle cose, che sono manco comune à gl'altri strumenti»⁷⁴⁷. Anche i mastri d'Urbino, rivela Oddi nella lettera dedicatoria, da qualche tempo chiedevano l'opuscolo per imparare a costruire il compasso polimetro⁷⁴⁸.

6.4.4 La polemica con Raffaello Grimani da Orvieto

Nel 1636 Oddi riceveva il benservito dalla Repubblica di Lucca e nella primavera di quell'anno si apprestava a raggiungere Urbino. Inizialmente Oddi era indeciso se passare per Siena o per Firenze. Dovette passare sicuramente per Firenze, perché ricorda che proprio nell'attuale capoluogo toscano venne a conoscenza di un libretto pubblicato da un certo Raffaello Grimani in cui veniva criticata l'interpretazione che aveva dato nel suo trattato *De gli horologi solari nelle suerficie piane* alla linea della dodicesima ora italica e alla linea della sesta astronomica. Appena arrivatagli la notizia, Oddi scrisse al suo amico Camillo Giordani, dicendogli che «[...] porterò meco un libro d'uno orvietano che mi è stato donato a Firenze nel quale fa un capitolo tutto contro di me, e son sicuro, che VS giurerà di non haverne veduto scrittura più [...] huomo che sappia manco ne spropositi maggiori, non intende i termini ne sa i nomi, confessa le mie premesse vere, nega la conclusione, parla di ragioni probabili con l'esperienza, poi conclude che lui ancora farebbe come ho fatto io per seguitare la corrente, ma chi lui l'intende in altra maniera, mi posi [...] a riprenderli poi me ne sono restato, parendomi di rimetterci del sentire il parere dell'Ill. SV, e ne governerò conforme a che mi consiglieranno»⁷⁴⁹.

La risposta dell'urbinate, considerando anche il suo carattere molto suscettibile, non si fece attendere. Dopo qualche mese a Perugia pubblica *Risposta di Mutio Oddi da Urbino a i dubbi di Raffaello Grimani da Orvieto d'intono all'hora sesta Astronomica, e duodecima Italiana Negli Horologi Orizzontali* (Fig. 92).



Fig. 92 Oddi, Mu., 1637, frontespizio.

⁷⁴⁷ Oddi, Mu., 1633, Proemio, p. 6, corsivo nostro

⁷⁴⁸ Oddi, Mu., 1633, Lettera dedicatoria.

⁷⁴⁹ BOP, ms 413, c. 280: Lettera da Muzio Oddi a Camillo Grimani 13 luglio 1636. Una copia del trattatello di Grimani con qualche annotazione di Oddi è conservata nella BUU, D, XXIII, 64. L'indicazione è in Gamba e Montebelli, 1988, p. 161.

L'opera di Raffaello Grimani messa sotto accusa da Muzio Oddi è *Pratica facile, e breve di molte sorti di Horologi solari orizzontali, e verticali. E del trasportare gli Orizzontali in Verticali, e Declinati. Con tre tavole, dell'Altezza del Polo, ò Larghezza de' Paesi: dell'Amplitudine Ortiva, e della lunghezza, e brevità de i giorni, e delle notti. Con alcuni Dubij dell'Hora VI e XII et altre cose notabili, e curiose*. All'interno del Trattato secondo, capitolo VIII, Grimani, errando, aveva accusato Oddi di non aver saputo dedurre da giuste premesse che la linea delle 12 ore italiane e la linea della VI astronomica non sono né rette né parallele all'Equinoziale. Il trattato contiene anche un componimento poetico dal titolo *Aurora* firmato Angelo Grimani (Fig. 93).



Fig. 93 A sinistra Grimani, R., 1635, frontespizio; al centro Grimani, R., 1635, Trattato secondo, capitolo VIII; a destra Grimani, A., 1636, frontespizio. Su gentile concessione della biblioteca L. Fumi di Orvieto.

Nell'avvertenza al lettore Oddi ricorda il momento in cui ricevette il trattatello.

Non ha molto, che in passando per Firenze, mi fù da un'amico data notitia, essere novellamente comparso alle stampe certo libretto d'Horologi da Sole, in un Capitolo del quale io *venivo bellamente ripreso di non haver saputo ne i miei Orizzontali, dalle premesse vere cavarne una conclusione vera in proposito della linea delle dodici hore Italiane, e della sesta astronomica*. Sopra di che l'Autore havea fatto un lungo discorso, e come di cosa molto rilevante, parendoli piena di belle, et ingegnose considerationi, se n'era fatto pompa nell'istesso frontespizio del libro. E disse mi ancora d'havere osservato, che quantunque tutto quel trattato fosse di cose raccolte da diversi; che nulladimeno da nessun'altro (fuori che di me) havea fatto mentione alcuna, ne dove si era servito delle cose mie [...] Laonde postomi à vedere, e considerare tutto quel Capitolo; non fù molto difficile venire in chiaro, non essere di persona molto esercitata nelle Matematiche [...] *Inteso poi per lettere d'amici, che se il nome di Raffaello non è in tutto finto, che almeno l'autore del libro non l'usa, né se ne serve più;* ma con un altro generico ad esso, hà fatto passaggio à stato di maggiore perfettione, e v'esercita carica tale, che potendo con giusta ragione dubitare, che molti portati dall'autorità di lui, più tosto a questo, che all'essenza delle cose (ma senza pregiudizio mio) potessero haver riguardo, m'hà fatto mutare proponimento, e risolvere à risponderli, e con questo unitamente sodisfare al desiderio dell'amico di Firenze.⁷⁵⁰

Prima di esaminare l'errore attribuito a Oddi e la risposta dell'urbinate, rileviamo che la prefazione contiene un'affermazione curiosa. Secondo Oddi, Raffaello Grimani da Orvieto non era il nome dell'autore del libro. Questa precisazione è interessante: per quale motivo l'autore dovrebbe aver utilizzato uno pseudonimo? E per quale motivo Oddi fu così criptico? Pier Girolamo Vernaccia, senza addurre prove consistenti, propone di identificare Raffaello con un frate domenicano dal nome Angelo Grimani, autore del componimento intitolato *Aurora* accluso al termine dell'opera sugli

⁷⁵⁰ Oddi, Mu., 1637, Avvertenza al lettore, corsivo nostro.

orologi solari⁷⁵¹. Da un esame della genealogia della famiglia Grimani non risultano discendenti contemporanei a Oddi aventi i nomi di Raffaello o Angelo. L'unico legame tra Grimani e Orvieto è rappresentato dal cardinale Marino Grimani, morto a Orvieto nel 1546. Quest'ultimo aveva lasciato un figlio maschio (Marinetto), due figlie femmine e un nipote di nome Giulio⁷⁵². Che Raffaello o Angelo fosse un parente di Marino? (Fig. 94)⁷⁵³.

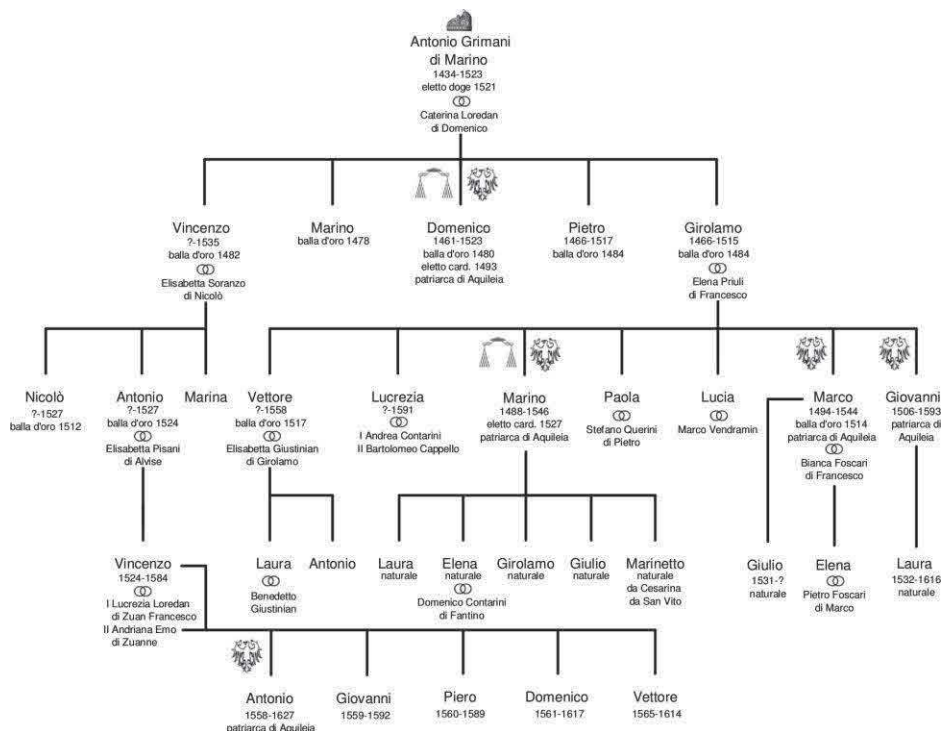


Fig. 94a Albero genealogico della famiglia Grimani cortesemente fornito dalla dott.ssa Valeria Finocchi del Museo Palazzo Grimani, Venezia.

⁷⁵¹ Vernaccia, 1740, c. 88 r.

⁷⁵² Brunelli, 2002.

⁷⁵³ Ringrazio la dott.ssa Maria Teresa Equitani della Biblioteca "L. Fumi" di Orvieto e la dott.ssa Valeria Finocchi, Funzionario Storico dell'Arte del Museo di Palazzo Grimani di Venezia, per le immagini fornite. Inoltre, ringrazio la dott.ssa Olimpia Tartaro e la dott.ssa Cecilia Furiani della Sezione di Archivio di Stato di Orvieto per le informazioni sulla presenza dei Grimani a Orvieto.

polemica. La lettera indirizzata a Muzio Oddi è firmata Angelo Grimani da Viterbo, Quercia. Per Quercia si intende probabilmente il Santuario della Quercia. Il documento chiarisce di fatto l'identità dell'autore e della sua affiliazione ecclesiastica (Santuario della Quercia di Viterbo), senza però rivelarci il motivo della scelta di uno pseudonimo (Fig. 95).

La gita passata risposi alla S.V. et le accennai all'ombra recta e versa che il Barbaro aggiunge nella tavola all'opera. [...] Ma aggiungo adesso (cosa che VS si compiacesse con brevità di una qualche parola). Il Clavius [...] fanno tavole di quest'ombre, e de gli archi (se V.S. dico) con brevità può spiegarmeli, dica per cortesia, di chi sono quest'ombre? Dello stile? Come si intende che ne ha una 12. parte. pur 12. parti? [...] Come si piglia l'altezza del sole? [...] Se a VS da modestia di applicatione, o di [...], la prego a non ci far'altro, perché la compatisco e per una risipola (quasi guarita) venuta alla gamba destra, cominciata con s'anguinarglia, non posso molto applicare per molta febbriattola datemi [...] Però la compatisco sommamente, e scusi la mia ignoranza, e presuntione. [...] Viterbo. Quercia. 22. 7mbre 1638.⁷⁵⁴

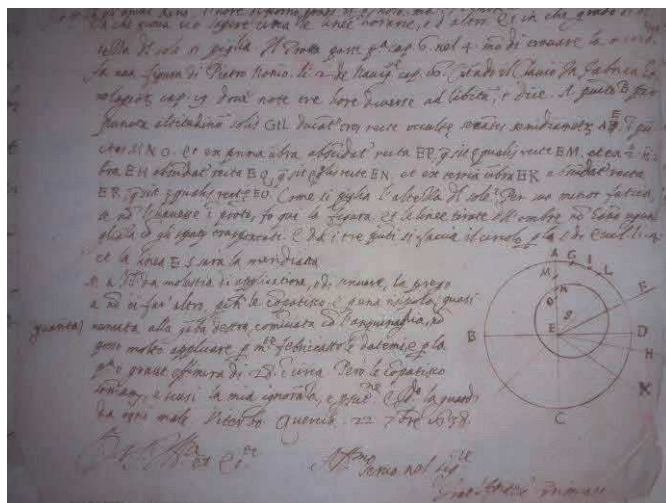


Fig. 95 BUU, Fondo della Congregazione di Carità, busta 47: Casa Vincenzi e Oddi, 1540 – 1642, fascicolo VI, numero 13, cc. 950 – 951, Lettera inviata da Angelo Grimani a Muzio Oddi, 22 settembre 1638.

Non sappiamo se la lettera ebbe risposta da parte di Oddi. Tuttavia con essa possiamo dire conclusa anche la polemica. Nel 1640 uscì un altro libretto sempre firmato Rafaelo Grimani da Orvieto e sempre dal nome *Pratica facile, e breve di molte sorti di Horologi solari in questa seconda stampa corretta, et accresciuta*, ma senza il sottotitolo e senza il capitolo sull'ora duodecima e sesta astronomica, ovvero la parte oggetto della contesa, che sarà sostituito da *Del modo di situare gli horologij Orizzontali senza la calamita osservando solamente l'ombra del gnomone nell'apparire del Sole all'Oriente*. Il “*mea culpa*” viene rimarcato anche dal nuovo frontespizio, nel quale, a differenza di quello dell'edizione precedente, le linee orarie italiane e astronomiche sono disegnate parallele all'orizzonte (Fig. 96).

⁷⁵⁴ BUU, Fondo della Congregazione di Carità, busta 47: Casa Vincenzi e Oddi, 1540 – 1642, fascicolo VI, numero 13, cc. 950 – 951, Angelo Grimani a Muzio Oddi, 22 settembre 1638. Intendo ringraziare il dott. Federico Marcucci, archivista della sezione Fondo Antico della Biblioteca Universitaria di Urbino per la disponibilità e la professionalità mostrate durante la ricerca.

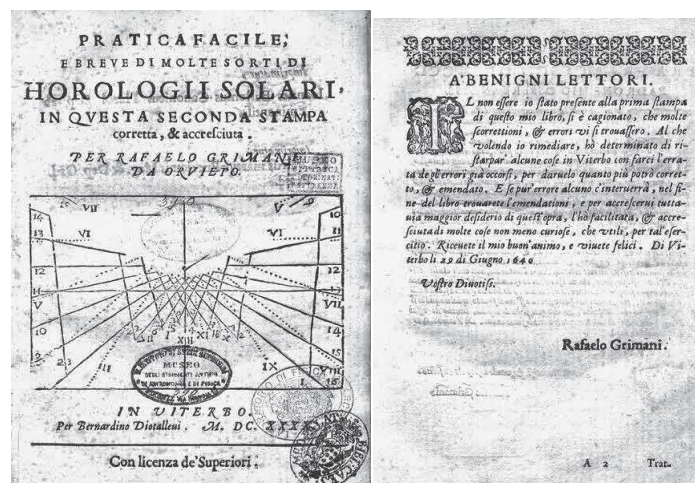


Fig. 96 Grimaldi, R., 1640, frontespizio e lettera A' benigni lettori.

Purtroppo non ci sono informazioni per ricostruire la vita laica e religiosa (tranne il riferimento al Santuario della Quercia) e l'attività scientifica, se c'è stata, di Angelo Grimaldi. Possiamo solo dire che Angelo (o Raffaello) non compare nell'albero genealogico dei Grimaldi e neanche a Orvieto e a Viterbo sembra aver lasciato traccia. Soprattutto non sappiamo perché questo Angelo Grimaldi avesse sentito la necessità di pubblicare un libro sugli orologi solari e perché abbia scelto di usare uno pseudonimo. Cosa certa è che questo frate domenicano, di cui si sa ben poco, è uno dei tanti personaggi che la storia ha inghiottito.

6.4.5 Risposta di Oddi ai dubbi di Grimaldi

Il frontespizio della *Risposta di Mutio Oddi da Urbino a i dubbi di Raffaello Grimaldi da Orvieto d'intono all'hora sesta Astronomica, e duodecima Italiana Negli Horologi Orizzontali* di Oddi non è raffinato come nei precedenti trattati. In effetti, la sua semplicità tradisce una certa fretteolosità che aveva probabilmente spinto la pubblicazione dell'opera. Il testo, come indica il titolo, è una risposta a un capitolo specifico (Trattato secondo, capitolo VIII) dell'opera pubblicata da Raffaello Grimaldi.

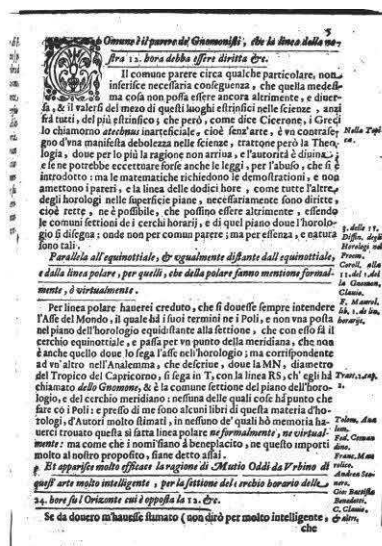


Fig. 97 Oddi, Mu., 1637. Esempio di analisi di Grimaldi, R., 1635, Capitolo VIII.

La risposta di Oddi è davvero singolare. L'urbinate costruisce un libretto sul capitolo VIII di Grimaldi, analizzando ogni singola frase: «hò stimato che sia per riuscire più commodo e meglio, il farlo interrottamente periodo, per periodo, che con un discorso tutto continuato, contrassegnando le

cose sue con linee fattoci sotto, per differentiarle dalle mie risposte» (Fig. 97)⁷⁵⁵. In alcuni luoghi il commento di Oddi è molto tecnico e in altri si lascia spesso andare a critiche di metodo. Tralasciando i tecnicismi, ci soffermeremo sulla critica al metodo, la quale sottintende il modo di intendere la ricerca scientifica da parte di Oddi e, soprattutto, il ruolo che per lui devono avere le dimostrazioni matematiche nell'indagine dei fenomeni naturali. In alcune parti della risposta sembra palesare l'importanza delle «necessarie dimostrazioni» rivendicata anche da Galileo. Secondo Oddi i sensi a volte si ingannano, pertanto dobbiamo affidarci alle matematiche, per matematiche Oddi intende il ragionamento logico e la geometria. Per quanto riguarda la possibile inaffidabilità dell'esperienza, le parole di Oddi sembrano echeggiare quanto Descartes avrebbe esposto nello stesso anno nel *Discours sur le Methode* (1637). Per commentare la forte frase di Grimani («Oltre di ciò l'esperienza maestra delle cose apertamente ci dimostra la verità delle addotte ragioni»), Oddi scrive che:

Fù all'esperienza dato il titolo di maestra delle cose per esser un conoscimento de i particolari acquistati con mezzo dell'arte, da quali ne proviene poi quello degli universali, e da questi (come egli può sapere benissimo) l'arte, e la scienza; ma come che i particolare siano semplicemente materia di tutte l'arti, e specialmente delle pratiche, e fattive; così la loro prima cognizione, come pura operazione del senso può tal'hora includere in se stessa degli errori, eziandio nella propria materia, per l'inclinationem che hà il medesimo senso, che la produce, ad ingannarsi; che per ciò disse un grande. Humanum experimentum fallax [Ippocrate].⁷⁵⁶

Tuttavia, ci sono almeno due differenze sostanziali tra l'approccio di Oddi e l'approccio di Descartes contenuti rispettivamente nella *Risposta* ai dubbi di Grimani e nei *Discours*. La prima riguarda lo scopo del trattato: Descartes scrive il suo *Discours* con l'obiettivo di fornire un metodo utile ai tecnici, mentre Oddi non aveva scritto il libretto per esporre un metodo né tantomeno per dare delle indicazioni metodologiche ai tecnici, egli aveva come fine solo esternare il suo malumore nei confronti delle accuse mosse da Grimani. La seconda differenza riguarda lo *status* della matematica: se per entrambi l'esperienza è attendibile se è legittimata dalla matematica, per Descartes anche la matematica ha bisogno di un qualcosa che la legittimi. Secondo il filosofo francese, nonostante l'azione ingannatrice di quel "genio maligno" ci costringa a dubitare di tutto, non possiamo dubitare delle conoscenze matematiche perché non possiamo dubitare del fatto che stiamo dubitando. Dal momento che dubitare equivale a pensare, allora quando noi dubitiamo noi pensiamo. Se il pensiero è un attributo di un corpo, allora anche la realtà esterna al pensiero esiste. Oddi non aveva elaborato un simile ragionamento. Il suo intento era solamente riferire la poca attendibilità dell'esperienza, a causa del fatto che, come mostrato per esempio dalla vite di Archimede che permette l'acqua di innalzarsi grazie a un movimento che viene effettuato verso il basso, talvolta l'esperienza ci consegna dei paradossi che riusciamo a dirimere solo grazie all'impiego della matematica. Dietro i ragionamenti di Oddi si nascondono gli insegnamenti di Guidobaldo del Monte e dei matematici dell'antichità, modelli a cui Oddi farà spesso riferimento sia nei suoi trattati sia nelle sue opere architettoniche⁷⁵⁷. Nella risposta Oddi manifesta la sua indole poco paziente, indole che nel corso della sua vita lo ha anche spesso portato a crearsi più nemici che sostenitori. Oddi era stato colpito da Grimani nell'orgoglio con una frase a prima vista innocua, ma che, se inserita nel contesto del paragrafo, rivelava invece una denigrazione mascherata da lode («E apparisce molto efficace la ragione di Mutio Oddi da Urbino di queft'arte molto intelligente, per la sectione del cerchio orario delle 24 hore sù l'Orizonto, cui è opposta la 12, & c. Vera è la dottrina delle premeffe; ma la conclusione deue effere; che la 12 fia l'iftessa, che la linea Equinottiale»⁷⁵⁸).

⁷⁵⁵ Oddi, Mu., 1637, Avvertenza.

⁷⁵⁶ Oddi, Mu., 1637, p. 15.

⁷⁵⁷ Sul tema segnalò l'appassionante relazione di Elio Nenci, *I classici della geometria greca nell'opera di Muzio Oddi*, presentata in occasione del convegno "Muzio Oddi (1569-1639) tra ingegneria, matematica e strumentazione scientifica, Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita", 17-18 settembre 2019, Urbino e Cesena.

⁷⁵⁸ Grimani, 1635, Trattato secondo, capitolo VIII, p. 26.

Se da dovero m'havesse stimato (non dirò per molto intelligente che per la gratia d'Iddio conosco pur troppo bene sin dove arrivano le mie debolezze) ma per qualche cosa meno, che mediocrementemente instrutto nella matematiche, non so darmi à credere, che con qualunque più accurata diligenza, e maggiore studio, di quello, che si scorge, non havesse procurato d'intendere, e capir bene le cose, che hò dimostrate ne i miei Orizzontali; che come tale poteva immaginarsi pure, che non à caso, ò mosso da incerte, e dubbiose conietture; ma con buoni, e reali fondamenti, le dovesse haver scritte, e così egli non haverebbe dato inciampo in molti equivochi, e preso senza alcuna differenza una cosa per un'altra, e trascorso in molti paralogismi: ne io sarei in ques'impaccio d'haverli à ripondere, (e quello che più mi pesa) non poterli corrispondere con le lodi di molto intelligente di quest'arte, le quali come da me non meritate, ne meno ambite, volentieri l'haverei rimandate, e ritorte nella sua propria persona: sebene col soggiungere immediatamente il riprovero della mia conclusione, m'ha fatto conoscere apertamente esser dette per ironia; se non è per accrescimento delle sue proprie lodi; e la parola *apparisce* esserci posta ad arte per apparente; come che le ragioni siano solo in apparenza, e non sostanzialmente vere; di che ne doverà essere il giuditio presso coloro, che di quest'arte sono veramente molto intelligenti.⁷⁵⁹

Gli attacchi di Oddi contenuti nella riposta a Grimani riguardarono principalmente lo *status* della Gnomonica. Diversamente da come aveva fatto intendere Grimani, il quale basava troppo facilmente le sue elucubrazioni sul parere soggettivo, Oddi riteneva che le procedure tecniche proprie della gnomonica dovessero essere costruite su base matematica e conservare quel grado di oggettività, legittimato dalla matematica stessa.

Le matematiche richiedono le dimostrazioni e non ammettono i pareri, e la linea delle dodici hore, come tutte l'altre degli horologi nelle superficie piane, necessariamente sono dritte, cioè rette, ne è possibile che possano essere altrimenti, essendo le comuni sectioni de i cerchi horarij, e di quel piano dove l'horologio si disegna: onde non per comune parere; ma per essenza, e natura sono tali. [...] Hanno infino al presente giorno le Matematiche, per la certezza delle dimostrazioni, frà le scienze reali, e speculative tenuto sempre il primo, e più eminente luogo: per l'avvenire, che si vogliono ridurre alle conietture, ad *un me lo fa credere*, et ad un altro *questo apparisce verisimile, o più verisimile*; converrò che si cedino infino all'arti mecaniche, nelle quali l'artefice intende pure in qualche modo ciò che opera. E se nella gnomonica, parte tanto principale di essa, nel dare alla horarie la loro vera, e propria positione, basta l'arbitrio, il capriccio, e la sola guida del senso; e poco meno che non dissi, poterlo fare alla cieca.⁷⁶⁰

Oddi non reclamava solo la correttezza logica dei suoi ragionamenti, ma rivendicava soprattutto il fatto che le dimostrazioni da lui impiegate avevano fundamenta matematiche e quindi non potevano dare adito a dubbi. Poche pagine più avanti Oddi risolveva la perplessità di Grimani, il quale riteneva che in caso di orologi solari su superficie piane la linea delle 12 ore non coincidesse con la sesta astronomica e non fosse parallela alla equinoziale, ma inclinata.

Il cerchio orario della sesta astronomica passa (siccome fanno tutti gli altri) per i poli del Mondo, et è per lo spatio di sei hore lontano dal Meridiano, che fa la duodecima; cioè a dire per una quarta del cerchio equinottiale, e perciò retto al piano di esso meridiano al quale è parimente retto l'orizzonte, per lo che la loro comune sectione viene ad essere perpendicolare al medesimo meridiano; [...] e perciò nel piano dell'Orizzonte una medesima linea, et in quello dell'horologio, per le cose, che si sono dimostrate, tutte fra loro parallele, cioè la linea dell'equinottiale quella duodecima italiana, e la sesta astronomica, e per tale cagione impossibile, che frà loro sia questo concorso, e molto meno si faccia nell'Oriizzonte, dove una sol linea le rappresenta tutte tre, et in essa si trova esserci il vertice dello stile.⁷⁶¹

⁷⁵⁹ Oddi, Mu., 1637, p. 6.

⁷⁶⁰ Oddi, Mu., 1637, pp. 5-8, corsivo nostro.

⁷⁶¹ Oddi, Mu., 1637, p. 12.

6.4.6 De gli Horologi solari, 1638

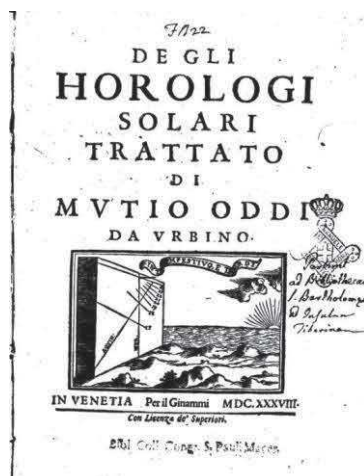


Fig. 98 Oddi, Mu., 1638, frontespizio.

Iniziamo questo paragrafo ponendo l'attenzione sul frontespizio. La meridiana con il sole sullo sfondo richiama l'immagine del primo trattato *De gli Horologi solari nelle superficie piane*. Il motto «Intempestivo e tardi» sembra alludere a qualcosa di irrimediabilmente perduto.

Il trattato (Fig. 98) è dedicato a Bernardo Buonvisi e a Pieter Linder. Nella dedica a Buonvisi Oddi accenna al moto «inerrante» del sole, posizione in linea con le convinzioni cosmologiche su cui ci siamo soffermati precedentemente, e il riferimento alla «molta cognitione degli studi matematici» che aveva il suo interlocutore. Invece, nella dedica a Linder, suo amico di vecchia data, spiega il senso del frontespizio dei trattati sugli orologi solari pubblicati rispettivamente nel 1614 e nel 1638. Il motto, scrive Oddi, è stato preso dal sonetto di Petrarca *Che fai che pensi?* Come Petrarca, che si doveva rassegnare alla perdita di Laura, Oddi doveva rassegnarsi alla perdita del suo duca, il quale, dopo averlo inizialmente elevato, si era lasciato andare ai suggerimenti fraudolenti dei consiglieri, costringendo Oddi a vivere lontano da lui e dalla sua patria⁷⁶². Ora, si rammarica Oddi, nonostante abbia la possibilità di ritornare, non può più godere dell'amicizia del duca, irrimediabilmente perduta a causa della morte avvenuta nel 1636. Il disegno volutamente enigmatico deve essere letto in parallelo al frontespizio del trattato del 1614: «In quella, che io feci nel primo libro, per il Sole intesi il Duca d'Urbino, e nell'Horologio Orizzontale la persona mia, resa inutile col venirmi impediti i raggi della gratia di quel Sig. da certi malvaggi di mala tacca, figurati nelle nuvole per molti rispetti, particolarmente per la somiglianza della nascita loro, quelle dal fango della Terra, e questi dalla feccia della Plebe. In quest'altra (continuando l'istesso proposito) nelle nuvole dileguate, hò voluto esprimere, che se bene alla fine tutta quella Marmaglia si spense, e fù tolta dal Mondo, essere nondimeno ciò avvenuto tardi per me, già fatto vecchio rappresentato dall'Horologio Verticale».

6.4.7 Oddi e l'accusa di plagio

Nel proemio *De gli Horologi solari*, Oddi accusa padre Giulio Fuligatti di essersi appropriato di alcune parti che l'urbinate intendeva inserire nel trattato sugli orologi solari. Oddi avvia il proemio

⁷⁶² Francesco Petrarca, Canzoniere: *Che fai? Che pensi? che pur dietro guardi:* // Che fai? Che pensi? che pur dietro guardi // nel tempo, che tornar non pote omai? // Anima sconsolata, che pur vai//giugnendo legne al foco ove tu ardi? // Le soavi parole e i dolci sguardi // ch'ad un ad un descritti et depinti ài, // son levati de terra; et è, ben sai, // qui ricercarli intempestivo et tardi. // Deh non rinovellar quel che n'ancide // non seguir più penser vago, fallace, // ma saldo et certo, ch'a buon fin ne guide. // Cerchiamo 'l ciel, se qui nulla ne piace://ché mal per noi quella beltà si vide, // se viva et morta ne devea tór pace.

facendo una storia della gnomonica fino ad arrivare a citare la qualità degli orologi fabbricati dai Barocchi. Le ultime pagine sono incentrate sul motivo dell'opera.

Assicuro bene, che il pubblicare queste fatiche, quale esse si siano, non ha origine da vana speranza, et ambizione di lode, ma da mera necessità; come ben sanno molti, che hanno cognitione di me, e delle vertigini della mia fortuna; e sanno quanto lungo tempo, e perche l'habbia tenute ascose; come sanno parimenti, che dopo haver composto il primo trattato, lo sottoposi alla consideratione d'uno amico, nella Marca d'Ancona molto letterato [a margine: Gio. Batt. Perugino da Uffida], per proseguire, o levar mano da questa impresa, conforme a che m'havesse consigliato: ma la mia confidenza, e la sua facilità diedero luogo a copiarne alcune parti ad un Padre Giulio Foligatti, dal quale furono poi fraposte in un libro, che haverei detto suo, se di suo fosse altra cosa, che il suo nome: *che perciò mentre visse il Padre Christoforo Clavio le fù sempre vietata la licenza di stampare un sì fatto centone, benché con mezzi di molta autorità più volte il tentasse*; lo stampò poi cinque anni dopo la sua morte, e delle cose mie tacque il mio nome, imaginado forse che con l'havere io pubblicato un altro Trattato dell'istessa materia; posteriore à quello; non fossi per dare più fuori questo, dal quale era stato fatto il furto: benché io l'havessi accennato in una letteretta à i Lettori: e quantunque (ò vergogna, ò coscienza) il rattenesse a dire da se stesso, essere sue quelle inventioni, non si contentò nondimeno d'haverlo con qualche artificio agognando accennato, che per farlo esprimere chiaro, *si valse poi del mezzo d'un certo Barbandrocco suo dipendente [a margine: Gio. F. Pal.], con l'occasione di ristampare in un picciolo quaderno il modo di fare i verticali nel proprio sito con uno orizzontale, e due fila*: ma come che né l'uno, né l'altro di loro sapessero delle Mathematiche se non certi principi assai grossolanamente; così v'han fatto degli errori, e con essi dato molto bene à conoscere quella non essere farina del loro sacco, e meglio potrà hora vedersi, conferendo quei loro libri con questo mio, quale posi per sodisfare al desiderio d'un mio amico, e Signore [a margine: Narciso Aurispa], al quale havea mostrato in voce questi modi d'operare senza pretendere più altro, che il gusto, et utile di lui, e sodisfare in qualche parte alle molte obligationi, che have seco; se oltre à poi ne conseguissi altro da me non sperato, né ambito appaluso, et honore, lo riconoscerò sempre dall'altrui cortesia, e non d'alcun mio merito.⁷⁶³

Nel proemio Oddi accusa Fuligatti di aver accluso in suo libretto stampato nel 1617, *Orioli solari* (Fig. 99), alcune parti che prevedeva di inserire nel trattato *De gli horologi solari*. L'opera di Fuligatti, nonché oggetto dell'invettiva di Oddi, entrò anche nel libro "nero" di Lionardo Cozzandi (*Leonardi Cozzandi Brixiani ordinis servorum Mariae De Plagiariis Liber Singularis*), testo che raccoglieva i sospetti plagii della storia e inserito in una miscellanea (*Miscellanea di varie operette*, II, pp. 137-328) pubblicata nel 1740⁷⁶⁴. Sfogliando il libro di Cozzandi si rimane colpiti dal fatto che l'autore non citi il possibile plagio di Luca Pacioli nei confronti del *De quinque corporibus regularibus* di Piero della Francesca, nonostante fosse già stato segnalato da Vasari nella vita di Piero della Francesca nelle *Vite dei più illustri pittori e scultori* del 1550⁷⁶⁵.

⁷⁶³ Oddi, Mu., 1638, Proemio, pp. 12-14, corsivo nostro.

⁷⁶⁴ Cozzandi, 1740, p. 229: «Julius Foligatus Inventiones quafdam fuper Sciotherica horologia fibi ufurpavit, fuafque fecit, quas Mutius Oddi Urbinas proprio adinvenerat Marte, ut in proemio Tractatus de Sciothericis horologiis conqueritur, quem Venetiis edidit anno MDCXXXVIII. in 4. nufquam ejus (ut par erat) facta mentione».

⁷⁶⁵ Vasari, 1550, Pietro della Francesca.

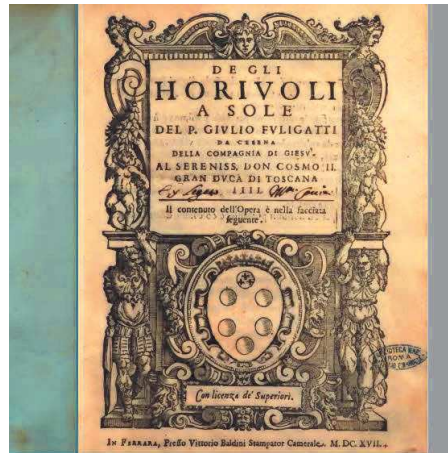


Fig. 99 Fuligatti, 1617, frontespizio.

Dal contenuto del proemio di Oddi possiamo desumere che la vicenda riguardò, oltre Giulio Fuligatti, anche Giovanni Battista Perugino da Offida, Cristoforo Clavio, Gio. F. Pal. e Narciso Aurispa. Oddi aveva trascinato alla gogna il suo amico Giovanni Battista Perugino da Offida, perché, benché avesse il compito di proseguire e perfezionare l'opera, permise a Fuligatti di copiarne delle parti. Sembra che Cristoforo Clavio avesse invece cercato di tutelare Oddi, evitando di dare la licenza di stampa a Fuligatti. Oddi sostiene che Fuligatti si avvalese anche di un «certo Barbandrocco suo dipendente»⁷⁶⁶, chiamato con la sigla Gio. F. Pal, il quale stampò una breve opera in cui Fuligatti veniva riconosciuto come ideatore di un «modo di fare i verticali nel proprio sito con uno orizzontale, e due fila». Infine, Oddi nomina chi lo spronò affinché decidesse di pubblicare l'opera, ovvero un capitano di Macerata Narciso Aurispa (Fig. 100)⁷⁶⁷.



Fig. 100 Ritratto di Narciso Aurispa,
Musei civici di Palazzo Buonaccorsi, Macerata,
<http://www.maceratamusei.it/>.

⁷⁶⁶ Probabilmente barbandrocco è utilizzato nel senso di buono a nulla e inetto (si confronti con la voce Barbandrocco in Tuzzi, 1837. L'autore del dizionario rimanda Barbandrocco alla voce Babbeo). Il termine barbandrocco è impiegato nelle *Rime del commendatore Annibal Caro* (Caro, 1572, p. 99), quindi Oddi potrebbe aver desunto tale termine dalle rime del maceratese Annibal Caro.

⁷⁶⁷ Aurispa nacque a Macerata alla fine del 1500. Intorno al 1606 fu mandato a Urbino per studiare fortificazioni con Guidobaldo del Monte. Dopo aver ricoperto incarichi di ingegnere militare, diventò governatore prima di Canea e poi di Retimo. Morì a Macerata nel febbraio 1628. Alcune notizie su Aurispa sono desumibili da BOP, ms 413, c. 82.

Giulio Fuligatti nacque a Cesena nel 1550. Dopo essersi formato in terra natia seguì il corso di filosofia presso il Collegio Romano. Successivamente, frequentò l'Accademia matematica tenuta da Clavio. Negli anni 1586, 1588 e 1589 Fuligatti rivestì il ruolo di professore di matematica presso il Collegio Romano⁷⁶⁸. Dal 27 aprile 1597 fu nominato *proposito residente* a Monte Santo (l'attuale Potenza Picena), dove insegnò grammatica e matematica per un breve periodo. Tra il 1598 e il 1600 fu *confessore e prefetto spirituale* a Recanati. Gli anni successivi ritornò a Monte Santo dove ricoprì di nuovo la carica di *proposito*. Tra il 1603 al 1605 fu *minister* a Recanati. Terminata la sua esperienza a Recanati, andò a Siena dove rimase fino alla morte, avvenuta il 2 ottobre 1633.

I gesuiti ebbero un ruolo rilevante nel territorio marchigiano, in quanto gestivano numerosi collegi allora fortemente radicati nella società⁷⁶⁹. Essi si occupavano prevalentemente di predicazione, esercizi spirituali ed insegnamenti nelle scuole⁷⁷⁰. Non sappiamo tuttavia se Fuligatti nel 1602, quando era di stanza a Monte Santo, avesse avuto modo di incontrare Oddi a Loreto, a quel tempo architetto della basilica della Santa Casa.

Dal proemio si evince che il plagio posto sotto accusa da Oddi riguardò il modo di fare un orologio solare verticale partendo da un orologio orizzontale, ma precisamente quale modo? E quale fu il ruolo di Cristoforo Clavio nella vicenda? Clavio, scrive Oddi, aveva fatto in modo di ostacolare la stampa del libro di Fuligatti, da ciò si presume che Fuligatti e Clavio rimasero in contatto anche successivamente al periodo di frequentazione dell'Accademia di matematica.



Fig. 101 Ritratto di Cristoforo Clavio,
<https://it.wikipedia.org/wiki/>.

In effetti nella corrispondenza di Cristoforo Clavio curata da Baldini e Napolitani sono presenti due lettere inviate da Fuligatti, quando ormai non era più a Roma, a Clavio su alcuni modi di fare gli orologi solari. Nella prima lettera si parla di un certo matematico di Urbino e del modo di fare gli orologi orizzontali, mentre nella seconda di un certo architetto di Loreto e del modo di fare un orologio murale da un orizzontale. La prima missiva, spedita da Macerata, risale al 28 settembre 1594 (APUG 529, cc. 178r-178v); l'altra, inviata da Monte Santo (l'attuale Potenza Picena), è datata 3 ottobre 1602 (APUG 529, cc. 172r/v, 176r/v)⁷⁷¹.

Purtroppo, tranne le missive indirizzate a Clavio, non sembra che la corrispondenza di Fuligatti sia pervenuta. Abbiamo localizzato la ricerca a Potenza Picena (già Monte Santo) e a Porto Recanati, dove Fuligatti soggiornò per un breve periodo. In questi luoghi non ci sono tracce di lettere o lavori gnomonici di Fuligatti. Presso la Biblioteca Comunale di Macerata è invece presente una lettera di

⁷⁶⁸ Clavio, 1992, Volume I, Introduzione e strumenti, Parte II: Biografie, pp. 47-49.

⁷⁶⁹ Nel corso del tempo il binomio gesuiti-territorio marchigiano diventò sempre più forte. A titolo di esempio ricordiamo un'importante figura protagonista del primo Novecento italiano, il fisico gesuita arceviese Giuseppe Gianfranceschi (1875-1934). Sul tema si veda Pietrini, 2019.

⁷⁷⁰ Sul tema si veda Domenichini, 1994.

⁷⁷¹ Le due lettere sono state pubblicate da Baldini e Napolitani in Clavio, 1992, la prima è indicata con il n. 107 ed è trascritta in Clavio, 1992, Volume III (1593-1596), Parte I: lettere e testi, pp. 93-96. La seconda è indicata con il n. 197 ed è trascritta in Clavio, 1992, Volume V (1602-1605), Parte I: lettere e testi, pp. 40-41.

Fuligatti indirizzata a Matteo Ricci, già pubblicata da Baldini e Napolitani all'interno della corrispondenza di Clavio⁷⁷². Pertanto, limiteremo il nostro esame alle lettere presenti nella corrispondenza di Clavio curata da Baldini e Napolitani. Nella prima lettera (n. 107), scritta in latino, Fuligatti scrive a Clavio di aver avuto una certa prassi, la quale sembra abbastanza generica, per fare gli orologi orizzontali italici, babilonici, astronomici e antichi da un matematico d'Urbino. Baldini e Napolitani, dopo aver escluso un'eventuale identificazione con Guidobaldo e con Baldi, in quanto Clavio conosceva molto bene entrambi e quindi non avrebbe avuto senso un'eventuale omissione del loro nome, con la dovuta cautela associano la descrizione data da Fuligatti al matematico Muzio Oddi. Nella dimostrazione viene mostrata la regola per costruire orologi orizzontali italici, babilonici e astronomici per mezzo dell'analemma vitruviano⁷⁷³. La lettera termina con *Hinc patet etc.* Che l'autore avesse voluto riferire dell'altro? Purtroppo il documento non fornisce ulteriori elementi.

Nella seconda lettera (n. 197) Fuligatti racconta a Clavio di aver trovato un modo per fare facilmente il murale da un orizzontale e che questo modo, rivela Fuligatti, era stato però trovato prima da un architetto di Loreto. Anche in questo Baldini e Napolitani identificano l'architetto di Loreto con Muzio Oddi. Questa associazione sembra molto pertinente, in quanto nel 1602 Oddi era architetto della Basilica della Santa Casa di Loreto⁷⁷⁴. La dimostrazione descritta nella lettera è la seguente:

*Ma in vero il modo che per occasione anch'io ho trovato, trovato prima dal architetto di Loreto, di far il murale da un horizontale, mi par facilissimo perche fatto un horiolo horizontale un poco grande, et tirata una linea pel luogo dello stile, che facci con la meridiana l'angolo del compimento della declinatione, et attaccata la carta nel muro in modo che detta linea sia parallela al horizonte, et tirata ad essa linea per l'istesso luogo del stile una perpendicolare nella quale si piglia la longhezza dello stile murale, e poi la longhezza dello stile horizontale, et per li punti che terminano dette longhezze si tirano due parallele all'horizonte; et mediante l'aiuto di queste col far passare il filo o riga per due punti della prima linea che si tirò per il luogo dello stile, et per il punto dato si trovano quanti punti l'huomo vuole nel muro con tanta facilita quanta si trasferisce un horiolo piccolo in grande e maggiore. Insomma questa non e altro che un applicatione di quello che il Signor guidobaldo nella sua prospettiva fa in una carta, far nel muro, il medesimo mostra V. R. ne i luoghi citati ma vi ricerca piu perpendicolari supplendo a quelle molte perpendicolari due punti pigliati nella prima linea che fu trovata. Questa applicatione che io non sapevo, sapendo prima l'istesso modo in carta, intendendo che era trovata, mi posi a pensarla e la trovai ancor io. E la stimo comodissima facile e giusta perche con grandissima facilita si possano pigliare quanti punti si vuole nel muro. Anzi questo istesso modo con la medesima facilità si applica a qualsivogli piano inclinato e declinante. V. R. intendera il tutto nelle per spetti va del S. guidobaldo. Ne essendo questa per altro a V. R. molto mi raccomando di Monte Santo a di 3 di 8bre 1602.*⁷⁷⁵

Secondo i curatori, a questa lettera devono essere allegati i disegni in APUG 529, c. 173 e in APUG 526, c. 175 (Fig. 102)⁷⁷⁶.

⁷⁷² Biblioteca Comunale di Macerata, mss. 250, 25v-29r, Matteo Ricci a Giulio Fuligatti 12 ottobre 1596 (n. 131), lettera pubblicata in Clavio, 1992, Volume III (1593-1596), Parte I: lettere e testi, p. 195.

⁷⁷³ Vitruvio, 1567, Libro IX, CLVIII.

⁷⁷⁴ Sull'attività di Oddi a Loreto si veda Russo, A., 2017.

⁷⁷⁵ Clavio, 1992, Volume V (1602-1605), Parte I: lettere e testi, n. 197, pp. 40-41, corsivo nostro.

⁷⁷⁶ Clavio, 1992, Volume V (1602-1605), Parte I: lettere e testi, n. 197, pp. 42-43.

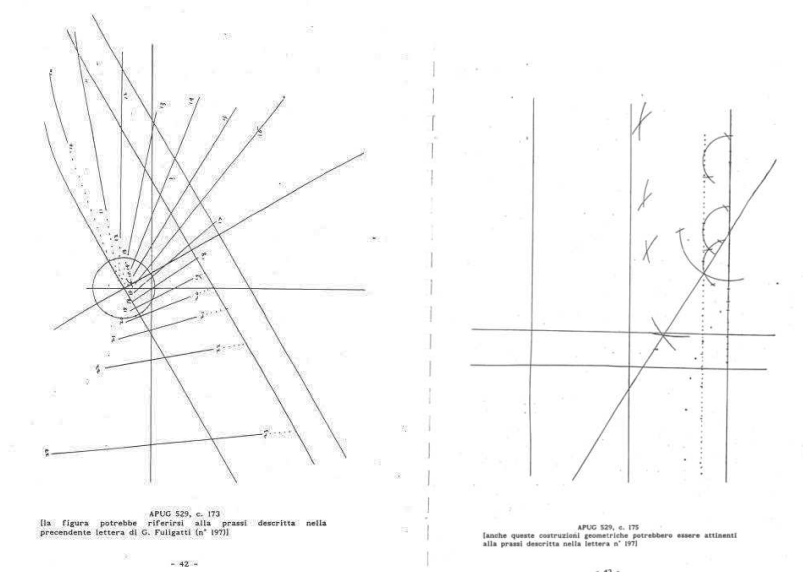


Fig. 102 APUG 529, c. 173 e APUG 529, c. 175,
diagrammi pubblicati in Clavio, 1992, Volume V (1602-1605), Parte I: lettere e testi, pp. 42-43.

Il contenuto della lettera appena citata rimanda al modo oggetto di plagio («modo di fare i verticali nel proprio sito con uno orizzontale, e due fila») indicato da Oddi nel proemio. Inoltre, dall'incrocio della lettera n. 197 e dei presunti allegati con il contenuto dei trattati di Fuligatti e di Oddi è possibile desumere qualcosa di significativo, in particolare riteniamo che la dimostrazione inserita nella missiva del 1602 possa essere entrata in almeno due luoghi del trattato di Fuligatti. È probabile che la parte finale del metodo contenuto nella lettera, in cui il gesuita cesenate afferma che è possibile trovare tutti i punti del muro «con tanta facilità quanta si trasferisce un horiolo piccolo in grande e in maggiore», rimandi al *Modo di trasportar nel muro, o in un altro piano un'Horiuolo grande da un piccolo* (Parte 2, Capitolo V)⁷⁷⁷. Tuttavia, è difficile capire se questa parte della regola sia una considerazione di Fuligatti oppure abbia a che fare direttamente con il modo riportato nella lettera descritto dal misterioso architetto di Loreto. Invece, il modo per costruire un orologio murale partendo un orizzontale illustrato nella parte centrale della lettera appare molto simile a quello descritto da Fuligatti nel *Modo di fare ogni horiuolo murale geometricamente da un horiuolo Orizzontale* (Parte 4, Capitolo II)⁷⁷⁸.

Da quanto Oddi scrive nel Proemio, anche il suo trattato include «il modo di fare i verticali nel proprio sito con vno orizzontale, e due fila», affinché «meglio potrà hora vedersi, conferendo quei loro libri [di Fuligatti e di Gio. F. Pal.] con questo mio»⁷⁷⁹. In effetti Oddi descrive il suo “metodo” nei capitoli *Del ringrandire, e trasportare l'horologio* e *Come con uno horologio orizzontale, si faccia*

⁷⁷⁷ «Vn modo più facile e comune a tutti i piani è, che s'attacchi la carta immobilmente sul piano. [...] Di poi pigliàdo qualche punto in vna linea, la quale sia nella carta, e nel piano, o prima tirata ouero allungata in esso da quel punto s'ingrandirà l'boriuolo cofi, per essemplio prefo il punto F della linea orizzontale luogo dello stile, si fori in modo, che detto punto F, sia, e nella carta, e nel piano. Dipoi passi per F, e pel punto, che s'ha da trasferire, come pel punto 1 2 vna riga, o vn filo tirato, e sopra, o a dirittura di quella riga, o filo, si misuri da F quante volte fi vuole grande l'horiuolo, [...] Questa pratica feruirà non solo per ingrandire gli honuoli, ma per qualfiuoglia figura piccola». (Fuligatti, 1617, Parte 2, Capitolo V, pp. 64-65).

⁷⁷⁸ «Dipoi nel muro si tiri F M. parallela all'Orizzonte, che è la linea Orizzontale o delle 24. hore, ed FE col piombino perpendicolare ad F M, e pigliata nel muro F E eguale allo stile A B dell'horiolo Orizzontale per E, si tiri EG parallela ad F M, e poi s'attacchi la carta dell'horiuolo sul muro, in modo che le parti dell'horiuolo, che erano verso il muro, quando egli stava nella sua positura sieno verso il cielo, e le contrarie verso la terra, e la linea A E, sia puntualmente sopra E F, ed A si statuisca discosto da E quanto si vuole, che sia lungo lo stile del muro, che sarà E A. Hora si piglieranno così i punti dell'hore nel muro. [...] e così si piglieranno quanti punti l'huom vuole per ogni linea». (Fuligatti (1617), Parte 4, Capitolo II, pp. 200-202). Sul tema si veda Appendice, A13.

⁷⁷⁹ Oddi, Mu., 1638, Proemio, p. 14.

nel proprio muro il verticale⁷⁸⁰. In queste pagine, la spiegazione di Oddi sembra essere simile a quella data da Fuligatti.

Del ringrandire, e trasportare l'horologio. Disegnato che si habbia, l'Horologio in carta et attorno ad esso fatto un parallelogrammo rettangolo, con vn lato comune con la linea dell'Orizzonte, e che gl'altri racchiudino le linee horarie terminate e delle interminate, quelle parti che li vuole che appariscano: Bisogna poi trasportarlo sul muro, ingrandito tante volte quanto il sito, che se li è preparato, ne sarà capace. [...] [S]i farà dunque dalla parte di sopra una linea equidistante all'Orizzonte, che sarà quella dell'Orizzonte dell'Horologio, sopra la quale s'adattarà quel la dell'Orizzonte dell'Horologio piccolo, in modo tale, che il luogo del suo Gnomone.⁷⁸¹

Come con vno horologio Orizzontale, si faccia nel proprio Mvro il verticale. Si può ancora; e certamente con gran vantaggio: fenza far prima l'Horologio piccolo in carta, e poi trasportarlo nel muro: nel muro istesso difegnarlo grande come hà da essere, col mezzo d'vno Orizzontale, e due fila, cola medesima regola, e modo detto di sopra.⁷⁸²

Inoltre, notiamo che il diagramma contenuto nel libretto di Fuligatti (Fig. 103) è simile al diagramma che Baldini e Napolitani hanno associato alla lettera n. 197, inviata da Fuligatti a Clavio, contenente il modo di costruire un orologio verticale partendo da un orologio orizzontale (Fig. 104).

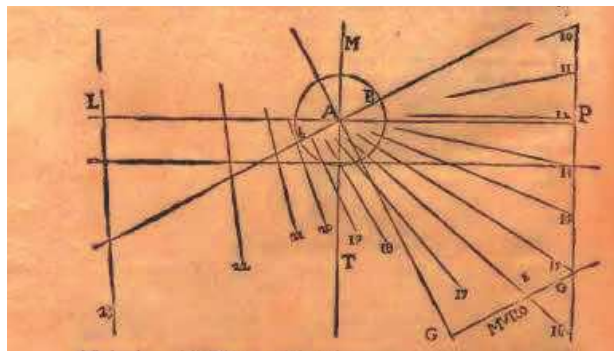


Fig. 103 Diagramma di Fuligatti in Fuligatti, 1617, p. 200.

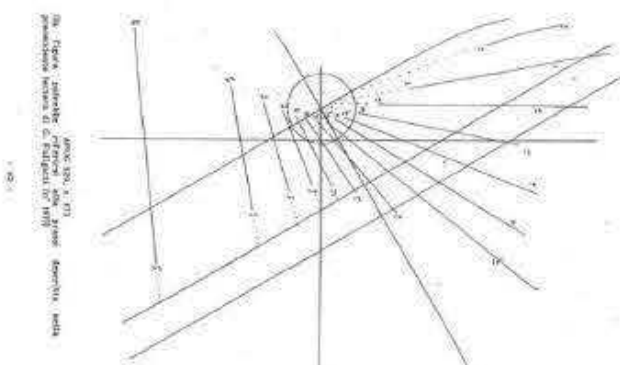


Fig. 104 APUG 529, c. 173,
pubblicata in Clavio, 1992, Volume V (1602-1605), Parte I: lettere e testi, p. 42.

⁷⁸⁰ Oddi, Mu., 1638, Capitolo *Horologi nei piani verticali*, pp. 61-63 e 64-67.

⁷⁸¹ Oddi, Mu., 1638, Capitolo *Horologi nei piani verticali*, pp. 61-62.

⁷⁸² Oddi, Mu., 1638, Capitolo *Horologi nei piani verticali*, p. 64.

Concludiamo questa disamina rilevando che il disegno di Oddi (Fig. 105), inserito nel capitolo *Come con uno horologio orizzontale, si faccia nel proprio muro il verticale*, sembra ricordare il diagramma impiegato da Fuligatti per illustrare il secondo *step* del modo di fare l'orologio (Fig. 106) contenuto nel capitolo *Modo di fare ogni horiuolo murale geometricamente da un horiuolo Orizzontale*; ovvero nel capitolo che ospita il diagramma che poc'anzi abbiamo associato alla raffigurazione presumibilmente allegata alla lettera del 1602.

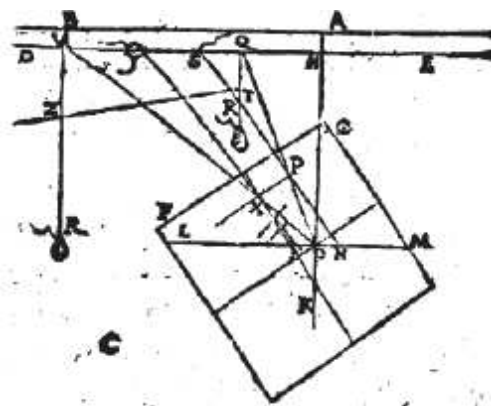


Fig. 105 Oddi, Mu., 1638, p. 64.

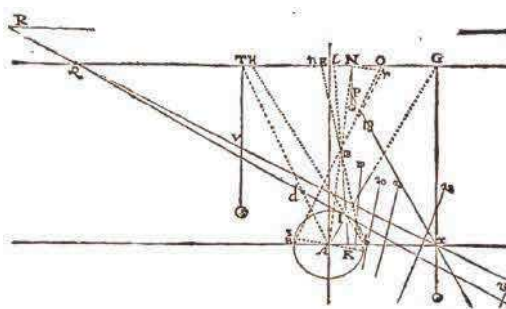


Fig. 106 Fuligatti, 1617, p. 201.

Dalla nostra ricostruzione emerge che Oddi era conoscenza del plagio fin dal 1630. Infatti, in due lettere indirizzate a Camillo Giordani, l'architetto urbinato scriveva che:

Se a VS poscia far vedere il problema al Sig. Marini l'haverà carissimo ma a un patto che non se ne pigli copia acciò non passasse alle mani di qualche d'uno che mi facesse lo scherzo che mi ha fatto un gesuita, chiamasi il padre Giulio Fuligatti, col libro degli orioi solari che poi ancora s'è stampato.⁷⁸³

[D]iedi fine a un trattatello del compasso polimetro, et fu questo mentre si intagliano le sue figure ho rifatto un libretto, che compari à breve [?] degli horologi, il quale ho più volte havuto tentazione d'abbruciarlo per havermene copiato un gesuita molte parti, e stampatele per sue, et l'haverci eseguito se non mi havesse distolto quello che hora mi stimola a pubblicarlo, che un trattato delle linee coniche, non havendomi più l'animo di condurre a fine un libretto della stessa materia ch'io feci in prigione.⁷⁸⁴

⁷⁸³ BOP, ms 413, c. 186r, 15 febbraio 1630, lettera inviata da Muzio Oddi a Camillo Giordani.

⁷⁸⁴ BOP, ms 413, cc. 206r-207r, 17 settembre 1631, lettera inviata da Muzio Oddi a Giordani (il destinatario è probabilmente Camillo Giordani).

Il 26 aprile 1634, in una lettera inviata a Pier Matteo Giordani, Oddi ritornava sulla questione, dicendogli che Orazio del Monte gli aveva detto di aver «fatto bene a trattar male il P.re Giulio Foligatto in quel mio proemio»⁷⁸⁵.

A seguito del confronto proposto, possiamo affermare che:

- il modo copiato da Fuligatti, a cui allude Oddi nel Proemio, ricorda il modo descritto nella lettera del 1602;
- il contenuto della lettera e il contenuto del Proemio assomigliano al modo descritto da Fuligatti nel proprio trattato nella Parte 2, Capitolo V e Parte 4, Capitolo II;
- il contenuto della lettera ritorna anche nel trattato di Oddi nelle pagine sul modo di ingrandire e trasportare gli orologi e sul modo di fare un verticale da un orizzontale.

Pertanto, riteniamo sia ragionevole pensare che l'architetto di Loreto fosse Muzio Oddi e che il modo di fare orologi descritto nella missiva fosse una parte del plagio fatto da Fuligatti.

Nicola Severino, in un suo scritto su Oddi e la gnomonica, ha associato il nome Gio. F. Pal. a Giovanni Francesco Palmieri e ha collegato il modo riportato da Fuligatti nel capitolo *Come con uno horologio orizzontale, si faccia nel proprio muro il verticale*, il quale, come abbiamo visto, è molto simile a quello che Oddi ha descritto nel suo trattato, al modo descritto da Palmieri nel capitolo *Modo di fare ogni horiuolo murale per via dell'un Orizzontale*, contenuto all'interno del libretto *Descrittione facile degli horiuoli a sole orizzontali italiani per via di numeri, e de' murali per via d'un orizzontale* (1620)⁷⁸⁶. Confrontando il contenuto, pressoché identico, dei due capitoli presi in considerazione e i rispettivi disegni, tanto che Palmieri cita esplicitamente la «seconda parte del libro del P. Giulio», otteniamo un'importante conferma del fatto che il plagio rivendicato da Oddi nel Proemio, del quale per «farlo esprimere chiaro, [Fuligatti] si valse poi del mezzo d'un certo Barbandrocco suo dipendente [a margine: Gio. F. Pal.], con l'occasione di ristampare in un picciolo quaderno il modo di fare i verticali nel proprio sito con uno orizzontale, e due fila», sia proprio il modo di costruire un orologio verticale partendo da un orologio orizzontale (Fig. 107).

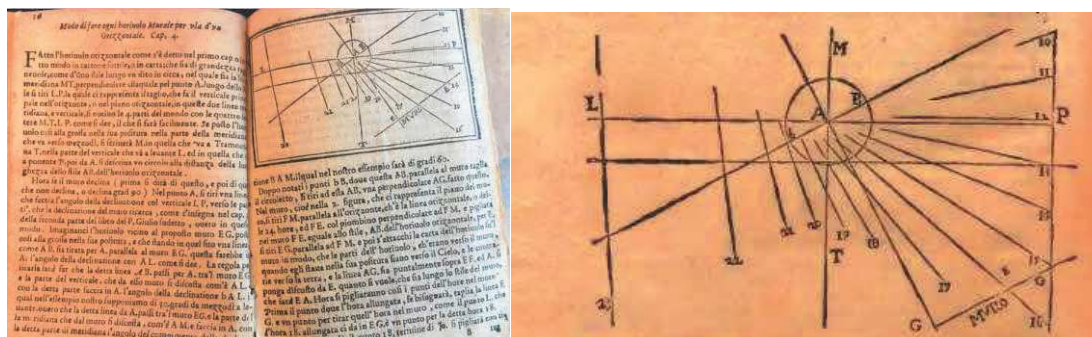


Fig. 107 A sinistra il modo e il diagramma di Palmieri (in Palmieri, 1620) e a destra il diagramma di Fuligatti (in Fuligatti, 1617, p. 200).

Terminiamo il paragrafo segnalando che le pagine finali del trattato di Oddi contengono la descrizione di alcuni modi per costruire orologi solari su superficie non ordinarie: come sulla pianta di uno zoccolo o su una croce. Probabilmente dietro questi orologi particolari si nasconde l'influenza del trattato *Gnomonices libri octo* di Clavio, trattato che Oddi teneva continuamente come riferimento⁷⁸⁷. Oltre all'opera di Clavio, Oddi fece ampio uso delle opere sulla gnomonica e sugli

⁷⁸⁵ BOP, ms. 412, cc. 239-240, Oddi a P. M. Giordani, lettera pubblicata in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 194-197.

⁷⁸⁶ Severino, 2007. Palmieri, G. F., *Descrittione facile degli horiuoli a sole orizzontali italiani per via di numeri, e de' murali per via d'un'orizzontale*, Siena, appresso Ercole, & Agamennone Gori, 1620

⁷⁸⁷ Nell'opera di Clavio sulla gnomonica vengono descritti orologi solari su piani a forma di croce, di cilindro e di quadranti, si confronti per esempio Clavio, 1581, pp. 636, 645 e 647.

analemmi di Maurolico, Commandino, Guidobaldo, Pappo, Archimede, Tolomeo, Euclide, Benedetti, Leon Battista Albert, Pacioli e Paciotti⁷⁸⁸.

6.5 Oddi tra sciagure, gnomonica, architettura

La vita di Oddi, contrassegnata da luci e ombre, portò all'estremo la sua capacità di adattamento sociale. La sua indole tutt'altro che tranquilla lo consegnò spesso a scontri intellettuali e fisici. Con fatica egli riuscì a trovare impieghi stabili, tanto da doversi barcamenare costantemente tra incarichi temporanei. Questa precarietà occupazionale accrebbe la sua ostilità nei confronti di coloro che ebbero onori senza meriti, portandolo spesso in competizione con i suoi omologhi. Tuttavia, gli incarichi temporanei gli permisero anche di conoscere mecenati ed instaurare rapporti con le più eminenti personalità del periodo. Abbiamo visto che Oddi insegnò prospettiva e matematica, si occupò di gnomonica e di strumentazione scientifica e fu insigne e stimato architetto. Le diverse occupazioni ebbero l'effetto di espandere i suoi confini disciplinari, nelle quali diede contributi di rilievo. Il filo rosso che collega tutte le sue attività è il ruolo principe della matematica, quale strumento garante di qualsiasi dimostrazione e dei canoni architettonici. Infatti, una delle accuse che Oddi muove a Grimani è che quest'ultimo pretende di occuparsi di gnomonica nonostante abbia scarse conoscenze di matematica. Anche in architettura, secondo Oddi, è fondamentale la conoscenza della matematica per predisporre efficacemente e correttamente gli edifici e i sistemi di difesa. Sebbene si occupò principalmente di architettura, Oddi non pubblicò niente in tale settore, tranne l'opera del fratello. Dal nostro punto di vista, Oddi utilizzò i suoi trattati per mettere in mostra le proprie conoscenze matematiche e le proprie abilità di calcolo e di misura. Se Commandino aveva dato avvio al recupero e alla traduzione della matematica antica e Guidobaldo aveva utilizzato la scienza antica per dare sostegno a una meccanica “finalmente” applicata alle macchine, Oddi è ormai padrone della letteratura matematica antica e la usa con estrema disinvoltura nella costruzione degli strumenti, in architettura e nella progettazione degli orologi solari.

La figura di Oddi sintetizza l'eclissamento sia politico, in quanto vive appieno l'esperienza della devoluzione del ducato di Urbino allo Stato della Chiesa, sia scientifico, a causa dello spostamento del baricentro della ricerca scientifica. Ma ciò che termina è spesso il principio di un nuovo inizio: grazie a Oddi venne istituita la prima cattedra di matematica presso il Pubblico Studio di Urbino, ovvero l'attuale Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, del quale l'ultimo esponente della scuola matematica urbinata ricoprì la carica di primo Lettore.

⁷⁸⁸ Sui classici utilizzati da Oddi per la redazione del trattato *De gli horologi solari* segnaliamo la relazione discussa da Elio Nenci, *I classici della geometria greca nell'opera di Muzio Oddi*, in occasione del convegno “Muzio Oddi (1569-1639) tra ingegneria, matematica e strumentazione scientifica, Convegno di studi in occasione dei 450 anni dalla nascita”, 17-18 settembre 2019, Urbino e Cesena.

SETTIMO CAPITOLO: TRACCE DELLA SCUOLA COMMANDINIANA NELLA SCIENZA DI GALILEO, PROBLEMI E PROSPETTIVE DI RICERCA

7.1 Tracce della scuola commandiniana nella scienza di Galileo. Un riepilogo

Il percorso fin qui tracciato ci ha consentito di contestualizzare ed esaminare l'opera scientifica dei protagonisti della scienza urbinata tardorinascimentale. Divideremo questo paragrafo in due parti. Nella prima parte mostreremo che nella cosiddetta rivoluzione galileiana possiamo trovare alcune tracce della scuola commandiniana; nella seconda, invece, ricapiteremo le novità scientifiche ed epistemologiche prodotte dalla scuola matematica urbinata rispetto alla cultura del tempo.

Com'è noto Galileo Galilei ebbe un ruolo fondamentale nel lungo e complesso processo che ha caratterizzato la rivoluzione scientifica. Secondo Paolo Rossi e Charles Schmitt, Galileo riuscì con successo ad armonizzare, in una perfetta sintesi, diverse tradizioni: la visione platonica del mondo inteso come entità «matematicamente strutturata», la distinzione aristotelica fra «metodo compositivo e risolutivo», l'applicazione archimedeica della matematica alla fisica e la tradizione ingegneristica dei tecnici⁷⁸⁹. La mescolanza di queste diverse tradizioni filosofiche, scientifiche, culturali e tecniche può essere posta alla base anche di quell'opportunismo metodologico ritenuto dagli storici della scienza un elemento fondante della rivoluzione scientifica. Nonostante i numerosi studi su Galileo, sembra essere ancora complicato individuare con precisione quali fossero state le fonti della sua scienza⁷⁹⁰. In questa sezione mostreremo la rilevanza della scuola matematica urbinata per la formazione e per il pensiero scientifico di Galileo⁷⁹¹.

Possiamo ritrovare un riferimento alla scuola matematica urbinata al termine della Quarta Giornata dell'opera galileiana *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, nel brano che preannuncia l'appendice contenente alcuni studi di Galileo sui centri di gravità dei solidi. Salviati, portavoce delle idee di Galileo, presenta l'argomento facendo riferimento ad alcune passioni che in gioventù avevano stimolato l'attenzione del matematico toscano. Salviati ricorda che tali studi erano stati esortati da alcune «imperfezzioni», contenute negli scritti sul centro di gravità dei solidi di Federico Commandino, e queste erano state discusse con Guidobaldo del Monte, «grandissimo matematico de suoi tempi». Secondo quanto dice Salviati, i teoremi che seguiranno, scritti in latino, erano rimasti per lungo tempo manoscritti, perché Luca Valerio con il suo *De centro gravitatis solidorum libri tres* (1604) aveva già trattato ampiamente la materia, rendendo vano un lavoro ulteriore sull'argomento.

Salv: Queste sono alcune Proposizioni attenenti al Centro di gravita de i solidi, le quali in sua gioventù andò ritrovando il nostro Accademico, parendogli, che quello, che in tal materia haveva scritto Federigo Comandino, non mancasse di qualche imperfezzione. Credette dunque con queste Proposizioni, che qui vedete scritte, poter supplire a quello, che si desiderava nel Libro del Comandino; e applicossi a questa contemplazione ad istanza dell'Illustrissimo Sig. Marchese Guid'Ubaldo dal Monte grandissimo Matematico de suoi tempi, come le diverse sue Opere publicate ne mostrano; e a quel Sig. ne dette Copia con pensiero di andar seguitando cotal materia anco ne gli altri Solidi non tocchi dal Comandino. Ma incontratosi dopo alcun tempo nel Libro del Sig. Luca Valerio massimo Geometra, e veduto, come egli risolve tutta questa materia senza niente lasciar' in dietro, non seguitò pia avanti, benche le aggressioni sue siano per strade molto diverse da quelle del Sig. Valerio.⁷⁹²

⁷⁸⁹ Rossi, 1989, pp. 111-113; Schmitt, 1969.

⁷⁹⁰ Koyre, 1966; Wallace, 1992; Rossi, 1989; Camerota, M., 2004; Valleriani, 2010; Shea, 1974; Galilei, 1997.

⁷⁹¹ Segnaliamo gli studi più importanti che hanno posto in connessione la scuola matematica urbinata rinascimentale con la scienza di Galileo: Frank e Napolitani, 2015; Tassora, 2001; Becchi, 2004; Rose, 1975; Galluzzi, 1979; Van Dyck, 2006a.

⁷⁹² Galilei, 1933b, Giornata quarta, p. 313.

Tralasciando di commentare il trattato sui centri di gravità di Luca Valerio, la citazione appena riportata testimonia l'influenza dell'opera di Federico Commandino e dei suoi allievi nella formazione di Galileo. Abbiamo visto che le riflessioni di Commandino, contenute nei *Prolegomeni*, concernenti l'ambito di studio della matematica e le proposizioni del *Liber de centro gravitatis solidorum* lasciarono rispettivamente traccia nell'epistemologia galileiana e nei primi lavori del toscano sui centri di gravità dei solidi.

Nel corso di questo paragrafo argomenteremo in favore dell'idea secondo cui possiamo collocare le opere prodotte e la letteratura matematica antica restaurata da Commandino e dai suoi allievi alla base della formazione matematica del giovane toscano, in quanto, come emerge dalla corrispondenza e dagli scritti, Galileo le studia, le interroga e le critica. Per esempio, rileva Rocco Sinisgalli che «Galileo si sia servito per la individuazione delle macchie solari di un teorema fondamentale stabilito da Federico Commandino 50 anni prima nel *De Horologiorum Descriptione*, pubblicato nel 1562 [e inserito in appendice alla traduzione del *De analemme* di Tolomeo]»⁷⁹³.

Nella sempre attuale ricognizione condotta da Antonio Favaro nella *Biblioteca di Galileo*, e successivamente aggiornata da Michele Camerota e da Crystal Hall, possiamo individuare numerosi testi prodotti dalla scuola urbinata appartenuti a Galileo⁷⁹⁴. Tra i testi posseduti, Galileo aveva i seguenti libri tradotti e commentati da Commandino: *Euclidis Elementorum libri XV*, *Archimedis opera non nulla*, *Aristarchi Samii De magnitudinibus & distantibus Solis & Lunae liber*, il *De analemme* di Tolomeo e *Pappi Alexandrini Mathematicae collectiones* (tradotto da Commandino e curato da Spaccioli con la prefazione – presumibilmente – scritta da Guidobaldo). Inoltre, Galileo possedeva le seguenti opere di Guidobaldo *In duos Archimedis aequoponderantium libros paraphrasis scholijs illustrata*, *Planisphaerum Universalium Theorica*, *Problematum Astronomicorum* e *De Cochlea*. Completano la lista dei libri afferenti alla scuola matematica urbinata gli *Spirituali* curati da Alessandro Giorgi e il *Libro del modo di dividere le superficie attribuito a Machometo Bagdadino* nell'edizione volgare curata da Fulvio Viani (allievo di Commandino). Stranamente non compaiono il *Liber de centro gravitatis solidorum* e il *Mechanicorum Liber*, nonostante Galileo li abbia citati nei *Discorsi* e nella corrispondenza:

Quello che ella dice intorno alla proposizione prima del mio secondo Dialogo, se si dovea apprendere per principio o pure dimostrarlo, io l'ho passato come cosa per sè stessa assai chiara: perchè, che nel vete la forza alla resistenza risponda reciprocamente alle distanze dal punto del sostegno, sicome è stato dimostrato da altri nelle *Mecaniche*, dependentemente da quello che dimostra Archimede negli *Equeponderanti*, può prendersi come di già conclusione nota; e che poi, piegata ad angoli retti la minor distanza sopra la maggiore, trovi la forza il medesimo contrasto dalla resistenza, non mi pare che deva esser messo in dubbio, e tanto più che, *se bene ho in memoria, credo che il Sig.r Guidobaldo nelle sue Mecaniche ponga questa medesima conclusione e che la dichiari assai a bastanza*.⁷⁹⁵

Anche in una lettera di provenienza ignota inviata a Galileo troviamo scritto:

Quanto al teorema, egli dubita se il centro del pezzo della piramide sia il punto *o*: per ciò che, stando la deffinitione del centro delle gravità de' corpi posta da Pappo et adoprata dal Marchese Del Monte nelle *Mecaniche*, non segue che se per lo centro *o* supposto passerà un piano, quel pezzo si divida in due parti ugualmente pesanti, come dovria quando fosse veramente il centro. Et il Comandino, che la medesima materia tratta nel libro *De centro gravium* alla XXVI

⁷⁹³ Sinisgalli, 2009.

⁷⁹⁴ Il Museo Galileo ha realizzato, sulla base delle ricerche condotte da A. Favaro, M. Camerota e C. Hall, un *database* online che consente di trovare agevolmente i testi che presumibilmente facevano parte della libreria di Galileo (<https://www.museogalileo.it/it/biblioteca-e-istituto-di-ricerca/progetti/banche-dati-e-bibliografie/863-biblioteca-di-galileo.html>).

⁷⁹⁵ Galilei, 1937b: n. 3912, G. Galilei a Gio. Battista Baliani, 1 settembre 1639, corsivo nostro.

propositione, molto più s'accosta a trovar il centro, che non par che faccia questa demonstratione, quantunque da quella del Comandino non sia molto differente.⁷⁹⁶

Da come emerge dai brani citati, l'opera di Commandino sui centri di gravità dei solidi fu probabilmente alla base dei primi lavori del giovane Galileo. L'obiettivo del *Liber de centro gravitatis solidorum*, pubblicato insieme alla traduzione de *Sui corpi galleggianti*, era quello di dimostrare la proprietà per cui «il centro di gravità di qualunque segmento di conoide rettangolo [paraboloide di rotazione] è sull'asse, diviso in modo che la parte dell'asse verso il vertice sia doppia della restante»⁷⁹⁷, proprietà lasciata indimostrata da Archimede nel secondo libro del trattato sui galleggianti. Commandino, anziché commentare l'asserzione di Archimede all'interno della traduzione dell'opera archimedeica sui galleggianti, rimanda al *Commentarius* della proposizione XXIX del suo *Liber de centro gravitatis solidorum*, dove dimostra che «L'asse di un qualsivoglia segmento di conoide rettangolo [paraboloide di rotazione] è diviso dal centro della gravità in modo tale che parte di asse che va a terminare nel vertice del segmento, è il doppio della parte rimanente che va a terminare nella base»⁷⁹⁸.

Nel *Metodo dei teoremi meccanici* (*Metodo*) contenuto nel codice C e ritrovato dal filologo J. L. Heiberg nel 1906, Archimede aveva esposto dei metodi meccanici per dimostrare più facilmente alcuni teoremi. Nella proposizione 4 del cosiddetto *Metodo* Archimede individuava il centro di gravità del conoide rettangolo (paraboloide di rotazione) in relazione a quello di un cono, immaginando che i centri di gravità dei due solidi fossero in equilibrio su una leva. Nella proposizione 5 indicava il metodo per terminare la posizione del centro di gravità di un paraboloide di rotazione, posto in modo tale che la parte verso il vertice sia doppia della parte rimanente⁷⁹⁹. Seppure dall'impiego del metodo meccanico non si abbia una vera dimostrazione, esso, secondo Archimede, è uno strumento d'indagine che consente di avere almeno un'idea, seppure approssimativa, dei teoremi ricercati e che poi dovranno essere dimostrati per via geometrica. La leva non aveva solo un ruolo meramente esplorativo e conoscitivo, ma era per Archimede uno strumento epistemologico che gli permetteva di visualizzare concretamente i problemi geometrici. A differenza di Archimede, che aveva utilizzato un espediente meccanico basato sull'idea che il volume del paraboloide corrispondesse a $\frac{3}{2}$ del volume del cono, Commandino, per determinare il centro di gravità del paraboloide, usò prevalentemente il metodo di esaustione basato sul rapporto tra cilindri iscritti e circoscritti con la sezione del paraboloide di rotazione. Nella Proposizione XXIX Commandino, dopo aver fissato il punto medio del conoide rettangolo e averlo diviso in quattro parti, circoscrive e inscrive cilindri di uguale altezza, rilevando di volta in volta i centri della gravità e mettendoli in relazione tra loro.

Non soddisfatto delle dimostrazioni commandiniane, all'interno della parte dedicata ai teoremi sui centri della gravità inserita in appendice alla Quarta Giornata dei *Discorsi*, Galileo propone alcuni procedimenti diversi da quelli esposti dall'urbinate. Il ragionamento di Galileo si basa sul lemma, che a sua volta deriva dall'importante Proposizione 6 de *Sull'equilibrio dei piani*, secondo cui se su una bilancia si appendono gravi di peso crescente a distanze uguali, allora il centro della

⁷⁹⁶ Galilei, 1934a, brano di provenienza ignota, data 1588, n. 7.

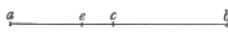
⁷⁹⁷ Frajese, 1974, p. 539.

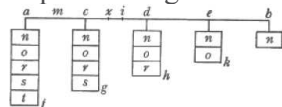
⁷⁹⁸ Commandino, 1565a, Secondo Libro, Proposizione II, *Commentarius* di Commandino, p. 11 r; Commandino, 2015, Proposizione XXIX, pp. 109-113.

⁷⁹⁹ La proprietà per cui «il centro di gravità di qualunque segmento di conoide rettangolo è sull'asse, diviso in modo che la parte dell'asse verso il vertice sia doppia della restante», che Archimede applica, senza dimostrarla, ne *Sui corpi galleggianti*, Secondo Libro, Proposizione II viene chiarita dalle Proposizioni 4 e 5 del *Metodo*: «Che qualunque segmento di conoide rettangolo tagliato da un piano perpendicolare all'asse è una volta e mezza il cono avente la stessa base del segmento e lo stesso asse: ciò si vede mediante questo metodo» e «Che il centro di gravità del segmento del conoide rettangolo tagliato da un piano perpendicolare all'asse è sulla retta che è asse del segmento, così divisa la retta suddetta che la parte di essa verso il vertice sia doppia della parte rimanente, così si vede con questo metodo», Frajese, 1974, pp. 588-593.

gravità divide la bilancia in modo che la parte con peso minore sia doppia della parte con peso maggiore:

Lemma. Sit linea ab bifariam in c secta, cuius medietas ac divisa sit in e ; ita ut quam rationem

habet be ad ea , hanc habeat ae ad ec .  Dico, be ipsius ea duplam esse. Quia enim ut be ad ea , ita ea ad ec , erit, componendo et permutando, ut ba ad ac , ita ae ad ec ; est autem ut ae ad ec , nempe ut ba ad ac , ita be ad ea : quare be ipsius ea dupla est. His positis demonstratur: Si magnitudines quocunque sese aequaliter excedentes, et quarum excessus earum minimae sint aequales, ita in libra disponantur, ut ex distantis aequalibus pendeant, centrum gravitatis omnium libram ita dividere, ut pars versus minores reliquae sit dupla. In libra itaque ab ex distantis aequalibus pendeant quocunque numero magnitudines f, g, h, k, n , quales dictum est, quarum minima sit n ; sintque puncta suspensionum a, c, d, e, b , sitque omnium magnitudinum sic dispositarum gravitatis centrum x .



Ostendendum est, partem librae bx , versus minores magnitudines, reliquae xa duplam esse.⁸⁰⁰

Galileo imposta il suo procedimento in maniera rigorosamente geometrica, evitando qualsiasi considerazione riconducibile allo stato fisico della bilancia. Infatti, nel corso della trattazione, Galileo non impiega termini come *pondus*, *gravitas* (se non quando lo utilizza per esprimere *centrum gravitatis*) e *momentum*, ma preferisce termini più generici, come *magnitudo*, per fugare ogni qualsivoglia allusione a pesi e corpi reali. Ciò è evidente anche nel *Lemma*, dove Galileo scompone un sistema meccanico complesso in sistemi semplici e dove i pesi lasciano il posto a grandezze generiche (*magnitudines*). L'impostazione esclusivamente geometrica di Galileo e quella meno rigida di Archimede, in quanto il siracusano nell'opera *Sull'equilibrio dei piani* si riferisce ora ai pesi ora alle grandezze, si basano entrambe su un approccio caratterizzato dall'esame delle proprietà geometriche della bilancia⁸⁰¹.

Nel corso della parte su Commandino, abbiamo ipotizzato che la famosa distinzione delle qualità oggettive e soggettive di Galileo, esposta nel *Saggiatore*, potesse essere stata suggerita dalla lettura dei *Prolegomena* dell'urbinate agli *Elementi* di Euclide. Nonostante il già segnalato diverso contesto di impiego (Commandino aveva distinto le due quantità per indicare l'ambito di studio della matematica, mentre Galileo aveva impiegato tale distinzione per chiarire l'origine della sensazione), entrambi, a differenza dell'approccio aristotelico adombrato nella *Fisica*, hanno come obiettivo comune quello di distinguere la componente quantificabile (o meglio matematizzabile) dei corpi da ciò che non lo è.

Inoltre, abbiamo diffusamente mostrato l'importanza delle conversazioni con Guidobaldo per la maturazione del pensiero scientifico di Galileo. I due matematici discussero del problema del piano

⁸⁰⁰ Galilei, 1929b, *Theoremata circa centrum gravitatis solidurum*, p. 187, corsivo nostro. Appendice alla Quarta giornata dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*: «*LEMMA.* La linea ab sia intersecata a metà in c , e la metà ac sia divisa in e ; sì che, qual è la proporzione che be ha ad ea , tale sia quella che ae ha ad ec . Dico, che la be è doppia della stessa ea . Infatti, poichè, come be sta ad ea , così ea sta ad ec , componendo e permutando, avremo che, come ba sta ad ac , così ae sta ad ec ; ma come ae sta ad ec , cioè come ba ad ac , così be sta ad ea : perciò be è doppia della stessa ea . Ciò posto, si dimostra che: Se un numero qualsiasi di grandezze, che si eccedono egualmente e i cui eccessi sono eguali alla minima di esse, vengono disposte su una bilancia in modo che pendano a distanze eguali, il centro di gravità di tutte [le grandezze] divide la bilancia in modo tale che la parte verso le [grandezze] minori è doppia dell'altra. Pertanto, sulla bilancia ab , a distanze eguali, pendano, in numero qualsiasi, le grandezze f, g, h, k, n , le quali siano come si è detto; e la minima di esse sia n ; inoltre siano a, c, d, e, b , i punti di sospensione, e sia x il centro di gravità di tutte le grandezze così disposte. Bisogna mostrare che la parte bx della bilancia, verso le grandezze minori, è doppia dell'altra [parte] xa », traduzione tratta da *Opere di Galileo Galilei*, Classici della scienza, UTET, 1980, p. 129, corsivo nostro, risorsa elettronica disponibile in Liber Liber grazie al "progetto Manuzio" (<https://www.liberaliber.it/online/autori/autorig/g/galileo-galilei/discorsi-e-dimostrazioni-matematiche-intorno-a-due-nuove-scienze/>).

⁸⁰¹ Galluzzi, 1979, pp. 160-163.

inclinato e (presumibilmente) della meccanica di Benedetti, rifletterono sul principio conservativo che deve instaurarsi in meccanica tra variabili eterogenee – tempo, velocità, spazio e forze –, ragionarono sulla possibilità di confrontare diverse classi di infinito, studiarono le implicazioni dell'attrito in meccanica e indagarono l'isocronismo del pendolo e la traiettoria parabolica del proietto. Queste riflessioni aiutarono Galileo a comprendere, mediante l'introduzione del tempo come variabile indipendente nella quantificazione dei dati empirici, la legge oraria di caduta e a intuire che, senza l'intervento di una forza esterna, un corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto. Il contenuto de *Le Meccaniche* di Galileo, benché possa essere stato elaborato partendo dalla lettura congiunta dei *Problemi meccanici* di Aristotele, de *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede e della *Meccanica* di Erone filtrata da Pappo, può avere altresì risentito delle pagine del *Mechanicorum Liber* del suo maestro.

Alcune tracce guidobaldiane possono essere intraviste anche nel metodo scientifico inaugurato da Galileo. Solitamente si tende a riassumere il metodo di Galileo con queste parole: «pare che quello degli effetti naturali che o la sensata esperienza ci pone dinanzi agli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbio»⁸⁰². Questa è una semplificazione che dal punto di vista didattico-mnemonico ha i suoi pregi, tuttavia, come tutte le semplificazioni, sacrifica molti aspetti. Galileo usa tali parole all'interno della famosa lettera inviata nel 1615 a Cristina di Lorena per difendere il sistema copernicano e l'affidabilità delle sue osservazioni. Nella missiva Galilei intende giustificare il suo nuovo modo di conoscere la natura basato sull'osservazione, sul procedimento logico-creativo e sull'esperimento.

Prima di procedere oltre, proviamo a definire il significato di «sensate esperienze» e «necessarie dimostrazioni». Le sensate esperienze si riferiscono alla fase di osservazione del fenomeno naturale mediante i sensi (momento osservativo-induttivo), i quali possono essere altresì potenziati attraverso l'impiego degli strumenti. Il ricorso all'esperienza è fondamentale nel *modus operandi* di Galileo. Essa consente di raccogliere i dati da utilizzare nella realizzazione di esperimenti, assestando un primo colpo all'indagine della natura basata sul sapere libresco. Ma le sensate esperienze non hanno solamente questo compito: l'osservazione e la raccolta dei dati sono alla base della formulazione delle ipotesi iniziali, le quali mettono in moto il processo conoscitivo.

Il momento osservativo, alla base dell'indagine degli «effetti naturali», deve essere accompagnato dalle «necessarie dimostrazioni». Le dimostrazioni rappresentano il momento ipotetico-deduttivo dell'indagine scientifica e permettono di dedurre correttamente proposizioni da premesse o ipotesi. Dove possiamo apprendere tale procedura euristica? Galileo afferma che il dimostrare può essere appreso «dalla lettura dei libri pieni di dimostrazioni, che sono i matematici soli, e non i logici»⁸⁰³. Pertanto, secondo Galileo l'affidabile procedimento dimostrativo è quello matematico⁸⁰⁴.

Se il momento osservativo non sembra dare adito a difficoltà di interpretazione, più difficile è definire invece cosa Galileo intendesse per matematica e quale fosse il suo ruolo nell'indagine del fenomeno naturale. Il problema su cui intendiamo soffermarci riguarda la definizione del concetto di matematica. Come abbiamo già detto in precedenza, nel Rinascimento essa poteva essere distinta in una matematica più platonica, che era quella delle accademie e coincideva con l'astrologia e la medicina, e una matematica più pratica, che era quella utilizzata dai tecnici nelle loro attività professionali. Riteniamo che Galileo usasse sia il procedimento dimostrativo, proprio della matematica speculativa, e la quantificazione (matematizzazione) del dato sperimentale, maggiormente riferibile al mondo dei tecnici. Entrambi sono componenti fondamentali nel suo modo di studiare la natura. Questo doppio uso della matematica è connesso all'idea che la natura abbia una

⁸⁰² Dove con “sensate esperienze” viene evidenziato il momento osservativo-induttivo e con “necessarie dimostrazioni” il momento ipotetico-deduttivo. Le due fasi sono profondamente congiunte.

⁸⁰³ Maccagni, 1995, p. 100. Galilei, 2014, Prima giornata, p. 37.

⁸⁰⁴ La considerazione di Galileo può essere posta in connessione con un'altra sua celebre affermazione in cui si distingue il testo biblico, scritto con parole che possono avere significati diversi, e quindi può essere frainteso, dal libro della natura scritto in lingua matematica, i cui i caratteri sono triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, Galilei, 2005, pp. 119-120.

struttura geometrica e che quest'ultima sia riconducibile a leggi matematiche. In altre parole, dal punto di vista di Galileo, l'idea che la natura abbia una struttura geometrica permette di matematizzare (e quantificare) il dato sperimentale e la matematizzazione, a sua volta, apre le porte all'individuazione di principi generali e all'elaborazione di leggi matematiche in grado di descrivere il comportamento dei fenomeni naturali. Non tralasciamo di ricordare che alla base dell'approccio di Galileo vi era l'idea che la natura fosse caratterizzata da semplicità e uniformità; questo spiega il suo atteggiamento volto a cercare di ricondurre i fenomeni naturali a poche e semplici fondamentali cause⁸⁰⁵. Numerosi studi hanno anche mostrato che il suo modo di fare scienza non si basava esclusivamente su osservazioni, ipotesi e dimostrazioni matematiche, ma sfruttava ampiamente quello che si sarebbe rivelato il tratto distintivo del genio: la grande capacità d'immaginazione e di realizzare esperimenti mentali⁸⁰⁶.

Senza avere la pretesa di essere esaurienti, aggiungiamo inoltre che l'approccio sperimentale di Galileo spesso non si limitava a un'oggettiva istanza osservativa di base, ma era spesso accompagnato da intuizioni di fondo. Questo aspetto della scienza galileiana ci permette forse di spiegare il motivo per cui il matematico toscano fece alcuni errori di valutazione come nel caso della velocità di caduta dei gravi (all'inizio credeva che fosse proporzionale allo spazio percorso, mentre poi si rese conto che doveva essere posta in relazione con il tempo di caduta), dell'isocronismo del pendolo e della causa responsabile delle maree. Spesso Galileo si fidava troppo delle sue intuizioni e talvolta utilizzava gli esperimenti (empirici e mentali) per giustificare le proprie ipotesi. Considerato che alcune nozioni scientifiche non erano ancora chiare e che è metodologicamente inesatto valutare con i nostri parametri storiografici il suo operato, riteniamo molto probabile che alcuni dei suoi "errori" fossero anche dovuti da un atteggiamento non oggettivo ma pervaso da *bias* cognitivi, i quali lo spingevano a cercare di validare con eccessiva convinzione le sue ipotesi. Possiamo considerare questo suo approccio alla ricerca scientifica uno degli aspetti più moderni. In fin dei conti, lo stesso approccio contrassegna anche il *modus operandi* degli scienziati contemporanei, poiché sono soliti fare ricerca avendo in mente delle convinzioni e delle ipotesi di lavoro. Benché lo studio del fenomeno naturale sia generalmente ed inevitabilmente guidato da pregiudizi, la "democratizzazione" della scienza, caratterizzata dalla realizzazione di esperimenti e dal confronto con gli altri scienziati, permette di controllare le teorie scientifiche, diversamente da come avviene nel caso di un giudizio cristallizzato dal parere dell'autorità⁸⁰⁷. Questo aspetto, che intendiamo sottolineare ancora una volta, rappresenta uno dei tratti distintivi della scienza moderna rispetto alla scienza classica.

Di seguito distinguiamo i due momenti che contrassegnano il metodo scientifico galileiano, i quali devono però essere considerati difficilmente distinguibili nella prassi scientifica e intimamente intrecciati tra loro⁸⁰⁸.

Momento osservativo-induttivo:

⁸⁰⁵ Riteniamo che la difficoltà nel definire il tipo di matematica utilizzata da Galileo sia da imputare al fatto che nelle opere ufficiali, prediligendo l'approccio argomentativo e narrativo, il toscano non sia solito descrivere i suoi esperimenti in maniera quantitativa, cosa che invece fa nei numerosi appunti. Sul tema si veda per esempio Renn *et. al.*, 2001; Settle, 1995; Shea, 1974.

⁸⁰⁶ Sul tema si veda Gendler, 1998. Sul rapporto, dal nostro punto di vista molto proficuo, tra immaginazione, fantasia e razionalità che contrassegna la ricerca scientifica, consigliamo il libro divulgativo di Ciardi, *Galileo & Harry Potter. La magia può aiutare la scienza?* (Ciardi, 2014).

⁸⁰⁷ Questa digressione prende spunto da alcune conversazioni avute con Vincenzo Fano sull'argomento e dalla discussione a seguito del seminario *A Logic for Scientific Attitude?* di Stefano Bonzio e Federico Boem, avvenuto il 12 febbraio 2020 a Urbino e inserito all'interno del ciclo di incontri *reading group* di Synergia.

⁸⁰⁸ Il metodo scientifico inaugurato da Galileo avrebbe avuto uno scossone dalle nuove teorie fisiche moderne, le quali porteranno gli studiosi a ridefinire la pratica della ricerca scientifica. Con l'avvento della teoria della relatività generale e la meccanica quantistica, tra i filosofi della scienza si impose un nuovo modo di intendere il progresso scientifico basato sull'idea che non ci è dato sapere definitivamente se una teoria è vera, in quanto non possiamo avere esperienza del concetto universale di verità. Quindi l'unico modo che abbiamo a disposizione per far progredire la nostra conoscenza sulla natura e giungere alla più fedele approssimazione del concetto di verità scientifica è la ricerca e l'eliminazione degli errori che le stesse teorie presentano.

1. Osservazione della natura mediante l'uso dei sensi.
2. Potenziamento dei sensi mediante l'uso di strumenti.
3. Misurazione dei dati.
4. Matematizzazione dei dati ottenuti, mediante l'attribuzione di valori numerici alle proprietà osservabili.
- 5a. Formulazione di un'ipotesi, 5b. sfruttando anche l'immaginazione.
- 6a. Indagine dell'ipotesi mediante l'esperimento empirico e 6b. l'esperimento mentale.
7. Rigetto dell'ipotesi e nuova ipotesi (si riparte dal punto 4).
8. Formulazione di una teoria.

Momento ipotetico-deduttivo

1. Intuizione basata su supposizioni e su pochi dati empirici
2. Formulazione di un'ipotesi, 2b. sfruttando anche l'immaginazione.
- 3a. Indagine dell'ipotesi mediante l'esperimento empirico e 3b. l'esperimento mentale.
4. Raccolta dati e potenziamento dei sensi mediante l'uso di strumenti.
5. Misurazione dei dati.
4. Matematizzazione dei dati ottenuti, mediante l'attribuzione di valori numerici alle proprietà osservabili, e loro analisi in relazione alla variabile tempo.
5. Rigetto dell'ipotesi e nuova ipotesi (si riparte dal punto 3).
6. Formulazione di una teoria

Com'è noto, al genio di Galileo deve essere riferita soprattutto la capacità di aver saputo utilizzare e riorganizzare le conoscenze e le pratiche “scientifiche” del suo tempo e appartenute alle generazioni passate. Il metodo scientifico inaugurato da Galileo usufruì anche dell'influenza guidobaldiana, soprattutto per quanto riguarda l'idea che lo strumento possa avere qualche utilità per provare una teoria e per dare supporto alle proprie argomentazioni. Tuttavia, i due approcci erano differenti: per Guidobaldo i principi geometrici dovevano guidare la costruzione degli esperimenti e gli esperimenti, intesi come osservazione controllata del fenomeno, avevano la capacità di confermare la correttezza di una teoria; per Galileo l'esperimento assumeva, invece, un ruolo euristico e serviva per saggiare l'ipotesi elaborata a seguito dell'osservazione del fenomeno naturale. Nonostante l'amicizia e la collaborazione scientifica tra Guidobaldo e Galilei siano più che comprovate, allo stato attuale delle nostre conoscenze è difficile dire chi fosse stato il maestro e chi l'allievo durante le numerose ricerche, riflessioni ed esperimenti che i due hanno condotto insieme. Sicuramente Galileo imparò molto da Guidobaldo e, viceversa, Guidobaldo trasse enorme beneficio dalle chiacchierate col suo brillante interlocutore. Confrontando le *Meditationum*, in particolare le cosiddette carte galileiane (fogli 232-237), e la corrispondenza intercorsa tra i due⁸⁰⁹ con le opere di Galileo, possiamo notare una rilevante somiglianza negli interessi e nel modo di affrontare molti argomenti. È molto probabile che il loro dialogo nel corso del tempo fosse diventato piuttosto un dialogo tra pari. Tuttavia, considerato il modo di trattare certi temi e il loro ruolo all'interno dell'ecosistema delle rispettive ricerche scientifiche, ciò che per Guidobaldo poteva essere visto come un punto di arrivo, probabilmente per Galileo doveva essere meglio indagato. Il foglio volante 145 bis, carta in cui viene trattato correttamente il problema del piano inclinato, potrebbe essere un indicatore del fatto che Guidobaldo e Galileo avessero insieme discusso della meccanica di Benedetti e delle ipotesi di quest'ultimo sull'accelerazione della velocità di caduta e sul proto-principio di inerzia. Ricordiamo

⁸⁰⁹ Galilei, 1934a: Del Monte a Galileo, 16 gennaio 1588, n. 10; Del Monte a Galileo, 24 marzo 1588, n. 15; Del Monte a Galileo, 28 maggio 1588, n. 17; Del Monte a Galileo, 17 giugno 1588, n. 18; Galileo a Del Monte, 16 luglio 1588, n. 19; Del Monte a Galileo, 22 luglio 1588, n. 20; Del Monte a Galileo, 16 settembre 1588, n. 21; Del Monte a Galileo, 7 ottobre 1588, n. 22; Del Monte a Galileo, 30 dicembre 1588, n. 23; Del Monte a Galileo, 3 agosto 1589, n. 27; Del Monte a Galileo, 10 aprile 1590, n. 30; Del Monte a Galileo, 8 dicembre 1590, n. 33; Del Monte a Galileo, 21 febbraio 1592, n. 35; Del Monte a Galileo, 10 gennaio 1593, n. 45; Del Monte a Galileo, 3 settembre 1593, n. 51; Del Monte a Galileo, 17 dicembre 1597, n. 60; Galileo a Del Monte, 29 novembre 1602, n. 88.

che per Benedetti la velocità di caduta di un corpo non era dovuta all’“attrazione” del luogo naturale e non era proporzionale al rapporto peso/densità del mezzo, ma al rapporto tra la *gravitas in specie* (peso specifico) del corpo e quella del mezzo; mentre la continuazione del moto era dovuta a una *virtus* impressa che spinge il corpo in linea retta⁸¹⁰.

Una più approfondita ricerca, che tenga maggiormente conto dei manoscritti e delle informazioni desumibili dalle corrispondenze epistolari tra Galileo e di Guidobaldo, potrebbe gettare nuova luce sul contenuto della loro attività. Una nuova valutazione del rapporto Guidobaldo – Galileo potrebbe aprire un nuovo capitolo riguardante anche la formazione scientifica, metodologica e sperimentale dello stesso “scienziato” toscano. In aggiunta, possiamo dire che la meccanica di Guidobaldo ha rappresentato un importante tassello nel passaggio verso i concetti quantitativi misurabili della scienza moderna, se è vero che l’avvento della scienza moderna, come alcuni studiosi hanno brillantemente argomentato (uno su tutti Rudolf Carnap), può essere anche interpretato come il passaggio da una scienza caratterizzata da concetti classificatori qualitativi a una scienza contraddistinta da concetti quantitativi, in cui lo strumento e le misurazioni rivestono un ruolo fondamentale⁸¹¹.

Abbiamo mostrato l’importanza delle riflessioni prodotte in ambiente tecnico-pratico, con cui Bernardino Baldi stava spesso a contatto, e della statica archimedeica per l’elaborazione delle *Exercitationes*. Inoltre, abbiamo visto che alcune considerazioni baldiane probabilmente arrivarono a Galileo mediante l’opera di Giovanni de Guevara. In particolare, abbiamo indicato alcune somiglianze tra il commento di Baldi alla Questione XVI dei *Problemi meccanici* di Aristotele e le considerazioni di Galileo nei *Discorsi*. Nel commento alla Questione XVI Baldi aveva rilevato, senza però soffermarsi sulla causa responsabile, che le condizioni di rarefazione (*rarefactio*) e di condensazione (*condensatio*) dei costituenti che compongono i solidi rivestono un ruolo fondamentale nelle analisi della resistenza alla rottura e della deformazione dei materiali⁸¹². Abbiamo visto che considerazioni simili sono presenti anche nelle analisi sulla resistenza dei materiali condotte da Galileo nella Prima giornata dei *Discorsi*, le quali precedono la dimostrazione dell’importante Proposizione 6 de *Sull’equilibrio dei piani* di Archimede contenuta nella Seconda giornata⁸¹³. Nell’esame del principio della leva condotto dallo “scienziato” toscano convergono le conoscenze tecnico-pratiche, l’impostazione assiomatico-deduttiva tipica dell’approccio archimedeo e le riflessioni sull’organizzazione degli infiniti atomi indivisibili che costituiscono la materia, responsabili delle condizioni di condensazione e di rarefazione dei corpi⁸¹⁴. Notiamo che, da un punto di vista dello stile espositivo, le *Exercitationes* e i *Discorsi* hanno in comune una vivacità letteraria difficile da trovare nei testi dei predecessori. Lo stile letterariamente brillante di Baldi e alcune sue intuizioni contenute nelle *Exercitationes*, le quali a tratti sembrano porre in connessione le dimostrazioni geometriche con l’indagine della natura⁸¹⁵, danno l’impressione che l’opera dell’urbinate non sia solamente un commentario “pre-galileiano” ai *Problemi meccanici* di Aristotele, ma, al contrario, sia un testo estremamente moderno. A seguito del nostro esame, possiamo

⁸¹⁰ Giusti, 1990, pp. XIII-XIV; Benedetti, 1967, Introduzione a cura di Carlo Maccagni, p. XXXIII.

⁸¹¹ Questa riflessione è nata dalle conversazioni sul tema avute con Gino Tarozzi. In Pietrini e Tarozzi, 2020, argomentiamo in favore dell’idea che la scienza di Leonardo da Vinci, che si può configurare come una innovativa scienza delle proporzioni, possa aver giocato un ruolo fondamentale nel processo di transizione dalla scienza aristotelica, caratterizzata da concetti qualitativi classificatori, verso la scienza delle misurazioni della rivoluzione galileiana. Sulla genesi dei concetti scientifici si veda Carnap, 1969.

⁸¹² «Questo è il pensiero d’Aristotele, del quale certamente non condanniamo il parere, però aggiungiamo qualcosa. Diciamo dunque che, per quanto attiene a questa trattazione, la materia presenta un duplice aspetto. O cioè è tale da non ammettere rarefazione e addensamento, come vediamo nel caso dell’acciaio, del vetro, del metallo, del marmo; oppure ammette tali variazioni e in questo secondo caso si hanno due modalità: per sua natura tende poi a riprendere più o meno la sua posizione rettilinea, come i virgulti delle piante e le verghe, oppure non si comporta così, come nel caso dello stagno, del piombo o di altre simili materie», Baldi, 2010, pp. 223-225.

⁸¹³ Galilei, 1933b, Seconda giornata, pp. 151-154.

⁸¹⁴ Galilei, 1933b, Prima giornata, pp. 93-105.

⁸¹⁵ Per esempio, Baldi, 2010, *Quaestio* XVI, pp. 222-252, e *Quaestio* XVII, pp. 253-263.

ragionevolmente supporre che i commenti alla meccanica aristotelica e le modalità dimostrative e argomentative che hanno caratterizzato le disquisizioni di Baldi siano entrati, filtrati da de Guevara, nei lavori di Galileo. Quest'ultimo avrebbe epurato definitivamente il modo di investigare la natura da qualsiasi ossequio nei confronti del dettame dell'autorità (ancora fortemente presente nelle riflessioni baldiane), a fronte dello studio, il più razionale possibile, del fenomeno naturale. La contaminazione della matematica con la fisica, pratica che nei secoli successivi sarebbe diventata disciplina autonoma e si sarebbe rivelata tanto proficua, fu spregiudicatamente messa in atto da Galileo, grazie a un opportunismo metodologico tipico dei moderni⁸¹⁶.

L'applicazione della tradizione matematica all'indagine dei comportamenti delle macchine semplici caratterizza la letteratura matematica antica recuperata da Commandino e dai suoi allievi, l'importante opera sulla meccanica di Guidobaldo, le considerazioni che occupano le pagine delle *Meditatiunculae* e le riflessioni di Baldi sui *Problemi meccanici* di Aristotele. Questo approccio fu certamente stimolato anche dalla vitalità delle numerose officine diffuse nel piccolo ducato di Urbino, i cui prodotti erano richiesti da tutta Europa. Per esempio, a Urbino Fabrizio Mordente realizzò i suoi compassi e Galilei fece costruire il suo compasso geometrico e militare. Commandino e Guidobaldo collaborano con Simone Barocci, proponendogli progetti e commissionando compassi e orologi. Lorenzo Vagnarelli avviò una prestigiosa accademia per la formazione teorica e pratica di artigiani ancora in erba. Questo ecosistema tecnico-scientifico era concentrato, abbiamo visto, in Via Barocci, la quale, per la presenza della casa di Commandino e delle officine di Simone Barocci e di Lorenzo Vagnarelli, esprimeva perfettamente il connubio innovativo di teoria e abilità tecnica.

L'attività scientifica dell'architetto e matematico urbinato Muzio Oddi, diversamente da quella di Commandino, Guidobaldo e Baldi, non influenzò la scienza di Galileo, ma risentì profondamente del nuovo clima culturale che stava mutando a seguito delle novità epistemologiche e metodologiche che la rivoluzione galileiana stava gradualmente introducendo nel modo di indagare la natura⁸¹⁷. Come scrive Enrico Gamba, la sua «attenzione specialistica per la strumentazione tecnico-scientifica, per una corretta fabbricazione, per un uno accorto, pone l'Oddi come autore innovativo nel quadro della rivoluzione scientifica, anche in misura maggiore di quanto finora sia stato concesso a questo tipo di pratica e di studio»⁸¹⁸.

Nel corso della dissertazione abbiamo ricostruito le biografie e le attività scientifiche dei protagonisti dell'umanesimo matematico urbinato, ovvero, per come noi lo abbiamo inteso, di quella grande stagione che tra fine Cinquecento e inizio Seicento fu caratterizzata dalle seguenti peculiarità: dal recupero della matematica antica (Commandino), dalla rielaborazione geometrica del funzionamento delle macchine semplici (Guidobaldo), da un approccio quasi moderno nei confronti della meccanica contenuta nei *Problemi meccanici* di Aristotele (Baldi) e dall'importanza delle dimostrazioni matematiche per qualsiasi attività professionale (Oddi). Il filo rosso che collega questi grandi personaggi della scienza urbinata è la presenza delle officine che costellavano il ducato di Urbino. In questo scenario, così eterogeneo, può essere intravista quella mescolanza di diverse tradizioni filosofico-scientifiche, culturali e tecniche che gli storici della scienza individuano come uno degli elementi fondanti della rivoluzione scientifica. Ritroviamo nitidamente questi elementi all'interno dei *Discorsi* di Galileo Galilei e nelle *Exercitationes* baldiane, quest'ultima opera oggi riconosciuta come una tra le opere fondamentali del Seicento per il suo brillante stile letterario e per le numerose novità contenute⁸¹⁹. Tuttavia, sulla base dell'avvertimento di Charles Schmitt, il quale ritiene che l'inizio della rivoluzione scientifica sia intimamente collegato all'incontro della matematica con la filosofia della natura, rileviamo un'importante differenza metodologica tra l'epistemologia scientifica che soggiace l'approccio degli allievi della scuola commandiniana e quella

⁸¹⁶ Sul tema si veda Rossi, 1989; e anche Fano e Pietrini, 2019.

⁸¹⁷ Sull'influenza dell'opera di Galileo nel coevo ambiente urbinato rimandiamo all'articolo di Gamba, 2007.

⁸¹⁸ Gamba, 1994a, p. 801.

⁸¹⁹ «Galileo e altri rappresentano un tardo fiorire di germogli seminati molto tempo prima» (Schmitt, 1976, p. 68). «Dal momento in cui Galileo collegò lo studio della matematica a quella della filosofia naturale, che si può parlare di inizio della rivoluzione scientifica» (Schmitt, 1976, p. 61).

esposta da Galileo nelle sue opere. Infatti, la caratteristica segnalata da Schmitt non contraddistingue l'approccio degli esponenti della scuola matematica urbinata. Questi ultimi promossero certamente l'utilità della matematica, ma la loro proposta riguardava un'utilità in ambito tecnico-professionale e non nell'indagine della natura. Lo studio della natura contingente, ambito di pertinenza della fisica, il cui ruolo preponderante era rivestito dall'analisi in termini qualitativi del moto (dinamica), era programmaticamente evitato dai nostri urbinati⁸²⁰. Tuttavia, le *Exercitationes*, come abbiamo visto, sembrano in alcune elucubrazioni rappresentare un'eccezione. Bernardino Baldi sembra più volte applicare le dimostrazioni geometriche allo studio fisico della natura, al fine di correggere la meccanica aristotelica profondamente legata alla filosofia naturale con la statica archimedeica. Per questo motivo la sua opera appare estremamente moderna⁸²¹.

Abbiamo volutamente trascurato di fornire qualsiasi riferimento, tranne rare eccezioni, al rapporto dell'ambiente urbinata con la rivoluzione astronomica. Questa mancanza sembra ancora più evidente se consideriamo che la sostituzione di una visione geocentrica con una eliocentrica sia emblema di un cambio di percezione, oltre che una conquista scientifica di enorme valore, essendo l'uomo non più collocato al centro del mondo ma in zona periferica. I protagonisti della matematica urbinata mostrarono un discreto interesse verso tali questioni. Tuttavia, tale interesse fu sempre abbastanza episodico e secondario, in quanto i nostri urbinati ritenevano che il settore dell'astronomia fosse eccessivamente incerto e non sottoponibile a un rigoroso controllo empirico⁸²². Ad esempio, Guidobaldo entrò nel famoso dibattito che si scatenò a seguito dell'avvistamento della supernova del 1604. Tuttavia, dopo un iniziale interesse, il matematico pesarese decise di tirarsi fuori dalle discussioni per la pericolosa mescolanza del piano matematico con quello della filosofia naturale. Infatti, scriveva Guidobaldo a Pier Matteo Giordani che «i matematici si accorderanno presto fra loro a chiamarla stella. Ma non sapranno però rispondere alle ragioni dei filosofi, che'l cielo sia incorruttibile, et non patiscia queste novità. Le quali ragioni bisognerà pur solverle, se fusse vero che questa cometa fusse stella». Lo stesso fece Oddi, il quale riteneva che tale campo di studi fosse eccessivamente accidentato, tanto che la materia gli sembrava fastidiosa, odiosa e piena di molta fatica⁸²³. Baldi, che viene giustamente ricordato per aver scritto la più antica vita di Copernico, esprime nella biografia dell'astronomo polacco tutto il suo disaccordo nei confronti dell'attendibilità della teoria eliocentrica. Anche Commandino non sembra che si fosse interessato a tali questioni. Secondo Enrico Gamba gli urbinati erano piuttosto sostenitori del sistema cosmologico "intermedio" di Tycho Brahe, il quale dava conto delle nuove e sempre più precise osservazioni astronomiche e, allo stesso tempo, salvava parzialmente il sistema aristotelico. Infatti, nonostante le osservazioni di Galileo venissero ritenute attendibili, il problema ostentato dagli urbinati era come far coesistere le nuove osservazioni con il quadro astronomico tradizionale. Per esempio, Iacomo Micalori (1570-1645), urbinata di nascita e formatosi a Roma presso i gesuiti, nel *Della sfera mondiale* (1626) esprimeva la sua preoccupazione nell'accettare le conseguenze di questo cambiamento di prospettiva. Seppure prendesse atto delle novità astronomiche, con un tono decisamente galileiano descriveva nell'opera l'impossibilità di distinguere se la Terra fosse ferma o in moto mediante esperimenti⁸²⁴. Ricordiamo ancora una volta che per i nostri urbinati la filosofia di Aristotele doveva essere salvaguardata perché rappresentava il fondamento di qualsiasi scienza. Tra i protagonisti esaminati, l'unico che si confrontò criticamente con la scienza di Aristotele fu Baldi, in quanto il poliedrico urbinata utilizzò la meccanica di Archimede per correggere la meccanica aristotelica.

In questo capitolo conclusivo abbiamo finora posto in evidenza l'importanza della scuola matematica urbinata nell'ambito delle novità introdotte dalla rivoluzione galileiana. In questa seconda

⁸²⁰ Rose, 1975, p. 280

⁸²¹ Come nel caso della *Quaestio* XVII, Baldi, 2010, pp. 253-263. Rose ritiene invece che Baldi riduca semplicemente un postulato fisico a un principio astratto, Rose, 1975, p. 251.

⁸²² Gamba, 2001b, pp. 99-101.

⁸²³ Sul tema si veda anche Gamba e Montebelli, 1988, pp. 98-105.

⁸²⁴ Micalori, 1626. Sul tema si veda anche Gamba, 2007.

parte del paragrafo riepilogheremo i contributi prodotti dalla scuola commandiniana in rapporto alla cultura scientifica dell'epoca.

La restaurazione della matematica antica e il contenuto dei *Prolegomeni* (esposizione preliminare dei principi di una dottrina), posti nella parte introduttiva delle traduzioni commandiniane (latina e volgare) degli *Elementi* di Euclide, rappresentarono due punti di svolta rispetto alla tradizione precedente. Le edizioni di Archimede e di Euclide tradotte da Commandino nel corso del tempo sarebbero diventate versioni imprescindibili per chi avesse voluto studiare tali opere, grazie alla loro affidabilità filologica e matematica. Nei *Prolegomeni*, diversamente da come erroneamente era stato fatto fino a quel momento, Commandino attribuisce gli *Elementi* a Euclide di Alessandria e non a Euclide di Megara. Nell'esposizione introduttiva Commandino si sofferma anche ad elogiare le origini illustri della matematica e la sua utilità per le attività produttive. Secondo l'urbinate, la matematica occupa lo stadio intermedio tra il divino e la materia sensibile ed è caratterizzata, a differenza della filosofia naturale che si occupa della contingenza della materia, dal procedimento dimostrativo che le conferisce un alto grado di certezza. Benché l'altezza e la nobiltà della matematica siano rivendicate con forza nella parte iniziale dei *Prolegomeni*, secondo Commandino i principi geometrici possono essere impiegati anche nelle diverse professioni, in particolare nelle attività d'architetto e di costruttore di strumenti; ciò è dimostrato anche dalle collaborazioni con il fabbricatore di orologi e compassi Simone Barocci. Sebbene i *Prolegomeni* non diano indicazioni riguardo al metodo dimostrativo adoperato da Commandino nelle ricostruzioni dei procedimenti matematici degli antichi, possiamo dedurre dalle opere stesse che l'urbinate facesse specialmente uso della dimostrazione per assurdo, del metodo di esaustione (riconducibile al metodo archimedeo) e dell'algebra. A nostro avviso quest'ultimo strumento è molto importante, in quanto conferma l'interesse di Commandino per la tradizione abachistica. Inoltre, l'uso dell'algebra è indicatore del fatto che Commandino ritenesse fecondo l'uso della matematica nata all'interno delle scuole d'abaco per la comprensione della geometria antica e che la stessa geometria antica trovasse la sua naturale esplicazione nell'algebra. Per questi motivi possiamo ritenere che l'attività di Commandino avesse avuto come obiettivo anche l'avvicinamento delle due culture, quella umanistica e quella tecnica. Nella parte su Guidobaldo abbiamo posto in evidenza l'importanza del *Mechanicorum Liber* (e della sua versione volgare), in cui viene esposta per la prima volta la condizione di equilibrio indifferente di una leva. In particolare, abbiamo argomentato in favore dell'idea che il trattato latino fosse stato scritto da Guidobaldo con l'intento di mettere a disposizione, per chiunque fosse interessato, il primo testo a stampa di meccanica, dove la meccanica è finalmente applicata alle macchine. Per questo motivo l'opera in latino, come la sua versione volgare, ospita rappresentazioni geometriche più adatte a un pubblico colto e raffigurazioni tridimensionali della stessa macchina, proprie della cultura tecnica rinascimentale. Infatti, il *Mechanicorum Liber* era stato scritto anche per i tecnici in grado di leggere il latino. L'uso del latino, all'interno del *Mechanicorum Liber*, aveva la funzione di tutelare la dignità della meccanica e di selezionare i destinatari del trattato. Se nella versione latina la selezione dei destinatari era affidata alla lingua di scrittura, nella versione volgare la selezione era affidata al titolo (*A beneficio di chi si diletta di questa nobilissima Scienza; et massimamente di Capitani di guerra, Ingegneri, Architetti, et d'ogni Artefice, che intenda per via di Machine far opre maravigliose, e quasi Sopranaturali*). In entrambi i casi l'obiettivo di Guidobaldo era quello di promuovere il valore della meccanica. Il testo sulla meccanica di Guidobaldo si inseriva in una tendenza culturale contrassegnata da una progressiva acculturazione dei tecnici e da una primordiale esigenza di specializzazione delle discipline scientifiche. Gli esempi più rilevanti di questa tendenza sono individuabili nelle opere dedicate alla medicina di Vesalio, alla mineralogia di Agricola, alla lavorazione dei metalli di Biringuccio, alla balistica di Tartaglia e al magnetismo di Gilbert⁸²⁵. Inoltre, come abbiamo diffusamente mostrato, Guidobaldo era consapevole che nello studio di una macchina in movimento si nascondessero alcuni problemi epistemologici, riguardanti l'armonia tra principi teorici e la loro applicazione pratica. Galileo avrebbe superato tale ostacolo mediante la

⁸²⁵ Sulle trasformazioni cultura e metodologiche avvenute tra il Quattrocento e il Seicento si veda Boas, 1973.

matematizzazione dei dati sperimentale e, soprattutto, attraverso l'uso di esperimenti mentali. Alcune riflessioni contenute nel *Mechanicorum Liber* e connesse a variabili come tempo, spazio e velocità fanno anche supporre che Guidobaldo potesse essere uscito dall'impostazione statica che pervadeva il suo approccio alla meccanica. In realtà abbiamo notato che lo studio di tali connessioni era ricondotto all'analisi delle condizioni di equilibrio delle macchine semplici, mediante l'applicazione di un primordiale principio di compensazione. Infine, ricordiamo l'importante attitudine di Guidobaldo alla costruzione e alla progettazione di strumenti.

Nella parte su Bernardino Baldi abbiamo voluto evidenziare l'uso strategico dell'espedito letterario, in particolare della poesia, per comunicare la meccanica. La sua sensibilità intellettuale e la sua fiducia nell'utilità della meccanica lo portò a inserire una delle prime riflessioni sul valore morale della tecnica nel discorso introduttivo alla traduzione degli *Automati* di Erone. L'idea che la meccanica non debba spaventare, ma al contrario debba essere considerata utile per la vita civile, è presente anche nell'autografo *Parere di Bernardino Baldi intorno al porto di Pesaro*, in cui l'urbinate applica alcune riflessioni teoriche esposte all'interno del commento alla questione XVI dei *Problemi meccanici* di Aristotele. Abbiamo infatti visto che il commentario di Baldi alla meccanica aristotelica non è solo un'opera intrisa di geometria in cui viene utilizzata la statica archimedeica per correggere la meccanica aristotelica, ma è anche un'opera pervasa di esempi di ordine pratico provenienti dall'ambiente tecnico. Secondo Guidobaldo del Monte e Bernardino Baldi è possibile proficuamente impiegare in un contesto tecnico i principi geometrici provenienti dalla letteratura matematica antica, perché, da una parte, la matematica antica può essere messa alla prova mediante esperimenti empirici e, dall'altra, la realizzazione pratica degli strumenti impiegati deve essere sempre guidata dalla teorizzazione matematico-geometrica. In questo senso possiamo dire che Guidobaldo e Baldi ebbero un approccio da tecnologi⁸²⁶.

La scienza urbinata risentì profondamente anche della conformazione del piccolo ducato di Urbino e del fatto che quest'ultimo fosse costellato di numerose officine specializzate nella costruzione di orologi e compassi. L'ambiente tecnico-scientifico urbinato rappresentava da questo punto di vista un *unicum*. La capillare presenza di officine nel ducato è una circostanza rilevante, perché tradizionalmente il processo di costruzione di strumenti è l'ambito in cui la progettazione teorica incontra la realizzazione pratica. Tuttavia, nel Cinquecento le abilità tecniche avevano un peso maggiore nella realizzazione dei manufatti rispetto alle conoscenze scientifiche, ancora poco avanzate.

L'ultimo esponente dell'illustre tradizione urbinata è Muzio Oddi. Abbiamo visto che le sue opere contengono spesso riflessioni sulle sciagure che hanno contrassegnato la sua vita. Nel trattato sugli orologi solari, pubblicato nel 1638, Oddi dedica ampio spazio della parte introduttiva al ricordo della sua vita travagliata e all'accorata accusa di plagio indirizzata al gesuita Giulio Fuligatti. Invece nella *Risposta di Oddi ai dubbi di Grimani* uno spazio preponderante è occupato sia dalla difesa dell'importanza delle dimostrazioni matematiche sia dalla sotterranea presenza dell'idea, tipicamente "galileiana", secondo cui l'approccio matematico differenzia ciò che può essere indagato con certezza da ciò che può essere indagato solo superficialmente. Oltre agli orologi solari, Oddi dedica agli strumenti altri due trattati, *Dello squadro* e *Fabrica et uso del compasso polimetro*, in cui descrive il funzionamento rispettivamente dello squadro agrimensorio e del compasso polimetro. Oddi rimase sempre in contatto con le officine urbinata, nonostante riuscì a stabilizzarsi a Urbino solo nel 1636, dopo 35 anni di confino. Sebbene non sappiamo se realmente il compasso polimetro fosse stato costruito, negli anni Oddi consegnò a Lorenzo Vagnarelli i progetti per realizzarlo. Forse il disegno di un compasso di proporzione a gambe piatte attualmente conservato presso la Royal Library di Windsor Castle e attribuito a Oddi potrebbe essere uno dei progetti consegnati ai suoi amici costruttori. Tuttavia, crediamo sia opportuno approfondire tale attribuzione, perché alcune didascalie messe a disposizione dalla pagina web della Royal Library contengono degli errori, come nel caso della piantina attribuita a Oddi del Forte Fuentes localizzato erroneamente a Pesaro. All'interno delle

⁸²⁶ Gamba, 1995.

attività di Oddi coesistono la matematica antica restaurata dai suoi maestri, effettivi e ideali, e l'applicazione pratica di tali conoscenze, mediante le frequenti collaborazioni professionali avvenute con artisti, architetti, tecnici e costruttori. Secondo Oddi, qualsiasi progettazione strumentale doveva essere garantita dalle dimostrazioni matematiche. L'attività di Oddi è fortemente debitrice della generazione illustre che aveva reso famoso Urbino e a cui lui si sente fieramente di appartenere. Questa stessa dipendenza scientifico-culturale è forse il maggior limite di Oddi, il quale spesso non gli permetteva di valutare con ponderato giudizio le novità che stava producendo la rivoluzione scientifica in corso. Tuttavia, proprio tale devozione lo rese uno dei principali artefici di quel processo tecnico-applicativo che avrebbe caratterizzato la nuova concezione di conoscenza scientifica⁸²⁷. In aggiunta in appendice proponiamo una suggestione relativa alla possibile conoscenza da parte di Oddi dei manoscritti di Leonardo da Vinci, facendo leva sul periodo in cui Oddi era a Milano e ai legami di Federico Barocci, suo maestro di pittura, con il paesaggista Gherardo Cibo⁸²⁸.

Abbiamo evidenziato lo spiccato senso di appartenenza dei nostri urbinati alla propria cultura: Guidobaldo, Baldi e Oddi rimarcarono sempre l'importanza formativa e scientifica della matematica antica risorta grazie al lavoro del loro maestro Commandino (ideale, per quanto riguarda Oddi). Loro erano pienamente consapevoli dell'importanza del proprio lavoro e della sua utilità sia per i matematici eruditi sia per i tecnici o architetti che avevano intenzione di ampliare il proprio bagaglio di conoscenze. Inoltre, possiamo asserire che la matematica dei quattro illustri urbinati era visceralmente congiunta alla pratica tecnica. Una prova di questo legame possiamo desumerla ad esempio dal fatto che tra gli allievi di Commandino venga segnalato anche Simone Barocci⁸²⁹. Pertanto, possiamo dire che, in una sorta di perfetta simbiosi, la scienza urbinata si sviluppò assieme alle abilità tecniche degli artigiani e dei costruttori. Anche per questo motivo i protagonisti della scuola commandiniana difesero l'importanza dell'utilità della matematica per le professioni e per il progresso della società⁸³⁰. Nell'ambiente scientifico-tecnico urbinata fattori come la conoscenza della matematica antica, lo studio geometrico-applicativo delle macchine semplici e l'idea che le dimostrazioni matematiche dovessero guidare la pratica empirica vivevano insieme alle abilità tecniche dei Barocci e di Vagnarelli.

La scienza moderna, inaugurata da Galileo, può essere vista come la fine della precaria divisione che separava l'ambito speculativo dall'ambito pratico-applicativo⁸³¹. Ne segue che la contaminazione della matematica con la fisica, che sotterraneamente ha guidato l'opera degli esponenti della scuola matematica urbinata, unita alla loro attitudine tecnico-pratica, alimentata dalle collaborazioni con l'officina dei Barocci, potrebbe avere avuto un ruolo rilevante nella formazione e nella scienza di Galileo. Sbilanciandoci un po', possiamo dire anche che l'ambiente urbinata fu una delle fucine da cui sono scaturiti i primi barlumi della rivoluzione scientifica⁸³².

⁸²⁷ Su Oddi e la rivoluzione galileiana si vedano Gamba, 2007; Marr, 2011, *passim*.

⁸²⁸ Appendice, A12.

⁸²⁹ Bedini, 2001.

⁸³⁰ L'idea di progresso è un altro elemento che caratterizza l'approccio dello "scienziato" moderno, sul tema si veda anche Rossi, 2017.

⁸³¹ Rossi, 2017, pp. 122-126.

⁸³² I testi di matematica antica corretti ed emendati da Commandino sarebbero stati utilizzati anche da Pierre de Fermat (Loria, 1950, p. 476), Isaac Newton, Johannes Kepler e René Descartes. La versione latina di Commandino degli *Elementi* di Euclide sarebbe stata una delle traduzioni di riferimento fino al XIX secolo. In *Astronomia Nova* (Keplero, 1609), a pagina 286, Johannes Kepler cita le *Coniche* di Apollonio e gli *Sferoidi* di Archimede nella versione dell'urbinata. Sul tema si veda per esempio Del Centina, 2016. Diego Donna nella tesi di dottorato (Donna, 2008, pp. 49 e 76) allude al fatto che le letture di alcune traduzioni di Commandino, in particolare il cap. VII delle *Collezioni Matematiche* di Pappo, fossero state parte della formazione scientifica di Descartes e alla base della teorizzazione di *analisi e sintesi* del metodo. Whiteside, in *The Mathematical Papers Of Isaac Newton*, scrive in nota 24 (p. 102) al *The revised treatise 'De Motu Corporum'* 1684/1685: «Newton was familiar with the Manolesi edition (Bologna, 1660) of Commandino's Latin version of Pappus' work (first published at Pesaro in 1588)», Whiteside, 1974, p. 102.

7.2 Problemi aperti e prospettive di ricerca

L'indagine compiuta ha mostrato interessanti novità ma anche profonde lacune che tuttora contrassegnano la conoscenza che abbiamo del periodo storico in cui nasce e cresce l'umanesimo matematico urbinato. In questa sezione intendiamo evidenziare alcuni problemi e proporre nuove linee di ricerca.

Possiamo individuare tre tipi di problemi: storiografico, archivistico e scientifico. Il primo tipo, storiografico, è riconducibile per esempio alla difficoltà di individuare i codici utilizzati da Federico Commandino per restaurare la matematica antica, in quanto ancora non sappiamo individuare correttamente quali codici il filologo-matematico urbinato ebbe modo di consultare. Anche l'esame esegetico delle sue traduzioni non sembra essere sufficiente per stabilire correttamente le sue fonti codicologiche, a causa soprattutto della difficoltà di reperire tutte le versioni a quel tempo disponibili. Un aiuto potrebbe essere dato dalla corretta individuazione cronologica dei suoi spostamenti a Roma, Venezia, Urbino e Bologna nella fase di ricognizione dei codici e di preparazione dell'opera *Sui corpi galleggianti* di Archimede.

L'adeguata ricostruzione degli spostamenti di Commandino permetterebbe di fare luce sui suoi soggiorni che, dal nostro punto di vista, potrebbero essere connessi con l'eventuale frequentazione delle biblioteche locali e degli archivi dei suoi amici mecenati. Allo stesso modo, è necessario approfondire gli spostamenti di Bernardino Baldi per comprendere meglio la gestazione delle *Exercitationes* e dei contenuti meccanici. Ad esempio, secondo Antonio Becchi, si dovrebbe riflettere sul fatto che negli anni in cui Baldi era a Roma (1586-1587 circa), in occasione dello spostamento dell'obelisco vaticano (1586) si incontrarono numerosi protagonisti della cultura scientifica del tempo. In quel periodo Baldi iniziò a scrivere il commento ai problemi meccanici aristotelici⁸³³. Sempre in quell'arco di tempo Galileo era a Roma per consegnare a Clavio il suo lavoro sui centri di gravità e tra il 1587 e il 1588 il toscano teneva due lezioni all'Accademia fiorentina sull'architettura dell'Inferno dantesco. Ancora nel 1587 Guidobaldo scrisse alcune pagine delle *Meditationum*. Alla luce di queste contingenze cronologiche e dei comuni interessi scientifici, Becchi propone di rileggere i codici che potrebbero aver influenzato le *Exercitationes* baldiane e rivalutare nuovamente il rapporto Baldi-Guidobaldo-Galilei, in modo da gettare nuova luce sulla connessione della meccanica con l'architettura, connessione che nel corso del tempo è stata interrotta e poi risaldata⁸³⁴.

Il secondo problema, di tipo archivistico, si ripercuote sulla attuale e ancora imperfetta conoscenza dei prodromi della rivoluzione scientifica, e pertanto, a nostro avviso, deve essere assolutamente affrontato e risolto. Allo stato attuale della ricerca e degli studi sulla scuola matematica urbinata non esistono né una ricognizione puntuale dei manoscritti né un esame degli autografi prodotti dai protagonisti della scienza urbinata tardorinascimentale. Alcuni importanti e fondamentali tentativi sono stati fatti da P. L. Rose, E. Gamba, A. Becchi, A. Serrai, M. Frank e A. Ciocchi. Tuttavia, gli archivi sono ancora ricchi di materiale inedito che riteniamo meriti di essere studiato e valorizzato. Tra le tante biblioteche che dispongono di documenti riguardanti la scuola commandiniana, segnaliamo la Biblioteca Universitaria di Urbino, la Biblioteca Oliveriana di Pesaro, la Biblioteca Ambrosiana di Milano, la Royal Library di Windsor Castle, la British Library di Londra, la Biblioteca dell'Università dell'Oklahoma, l'Archivio storico della Pontificia Università Gregoriana, la Biblioteca Apostolica Vaticana della Città del Vaticano, il Centro Internazionale di Studi Rosminiani di Stresa, la Biblioteca Nazionale di Parigi, la Biblioteca Medicea Laurenziana di Firenze, la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze e l'Archivio di stato di Firenze⁸³⁵. Inoltre, vi sono anche

⁸³³ Serrai, 2002, pp. 61-62.

⁸³⁴ Becchi, 2004, pp. 116-117; Becchi, 2013, pp. 255-258.

⁸³⁵ Inoltre, indichiamo alcuni dei molti archivi e biblioteche che contengono documenti connessi con l'ambiente urbinato tardo rinascimentale: la Biblioteca Nazionale di Napoli, la Biblioteca Angelica di Roma, la Faculté de Médecine di Montpellier, la Biblioteca dell'Accademia Nazionale dei Lincei e Corsiniana, l'Archivio di Stato di Roma, la Biblioteca Universitaria Alessandrina di Roma, la Biblioteca Fidericiana di Fano, l'ARSI di Roma e le biblioteche di Macerata, Recanati, Loreto, Offida e Urbania.

circostanze in cui la stessa catalogazione dei documenti risulta essere inesatta. È emblematico il caso della Royal Library di Windsor Castle, la cui raccolta contiene un progetto del Forte Fuentes attribuito a Oddi. Il problema è che nella *Description* inserita nella didascalia il Forte venga localizzato a Pesaro, mentre in realtà il Forte Fuentes si trova in provincia di Lecco.

Evidenziamo anche l'importante lavoro di digitalizzazione dei documenti svolto in questi anni dal Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte di Berlino (Max Planck Institute for the History of Science). L'Istituto berlinese, mediante la piattaforma ECHO (Essential Culture Heritage Online), mette a disposizione in modalità *open access* le trascrizioni di numerosi testi a stampa cinquecenteschi e seicenteschi ad indirizzo matematico e le scansioni di molti manoscritti di matrice urbinata, come l'autobiografia di Francesco Maria II della Rovere (Biblioteca Oliveriana di Pesaro, ms 386), gli autografi di Commandino e dei suoi allievi (Biblioteca Universitaria di Urbino, Buste 120 e 121), i documenti riguardanti la cultura urbinata tardorinascimentale e la corrispondenza di Camillo Giordani e Pier Matteo Giordani e di altri esponenti dell'ambiente urbinata (Biblioteca Oliveriana, mss 426, 430, 443, 930, 966; Centro Internazionale di Studi Rosminiani di Stresa, *La vita di Monsignor Bernardino Baldi scritta da Giovan Mario de' Crescimbeni*)⁸³⁶. Infine, una difficoltà che ancora persiste riguarda la capacità di risalire alla corretta costituzione di molti fondi archivistici: ad esempio non sembra essere ancora chiaro l'*iter* che ha portato i documenti riguardanti Muzio Oddi all'interno della Royal Library e del fondo Ashburnham della Biblioteca Medicea Laurenziana⁸³⁷. Tale difficoltà è stata individuata dalla Biblioteca Oliveriana, la quale, mediante il progetto *Disiecta Membra. Tracce e testimoni delle Biblioteche Albani*, ha intrapreso un capillare lavoro di ricognizione e catalogazione dei documenti provenienti dalle biblioteche Albani ed ora diffusi presso altre biblioteche⁸³⁸.

Il problema scientifico è invece direttamente collegato alla corretta stima del contributo metodologico, epistemologico e teorico fornito dalla scuola commandiniana alla rivoluzione scientifica. In questo lavoro abbiamo dato alcune indicazioni sul legame che unisce Commandino e i suoi allievi alla rivoluzione galileiana. Manca invece un ottimale e profondo esame riguardante le probabili connessioni tra la scienza prodotta in ambiente urbinata e la scienza degli altri protagonisti della rivoluzione scientifica, come Kepler, Bacon, Descartes e Newton.

Direttamente connesso al problema scientifico e al problema storiografico è anche la mancanza di uno studio pertinente e approfondito del lessico scientifico. Quest'ultimo venne elaborato durante l'attività di traduzione in latino e in volgare dei classici della matematica antica e fu introdotto nelle opere di meccanica e nei commentari antecedenti l'opera galileiana. Qualsiasi tentativo fatto in questa direzione dovrà seguire il solco già oculatamente tracciato da P. Manni e N. Castagné.

Aggiungiamo ai problemi evidenziati anche la mancanza di studi specifici sulle opere di Guidobaldo rimaste manoscritte e sul collegamento tra gli strumenti posseduti da Contarini con quelli ideati e progettati da Guidobaldo. Inoltre, dovrebbe essere meglio indagato il rapporto Galileo-Mazzoni-Guidobaldo, considerato che le prime riflessioni copernicane di Galileo sono esposte in una lettera a Jacopo Mazzoni e che Mazzoni era amico di Guidobaldo⁸³⁹.

Solo con uno studio che si misuri con tali problemi rimasti insoluti, unito a un compiuto esame degli autografi in relazione ai contributi scientifici, potremmo finalmente giungere a una maggiore comprensione dell'ambiente culturale e tecnico-scientifico che ha favorito la rivoluzione galileiana e calibrare meglio il suo apporto alla più generale rivoluzione scientifica. Infine, riteniamo che possa essere utile la realizzazione di una piattaforma che sia in grado di ospitare le scansioni e le trascrizioni delle lettere, dei manoscritti e delle opere dei protagonisti della scuola matematica urbinata e dei padri

⁸³⁶ La piattaforma ECHO è accessibile al link: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/home>.

⁸³⁷ Fondo Ashburnham (App), 1828 e Ashburnham, 1357.

⁸³⁸ Il sito del progetto *Disiecta Membra. Tracce e testimoni delle Biblioteche Albani* è consultabile attraverso il seguente link: <http://www.archivioalbanian.it/index.php?id=29052&L=4%27A%3D0%27>.

⁸³⁹ Galilei, 1932: Galilei a Mazzoni, 30 maggio 1597, pp. 197-202. Sul tema si vedano Purnell, 1972; Gamba e Montebelli, 1988, pp. 30-32 e le rispettive note. La necessità di indagare ulteriormente il rapporto tra i tre è già stata indicata in Frank e Napolitani, 2015, pp. 183-184.

della rivoluzione scientifica e porre in relazione tra loro i testi trascritti. Una piattaforma con tali potenzialità permetterebbe di creare una mappa intratestuale e intertestuale integrata, in cui diventa definitivamente visibile e chiaro il rapporto tra i protagonisti della rivoluzione scientifica e del periodo antecedente, le reciproche influenze e l'evoluzione dei concetti scientifici.

APPENDICE

Abbreviazioni:

APUG = Archivio storico della Pontificia Università Gregoriana

ARSI = Archivum Romanum Societatis Iesu

BAM = Biblioteca Ambrosiana di Milano

BAV = Biblioteca Apostolica Vaticana

BNE = Biblioteca Nacional de Espana

BNM = Biblioteca Nazionale Marciana

BNP = Bibliothèque Nationale de Paris

BOP = Biblioteca Oliveriana di Pesaro

BUU = Biblioteca Universitaria di Urbino

A1. Un esempio di matematica pratica

Nel manoscritto *Trattato di geometria pratica*, attribuito a un maestro d'abaco fiorentino (Codice L.IV.18 -sec. XV-, conservato presso la Biblioteca Comunale di Siena e pubblicato da Annalisa Simi⁸⁴⁰), abbiamo un esempio di uso pratico degli *Elementi* di Euclide. L'autore anonimo del manoscritto volgare, dopo aver elencato alcune definizioni e proposizioni facilmente riconducibili agli *Elementi* di Euclide, riporta in stile abachistico, accorpendole, la proposizione 13 del Libro II e la proposizione 47 del Libro I degli *Elementi*⁸⁴¹:

Se vorrai invenire al catetto d'ogni triangulo, dato li suoi lati, agiugne insieme el quadro della baxa col quadro dell'uno de' lati e di quello trai el quadrato dell'altro e'l rimanente dividi nel doppio della baxa. E usciranne la parte della baxa ch'è ta'l punto dove cade el catetto e lo lato che si agiunse in sé; trai l'uno dell'altro e la radice del rimanente sarà lo catetto.⁸⁴²

Poche pagine più avanti l'anonimo toscano mostra alcuni usi delle proposizioni di Euclide:

Da poi che io t'ò mostrato secondo l'Euclides le sopra le dette regole e perché Euclides parla molto breve e oscuro voglo mostrare secondo la pratica mirabili regole e a dichiarazione delle regole sopra dette dico così.⁸⁴³

L'anonimo autore arriva quindi a trattare i triangoli e al caso 14 impiega praticamente la suddetta regola euclidea:

[14] E gl'è uno triangolo che per l'una faccia è 13 braccia e per l'altra 14 e per l'altra è 15. Adomando quanto sia lo suo catetto che cadrà in sullo lato delle 13 braccia e quanto sia la sua possessione, el cui triangolo è terminato AbCd, sì chome negl'altri abiamo husato. Dirò adunque che per sapere in che luogho cade el decto catetto, che si multiprichi la baxa in sé, fa 169. E multiplichì AC in sé, fa 225 e aggiunte iniseme fa 394, trane il quadrato Ab, che è 196, resta 198, lo qual parte per lo doppio della baxa, che è 26, viene 7 [+] 8/13. E tanto è dal punto d al punto C. Ora cerchiamo l'altro lato e multiprica la baxa in sé fa 169 e multiprica Ab in sé, fa 196, agiunti insieme fa 365, tranne il quadrato AC, che è 225, resta 140, parti per lo doppio della baxa, vien 5 [+] 5/13 e tanto è lo spatio db. Ora abiamo in che luogho cade il catetto. Cierchiamo ora la sua

⁸⁴⁰ Anonimo Fiorentino, 1993.

⁸⁴¹ Euclide, 1970, Libro II, proposizione 12: Nei triangoli acutangoli il quadrato del lato opposto all'angolo acuto è minore, rispetto alla somma dei quadrati dei lati comprendenti l'angolo acuto, del doppio del rettangolo compreso da uno dei lati che contengono l'angolo acuto e dalla proiezione dell'altro su esso. Euclide, 1970, Libro I, proposizione 47: Nei triangoli rettangoli il quadrato del lato opposto all'angolo retto è uguale alla somma dei quadrati dei lati che comprendono l'angolo retto. Le proposizioni 47 e 48 del Libro I regolano il cosiddetto teorema di Pitagora. Invece le proposizioni 12 e 13 del Libro II sono riconducibili al famoso teorema di Carnot.

⁸⁴² Anonimo Fiorentino, 1993, pp. 30-31.

⁸⁴³ Anonimo Fiorentino, 1993, p. 33.

lunghezza; piglia il quadrato AC, che è 225, tranne il quadrato de' dC che è 57 [+] 168/169, resta 167 [+] 1/169. la cui radice è 12 [+] 12/13. Adunque diremo che lo adomandato catetto sia longo braccia 12 [+] 12/13 [Fig. A.1].⁸⁴⁴

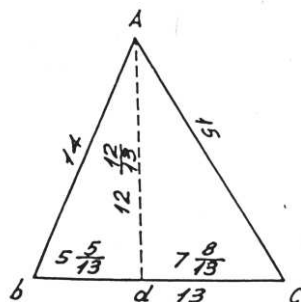


Fig. A.1 Anonimo Fiorentino, 1993, p. 53

All'interno di questo esempio si nasconde il teorema di Carnot $dC = (bC^2 + AC^2 - Ab^2) / 2 bc$. Di estremo interesse sono anche gli esempi pratici che si susseguono dal caso [74] in poi, sia per i problemi presi in considerazione sia per le figure esplicative riportate dalle quali emerge l'importanza data alla visualizzazione del problema. In questi esempi l'autore impiega gli assiomi e alcune proporzioni degli *Elementi* precedentemente esposti per risolvere problema pratico come il seguente: se noi abbiamo una torre alta 40 braccia e alla base c'è un fiume che scorre ampio 30 braccia, quanto dovrà essere lunga la corda dalla cima della torre Ab alla sponda del fiume bC? L'autore considera la torre e il fiume come un triangolo rettangolo AbC e il problema viene risolto impiegando il teorema di Pitagora.

[74] Una torre che è alta 40 braccia e da piej le passa uno fiume ch'è largo 30 braccia; adomando quanto vorrà essere longha una fune che sia longha dalla cima della torre alla spoda del fiume. Senpre, quando ti sonno simili ragioni, intende che questo è uno triangolo ortogonio ed è terminato AbC, cioè la torre Ab e'l fiume bC. Adunque si domanda quanto sia dal punto A al punto C. E vedi che ll'angholo retto è al punto b, adunque, secondo che innanzi abiam mostrato, tolle il quadrato Ab a il quadrato bC e, quello che fanno aggiunti insieme, cioè 'l quadrato Ab, è 1600 e 'l quadrato bC si è 900. Aggiunti insieme fa 2500. Convien che 'l quadrato AC sia 2500. Adunque la radice di 2500, sarà la domandata linea la quale radice sapiamo che è 50 braccia. Adunque diremo che la domandata linea sia 50 braccia. E così farai tutte le simili ragioni [Fig. A.2].⁸⁴⁵

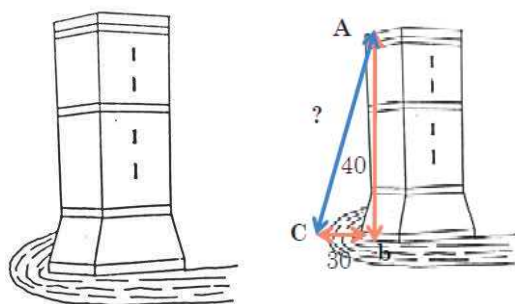


Fig. A.2 L'immagine di sinistra è tratta da Anonimo Fiorentino, 1993, p. 87. Nell'immagine di destra abbiamo rappresentato il problema esposto da Anonimo fiorentino.

⁸⁴⁴ Anonimo Fiorentino, 1993, pp. 53-54.

⁸⁴⁵ Anonimo Fiorentino, 1993, pp. 87-88.

A2. Il lavoro editoriale di Commandino: una rassegna dei codici utilizzati

Qualsiasi ricerca che ha a che fare con documenti di archivio spesso si porta inevitabilmente dietro interpretazioni e supposizioni. Nel nostro caso, considerati anche i molti secoli che ci separano dai fatti oggetto di studio, il problema è ancora più evidente. Un'efficace ricognizione dei codici utilizzati da Commandino potrebbe essere interessante per due motivi: da una parte (interesse bibliografico e codicologico) andrebbe a perfezionare l'elenco dei testi consultati dall'urbinate, dall'altra (interesse strettamente filologico) potrebbe rivelarci i motivi di alcune scelte filologiche ben precise compiute in fase di traduzione. Seppure, allo stato attuale delle nostre conoscenze, sia difficile capire quali codici Commandino avesse utilizzato o potuto consultare per le sue traduzioni, gli studi svolti da molti storici della scienza e filologi hanno prodotto notevoli risultati. Tuttavia, vedremo che alcune ipotesi interpretative aspettano ancora di essere confermate.

Iniziamo la nostra disamina elencando la letteratura primaria e secondaria di riferimento da cui la nostra ricerca è partita. Le considerazioni che esporremo si basano sulle lettere dedicatorie e sulle prefazioni di Commandino alle sue opere, sulla vita di Commandino scritta da Bernardino Baldi, sugli studi di P. L. Rose, di P. D. Napolitani e di M. Clagett per quanto riguarda la traduzione e la circolazione dei codici archimedei⁸⁴⁶ e di V. Gavagna per la ricezione degli *Elementi* di Euclide⁸⁴⁷.

Per inquadrare il lavoro filologico di Commandino è necessario partire dal suo incontro con Niccolò Ridolfi avvenuto nel 1530. Secondo Rose, che attinge a diversi cataloghi, la biblioteca di Ridolfi, fondamentale per la formazione matematica e filologica di Commandino, conteneva più di 600 manoscritti. Al fine di capire l'entità del tesoro che a quel tempo Commandino aveva a disposizione, segnaliamo alcuni testi di filosofia in greco che erano conservati presso la biblioteca del mecenate⁸⁴⁸: *Aristotelis Analyticorum posteriorum libri duo* (Aristotele, *Analitici posteriori*); *Aristotelis Mechanica* (Aristotele, *Problemi meccanici*); *Aristotelis organum* (Aristotele, *Organo*); alcuni commentari di Giovanni Filopono. Invece, tra i testi di matematica e meccanica in greco che Ridolfi possedeva ricordiamo: *Heronis Alexandrini spiritalia libri duo* (Erone, *Spirituali*); *Euclidis libri 13* (Euclide, *Elementi*); *Apollonii Pergaei Conicorum libri 4* (Apollonio, *Coniche*); *Eutocii Ascalonitae in Conica Apollonii Peragei* (Eutocio, *Commento delle Coniche di Apollonio*); *Sereni de Cylindri Sectione libri 2* (Sereno, *Sezione di un cilindro*); *Data di Euclide* (Euclide, *Data*); *Aristarchi de magnitudine et distantia Solis et Lunae* (Aristarco, *Sulle dimensioni e distanza del sole e della luna*); *Archimeids opera multa* (Archimede, *Opere*). Ridolfi aveva anche a disposizione: i commenti di Eutocio alle opere di Archimede, il *Cheirobalistra* di Erone, alcuni lavori attribuiti a Ctesibio; alcuni manoscritti provenienti dalla biblioteca del prete tedesco Andreas Coner (BNP, mss Grec 2364, 2367, 2497). Inoltre, dal 1540 Ridolfi possiede una copia del codice A di Archimede (BNP, ms Grec 2360)⁸⁴⁹.

Nel 1550 Commandino passò al servizio di Ranuccio Farnese. L'ambiente colto e dinamico del cardinale Farnese permise a Commandino di entrare in contatto con i maggiori letterati e bibliofili dell'epoca. Grazie a Farnese, Commandino poté frequentare la biblioteca di Fulvio Orsini, il quale possedeva un codice greco di Euclide copiato dal pistoiense Scipione Forteguerra - Carteromachus - (BAV, Vat. Gr. 1295), un codice di Aristarco (BAV, Vat. Gr. 1346) e frammenti greci de *Sui corpi galleggianti* di Archimede (BAV, Vat. Gr. 1316, fols 353-354; 1347 fols 7-11; inizialmente si pensava il codice sui galleggianti fosse originale, attuali studi lo fanno invece risalire al XVI secolo); la *Pneumatica* di Erone (BAV, Vat. Gr. 1364), proveniente dalla libreria di Angelo Colocci, amico

⁸⁴⁶ Commandino, 1558a; Commandino, 1565a; Commandino, 1565b; Baldi, 1998; Rose, 1975, pp. 185-221; Napolitani, 2001; Clagett, 1964.

⁸⁴⁷ Gavagna, 2009.

⁸⁴⁸ I testi greci che seguiranno saranno indicati con il titolo latino perché il volume da dove ho reperito l'elenco delle opere possedute da Ridolfi è scritto in latino (de Montfaucon, 1739). L'indice con i titoli delle opere in greco è invece consultabile al link: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b85951065/f1.item>.

⁸⁴⁹ De Montfaucon (1739), pp. 766-799. Sulla formazione della biblioteca di Ridolfi, si vedano Omont, 1888, e Ridolfi, 1929.

di Cervini⁸⁵⁰. In quegli anni Commandino ricoprì la carica di *camerero segreto* di Marcello Cervini, bibliofilo e bibliotecario della biblioteca Vaticana, ed ebbe la possibilità di consultare la sua immensa biblioteca. Nell'indice dei manoscritti conservati nella biblioteca di Cervini segnaliamo i seguenti testi⁸⁵¹: alcune opere di Archimede (fol. 286), due copie del *De architectura* di Vitruvio (fol. 288)⁸⁵², le versioni greche degli *Elementi* di Euclide (BAV, Vat. Gr. 190) e delle *Collezioni matematiche* di Pappo (BAV, Vat. Gr. 218). Tuttavia, sembra che nessuno di questi fosse stato utilizzato da Commandino. Dal 1527 Cervini possedeva anche il codice O di Moerbeke (BAV, Ottob. Lat. 1850). Altra importante biblioteca, a cui Commandino aveva accesso, era quella del poeta Annibale Caro. Caro possedeva un manoscritto di Leonardo Pisano e i codici di Agnolo Caiano (curatore de *I quindici libri degli Elementi di Euclide, di greco tradotti in lingua thoscana*, Roma, 1545). Grazie a Commandino, Caro si era appassionato allo studio delle matematiche.

Nonostante il grande patrimonio a disposizione, non sappiamo se Commandino avesse effettivamente consultato tutti i codici contenuti nelle biblioteche dei suoi amici e protettori e, pertanto, è difficile stabilire con certezza se ne avesse fatto uso.

Commandino racconta nella prefazione al *Liber de centro gravitatis solidorum* che aveva ricevuto in dono da Cervini le versioni latine del *De Analemmate* di Tolomeo e de *Sui corpi galleggianti* di Archimede, versioni che agli occhi di Commandino e Cervini necessitavano di essere migliorate. La finestra temporale entro cui Commandino ricevette i due codici è abbastanza definita, in quanto supponiamo debba essere compresa tra il 1550, anno dell'incontro con Cervini, e il 1553, anno in cui l'urbinate è alla Marciana di Venezia. Invece, ancora non sappiamo con certezza quali fossero esattamente i codici da lui ricevuti e dove attualmente siano collocati. L'esigua quantità di codici contenenti la traduzione di Moerbeke e il *De analemmate* allora in circolazione dovrebbe restringere il campo d'indagine al BAV Ottob. Lat. 1850 (codice O) e al BAV, Vat. Barb. Lat. 304 (ovvero una copia parziale del codice O)⁸⁵³. Attualmente le posizioni si dividono tra due alternative riguardanti il codice O e il codice Barb. Lat. 304, appartenuto allo spagnolo Baldassarre Torres: la prima alternativa, abbastanza improbabile, è che il codice regalato a Commandino fosse stato proprio l'autografo O, però, se così fosse, si dovrebbe spiegare per quale motivo sarà ritrovato nella biblioteca di Guglielmo Sirleto; la seconda è che Commandino avesse ricevuto in prestito da Cervini, e non in regalo, l'autografo O, sul quale successivamente Torres avesse trádito il suo codice⁸⁵⁴; la terza alternativa è che il codice ricevuto da Commandino sia l'attuale codice BAV, Vat. Barb. Lat. 304, poi ceduto o fatto copiare a Baldassarre Torres⁸⁵⁵. Ci sentiamo di condividere l'ipotesi di Clagett: molto probabilmente Commandino aveva ricevuto una versione tratta da O, includente solo *Sui corpi galleggianti* e il *De analemmate* (d'altronde Commandino e Baldi, quando parlano delle opere regalate da Cervini, fanno riferimento esclusivamente a questi due trattati), che poi dopo il 1553, cioè in seguito al suo ritorno da Venezia, può aver regalato a Torres o averglielo fatto copiare. Questa supposizione spiegherebbe la presenza nel codice del *Discorso sopra l'arte dell'algebra*, posizionato immediatamente dopo il *De analemmate*. La presenza di parti in spagnolo dopo *Sui corpi galleggianti*, il *De analemmate* e il *Discorso sull'algebra* non va che a suffragare l'ipotesi appena esposta, in quanto potrebbe fare intendere un eventuale passaggio di mano da Commandino a Torres. L'ipotesi che Commandino avesse avuto una versione tratta dall'autografo O e non l'originale viene suggerita anche dallo stesso urbinato, il quale nella lettera dedicatoria ad Alessandro Farnese, inserita in apertura del *Liber de centro gravitatis solidorum*, scrive che Cervini gli diede in dono («dono

⁸⁵⁰ De Nohac, 1887.

⁸⁵¹ L'indice dei manoscritti è consultabile alla segnatura BAV, Vat. Lat. 8185, fol. 282 e ssg.

⁸⁵² Robert, 1968.

⁸⁵³ Il manoscritto di Commandino non è certamente il ms. 9119 (codice M) conservato presso la Biblioteca Nacional de Espana (BNE) a Madrid e usato da Tartaglia, perché non include il *De analemmate*.

⁸⁵⁴ Questa è l'ipotesi sostenuta da Rose, secondo il quale si deve intendere “regalo” in senso metaforico, cioè che Commandino avesse ricevuto in regalo le idee e il lavoro di Archimede e non fisicamente il codice, in Rose, 1975, pp. 200-201.

⁸⁵⁵ Ipotesi sostenuta da Clagett, in Clagett, 1964-1984, pp. 613-614.

dedit») i libri sui corpi galleggianti. Tuttavia, Bernardino Baldi infittisce il mistero. Egli scrive nella vita di Commandino:

Oltra il detto libro di Tolomeo Dell'Analemma, gli fu donato dal medesimo Cardinale Cervino il testo greco d'Archimede inscritto [περί οχουμένων], cioè Delle Cose che sono Condotte.

Nel brano Baldi allude una versione greca del codice sui corpi galleggianti ricevuto da Commandino. Presumibilmente lo storico urbinato è in errore. Invece se avesse ragione, allora bisognerebbe ripensare da zero l'intera opera di restaurazione della matematica antica prodotta da Commandino, in quanto si sarebbe basata su codici ormai irrimediabilmente perduti.

Nel 1558 Commandino pubblicò *Archimedis Opera non nulla à Federico Commandino Vrbinato nuper in Latinum conuersa, et commentariis illustrata*⁸⁵⁶. La versione dell'urbinato contiene i testi sprovvisti del commento di Eutocio: *De lineis spiralibus*, *De quadratura parabolae*, *De conoidibus et sphaeroidibus* e *De Arenarius*. L'opera include anche il *De mensura circuli*, l'unico testo che, a differenza degli altri acclusi, era fornito del commento di Eutocio. Commandino inserì una nuova versione del commento di Eutocio perché non riteneva adeguato quello esistente⁸⁵⁷. Precisiamo che *Archimedis Opera non nulla* è priva dei due libri sui corpi galleggianti. Commandino dedicò la traduzione dei testi archimedei a Ranuccio Farnese e il suo commentario al duca di Parma Ottavio⁸⁵⁸. Nella prefazione il matematico-filologo urbinato cita Eutocio, Regiomontano e Maurolico (Commandino era in corrispondenza con quest'ultimo presumibilmente dal 1553).

Per la preparazione della traduzione di Archimede, iniziata nel 1553 a Venezia, Commandino seguì il programma di Regiomontano. I pochi testi utilizzati per la redazione delle opere archimedee furono i seguenti: l'*editio princeps* di Basilea del 1544, curata da Venetorius, che conteneva la versione di Cremonensis del codice A e il programma di Regiomontano presentato nella prefazione; il codice O, posseduto da Cervini; e il codice E (BNM, Z. Gr 305). Le note di registrazione di prestito confermano che Ranuccio ritirò il codice E il 22 febbraio e lo restituì il 7 agosto 1553. Nello stesso giorno in cui veniva riconsegnato il codice, sempre lo stesso cardinale prendeva in prestito dal 7 agosto al 6 novembre le *Coniche* di Apollonio (BNM, Z. Gr 518) appartenute a Bessarione. Si può facilmente supporre che dietro la richiesta di prestito di Farnese dei due codici ci fosse stato proprio Commandino⁸⁵⁹. I filologi hanno mostrato che Commandino preferì le varianti linguistiche del codice di Moerbeke rispetto a quelle di Cremonensis, traduzione che Commandino conosceva, come abbiamo già detto, grazie all'*editio princeps*.

Rose riferisce che per seguire le tracce dei codici usati da Commandino potrebbe essere utile uno studio approfondito di BAV, Vat. Lat. 4103, un miscellaneo appartenuto a Orsini e al suo circolo, il quale riporta al foglio 125r alcuni riferimenti a testi di matematica conservati nelle biblioteche di Urbino e Venezia. Tra i libri conservati a Urbino, nel foglio sono annotati alcuni testi latini di Archimede (*Sphaera et cylindro*, *De mensura circuli*, *De conoidibus et sphaeroidibus*, *De lineis spiralibus*, *De aequponderantibus*, *De quadratura parabolae*, *De Arenarius*), mentre tra i libri conservati a Venezia sono registrati due codici manoscritti di Archimede, appartenuti a Bessarione. Nel foglio sono altresì segnati un commentario di Eutocio conservato a Roma e un commentario di Proclo a un'opera di Euclide posseduto dal cardinale Grimani.

La biblioteca di Urbino conteneva codici molto antichi, tuttavia non sappiamo quando e con quale regolarità Commandino poté utilizzarli per la redazione delle sue traduzioni. Probabilmente ebbe modo di consultarli solo dal 1565 in poi, quando si stabilì definitivamente a Urbino e quando ormai la restaurazione di Archimede era completata. La biblioteca di Urbino conteneva all'epoca il commentario di Eutocio alle *Coniche* di Apollonio (BAV, Urb. Gr. 73), *Pneumatica* e *Automata* di Erone (BAV, Urb. Gr. 75), il libro VII delle *Collezioni matematiche* di Pappo (BAV, Urb. Gr. 72), il

⁸⁵⁶ Commandino, 1558a.

⁸⁵⁷ *De mensura circuli* contiene la famosa proposizione 3 in cui viene stabilita l'approssimazione di π .

⁸⁵⁸ Il duca Ottavio aveva offerto a Commandino il suo appoggio, si confronti Rose, 1973b.

⁸⁵⁹ Rose, 1973b.

commentario di Proclo appartenuto al cardinale Giulio della Rovere (BAV, Urb. Gr. 71) e le *Coniche* di Apollonio (BAM, A 230 inf.)⁸⁶⁰.

Le difficoltà relative ad una adeguata ricognizione dei libri presso le biblioteche del tempo e di stabilire gli spostamenti di Commandino rendono difficile capire quali testi Commandino poté utilizzare e quali testi ebbe effettivamente a disposizione. Ad ogni modo possiamo provare a stabilire una cronologia: tra gli anni 1530-1534 l'urbinate dovette entrare in contatto con i codici posseduti da Ridolfi, tra il 1550 e il 1555 con i codici della Vaticana e della biblioteca di Cervini e dei suoi conoscenti (Colocci, Mendoza e Torres) e tra il 1550 e il 1565 con i codici di Ranuccio Farnese e dei suoi amici (Caro e Orsini).

Per quanto riguarda l'emendazione del *Planisphaerium* di Tolomeo⁸⁶¹, Commandino probabilmente utilizzò la traduzione di Ermanno di Carinzia, realizzata nel 1143 sulla base di una versione araba del 900 di Maslama di Cordoba. Invece, per la traduzione delle *Coniche* di Apollonio Commandino deve aver usato prevalentemente la copia depositata alla Marciana e BAV Urb. Gr. 73 per il commentario di Eutocio al trattato di Apollonio.

Una gestazione piuttosto complicata fu quella delle *Collezioni Matematiche* di Pappo⁸⁶². Commandino aveva lasciato agli eredi una traduzione non molto buona, come riferito dai suoi due allievi Barozzi e Guidobaldo, basata sull'attuale ms. 18.1.3 nella National Library di Edimburgo (contenente i libri III, IV, V, VI, VIII) e sul ms. 110 conservato presso la Newberry Librar di Chicago (contenente il libro VII). Stranamente Commandino non utilizzò il più completo BAV, Vat. Gr. 218, comprendente tutti i libri dal II al VIII, e che sicuramente all'epoca aveva avuto la possibilità di consultare. Probabilmente per questo motivo il manoscritto di Commandino in BUU, Fondo del comune, Busta 121 e la versione pubblicata nel 1588 iniziano dal III libro. La traduzione delle *Collezioni Matematiche* uscì nel 1588 a Pesaro e venne ristampata nell'anno successivo a Venezia. Dalla prefazione di Spaccioli possiamo desumere che la pubblicazione di Pappo era stata sostenuta e finanziata da Francesco Maria II, il quale da giovane aveva appreso la matematica da Commandino. Segue poi una lettera al *Candido lectori* non firmata, probabilmente scritta da Guidobaldo del Monte, in cui si rivela che gli spazi vuoti stanno a significare che Commandino non poté terminare la traduzione a causa della sua dipartita. Nella *Vita di Commandino* Baldi riferisce che inizialmente il completamento dell'opera era stato affidato da Francesco Maria II a Francesco Barozzi, che al tempo si trovava a Venezia. Dopo alcune settimane, Barozzi fu costretto a restituire il manoscritto di Commandino agli eredi, i quali per il troppo tempo trascorso dal momento dell'assegnazione dell'incarico di pubblicazione, iniziavano a insospettirsi, accusandolo di esitare troppo e di voler usare la traduzione di Commandino per pubblicare una sua versione delle *Collezioni Matematiche*. Sotto la pressione degli eredi, Francesco Maria II rientrò in possesso del manoscritto e lo consegnò a Guidobaldo del Monte, il quale accettò di velocizzare la pubblicazione dell'opera del maestro, anche a costo di non riuscire a colmare le evidenti lacune. Dalla corrispondenza tra Barozzi e Clavio emerge sia che Barozzi poté consultare a Venezia un codice di Pappo migliore rispetto a quello utilizzato da Commandino sia che non era intenzione di Barozzi appropriarsi della versione di Commandino, ma, al contrario, che il suo obiettivo era solo quello di correggerla. Qualche giorno dopo la restituzione del manoscritto, Barozzi rivelava a Clavio in una lettera, che avrebbe voluto stampare, non sappiamo se per vendetta o per fare un buon servizio alla memoria dell'urbinate, una sua traduzione migliore di quella di Commandino. La traduzione, conclusa il 31 marzo 1588, sarebbe rimasta manoscritta ed è ora conservata presso la Bibliothèque Nationale de Paris⁸⁶³.

⁸⁶⁰ Peruzzi, 2014.

⁸⁶¹ Commandino, 1558b.

⁸⁶² Commandino, 1588.

⁸⁶³ Per una completa ricostruzione dell'*affaire* Pappo rimandiamo Passalacqua, 1994.

A3. Commandino sulla via di Damasco. Il bagliore della matematica antica

Commandino ricevette una formazione iniziale basata principalmente sullo studio del greco e del latino. Frequentò poi medicina all'università, concludendo il ciclo di studio nel 1544. Il biografo e allievo Baldi riferisce che le perdite precoci della moglie e del figlio, portarono Commandino ad accantonare la medicina per dedicarsi allo studio delle matematiche. Dal nostro punto di vista potrebbe essere interessante inserire questa scelta compiuta da Commandino in un contesto storico-scientifico più ampio, in cui la medicina non aveva la stessa attendibilità scientifica che ha ora, anzi era assoggettata al sapere astrologico, in modo da provare a valutare l'improvviso cambiamento di interesse di Commandino in relazione alla condizione della scienza del periodo.

Fino all'opera fondamentale di Andrea Vesalio (1543), momento in cui la medicina inizia faticosamente a ritagliarsi una propria fisionomia molto più legata all'attività empirica che a quella speculativa, l'arte medica era strettamente connessa ai calcoli astrali e quindi, da un certo punto di vista, faceva uso della matematica. Tuttavia, i calcoli calibrati in base ai movimenti degli astri e in combinazione con le teorie umorali rendevano la pratica medica soggettiva e imprecisa. Quando Commandino nel 1550 abbandonò l'arte fallace della medicina in favore della certezza della matematica, in realtà rigettò il modo di studiare i fenomeni naturali propri della medicina "tradizionale" in favore dell'oggettività della matematica, quale disciplina sorretta dal procedimento assiomatico-deduttivo. Il rispetto per la matematica potrebbe essere maturato durante la sua educazione giovanile, fase in cui sviluppò la passione per i classici della matematica antica. Sin dal 1527 Commandino respirava la necessità della restaurazione della letteratura matematica antica grazie al suo precettore Grassi, il quale gli aveva rinforzato il greco e il latino e gli aveva insegnato i primi rudimenti di matematica.

Nel 1530 Commandino andò a Roma con Ridolfi, ed è lecito pensare che in quegli anni poté consultare con una adeguata preparazione i numerosi testi di matematica che il cardinale aveva a disposizione. Nel 1549 conobbe Ranuccio Farnese, il quale avrebbe indirizzato le sue principali occupazioni verso il recupero dei classici della matematica. Grazie a Farnese e alla sua cerchia di amici e letterati, l'urbinate ebbe modo di venire in contatto con i maggiori umanisti e intellettuali dell'epoca. Fondamentale fu l'incontro con Marcello Cervini che gli regalò, Rose pensa solo metaforicamente, mentre Commandino e Baldi sono troppo eloquenti, il *De Analemmate* di Tolomeo e *Sui corpi galleggianti* di Archimede⁸⁶⁴. Presumibilmente Commandino ricevette il regalo tra il 1550 e il 1553, quindi possiamo affermare che, benché il lavoro di Commandino sui testi fosse iniziato nel 1550, avesse raggiunto l'acume nel 1553 e la conversione alla certezza delle matematiche fosse avvenuta nel 1544, l'attenzione iniziale verso la matematica antica può essere fatta risalire al 1530 o addirittura al 1527.

A4. Metodo e stile di Commandino

Molti studiosi si sono chiesti se Commandino avesse avuto un suo metodo, soprattutto per dimostrare i teoremi presenti nel *Liber de centro gravitatis solidorum*. Da un'analisi dell'opera e delle sue traduzioni emerge che Commandino utilizzò teoremi già dimostrati dal matematico siracusano nei *Conoidi e Sferoidi*, nella *Sfera e cilindro* e ne *Sull'equilibrio dei piani* e da Apollonio nelle *Coniche* e impiegò alcuni procedimenti già presenti nella letteratura matematica greca, come la riduzione all'assurdo (già frequentemente impiegato negli *Elementi* di Euclide) e il metodo di esaustione (introdotto da Archimede)⁸⁶⁵. Tuttavia, estendendo i teoremi delle opere archimedee alle dimostrazioni dei teoremi riguardanti il centro della gravità dei solidi e, in particolare, riguardanti il

⁸⁶⁴ Commandino, 1565b; Baldi, 1998, p. 503.

⁸⁶⁵ Sul tema rimandiamo a Gamba e Montebelli, 2015; Saito, 2013.

centro di gravità di un paraboloide, quest'ultimo rimasto indimostrato nei *Sui corpi galleggianti*, Commandino sembra compiere dei salti logici e concedere troppo all'intuizione⁸⁶⁶.

Nel *Metodo dei teoremi meccanici* (d'ora in poi *Metodo*) inviato a Eratostene e contenuto nel codice C, ritrovato dal filologo J. L. Heiberg nel 1906 e molto probabilmente sconosciuto a Commandino, Archimede presentava una serie di procedimenti per mezzo della meccanica «per meglio comprendere le questioni matematiche»⁸⁶⁷. Il *Metodo* di Archimede contiene undici *Lemmi* da cui derivano sette proposizioni. Tralasciando di descrivere dettagliatamente il contenuto, proponiamo immediatamente la proposizione 5 del *Metodo*:

Che il centro di gravità del segmento del conoide rettangolo tagliato da un piano perpendicolare all'asse è sulla retta che è asse del segmento, così divisa la retta suddetta che la parte di essa verso il vertice sia doppia della parte rimanente, così si vede con questo metodo.

Questa è la proposizione che chiarisce la proprietà per cui «il centro di gravità di qualunque segmento di conoide rettangolo è sull'asse, diviso in modo che la parte dell'asse verso il vertice sia doppia della restante», ovvero quella proprietà che Archimede applica, ma senza dimostrarla, nella proposizione 2 del libro II dei *Sui corpi galleggianti*:

Il segmento retto di un conoide rettangolo se ha l'asse non maggiore di una volta e mezzo la «retta condotta fino all'asse» ed ha qualunque rapporto in peso col liquido, abbandonato nel liquido in modo che la sua base non tocchi il liquido, se vien posto inclinato non resta inclinato, ma si dispone «diritto». Dico che è «diritto» un segmento tale che il piano che lo taglia è parallelo alla superficie del liquido.

Proviamo ora a ripercorrere il procedimento meccanico di Archimede sulla base della ricostruzione di Frajese: dati un paraboloide di rotazione ABC e un cono ABC , si consideri il paraboloide di rotazione tagliato da un piano perpendicolare all'asse AD e da un piano passante per AD , in modo da ottenere la sezione di cono rettangolo (parabola). Si individui la sezione comune del paraboloide e del cono, che è il cerchio con diametro BC . Si prolunghi il centro del cerchio verso il vertice del paraboloide e fino al punto H , tale che $AD = AH$. Si tracci un'ordinata qualunque OP parallela a BC in modo che intersechi il paraboloide e i segmenti AC e AB , generatrici del cono, nei punti R , Q e S . Quindi si stabilisca le proporzioni tra i segmenti del paraboloide e del cono secondo quanto stabilito nella *Quadratura della parabola*, proposizione 3⁸⁶⁸, negli *Elementi* di Euclide, Libro V, definizione IX⁸⁶⁹, Libro V, proposizione 9⁸⁷⁰, Libro VI, proposizione 17⁸⁷¹, e Libro XII, proposizione 2⁸⁷². A questo punto è possibile individuare la seguente proporzione $HA : AS = \text{cerchio di diametro } OP : \text{cerchio di diametro } QR$ (Fig. A.3). Con il cerchio di diametro OP che taglia il paraboloide $= PS^2 \times \pi$ e il cerchio di diametro QR che taglia il cono $= RS^2 \times \pi$.

⁸⁶⁶ Gamba e Montebelli, 2015, pp. XX-XXXI.

⁸⁶⁷ Nel corso dell'esame del *Metodo dei teoremi meccanici* utilizzeremo le traduzioni e i commenti di Dijksterhuis, 1987, e di Frajese (in Frajese, 1974).

⁸⁶⁸ Frajese, 1974, *Quadratura della parabola*, proposizione 3: «Se ABC è sezione di un cono rettangolo, la AD è parallela al diametro o è essa stessa diametro, e si conducono le rette BD , OS parallele alla tangente in A alla sezione del cono, si avrà che come la AD sta alla AS , così in potenza la BD sta alla OS ».

⁸⁶⁹ Euclide, 1970, Libro V, definizione IX: «Quando tre grandezze sono proporzionali, si dice che la prima ha con la terza rapporto duplicato rispetto a quello che ha con la seconda».

⁸⁷⁰ Euclide, 1970, Libro V, proposizione 9: «Grandezze che abbiano lo stesso rapporto rispetto ad una medesima grandezza sono uguali fra loro; e grandezze rispetto alle quali una medesima grandezza abbia lo stesso rapporto, sono uguali».

⁸⁷¹ Euclide, 1970, Libro VI, proposizione 17: «Se tre rette siano proporzionali, il rettangolo compreso dai termini estremi è uguale al quadrato del termine medio; e se il rettangolo compreso dai termini estremi è uguale al quadrato del termine medio, le tre rette sono proporzionali».

⁸⁷² Euclide, 1970, Libro XII, proposizione 2: «I cerchi stanno fra loro come i quadrati dei diametri».

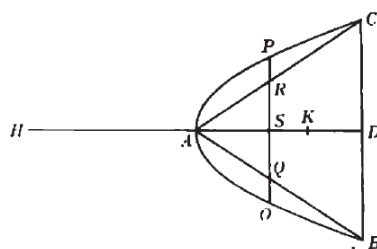


Fig. A.3 Frajese, 1974, *Metodo*, p. 592.

Il nucleo del procedimento archimedeo è nell'immaginare che l'asse HD sia l'asta di una leva con fulcro in A e che tra i diametri ci sia una proporzione in grado di mantenere una leva in equilibrio come tra distanze e pesi. Infatti, riporta Frajese:

Dunque il cerchio il cui diametro è OP , rimanendo dov'è, farà equilibrio, rispetto al punto A [come fulcro], al cerchio il cui diametro è QR , trasportato sulla leva nel punto H , in modo che il suo centro di gravità sia H .⁸⁷³

Quindi, sulla base del Lemma VII⁸⁷⁴, si può giungere alla seguente conclusione:

Poiché dunque il centro di gravità del cerchio, il cui diametro [è] OP , rimasto dov'è, è il [punto] S (lemma VII) e il centro di gravità del cerchio il cui diametro [è] QR , trasportato come s'è detto, [è] il punto H , si ha l'inversa proporzionalità: HA sta ad AS come il cerchio il cui diametro [è] la OP [sta] al cerchio il cui diametro [è] la QR ; dunque [questi cerchi] si faranno equilibrio intorno al punto A [come fulcro].⁸⁷⁵

Per visualizzare al meglio la relazione si prenda in considerazione la seguente figura tratta da Assis e Magnani (2016), in cui i cerchi di diametro OP e QR sono immaginati posti su una bilancia (Fig. A.4):

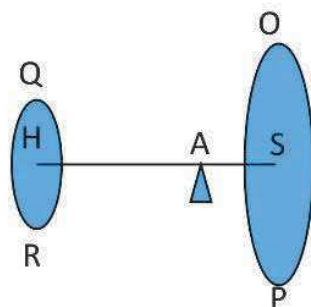


Fig. A.4 Diagramma tratto e adattato da Assis e Magnaghi, 2016, p. 43.

Dobbiamo ora individuare il punto dove collocare il centro di gravità del paraboloide, ovvero il punto della leva in cui il paraboloide dovrà essere posizionato per equilibrare il cono che ospitava e che ora idealmente collochiamo sulla leva con punto di applicazione e con centro di gravità in H (Fig. A.5 e Fig. A.6). Se consideriamo le seguenti proprietà:

⁸⁷³ Frajese, 1974, *Metodo*, Propoizione 5, p. 592.

⁸⁷⁴ Frajese, 1974, *Metodo*, Lemma VII: «Il centro di gravità di un cerchio è [il punto] che è anche centro del cerchio».

⁸⁷⁵ Frajese, 1974, *Metodo*, Propoizione 5, p. 592.

a) «Se i centri di gravità di quante si vogliono grandezze sono sulla stessa retta, anche il centro [di gravità] della grandezza composta da tutte sarà sulla stessa retta»⁸⁷⁶,

b) il centro di gravità delle due grandezze prese insieme è il punto A,

c) il paraboloide è una volta e mezza ($3/2$) il cono (*Conoidi e sferoidi*, proposizione 21 e proposizione 4 del *Metodo*⁸⁷⁷),

d) la relazione tra i volumi del cilindro, del cono e del paraboloide, secondo la quale il Volume del cilindro = 2 x Volume del cono = 3 x Volume del paraboloide⁸⁷⁸,

allora anche HA è una volta e mezza AK e K è centro di gravità paraboloide e divide AD in modo che la parte il vertice sia doppia della parte restante.

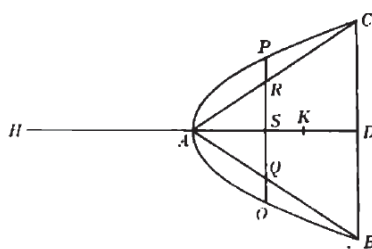


Fig. A.5 Frajese, 1974, *Metodo*, p. 592.

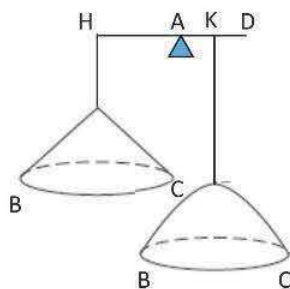


Fig. A.6 Diagramma tratto e adattato da Assis e Magnaghi, 2016, p. 45.

Abbiamo mostrato le proporzioni tra bracci e cerchi di diametro PO e RQ , ora proviamo a determinare in maniera più analitica il punto in cui deve essere posizionato il paraboloide, affinché quest'ultimo riesca a equilibrare il cono posto in H .

Nella proposizione 4 Archimede aveva mostrato che il volume del cilindro corrisponde al doppio del volume del paraboloide. Pertanto, se immaginiamo le due figure su una leva, un paraboloide di volume (Vp) x equilibra un cilindro di volume (Vc) $2x$ se il paraboloide è posto a distanza doppia dal fulcro rispetto al punto di applicazione del cilindro. In altre parole possiamo dire che siccome $AH : (\frac{1}{2} AH) = Vc : Vp$, allora $AH \times Vp = \frac{1}{2} AH \times Vc$, il che vuol dire che il volume del cilindro è 2 volte il volume del paraboloide. Allo stesso modo il volume del cilindro è tre volte ($r^2 \pi \times h$) il volume del cono (Vcn) $[(r^2 \pi \times h) / 3]$. Pertanto se $Vc = 2 Vp = 3 Vcn$, allora $Vp = 3/2 Vcn$. Allo stesso modo si pongono in relazione le distanze con i volumi del paraboloide e del cono e quindi grazie a una semplice sottrazione si ottiene la posizione di K .

⁸⁷⁶ Frajese, 1974, *Metodo*, Lemma III.

⁸⁷⁷ «Che qualunque segmento di conoide rettangolo tagliato da un piano perpendicolare all'asse è una volta e mezza il cono avente la stessa base del segmento e lo stesso asse: ciò si vede mediante questo metodo».

⁸⁷⁸ *Conoidi e sferoidi*, Proporzione 21; *Metodo*, Proposizione 4.

Se il volume del paraboloide (V_p) è $3/2$ il volume del cono (V_{cn}), affinché ci sia equilibrio, la distanza tra il fulcro e il cono ($d_{cn} = AH$) deve essere $3/2$ della distanza tra il fulcro e il paraboloide ($d_p = AK$).

Se $V_{cn} = 1$

e d_p è 1,

allora $3/2 \times 1 = 1 \times d_{cn}$ e $d_{cn} = 3/2$, pertanto $3/2 \times 1 = 1 \times 3/2$ e $KD = 3/2 - 1 = 1/2$.

Infatti $(3/2 V_{cn}) : V_{cn} = AH : AK$

Se $V_{cn} = 1$ e $AK = 1$, allora $AH = 3/2 \times 1 : 1 = 3/2$

Se $KD = AH - AK = 3/2 - 1 = 1/2$, allora $AK = 2 KD$.

Possiamo riassumere il metodo inviato da Archimede ad Eratostene nei seguenti tre passaggi: 1) equiparare la figura da studiare a una figura nota, tale che le sezioni comuni si trovino in un certo rapporto, 2) porre su una bilancia ideale le sezioni trovate delle figure in modo che ci sia equilibrio tra le sezioni delle stesse figure e 3) porre sulla bilancia le due figure in modo che la prima equilibri la seconda. Il metodo, come indica lo stesso Archimede, permette di considerare le «questioni matematiche per mezzo della meccanica» mediante l'applicazione delle condizioni che consentono a una bilancia di essere in equilibrio. Nella lettera a Eratostene Archimede aveva scritto:

[...] decisi di scriverti e di esporti nello stesso libro le caratteristiche di un certo metodo, mediante il quale ti sarà data la possibilità di considerare questioni matematiche per mezzo della meccanica. E sono persuaso che questo [metodo] sia non meno utile anche per la dimostrazione degli stessi teoremi. E infatti alcune delle [proprietà] che a me dapprima si sono presentate per via meccanica sono state più tardi [da me] dimostrate per via geometrica, poiché la ricerca [compiuta] per mezzo di questo di questo metodo non è una [vera] dimostrazione: è poi più facile, avendo già ottenuto con [questo] metodo qualche conoscenza delle cose ricercate, compiere la dimostrazione, piuttosto che ricercare senza alcuna nozione preventiva.⁸⁷⁹

A differenza di Archimede, Commandino non equiparò il volume del cono a quello di un paraboloide, ma, senza utilizzare stratagemmi meccanici, applicò il metodo dei cilindri inscritti e circoscritti, già impiegato da Archimede per determinare il centro di gravità del paraboloide (*Conoidi e sferoidi*, proposizioni 19 e 21). Nella Proposizione XXIX⁸⁸⁰ Commandino, dopo aver fissato il punto medio del conoide rettangolo e averlo diviso in quattro parti, circoscrive e inscrive cilindri di uguale altezza, rilevando di volta in volta i centri della gravità e mettendoli in relazione tra loro. Alla fine del teorema, prima della dimostrazione per assurdo, Commandino compie quasi un salto logico, proponendo una generalizzazione che non dimostra⁸⁸¹:

Perciò se si inserissero ancora altre figure, nello stesso modo si dimostra che i loro centri della gravità si spostano ugualmente rispetto a questi e si avvicinano al centro della gravità del segmento di conoide. Da tutto ciò risulta che il centro della gravità del segmento sta nel punto medio della linea $\pi\varphi$.⁸⁸²

⁸⁷⁹ Frajese, 1974, *Metodo*, p. 572.

⁸⁸⁰ Commandino, 2015, Proposizione XXIX: «L'asse di un qualsivoglia segmento di conoide rettangolo è diviso dal centro della gravità in modo tale che parte di asse che va a terminare nel vertice del segmento, è il doppio della parte rimanente che va a terminare nella base».

⁸⁸¹ Gamba e Montebelli, 2015, p. XXI.

⁸⁸² Commandino, 2015, Proposizione XXIX, p. 112.

Presumibilmente anche Galileo aveva notato che alcune dimostrazioni di Commandino non mancassero di «qualche imperfezzione»⁸⁸³, in particolare l'ultima proposizione (Proposizione XXXI) già accusata da Guidobaldo di «non essere buona per essere universale»⁸⁸⁴.

A5. L'algebra negli *Elementi* di Commandino

La traduzione degli *Elementi* da parte di Federico Commandino ha una struttura che presenta tre livelli di lettura: le proposizioni attribuite a Euclide, gli scoli antichi e i commenti di Commandino. Per rendere più incisive le sue spiegazioni nei commenti agli *Elementi*, Commandino fa largo uso di due strategie allo stesso tempo dimostrative ed argomentative: la dimostrazione per assurdo e l'algebra.

Commandino usa l'algebra soprattutto per chiarire molte dimostrazioni di teoremi, come quelle presenti nel Libro X, e, in misura minore, per chiarire le *definizioni*⁸⁸⁵. All'interno degli *Elementi* le *definizioni* svolgono un ruolo polivalente, perché, come Fabio Acerbi spiega, esse non vengono utilizzate solo per fissare il senso di un certo termine, ma alcune contengono delle spiegazioni o addirittura dei teoremi⁸⁸⁶. A seguito della *definizione* V del Libro V, troviamo un esempio di impiego dell'algebra per commentare il contenuto di una *definizione*. La *definizione* da chiarire è la seguente:

Le grandezze si dicono essere nella medesima propositione, la prima alla seconda, et la terza alla quarta, quando le ugualmente molteplici della prima, et della terza, o vero insieme avanzano le ugualmente molteplici della seconda, et della quarta secondo qual si voglia moltiplicazione, o vero insieme le pareggiano o vero insieme sono avanzate.⁸⁸⁷

La proporzione, che per noi corrisponde semplicemente a un'uguaglianza tra due rapporti, nel Cinquecento aveva un ruolo ben più vasto e rilevante sia nello studio dei poliedri che nella costruzione di edifici: Luca Pacioli aveva dedicato all'argomento un testo dal titolo eloquente, il *De Divina Proportione*⁸⁸⁸. La proporzione sarebbe diventata nel Seicento il linguaggio ottimale per l'ideazione di una nuova filosofia della natura e vedrà in Galileo uno dei maggiori interpreti⁸⁸⁹.

Negli *Elementi* curati da Commandino il termine proporzione è introdotto nello scolio antico a termine del Libro IV, il quale ha il compito di fornire al lettore gli strumenti necessari per la comprensione del libro successivo. La proporzione, viene chiarito nello scolio, deve essere intesa come convenienza, cioè armonia, tra più grandezze (aggiungiamo, omogenee). Vengono quindi distinte cinque tipi di *proportione*: *moltiplice* (come 6 a 3), *superparticolare* (come 4 a 3), *superpartiente* (come 5 a 3), *moltiplice superparticolare* (come 7 a 3) e *moltiplice superpartiente* (come 8 a 3), le ultime due nascono dalla composizione delle precedenti. Nella *definizione* IV del Libro V⁸⁹⁰ Commandino ritorna sul concetto di *proportione* e afferma che a volte la *proportione* non si può esprimere con un numero “razionale”, ma conosciamo solo che una eccede l'altra, senza però sapere quale sia la quantità dell'eccesso.

Chiarito il termine proporzione e distinti i diversi tipi, possiamo accedere, secondo Commandino, alla *definizione* V e comprendere il significato dell'espressione «essere nella medesima proportione».

⁸⁸³ Galilei, 1933b, Quarta giornata, p. 313.

⁸⁸⁴ Galilei, 1934a: n. 10, Guidobaldo del Monte a Galilei, 16 gennaio 1588.

⁸⁸⁵ Sul tema si confronti Gamba, 2009a, pp. 33-36.

⁸⁸⁶ Euclide, 2014, p. 219.

⁸⁸⁷ Commandino, 1575a, Libro V, Diffinitione V, p. 63r.

⁸⁸⁸ Il *Divina proportione* di Pacioli ospitava integralmente il *Libellus de quinque corporibus regularibus* del suo maestro Piero della Francesca. Questa appropriazione venne ritenuta così indegna da Vasari, tanto da accusare Pacioli di plagio.

⁸⁸⁹ Sull'argomento si veda Giusti, 2013, p. 127, e Giusti, 1993.

⁸⁹⁰ Commandino, 1575a, Libro V, Diffinitione IV: «Le grandezze si dicono haver proportione fra loro, le quali moltiplicate si possono avanzare».

Commandino apre il suo commento alla *definizione* V ponendo in relazione quattro grandezze A [6], B [4], C [3], D [2]. Quindi prende in considerazione i *multiplici* della prima e della terza e i *multiplici* della seconda e della quarta. Euclide aveva introdotto il termine *multiplici* nella definizione II: «La grandezza maggiore è multiplice della minore, quando la minore misura la maggiore». Possiamo “tradurre” *multiplici* con l’odierno *equimultipli*, cioè quelle quantità che provengono da altre quantità moltiplicate per uno stesso fattore⁸⁹¹.

Al fine di rendere più comprensibile il commento da un punto di vista quantitativo e visivo, Commandino allega alla spiegazione alcune figure rappresentanti gruppi di segmenti con i numeri accanto (Fig. A.7).

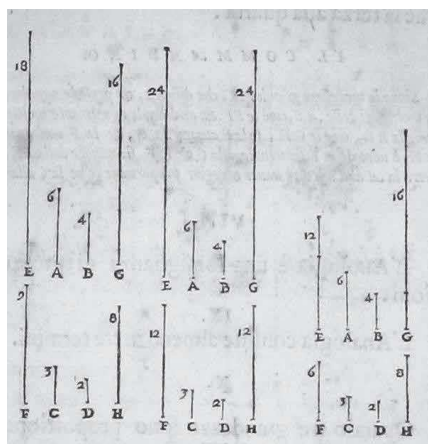


Fig. A.7 Commandino, 1575a, Libro V, Diffinitione V, p. 63r.

Grazie alle figure, possiamo attribuire delle quantità alle etichette indicate all’interno del testo. Commandino prende in considerazione i multipli di A 6 e C 3, B 4 e D 2, come ad esempio E [18] e F [9], G [16] e H [8], in modo che E sia multiplo di A come F di C e che G sia multiplo di B come H di D . In questi casi il divisore di $E A$ e $F C$ è 3, mentre il divisore di $G B$ e $H D$ è 4.

Infatti $E : A = x = F : C$; $G : B = x = H : D$
 $18 : 6 = 3 = 9 : 3$; $16 : 4 = 4 = 8 : 2$.

Come nella tradizione abachistica, Commandino stabilisce una serie di casi di grandezze multiple di A , B , C , D , mostrando che la proporzione viene mantenuta. Secondo Commandino, possiamo anche scrivere le proporzioni tra grandezze ponendo gli equimultipli in relazione tra loro:

- 1) $E > G \rightarrow F > H$ $18 > 16 \rightarrow 9 > 8$;
- 2) $E = G \rightarrow F = H$ $24 : 24 \rightarrow 12 : 12$;
- 3) $E < G \rightarrow F < H$ $12 < 16 \rightarrow 6 < 8$.

Possiamo scrivere le stesse grandezze mettendo in relazione le grandezze inizialmente prese in considerazione con i divisori degli equimultipli (dove 3, 4, 6, 2 sono rispettivamente i divisori $[d]$ delle grandezze multiple E, G, F, H):

- 1) $6[A] \times 3[d] > 4[B] \times 4[d] \rightarrow 3[C] \times 3[d] > 2[D] \times 4[d]$;
- 2) $6[A] \times 4[d] = 4[B] \times 6[d] \rightarrow 3[C] \times 4[d] = 2[D] \times 6[d]$;

⁸⁹¹ Sull’argomento si veda Enriques, 1930.

$$3) \quad 6[A] \times 2[d] < 4[B] \times 4[d] \rightarrow 3[C] \times 2[d] < 2[D] \times 4[d].$$

La proporzione persiste perché le grandezze «avanzano insieme» secondo una stessa grandezza «intera» applicata in maniera ordinata ad A, B, C, D .

Soddisfatte queste condizioni, secondo Commandino possiamo dire che A e B hanno la medesima proporzione di C e D :

$$A : B = C : D \quad 6 : 4 = 3 : 2.$$

Quindi, secondo Commandino, le grandezze possono essere considerate nella stessa proporzione quando queste stesse grandezze aumentano o diminuiscono secondo lo stesso sottomultiplo (per sottomultiplo intendiamo quel numero intero che è contenuto n volte all'interno del numero dato). Per esempio il gruppo di grandezze $6 : 3 = 4 : 2$ è nella stessa proporzione del gruppo $18 : 9 = 16 : 8$, secondo i sottomultipli 3 e 4. Chiarito il modo di intendere la relazione di proporzione tra grandezze, Commandino affronta la spinosa questione delle similitudini degli eccessi e dei difetti delle quantità in proporzione, distanziandosi dal commento di Campano e accusandolo di *petitio principii*:

bisogna intender l'eccesso, et il difetto semplicemente, non secondo la proportion, come volse il Campano, altramente il medesimo se dichiararia per il medesimo, che è inconveniente.⁸⁹²

Campano nella sua edizione agli *Elementi* di Euclide aveva scritto: «È chiaro che la similitudine degli eccessi o dei difetti non si deve intendere secondo la quantità dell'eccesso, ma secondo la proporzione. Pertanto, il senso della definizione è: sono continuamente proporzionali quelle grandezze i cui molteplici uguali sono continuamente proporzionali. Ma Euclide non ha voluto porre la definizione in questo modo, perché avrebbe definito una cosa tramite sé stessa»⁸⁹³.

In risposta alla circolarità dell'argomento addotto da Campano, peraltro figlio di un susseguirsi di interpretazioni basate su versioni spurie del Libro V, Commandino propone di interpretare l'eccesso e il difetto «semplicemente»⁸⁹⁴. In base all'interpretazione di Campano, se gli equimultipli di A stanno agli equimultipli di B come gli equimultipli di C stanno agli equimultipli di D , allora le grandezze sono nella stessa proporzione. Diversamente, Commandino considera la possibilità di avere a disposizione equimultipli di quattro grandezze senza che essi siano in proporzione. Dati due gruppi di grandezze, A [5], B [4], C [7], D [6] e A [6], B [4], C [5], D [3], Commandino vuole stabilire se esse siano in proporzione (Fig. A.8)⁸⁹⁵. Quindi prende in considerazioni i loro multipli:

$$\begin{array}{ll} E : A = F : C & 20 : 5 = 28 : 7 \text{ (gruppo 1); } 24 : 6 = 20 : 5 \text{ (gruppo 2)} \\ G : B = H : D & 20 : 4 = 30 : 6 \text{ (gruppo 1); } 24 : 4 = 18 : 3 \text{ (gruppo 2).} \end{array}$$

⁸⁹² Commandino, 1575a, Libro V, Diffinitione V, p. 63r.

⁸⁹³ Giusti, 2013, pp. 130-131. Campano, 1482, p. 34r: «Similitudo autem in addendo aut diminuendo intelligatur hic sicut in diffinitione continue proportionalium: videlicet non quantum ad quantitatem excessu: sed quantum ad proportionem».

⁸⁹⁴ Commandino, 1575a, Libro V, Diffinitione V, p. 63r.

⁸⁹⁵ Sulla ricezione del commento di Commandino alla Definizione V del Libro V degli *Elementi* di Euclide si vedano Giusti, 1993, e Giusti, 2013.

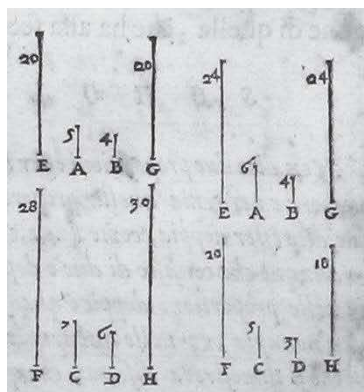


Fig. A.8 Commandino, 1575a, Libro V, Diffinitione V, p. 63r.

Le grandezze sembrano essere in proporzione: E è multiplo di A e F è multiplo di C secondo lo stesso fattore 4. G e H sono multipli di B e di D secondo lo stesso fattore 5. Ma, continua Commandino, anziché ottenere delle uguaglianze ($E : G = F : H$), se il multiplo di C è minore del multiplo di D , allora i multipli di A e B avranno una maggiore proporzione ($E : G \neq F : H$), cioè $(5 \times 4) : (4 \times 5) > (7 \times 4) : (6 \times 5)$ che equivale a $20 : 20 > 28 : 30$ (gruppo 1), e se il multiplo di D è minore del multiplo di C , allora i multipli di A e B avranno una minore proporzione ($E : G \neq F : H$), cioè $(6 \times 4) : (4 \times 6) < (5 \times 4) : (3 \times 6)$, che equivale a $24 : 24 < 20 : 18$ (gruppo 2). Pertanto, secondo Commandino, il metodo proposto da Campano non è conveniente, perché non bisogna considerare l'eccesso e il difetto dipendenti dalla proporzione, in quanto le grandezze possono avanzare insieme senza che tra loro ci sia un giusto rapporto.

Anche Tartaglia, nella sua versione volgare degli *Elementi* di Euclide, aveva colto la debolezza dell'interpretazione di Campano:

Si uede adonque che quella similitudine di eccedere, diminuire, & equaliare se piglia, largo modo, & non se ha rispetto che tal eccedere, ouer diminuire sia ne secondo la quantità del eccesso, ne secondo la proportion, come vuol la seconda parte, ne etiam si debbe, ne si puo dar a tal diffinitione quel senso che in la detta seconda parte se conclude (qual dice cosi) discontinue proportionale sono quattro quantità, & la proportion della prima alla seconda e si come della tertia alla quarta, quando li moltiplici tolti come se propone, serà la proportion del moltiplice della prima al moltiplice della seconda si come del moltiplice della tertia al moltiplice della quarta. Perche il se diffinieria tal cosa per quella istessa, per il che la cosa diffinita insieme con la diffinitione ueriano a restar equalmente ignote. Esempli gratia, se io non so conoscer in le quattro proposte quantità se quelle siano proportionale manco saprò io conoscer ne dimostrar tal cosa nelli quattro moltiplici che son pur quattro quantità, uero è che uno tal senso potria admettere per propositione (per esser dimostrabile) & seria il conuerso della quarta propositione di questo, & se dimostraria per mezzo di questa settima diffinitione procedendo per lo conuerso modo della quarta di questo, riducendo lo aduersario allo impossibile, ma per diffinitione non è a proposito. Et nota che questa settima diffinitione parla alquanto più corretamente nella seconda tradottione qual dice in questa forma. Le grandezze se dicono esser in una proportion, cioè la prima alla seconda, & la tertia alla quarta quando li moltiplici tolti equalmente alla prima & tertia comparati alli moltiplici tolti equalmente alla seconda & quarta che insieme si eccedino, ouer che insieme siano equali, ouer che insieme manchino, nientedimeno, in sostantia son conforme.⁸⁹⁶

La *definizione* V è stata oggetto di particolare attenzione da parte dei commentatori sia perché considerata alla base dell'impalcatura del Libro V sia a causa della sua intrinseca problematicità interpretativa. Anche Guidobaldo in *In quintum Euclidis Elementorum librum Commentarius*, commentario rimasto manoscritto, ritornerà sul commento alla *definizione* V, rivelando giustamente che se noi consideriamo gli equimultipli di quattro grandezze date non riusciamo a valutare se tali

⁸⁹⁶ Tartaglia, 1543a, f. LXIIv, corsivo nostro.

grandezze siano in proporzione e che, invece, ponendo come condizione che siano in proporzione allora gli equimultipli saranno sempre in proporzione⁸⁹⁷.

Alla base della problematicità delle proporzioni vi era anche un limite del suo utilizzo: i rapporti ammessi erano solo rapporti numerici o tra grandezze omogenee. Per esempio, nel caso dell'esame delle condizioni di equilibrio di una leva (Fig. A.9), era concettualmente complicato trasformare una uguaglianza di rapporti ($PO : OP' = \text{distanza}OP' : \text{distanza}OP$) a una uguaglianza di prodotti ($PO \times \text{distanza}OP = PO' \times \text{distanza}OP'$).

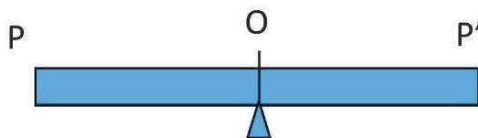


Fig. A.9 Diagramma di una leva in posizione di equilibrio.

Galileo, nella Quinta Giornata dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* rimasta manoscritta e pubblicata da Vincenzo Viviani nel *Quinto libro degli Elementi d'Euclide* (1674⁸⁹⁸), dopo aver definito la proporzionalità non mediante equimultipli ma tra uguaglianza di rapporti, fa esporre a Salviati, alter ego di Galileo, la “sua” definizione V del Libro V di Euclide, dove il capovolgimento della prima frase permette a Salviati di evitare la circolarità della definizione⁸⁹⁹:

Se [di] quattro grandezze gl'egualmente molteplici della prima et terza presi qualunque molteplicità sempre si accordino nel pareggiare, mancare o eccedere gli egualmente molteplici della seconda et quarta io dico che [sono] grandezze proporzionali. Impero che [che] siano (se è possibile) non proporzionali. Adunque una delle antecedenti sarà maggiore di quello che ella dovrebbe essere per haver alla sua conseguente l'istessa proporzione che ha l'altra antecedente alla sua conseguente. Sia questa la A.

A B

C D

Adunque per le cose già dimostrate pigliandosi le egualmente molteplici della A et C in una tale determinata maniera, e gli egualmente molteplici delle B, D in una al maniera come si è insegnato, sarà la molteplice di A maggiore della molteplice di B, ma quella di C non sarà maggiore della molteplice di D, il che è contro al supposto.⁹⁰⁰

A6. La polemica a distanza con Giovanni Battista Benedetti

L'apologia dell'equilibrio indifferente e della teoria meccanica esposta nel *Mechanicorum Liber* portò Guidobaldo a una diatriba a distanza con il matematico veneziano Giovan Battista Benedetti⁹⁰¹. Nel 1585 Benedetti aveva pubblicato l'opera *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* (d'ora in poi *Diversarum speculationum liber*), all'interno del quale compariva una parte interamente dedicata alla meccanica, il *De mechanicis*⁹⁰². In questa sezione Benedetti discuteva molte tematiche già affrontate da Guidobaldo nel *Mechanicorum Liber*, tra cui le condizioni di

⁸⁹⁷ Per un'analisi approfondita si rimanda a Giusti, 1993, e Giusti, 2013.

⁸⁹⁸ Viviani, 1674.

⁸⁹⁹ Giusti, 1993, p. 67.

⁹⁰⁰ Giusti, 1993, pp. 290-291.

⁹⁰¹ Sul rapporto tra la scienza di Benedetti e il suo ambiente culturale si vedano Renn e Damerow, 2012; Omodeo e Renn, 2019; Frank, 2015a. Sulle opere giovanili rimandiamo all'introduzione di Maccagni in Benedetti, 1967; Vailati, 1911d, pp. 161-178.

⁹⁰² Riccardi (in Riccardi, 1887), aveva segnalato una prima edizione dell'opera datata 1580. Tuttavia, gli storici ritengono che la data dell'opera citata da Riccardi sia stata modificata da qualche libraio per accrescere il valore dell'edizione.

equilibrio di una leva, i *Problemi meccanici* attribuiti ad Aristotele e il punto di vista dei sostenitori della *Scientia de Ponderibus*. Possiamo solo immaginare lo stupore che colse Guidobaldo quando si trovò in mano l'opera di Benedetti in cui veniva trattata la meccanica senza citare in nessun luogo il suo *Mechanicorum Liber*. Non è del tutto da escludere, e potrebbe aver addirittura acceso la polemica, che il mancato riferimento a Guidobaldo, in un testo in cui si parla di meccanica, non fosse piaciuto al nostro urbinato. Il perentorio «Hoc primum caput to[tum] desumptum est a n[ostro] mechanicorum libr[o] tractatu de lib[ra]», che annota Guidobaldo nella sua copia in apertura di capitolo, preannuncia un approccio alla lettura non accondiscendente, per non dire ostile. In effetti, nella versione del *Diversarum speculationum liber* in mano a Guidobaldo, già analizzata da Renn e Damerow, è possibile rinvenire una polemica che oscilla tra considerazioni scientifiche e affermazioni pretestuose. La questione è interessante perché, in primo luogo, il pensiero di Benedetti, secondo cui una leva in equilibrio in posizione orizzontale, con agli estremi due pesi uguali, se spostata in posizione obliqua doveva assumere la posizione verticale, collima in maniera imbarazzante, essendone quasi la diretta conseguenza, con il percorso argomentativo tracciato da Guidobaldo nel *Mechanicorum Liber* per difendere l'equilibrio indifferente di una leva⁹⁰³. Guidobaldo riuscì ad evitare pericolose conclusioni e a tutelare il suo equilibrio indifferente grazie a due idee fondamentali: che due pesi posizionati agli estremi di una bilancia dovessero essere considerati uniti e non singoli e che il centro della gravità da tenere in considerazione fosse quello risultante dell'unione dei pesi, e quindi coincidente con quello della bilancia.

⁹⁰³ Infatti Guidobaldo aveva scritto che seguendo il modo di procedere di Giordano, Cardano e Tartaglia la bilancia non doveva ritornare a una posizione orizzontale, ma doveva, contrariamente alla loro conclusione, assumere una posizione verticale: «Per la qual cosa dalle presupposte loro non solo il peso posto in D sarà più grave del peso posto in E, ma per lo contrario il peso E sarà più grave dell'istesso posto in D», Del Monte, 1581, Della Bilancia, Propositione IV, p. 8r.

⁹⁰⁴ Per un'ampia trattazione riguardante l'incomprensione di Guidobaldo rispetto all'uso che fa Benedetti di forze motrici e forze resistenti rimandiamo a Gamba, 2015; Omodeo e Renn, 2019; Becchi, 2015.

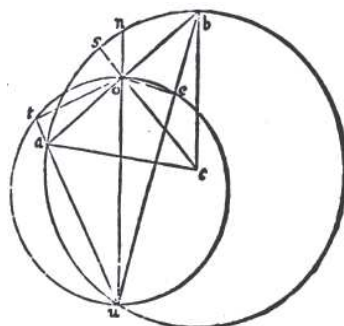


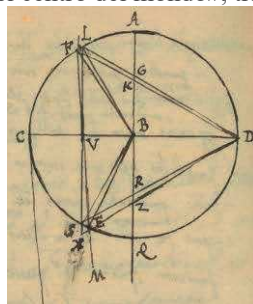
Fig. A.10 Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Cap. VII, p. 149.

Le critiche di Guidobaldo non riguarderanno solamente le pagine del *Diversarum speculationum liber* in suo possesso, ma entreranno anche nelle *Meditatiunculae*. Nei fogli 145 e 146, Guidobaldo commenta i capitoli due e tre del *De Mechanicis* di Benedetti. La critica delmontiana tradisce tuttavia alcune incomprensioni⁹⁰⁷: 1) Guidobaldo non rileva che, secondo Benedetti, il grave in *F* pesa meno rispetto a uno stesso grave in *C*, perché esercita una pressione su *B*, e che il braccio che sostiene *F* è come se fosse *UB* e non *BF* (Fig. A.11); 2) a differenza di quanto farà nel capitolo VII, nei primi capitoli Benedetti ritiene trascurabile la convergenza delle pesantezze dei pesi verso il centro del mondo e pertanto considera il peso in *F* avente una linea di inclinazione passante per *U* ed *E* (Fig. A.11). Questa apparente contraddizione interna tra i primi capitoli e il capitolo VII, portando Guidobaldo a fraintendere il capitolo III e il modo di intendere la linea d'inclinazione, nonché *virtus movens*, *AC* della bilancia *BOA* (Fig. A.12)⁹⁰⁸.

terrestre. Sull'argomento si vedano Renn, 2013, *La controversia sull'equilibrio*, relazione presentata in occasione della mostra ai Musei Capitolini di Roma: Archimede. Arte e scienza dell'invenzione, 30 maggio 2013 (<http://www.museicapitolini.org/en/file/intervento-di-j-r-gen-renn-direttore-del-max-planck-institute-history-science-di-berlino>), Gamba e Montebelli, 1988, p. 241; Omodeo, 2009.

⁹⁰⁷ Gamba (in Gamba, 2015, pp. 110-111) rileva che il nocciolo della critica di Guidobaldo è nella diversa interpretazione della proposizione 6 del primo libro *Sull'equilibrio dei piani* di Archimede citata da Benedetti nel capitolo II del *De Mechanicis* («Le grandezze che sono di peso commensurabile staranno in equilibrio se saranno sospese a distanze inversamente proporzionali ai pesi»). Guidobaldo distingue tra un'interpretazione geometrica e un'interpretazione fisica del problema, distinzione che, secondo il pesarese, non era tenuta in considerazione da Benedetti. Secondo questo punto di vista, la critica di Guidobaldo riguarda l'approccio non rigoroso di Benedetti alla meccanica.

⁹⁰⁸ Tassora, 2001, pp. 424-42 (f. 145), *Contra Cap. 2 Jo. de Benedicti de Mechanicis*: «L'autore afferma nella sua dimostrazione che lo stesso peso in *F* è ugualmente pesante come in *U* e *E*. Ma questo è falso. Le linee *FM AQ* sono cioè non ugualmente distanti, perché loro convergono nel centro del mondo», traduzione nostra.



In *Contra [capitulum] 3 eiusdem* [Tassora, 2001, pp. 427-249 (f.146)], Guidobaldo concentra la sua analisi sulla bilancia *BAC* e non sulla bilancia *BOA*. Pertanto, partendo da questo errato presupposto, tutta la dimostrazione risulterà essere fuori luogo rispetto al ragionamento di Benedetti. Nel corso dell'esame a Guidobaldo viene il dubbio che quella *AC* possa essere intesa come forza movente (*virtus movens*) impressa da una mano. Se fosse così, sottolinea Guidobaldo, allora l'argomento è stato già trattato nel *De axe in peritrochio* (Del Monte, 1581, *Dell'Asse nella rota*, p. 104v; Del Monte, 1577, *De axe in peritrochio*, p. 109r). Tuttavia, nel trattato Guidobaldo non approfondisce il comportamento di forze animate: egli limita la sua indagine al solo rapporto tra pesi. Invece, Galileo, nella versione lunga de *Le Mecaniche*, generalizza il problema del comportamento di una leva sollecitata da pesi al comportamento di una leva sollecitata da

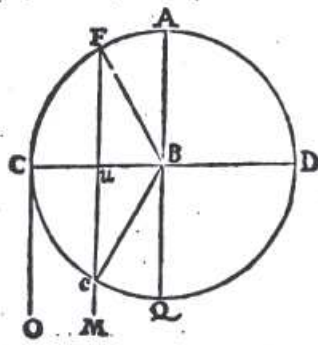


Fig. A.11 Benedetti, 1585, *De mechanicis*, Cap. I, p. 141.

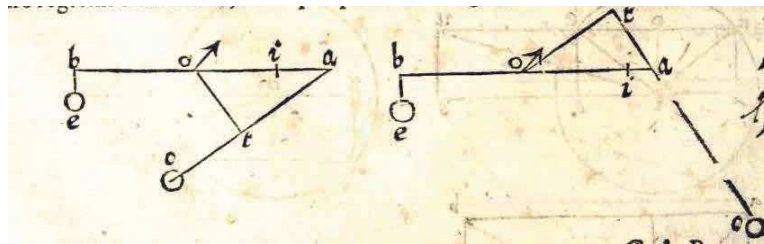
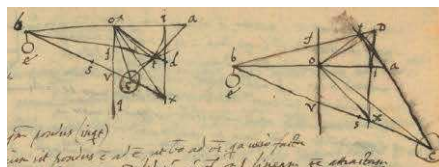


Fig. A.12 Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Cap. III, p. 143.

Ripercorriamo brevemente la costruzione di Benedetti. Nel primo capitolo il matematico veneziano intende giustificare la seguente asserzione: tutti i pesi posti alla fine di un braccio di una leva hanno maggiore o minore gravità a seconda della differenza di posizione del braccio stesso. Benedetti immagina un peso F con una linea d'inclinazione $FUEM$ diretta verso il centro del mondo. Il peso F , scrive Benedetti, non può seguire questa linea senza che il braccio BF sia fatto più corto, perché F esercita una pressione su B . La pressione può essere “visivamente quantificata” misurando l'arco tra gli estremi della leva e la linea verticale ABQ : «Più breve è la distanza verso A da F , più il peso si appoggerà al centro B e quindi il peso sarà anche più leggero. Dico che lo stesso è vero per tutte le posizioni del braccio della leva sull'arco più basso CQ , dove il peso pende dal centro B , attirando il detto centro, come allo stesso modo nel caso appena detto il peso sopra spingeva»⁹⁰⁹.

Nel secondo capitolo dimostra che il rapporto dell'effetto del peso a C all'effetto dello stesso peso a F sarà uguale al rapporto dell'intero braccio BC alla parte BU . In altri termini, Benedetti pone una relazione inversa tra pesi e bracci ($C : F = BC : BU$). Egli inizia il suo ragionamento prendendo in considerazione una situazione di equilibrio. Considerata una leva angolare (che Guidobaldo non discute nel suo *Mechanicorum Liber*) FBD , il peso D è più piccolo del peso C posto in F , nella proporzione in cui BU è parte di BC , in modo che $D : C = UB : BD$. Allo stesso modo $D : F = UB : BD$. Quindi Benedetti prende in considerazione la situazione in cui lo stesso peso C sia invece attaccato a E . In questo caso il peso pende liberamente verso il centro del mondo. Pertanto, continua il veneziano, «un peso è più o meno pesante secondo se pende dal centro o si appoggia sul centro». Termina il capitolo la fondamentale asserzione che rende chiaro il motivo per cui una leva, con bracci equidistanti e con pesi uguali, se spostata da una posizione orizzontale a una inclinata raggiunge una

forze animate (Galilei, 2002, Versione lunga, Dell'asse nella ruota e dell'argano). Sul tema si vedano Gatto, 2002b; Becchi, 2015.



⁹⁰⁹ Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Cap. I, pp. 141-142, traduzione nostra.

posizione verticale: «E da queste considerazioni noi possiamo concludere che se il punto U è ugualmente distante dal centro B e dall'estremità C , il peso F si appoggerà (*nitetur*) sul centro o il peso M penderà (*pendebit*) dal centro B per la metà dal detto centro B . E se U è più vicino a B che a C il peso penderà dal centro o si appoggerà sull'estensione maggiore della metà (CU); e se U è più vicino a C , il peso [penderà o] si appoggerà [sopra il centro] all'estensione di meno della metà (CU)»⁹¹⁰. Pertanto, se il peso è vicino ad A , esso si appoggia maggiormente su B ed è quindi più leggero; al contrario, se il peso è vicino a Q , esso pende maggiormente da B ed è più pesante. Il procedimento di Benedetti, adoperato per esaminare il comportamento di un peso su un'estremità di una leva angolare, ricorda vagamente l'analisi del piano inclinato contenuta nella *Della vite* de *Le Meccaniche* di Galileo⁹¹¹.

Intendasi dunque il cerchio AIC , ed in esso il diametro ABC , ed il centro B , e due pesi di eguali momenti nelle estremità A , C ; sì che, essendo la linea AC un vette o libra mobile intorno al centro B , il peso C verrà sostenuto dal peso A . Ma se c'immagineremo il braccio della libra BC essere inclinato a basso secondo la linea BF , in guisa tale però che linee AB , BF restino salde insieme e continuate nel punto, allora il momento del peso C non sarà più uguale al momento del peso A , per essere diminuita la distanza dal punto F dalla linea della direzione che dal sostegno B , secondo la BI , va al centro della terra. Ma se tireremo dal punto F una perpendicolare alla BC , quale è la FK , il momento del peso in F sarà come se pendesse dalla linea KB ; e quanto la distanza KB è diminuita dalla distanza BA , tanto il momento del peso F è scemato dal momento del peso A .⁹¹²

Galilei riduce il problema del piano inclinato alla proporzione tra la forza che «muove il peso in su il perpendicolo» e la «forza che lo muove nel piano elevato», il che è come dire $C : F = BC : KB$ (Fig. A.13). Notiamo che vi è una somiglianza delle relazioni tra grandezze prese in considerazione e che il diagramma di Galileo è speculare a quello proposto da Benedetti (Fig. A.14).

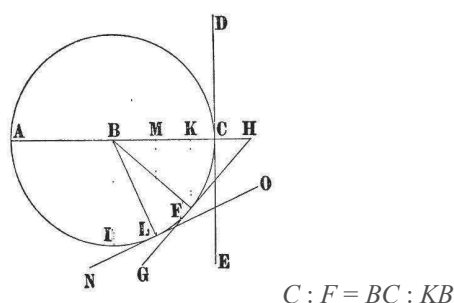


Fig. A.13 Il piano inclinato di Galileo, in Galilei, 2002, Versione lunga, *Della vite*, p. 70.

⁹¹⁰ Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Cap. II, p. 143.

⁹¹¹ Galilei, 2002, Versione lunga, *Della vite*, pp. 67-74. Come abbiamo visto Benedetti aveva proposto la proporzione tra pesi e distanze delle linee d'inclinazione dei pesi dal centro della bilancia, senza tuttavia andare oltre. D'altronde l'obiettivo di Benedetti era mostrare che una bilancia con pesi uguali attaccati alla stessa distanza dal fulcro, se mossa da una posizione orizzontale, raggiunge una posizione verticale. Non è da trascurare il fatto che il foglio volante 145 bis delle *Meditantiuncolae*, in cui Guidobaldo tratta il piano inclinato in maniera corretta, si trovi proprio tra le pagine in cui Guidobaldo critica la meccanica di Benedetti. Se la pagina in cui viene trattato il piano inclinato avesse goduto di qualche influenza galileiana, allora Guidobaldo e Galileo potrebbero anche aver discusso insieme della meccanica di Benedetti e della possibilità di un uso fecondo dell'inversa proporzionalità tra pesi e perpendicolari, che dal fulcro intersecano le linee d'inclinazione dei pesi, per studiare il piano inclinato.

⁹¹² Galilei, 2002, Versione lunga, *Della vite*, p. 70.

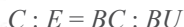


Fig. A.14 Diagramma speculare a quello proposto da Benedetti, in Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Cap. II, p. 142.

Nel capitolo III Benedetti confronta l'effettiva quantità di un peso o di una forza movente con un'altra individuabile per mezzo delle perpendicolari disegnate dal centro della leva alla linea d'inclinazione. Questo capitolo è tanto importante quanto oscuro, soprattutto per la scarsa corrispondenza tra figure e testo. Riteniamo che il capitolo III debba essere letto come capitolo esplicativo dei precedenti due. Riportiamo integralmente la prima parte del capitolo:

Cap. III: *Che la grandezza di un peso dato o la grandezza di una forza movente rispetto a un'altra grandezza può essere trovata per mezzo di perpendicolari disegnate dal centro della bilancia alla linea d'inclinazione.* Da quello che abbiamo già visto, si può facilmente capire che la lunghezza di BU , [che esprime la distanza tra il fulcro e la linea d'inclinazione del peso e] che è generalmente perpendicolare dal centro B alla linea d'inclinazione FU , è la quantità che ci permette di misurare la forza di F in una posizione di questo tipo, cioè in una posizione in cui la linea FU forma con il braccio FB l'angolo acuto BFU . Per capire meglio, immaginiamo una bilancia BOA , fissata al suo centro O , e supponiamo che alle sue estremità siano posti due pesi o forze moventi, E e C , nella maniera in cui la linea d'inclinazione di E , cioè, BE , fa un angolo retto con OB al punto B , ma la linea d'inclinazione di C , cioè AC , fa un angolo acuto o un angolo ottuso con OA al punto A .⁹¹³

Da queste parole iniziali capiamo che l'esempio che andrà a proporre servirà per analizzare in maniera più dettagliata il modo in cui possiamo utilizzare la lunghezza di BU per misurare la quantità di forza F . Dapprima Benedetti equipara la direzione della *virtus movens* AC con la forza C applicata al punto I , quindi continua la sua riflessione prendendo in considerazione la leva BOI e le linee di inclinazione dei pesi tra loro parallele. Infine, discute il comportamento della leva angolare BOT . In conclusione, Benedetti pone in relazione le forze con i bracci: $C : E = BO : OT$ (Fig. A.15). Il rapporto tra i punti di applicazioni e le direzioni delle forze e della *virtus movens* lascia intravedere un uso, seppure germinale, da parte Benedetti del concetto di "momento"⁹¹⁴.

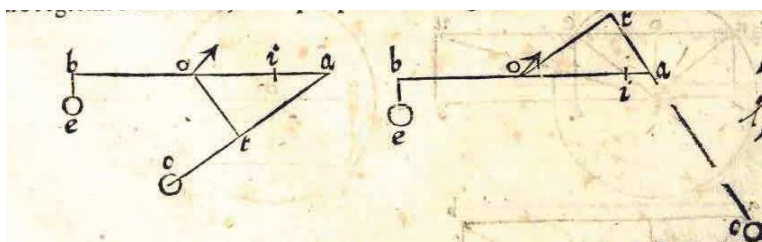


Fig. A.15 Benedetti (1585), *De Mechanicis*, Cap. III, p. 143.

Alla ricostruzione sopra esposta, aggiungiamo una nostra considerazione. Crediamo sia ragionevole considerare la *virtus movens* AC , prodotta dal peso C e applicata ad A , diretta verso il centro del

⁹¹³ Benedetti, 1585, *De mechanicis*, Cap. III, p. 143, traduzione nostra.

⁹¹⁴ Sull'argomento si vedano Omodeo e Renn, 2019; Becchi, 2015; Benvenuto, 1987. Diversamente dalla nostra interpretazione, Omodeo e Renn indicano la relazione con la proporzione $E : C = BO : OI$, mentre Benedetti scrive nel Cap. III del *De mechanicis*: «supponendo tamen pondus C ea ratione maiorem esse ea, quae est E qua BO maior est OT».

mondo, condizione introdotta in maniera esplicita nel capitolo VII. Infatti, se capovolgiamo la bilancia BOA , notiamo un'interessante corrispondenza con il diagramma dei primi capitoli, dove BU è perpendicolare alla linea $FUEM$ e OT è perpendicolare alla linea AC (Fig. A.16)⁹¹⁵:

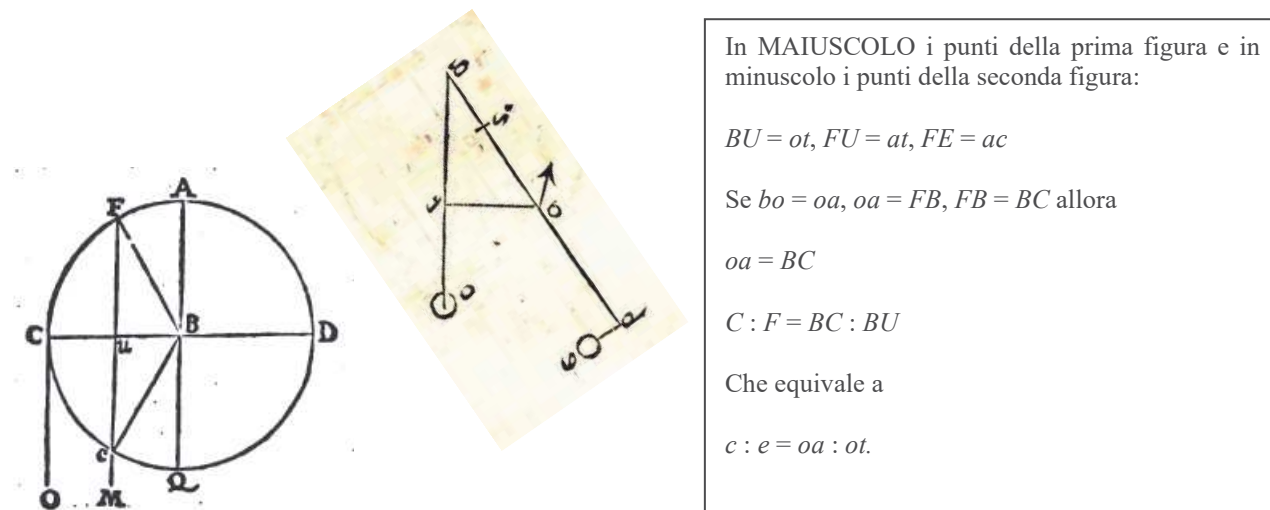


Fig. A.16 Confronto dei diagrammi di Benedetti. A sinistra il diagramma all'interno del Cap. II e a destra il diagramma all'interno del Cap. III, in Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Capp. II e III, pp. 142-143.

Nei capitoli I e II le dimostrazioni di Benedetti risentivano di un'assunzione vincolante che si rifletteva anche negli stessi disegni: «che la convergenza verso il centro del mondo delle linee d'inclinazione dei pesi è trascurabile». Tuttavia, tale idea verrà gradualmente messa da parte da Benedetti, in modo da riuscire ad argomentare meglio la sua tesi. Sin dal capitolo III, quella linea d'inclinazione obliqua rappresenta, secondo la nostra interpretazione, un primo cedimento alla non trascurabilità della convergenza dei pesi. Infatti, nel capitolo VII Benedetti attacca le interpretazioni di Giordano e di Tartaglia e, allo stesso tempo, difende geometricamente la sua teoria, basando interamente la sua spiegazione sulla convergenza delle linee verso il centro della regione degli elementi⁹¹⁶.

Il confronto della rappresentazione della bilancia inserita nel capitolo III con il diagramma contenuto nel capitolo VII supporta ulteriormente la nostra ipotesi (Fig. A.17):

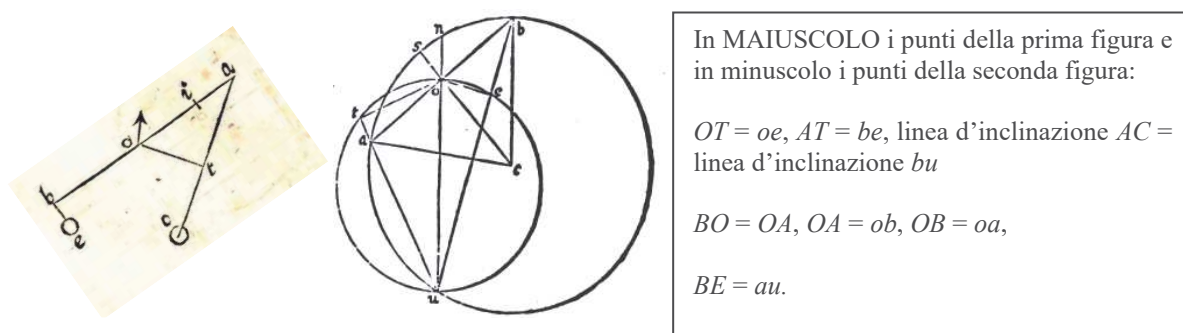


Fig. A.17 Confronto dei diagrammi di Benedetti. A sinistra il diagramma all'interno del Cap. III e a destra il diagramma all'interno del Cap. VII, in Benedetti, 1585, *De Mechanicis*, Capp. III e VII, pp. 143 e 149.

⁹¹⁵ Non deve trarre in inganno che BU sia la metà di CB mentre OI non sia la metà di OA , ciò dipende dall'inclinazione della bilancia.

⁹¹⁶ Sulla riflessione cosmologica di Benedetti si vedano Omodeo, 2009; Di Bono, 1987. Per quanto riguarda il rapporto meccanica-cosmologia si veda Renn e Omodeo, 2013, p. 79.

Inoltre, è da rilevare che quando i due pesi vengono considerati uniti da una bilancia o da una leva, come accade all'interno del capitolo III e in particolar modo nel capitolo VII, Benedetti ritiene meno trascurabile la convergenza delle linee d'inclinazione dei pesi verso il centro del mondo. Al contrario, nei precedenti capitoli dove aveva esaminato il comportamento dei singoli pesi posti a una delle due estremità della bilancia, aveva supposto le linee d'inclinazione dei pesi essere parallele alla linea verticale ABQ . Curiosamente, Guidobaldo aveva affrontato il problema da un'altra prospettiva: egli riteneva che se i pesi fossero presi singolarmente, allora le loro linee di caduta sarebbero da considerare convergenti; diversamente, se i pesi fossero considerati uniti per mezzo della bilancia allora le linee di cadute sarebbero da considerare tra loro parallele.

A7. *Le Mechaniche* (1581): Guidobaldo e la difesa dell'equilibrio indifferente

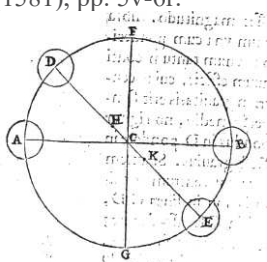
Nel *Mechanicorum Liber* (1577) e nella versione volgare Guidobaldo spiega la condizione di equilibrio indifferente di una bilancia impiegando sia dimostrazioni rigorosamente geometriche sia ragionamenti per assurdo, in modo da evidenziare gli errori logici dei suoi avversari ideali, i quali, al contrario di Guidobaldo, non prevedono che una bilancia possa rimanere in un equilibrio indifferente. In questa tabella mostriamo gli argomenti degli avversari, le critiche e commenti di Guidobaldo; in particolare mettiamo a confronto secondo un ordine numerico progressivo gli *Argomenti degli avversari riportati da Guidobaldo* con le *Critiche e commenti di Guidobaldo* esposti all'interno della Proposizione IV della parte *Della Bilancia*. Nel corso dell'esame per comodità prenderemo in considerazione esclusivamente la versione volgare del *Mechanicorum Liber*, ovvero *Le Mechaniche*. Corredano le due sezioni alcune introduzioni alle argomentazioni esposte e i riferimenti geometrici e bibliografici a sostegno delle rispettive posizioni. Queste aggiunte sono indicate in corsivo, in modo da poterle chiaramente distinguere dai commenti di Guidobaldo⁹¹⁷.

Argomenti degli avversari riportati da Guidobaldo	Critiche e commenti di Guidobaldo
1. <i>Guidobaldo espone l'ipotesi tipica della scienza medievale, secondo cui se una bilancia in posizione orizzontale con pesi uguali posti alla stessa distanza dal fulcro viene spostata in posizione obliqua, essa ritorna in posizione orizzontale.</i> Ma perciocche a questa ultima conchiusione molte cose dette da alcuni che, sentono altramente paiono contraffare però in coteffa parte egli farà bifogno dimorare alquanto, è secondo le mie forze non folo farò opra di difendere la propria	1. <i>Guidobaldo evidenzia le contraddizioni alla base delle loro ipotesi: che due pesi uguali posti a uguale distanza dal fulcro possano essere uno più pesante dell'altro, il centro della gravità della bilancia possa cambiare la propria posizione, che pesi disuguali posti alla stessa distanza pesano ugualmente, che un corpo possa avere due centri della gravità. Dopo aver vagliato gli argomenti dei suoi avversari, Guidobaldo conclude che nel caso di una bilancia avente pesi uguali agli estremi di bracci equidistanti, qualora si volesse evitare contraddizioni, l'equilibrio indifferente è l'unica condizione ammissibile.</i> Perciocche se egli è vero quel che dicono, overo averrà questo effetto per essere il peso D più grave del peso E, overo se li pesi sono eguali, le distanze nelle quali fono posti, non saranno eguali, cioè la CD non farà eguale alla CE, ma

⁹¹⁷ Per un'adeguata contestualizzazione rimandiamo a Renn e Damerow, 2012.

mia sentenza, ma Archimede ancora, il quale sembra essere stato in questo istesso parere. Poste le cose istesse, sia tirata la linea FCG a piombo di A B, & dell'orizzonte: & col centro C, & lo spazio CA sia descritto il cerchio AD FB E G: saranno i punti ADBE. nella circonferenza del cerchio, per essere le braccia della bilancia eguali; & percioche conuengono questi autori in una sentenza, affermando, che la bilancia D E non si muove in FG, ne rimane in DE, ma ritorna nella linea A B egualmente distante dall'orizzonte, mostrerò questa loro opinione non potere a modo alcuno stare.

Cfr. Del Monte (1581), pp. 5v-6r.



più grande. Ma che i pesi collocati in D E siano eguali, e la distanza CD sia eguale alla distanza CE, è chiaro dalla presupposta [1]. Hor perche dicono che il peso posto in D in quel sito è più grave del peso posto in E nell'altro sito da basso: mentre i pesi sono in DE, non fare il punto c più centro della grauezza, imperocchie non stanno fermi se sono attaccati al C, ma sarà nella linea CD per la terza del primo di Archimede delle cose che pesano egualmente. Non sarà già nella CE per essere il peso D più grave del peso E: sia dunque in H, nel quale se faranno attaccati rimarranno. Et percio che il centro della grauezza de pesi congiunti in A B stà nel punto C: ma de pesi posti in D E il punto è H: mentre dunque i pesi A B si muovono in DE, il centro della grauezza C mouerassi verso D. & s'appresserà più da vicino al D, ilche è impossibile, per mantenere i pesi una medesima distanza fra loro: perocchie il centro della grauezza di ciascun corpo stà sempre nel medesimo sito per rispetto al suo corpo [2]. Di più se il peso D si muoverà in giù, muoverà il peso E in su. Adunque un peso più graue di E nel medesimo sito preferà tanto quanto il peso D, & auerà che cose graui disuguali poste in eguale distanza preferanno egualmente [3]. [...] Ma per la diffinitione del centro della grauezza, se li pesi faranno appiccicati al K, staranno fermi. Dunque se faranno appiccicati al C, non staranno fermi, che è contra la presupposta [4]: ma il peso E si mouerà in giù. Che se appiccicati al C pesassero ancora egualmente, nascerebbe che di una magnitudine, due sarebbero i centri della grauezza, che è impossibile [5]. Adunque il peso posto in E più graue di quello che è in D, non preferà tanto quanto il D attaccandosi al punto C. I pesi dunque eguali posti in D E, attaccati nel centro della loro grauezza preferanno egualmente, S'ita ranno immobili, che fù proposto dimostrare [6].

Cfr. Del Monte (1581), pp. 6r- 6v.

Riferimenti: [1] Archimede, Sull'equilibrio dei piani, Postulato I: Chiediamo [che si ammetta] pesi uguali [sospesi] a distanze uguali si facciano equilibrio; che pesi uguali a distanze disuguali non si facciano equilibrio, ma producano pendenza dalla parte del peso che si trova a distanza maggiore. [2] Guidobaldo, Le Mechaniche, Presupposta II: Il centro della grauezza di un corpo è sempre nel medesimo sito

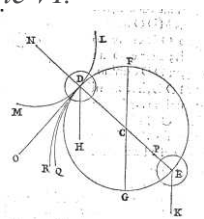
2. Guidobaldo riporta due degli argomenti più importanti dei suoi avversari: a) è impossibile aggiungere un peso anche estremamente piccolo	per rispetto al suo corpo; Archimede, <i>Sull'equilibrio dei piani</i>, Libro I, Proposizione 3: Se pesi disuguali sospesi a distanze disuguali si fanno equilibrio, il peso maggiore è sospeso a distanza minore. [3] Archimede, <i>Sull'equilibrio dei piani</i>, Libro I, Proposizione 3: Se pesi disuguali sospesi a distanze disuguali si fanno equilibrio, il peso maggiore è sospeso a distanza minore. [4] Commandino, <i>Liber de centro gravitatis</i>, Definizioni: Il centro della grauezza di ciascuna figura solida è quel punto posto dentro, d'intorno alquale le parti di momenti eguali da ogni parte si fermano. Peroche se per tale centro sarà condotto un piano, che feghi in qual si voglia modo la figura, sempre la diuiderà in parti, che peseranno egualmente (trad. di Pigafetta). [5] Guidobaldo, <i>Le Mechaniche</i>, Presupposta I: Di un corpo è un solo centro della grauezza. [6] Archimede, <i>Sull'equilibrio dei piani</i>, Postulato I: Chiediamo [che si ammetta] pesi uguali [sospesi] a distanze uguali si facciano equilibrio; che pesi uguali a distanze disuguali non si facciano equilibrio, ma producano pendenza dalla parte del peso che si trova a distanza maggiore. 1b. Alla base del ragionamento di Guidobaldo vi è un'importante condizione geometrica: che la bilancia e i pesi debbano essere considerati un corpo unico. Et quantunque il punto C sia il centro della grauezza di due corpi A et B, tuttavia per essere mediante al bilancia così giunti insieme, che sempre ritrovano nell'istesso modo [...]; percióche la bilancia insieme co' pesi fa un solo corpo continuo, il cui centro della grauezza sempre starà nel mezzo [1]. Cfr. Del Monte (1581), p. 6r. Riferimenti: [1] Archimede, <i>Sull'equilibrio dei piani</i>, Libro I, Proposizione 4: Se due grandezze uguali non hanno lo stesso centro di gravità, il centro di gravità della grandezza composta dalle due grandezze sarà il punto medio della retta che unisce i centri di gravità delle grandezze 2. La riflessione di Guidobaldo è molto feconda, in quanto a) chiama in causa il concetto di infinito e b) rileva che, benché sia minore di

a E per equilibrare il peso in D, il quale è posizionalmente più pesante di E, e b) il concetto di angolo misto ottenuto da un lato e da una porzione di circonferenza o da due circonferenze. Nel caso specifico l'angolo di contatto MDG è considerato angolo più piccolo rispetto a qualsiasi angolo individuabile da linee rette.

a) A questa ultima sconvenevolezza rispondono, dicendo essere impossibile aggiungere allo E si picciolo peso, che in ogni modo se ben si appiccano al C, il peso E non si mova sempre in giù verso il G. [...] b) Etperciò che presuppongono che quanto è minore l'angolo contenuto dalla linea tirata a piombo dell'orizzonte, et dalla circonferenza, tanto in quel sito effere anco più graue il peso. Talche si come l'angolo contenuto da HD, & dalla circonferenza DG, è minore dell'angolo KEG, cioè dell'angolo HDM, così secondo questa proportionione il peso posto in D sia più graue di quello che stà in E. Ma la proportionione dell'angolo M HD all'angolo HD G è minore di qual si voglia altra proportionione, che si troui trà la maggiore, et minore quantità: Adunque la proportionione dei pesi D E farà la minima di tutte le proportioni, anzi non farà quasi neanche proportionione, essendo la minima di tutte le proportioni. Che la proportionione di M D H verso HD G sia di tutte la minima, mostrano con questa necessaria ragione, perche M HD supera H DG con angolo di linea curua, che è MGD, il quale angolo è il minimo di tutti gli angoli fatti di linee rette; ne potendosi da reangolo minore di MGD far la proportionione di MD H verso HD G la minima di tutte le proportioni.

Cfr. Del Monte (1581), pp. 6v-7r.

Riferimenti: angolo di contatto, si confronti Tartaglia, *Quesiti et inventioni diverse*, Libro otto, *Proposizione VI*.



3. Guidobaldo rileva che i suoi avversari hanno supposto l'angolo misto KEG essere maggiore

angoli ottenuti mediante linee rette, l'angolo MDG non è il minimo di tutti gli angoli. Commento: Per quanto riguarda il concetto di infinito, si confronti la riflessione sul tema esposta in questa parte de *Le Mechaniche* con le considerazioni nelle *Meditationum*, f. 229 e con quelle di Galileo nella *Prima giornata dei Discorsi*. Sul tema rimandiamo alla discussione in Tassora, 2001, pp. 174-179.

a) La qual cosa habbiamo noi presupposto potesi fare, et credevamo potersi fare: Peroche quel che è di più del peso D sopra il peso E, havendo ragione, e parte di quantità, si imaginavamo non solamente essere minimo, ma ancora potersi dividere in infinito [1].

Cfr. Del Monte (1581), p. 6v.

Riferimenti: [1] Archimede, *Sull'equilibrio dei piani*, Libro I, *Postulato III*: Che se dati dei pesi che si facciano equilibrio essendo [sospesi] a certe distanze, si aggiunga qualcosa ad uno due pesi, non si abbia più equilibrio, ma pendenza dalla parte del peso al quale si è fatta l'aggiunta.

b) Laqual ragione pare effere grandemete friuola, peroche quantunque l'angolo MD G sia di tutti gli angoli fatti di linee rette il minore, non perciò segue totalmente egli effere di tutti gli angoli il minimo, imperoche sia dal punto D tirata la linea DO à piombo di NC, ambedue queste toccheranno le circonferenze LDMFDG nel punto D. Ma percioche le circonferenze sono eguali, farà l'angolo MDO misto eguale all'angolo ODG misto. L'uno de gli angoli dunque, cioè O DG farà minore di MDG, cioè minore del minimo.

Cfr. Del Monte (1581), p. 7r.

3. Guidobaldo evidenzia le seguenti contraddizioni: se una premessa del

dell'angolo HDC e quindi il peso in E è posizionalmente più pesante del peso in D .

Ne bisogna tralasciare, che eglino hanno presupposto nella demonstratione l'angolo KEG esser maggiore dell'angolo HDC , come cosa nota: ilche è ben vero se $DHEK$ sono fra loro egualmente distanti.

Cfr. Del Monte (1581), p. 8 r.

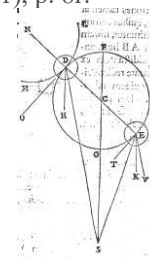
4. Guidobaldo ripercorre gli argomenti usati dagli avversari per giustificare la condizione per cui, considerata una bilancia inclinata, due pesi uguali posti a uguale distanza hanno diversa gravezza: **a)** un peso posto in A è più grave che in altro sito e **b)** l'obliquità di discesa, la quale può essere misurata proiettando la porzione di circonferenza coperta dalla discesa dei pesi sulla verticale che passa per il fulcro della bilancia. La proiezione sulla verticale della porzione di circonferenza coperta dalla discesa del peso copre uno spazio maggiore se il peso è posizionato in prossimità della linea orizzontale. Più il peso è in prossimità della linea orizzontale, e quindi la sua proiezione sulla verticale è maggiore, più il peso è grave.

a) Producono tutta via ragioni con le quali si sforzano di mostrare, che la bilancia DE ritorna per necessità in AB egualmente distante all'orizzonte. Prima dimostrano l'istesso peso essere più grave in A , che in altro sito, che chiamano sito della egualità, essendo la linea AB egualmente distante dall'orizzonte [...]. **b)** L'altra

ragionamento degli avversari è che le linee DH e EK vanno verso il centro del mondo, allora non è corretto argomentare che le due linee saranno equidistanti. In realtà, continua Guidobaldo, dovremmo inferire che l'angolo KEG sarà minore dell'angolo HDC .

Ma perciocche, come essi parimenti presuppongono, le linee $DHEK$ si vanno a trovare nel centro del mondo, le linee $DHEK$ non saranno egualmente distanti giammai, et l'angolo KEG non solo non sarà maggiore dell'angolo HDC , ma minore. [...] Per la qual cosa dalle presupposte loro non solo il peso posto in D sarà più grave del peso posto in E , ma per lo contrario il peso E sarà più grave dell'istesso D .

Cfr. Del Monte (1581), p. 8r.



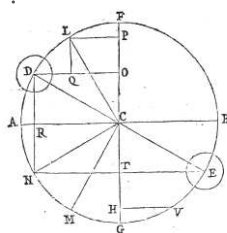
4. Guidobaldo sottolinea quello che secondo lui è il principale abbaglio dei suoi avversari: **a)** il fatto che trattino la bilancia e i pesi separati e non come corpo unico. Il pesarese mostra anche che dai loro principi si può ottenere anche il contrario: **b)** che le discese dei pesi D ed E , misurate proiettando la posizione dei pesi sulla verticale che passa per il fulcro della bilancia, possano essere considerate uguali o addirittura può essere anche inferito che D sia più pesante di E .

a) Oltre a ciò se anche concederemo la presupposta, si partono tuttavia molto luge dalla consideratione della bilancia, mentre discorrono, che in quella maniera debba la bilancia DE ritornare in AB : perciocche sempre pigliano un di due pesi separatamente come D , ovvero E , come se hor l'uno, hor l'altro fosse posto nella bilancia,

cagione poi, che cauano dal mouimento più dritto & positione. più torto è, che quanto il peso discende più dritto in archi eguali, pare esser anco più graue; conciosia che il peso essendo libero, è sciolto, si moua di sua propria natura per lo dritto, ma in A egli discende più dirittamente, dunque in A farà più graue, et dimostrano ciò pigliando l'arco AN eguale all'arco L D, & dai punti NL siano tirate le linee N R LQ egualmente distanti dalla linea FG, la quale chiamano anche della direttione; & quelle altre segheranno le linee A B DO in Q R, & dal punto N sia tirata la NT a. piombo di FG: Dimostrano veramente LQ essere eguale a PO, & NR ad essa CT, & la linea N R esser maggiore di LQ. Hor percioche la di scesa del peso dallo A fin ad N per la circonferenza di AN trapassa mag gior parte della linea FG, (che essi chiamano pigliare di dritto, che la di scesa di L in D per la circonferenza L D; conciosia che la discesa AN tra passi la linea CT, ma la discesa L D la linea PO, & CT è maggiore di PO, la discesa di AN farà più diritta che la discesa di LD: farà oundue piugra ue il peso posto in A, che in L, ouero in qualsivoglia altro site, & nell'istesso modo dimostrano, che quanto, che quanto il peso è più vicino allo A, è più gra ue. E così il presupposto, per loquale dimostrano la bilancia DE ritornare in AB affermano come noto, e manifesto; cioè che secondo il sito il peso è tanto più grave, quanto nel medesimo sito manco torta è la scesa: e la coagione di cotal ritorno dicono essere questa; perocche la scesa del peso posto in D è più diritta della della scesa del peso posto in E [...].

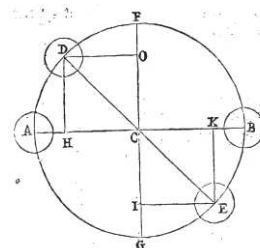
Cfr. Del Monte (1581), pp. 8v-9r.

Riferimenti: Cardano, De subtilitate, Libro I; Giordano, Liber de Ponderibus, Proposizione IV; Tartaglia, Quesiti et inventioni, Libro VIII, Proposizione V.



non congiunti insieme ambidue in modo veruno, essendochè nondimeno bisogni fare tutto all'opposito di ciò, ne si puote considerare dirittamente l'uno senza l'altro, essendochè si ragiona di loro nella bilancia collocati. [...] Primiamente sempre argomentano come se i pesi in DE debbano scendere, considerando la scesa di uno solamente senza la compagnia, e congiungimento dell'altro. [...] **b)** Ma da suoi medesimi principi, i quali usano, e dalle sue demonstrationi si puote cavare agevolmente l'opposito di quel che si faticano a difendere. [...]. Mentre dunque il peso posto in D scende per la circonferenza DA, il peso posto in E sale per la circonferenza EB eguale a DA, e la scesa del peso posto in D prenderà, (secondo il costume loro) di diretto DH: sarà dunque la scesa del peso posto in D eguale alla salita del peso posto in E [...] Dalle ragioni loro dunque, e dalle sue presupposte li pesi messi in DE sono gravi egualmente. Di più, che vieta che non si dimostri la bilancia DE muoversi per necessità in FG con simile ragione? Primieramente si puote raccogliere dalle loro medesime demonstrationi, la salita del peso posto in E verso il B essere più diritta della salita del peso posto in D verso lo F, cioè manco prendere di diretto la salita del peso posto in D in archi eguali, che la salita del peso posto in E. Presuppongasi dunque, che il peso sia più leggero secondo il sito tanto quanto nel sito medesimo meno diritta è la sua salita: Laqual presupposta pare tanto manifesta, quanto l'altra loro, percioche dunque la salita del peso posto in E è più diritta della salita del peso posto in D, per la presupposta il peso posto in D sarà più leggero del peso posto in E.

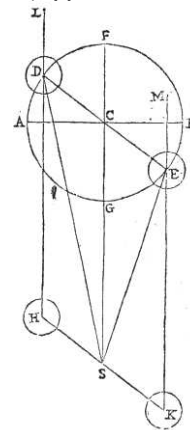
Cfr. Del Monte (1581), pp. 16v-17r.



4b. Guidobaldo rileva che, siccome i pesi sono congiunti, si deve intendere la linea di discesa egualmente distante a CS e non le linee ES e DS.

Leveransi per avventura contra di noi dicendo. Se dunque il peso posto in E è più grave del peso posto in D, la bilancia DE non starà mai giamai in questo sito, laqual cosa noi habbiamo proposto di mantenere, ma si moverà in FG. Alle quali cose rispondiamo, che importa assai, se noi consideriamo i pesi ovvero in quanto sono separati, uno dall'altro: perche altra è la ragione del peso posto in E senza il congiungimento del peso posto in D, e altra di lui con l'altro peso congiunto, si fattamente che l'uno senza l'altro non si possa muovere. Imperoche la diritta, e naturale discesa del peso posto in E, inquanto egli è senza altro congiungimento di peso, si fa per la linea ES, ma inquanto egli è congiunto col peso D, la sua naturale discesa non sarà più per la linea ES, ma per una linea egualmente distante da CS. [...] Adunque il peso posto in D non moverà in su il peso posto in E. Dalle quali cose segue che i pesi posti in DE, in quanto tra loro sono congiunti, sono egualmente gravi.

Cfr. Del Monte (1581), pp. 17v-18v.



5. Infine Guidobaldo prende in considerazione il metà angolo, cioè l'angolo individuato tra il braccio della bilancia e la verticale. Nel caso specifico, secondo questa particolare modalità di quantificare la pesantezza di un peso, l'angolo DCG è maggiore di ECG e per questo motivo il peso posto in D è più grave del peso posto in E.

L'altra ragione poſcia, con la quale vorrebbero moſtrare, che ſimilmente la bilancia D E ritorna in A B, con dire, che eſſendo la trutina della bilancia CF, la metà viene ad eſſer CG, & percioche l'angolo DCG è mag giore dell'angolo ECG, il peſo poſto in D farà più graue del poſto in E.

Cfr. Del Monte (1581), p. 18v.

5. Secondo Guidobaldo dall'ampiezza del metà angolo non deriva la maggiore gravezza del peso. Tale argomentazione, commenta il pesarese, non merita neanche di essere esaminata.

Dunque la bilancia DE ritornerà in A B; non conchiude nulla al parer m.o; & questa fintione della trutina, 8 della meta è più toſto da tralaſciare, & paſſarla con ſilenzio, che farne pur vna parola per confonderla, eſſendo del tutto coſa volontaria, percioche la neceſſaria ragione per la quale il peſo poſto in D dall'angolo maggiore fia

Riferimenti: <i>sul mèta angolo si confronti quanto esposto da Cardano in De subtilitate, Libro Primo.</i>	più graue, & perche il maggiore angolo fia cagione di grauezza maggiore non appare in niun loco. Cfr. Del Monte (1581), p. 18v.

A8. Alcune riflessioni sui cambiamenti semantici dei termini *gravitas*, *aequeponderare* e *momentum*

Numerosi studi hanno rilevato l'ambiguità di termini come *gravitas* (pesantezza), *aequeponderare* (pesare allo stesso modo) e *momentum* (momento) all'interno dei trattati di meccanica. Questi termini sono entrati nel lessico latino e poi volgare mediante soprattutto le traduzioni della *Fisica* di Aristotele e dei testi di meccanica, come i *Problemi meccanici*, le opere di Archimede e la meccanica di Erone filtrata da Pappo. Queste opere furono tradotte inizialmente da umanisti non particolarmente esperti di "matematica": infatti le prime traduzioni del Quattrocento si configuravano piuttosto come esercizi filologici volti al recupero del grande patrimonio greco. Invece, a differenza del recupero più filologico dei testi intrapreso dai protagonisti del Quattrocento, la restaurazione cinquecentesca della matematica greca, operata da Commandino e da altri filologici-matematici, era caratterizzata dal recupero delle opere sulla base di quella doppia competenza che permetteva loro sia di tradurre il testo sia di emendare eventuali lacune matematiche.

Per comprendere l'evoluzione dei concetti scientifici che intendiamo indagare, è necessario un breve riferimento all'interpretazione della meccanica nelle epoche. Al tempo di Archimede la meccanica era caratterizzata dall'unione indissolubile dei due approcci caratterizzanti l'esame dei fenomeni meccanici: l'analisi geometrica e l'analisi meccanico-osservativa. A causa soprattutto dei mutamenti culturali, dinastici e geopolitici, in Occidente si assistette alla perdita della maggior parte dei testi di meccanica antica e a un affievolimento dell'unione della geometria con l'esame dei fenomeni meccanici che aveva contraddistinto la cultura greca. Nel Medioevo e nel primo Rinascimento la meccanica antica iniziò gradualmente a rientrare nella cultura occidentale, soprattutto grazie all'idioma imbuto della lingua araba⁹¹⁸. Nonostante questa ripresa culturale rinvigorita dall'immissione dei testi antichi nei circuiti culturali, la modalità di indagare la natura era fortemente compromessa: la rottura della connessione che univa l'approccio geometrico, tipico della letteratura matematica antica, e l'esame dei fenomeni meccanici, quest'ultimo basato sull'osservazione e sulla filosofia naturale, aveva prodotto un affievolimento delle conquiste teoretiche e una abitudinaria predisposizione all'osservazione e alla pratica empirica per indagare il comportamento delle macchine semplici. In questo scenario, considerate le circostanze brevemente elencate, non era facile giustificare il motivo per cui un peso più pesante poteva essere bilanciato o addirittura alzato da un peso più leggero. Infatti, un fenomeno di questo tipo difficilmente poteva essere spiegato con gli strumenti della filosofia naturale senza cadere in contraddizioni e ambiguità. Nel Medioevo l'abisso che separava i due approcci venne colmato dalla meccanica medievale, tradizionalmente conosciuta come *Scientia de ponderibus*, usufruendo dei contenuti della matematica greca progressivamente introdotta e rimodulata dalla cultura araba. Sebbene questa importante nuova acquisizione fu fondamentale per una nuova rielaborazione della meccanica, nel frattempo le interpolazioni, commenti e interpretazioni avevano prodotto nei testi di matematica antica ambiguità e contraddizioni difficili da sanare.

Tale premessa è inevitabile per introdurre i due principali motivi responsabili dell'ambiguità di certi termini che caratterizzano le opere di meccanica rinascimentali: il primo è di ordine filologico, nel senso che le interpolazioni e le errate traduzioni immisero nel lessico latino termini dal significato oscuro, e il secondo è di ordine concettuale, nel senso che alcuni concetti scientifici, a causa di un

⁹¹⁸ Sul tema si veda per esempio Al-Khalili, 2013.

rigore matematico troppo facilmente oscurato dalla prassi empirica, erano ancora confusi e di non univoca comprensione.

Considerate queste difficoltà nell'esaminare il percorso semantico dei termini oggetto di questo paragrafo, riteniamo che per quanto riguarda il termine *gravitas* possa essere interessante riportare un sunto del report, che verrà inserito integralmente nella seconda parte del paragrafo, della ricerca al Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte di Berlino (Max Planck Institute for the History of Science), in cui ho potuto utilizzare il software ALCIDE (*Analysis of Language and Content In a Digital Environment*), sviluppato dalla Fondazione Bruno Kessler di Trento, per analizzare le occorrenze e il ruolo semantico di alcune parole, tra cui *gravitas*, all'interno di testi latini di meccanica rinascimentale. Il software ALCIDE è in grado di analizzare contemporaneamente più documenti e su diversi livelli: lessicale, semantico, geografico, temporale, di distribuzione di lemmi e di co-occorrenze di termini. Attualmente uno dei limiti di ALCIDE è quello di non riuscire a confrontare testi scritti in lingua diversa. In effetti per sfruttare al meglio le potenzialità del software, in modo da riuscire ad esaminare correttamente le occorrenze e il ruolo semantico delle parole chiave all'interno dei testi di meccanica rinascimentale, riteniamo che sia importante implementare la sua capacità di lavorare su testi scritti in lingua diversa. Questo traguardo ulteriore permetterebbe di indagare in maniera eccezionalmente proficua lo slittamento semantico delle parole nella fase di traduzione di testi, come, ad esempio, nel caso del passaggio dalla lingua latina alla lingua volgare⁹¹⁹.

Come anticipato, il paragrafo si suddivide in due parti: A8.1 Parte Prima- Riflessione sui termini *gravitas*, *aequeponderare* e *momentum*, la quale contiene una riflessione generale sull'evoluzione di alcuni concetti della meccanica rinascimentale, e A8.2 Parte seconda - Report on the Functioning of ALCIDE. The Study of the Term *Gravitas* (15 October 2019), all'interno della quale inseriamo il report integrale riguardante l'analisi del termine *gravitas* mediante il software ALCIDE.

A8.1 Parte Prima- Riflessione sui termini *gravitas*, *aequeponderare* e *momentum*

A8.1.1 *Gravitas*

Per la disamina del termine *gravitas* abbiamo preso in considerazione i seguenti testi:

- Giordano, *De Ratione Ponderis* corretto da Tartaglia (*Iordani Opusculvm De Ponderositate Nicolai Tartaleae*, 1565);
- Commandino, *Liber de centro gravitatis solidorum*, 1565;
- Guidobaldo del Monte, *Mechanicorum Liber*, 1577; Guidobaldo del Monte, *In Dvos Archimedis Aeqveponderantivm Libros Paraphrasis*, 1588;
- Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum, & physicarum liber*, 1585;
- Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1713.

A8.1.1.1 Contestualizzazione storica del cambiamento semantico del termine *gravitas* nella letteratura

Dopo una breve descrizione delle accezioni di *gravitas* nella letteratura e aver individuato alcune *keywords* che meglio caratterizzano tale vocabolo, elenchiamo le occorrenze vicine al termine *gravitas* emerse dall'uso di ALCIDE. Infine, confrontiamo le *keywords*, desunte dagli studi sul termine preso in esame, con le occorrenze elaborate da ALCIDE.

A8.1.1.1.a *Gravitas* in Giordano, *De Ratione Ponderis* emendato da Tartaglia (*Iordani Opusculvm De Ponderositate Nicolai Tartaleae*, 1565)

Il concetto di *gravitas secundum situm* (pesantezza posizionale) ebbe un ruolo fondamentale all'interno dei trattati medievali di meccanica. Giordano fu uno dei principali esponenti della

⁹¹⁹ Questo paragrafo nasce dall'esperienza di ricerca condotta presso il Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte di Berlino. Ringrazio Matteo Valleriani per avermi seguito durante il soggiorno berlinese e per avermi fatto entrare nel mondo delle *Digital Humanities*.

medievale *Scientia de Ponderibus* (Scienza dei pesi) e contribuì a formalizzare la cosiddetta *gravitas secundum situm*. Secondo Giordano, la pesantezza di un peso dipende dalla sua posizione e questa pesantezza può essere quantificata analizzando l'obliquità della discesa del grave. Quest'ultima è misurata proiettando la porzione della circonferenza virtualmente coperta sulla sua verticale. Quindi se una bilancia in equilibrio, con pesi alla stessa distanza dal fulcro e posizionata in orizzontale, è mossa in posizione obliqua, essa ritorna alla posizione orizzontale, poiché il peso più alto copre una porzione della circonferenza che, se proiettata sulla verticale, risulta essere più lunga rispetto a quella coperta dal peso più basso. Un altro ambiguo e importante concetto che rientra nella teorizzazione della *gravitas secundum situm* di Giordano è quello di *virtus*. Egli usa il termine *virtus* in associazione al peso per indicare sia la forza movente diretta verso il basso, sia una resistenza quando una forza applicata tende ad alzarlo. Nell'idea di *gravitas secundum situm* può essere intravisto il concetto di *momento*, in quanto il peso del corpo varia a seconda della sua posizione. *Keywords: gravitas, situs, virtus*⁹²⁰.

A8.1.1.1.b *Gravitas* e il centro di gravità nella scuola commandiniana: *Commandino, Liber de centro gravitatis solidorum*, 1565; *Guidobaldo, Mechanicorum Liber*, 1577; *Guidobaldo, In Dvos Archimedis Aeqveponderantivm Libros Paraphrasis*, 1588

Introduciamo il termine *gravitas* nella letteratura prodotta dalla scuola commandiniana con la definizione che Commandino fornisce di centro della gravità:

Il centro della gravità di ciascuna figura solida è quel punto posto all'interno intorno al quale parti di uguali momenti, comunque si mantengono reciprocamente ferme. Infatti se si manda un piano passante per tale centro, che tagli la figura in qualsivoglia modo, la dividerà sempre in parti che equiponderano.

Commandino usa *gravitas* per indicare la pesantezza di un corpo concentrata in un punto. Guidobaldo invece usa *gravitas* per indicare la pesantezza che porta il corpo verso il centro del mondo. In *Paraphrasis* e nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo usa differenti termini per esprimere la variabilità dell'effetto del peso in funzione alla distanza del fulcro o all'inclinazione del braccio della bilancia: in *Mechanicorum Liber*, il pesarese impiega del termine *gravitas*, invece in *Paraphrasis* usa principalmente *aequeponderare* e *momentum*. *Keywords: gravitas, centrum, punctum, momentum*⁹²¹.

A8.1.1.1.c *Gravitas* in Benedetti, *Diversarum Speculationum Liber*, 1585

Nel *De Mechanicis*, ovvero nella parte dedicata alla meccanica del *Diversarum Speculationum Liber*, Benedetti sembra a volte collegare il concetto di *gravitas* al concetto di *momentum*, anche se nel *De Mechanicis* questo secondo termine non sia mai presente. Questa ambiguità è ravvisabile nel capitolo I, quando Benedetti descrive la *maiolem aut minorem gravitam* di un peso. In effetti, abbiamo l'impressione che in questo luogo il matematico veneziano intenda riferirsi al nostro concetto di *momentum*. Per Benedetti un *pondus* può essere più o meno pesante su una bilancia, in quanto la pesantezza del peso, premendo verso il basso, pratica una pressione sul fulcro. Nel *De Mechanicis* Benedetti considera anche il caso di un'applicazione di una forza. Quest'ultima considerazione permette a Benedetti di generalizzare il concetto di *gravitas*, intesa come pesantezza di un corpo, alla *virtutes moventes*. *Keywords: gravitas, virtus movens*⁹²².

A8.1.1.1.d *Gravitas* in Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1713

⁹²⁰ Micheli, 1995; Nenci, 2011; Moody e Clagett, 1952; Pisano e Capecchi, 2016; Renn e Damerow, 2012; Galluzzi, 1979.

⁹²¹ Su Commandino: Gamba e Montebelli, 2015; Gamba e Montebelli, 1988. Su Guidobaldo del Monte: Drake e Drabkin, 1969; Frank, 2011; Frank, 2015b; Renn e Damerow, 2010; Tassora, 2001. Su *momentum*: Galluzzi, 1979.

⁹²² Becchi, 2015; Benvenuto, 1987; Drake e Drabkin, 1969; Omodeo e Renn, 2019.

Nell'opera di Newton la gravità diventa una forza con una precisa struttura matematica e un preciso comportamento fisico, ma, soprattutto, essa diventa forza universale. *Keywords: gravitas, virtus*⁹²³.

A8.1.1.2 Analisi del termine *gravitas* mediante ALCIDE. Alcuni criteri:

- a) Abbiamo deciso di analizzare il termine *gravitas* in relazione alle parole limitrofe.
- b) Mediante la funzione co-occorrenze, abbiamo preso in considerazione solo le parole all'interno di un intervallo di massimo cinque parole.
- c) Abbiamo scelto di limitare il nostro studio alle parole che possono essere ricondotte alle *keywords*.
- d) Non potendo isolare i testi, abbiamo cercato le occorrenze delle *keywords* per anno (1565; 1577; 1585; 1588; 1713).
- e) Abbiamo scelto le cinque occorrenze più importanti in relazione all'argomento dei testi e in base alla loro frequenza all'interno del testo stesso.

Di seguito elenchiamo le *keywords* da noi individuate e le occorrenze più rilevanti individuate da ALCIDE, rispetto al termine principale (tp) da cui abbiamo fatto partire la ricerca delle occorrenze. Abbiamo riportato in grassetto le parole che a nostro parere riescono a descrivere l'evoluzione semantica del concetto *gravitas*.

Keywords Giordano: *gravitas, situs, virtus*.

Co-occorrenze rilevate da ALCIDE:

Gravitas (tp) -> *proportio*; *proportio* (tp) -> *pondus, virtus*.

Keywords Commandino e Guidobaldo: *gravitas, centrum, punctum, momentum*.

Co-occorrenze rilevate da ALCIDE:

In *Liber de centro gravitatis solidorum*:

Gravitas (tp) -> *centrum*; *centrum* (tp) -> *punctum*

In *Mechanicorum Liber*:

Gravitas (tp) -> *pondus, centrum, punctum, libra, magnitudo*.

Pondus (tp) -> *potentia, appendo, fulcimentum, punctum, gravitas*.

Gravitas (tp) -> *Cochlea*; *Cochlea* (tp) -> *helix, peritrochio, cuneo, manubrium, pappus*

In *In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis*:

Gravitas (tp) -> *centrum, punctum, magnitudo, figura, pondus*.

Keywords Benedetti: *gravitas, virtusmovens*.

Co-occorrenze rilevate da ALCIDE:

Gravitas (tp) -> *corpus, magnitudo, levitas, virtus*

Virtus (tp) -> *pondus, vis, gravitas, velocitas, resistentia, inclinatio*.

Keywords Newton: *gravitas, virtus*.

Co-occorrenze rilevate da ALCIDE:

ALCIDE non era in grado di riconoscere il testo *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Newton.

A8.1.1.3 Conclusioni

Abbiamo riscontrato un discreto accordo tra il cambiamento semantico del termine *gravitas* indicato dagli studiosi e i risultati di ALCIDE. Pensiamo che ALCIDE potrà essere utile per la storia della scienza, in particolare per investigare l'evoluzione semantica dei termini nei testi di meccanica. Uno degli obiettivi futuri sarà quello di sviluppare la capacità di ALCIDE di analizzare simultaneamente

⁹²³ Jammer, 1971.

testi scritti in lingue diverse. Se riusciremo a raggiungere questo proposito, avremo uno strumento digitale in grado di supportare proficuamente la storia della scienza nella sua attività di ricerca.

A8.1.2 *Aequeponderare*

Aequeponderare è tra quei termini ambigui e contraddittori maggiormente impiegati nella concettualizzazione teorica della meccanica. Nella meccanica medievale il termine *aequeponderare* era interpretato come pesare ugualmente e pertanto, dal punto di vista della *gravitas secundum situm*, il problema era stabilire se pesi equiponderanti, cioè *pesi* che *pesano* allo stesso modo, posti su una leva in equilibrio in posizione orizzontale, non siano più equiponderanti qualora la stessa leva venisse messa in posizione obliqua. Dal punto di vista di Guidobaldo, che dava un'interpretazione diversa del problema, i pesi su una leva in equilibrio continuerebbero a pesare allo stesso modo, anche se la leva venisse spostata in posizione obliqua. La diversa interpretazione era data dal fatto che, secondo i “sostenitori” della scienza medievale, se una leva in posizione orizzontale con pesi equipesanti ed equidistanti dal centro venisse spostata in posizione obliqua, allora ritornerebbe nella sua posizione orizzontale di partenza a seguito dell'aumento di gravità del peso più in alto. Al contrario, Guidobaldo riteneva che, in base all'equilibrio indifferente teorizzato nel *Mechanicorum liber*, la stessa leva poc'anzi considerata sarebbe rimasta nella sua nuova posizione. Il problema, da come si evince dalle diverse posizioni appena esposte sul tema, riguardava l'ambiguità del termine *peso* (*pondus*) e la connessione di quest'ultimo con *ponderare*, il quale rimandava etimologicamente al *pesare*. Dal momento che per *pondus* si intendeva il corpo fisico e per *ponderare* l'azione del *pesare*, è evidente la confusione che si creava quando si esaminavano le variazioni di *peso* di un *corpo* su una bilancia. All'interno dello scenario considerato l'esame della variazione di *peso* di un *pondus* produceva ambiguità interpretative di ampio respiro. L'incomprensione su come considerare il termine *aequeponderare* emerge anche delle lettere inviate da un certo Boetius Nericius De Sala Gothus a Cristoforo Clavio e destinate a Guidobaldo. L'eloquente risposta di Guidobaldo rivela l'oggetto della contesa:

dice il Goto che io non intendo che cosa sia equeponderare, et io certo confesso di non intendere che aequeponderare sit aequaliter distare ab horizonte tantum et non aequeponderare sit quando libra non est horizonti aequidistans, che mai più ho inteso simil definizione e non trovo chi la dica, che questo saria un distruggere la definitione del centro della gravità [...] che se le dimostrazioni d'Archimede fussero vere solam[en]te quando la libra è equidistante all'horizzonte l'haverebbe detto, perché questa era condition necessaria da dirsi, non l'havendo adunque detto, chiara cosa è che intendere manere et aequeponderare quando la libra è in ogni sito, se ben Arch[imede] per parlar ancora più universalment[en]te non nomina la libra ma distantia ex quibus.⁹²⁴

Dal brano riportato si evince che secondo Guidobaldo per equiponderare non si deve intendere la situazione in cui la bilancia è equidistante all'orizzonte, «ma si può dire e si deve dire che in quel sito [i corpi] aequeponderant, quia alterum aequeponderant alteri, altramente aequaliter non ponderent, et per conseguenza non manerent». Secondo Guidobaldo, l'incomprensione di Goto deriva dal fatto che «ho mal usato quel termine: ma questo non saria niente che al fine si hanno da intendere le cose di quel modo che gli autori le hanno usate. Ancorché mi pare che se la libra della qual si parla (cioè com'io la piglio nella quarta propositione delle Mechaniche), manet quand'ella non è equidistante all'orizzonte, ne seguita che li pesi et ogni cosa aequaliter ponderent»⁹²⁵.

Queste differenti interpretazioni del termine *aequeponderare* derivavano anche dalla diversità dei due approcci alla meccanica. Quello della scienza medievale era caratterizzato dal ruolo predominante della filosofia aristotelica, nella quale assume un significato strategico la propensione che ha un grave a muoversi verso il suo luogo naturale. Invece, nella meccanica di Guidobaldo assume

⁹²⁴ APUG, ms. 259, cc. 188r-189v, Guidobaldo del Monte a Cristoforo Clavio, 28 luglio 1598, lettera pubblicata in Gamba e Montebelli, 1988, pp. 253-258.

⁹²⁵ Sull'argomento rimandiamo a Gamba e Montebelli, 2015; Frank, 2011.

più rilievo il ruolo della statica archimedeica, in cui il *ponderare* di un grave è posto in relazione al braccio di una leva. Concludiamo questo breve *excursus* riportando la riflessione di Gamba e Montebelli riguardante il concetto *ponderare*:

Vale una considerazione di ordine generale. L'idea del «ponderare» si era formata nell'ambito di due diverse tradizioni: quella della filosofia naturale e quella della statica archimedeica. Nella filosofia naturale, soprattutto di tradizione aristotelica, «ponderare» è la propensione di un corpo, preso singolarmente, a muoversi verso il suo luogo naturale, luogo che per i corpi gravi è il centro della Terra. Nella statica archimedeica «ponderare» è il pesare di un corpo posto sul braccio di una leva. Due punti di vista eterogenei. Quello archimedeico strettamente geometrico, tanto da enunciare un teorema per l'equilibrio sulla leva di grandezze commensurabili, e un teorema per l'equilibrio di grandezze incommensurabili. Un'impostazione che non facilita il trasferimento della nozione di centro della gravità dal piano geometrico a quello fisico, operazione tutt'altro che automatica, come può sembrare oggi. Dall'altra parte il punto di vista naturale per 'fisicizzarsi' deve fare il percorso inverso, e superare l'ostacolo della teoria del moto dei corpi gravi verso il loro luogo naturale, difficilmente matematizzabile. Di queste difficoltà la definizione galileiana di momento è una prova evidente; altrettanto evidente è nella impostazione del *Mechanicorum liber* in cui Guidobaldo cerca di mettere insieme le due prospettive. I primi due postulati sulla unicità e fissità rispetto al corpo solido del centro della gravità – «Unius corporis unum tantum est centrum gravitatis» e «Unius corporis centrum gravitatis semper in eodem est situ respectu sui corporis» – sono di carattere geometrico; segue un terzo postulato di tutt'altra natura perché stabilisce una condizione fisica: «Secundum gravitatis centrum pondera deorsum feruntur», ossia il punto di un corpo che più di tutti gli altri percorre una traiettoria diritta verso il centro del mondo è il centro della gravità. Con questo postulato, assente nel Commandino, Guidobaldo trova una sorta di raccordo tra la teoria aristotelica dei luoghi naturali e la geometrizzazione della statica archimedeica. Naturalmente trattando le condizioni di equilibrio delle macchine semplici, la nozione-base aristotelica che i corpi tendono per natura ad andare al centro della Terra, viene impiegata nel senso che la traiettoria naturale di caduta dei pesi «horizonti sit perpendicularis», cioè sia secondo la verticale. Guidobaldo prende in esame anche il caso del centro della gravità di corpi con densità non uniforme. Propone l'esempio più semplice di una sfera metà di legno e metà di piombo, rileva la discrepanza tra la posizione del centro di gravità e quella dei due centri geometrici «di figura» e «di grandezza» che nella sfera geometrica coincidono col centro della gravità.⁹²⁶

A8.1.3. Il *Mechanicorum Liber* e *Le mechaniche* di Guidobaldo tra *aequeponderare* e *momentum*

Prima di riflettere sul rapporto tra il termine *aequeponderare* e il termine *momentum* riportiamo le *Communes Notiones* e le *Notitiae Comuni* che aprono rispettivamente il *Mechanicorum Liber* e *Le Mechaniche*. Nel *Mechanicorum Liber* Guidobaldo scrive le seguenti *Communes Notiones*:

- I. Si ab aequponderantibus aequponderantia auferantur, reliqua aequponderabunt.
- II. Si aequponderantibus aequponderantia adiciantur, total simul aequponderabunt.
- III. Quae eidem aequponderant, inter se aequae sunt gravia.⁹²⁷

Ne *Le Mechaniche* le *Communes Notiones* vengono tradotte nella seguente maniera:

- I. Se da cose ugualmente pesanti si leveranno cose, che pur ugualmente pesino, le restanti peseranno ugualmente.

⁹²⁶ Gamba e Montebelli, 2015, pp. LXVIII-LXIX.

⁹²⁷ Del Monte, 1577, *Communes Notiones*, p. 1v, corsivo nostro.

II. Se da cose ugualmente pesanti si aggiungeranno cose, che pur egualmente pesino, le restanti peseranno ugualmente.

III. Le cose, che all'istesso *sono eguali in peso*, sono tra loro anco *gravi egualmente*.⁹²⁸

Nelle comuni nozioni poste da Guidobaldo notiamo un tentativo di distinguere due concetti apparentemente simili: *aequeponderare* (pesare ugualmente) e *aeque sun gravia* (sono gravi ugualmente). Questa distinzione è data dal fatto che Guidobaldo impiega *aequeponderare* quando intende riferirsi al *pondus*, e quindi all'uguaglianza in termini di peso, mentre usa l'espressione *aeque sun gravia* per indicare che pesi uguali, posti a uguale distanza dal fulcro (informazione che Guidobaldo non esplica ma che possiamo ritenere sottintesa), si equilibrano vicendevolmente. Con quest'ultima asserzione Guidobaldo sembra alludere al concetto di *momento* meccanico. Tuttavia, nel *Mechanicorum Liber* il matematico pesarese non utilizzerà il termine *momento*, se non all'interno della definizione di centro della gravità. Infatti, ad esempio nelle Propositioni V e VI, *Della Bilancia*, prediligerà il termine *pesare* per indicare il peso dei corpi attaccati alla bilancia e userà il termine *grauenza* per indicare la proporzione che si instaura tra pesi e distanze dal fulcro. All'interno *Della Bilancia*, Propositione V Guidobaldo scrive:

Due pesi [*pondera*] attaccati nella bilancia, se la bilancia sarà tra loro in modo divisa, che le parti rispondano scambievolmente à pesi; *peseranno* [*ponderabunt*] tanto ne punti dove sono attaccati, quanto se l'uno, et l'altro fosse perpendicolare dal punto della divisione [Fig. A.18]⁹²⁹.

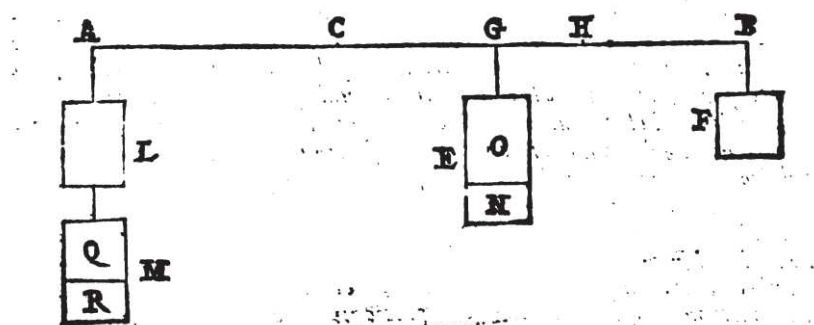
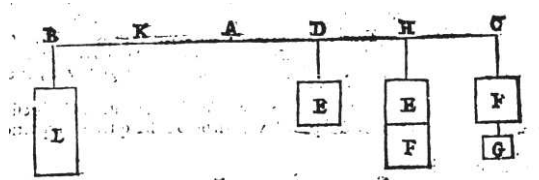


Fig. A.18 Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Propositione V, p. 29v.

Nella parte *Della Bilancia*, Propositione VI Guidobaldo scrive:

I pesi eguali nella bilancia appiccati hanno in *grauenza* quella proportionione, che hanno le distanze dalle quali stanno pendenti [Fig. A.19].⁹³⁰



⁹²⁸ Del Monte, 1581, *Communes Notiones*, p. 1v, corsivo nostro.

⁹²⁹ Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, p. 29v. Nel *Mechanicorum Liber*: «Duo pondera in libra appensa, si libra inter hæc ita diuidatur, vt partes ponderibus per mutatum respondeant; tam in punctis appensis ponderabunt, quam si vtraq; ex diuisionis puncto suspendantur», Del Monte, 1577, *De Libra*, p. 30v.

⁹³⁰ Del Monte, 1581, *Della Bilancia*, Propositione VI, p. 32r. Nel *Mechanicorum Liber*: «Pondera æqualia in libra appensa eam in grauitate proportionem habent; quam distantie, ex quibus appenduntur», Del Monte, 1577, *De Libra*, p. 36r.

All'interno della meccanica di Guidobaldo, il termine *aequeponderare* assume un ruolo importante e al tempo stesso delicato, in quanto esso è posto direttamente in relazione con la teorizzazione delle condizioni di equilibrio di una bilancia basata sulla statica archimedeica e in contrapposizione con la *scientia de ponderibus*.

Le incoerenze e le contraddizioni che abbiamo finora brevemente descritto sono figlie anche delle diverse versioni disponibili della matematica archimedeica. Queste incoerenze erano anche messe in risalto dalle diverse interpretazioni dei traduttori, i quali tendevano a dare una propria lettura del testo permeata di convinzioni teoriche, e che talvolta ostacolava una obiettiva visione d'insieme.

Segnaliamo un caso, già analizzato da Martin Frank in *The curious case of QP VI*, in cui una stessa proposizione di Archimede è interpretata in maniera diversa, tanto da creare delle forti contraddizioni anche dal punto di vista della comprensione della più generale teoria archimedeica dell'equilibrio⁹³¹. Nella proposizione VI della *Quadratura della Parabola* tralasciata da Commandino, Archimede poneva in relazione il concetto di equilibrio con *aequeponderare*: «Quoniam enim positum est, libram aequiponderare: erit AC linea ipsi horizonti aequidistans [Infatti poiché si suppone che la leva sia in equilibrio, la retta AC sarà equidistante all'orizzonte]». In questa traduzione Commandino associa l'idea di equilibrio alla posizione orizzontale della retta, alludendo perciò all'equilibrio stabile come unica condizione di equilibrio. Questa interpretazione dovette aver messo in difficoltà Guidobaldo (come emerge anche dalla polemica a distanza con Goto), in quanto secondo il matematico pesarese, in linea con la sua teoria sull'equilibrio indifferente, una leva può essere in equilibrio anche se non è in posizione orizzontale⁹³². Guidobaldo probabilmente trascurò la versione di Commandino, versione che sicuramente aveva ben presente, in quanto nel *Mechanicorum Liber* e ne *Le Meccaniche* Guidobaldo fa riferimento al «commentario di Federico Commandino nella sesta proposizione di Archimede della quadratura della parabola», optando per un'altra interpretazione maggiormente coerente con l'equilibrio indifferente:

Per la qual cosa se nella leva A B si scioglieranno gli appiccamenti, che sono ad AO, il peso AC appiccato in E rimarrà nell'istesso modo, come hora rimane, cioè levato via il punto A, et la linea QO, nell'istesso modo il peso appiccato in E rimarrà, come era sostenuto da punti istessi AO, come si prova per lo commentario di Federico Commandino nella sesta proposizione di Archimede della quadratura della parabola, et dalla prima di questo della bilancia⁹³³.

Non sappiamo il motivo che spinse Commandino a preferire quella variazione, forse perché non era conoscenza delle altre variazioni o pensava che fosse proprio quella l'espressione utilizzata da Archimede. In ogni caso, afferma Frank, entrambi gli studiosi (Commandino e Guidobaldo) agirono in funzione dei propri interessi: «Commandino voleva fornire una traduzione più fluente e “ragionevole” possibile»; Guidobaldo non voleva compromettere la sua asserzione secondo cui la «concezione dell'equilibrio da parte di Archimede era indifferente»⁹³⁴.

⁹³¹ Frank, 2015b.

⁹³² Frank segnala anche la posizione di Muzio Oddi sul tema: «Another proof that Guidobaldo well knew Commandino's interpretation of QP.6 is a letter that a pupil of his, Muzio Oddi, wrote on the occasion of the dispute between Guidobaldo and Botvidus Nericius about Archimedes' equilibrium conception: “Quando è stato necessario che la libra aequiponderando sta parallela all'orizzonte, Archimede l'ha detto, così nella 6a [proposizione] De quadratura parabolis. Et così dovremo credere che avrebbe fatto nei <prop.ti> [...] nell'Aequiponderanti se fosse stata condizione necessaria, dove non ha mai detto pure una parola di questa aequidistantia, né mai ha nominato orizzonte”. (Letter in question conserved in Biblioteca Universitaria Urbino, Fondo del Comune, Busta 120, cartella 3, fols. 418r-419v)», Frank, 2015b, p. 438.

⁹³³ Del Monte, 1581, Della Leva, p. 40r; Del Monte, 1577, De Vecte, p. 44r.

⁹³⁴ Frank, 2015b, p. 444.

Infine, segnaliamo l'interessante precisazione di Pigafetta a termine del commento che chiude la proposizione IV, *Della Bilancia*: «Doue fi legge questo vocabolo latino Equilibrio, intendafi per uguale contrapeso, cioè che pefa tanto da vna banda, quanto dall'altra in pari lance, o libra, o bilancia che fi dica». La precisazione è curiosa per due motivi: il primo riguarda il numero di occorrenze del termine equilibrio (o *aequilibrium*) nel trattato, dal momento che compare solo una volta a pagina 20v de *Le mechaniche* (*Mechanicorum Liber*, 22v); il secondo riguarda l'accezione di equilibrio, in quanto nel contesto in cui è impiegata rimanda al concetto di *momento*. Come dice Frank, Guidobaldo fu molto più disinvoltato nelle *Meditatiunculae*, dove usa *aequilibrium* più frequentemente, rispetto alle sue opere pubblicate⁹³⁵. Per avere una formulazione esauriente del concetto di *momento* bisognerà aspettare Galileo:

Momento è la propensione di andare al basso, cagionata non tanto dalla gravità del mobile, quanto dalla disposizione che abbino tra di loro diversi corpi gravi; mediante il qual momento si vedrà molte volte un corpo men grave contrapesare un altro di maggior gravità: come nella stadera si vede un picciolo contrapeso alzare un altro peso grandissimo, non per eccesso di gravità, ma sì bene per la lontananza dal punto donde viene sostenuta la stadera; la quale, congiunta con la gravità del minor peso, gli accresce momento ed impeto di andare al basso, col quale può eccedere il momento dell'altro maggior grave. È dunque il momento quell'impeto di andare al basso, composto di gravità, posizione e di altro, dal che possa essere tal propensione cagionata.⁹³⁶

Dopo aver definito *momento*, Galileo impiega tale concetto nella definizione di centro della gravità, chiudendo il cerchio ideale aperto da Federico Commandino nel *Liber de centro gravitatis solidorum*:

Centro della gravità si diffinisce essere in ogni corpo grave quel punto, intorno al quale consistono parti di eguali momenti: sì che, imaginandoci tale grave essere dal detto punto sospeso e sostenuto, le parti destre equilibreranno le sinistre, le anteriori le posteriori, e quelle di sopra quelle di sotto; sì che il detto grave, così sostenuto, non inclinerà da parte alcuna, ma, collocato in qual si voglia sito e disposizione, purchè sospeso dal detto centro, rimarrà saldo. E questo è quel punto, il quale andrebbe ad unirsi col centro universale delle cose gravi, ciò è con quello della terra, quando in qualche mezzo libero potesse discendervi.⁹³⁷

A8.1.4 *Gravitas e Momentum*

Prima di addentrarsi nelle sei parti che costituiscono il *Mechanicorum Liber*, Guidobaldo fissa due «Deffinitioni» del centro della gravezza: prima riferisce la definizione di Pappo e poi quella data da Commandino, all'interno di quest'ultima compare il termine *momento*.

Pappo: Il centro della gravezza di ciascun corpo e un certo punto posto dentro, dal 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, ne in quel portamento si vā rivolgendo.

Commandino: Il centro della gravezza di ciascuna figura solida è quel punto posto dentro, d'intorno alquale le parti di momenti uguali da ogni parte si fermano [cioè si mantengono reciprocamente ferme]. Peroche se per tale centro sarò condotto un piano, che seghi in qual si voglia modo la figura, sempre la dividerà in parti, che peseranno ugualmente [aequeponderantes].⁹³⁸

⁹³⁵ Frank, 2011, pp. 348-349; 376-377.

⁹³⁶ Galileo, 2002, pp. 48-49

⁹³⁷ Galileo, 2002, p. 49. Sul tema si vedano anche i saggi introduttivi di Gatto (Gatto, 2002b) e di Giusti (Giusti, 1990).

⁹³⁸ Del Monte, 1577, Definitiones, p. 1r; Del Monte, 1581, Deffinitioni, p. 1r; Per centro della gravezza si deve intendere un punto geometrico in cui si concentra la *gravitas*. Per *gravitas* si intendeva la pesantezza del corpo e non la forza che agisce sul corpo. Sul tema si veda Gamba e Montebelli, 2015.

Nel Cinquecento, ricorda Paolo Galluzzi, il termine *momento* poteva essere inteso secondo tre significati: minima quantità in generale (Isaia, *Sapienza*) o di moto (*Fisica* di Aristotele), inclinazione naturale al moto proporzionale al peso o alla leggerezza (*Fisica* di Aristotele, il *Commentario* Eutocio a *Sull'equilibrio dei piani*, *Problemi meccanici*), inclinazione meccanica prodotta dal peso o da altri fattori (*Sull'equilibrio dei piani* di Archimede, *De momentis aequalibus* di Maurolico, *De architectura* di Vitruvio)⁹³⁹. La percezione è che, ai tempi di Commandino, il termine *momento* considerato nella terza accezione fosse spesso confuso con *gravitas* (in particolare con *gravitas secundum situm*), *ponderare* e *virtus*, e giustamente distinto da *pondus*. Le poche occorrenze del termine *momento* si registrano solo in relazione al centro della gravità, quindi in relazione al peso e alla distanza dal centro del corpo. Commandino, per evitare ambiguità, mai utilizzò il termine *momento* al di fuori del concetto di centro della gravità, preferendo ad esso vocaboli come *virtus*, *potentia* e *gravitas*. Guidobaldo, al contrario, sembrava fosse in difficoltà nel gestire il termine, tant'è che nella *Paraphrasis* de *Sull'equilibrio dei piani* confonde *momento* nell'accezione di inclinazione naturale con *momento* nell'accezione di inclinazione meccanica⁹⁴⁰.

A8.2 Parte seconda - Report on the Functioning of ALCIDE. The Study of the Term *Gravitas* (15 October 2019)

Summary:

0. Introduction

Part 1. The choice and the conversion of texts

- 1.1 The choice of the texts
- 1.2 Selected texts
- 1.3 The conversion of texts: some issues from ECHO infrastructure to ALCIDE platform

Part 2. History of selected texts

- 2.1 The circulation of Archimedean works
- 2.2 *Scientia de Ponderibus* (*Science of Weights*)
- 2.3 *Quaestiones Mechanicae* (*Mechanical Problems*)
- 2.4 Some works of Guidobaldo dal Monte: *Mechanicorum Liber* (1577) and *In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis* (1588)
- 2.5 *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*
- 2.6 *Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber*, *Heronis Alexandrini Spiritalium liber et Quatuor Theoremata* and *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

Part 3. An overview about the functioning of ALCIDE's tools (date of analysis: 15 October 2019)

- 3.1 Lemma Distribution: *gravitas*
- 3.2 Full Text Search: *gravitas*
- 3.3 Keywords: *gravitas*
- 3.4 Persons
- 3.5 Person Network
- 3.6 Co-occurrences: *gravitas*
- 3.7 The analysis of single texts
- 3.8 Functioning of ALCIDE

⁹³⁹ Galluzzi, 1979, p. 153.

⁹⁴⁰ Sulla nozione di momento presente nell'opera di Commandino, si veda il paragrafo *La nozione di momentum*.

Part 4. Case study: A tentative to analyse the variation and evolution of meaning of term *gravitas* in Jordanus, Commandino, Guidobaldo and Newton (date of analysis: 15 October 2019)

4.1 The semantic change of term *gravitas*. A contextualization.

4.2 The analysis of texts. The term *gravitas* and its study for Co-occurrences

Part 5. Some conclusions

Introduction

During my stay at Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, Matteo Valleriani's group (Max Planck Institut, Berlin), Sara Tonelli's group (Fondazione Bruno Kessler, Trento) and I worked to optimise the digital platform ALCIDE (*Analysis of Language and Content In a Digital Environment*), in order to use it to analyse Latin texts of mechanics and to develop a digital platform to study the semantic change of word into mechanical tradition. ALCIDE was founded by Fondazione Bruno Kessler and it was built up to examine politics discourses. It is able to analyse documents along different dimensions, including the lexical, the semantic, the geographical, the temporal levels, the lemma distributions and the co-occurrences of terms⁹⁴¹.

Our aims were: looking for new ways to improve the digital tool ALCIDE about its application on Latin texts of mechanics, using the potentiality of ALCIDE to analyse the semantic and the lexical evolution of mechanics' terms and developing a digital platform usable in the study of the history of science.

Unfortunately, the ALCIDE does not work with two different languages. It would have been interesting using ALCIDE to analyse the change of the words and their meaning during the translation from Latin to Vernacular language. In the future, I wish the tool will be also developed in this way.

Part 1. The choice and the conversion of texts

1.1 The choice of the texts

The first step was the choice of texts from the digital infrastructure ECHO (European Cultural Heritage Online, Max Planck Institut, Berlin). We used texts conformed with some criteria: the good transcription in XML and the mechanics as their topic.

1.2 Selected texts

1) Archimedes 1565 (Document ID: MPIWG - YS05QMU8)

Author: Archimedes (or who wrote the codex M from the Moerbeke's codex O)

Editors: Niccolò Tartaglia and Curzio Troiano

Full Title: *Archimedis De insidentibus aquaem liber primus cum privilegio Troiano Curtio Venetiis, apud Curtium Troianum, M D LXV*

Title: *Archimedis De insidentibus aquaem liber primus*

Year: 1565

Place of edition: Venice

In English: *On Floating Bodies*

2) [2.1] Archimedes 1565 (Document ID: MPIWG - 4E7V2WGH)

Author: Archimedes (Moerbeke's version)

Editor: Federico Commandino

Full Title: *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo. a Federico Commandino Urbinate in pristinum nitorem restituti, et commentariis illustrati. cum privilegio in annos x. Bononiae, ex officina Alexandri Benacii. M D LXV.*

Title: *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*

Year: 1565

Place of edition: Bologna

Other places mentioned: Urbino

⁹⁴¹ Si veda http://celct.fbk.eu:8080/Alcide_Demo/; sul tema anche Moretti *et al.*, 2016.

In English: *On Floating Bodies*

3) [2.2] Archimedes 1565 (Document ID: MPIWG - 4E7V2WGH)

Author: Federico Commandino

Full Title: *Federici Commandini Urbinatis Liber de centro gravitatis solidorum. cum privilegio in annos x. Bononiae, ex officina Alexandri Benacii. M D LXV.*

Title: *Liber de centro gravitatis solidorum*

Year: 1565

Place of edition: Bologna

Other places mentioned: Urbino

4) Jordanus 1565 (Document ID: MPIWG - F6SYMV1K)

Author: Jordanus de Nemore

Full Title: *Iordani Opusculum De Ponderositate Nicolai Tartaleae Studio Correctum Novisque Figuris Avctum. Cum Privilegio. Traiano Curtio. Venetiis, Apud Curtivm Troianum. M D LXV*

Title: *Liber de ratione ponderis*

Editors: Niccolò Tartaglia and Curzio Troiano

Year: 1565

Place of edition: Venice

5) Guidobaldo 1577 (Document ID: MPIWG - 8SZDBV0)

Author: Guidobaldo del Monte

Full Title: *Gvidivbaldi e Marchionibus Montis Mechanicorum Liber. Pisavri, Apud Hieronymum Concordiam. M. D. LXXVII.*

Title: *Mechanicorum Liber*

Year: 1577

Place of edition: Pesaro

6) Aristotle 1585 (Document ID: MPIWG - XSY685ZD)

Author: (pseudo-) Aristotle

Translator: Niccolò Leonico Tomeo

Full Title: *Aristotelis Stagiritae, peripateticorum principis, Quaestiones Mechanicae, Nicolao Leonico Thomaeo interprete.*

Title: *Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae*

Year: 1585

Place of edition: Venice

In English: *Mechanical Problems*

7) Benedetti 1585 (Document ID: MPIWG - 2DVTZF4)

Author: Giovanni Battista Benedetti

Full Title: *Io. Baptistae Benedicti patritij Veneti philosophi. Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber. Quarum seriem sequens pagina indicabit. ad serenissimum Carolum Emaneelem Allobrogum, et Subalpinorum ducem invictissimum. Taurini, apud haeredem Nicolai Beuilaquae, MDLXXXV. Superioribus permissum.*

Title: *Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber*

Year: 1585

Place of edition: Turin

8) Guidobaldo 1588 (Document ID: MPIWG - N7454WBP)

Authors: Archimedes (or the translator: Eutocius of Ascalon and the version of Iacobus Cremonensis reexamined by Regiomontanus)

Editor: Guidobaldo dal Monte

Full Title: *Gvidivbaldi e Marchionibus Montis In Dvos Archimedis Aeqveponderantium Libros Paraphrasis Scholiis Illustrata. Pisavri, Apud Hieronymum Concordiam; M D LXXXVIII.*

Title: *In Duos Archimedis Aeqveponderantium Libros Paraphrasis*

Year: 1588
Place of edition: Pesaro
In English: *On the equilibrium of planes*

9) Apollonius 1661 (Document ID: MPIWG - 1X8T70WB)

Authors: Apollonius (in Arabic version of Abu'l Fath al Isfahani) and Archimedes (in the Arabic translation of Thabit ibn Qurra)
Translators: Giovanni Alfonso Borelli and Abraham Ecchellensis Maronita
Full Title: *Apollonii Pergaei Conicorumlib. V. VI. VII. Paraphraste Abalphato Asphahanensi nunc primum editi. additus in calce Archimedis assumptorum liber, ex codicibus arabicis m.ss. serenissimi magni ducis Etruriae Abrahamus ecchellensis Maronita in alma urbe linguar. orient. professor latinus reddidit. Io: Alfonsus Borellus in Pisana Academia matheseos professor curam in geometricis versioni contulit, & nota superiores in universum opus adiecit. ad serenissimum Cosmum III. Etruriae principem.*
Title: Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber.
Year: 1661
Place of edition: Florence
Other places: Maronia e Pisa

10) Hero 1680 (Document ID: MPIWG - C3M2XK8N)

Authors: Hero (*Spiritualium liber*) and Giovanni Battista Aleotti (*Quatuor Theoremata*)
Translator: Federico Commandino
Editor: Giovanni Battista Aleotti
Full Title: *Heronis Alexandrini Spiritualium liber, à Federico Commandino Urbinate ex Graeco in Latinum conversus. Huic editioni accesserunt Jo. Bapt. Aleotti Quatuor Theoremata Spiritualia, Ex Italico in Latinum conversa. Amstelodami, Apud Janssonio - Waesbergios. M. DC. LXXX.*
Title: *Heronis Alexandrini Spiritualium liber et Quatuor Theoremata*
Year: 1680
Place of edition: Amsterdam
Other places mentioned: Urbino

11) Newton 1713 (Document ID: MPIWG - 53W4FDX2)

Author: Isaac Newton
Full Title: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. Auctore Isaaco Newtono, Equite Aurato. Editio Secunda Auctior Et Emendatior. Cantabrigiae, MDCCXIII.*
Title: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.*
Year: 1713
Place of edition: Cambridge

1.3 The conversion of texts: some issues from ECHO infrastructure to ALCIDE platform

The conversion of texts from ECHO format in texts usable by ALCIDE platform was not simple. We met some issues:

- 1) Latin neologism (for example *axe in peritrochio*), because some scientific words was obtained directly from Greek language. For this reason, we could not entirely use the vocabulary of classic Latin, that was already known by ALCIDE;
- 2) Divided words (without hyphen: *circu lum* and not *circu-lum*) and joined words (for example *Pondusigitur* and not *pondus igitur*) because of the lack of recognition of the presence or not presence of space between two words by the transcriber, who converted the printed text in electronic format;
- 3) The presence of @ and ¶. @ substitutes an unknown letter: in case of the transcriber did not recognise a letter, he substituted the latter with @. ¶ was used to replace q̇3 that is the short form of *que* (*eius¶* -> *eiusq̇3* -> *eiusque*). To recovery the texts, we replaced manually almost all @ e ¶ with correct letters so that we could have good texts without strange symbols. We

were not able to replace some occurrence of @ that referred to figures or to Greek letters within long Greek texts.

- 4) The incorrect substitution of tilde (symbol). The tilde above vowels (rarely consonants) is important because it suggests a syncope. The transcriber substituted the tilde with the accent or the hyphen, therefore to make an automatic work of conversion is difficult. Furthermore, in some cases, the transcriber wrote an accent where there are not accents. For example *veluti* -> *velutì*.

Part 2. History of selected texts

2.1 The circulation of Archimedean works⁹⁴²

Before entering our texts, since almost all texts concern the translation or the use of Archimedes' works, it is necessary to contextualise the fascinating and complicated history of Archimedes' codex during the Renaissance.

During the middle age, Archimedes was read by not so many scholars. It happened because of two reasons: the mediocre correctness of Archimedes' codices and the difficulty of the mathematics within the Archimedes' works. To have a good knowledge of works by Archimedes was necessary to know other ancient works of mathematics and geometry like the theory of ratios and the theory of conics.

The first news about Archimedes' codices arrived in Occident thanks to William of Moerbeke, a member of Dominican order. After his stay in Constantinople and Peloponnese, he settled down in Viterbo. He carried with him codices A and B of Archimedes⁹⁴³. He went to Papal court and, thanks to Clemente IV, in 1268-9 he started to translate codices from Greek to Latin. From the Moerbeke's work (that we called Codex O), the amanuensis produced other copies.

The codex A contained *On the Sphere and Cylinder*, *On the Measurement of a circle*, *On Conoids and Spheroids*, *On Spirals*, *On the Equilibrium of Planes*, *The Sand Reckoner*, *The Quadrature of the Parabola*, *Comments by Eutocius*; the codex B contained *On the Equilibrium of Planes*, *The Quadrature of the Parabola*, two books *On Floating Bodies*.

The codex B was immediately lost (it disappeared in 1311).

The codex A was lost in 1564, but fortunately some transcriptions were done: for example the codices Marciano (E) and Laurenziano (D).

Anyway, the codex A circulated during the Middle Age: it belonged to Nicola V and it was translated by Cremonensis (1450). Later it belonged to Giorgio Valla (*De expetendis et fugiendis rebus opus*, Venetiis 1501) and to cardinal Rodolfo Pio, the last owner.

Bessarione, the owner of the codex E, had asked to Regiomontanus to make a better translation than Cremonensis' one. In 1474 Regiomontanus elaborated a plan: he wanted to publish the *Conics* by Apollonius (the first translation will be made by Memmo in 1537), *Mechanical Problems* (*Quaestiones Mechanicae*), the comment to Euclid by Campanus and so on. Unfortunately, he died before concluding his project. In few words, Regiomontanus was able to know that it was necessary to appropriate of other texts of ancient mathematics to understand Archimedes.

The codex O was in Venice and the owner was the priest Andreas Coner. In Venice some parts of the codex O were copied. The product was the codex M and this codex was used by Luca Gaurico.

In 1503 Luca Gaurico printed some parts of the codex M (*On the Measurement of a Circle* and *The Quadrature of the Parabola*) in *Tetragonismus id est circuli quadratura per Căpanū, Archimedē Syracusanū atq boetium mathematicae perspicacissimos adinuenta*, that was the first printing of Archimedes' books. In 1543 Tartaglia published the same parts already published by Gaurico plus *On the Equilibrium of Planes* and *On Floating Bodies*. He implied that he translated from Greek to Latin language, while, probably, he copied from codex M. However, Tartaglia omitted the second book of *On Floating Bodies*, since it was too obscure and incomplete and, as great mathematicians, he could not publish it. In 1527 Marcello Cervini acquired the codex O from Coner.

⁹⁴² Clagett, 1964-84, Napolitani, 2001.

⁹⁴³ Differently, some scholars affirm that these codices were a gift from Carlo d'Angiò to Clemente IV,

The *editio princeps* (1544) of Archimedes' works, with the comment of Eutocius and with the program of Regiomontanus within the preface, was published by Venetorius in Basle.

Commandino, thanks to Cervini and Ranuccio Farnese, published some works of Archimedes in 1558. He based his research and translation on the preface of *editio princeps* where the plan of Regiomontanus was quoted.

In 1565 Commandino published *On Floating Bodies* in Bologna and later published the texts used to understand Archimedes' works: *Mathematical Collection* by Pappus, *Conics* by Apollonius, Euclid's *Element*, Sereni's works (*De Sectione Cylindri* and *De Sectione Cones*).

Within the second proposition of second book (of *On Floating Bodies*), Archimedes used the centre of gravity of solids, but without giving a demonstration and an explanation in this work or in other ones. For this reason and for the delay of Francesco Maurolico⁹⁴⁴ to print his work, Commandino decided to print a book on the centre of gravity of solids, where he demonstrated important theorems. However, Commandino believed that Archimedes had already shown these theorems in other unknown works or had known them from his contemporaries.

On Floating Bodies

The books on the buoyancy left a significant mark in the history of science. *On Floating Bodies* contains two books. In the first book there is the so-called principle of Archimedes (even if Archimedes precisely did not formulate the principle, we can deduce it by the propositions III, IV, V, VI, VII). The second book is a concentrate of geometry and mathematics, where Archimedes investigates the stable equilibrium positions of floating right paraboloids.

Probably, *On Floating Bodies* was the most difficult work by Archimedes, above all because of the obscure and ambiguous mathematics and geometry contained in the second book. It needed of a total review based also on the recovery of ancient mathematics.

On Floating Bodies (Archimedis De insidentibus aquaem liber primus and Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo) in ALCIDE

In ALCIDE we inserted two texts of *On Floating Bodies* (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus* and *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*). The first one was published by Troiano after the death of Niccolò Tartaglia. The second text was published by Federico Commandino after a laborious philological and mathematical recovery of its content. These two texts are not identical, because some mathematical and philological interpretation are different.

Federico Commandino (1509? Urbino – 1575 Urbino) was one of the protagonists of the emergence of the Galilean revolution. He was, like Rose said, the most important restorer of mathematics. He was a great mathematician and a great philologist. Thanks to his works, a lot of corrupt texts were cleaned and recovered. In the same year of publication of Troiano's edition, Commandino published his version of *On Floating Bodies*. He had begun the translation ten years before. It is the product of a hard research that progressively brought Commandino to restore some Archimedean works, the first three books of *Mathematical Collection* (*Collectiones Mathematicae*) by Pappus, *Conics* by Apollonius, a comment of Euclid's *Element*, Sereni's works (*De Sectione Cylindri* and *De Sectione Cones*) and to write a *Liber de centro gravitatis solidorum*, in order to clarify the undefined but widely used concept of centre of gravity of solids. In the *Liber de centro gravitatis solidorum*, Commandino uses the word *momentum*, in order to define the centre of gravity of a solid. How Commandino explains within his preface, this publication was necessary to complete and to permit an adequate understanding of the second book of *On Floating Bodies*, where Archimedes used the concept of centre of gravity of solids without defines it.

Niccolò Tartaglia (Brescia 1499 - Venice 1557) was one of the most important mathematicians of Sixteenth Century. He was initially educated in abacus school, but he left the school because he was not able to pay his teacher. Tartaglia studied and improved his knowledge as self-taught person. He became one of the most esteemed master. He published *La Nova Scientia* (1537), the

⁹⁴⁴ Maurolico, 1685.

vulgar translation of Euclid's *Elements* (1543), *Opera Archimedis* (1543), *Quesiti et invention diverse* (1546), *La travagliata inventione* (1551), *General trattato di numeri et misure* (1556). An interesting text is *Opera Archimedis*, where within Tartaglia inserts the *On the Measurement of Circle*, *The Quadrature of the Parabola*, *On the Equilibrium of Planes*, the first book of *On Floating Bodies*. Tartaglia hadn't published the second book of *On floating bodies* (omitting also its existence), because he knew that the second book was too obscure and ambiguous. Differently Troiano, the inheritor of Tartaglia's works, published both the first and the second book.

2.2 *Scientia de Ponderibus (Science of Weights)*

Jordanus de Nemore (1225? – 1260?) wrote several treatises during the thirteenth century. We do not know more about his life. His name is associated to the medieval tradition of *Scientia de Ponderibus*. His most important works are *The Elementa super demonstrationem ponderum*, *Liber de ratione*, *Liber de ponderibus*, where he theorised the *Gravitas secundum situm* (the upper weight acquires more positional heaviness than the lower one due to the fact that its descent is less oblique). We have uploaded in ALCIDE *Liber de ratione* edited by Curzio Troiano in 1565 and owned by Niccolò Tartaglia, one of the most important teachers of abacus and important proponent of this illustrious medieval tradition.

2.3 *Quaestiones Mechanicae (Mechanical Problems)*⁹⁴⁵

The attribution of *Mechanical problems (Quaestiones Mechanicae)* is uncertain. Until the Renaissance it was attributed to Aristotle, then, for philological reasons, it was attributed to one or more pupils of Aristotle. For convenience we will say that it was written by Aristotle.

Given that the mechanical phenomena create surprise because they include contrary phenomena (for example it is possible to lift a heavy body with little force) and the circle reveals opposite properties, according to Aristotle the mechanical movements could be reduced to the circle's proprieties.

- 1. The circle is made by what is stationary, i.e., the end of the radius, and by what is moving, i.e., the other parts of the radius that move round and produce the surface of the circle.
- 2. The circle is concave inside the circumference, as well as convex outside the circumference.
- 3. The rotating circle moves simultaneously in opposite directions, for this reason it moves simultaneously forwards and backwards.
- 4. The circle is made by the movement of a line drawn as a radius from the center, but no two points on that line move at the same velocity: the point which is further from the fixed center moves more rapidly.

Content: Aristotle analyses different problems from different topics. We can find problems about the behaviour of scales and levers and the curious mechanical phenomena come from practice.

It is useful to remind that some of the most important mathematicians (as Guidobaldo dal Monte and Bernardino Baldi) elucidated the behaviour of scales using the concept of centre of gravity.

Some questions. In the second question it is asked why, if the support of a balance is fixed from above, does the balance revert back to its original position of equilibrium after the beam has inclined and the weight is removed? on the other hand, if the support is placed below the beam after it has been inclined, why doesn't it return to its original position?

Question 3 asks why small forces can move heavy weights by means of a lever. The Aristotelian solution consists in making the lever equivalent to the beam of a balance with its support placed below and stating that the greater the distance of the power from the fulcrum, the more easily the weight can be moved because, under the impulse of the same weight, the greater the radius is from the center, the more rapidly it moves.

Question 5 asks why the rudder, which is small and at the end of the vessel, has such great force that the large mass of the ship can be moved by a small tiller and by the force of one single man exerting just a small effort. The answer given is that the rudder is a lever, the sea the weight and the helmsman the moving power. The rudder works differently from the oar because it does not strike the sea at right angles to its length, and it does not drive the ship forward, but turns it

⁹⁴⁵ Micheli, 1995; Nenci, 2011.

while it moves, receiving the sea at an angle. It is placed at the end and not in the middle of the ship because a moved body can move most easily when the moving power acts from the end⁹⁴⁶.

Nicholas Leonicus Thomaes (1456 Venice – 1531) was one of the most important and first commentators of Aristotelian works (in chronological order: the Venetian humanist Vittore Fausto (1517), Nicholas Leonicus Thomaes (Venice in 1525 and in Paris in 1530), Alessandro Piccolomini (1547) translated this work from the original Greek into Latin language and he added brief comments. The translation and the comment of Thomaes was inserted in miscellaneous book edited by Ioachim Bruniolum in 1585.

2.4 Some works of Guidobaldo dal Monte: *Mechanicorum Liber* (1577) and *In Duos Archimedis Aequaeponderantium Libros Paraphrasis* (1588)

Guidobaldo del Monte (1545 – 1607 Mombaroccio) was pupil and successor of the activity of Commandino. Guidobaldo translated and commented *On the Equilibrium of Planes* by Archimedes (1588). He was also a capable architect and an important sponsor and friend of Galileo Galilei.

On the Equilibrium of Planes completes the *Liber de centro gravitatis solidorum* by Commandino. The Archimedean work analyses the condition of equilibrium of planes. Guidobaldo translated and enriched it with important scholium.

Mechanicorum Liber was published by Guidobaldo in 1577. It was the first printed text entirely dedicated to theory of machines. This book is important for three reasons: it was a tentative to establish a mathematical model of the machines, to reveal the connection between their operation mode and geometry and to give more dignity to mechanics.

From an epistemological point of view, *Mechanicorum Liber* has another important feature. In this treatise, Guidobaldo explains some Aristotelian questions using Archimedean concepts. According to Guidobaldo, Archimedes has followed in his axioms what Aristotle had shown in *Mechanical Problems*⁹⁴⁷.

The structure of *Mechanicorum Liber* follows the Euclid's *Elements*; the content obeys the *Mathematical Collections* by Pappus, the Aristotelian works (*On the Heaven*, *Physics*, *Mechanical Problems*) and the Archimedean works (in particular *On the Equilibrium of Planes*). The treatise of *Mechanicorum Liber* begins with a short list of *Diffinitiones*, *Communes Notiones* and *Suppositiones*, then it continues with the six parts of the treatise: On the Balance, On the Lever, On the Pulley, On the Wheel and Axle, On the Wedge, On the Screw.

Guidobaldo reduces the five simple machines (Balance, Pulley, Wheel and Axle, Wedge and Screw) to the principle of lever.

Within the treatise, Guidobaldo presents an innovative concept: the indifferent equilibrium. The indifferent equilibrium went against the medieval tradition of *Science of Weights* represented by Jordanus de Nemore, Gerolamo Cardano and Niccolò Tartaglia. Within his treatise, Guidobaldo attacks the principal arguments of his adversaries: first of all, the *gravitas secundum situm*, secondly the mixed angle (it is the angle resulted from the intersection of a straight line downward and a curved line) and thirdly the *meta* angle (the angle between the support of the balance and the beam).

2.5 *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*

Giovanni Battista Benedetti (1530 Venice – 1590 Turin), pupil of Tartaglia, was an important mathematician and he indirectly influenced the thought of Galileo (probably thanks to Guidobaldo dal Monte, because the latter knew the Benedetti's works and discussed about its content with Galileo). The *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* (1585) is a big work (it includes numerous parts: *Theoremata Arithmetica*, *De rationibus operationum perspectivae*, *De mechanicis*, *Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis*, *In quantum Euclidis Librum*, *Physica et Mathematica responsa*). He analysed different branch of mathematics. He widely uses Archimedean and Euclidean concepts.

⁹⁴⁶ Nenci, 2011.

⁹⁴⁷ Bertoloni Meli, 1992.

The part *De Mechanicis* by Benedetti is very interesting because within he also debated the *Mechanical problems* by (pseudo-)Aristotle, expressing his points of view on different *Quaestiones*.

2.6 *Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber, Heronis Alexandrini Spiritalium liber et Quatuor Theoremata* and *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber, 1661

Borelli and Maronita published the books V-VI-VII of *Conics* by Apollonius from Arabian text (from Arabian version of Abu'l Fath al Isfahani) and *Assumptorum liber* by Archimedes (from the Arabian version of the manuscript of Thabit ibn Qurra, but it is very likely that the text was not written by Archimedes, because Archimedes is quoted several times). This work is directly connected with the Commandinian opera.

Maronita is Ibrahim al-Haqilani, (1605 –1664) Latinized as Abraham Ecchellensis. He was a Maronite Catholic philosopher and linguist involved in the translation of the Bible into Arabic. He translated several Arabic works into Latin).

Giovanni Alfonso Borelli (1608 Naples-1679 Rome) was a doctor and physicist. He was a member of the Accademia del Cimento and he was well-known for *Motu Animalium*, where he applied physics and mechanics to biology.

Heronis Alexandrini Spiritalium liber et Quatuor Theoremata, 1680

Janssonio-Waesbergious published the translation by Commandino, and edited by Valerio Spacciuoli (the son-in-law of Commandino) in 1575, with the theorem by Giovanni Battista Aleotti (1546 – 1639 Ferrara), already published in 1589. Aleotti was an important architect and he especially worked in Ferrarian territory.

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1713

The first edition of *Principia* is dated 1687. It concludes the revolution of science. In this treatise **Isaac Newton** (1642-1727 London) enunciated the laws of dynamics and the law of universal gravitation. Thanks to Newton the notion of gravitas is mathematically formalized, but to obtain a precise physical definition (according to Newton the gravity has a spiritual nature) we have to wait for the revolutionary theory of general relativity of Albert Einstein, which also changed the mode to understand the concept of gravity.

We have uploaded in ALCIDE the second edition of *Principia* published by Roger Cotes.

Part 3. An overview on the functioning of ALCIDE's tools (date of analysis: 15 october 2019)

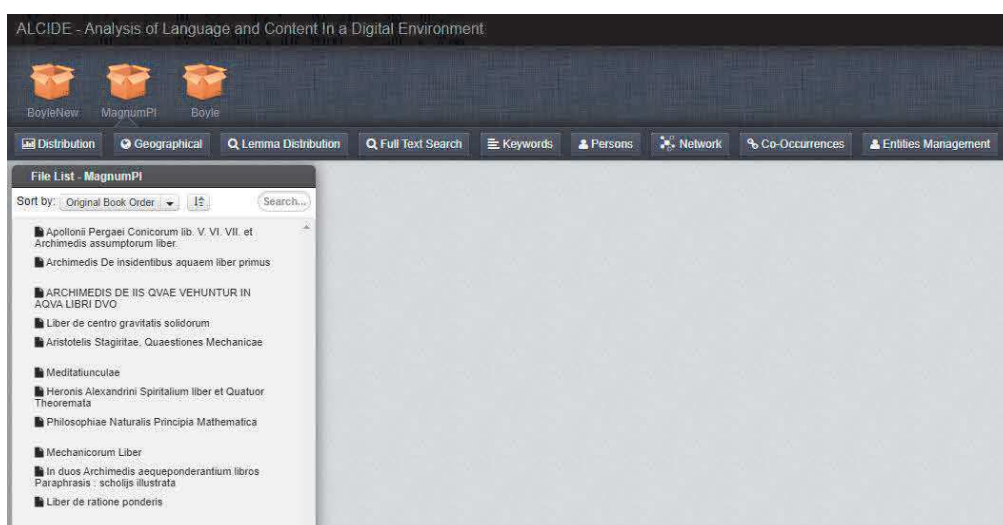


Fig. A.20 'Home' of ALCIDE.

3.1 Lemma Distribution: *gravitas*

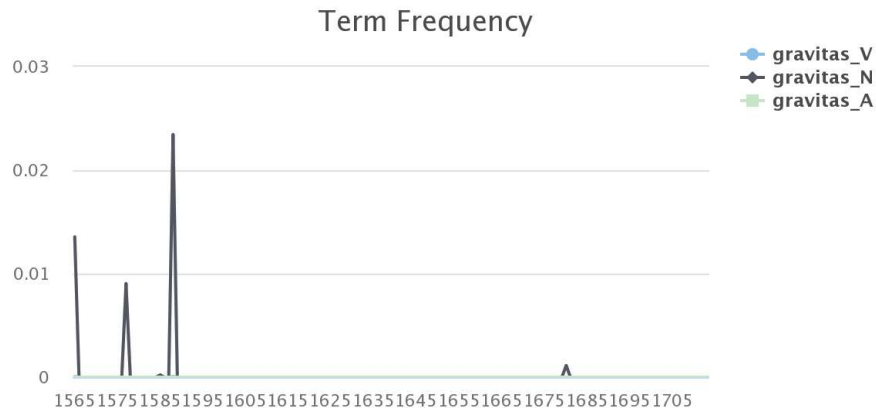


Fig. A.21 The diagram of Term Frequency of the term *gravitas*.

Signaled texts:

Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, 1565
Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, 1565
Liber de centro gravitatis solidorum, 1565
Liber de ratione ponderis, 1656
Mechanicorum Liber, 1577
Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae, 1585
Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber, 1585
In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, 1588
Heronis Alexandrini Spiralium liber et Quatuor Theoremata, 1680

Problems:

The tool Lemma Distribution does not recognise the text *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* by Newton.

3.2 Full Text Search: *gravitas*

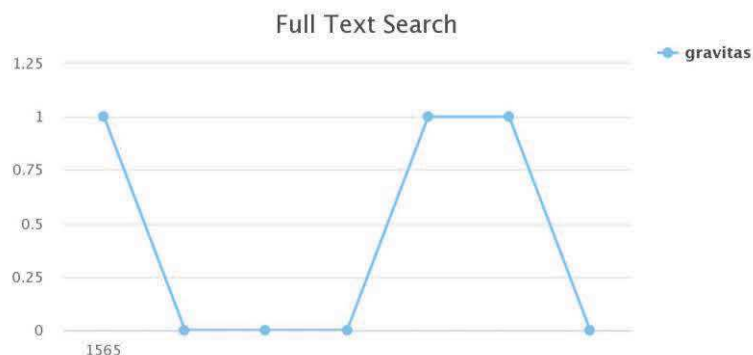


Fig. A.22 The diagram of Full Text Search of the term *gravitas*.

Signaled texts:

Liber de centro gravitatis solidorum, 1565

Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber, 1661

Heronis Alexandrini Spiritalium liber et Quatuor Theoremata, 1680

Problems:

The tool Full Text Search signals the presence of term *gravitas* in *Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber*, but in the book the term *gravitas* is absent.

The tool Full Text Search does not signal the presence of term *gravitas* in:

Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, 1565

Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, 1565

Liber de ratione ponderis, 1656

Mechanicorum Liber, 1577

Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae, 1585

Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber, 1585

In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, 1588

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1713

3.3 Keywords: *gravitas*

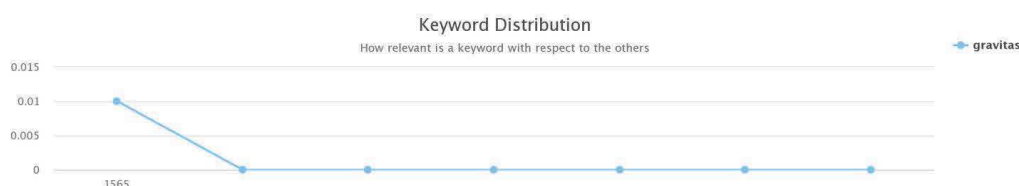


Fig. A.23 The diagram of Keyword Distribution of the term *gravitas*.

Signaled texts:

Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, 1565

Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, 1565

Problems:

The tool Keywords does not signal the presence of term *gravitas* in:

Liber de centro gravitatis solidorum, 1565

Liber de ratione ponderis, 1656

Mechanicorum Liber, 1577

Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae, 1585

Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber, 1585

In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, 1588

Heronis Alexandrini Spiritalium liber et Quatuor Theoremata, 1680

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1713

3.4 Persons

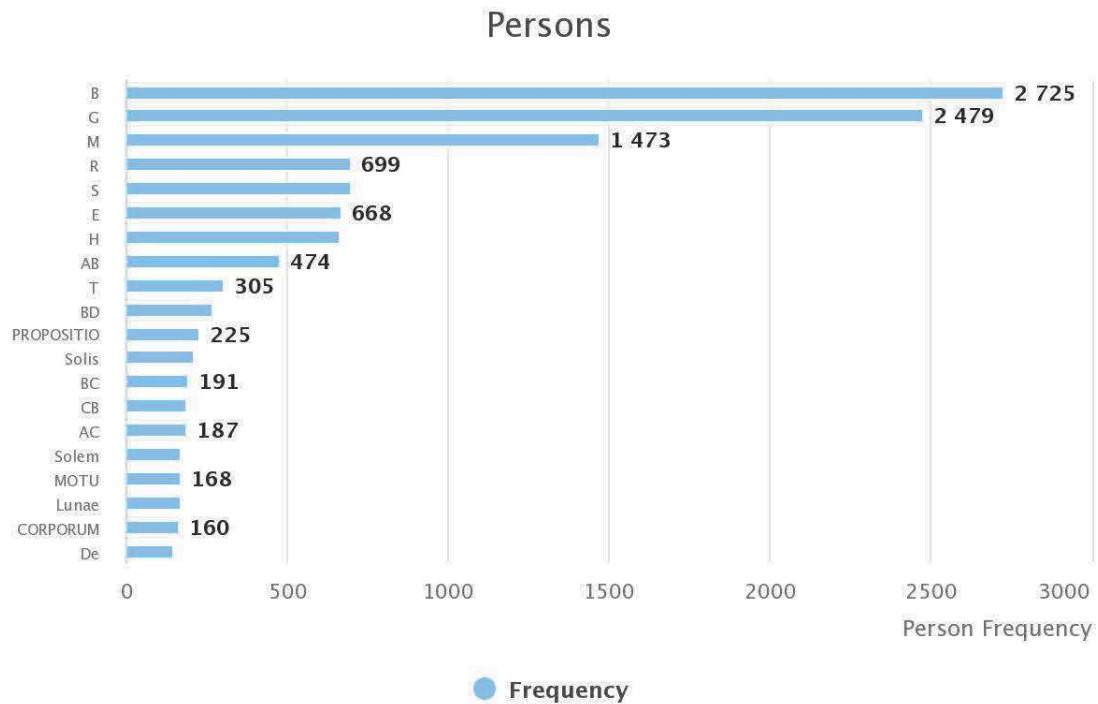


Fig A.24 The diagram of Frequency of Persons within the texts.

Problems:

The tool Persons does not work fine. ALCIDE recognises as Person each word that starts with capital letter.

3.5 Person Network

It is possible to investigate the network around the word Archimedes. The results are remarkable.

3.6 Co-occurrences: *gravitas*

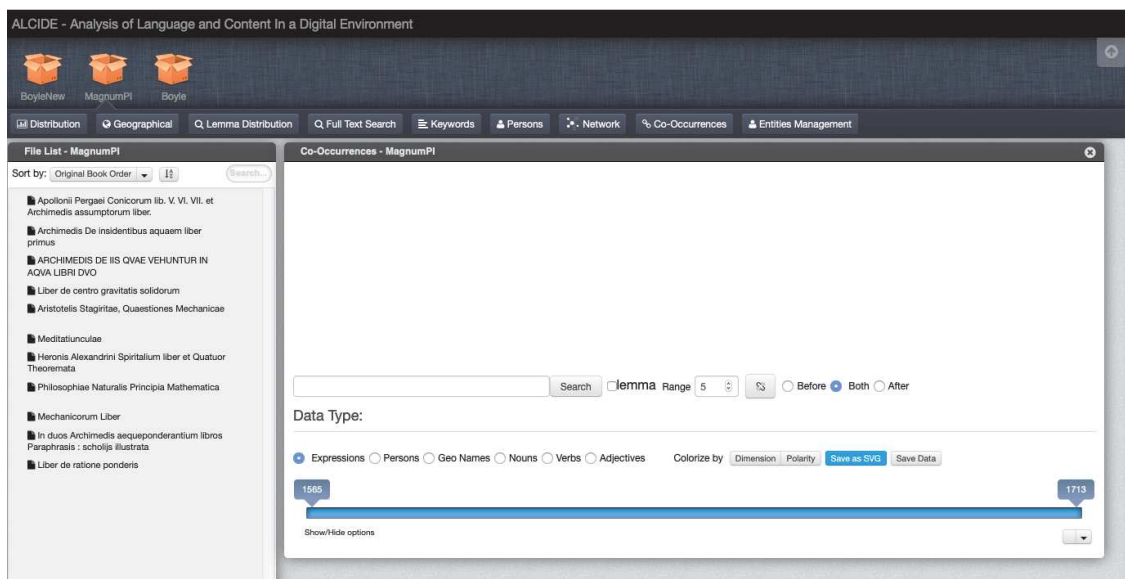
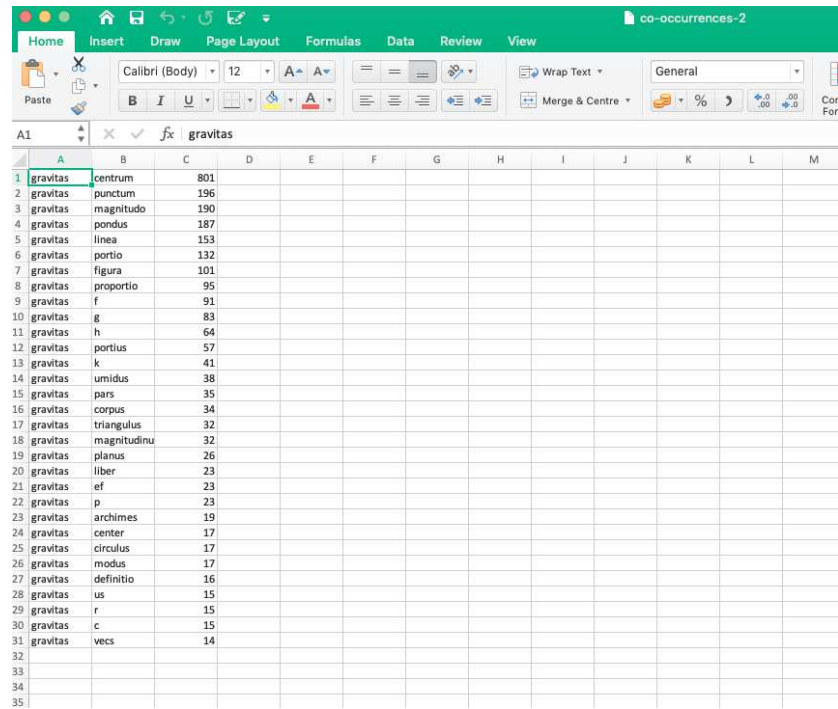


Fig. A.25 The 'home' of co-occurrences.

Criteria of research:

- a) Search: Lemma
- b) Range: 5 words
- c) The position of *gravitas* in relation to other words: before and after
- d) Data Type: nouns

The results:



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	gravitas	centrum	801										
2	gravitas	punctum	196										
3	gravitas	magnitudo	190										
4	gravitas	pondus	187										
5	gravitas	linea	153										
6	gravitas	portio	132										
7	gravitas	figura	101										
8	gravitas	proportio	95										
9	gravitas	r	91										
10	gravitas	g	83										
11	gravitas	h	64										
12	gravitas	portius	57										
13	gravitas	k	41										
14	gravitas	umidus	38										
15	gravitas	pars	35										
16	gravitas	corpus	34										
17	gravitas	triangulus	32										
18	gravitas	magnitudinu	32										
19	gravitas	planus	26										
20	gravitas	liber	23										
21	gravitas	ef	23										
22	gravitas	p	23										
23	gravitas	archimes	19										
24	gravitas	center	17										
25	gravitas	circulus	17										
26	gravitas	modus	17										
27	gravitas	definitio	16										
28	gravitas	us	15										
29	gravitas	r	15										
30	gravitas	c	15										
31	gravitas	vecs	14										
32													
33													
34													
35													

Fig. A.26 The presence of the term *gravitas* within the texts.

The proposal of improvement: it could be useful to show the titles of the texts near the occurrences.



Fig. A.27 The diagram of the presence of the term *gravitas* within the texts.

Signaled texts

Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, 1565

Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, 1565

Liber de ratione ponderis, 1656

Liber de centro gravitatis solidorum, 1565

Mechanicorum Liber, 1577

Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae, 1585

Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber, 1585

In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, 1588

Heronis Alexandrini Spirituum liber et Quatuor Theoremata, 1680

Problem:

The tool Co-occurrences does not signal the presence of term *gravitas* in:

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1713

Relevant Co-occurrences of term *gravitas*:

Centrum [801 occurrences] (*Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*, *Archimedis De insidentibus aquaem liber primus*, *Liber de centro gravitatis solidorum*, *Mechanicorum Liber*, *In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis*, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*). [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **punctum** (*Apollonius*, *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*, *Liber de centro gravitatis solidorum*, *Mechanicorum Liber*, *In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis*, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **mundus** (*Mechanicorum Liber*, *In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis*, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **sphaera** (*Archimedis De iis quae vehuntur*

in aqua libri duo, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Liber de centro gravitatis solidorum, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber), **pondus** (Liber de centro gravitatis solidorum, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Liber de ratione ponderis), **libra** (Mechanicorum Liber, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Liber de ratione ponderis, Aristoteles), **gravitas** (redundant).

Punctum [196 occurrences] (Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis) [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **centrum** (Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Aristoteles, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **corpus** (Liber de centro gravitatis solidorum, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **magnitudo** (Liber de centro gravitatis solidorum, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **linea** (Apollonius, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **gravitas** (redundant).

Magnitudo [190 occurrences] (Liber de centro gravitatis solidorum, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Aristoteles, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber). [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **pondus** (Aristoteles, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber), **centrum** (In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **umidus** (Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus), **corpus** (Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber), **figura** (In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus), **gravitas** (redundant).

Pondus [187 occurrences] (Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber) [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **appensus** (Liber de ratione ponderis, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber), **situs** (Liber de ratione ponderis, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **punctum** (Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **fulcimentum** (Mechanicorum Liber), **centrum** (Liber de ratione ponderis, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **potentia** (Quaestiones Mechanicae, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis), **circumferentia** (Mechanicorum Liber), **gravitas** (redundant).

Linea [153 occurrences] (Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Mechanicorum Liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis) [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **inclinatio** (Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber), **magnitudo** (Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Liber de centro gravitatis solidorum, Mechanicorum Liber), **centrum** (Apollonius, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de ratione ponderis, Liber

de centro gravitatis solidorum, Mechanicorum Liber, Quaestiones Mechanicae, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Heronis Alexandrini Spiritualium liber et Quatuor Theoremata), **gravitas** (redundant).

Proportio [95 occurrences] (*Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Mechanicorum Liber, Liber de ratione ponderis, Liber de centro gravitatis solidorum*) [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **corpus** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **velocitas** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **pondus** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber, Liber de ratione ponderis*), **potentia** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Mechanicorum Liber*).

Umidus [38 occurrences] (*Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Heronis Alexandrini Spiritualium liber et Quatuor Theoremata*)

Corpus [34 occurrences] (*In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, Mechanicorum Liber, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum*) [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **motus** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **magnitudo** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis*), **pondus** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **linea** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **densitas**, (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*).

Note: The tool Co-occurrences, as tool to launch a combined research, works fine.

Problem:

The tool Co-occurrences signals the presence of term *gravitas* in *Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber*, but here there are not occurrences of *gravitas*.

3.7 The analysis of single texts

Apollonii Pergaei Conicorum lib. V. VI. VII. et Archimedis assumptorum liber.

Keywords (the first five relevant keywords): *proportio, aequalis, Hyperbole, rectangulus, angulus.*

Persons: *Apollonio, Archimedis.*

Archimedis De insidentibus aquaem liber primus

Keywords (the first five relevant keywords): *humidum, centrum, conus, magnitudo, tetragonus.*

Persons: *Tartalea, Cornelius, Archimedis.*

Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo

Keywords (the first five relevant keywords): *humidum, centrum, linea, punctum, proportio.*

Persons: *Archimedis, Urbinas.*

Liber de centro gravitatis solidorum

Keywords (the first five relevant keywords): *centrum, punctum, gravitas, linea, conus.*

Persons: *Archimedis, Farnesio, Benacii, Campanus.*

Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae

Keywords (the first five relevant keywords): *pondus, natura, centrum, circulus, libra.*

Persons: *Aristoteles.*

Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber

Keywords (the first five relevant keywords): *punctum, velocitas, corpus, linea, circulus.*

Persons: *Euclides, Tartalea, Aristoteles.*

Heronis Alexandrini Spiritalium liber et Quatuor Theoremata

Keywords (the first five relevant keywords): *vas, aqua, humidum, aer, spiraculum.*

Persons: *Hercules.*

Liber de ratione ponderis

Keywords (the first five relevant keywords): *pondus, proportion, obliquus, gravior, motus.*

Persons: *Iordanes, Tartalea.*

Mechanicorum Liber

Keywords (the first five relevant keywords): *pondus, gravitas, centrum, libra, punctum.*

Persons: */.*

In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis

Keywords (the first five relevant keywords): *linea, centrum, gravitas, aequalis, Archimedis.*

Persons: *Archimedis.*

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica

Keywords (the first five relevant keywords): *ratione, corpus, motus, mundus, gravitas.*

Persons: *Sol, Luna, Terra.*

3.8 Functioning of ALCIDE:

Serious problems: 3.3 Keywords, 3.4 Persons

Tolerable problems: 3.2 Full Text Search, 3.7 The analysis of single texts: Persons (see 3.4 Persons).

Good Functioning: 3.1 Lemma Distribution, 3.5 Person Network, 3.6 Co-occurrences, 3.7 The analysis of single texts: Keywords.

Note:

ALCIDE does not recognise the text *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* by Newton.

Part 4. Case study: A tentative to analyse the variation and evolution of meaning of term *gravitas* in Jordanus, Commandino, Guidobaldo and Newton (date of analysis: 15 October 2019)

I analysed the presence of term *gravitas* in

Jordanus: year 1565.

Commandino and Guidobaldo: years 1565, 1577, 1588.

Benedetti: year 1585.

Newton: year 1713.

4.1 The semantic change of term *gravitas*. A contextualization.

Gravitas in Jordanus, year 1565.

The concept of *Gravitas secundum situm* (positional heaviness) had a fundamental role within the medieval treatises of mechanics. Jordanus was one of the main exponents of the medieval *Scientia de Ponderibus* (Science of Weights) and he contributed to formalize the theory of *Gravitas secundum situm*. According to Jordanus, the heaviness of a weight depends on its position and this heaviness can be quantified analysing the obliquity of the descent. The latter is measured in according with the projection of the portion of circumference virtually covered on its vertical. The consequence is that if a scale in equilibrium, with weights at the same distance from the fulcrum and arranged in horizontal position, is moved in oblique position, then it comes back to horizontal position, because the upper weight covers a longer portion of the projection of circumference on the vertical than the lower weight. Another important and ambiguous concept

in Jordanus' *gravitas secundum situm* is *virtus*. He uses the term *virtus* in association with weight to indicate both a motive power directed downwards and a resistance when an applied force tends to raise it⁹⁴⁸.

Keywords: *gravitas, situs, virtus*.

Gravitas and the centre of gravity in Commandino and Guidobaldo, years: 1565, 1577, 1588.

The definition of Commandino: the centre of gravity of any solid shape is that point within it around which are disposed on all sides parts of equal moments, so that if a plane be passed through this point cutting the said shape, it will always be divided into parts of equal weight. Commandino uses *gravitas* to mean heaviness concentrated in a point. In *Paraphrasis* and *Mechanicorum Liber* Guidobaldo uses different terms to express the variability of a weight's effect in function of the distance to the fulcrum or the inclination of a balance beam. In *Mechanicorum Liber*, he uses the term *gravitas*, in *Paraphrasis* he mainly uses *aequeponderare* and *momentum*. This last acceptance is directly referred to Pappus' and Commandino's works⁹⁴⁹.

Keywords: *gravitas, centrum, punctum, momentum*.

Gravitas in Benedetti, year 1585.

Even if the word of *momentum* does not appear in Benedetti, we can suppose that he considered the concept of *gravitas* like our notion of *momentum*. For Benedetti, a *pondus* can be more or less heavy on a balance and its heaviness pushes the weight downward and practices a pressure on the fulcrum. Furthermore, Benedetti also considers the case of an application of a force. The latter consideration permits Benedetti to generalize the concept of *gravitas*, as the heaviness of a body, to the *virtutes moventes*. Benedetti enters in dynamics using virtual works and statics arguments⁹⁵⁰.

Keywords: *gravitas, virtus movens*.

Gravitas in Newton, year 1713.

The gravity becomes a force with a precise mathematical structure and a precise physical behavior, but, above all, it becomes a universal force.

Keywords: *gravitas, virtus*.

4.2 The analysis of texts. The term *gravitas* and its study for Co-occurrences

Basic problem:

ALCIDE does not allow to select texts manually, but only by years.

Selected texts:

Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, 1565

Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, 1565

Liber de centro gravitatis solidorum, 1565

Liber de ratione ponderis, 1565

Mechanicorum Liber, 1577

Aristotelis Stagiritae, Quaestiones Mechanicae, 1585

Diversarum speculationum mathematicarum, et physicarum liber, 1585

In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis, 1588

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1713

Co-occurrences. Some criteria:

- a) I decided to look for lemma the term *gravitas* and to study its relationship with other near words.
- b) I chose to analyse the occurrences close to the keywords. I researched only nouns and in an interval of 5 words.

⁹⁴⁸ Capecchi, 2011; Moody e Clagett, 1952; Pisano e Capecchi, 2016; Renn e Damerow, 2012.

⁹⁴⁹ On Commandino: Gamba e Montebelli, 2015; Gamba e Montebelli, 1988. On Guidobaldo dal Monte: Drake e Drabkin, 1969; Frank, 2011; Frank, 2015b; Renn e Damerow, 2010; Tassora, 2001. On *momentum*: Galluzzi, 1979.

⁹⁵⁰ Becchi, 2015; Benvenuto, 1987; Drake e Drabkin, 1969; Omodeo e Renn, 2013.

- c) We could not isolate the texts, but we could look for the occurrences of keywords for years (1565; 1577; 1585; 1588; 1713). For this reason, I grouped the texts for years.
- d) I chose the most important five occurrences (in relation to the topic of the texts and their frequency).

1565

Gravitas (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Liber de ratione ponderis*) -> **centrum** [246 occurrences] (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum*), **proportio** [75 occurrences] (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Liber de ratione ponderis*), **magnitudo** [49 occurrences] (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum*), **umidus** [37 occurrences] (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*), **moles** [8 occurrences] (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*).

Umidus and **moles** refer to the study of Archimedes on the buoyancy.

Gravitas -> **centrum** [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **linea** (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum, Liber de ratione ponderis*), **figura** (*Archimedis De insidentibus aquaem liber primus, Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum*), **punctum** (*Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo, Liber de centro gravitatis solidorum*).

Gravitas -> **proportio** [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **pondus** (*Liber de ratione ponderis*), **virtus** (*Liber de ratione ponderis*).

Virtus [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **velocitas** (*Liber de ratione ponderis*) -> **motus** (*Liber de ratione ponderis*).

1577

Gravitas (*Mechanicorum Liber*) -> **pondus** [171 occurrences], **centrum** [118 occurrences], **punctum** [18 occurrences], **libra** [10 occurrences], **magnitudo** [10 occurrences].

Pondus [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **potentia**, **appendo**, **fulcimentum**, **punctum**, **gravitas**.

Gravitas [research not by lemma] -> **Cochlea** [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **helix**, **peritrochio**, **cuneo**, **manubrium**, **pappus**.

1585

Gravitas (*Quaestiones Mechanicae, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*) -> **corpus** [8 occurrences] (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **magnitudo** [3 occurrences] (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Aristoteles*), **levitas** [3 occurrence] (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **virtus** [2 occurrences] (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **nutus** [1 occurrence] (*Quaestiones Mechanicae*)⁹⁵¹.

Corpus [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **pondus** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*) [After doubleclick on the term to link up a

⁹⁵¹ Galluzzi (1979), pp. 74-89. Within the *Questione VIII*, Thomaeus uses the term *nutus* to translate the word *ropé* (*ropé* is traditionally translated with *momentum*).

new search] -> **centrum** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **punctum** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **inclinatio** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **libra** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **virtus** (*Quaestiones Mechanicae, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **motus** (*Quaestiones Mechanicae, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **vis** (*Quaestiones Mechanicae, Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*).

Virtus [After doubleclick on the term to link up a new search] -> **pondus** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **vis** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **gravitas** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **velocitas** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **resistentia** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*), **inclinatio** (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*).

1588

Gravitas (*In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis*) -> **centrum** [435 occurrences], **punctum** [135 occurrences], **magnitudo** [128 occurrences], **figura** [69 occurrences], **pondus** [15 occurrences].

1713

Gravitas (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) /.

Problem: ALCIDE does not recognise the text *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* by Newton.

Part 5. Some conclusions

Despite the problems of ALCIDE, we can feel satisfied. We can glimpse an accord between the semantic change of term *gravitas* pointed by scholars and the results of ALCIDE.

Keywords Jordanus: **gravitas**, *situs*, **virtus**.

The semantic path showed by ALCIDE:

Gravitas -> *proportio* -> **pondus**, **virtus**.

Keywords Commandino and Guidobaldo: **gravitas**, **centrum**, **punctum**, *momentum*.

The semantic paths showed by ALCIDE:

Liber de centro gravitatis solidorum:

Gravitas -> **centrum** -> **punctum**.

Mechanicorum Liber:

Gravitas -> **pondus**, **centrum**, **punctum**, *libra*, *magnitudo*.

Pondus -> *potentia*, *appendo*, *fulcimentum*, **punctum**, **gravitas**.

Gravitas -> *Cochlea* -> *helix*, *peritrochio*, *cuneo*, *manubrium*, *pappus*.

In Duos Archimedis Aequponderantium Libros Paraphrasis:

Gravitas -> **centrum**, **punctum**, *magnitudo*, *figura*, **pondus**.

Keywords Benedetti: **gravitas**, **virtus movens**.

The semantic paths showed by ALCIDE:

Gravitas -> **corpus**, *magnitudo*, *levitas*, **virtus**

Virtus -> **pondus**, *vis*, **gravitas**, *velocitas*, *resistentia*, *inclinatio*.

Keywords Newton: *gravitas*, *virtus*.

The semantic path showed by ALCIDE:

ALCIDE does not recognise the text *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* by Newton.

What I got:

My work at Max Planck Institute allowed me to study some important texts of Renaissance of Mechanics. I improved the reading of text in Latin language. I could increase my knowledge of variation and evolution of some key-concepts of mechanics during the Renaissance. Within my dissertation I will insert a chapter about the semantic change of term *gravitas* in relation to the co-occurrences.

The functioning of ALCIDE:

I think that ALCIDE has big potentialities. Recently it has been marvelously optimized. The filters of Lemma Distribution, Person Network, Keywords (within the single texts) and the research for co-occurrences work just fine (see 3.8 Functioning of ALCIDE). Furthermore, the research for co-occurrences suffers a sort of interference, because of the repetition of same words during the same paths of research.

The utility of ALCIDE:

I think that ALCIDE could be useful to the history of science. It could be useful to investigate the semantic evolution of mechanics' terms. I think that the main aim in the near future is to develop the capability of ALCIDE to analyse simultaneously texts written in different languages. Only in this case we will have a digital instrument capable to support the history of science in its activity of research and to make them essential to each other.

Future perspectives:

I think the potentialities of ALCIDE could be interesting to analyse simultaneously the correspondence among the protagonists of the revolution of science.

I imagine a database with letters and texts by Federico Commandino, Guidobaldo dal Monte, Bernardino Baldi, Muzio Oddi, Camillo Giordani, Pier Matteo Giordani, Barocchi family, Johannes Kepler, Isaac Newton, Giacomo Contarini, Paolo Sarpi, Galileo Galilei, Orazio Galilei, Cardinal Francesco Maria del Monte, Dukes, Francesco Barozzi, Cristoforo Clavio, Luca Valerio, Francesco Maurolico, Giovanni Battista Benedetti, Niccolò Tartaglia and go on. It will permit to create a sort of network among the letters by the main "scientists" and intellectuals of the background that inspired the revolution of science. I believe that this topic will make ALCIDE capable to express own potentialities and, on the other hand, ALCIDE will allow scholars to quickly study the reciprocal influences and to discover new connections of ideas. I think that this new application of ALCIDE will innovate the manner to study the history of science and it will be able to give us new information about this fundamental historical and scientific period. Finally, I believe that this approach will allow meeting between digital humanities and history of science.

A9. Principio di compensazione

In questo paragrafo mostreremo che ne *Le Mechaniche*⁹⁵² di Guidobaldo è presente l'idea che, data una macchina semplice in una condizione di equilibrio ma sottoposta alla combinazione di velocità, spostamento e forza, debba esserci una relazione di proporzione tra le grandezze vettoriali coinvolte. Nella parte finale proponiamo un collegamento tra le relazioni che si instaurano tra le dette grandezze e il lavoro virtuale di una macchina in equilibrio sottoposta a forze agenti e resistenti. Prenderemo in considerazione i casi della carrucola (Taglia) e del verricello (Asse della rota).

Della Taglia: Hor in che modo questo instrumento della taglia fi riduca alla leua, & perche vn peso grande fi moua da piccola forza, et in qual modo, & in quanto tempo; & perche la corda debba effere legata da vn capo: & quale debba effere l'officio della taglia, che è pofta di sotto, & quale di quella, che ftà di sopra, et in che modo fi polla trouare ogni proportionione data nei numeri tra la pollanza, et il peso, diciamo.⁹⁵³

⁹⁵² Per comodità prenderemo in considerazione solo la versione volgare del trattato di Guidobaldo.

⁹⁵³ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 56v.

Dell'Asse nella rota: A noi resta dunque, dimostrare, perche i gran pefi da piccola forza, et in che modo etiandio li mouano con questo iftrumento: & di più manifestare la ragione del tempo, et dello spatio della possanza mouente, et del pefo mosso fra loro; & ridurre l'uso di cotesto iftrumento alla leua.⁹⁵⁴

Le due affermazioni contengono riferimenti alla velocità e al tempo, due grandezze che poco hanno a che fare con la statica. Sebbene queste due affermazioni sembrano presagire una “apertura” della meccanica delmontiana all’indagine del movimento dei corpi, e di tutti i suoi problemi epistemologici, le considerazioni di Guidobaldo, come Pigafetta precisa, rimangono sempre all’interno dell’analisi delle condizioni di equilibrio delle macchine.

Si risponde che queste cose ben farebbono refistenza nel mouere il pefo, ma non già nel softentarlo: & bifogna notare con diligenza che l'autore in queste dimostrazioni parla sempre del softenere solamente con le forze i pefi che non calino al basso, non del mouere. Però confiderifi, che quando li pefi li hanno da far mouere con le possanze, allhora legirelle, & gli altri impedimenti faranno refistenza; ma quando li ha da far solamente che il pefo stia fermo.⁹⁵⁵

Il capitolo della Taglia è diviso in due parti⁹⁵⁶. La prima parte riguarda tre casi di sistemi in equilibrio (56r-70v):

1) il caso di un peso attaccato a una corda condotta intorno a una girella posizionata sopra al peso (Fig. A.28). Lo strumento, in questo modo predisposto, non sarà vantaggioso né svantaggioso poiché la forza da esercitare per tenere il peso in equilibrio dovrà essere uguale al peso (*Propositione 1*).

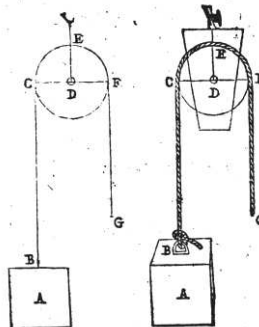


Fig. A.28 Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 57v.

Se la corda li condurrà intorno alla girella della taglia, che sia attaccata di sopra, et che uno delli suoi capi li legghi al pefo, & l'altro tratanto sia preso dalla possanza, che softiene il detto pefo: la possanza farà eguale al pefo.⁹⁵⁷

2) il caso di una girella fissata al peso (Fig. A.29). In questo caso la macchina è vantaggiosa (*Propositione 2*).

⁹⁵⁴ Del Monte, 1581, Dell'Asse nella rota, p. 102 v.

⁹⁵⁵ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 64r.

⁹⁵⁶ Per una diversa suddivisione si veda Renn e Damerow, 2010, p. 24

⁹⁵⁷ Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 57r-57v.

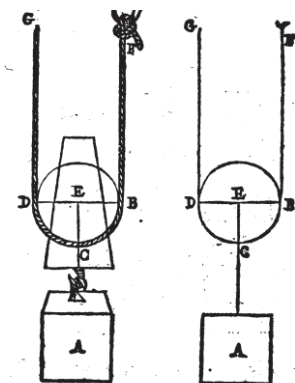


Fig. A.29 Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 59r.

Se la corda fi condurrà intorno alla girella della taglia, che fia legata al peso, legando l'un de capi fuoi in qualche loco, & l'altro fia preso dalla possanza, che sostiene il peso, farà la possanza la metà meno del peso. [...] Da questo dunque è manifesto, che il peso è sostenuto à questo modo da possanza minore in proportionione della metà meno, di quel che farebbe senza aiuto veruno di cotale taglia.⁹⁵⁸

3) il caso di due girelle: una posta di sopra e legata all'altra girella, che a sua volta è fissata al peso (Fig. A.30). In questo caso la macchina è molto vantaggiosa (*Propositione V* e sgg.).

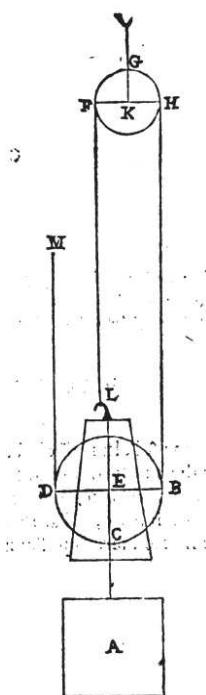


Fig. A.30 Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 62v.

Se all'una & l'altra, di ciascuna girella di due taglie, l'una delle quali fia posta di sopra, et l'altra di sotto, & legata al peso; farà condotta intorno la corda, legando vno de' fuoi capi alla taglia di sotto, et l'altro fia tenuto dalla possanza, che sostiene il peso: farà la possanza vn terzo del peso.⁹⁵⁹

⁹⁵⁸ Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 58v-59v.

⁹⁵⁹ Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 62r-62v.

Nella seconda parte, Guidobaldo analizza i casi sopra esposti in relazione allo spazio, al tempo e alla velocità⁹⁶⁰. Prima mostra la proporzione «molteplice» che ha «il peso verso la possanza»⁹⁶¹, poi la proporzione «molteplice» che ha «la possanza verso il peso»⁹⁶². Quindi esamina le proporzioni «sopraparticolari» e «sottoparticolari»⁹⁶³ e «soprapartienti, et molteplici sopraparticolari, et molteplici soprapartienti»⁹⁶⁴. Rileviamo che quando Guidobaldo parla di «movere», egli intende il movimento del peso, il quale svolge il ruolo di resistenza, prodotto dalla possanza, ovvero dalla forza che mette o mantiene un corpo in movimento. Chiude la parte sulla taglia l'esposizione di alcuni problemi.

Intendiamo ora formalizzare alcune proporzioni stabilite da Guidobaldo, in modo da valutare più da vicino il contenuto delle sue asserzioni.

1. Poste le cofe ifteffe, lo spatio della possanza, che moue il peso, è eguale allo spatio dello ifteffo peso, che è mollo [...] Oltre à ciò la possanza move il peso istesso per ispatio uguale in tempo uguale, tanto con la corda involta intorno alla girella della taglia appiccata di sopra, quanto senza taglia, pur che li movimenti di essa possanza in velocità siano eguali.⁹⁶⁵

Poniamo:

SF = spazio della possanza

Sp = spazio del peso

F = possanza

p = peso

t = tempo

Se $SF = Sp$

e la velocità della possanza è costante

allora $F : p = SF : t$

La macchina non sarà vantaggiosa né svantaggiosa.

2. Standole cofe ifteffe. Lo spatio della possanza, che moue il peso è il doppio dello spatio dell'ifteffo peso mollo. [...] Dapoi la possanza mouerà il peso istesso in tempo eguale per la metà dello spatio, con la corda inuolta d'intorno alla girella della taglia legata al peso, che senza taglia, pur che le velocità de mouimenti di essa possanza siano eguali.⁹⁶⁶

Se $SF = 2Sp$

e la velocità della possanza è costante

allora $F/2 : p = SF/2 : t$

La macchina è vantaggiosa.

⁹⁶⁰ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 70v: «Dopo queste cose egli è da considerare in che modo la forza moua il peso, et di più lo spatio, et il tempo della possanza, che move, et del peso che è mosso».

⁹⁶¹ Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 71r - 79r.

⁹⁶² Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 79r-86r.

⁹⁶³ Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 86r-95v.

⁹⁶⁴ Del Monte, 1581, Della Taglia, pp. 95v-99r. Nel corso della parte Della Taglia, Pigafetta inserisce dei commenti per spiegare i termini utilizzati da Guidobaldo. Le fonti a cui attinge per spiegare termini come molteplice, sopra particolari, sotto particolari, soprapartienti sono lo scolio antico degli *Elementi* di Euclide e l'introduzione di Daniele Barbaro al terzo libro del *De architectura* di Vitruvio. Scrive Barbaro che molteplice è quando «il piu contiene il meno più uolte a punto, et si chiama proportionem multiplice», sopra particolare «quando il piu contiene il meno, et di piu alcuna parte di quello», sotto partiente quando «il piu contiene il meno una fiata, et piu parti di quello», Vitruvio, 1567, introduzione al terzo libro, p. 98; sopraparticolare è quando, scrive Pigafetta a pagina 96r di Del Monte, 1581, il meno è paragonato con il più (2 a 3).

⁹⁶⁵ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 71v.

⁹⁶⁶ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 73v.

3. Riuiolgendo la corda d'intorno a due girelle di due taglie, l'vna dellequali fia di sopra, et l'altra di sotto, et legata al peso, effendo anche l'vno de' capi di detta corda legato alla taglia di sotto, et l'altro tenuto dalla possanza che moue; farà lo spatio corfo della possanza che tira, tre volte tanto quato lo spatio del peso mosso.⁹⁶⁷

Se $SF = 3Sp$

$F/3 : p = SF/3 : t$

La macchina è molto vantaggiosa.

Il rapporto tra spazi, tempo, peso e possanza è precisato nei corollari che chiudono la proposizione XIV della parte *Della taglia*.

COROLLARIO I. Da queste cose è manifesto, così hauerfi il peso verso la possanza, che lo sostiene, come lo spatio della possanza che moue allo spatio del peso mosso.

Come se il peso A sarà cinque volte tanto quanto la possanza di O, che sostiene il detto peso A; farà anche lo spatio O P della possanza mouente il peso cinque volte tanto quanto lo spatio ab del peso mosso.

COROLLARIO II. E manifesto ancora per le cose dette, che le girelle della taglia la quale è legata al peso, fanno sì, che minore spatio è quello, il quale è descritto dal peso mosso, che dalla possanza che tira; & che in tempo maggiore si descriua vn dato spatio eguale; che senza loro: il che veramente non fanno le girelle della taglia di sopra.

Mostrata la proportionione multiplice, che ha il peso verso la possanza, hora si mostri per lo contrario la proportionione multiplice, che have la possanza verso il peso.⁹⁶⁸

Invece, nella parte *Dell'Asse nella rota*, Guidobaldo stabilisce delle relazioni per determinare le condizioni di equilibrio e di movimento di una macchina semplice.⁹⁶⁹

Da queste cose è manifesto, che così è il peso alla possanza sostenente il peso, come lo spatio della possanza mouente allo spatio del peso mosso.⁹⁷⁰

$SF : Sp = p : F$ la macchina è in equilibrio

Egli è manifesto etiandio, che lo spatio della possanza mouente ha sempre maggiore proportionione allo spatio del peso mosso, che il peso alla stessa possanza.⁹⁷¹

$SF : Sp > p : F$ la macchina è in movimento

Nel corollario a conclusione *Dell'Asse nella rota*, Guidobaldo scrive: «Da queste cose è manifesto, che quanto più agevolmente si move il peso, tanto il tempo è anco maggiore; et quanto più malagevolmente, tanto il tempo essere minore, et così per lo contrario»⁹⁷² che equivale al corollario a conclusione *Della Taglia* «Dalle cose dette è manifesto etiandio che quanto più facilmente si move

⁹⁶⁷ Del Monte, 1581, *Della Taglia*, p. 76v.

⁹⁶⁸ Del Monte, 1581, *Della Taglia*, p. 79 r

⁹⁶⁹ L'analisi e la formalizzazione dei casi di rottura dell'equilibrio di alcune macchine di Guidobaldo si trovano in Gamba, 2002, p. 82 e sgg.

⁹⁷⁰ Del Monte, 1581, *Dell'Asse nella rota*, p. 105r.

⁹⁷¹ Del Monte, 1581, *Dell'Asse nella rota*, p. 105r.

⁹⁷² Del Monte, 1581, *Dell'Asse nella rota*, p. 106r.

il peso, tanto maggiore essere etiandio il tempo; ma quanto più difficilmente, tanto minore essere; et così per lo contrario»⁹⁷³:

$$F : 2p = s : 2t; 2F : p = 2s : t$$

Le proporzioni espresse nei corollari conclusivi delle parti *Della Taglia* e *Dell'Asse nella rota* ritornano nella più concisa e completa affermazione presente nella versione breve de *Le mecaniche* di Galileo:

Ma bisogna notare, che quanto noi ci serviamo di fatica usando la lieva, tanto per l'opposito consumiamo più di tempo, e quanto sarà minore la forza del peso, tanto sarà maggiore spazio per lo quale si muoverà la forza dello spazio in cui si muove il peso, come dal seguente essemplio si può comprendere.⁹⁷⁴

Nell'asserzione Galileo pone in relazione la forza con il tempo e il peso con lo spazio: $F : p = s : t$. Ciò sottintende l'idea che in un lavoro meccanico la forza, il tempo, il peso e lo spazio si compensano. Se si guadagna in forza, vi è una perdita in tempo; perché maggiore è lo spazio e minore è la velocità (s/t). Nelle riflessioni di Galileo, Romano Gatto individua il barlume di un principio compensativo. Tale principio probabilmente doveva essere stato intuito anche da Guidobaldo.

Se nella versione breve Galileo non si allontana troppo dal campo della descrizione, nella versione lunga il matematico toscano compie una vera e propria generalizzazione del comportamento delle macchine in relazione ai tempi e agli spazi delle forze e dei pesi:

Facendo dunque principio a tale considerazione, prima ci si fanno avanti quattro cose da considerarsi: la prima è il peso da trasferirsi di luogo a luogo; la seconda è la forza o potenza, che deve muoverlo; terza è la distanza tra l'uno e l'altro termine del moto; quarta è il tempo, nel quale tal mutazione deve esser fatta; il qual tempo torna nell'istessa cosa con la prestezza e velocità del moto, determinandosi, quel moto essere di un altro più veloce, che in minor tempo passa eguale distanza. Ora, assegnata qual si voglia resistenza determinata, e limitata qualunque forza, e notata qual si voglia distanza, non è dubbio alcuno, che sia per condurre la data forza il dato peso alla determinata distanza; perciò che, quando bene la forza fusse picciolissima, dividendosi il peso in molte particelle, ciascheduna delle quali non resti superiore alla forza, e transferendosene una per volta, arà finalmente condotto tutto il peso allo statuito termine. Nè però nella fine dell'operazione si potrà con ragione dire, quel gran peso esser stato mosso e traslato da forza minore di sè, ma si bene da forza la quale più volte averà reiterato quel moto e spazio, che una sol volta sarà stato da tutto il peso misurato. Dal che appare, la velocità della forza essere stata tante volte superiore alla resistenza del peso, quante esso peso è superiore alla forza; poichè in quel tempo nel quale la forza movente ha molte volte misurato l'intervallo tra i termini del moto, esso mobile lo viene ad avere passato una sol volta. Nè per ciò si deve dire, essersi superata gran resistenza con piccola forza, fuori della costituzione della natura.⁹⁷⁵

Questi ragionamenti sembrano echeggiare un pensiero di Leonardo contenuto nel taccuino L, esaminato da Enrico Gamba in una relazione dal titolo *Leonardo a Urbino nel 1502 alla corte del Valentino*, presentata in occasione del convegno "Leonardo a Urbino".

«Regola di potenza. Se una potenza move un peso un tanto spazio in tanto tempo, la metà di quella potenza muoverà tutto quel corpo la metà di quello spazio nel predetto tempo. Ovvero tutta

⁹⁷³ Del Monte, 1581, *Della Taglia*, p. 101v.

⁹⁷⁴ Galilei, 2002, *Versione breve*, *Della Lieva* Cap. 2°, p. 7.

⁹⁷⁵ Galilei, 2002, *Versione lunga*, *Delle utilità che si traggono dalla scienza meccanica e dai suoi strumenti*, pp. 45-46.

quella potenza moverà duplicato peso a quel di prima, la metà di tale spazio nel medesimo tempo. Ovvero moverà detto peso nella metà di quel tempo detto, la metà di quello spazio».⁹⁷⁶

Probabilmente Leonardo era molto interessato alla relazione tra spazi, tempi, potenze e pesi, tanto che lo stesso ragionamento ritorna più volte nei codici leonardiani (*Codice F*, cc. 26r e 51v; *Codice Atlantico* cc. 542r, 565v, 823v). Per esempio nel *Codice I*, c. 120r, Leonardo commenta la proposizione di Alberto di Sassonia, il quale, erroneamente, rilevava che se una forza è in grado di lanciare un dardo con una certa velocità, allora la stessa forza «moverà la metà d'esso mobile in duplo veloce» [$F : \frac{1}{2} p = 2(s : t)$, mentre la relazione giusta è $F : \frac{1}{2} p = s : t^2$]. Non è da escludere che dietro i ragionamenti di Leonardo ci fosse stata l'influenza del maestro Pacioli, il quale nella *Summa* (*Distinzione* 6, pp. 67v-98v) aveva ripreso e discusso il *Tractatus Proportionum* (1506), p. 119r di Alberto di Sassonia.

In tutte queste riflessioni si cela una carica teoretica di indubbio interesse. Tuttavia, possiamo notare che se il ragionamento di Leonardo rimane isolato e non adeguatamente approfondito, le riflessioni di Guidobaldo e Galileo, invece, si inseriscono all'interno di un più ampio discorso e di una più profonda analisi delle condizioni di equilibrio di una leva.

Concludiamo l'esame del principio di compensazione adombrato nel trattato di Guidobaldo ed esposto consapevolmente da Galileo, ponendo l'attenzione su due asserzioni, una delmontiana e l'altra galileiana, in cui si allude alla possibilità di moltiplicare la forza in infinito:

Guidobaldo: «Da queste cose essere manifesto, Qualunque data proportione ne i numeri tra il pefo, et la pollanza; & tra lo spatio del pefo mollo, et lo spatio della pollanza mollo; poterfi trouare con le taglie in modi infiniti».⁹⁷⁷

Galileo: «Potremo in questo strumento, come in tutti gli altri, moltiplicar la forza in infinito con la moltiplicazione delle girelle, perché s'alle taglie descritte di sopra aggiungeremo due altre girelle, una alla inferiore taglia e l'altra alla superiore, renderemo più facile l'alzar il peso».⁹⁷⁸

Infine, notiamo che nella meccanica di Guidobaldo i comportamenti della carrucola e del verricello in relazione al tempo e alle velocità sembrano essere altresì giustificati da un'idea sotterranea riconducibile al concetto di lavoro virtuale. Prima di dire qualcosa sull'audace asserzione, vogliamo soffermarci brevemente su tale concetto. Sebbene la nozione di lavoro virtuale venga giustamente fatta risalire alla meccanica aristotelica, notiamo che nei *Problemi meccanici* tale nozione viene associata alla rottura dell'equilibrio e quindi a una situazione di movimento⁹⁷⁹. Diversamente accade nella *Fisica*, Libro VII, capitolo 5, in cui Aristotele, ponendo in relazione i tempi con spazi percorsi del motore e del mosso, suppone una situazione di equilibrio in cui «non vi sarebbe movimento secondo nessuna parte della lunghezza». Il lavoro virtuale può essere definito, secondo l'attuale terminologia, in questo modo: in un sistema in equilibrio il lavoro totale di tutte le forze applicate è nullo per qualunque possibile spostamento delle parti del sistema. Alla base del principio vi è l'idea che le potenze del sistema si compensano; in altri termini possiamo dire che l'equilibrio è mantenuto se i prodotti dei pesi per i rispettivi spostamenti sono uguali. Per virtuale si intende un movimento potenziale e non effettivo che non incide sull'equilibrio del sistema, in quando i carichi e le reazioni vincolari si compensano. Sebbene dal punto di vista storico seguano due percorsi diversi, riteniamo che nella meccanica delmontiana il principio di lavoro virtuale, adombrato

⁹⁷⁶ Leonardo da Vinci, *Manoscritto L*, c. 78v.

⁹⁷⁷ Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 101v.

⁹⁷⁸ Galilei, 2002, Versione breve, Della Taglia, p. 16.

⁹⁷⁹ Micheli, 1995, p. 85: «[Nelle Questioni meccaniche] [n]on c'è alcun riferimento all'assunto aristotelico, né esplicito né implicito, né a qualcosa che possa far pensare alla nozione di momento statico, cioè al prodotto del peso per la distanza. Il discorso è sempre fatto in termini di disuguaglianza dinamica».

nell'opera aristotelica e presente anche nel trattato di Guidobaldo⁹⁸⁰, e il principio cosiddetto compensativo, ovvero l'idea che in un lavoro meccanico la forza, il tempo, il peso e lo spazio si compensano⁹⁸¹, siano tra loro collegati. Questa ipotesi è suffragata dagli stessi procedimenti utilizzati da Guidobaldo per analizzare il comportamento di una macchina semplice in equilibrio. Infatti, dopo aver esaminato il comportamento di un sistema in equilibrio sottoposto a reazioni vincolari, Guidobaldo inserisce spesso nei corollari o nelle conclusioni finali i rapporti di proporzionalità tra tempo, forza, velocità e spazio, al fine di giustificare il fatto che in una condizione di equilibrio le forze applicate non incidono sull'equilibrio della macchina e che se si guadagna in forza, vi è una perdita in tempo, perché maggiore è lo spazio e minore è la velocità.

A10. *Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro*

In questo paragrafo trascriviamo il manoscritto attribuito a Bernardino Baldi e inviato da Pompeo Compagnoni ad Annibale degli Abati Olivieri all'interno di una lettera datata 26 agosto 1730 e conservata presso la Biblioteca Oliveriana di Pesaro. Nel *Parere* Baldi propone alcuni interventi basati su principi meccanici per meglio sostenere gli argini del fiume Foglia. Essi possono essere ricondotti al contenuto del suo commento alla *Quaestio XVI* dei *Problemi meccanici* di Aristotele. Per una più completa contestualizzazione e un'analisi più approfondita rimandiamo al paragrafo 4.3 *Discipline matematiche ignobili e nobili. Il caso dell'architetto*.

Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro, Biblioteca Oliveriana Pesaro, ms. 328, Tomo I, cc. 5r-8v.

Quello che unicamente si propone in questo esame è il cercare di occorrere à danni, che vengono apportati dalla Foglia al Porto di Pesaro. Si che non pare al tutto difficile à che ricorre alla considerazione delle cagioni che partoriscono cattivi effetti.

Lo fiume tiene in gran parte natura di corrente, e diviene impetuoso per l'acque che riceve, le quali sono molte, e repentine, venendo egli di lontano: e che queste quelle dell'aposa fiumicello. Anch'egli per se picciolo, e quasi torrente mai nei tempi delle piene è molto grosso. Scendono altri ciò da monti al piano, e perciò è molto furioso il lor ingrossare fuor di misura e nasce questo da tre cagioni, cioè dalla piogge, che cadono sù l'Appennino, da quelle, che piovono da monti d'Urbino: e dall'affrontargli nel medesimo tempo ad esser grosso et crescere il mare. È oltre di ciò arenoso: et passando per luoghi arati, e culti rapisce seco gran quantità di terra: della quale parte lascia nella pianura, e parte conduce al mare. Ed'io ho per fermo, che siccome il piano dell'Egitto è fatto dalla terra, che da monti vien condotta dal Nilo, così il piano di Pesaro per la maggior parte, e massimamente non lontano dal mare, già fatto fin dagl'antichi tempi dalla Foglia, e di qui è che il piano, che si che à Guazzi non ha buon fondo, ma è arenoso, e ghiaioso.

Toccate queste ragioni parleremo dei danni che l'acqua fa al Porto; e ciò fatto discorreremo brevemente dei rimedi.

Le cagioni perché le Palate siano state guaste dall'impeto del fiume sono molte, cioè la natura del fondo arenoso, e più facile ad essere fermato: la brevità dei Pali, che non può pigliare molto fondo, e del sodo: et alcune altre, che toccheremo, ma che la Palificata già fatta difficilmente potesse sollevare l'impeto d'una grossa fiumana, mostreremo in questo modo.

⁹⁸⁰ Del Monte, 1581, Della Leva, Propositione IV, p. 39v: «Percioche lo fpatio della possanza allo fpatio del peso ha la medesima proportionione, che il peso alla possanza, che sostiene il detto peso. Ma la possanza, che sostiene è minore della possanza che moue, però il peso haurà proportionione minore alla possanza che lo moue, che alla possanza, che lo sostiene. Lo fpatio dunque della possanza che moue allo fpatio del peso haurà proportionione maggiore, che il peso all'istessa possanza».

⁹⁸¹ Al termine del Corollario a conclusione della Propositione IX, Della Taglia, Guidobaldo commenta: «Dopo queste cose egli è da considerare in che modo la forza moua il peso, et di più lo spatium, et il tempo della possanza, che moue, et del peso che è mosso», Del Monte, 1581, Della Taglia, p. 70v.

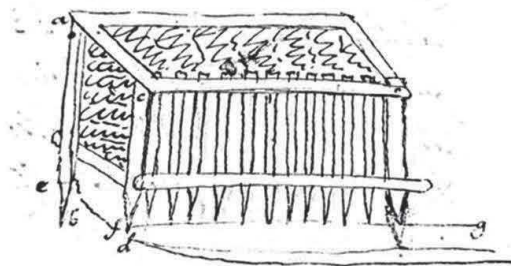


Fig. A.31 *Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro*, BOP, ms. 328, Tomo I, f. 5v.

Siano i due capi di fila ab. cd. dei quali il tirato à traverso, che gli unisce a c il livello del terreno, dove sono piantati li Pali e f.g. le pareti che sono piantate à h.f.d. Con egli è chiaro, che scavando il fiume sotto il livello à f.g. e portando via il terreno, e la sabbia fin al livello inferiore a d.h., la parte f.d del palo e d. resta scoperta: e per conseguenza non sostenuta, e quasi che in aria onda il peso delle piene caricando verso la cima del palo sarà la ragione che egli trabocchi. E perché è stato supposto da chi hà fatto il lavoro che la fila dei Pali a.b. stia si salda, che massimamente il tirante a.c. sostenga la fila di pali e.d. è avvenuto il contrario. Cioè che la forza c.d. hà tirato seco al basso la parte a.b.

Oltre che le piene che premono la parte più alta dei travi spengano più velocemente, dimostrerò con principij meccanici. Percioché sia il palo, ò vette a.b. il cui sommo sia alla parte piantata in terra d.l.c., s'applichi una forza in a. la quale spinge il palo verso f. perché dunque è maggiore la proporzione di ab à eb di chè di c.d. à b.d. maggiore sarà l'impeto della forza in a. che in c.

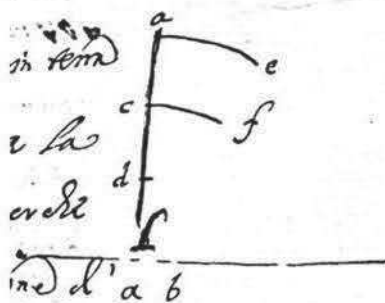


Fig. A.32 *Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro*, BOP, ms. 328, Tomo I, f. 6r.

Se dunque intenderemo, che le pietre della palificata siano in a. cioè a sommo, troveremo che premeranno più che se fossero nella parte più bassa. Dalla quale dimostrazione raccogliamo, che più utile fosse alla palificata riempirla dal fondo al mezzo di pietra, et il resto di fascine, e terra che empirla infino al sommo della medesima pietra.

Ma poi trovar modo, che se bene la forza del fiume scalza la pianta dei pali, la Palificata si sostenti, stimo, che possa bene l'applicarvi l'infrascritto rimedio. Siano i pali capi di fila ab. cd. Si piantino quanto più profondamente e più lunghi che sia possibile appresso i congegni à pali c.d. e.f. i pali gh. sopra i quali si posi il trave traverso g.s. e s'intravi alle destre dei pali g.h., et il trave traverso via di vitacchi, ò copfiglie [coppiglie?] sostenga il palo c.d. con gli altri tutti della fila, chè verso l'acqua. Avverrà dunque che tutto che il fiume rapisca il fondo, nel quale le sono piantati li pali, o rimanga senza sostegno la punta d con la punta dei pali segnati, non potrà il palo andare al basso venendo possanza dal trave traverso g.i. fissato nelle teste dei pali lunghi g.h. s.h. i quali sono fissi, e tanto a basso che non può esser tolto loro il fondo dalla rapidità del fiume.



Fig. A.33 *Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro*, BOP, ms. 328, Tomo I, f. 7v.

Mà per aggiungere fortezza all'opera, cosa tralasciata, ma secondo me, necessaria, fà di bisogno di tanto in tanto ficcar pali nell'argine distante di tanto, quanto più sia possibile dall'acqua del fiume, et à questi raccomandare il tirante, che regga, e possenti, e non lasci che la palificata tutta trabocchi, nell'alveo.

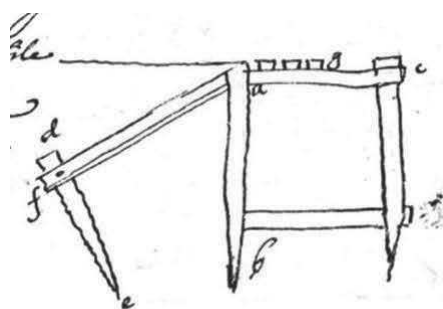


Fig. A.34 *Parere di Baldi intorno al porto di Pesaro*, BOP, ms. 328, Tomo I, f. 7r.

E se detti pali fossero piantati non dritti, ma pendenti con la testa all'indietro la fortezza ne diverrebbe maggiore, e che mostriamo nella presente figura. Sia la fila dei pali verso terreno ò argine ab. legato con al fila che verso l'acqua mediante la traversa ac. Piantisi quanto più dentro si può dentro l'argine il palo pendente di e. al quale con vitacia, ò dente, ò caniglia di ferro si raccomanda il tirante f.g. ma per maggior fortezza del tirante f.g. si raddoppia li pali pendenti: e cogliendo in mezzo il tirante, si stacca dalle parti il terreno e vi s'attraversa un pezzo di trave, il quale appoggia la testa al terreno come nella sottoposta figura. *-----

A11. Alcune biografie dei matematici all'interno della *Cronica dei matematici* di Bernardino Baldi, pubblicate da Monticelli nel 1707 (Baldi, 1707)

La *Cronica dei matematici*, pubblicata nel 1707 dall'editore Monticelli, contiene brevi biografie di matematici dall'antichità al tempo di Baldi. Per una più ampia contestualizzazione della *Cronica* in relazione alle *Vite de' matematici*, rimandiamo al paragrafo 4.2.1 *Vite de' matematici*. Abbiamo ritenuto opportuno inserire in questa appendice alcune delle più interessanti biografie contenute nella *Cronica*. Le vite selezionate ci consentono di ripercorrere la maggior parte delle tematiche affrontate nel corso del capitolo su Bernardino Baldi, in particolare il ruolo della matematica rispetto alle altre “discipline scientifiche”, l'importanza della lingua per la diffusione della matematica, l'interpretazione alla meccanica aristotelica e la consapevolezza dell'importanza dei contributi forniti dai protagonisti della restaurazione della matematica antica.

Dalla biografia di Platone emerge l'importanza delle matematiche nella gerarchia della conoscenza, anche per «per alzarsi col mezzo loro all'altissime contemplazioni della Teologia». La breve biografia di Leon Battista Alberti colma la lacuna lasciata da Baldi nelle *Vite*, in cui annunciava, ma senza esito, di voler scrivere la vita del grande architetto umanista. Dalle vite di Pacioli e di Tartaglia si evince l'apprezzamento di Baldi per le loro opere matematiche, ma una forte ripugnanza nei confronti della lingua impiegata: per l'urbinate la bontà della lingua è importante quanto la qualità della matematica contenuta nelle stesse opere, dal momento che la seconda potrà essere valorizzata solo se la prima è idonea alla sua comunicazione. Le biografie di Giordano, di Catena e di Benedetti ospitano tra le righe la differente interpretazione della meccanica da parte di Baldi. Termina l'elenco le vite di Maurolico, di Clavio e di Guidobaldo, i grandi esponenti di quella matematica che stava crescendo, pur con alcune diversità, lungo il solco intrapreso dal maestro Federico Commandino.

PLATONE Ateniese, cognominato per la sua eccellenza Divino, illustrò non solo tutta la Filofofia, mà le Matematiche ancora, alle quali di maniera fù affettionato, che scrisse sopra l'Accademia, che niuno vi entrasse, che non fosse Geometra. Dalla scuola di lui, come dal Cavallo Trojano, uscirono Matematici nobilissimi commemorati da Proclo ne i suoi commentarii, e da noi in questa nostra historia. Sparse egli per tutti i suoi Dialoghi i lumi di queste scienze, e mostrò quanto egli ne fosse vago, & intendente; dilettoosi però di questi studii non per servirsene in cose materiali, ma, secondo il costume de Pitagorici, per alzarsi col mezzo loro all'altissime contemplazioni della Teologia.⁹⁸²

GIORDANO d'un luogo detto Hemore si chiamò Hemorario. Attese alle Matematiche, e particolarmente alle Mekaniche. Scrisse un libretto *de ponderibus*. Scrisse anco dieci libri d'Aritmetica, & un libretto del Planisferio. Hebbe dottrina assai barbara, e nelle Mekaniche prese assunti falsi; come nelle Mekaniche sue mostra il dottissimo Guidobaldo de Marchesi del Monte. Scrisse anco i Dati Aritmetici.⁹⁸³

LEON Battista Alberti nobile Fiorentino huomo d'ingegno acutissimo, & à tutti gli studii egualmente disposto, attese felicemente alla Pittura, Architettura, & alle Matematiche, e scrisse con molta eleganza in latino più libri. Lasciò dieci libri d'Architettura, ne quali pare, che non solo emulasse, ma superasse Vitruvio. Scrisse di pittura, de lumi, e dell'ombre. Scrisse anco le piacevolezze Matematiche, & un libro della nave. Fù argutissimo nelle cose morali, onde leggiamo del suo cento Apologi, il Momo, ovvero del Prencipe, & alcune altre opere. Dicono, ch'egli per via dello specchio fece il suo ritratto eccellentissimamente al naturale.⁹⁸⁴

LUCA Pacioli dal Borgo S. Sepolcro Frate Minoritano di S. Francesco, attese fin da fanciullo alle Matematiche, nelle quali per l'acutezza del suo ingegno egli divenne eccellente. Fù publico Lettore delle dette professioni in Perugia, ove scrisse alcuni libri d'Algebra, e dedicollì alla gioventù Perugina. Fù doppio chiamato col detto carico in Roma, & indi à Napoli. Scrisse molte opere Geometriche, & Aritmetiche. Tradusse in volgare gl'Elementi d'Euclide. Scrisse il libro della Divina proportion, e compilò quel suo gran volume, intitolato — Somma dell'Aritmetiche, e Geometriche proportioni, la quale egli dedicò al Duca Guidobaldo figliuolo di Federico Feltrio d'Urbino. Scrisse anco un'libro de corpi regolari, & alcune altre cose. Fù egli barbaro nella lingua, poiche senza alcuna scelta mescolava le parole volgari, e le latine, e l'une, e l'altre corrompeva, il che diede occasione ad Annibal Caro di chiamar l'opere di Fra Luca Ceneracci, poiche era in loro sepolto l'oro delle cose, come fra le ceneri degl'Orefici sogliono esser nascoste le minuzzaglie dell'oro.⁹⁸⁵

⁹⁸² Baldi, 1707, pp. 13-14.

⁹⁸³ Baldi, 1707, p. 77.

⁹⁸⁴ Baldi, 1707, pp. 98-99.

⁹⁸⁵ Baldi, 1707, p. 107.

NICOLO' Tartaglia Bresciano d'humile nascimento attese alle cose Matematiche, e particolarmente alla Geometria, & all'Aritmetica con tanto genio, che si lasciò molti adietro. Trasferì costui in lingua volgare gl'Elementi d'Euclide, ch'egli leggeva pubblicamente in Venetia. Scrisse molte opere appartenenti al moto de corpi gravi, à tiri dell'Artigliarie, à fortificationi de luoghi, à misurar con la vista, & altre cose tali, e finalmente scrisse due gran volumi, ne quali raccolse tutto quello, che s'appartiene ad una compita speculatione, e pratica delle cose dell'Aritmetica, e della Geometria. Fù egli grand'Avversario di Girolamo Cardano, e scrisseli contro alcune opere. Attese nondimeno così poco alla bontà della lingua, che move à riso talhora chi legge le cose sue.⁹⁸⁶

PIETRO Catena Padovano, mentre io mi trovavo nello studio di Padova, leggeva pubblicamente le Matematiche, e da lui viddi esporre le mecaniche 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 huomo di profonda dottrina, e non ha dato fuori del suo altro, che una semplice, e piccola sfera.⁹⁸⁷

FRANCESCO Maurolico nobile Messinese, & Abbate nella Patria sua, per l'eccellenza del suo ingegno merita d'esser'annoverato fra primi Matematici dell'età nostra. Scrisse tre Dialoghi di Cosmografia dottissimi, & arguti, e donogli à Pietro Bembo Cardinale, che s'era trattenuto in Messina, essendo ancor giovanetto, per imparare lettere Greche da Costantino Lascari. Scrisse anco un libretto della sfera molto succinto, & un trattatello degl'Instrumenti Astronomici. Ha lasciato anco à Posterì un nobilissimo libro di Gnomonica, nel quale assai pienamente prosegue la detta materia. Prometteva egli tante opere in un suo Catalogo, che s'havesse risposto alla promessa, toglieva il luogo ad ogn'altro Matematico, ma non sò per qual cagione le cose, ch'egli prometteva, furono aspettate dagli Studiosi indarno. Fatto huomo di Chiesa si diede alle cose sacre, & essendo già vecchio, pubblicò un Martirologio. Egli morì carico d'anni di maniera, che per l'età era in tutto mancata in lui la vivacità dell'ingegno. Fù molto amico di Federico Comandino, ancorche già mai non si conoscessero di presenza. Si veggono alcuni Epigrammi del Maurolico, onde appare, ch'egli non fosse nemico delle muse.⁹⁸⁸

GIO: BATTISTA Benedetti Venetiano attese alle Matematiche, nelle quali servì i Duchi di Savoia. Scrisse un libro di Gnomonica, il quale toccò molte cose appartenenti alle dimostrazioni della detta disciplina, se non che viene ripreso da più esquisiti di non haver'osservato quel metodo, e quella purità nell'insegnare, che ricercano le Matematiche, & è stato osservato da gl'ottimi Greci, e da gl'Imitatori loro. Scrisse anco alcune altre cose leggere, e di non molto momento.⁹⁸⁹

CRISTOFORO a Bamberga Città di Franconia, di nazione Tedesco, vive hoggi in Roma connumerato ragionevolmente frà i primi Matematici del nostro secolo. Legge egli le dette professioni nel Collegio de Giesuiti, essendo egli nel numero della detta Congregatione; è huomo d'infinita fatica, ha scritto, e scrive molte opere, fra le quali ha egli publicato le seguenti - Alcuni Commentarii dottissimi sopra la sfera di Giovanni di Sacrobosco, Gl'Elementi d'Euclide con grandissima felicità da lui dopo il Comandino illustrati, Un trattatello dell'Aritmetica pratica, otto libri di Gnomonica, l'opere de gli sferici di Teodosio, Un libro della dottrina de Sini, Uno delle linee, che si toccano, uno di quelle, che si segano, uno de Triangoli Rettilinei, e Sferici, uno delle Dimensioni delle grandezze. Hebbe differenza con Giacobbo Peletario intorno all'angolo delle contingenze de circoli nella sfera. Affaticossi grandemente Cristoforo per ordine di Gregorio Terzodecimo nella correctione del Calendario, & ultimamente pubblicò un gran volume in detta materia contro un Michele Mestlino da Geppinga Matematico, e Lettore nello studio di Tubinga huomo heretico, e nemico dell'ordinationi Pontificie. Prometteva il Clavio dopo quest'Astrologia

⁹⁸⁶ Baldi, 1707, p. 133.

⁹⁸⁷ Baldi, 1707, pp. 135-136.

⁹⁸⁸ Baldi, 1707, pp. 136-137.

⁹⁸⁹ Baldi, 1707, p. 140.

di pubblicare un libro dell'Astrolabio dimostrato, un trattato di misurar tutte le grandezze, & alcune altre cose, fra le quali è il libro de gl'Elementi, la seconda volta emendato, & accresciuto.⁹⁹⁰

GUIDOBALDO de Marchesi del Monte figliuolo di Ranieri, la cui famiglia discende dalla Casa Regia di Borbone, vive hoggi famosissimo per l'eccellenza del suo ingegno nella professione delle Matematiche. Ha egli buona cognitione delle due lingue migliori, e delle cose filosofiche, e della Teologia. Nelle Matematiche poi ha genio così grande, e particolarmente nelle cose della Geometria, e delle subalterne, che pare, che sia risorta in lui la vivacità dell'ingegno d'Archimede, il che ha mostrato ne libri delle Mekaniche, ne quali chiaramente appare, ch'egli habbia tornata quella facoltà nel suo antico splendore. Scrisse anco le demonstrationi de Planisferii, e non ha molto pubblicò una dottissima parafrasi degl'Equeponderanti d'Archimede tradotti da lui dal greco nella lingua latina. Scrisse anco, e fece stampare un libretto detta correctione dell'anno, e dell'emendatione del Calendario, nel quale mostrò quanto esso vaglia ne computi Astronomici. Hora ha per le mani molte opere, delle quali una gran parte è per mandare in luce; queste sono un gran libro de Canoni celesti, ne quali insegna per via di compasso à trovar tutte le questioni, che appartengono al primo mobile. Ha scritto parimente un libro intorno alla Coclea da inalzar'l'acque, nelle quali rende la ragione, e dimostra l'effetto di quel meraviglioso Instrumento. E' anco per dar fuori un grandissimo volume di Perspettiva, nel quale senza alcun dubbio si tiene, che habbia da superare quanti altri hanno scritto intorno quel nobilissimo Suggetto. Vive egli ritirato in Monte Baroccio suo Castello, ove attendendo à studiare, & à scrivere, viene facendo ricco il Mondo de parti del suo felicissimo ingegno, e mostra d'esser stato degno discepolo di Federico Comandino. Molte cose sariano da esser scritte di quello felice ingegno, ma ci contentiamo di tanto per non uscir da termini, che ci prescrive la natura di quella historia.⁹⁹¹

A12. Oddi e Leonardo. Incroci improbabili ma possibili

Durante le recenti celebrazioni in occasione dell'anniversario della morte di Leonardo da Vinci numerosi studiosi, oltre a ricordare la sua genialità e creatività, hanno rimarcato il fatto che dietro i suoi lavori si potesse nascondere un raffinato intuito che lo avrebbe portato ad afferrare alcuni concetti che sarebbero stati consapevolmente esaminati solo negli anni successivi. Non sappiamo se le sue intuizioni, spesso facilitate dal suo genio artistico, abbiano avuto qualche influenza sullo sviluppo del pensiero scientifico moderno, dal momento che dalla morte di Francesco Melzi (1570 circa) gli appunti di Leonardo circolarono disordinatamente sottoforma di manoscritti per poi essere rinchiusi negli archivi a seguito delle acquisizioni delle biblioteche e di collezionisti⁹⁹². Tuttavia, considerata l'interessante coincidenza temporale tra il soggiorno milanese dell'architetto urbinato Muzio Oddi e l'ingresso dei codici leonardeschi nelle biblioteche di Federico Borromeo e di Galeazzo Arconati, crediamo non sia del tutto fuori luogo ipotizzare che Oddi in quel periodo potesse aver avuto l'opportunità di consultare i codici di Leonardo⁹⁹³.

Tra la fine del Cinquecento e la prima metà del Seicento, a Milano, circolarono numerosi codici di Leonardo da Vinci. In quegli anni il Cardinale Federico Borromeo, secondo la ricostruzione di Carlo Pedretti e Marco Cianchi, acquisiva il codice C e forse il codice W, ora ritenuto perduto, e

⁹⁹⁰ Baldi, 1707, pp. 143-144.

⁹⁹¹ Baldi, 1707, pp. 145-147.

⁹⁹² Dal momento che Leonardo viaggiò molto ed entrò in contatto con numerosi mecenati, architetti, pittori e matematici dell'epoca, è probabile che egli abbia influenzato e, viceversa, sia stato influenzato dai suoi contemporanei. Completiamo la nostra riflessione aggiungendo che la somiglianza delle intuizioni di Leonardo con le analisi dei suoi successori potrebbe anche derivare da comuni studi scientifici condotti sulle stesse fonti. Sulle tracce di modernità nel pensiero di Leonardo, identificabili nella combinazione di esperienza e matematica nel modo di condurre la ricerca scientifica, si confronti Pietrini e Tarozzi, 2020.

⁹⁹³ Altri studiosi, facendo leva sui giudizi di Duhem, hanno sottolineato una possibile influenza di Leonardo sulla meccanica di Baldi. Sul tema si veda l'equilibrata analisi di Becchi (in Becchi, 2014).

Galeazzo Arconati acquisiva numerosi codici di Leonardo tra cui i codici Atlantico e Trivulziano di Leonardo⁹⁹⁴.

Oddi a Milano poté frequentare numerose corti, grazie alle quali riuscì ad ottenere incarichi lavorativi che andavano dal disegnare progetti e dalla collaborazione con la Veneranda Fabbrica del Duomo all'insegnare prospettiva e matematica ai ragazzi dell'Accademia del disegno⁹⁹⁵. Alexander Marr ha dato sufficienti prove in merito alla scuola informale formatasi attorno a Oddi, grazie alla mediazione del Cardinale Borromeo, durante il periodo milanese. Tra questi giovani apprendisti vi erano anche il pittore Daniele Crespi e il mercante d'arte Ercole Bianchi, a cui Oddi insegnava rispettivamente prospettiva e matematica⁹⁹⁶. Tra i testi utilizzati da Oddi per le sue lezioni vi erano il *De architettura* di Vitruvio, i *De perspectivae libri sex* di Guidobaldo, i *Gnomonices libri octo* di Clavio, il *De analemmate* di Tolomeo nella traduzione di Commandino e gli *Elementi* di Euclide.⁹⁹⁷ L'amicizia con Borromeo gli consentì anche di ampliare i rapporti di mecenatismo. Tra le tante persone influenti conosciute da Oddi, all'interno della nostra ricostruzione assume rilievo l'amicizia con il cugino del cardinale Borromeo, Galeazzo Arconati, tanto da inviargli una copia *Dello squadro*. In quel periodo (tra il 1615 e il 1632) Arconati era tra i più attivi nel processo di riacquisizione dei codici di Leonardo e tra i maggiori responsabili del loro ritorno in Italia. Tra i codici leonardeschi che Arconati aveva acquistato da Pompeo Leoni, vi era anche la *Divina Proportione* di Pacioli. In una lettera inviata da Oddi a Settala, l'urbinate raccontava di aver avuto accesso alla biblioteca di Arconati e di aver visto, tra i libri da lui posseduti, proprio il testo pacioliiano. Questo elemento non è da trascurare perché se la *Divina Proportione* fosse stata acquistata insieme ai codici di Leonardo e Oddi avesse avuto accesso all'archivio di Arconati, allora non sembrerebbe del tutto fuori luogo supporre che Oddi, oltre all'opera pacioliiana, avesse potuto consultare anche i codici di Leonardo.

Hor quanto mi dolgo di non haver potuto dare a V.S. quella piena notitia di quella sfera (fabbricata da Gulglielmo Zelandino, come riferito dal Cardano), ch'ella desiderava non sapendo in mano di chi pervenisse, mai dopo il sacco di Pavia, non havendo mai veduto altra reliquia di essa, che il Virgilio del Petrarca, et il libro del Divina Proportione di fra Luca, che ha il sig.r Galeasso Arconati.⁹⁹⁸

Inoltre, se seguiamo il percorso tortuoso dei codici di Leonardo notiamo che, secondo la ricostruzione di Pedretti e Cianchi (Fig. A.35), Ercole Bianchi, *art agent* del Cardinale Borromeo e allievo di Oddi, fu l'ultimo possessore di un manoscritto leonardiano che, attualmente, sembra abbia fatto purtroppo perdere le sue tracce.

⁹⁹⁴ Sulla circolazione dei codici di Leonardo si vedano Pedretti e Cianchi, 1995; Pedretti, 2008; Marcuccio e Panizzi, 2020; Ori, 2019.

⁹⁹⁵ Repishti e Schofield, 2003.

⁹⁹⁶ Oddi insegnò matematica a Crespi dal 2 al 13 marzo, 1612. Sul tema si veda Marr, 2011, Part II. Su Ercole Bianchi si veda la tesi di dottorato di Rosa Argenziano (Argenziano, 2014/2015).

⁹⁹⁷ Marr, 2011, Part II.

⁹⁹⁸ BAM, MS, G. 9, inf. 4, cc. 116-117, Oddi a A. Settala, 20 aprile 1628, lettera pubblicata da Gamba e Montebelli, 1988, 190-193.

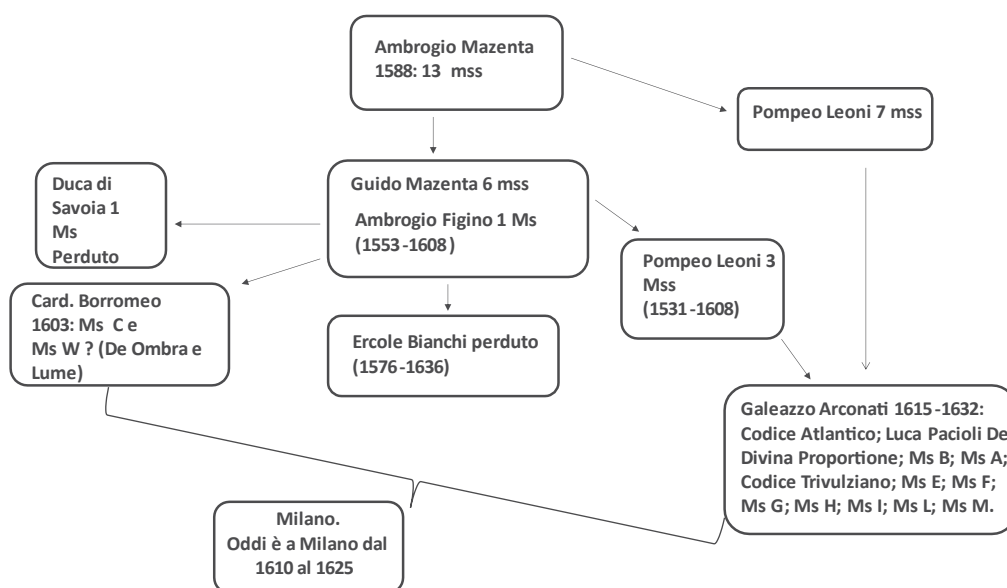


Fig. A.35 Trasmissione dei codici di Leonardo.
Mappa tratta da Pedretti e Cianchi, 1995, p. 49.

L'ipotesi proposta per ora non ha alcun fondamento. L'idea che Oddi potesse aver letto i codici di Leonardo è solamente una suggestione dovuta alla coincidenza di alcuni fatti temporali. Se vogliamo perseguire questa strada fino in fondo, dobbiamo tenere in considerazione che Oddi fu allievo del pittore urbinato Federico Barocci (presumibilmente in un periodo compreso tra i primi anni '70 del Cinquecento e il maggio 1595, quando Oddi partì per la Borgogna), fratello del costruttore Simone. Federico Barocci fin dal 1579, anno in cui aveva letto una versione del *Libro di Pittura* dall'amico Gregorio Pagani durante il suo soggiorno a Firenze, era a conoscenza del *Libro di Pittura* di Leonardo, ed era quasi sicuramente in possesso della versione abbreviata⁹⁹⁹.

Il *Libro di Pittura* venne compilato da Francesco Melzi su precise indicazioni di Leonardo da Vinci. Secondo gli esperti del settore, Melzi dovette essere aiutato da alcuni allievi, tuttora sconosciuti, chiamati Manus 1, Manus 2 e Manus 3. Secondo Pedretti, vedremo più avanti, la Manus 3 potrebbe essere riconducibile alla calligrafia di Gherardo Cibo, disegnatore arcevese di paesaggi, il quale sembra aver avuto un ruolo di qualche rilievo rispetto all'attività pittorica del milanese Ambrogio Figino e di Federico Barocci. Il *Libro di Pittura* (ora conservato presso la Biblioteca Apostolica Vaticana, BAV, Urb. Lat. 1270) verrà ritrovato nel 1631 nella biblioteca personale di Casteldurante del defunto duca Francesco Maria II della Rovere. Afferma Carlo Pedretti, seppure con estrema cautela, che il *Libro di Pittura* potrebbe essere arrivato a Casteldurante grazie alla mediazione di Federico Barocci¹⁰⁰⁰. Secondo Zygmunt Ważbiński, il responsabile dell'acquisizione urbinata del *Libro di Pittura* fu il cardinale Francesco Maria del Monte, fratello di Guidobaldo del Monte, consulente artistico del duca e responsabile dell'arricchimento della biblioteca a Casteldurante (Fig. A.36)¹⁰⁰¹. Il misterioso ritrovamento del *Libro di pittura* presso la biblioteca del duca urbinato a Casteldurante è uno dei tanti enigmi che ancora caratterizzano i lavori di Leonardo e la loro diffusione.

⁹⁹⁹ Pedretti, 1995; Sconza, 2010, nota 9. Secondo Farago (Farago 2018b) il *Libro di pittura* fu ridotto da un milanese che passava a Firenze. Ciò dovrebbe essere avvenuto entro il 1568, perché il fatto è citato nella seconda edizione della vite del Vasari (tuttavia è da considerare che Vasari non è sempre preciso). Pedretti identifica il compilatore misterioso con Giovanni Paolo Lomazzo.

¹⁰⁰⁰ Secondo Pedretti, è molto probabile che Federico Barocci possa aver consultato solo la versione abbreviata.

¹⁰⁰¹ Ważbiński, 1994.

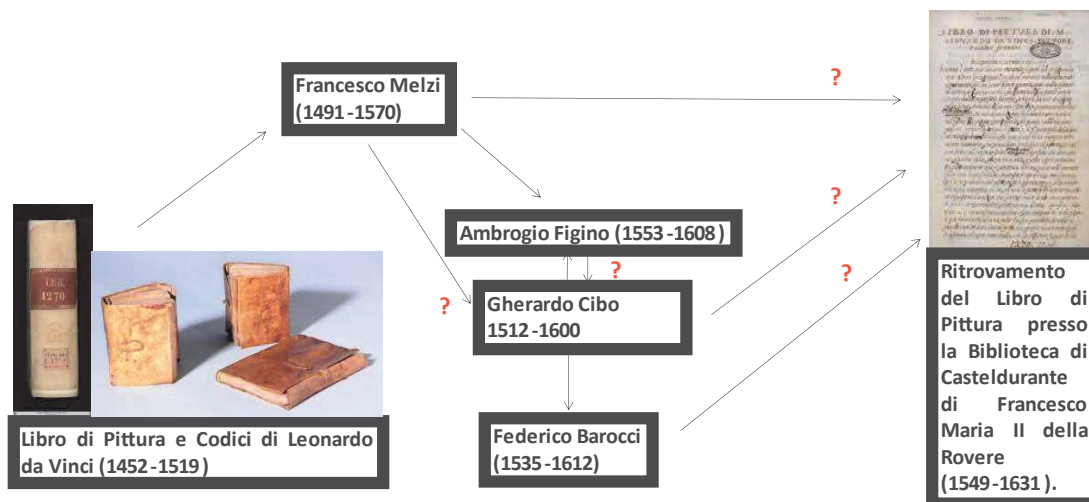


Fig. A.36 Una ricostruzione dei collegamenti del *Libro di Pittura* con l'ambiente urbinato.

Melzi aveva concluso la compilazione del *Libro di Pittura* nel 1540. Già intorno al 1570-80 circolavano soprattutto versioni ridotte, prive delle parti più teoriche, ovvero di quelle parti chiamate dagli studiosi “*Paragone delle arti*”. Ciò non vuol dire che queste parti rimasero completamente sconosciute: Guido Mazenta, Giovanni Paolo Lomazzo, Gonzales Fernando de Oviedo e Luca Pacioli ebbero modo di consultarle e forse conservarle¹⁰⁰². Pedretti ricorda anche che Mazenta possedeva alcuni manoscritti vinciani e che successivamente avrebbe consegnato a Pompeo Leoni, a Federico Borromeo, al Duca di Savoia e al pittore milanese Ambrogio Figino (1553-1608). Il manoscritto di Leonardo, ora perduto, non è il solo legame che unisce Figino al vinciano. Figino a Venezia aveva disegnato una testa di cavallo (Fig. A.38) molto simile a quella della famosa *Battaglia di Anghiari* realizzata da Leonardo nel 1508 circa e coperta presumibilmente da Vasari nel 1557 (Fig. A.37).



Fig. A.37 Il Poppi, Tavola Doria raffigurante la *Battaglia di Anghiari* (1505 circa), Galleria degli Uffizi, Firenze, <https://www.uffizi.it/gli-uffizi>.

¹⁰⁰² Pedretti, 1995, pp. 49-55.



Fig. A.38 Ambrogio Figino (1553-1608), *Studi di cavalli*, Venezia, Galleria dell'Accademia, n. 1515v, riferimento in Pedretti, 1995.

Una testa di cavallo pressoché identica a quella abbozzata da Figino fu disegnata anche dal botanico arceviense e illustratore di paesaggi Gherardo Cibo (1512-1600) nel 1527 (Fig. A.39)¹⁰⁰³, parente di Francesco Maria II della Rovere e interlocutore di Federico Barocci.

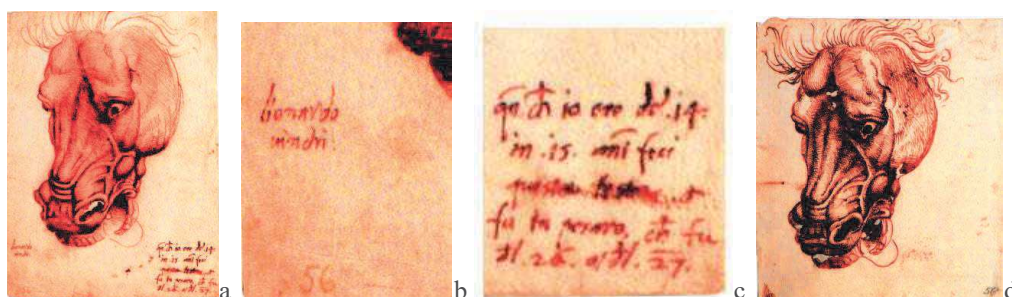


Fig. A.39 Gherardo Cibo, *Testa di cavallo (da Leonardo)*.

A sinistra (a) la testa di cavallo disegnata da Cibo in età giovanile; al centro ingrandimento del disegno: “lionardo uinchi” (b) e “quando che io ero di 14 in 15 anni feci questa testa, et fu in Pesaro che fu del '26 o del '27”; a destra (d) la testa di cavallo disegnata da Cibo nel periodo della maturità.

Biblioteca Civica Passionei, Fossombrone,
Fondo Disegni Antichi, n. 56 e n. 56A,
in Pedretti, 2005, schede 14-15.

Cibo aveva designato due teste di cavallo: una nel 1526 o 1527, quindi sicuramente prima della testa disegnata da Figino (nato intorno al 1550), e l'altra in età più avanzata. Pedretti riferisce che la nota manoscritta in basso a destra del disegno giovanile fa intendere che Cibo avesse tratto ispirazione o da un originale perduto di Leonardo da Vinci riguardante gli studi per la *Battaglia di Anghiari* o addirittura dal cartone per quella pittura o dal “libro di cavalli” che Leonardo inserisce nell'elenco di libri da egli stesso stilato nel manoscritto II di Madrid 1504. Tuttavia, è pur vero che i manoscritti iniziarono subito a circolare dopo la morte del genio toscano e non è da escludere che Cibo avesse visto tale testa di cavallo da qualche altro pittore. Queste ipotesi non diramano l'enigma di “cosa” Cibo potesse aver visto a Pesaro. Secondo Pedretti alcune indicazioni possono arrivarci dallo studio dello stile grafico e della sua carriera pittorica, e in modo particolare dallo studio della sua influenza su Federico Barocci. La strada tracciata da Pedretti non è un vicolo cieco, in effetti alcune coincidenze suggeriscono di dovere, o almeno tentare, di percorrere fino in fondo l'intuizione di uno dei massimi studiosi di Leonardo.

Segnaliamo ora un'altra coincidenza. La versione ridotte del *Libro di Pittura* che circolavano erano tendenzialmente prive, come abbiamo detto, delle parti più teoriche, in particolare, scrive Juliana Barone, delle parti 1, 5, 6, 7, ma anche, puntualizza Anna Sconza, di alcuni capitoli della Parte seconda sull'analisi dell'anatomia e sulla prospettiva, di alcuni capitoli della Parte Terza sui moti del

¹⁰⁰³ Cibo è autore delle illustrazioni in Mattioli, 1568, *I discorsi di m. Pietro Andrea Matthioli sanese, medico cesareo, et del serenissimo principe Ferdinando archiduca d'Austria & c. nelli sei libri di Pedacio Dioscoride Anazarbeo della materia medicinale*, in Venetia, appresso Vincenzo Valgrisi. Esiste anche un'edizione anastatica a cura di Contin e Tongiorgi Tomasi (Mattioli, 2005).

corpo e sull'analogia tra membra umane e animali e di alcuni capitoli della Parte Quarta sull'occhio e sulla visione¹⁰⁰⁴. Micaela Mander in un saggio su Gherardo Cibo, facendo leva sul lavoro di Veronica Bonizzoni e Michele Mariani, suggerisce delle analogie tra alcune parti del *Trattato dei colori* (*Trattato della miniatura*, Biblioteca Capitolare di Verona) di Cibo con le sezioni Quinta e Sesta del *Libro di Pittura*, tradizionalmente assenti nelle versioni ridotte¹⁰⁰⁵. Tuttavia, se Cibo fosse stato davvero a conoscenza di qualche scritto o opera di Leonardo, allora avrebbe anche potuto conoscere solamente alcune parti del *Libro di Pittura* e non necessariamente il testo integrale.

Infine, riportiamo un'ipotesi di Pedretti molto suggestiva che va a rafforzare l'ipotesi di una vicinanza di Cibo con l'ambiente leonardiano¹⁰⁰⁶. Secondo lo storico dell'arte la calligrafia della misteriosa Manus 3, che ha coadiuvato Melzi nella redazione del *Libro di Pittura*, è molto simile alla scrittura di Gherardo Cibo (Fossombrone, Biblioteca Civica Passionei, Fondo disegni antichi, 56-56A) posta alla base della testa di cavallo presa in esame.

A questo punto, se uniamo i vari elementi (la concreta possibilità che Cibo abbia visto i disegni di Leonardo, la conoscenza delle parti mancanti della versione abbreviata del *Libro di Pittura* e l'ipotesi che la Manus 3 possa essere quella di Cibo), possiamo osare una congettura: Cibo potrebbe essere entrato direttamente in contatto con alcuni lavori del genio toscano. Un contatto che poteva essere stata facilitato dai numerosi parenti che Cibo aveva in Toscana: Lorenzo Cibo era a Pisa, e nel 1534 Gherardo lo raggiunse, e Caterina Cibo nel 1540 era a Firenze, ma non sappiamo se Gherardo vi avesse soggiornato¹⁰⁰⁷.

Cibo potrebbe aver avuto un ruolo nella circolazione dei manoscritti di Leonardo e anche nella formazione di Federico Barocci. Secondo Alessandra Giannotti è molto probabile che tra Gherardo Cibo e Federico Barocci ci fosse stata un'influenza reciproca e una condivisione di interessi da far risalire al 1565¹⁰⁰⁸. Secondo Anna Cerboni Baiardi, la quale definisce Gherardo Cibo come importante e prolifico paesaggista marchigiano «in quella tendenza a studiare alberi isolati e rocce con poco interesse alla profondità spaziale», può essere individuata una somiglianza tra la pittura di Cibo e quella di Federico Barocci¹⁰⁰⁹. Abbiamo già detto che Barocci aveva avuto accesso sicuramente a una copia abbreviata del *Libro di Pittura* di Leonardo. La nostra idea, seguendo il filo della congettura, è che Cibo abbia letto la versione integrale del *Libro di Pittura* e che Barocci possa essere stato introdotto allo studio dell'arte di Leonardo da Gherardo Cibo.

A12.1. Alcune conclusioni (parziali) sulla circolazione del *Libro di Pittura* di Leonardo da Vinci

Muzio Oddi fu allievo di Federico Barocci, ma dovette lasciare la bottega per problemi di vista. Dal momento che Barocci conosceva gli scritti su Leonardo, e ne fosse entusiasta, riteniamo plausibile l'idea che Oddi fosse venuto in contatto con tali scritti durante la sua formazione iniziale. È molto

¹⁰⁰⁴ Sconza, 2010, nota 21.

¹⁰⁰⁵ Baroni, 2013.

¹⁰⁰⁶ Pedretti, 2005.

¹⁰⁰⁷ De Ferrari, 1981.

¹⁰⁰⁸ Mann, 2018. Secondo Giannotti i due presumibilmente si incontrarono nel 1565 a Senigallia, Giannotti, 2018.

¹⁰⁰⁹ Alessandra Giannotti individua alcune corrispondenze tra i disegni di Cibo e di Barocci. Sul tema Giannotti (in Giannotti, 2018, pp. 55-56) scrive «The experimental technique found in Cibo's drawings appears analogous to that which Barocci developed. Both regularly used pen and brown wash with dense blobs of lead white on cerulean-colored paper; sometimes they employed tempera on white paper. This is evident in Cibo's sketchbooks when one studies individual details. When they are isolated and examined closely, one can see how subtly and sensitively they have been rendered. Analogies between the two draftsmen are just as strong in terms of their varying and elaborate compositional method (Figure 4.10 and Color Plate 12), marked by a strong and painterly execution. Alongside ample panoramic views of Northern inspiration (Figures 4.11 and 4.12), trees act as lateral elements that set off perfectly ordered compositions distinguished by a vibrant and nervous luminosity. The artists used soft parallel strokes to depict scenes of almost documentary verisimilitude in which the inhabitable spaces have undergone a rigorous process of volumetric simplification. The trees appear isolated and entirely decontextualized from any sense of space: their trunks are knotty and the leafy foliage branches out (Figure 4.13 and Color Plate 13). Both artists took their figurative models from Titian, following the style of Domenico Campagnola and Lambert Sustris». Sul rapporto Federico Barocci e Gherardo Cibo si vedano Spike, 1994; Cerboni Baiardi, 2013, in particolare, p. 118; Rinaldi, 2013.

probabile che nella bottega di Federico Barocci il giovane Oddi avesse avuto accesso alla versione ridotta del *Libro di Pittura* e, perché no, al *Libro di Pittura* integrale, dal momento che ci sono tracce di una contaminazione pittorica tra Barocci e Cibo e della conoscenza del contenuto del *Libro di Pittura* nella sua forma più estesa da parte di Cibo. Inoltre, come abbiamo visto nella prima parte del paragrafo, non è da escludere che Oddi possa aver letto i codici di Leonardo disponibili presso la corte di Borromeo.

Chiudiamo questo paragrafo con alcune domande irrisolte e che dovranno essere il punto di partenza per future ricerche. Ad esempio, ci si dovrebbe chiedere il motivo per cui anche i progetti di Oddi siano finiti alla Royal Library di Windsor Castle e nel Fondo Ashburnham della Laurenziana. Che abbiano seguito la strada dei codici leonardeschi o più precisamente abbiano subito entrambi i saccheggi di Napoleone e di Guillaume Libri?¹⁰¹⁰

Altre domande rimaste in sospeso riguardano il *Libro di Pittura*: perché il *Libro di Pittura* venne ritrovato nella Biblioteca di Casteldurante di Francesco Maria II della Rovere? E come c'è arrivato? Alcune importanti informazioni possono essere desunte dal recente *The fabrication of Leonardo da Vinci's Trattato sulla pittura*¹⁰¹¹. Secondo gli autori il cardinale Francesco Maria del Monte potrebbe aver avuto un qualche ruolo nella vicenda. Egli, in quanto patrono dell'Accademia di San Luca, istruì sul metodo scientifico il collezionista Cassiano Dal Pozzo. In quel periodo Dal Pozzo aveva in mente un progetto di edizione delle illustrazioni, incluse quelle di Leonardo, e di fare un riassunto del *Libro di pittura* di da Vinci. Dal Pozzo, che a quel tempo stava trascrivendo i manoscritti vinciani posseduti da Zaccolini, chiese ad Arconati di confrontarli con i codici originali reperiti da quest'ultimo¹⁰¹². Sempre nel *Fabrication*, nella parte dedicata a Urbino, sono presenti numerose notizie sul rapporto tra Melzi e il duca e sul rapporto tra Guidobaldo e Federico Barocci¹⁰¹³. Farago allude anche alla possibilità che il *Libro di pittura* potesse essere arrivato a Casteldurante grazie a Federico Borromeo (1564-1631)¹⁰¹⁴.

A13. Ricostruzioni del modo di costruire un verticale da un orizzontale. Da Giulio Fuligatti a Muzio Oddi

A13.1 Giulio Fuligatti

Prima di esaminare i capitoli del trattato sugli orologi solari (*De gli horiuoli a sole*, 1617), in cui Fuligatti descrive il modo di costruire un orologio verticale da un orizzontale, rileviamo che già nell'avvertenza *A' Lettori* l'autore rivendica alcuni modi da lui trovati per realizzarli più facilmente.

Alche per rimediare ho aggiunto *nel fine della seconda parte un modo facilissimo di poter formare un'horiuolo grande da un piccolo*. [...] Non ho saputa fin hora persona che l'abbia dichiarato con questa particolare pratica, e facilità, che da me si pone. [...] *Nella quarta parte si prescrive un modo facilissimo, di fare l'horiuolo orizzontale, e da questo si ritrà ogn'altr, o murale, o inchinato*. [...] Il ritrovamento del murale, o inchinato dall'orizzontale, non so bènè da quale ingegno fia uscito. Solamente so esser stato posto dal Sig. Guidobaldo nella sua prospettiva, e dal Clauio nella sua gnomonica. *Io non hauendo che feguitar nel primo, che non discende al particolare, e parendomi alquanto difficile il modo del fecondo; pensai l'artificio propofto in questa parte, il quale mi parue facilissimo*.¹⁰¹⁵

¹⁰¹⁰ Molto del materiale trafugato venne utilizzato da Guillaume Libri nella sua monumentale opera *Histoire des Sciences Mathematiques en Italie*, Volumi 1-4, 1838-1841. Successivamente G. Libri vendette i codici al conte Ashburnham.

¹⁰¹¹ Farago, Bell e Vecce, 2018. Sulla biblioteca di Francesco Maria II della Rovere si vedano anche Mei e Paoli, 2008; Moranti e Moranti, 1981.

¹⁰¹² Farago, 2018a, pp. 17-31.

¹⁰¹³ Farago, 2018b.

¹⁰¹⁴ Farago, 2018b, pp. 236-237.

¹⁰¹⁵ Fuligatti, 1617, *A' Lettori*, corsivo nostro.

Infatti, nella Parte 2, Capitolo V, Fuligatti illustra un modo per trasferire su un piano verticale un orologio grande partendo da uno più piccolo. Il cesenate descrive la regola in questo modo.

Con l'Archipendolo liuellatto vn regolo, fi tiri nel muro (del qual prima parlaremo) F 'D parallela all'orizzonte ad essa facciasi F E perpendicolare col perpendicolo ben tefo, le quali due linee rapprefentano le due FD, F E, che sono nell'horiuolo piccolo in carta. Hor qual fi uoglia punto della carta cofi fi trasferire nel muro. Se il punto è in una delle dette linee FD, F E come il punto Q, che è nella carta nella linea F D alla sinistra, pigliando col compasso la distanza F Q fi trasporti nel muro, misurando da F del muro nella linea FD alla sinistra tante volte quanti fi vuole, che l'horiuolo fia [...]. Vn modo più facile e comune a tutti i piani è, che s'attacchi la carta immobilmente sul piano. (Se il piano è stabile, come muro, o piano inchinato, ouero orizzontale si tiri prima in esso vna linea di quelle, che vi vano, come va tirata, cioè nel muro, o piano inchinato la linea orizzontale co l'archipendolo, o nel piano orizzontale, la linea meridionale prefa nel modo, che fi dee come s'insegnò nella prima parte, dipoi la carta s'attachi fopra detti piani in modo, che la linea Orizzontale fia fopra la linee orizzontale del piano, ouero la meridione fopra la meridiana del piano. Ma fe il piano è mobile, come cartone, tauola et alla carta vi s'attacchi, come si vuole). Di poi pigliàdo qualche punto in vna linea, la quale fia nella carta, e nel piano, o prima tirata ouero allungata in esso da quel punto s'ingrandirà l'horiuolo cofi, per essemplio prefo il punto F della linea orizzontale luogo dello stile, fi fori in modo, che detto punto F, fia, e nella carta, e nel piano. Dipoi passi per F, e pel punto, che s'ha da trasferire, come pel punto 1 2 vna riga, o vn filo tirato, e fopra, o a dirittura di quella riga, o filo, fi misuri da F quante volte fi vuole grande l'horiuolo, come due volte, la distanza F 1 2 .la prima sarà da F all'istesso punto 12, che è nel la carta, e nel pianola feconda fin al termine doue arriva, il qual termine sarà il punto l 2 del piano, che' fi cerca, e così trasporterà ogn'altro punto , e poi per due punti trasportati fi tirerà la lieua la quale fara due volte tanto, quanto e quella della carta, et tirate tutte le linee s'haurà l'horiuolo, due volte quanto e quello della carta. Qui e d'auuertine, che tutte le linee, che paffano pel punto F prefo, l'istesse, e nella carta, e nel piano e però in quello fi tiraranno, o fi allungheranno onde li punti, che nella carta fono in tali linee fi pigliano nell'istesse allongate, come il punto Q della carta, mifurando la distanza F Q da P due volte si istessa linea F Q, il termine è Q del muro. Questa pratica feruirà non solo per ingrandire gli horuoli, ma per qual fi uoglia figura piccola, che si voglia far maggiore, è da notare che fe l'horiuolo del piano si fa due volte, quanto quelle della carta, lo ftille anco deue effer due volte quanto lo stile della carta, e se tre volte, tre volte etc.¹⁰¹⁶

Quindi secondo Fuligatti, un modo agevole per costruire un orologio grande partendo da uno piccolo su un muro è, dopo aver trovato sul piano verticale o inclinato la linea orizzontale con l'archipendolo, attaccare la carta, sopra cui era stato disegnato un orologio, sul detto piano in modo che le linea orizzontale sul piano coincida con quella dell'orologio disegnato sulla carta. I punti potranno essere facilmente trasportati dall'orologio sulla carta al piano su cui vogliamo disegnare l'orologio ingrandito, mediante l'impiego di una riga e del filo a piombo.

Nella Parte 4, Capitolo II, Fuligatti riprende il metodo precedentemente descritto per costruire un orologio murale partendo un orizzontale, ma senza farlo prima di più piccola dimensione.

Nell'horiuolo Orizzontale, che deve esser descritto in cartone sottile, o carta maggior, che fi può, tirata per A luogo dello stile la linea LP, perpendicolare alla meridiana, la quale ci rapprefenta il taglio, che fa il verticale principale nell' Orizzonte in quefte due linee meridiana, e verticale. [...] o vero fi può tenere questo modo, fe parerà ad alcuno più facile. *Imaginianci l'horiuolo vicino al muro EG. poflo cofi alla grossa nella fua pofitura, e che in quel fito vna linea, come AB fia tirata per A parallela al muro E G, quefla farebbe in A l'angolo della declinatione, con AL, come fi deue.* La regola per tirarla farà fare che la detta linea A B. paffi per A tra' l muro EG e la parte del verticale, che da esso muro fi difcofla, come i A L, e con la detta parte faccia in A l'angolo della declinatione b AL, il quale nell'esempio nostro supponiamo di 30.gr. [...] *Dipoi nel muro fi tiri F M. parallela all'Orizzonte, che è la linea Orizzontale o delle 24. bore , ed FE col piombino*

¹⁰¹⁶ Fuligatti, 1617, Parte 2, Capitolo V, pp. 64-65, corsivo nostro.

gnomone dell'Orizontale, e se nel muro farà stato anticipatamente posto il Gnomone¹⁰²⁰ dal suo piede A, facciali cadere la AHK perpendicolare, & à questa soprapongafi la KO dell'aspetto, fiche la distanza dal punto H, al punto O, del Gnomone Orizontale, sia quanto deue essere lungo il Gnomone del Verticale con auertenza, che se per modo d'esempio il punto dell'aspetto, sarà verso K, questa parte stia verso terra, e non verso A: *Fermata poi la carta, sia in essa nel punto O, attaccato vn filo, al quale per fare con facilità le perpendicolari, vi fi legarà dall'altro estremo vn poco di piombo; et vn'altro, ò due, fi attacaranno nella LM, ne i punti N, tanto distanti da o, quanto parimente è lungo il Gnomone dell'Orizonatale, ò alla destra, ò sinistra, ò se così piacesse da ambe le parti di O* [Fig. A.41].¹⁰²¹

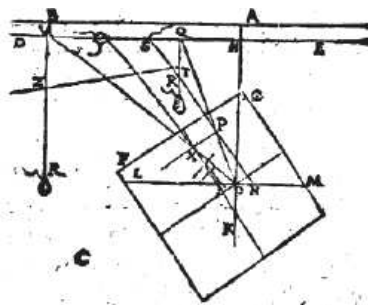


Fig. A.41 Costruzione dell'orologio verticale, in Oddi, Mu., 1638, p. 64.

Al termine del capitolo, Oddi inserisce un paragrafo denominato *Dimostrazione*, in cui precisa che «La dimoftratione di tutte quelle operationi, è la medesima, che l'antecedente, essendo quella, e quella regola un'istessà cosa, senza alcuna differenza»¹⁰²². La «regola antecedente» è quella esposta nel precedente capitolo *Del ringrandire, e trasportare l'horologio*, in cui Oddi descrive il modo di trasportare su muro un orologio piccolo prima disegnato su carta. Possiamo quindi concludere che Fuligatti e Oddi inseriscono nei rispettivi trattati dei procedimenti molto simili per costruire un orologio verticale da uno orizzontale.

Nel trattato Oddi fa riferimento a ulteriori plaghi di Fuligatti. A pagina 97, all'interno dello Scolio, Oddi accusa Fuligatti anche di aver copiato una sua regola per costruire gli orologi solari sulle superfici curve. Una regola, dice Oddi, che gli era stata insegnata dallo zio Nicolò Genga. La regola non viene esplicitata da Oddi, tuttavia indica gli errori, o meglio le omissioni, di Fuligatti.

Si fanno ancora simili Horologi con paricolare Analemma, quale, se non si venisse à rompere l'ordine preso di valersi sempre del mezzo di vno Horologio piano Orizontale già fatto, li hauerei volentieri inserto in questo luogo, sì perche vi sono molti vantaggi, et è cosa assai più spedita, che li due modi antecedenti; sì anco perche hauendo quell'istesso Padre che stampò, come si è detto, alcune cose mie, stampato anco questa regola, che da Giouinetto mi fù insegnata da vn mio Zio materno (al lato: Nel Proemio. Nicolò Genga), si sarebbero corretti alcuni errori, che v'hà fatto, ò perche non hauesse inteso, ò che non si ricordasse nel scriuerla delle ragioni, che nel mostrarci la li dissi a bocca, perche nel cerchio del Tropico fosse necessario trouare nel Diametro tanti punti,

¹⁰²⁰ Poche pagine prima Oddi aveva descritto il procedimento per posizionare lo gnomone: «Ma s'incontrano molte difficoltà nel fituare bene il Gnomone nel muro, dopò, che vi fi è disegnato l'Horologio, onde per schifarle tornerà molto meglio ponerlo prima che fare l'Horologio poi. Perciò s'auertirà di metterlo in fito fimile à quello della carta, con le circonstanze dette di sopra, e per mezzo la grossèzza del suo piede, fi farà con l'Archipendolo la linea dell'Orizonte, et in essa, dalla parte opportuna, fi numereranno dal Gnomone tante di quelle grandezze, che nell' Horologio piccolo, e fra il fito del suo Gnomone, a quel punto nel quale l' equinoziale concorre con l' Orizonte (se però concorre) quante fono le volte, che fi vuol far maggiore; e sopra quel punto doue cade l'ultima, fi adatterà il punto di detto concorso con la linea dell' Orizonte, sopra posta a quella, che fi è segnata nel muro: poi fermata la carta; s'opererà con detto punto, come fi fece dianzi con quello del fito del Gnomone, e fi disegnerà l'Horologio con affai minor fatica, e consumo di tempo», Oddi, Mu., 1638, p. 62.

¹⁰²¹ Oddi, Mu., 1638, p. 65, corsivo nostro.

¹⁰²² Oddi, Mu., 1638, pp. 66.

quanti sono quelli dell'hore notate nella circonferenza, si che le linee rette, che li congiungono, seghino quelle due porzioni di circonferenza, che rappresentano le comuni settioni del Concauo, quando è minore di mezza sfera, e delli due Coni, che hanno i Vertici nel centro del Mondo, e per base i Tropici nell'istesso modo, come essendo nella propria positione verrebbero segate nella superficie del Cono, dalle linee tirate da i punti dell'hore della base, a quello del suo Vertice; invece delle quali disse, che si tirassero ai due centri di dette porzioni, che non sono punto à proposito, se Non fosse à dimostrare più chiaramente in quel Libro non vi essere cosa di suo fuorché gl'errori.¹⁰²³

Fuligatti aveva inserito la regola per costruire gli orologi solari sulle superfici curve nella Parte 5, Capitolo II, *Modo di descrivere gli horiuoli ne' concavi imperfetti come Scatolini*. La descrizione di Fuligatti è la seguente: prima si fissi un «circolo di carta» all'interno della parte concava della mezza sfera. Si divida l'orlo dello scatolino in quattro parti e si trovi il centro del piano che taglia e coincide col diametro della sfera. Poi si individui la proiezione del centro del diametro sulla base dello scatolino. A questo punto si disegni l'analemma (mentre Oddi impiega l'espedito dell'orologio orizzontale) all'interno dell'orlo interno e si trovi poi i tropici del Cancro e del Capricorno e i rispettivi centri. Quindi si costruisca «un circolo per la seconda figura [interno allo scatolino] di qual si voglia grandezza, e diviso in 24 parti per l'hore, e in quarant'otto per le mezz'hore, e tirate alle divisioni per il centro C, 12 o 24 linee»¹⁰²⁴. Infine, in successione, si tirino le linee per il centro C, si individui il centro dell'equinoziale dello scatolino e si trasferisca le ore nei tropici (Fig. A.42).

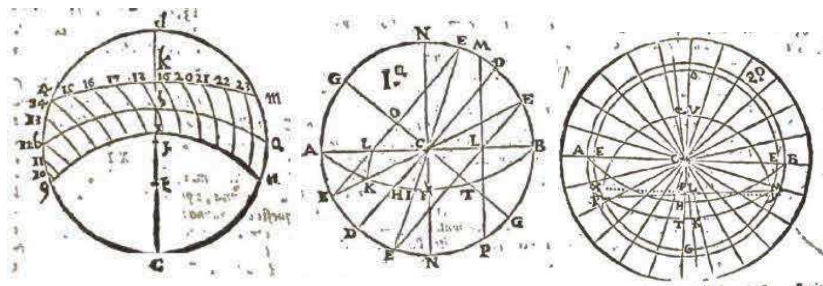


Fig. A.42 Orologi solari disegnati su superfici curve, in Fuligatti, 1617, pp. 217-218.

La costruzione degli orologi solari per mezzo dell'analemma era stata descritta da Oddi nel trattato sugli orologi solari pubblicato nel 1614. Tuttavia, ivi l'urbinate si riferiva esclusivamente agli orologi nelle superfici piane. Invece, la costruzione di orologi solari su superficie concave è descritta da Oddi nel capitolo *De gli Horologi solari nelle superficie curve*, pagine 81-98, del trattato del 1638 (Fig. A.43), nel quale però l'urbinate basa la sua costruzione, come indica nello Scolio, sulla previa realizzazione di un orologio orizzontale e non sulla costruzione di un analemma.

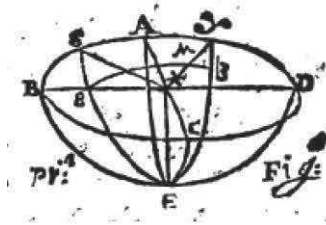


Fig. A.43 Orologio solare costruito su superficie curva, in Oddi, Mu., 1638, p. 86.

¹⁰²³ Oddi, Mu., 1638, p. 97.

¹⁰²⁴ Fuligatti, 1617, p. 217-221.

BIBLIOGRAFIA

- Abbri, F. e Bucciattini, M. (a cura di), 2006, *Toscana e Europa. Nuova scienza e filosofia tra '600 e '700*, Milano, FrancoAngeli.
- Acerbi, F., 2013, *La concezione archimedeica degli oggetti matematici. La Matematica nella Società e nella Cultura*, in «Rivista dell'Unione Matematica Italiana», Serie 1, Vol. 6 (2013), fasc. n.2, pp. 227-252.
- Affò, A., 1783, *Vita di Monsignore Bernardino Baldi da Urbino*, Parma, Carmignani.
- Ago, R., 2014, *Tanti modi per promuoversi. Artisti, dottori, letterati nella Roma del Seicento*, ENBaCH, www.enbach.eu.
- Agricola, G., 1563, *Opera di Giorgio Agricola De l'arte de metalli partita in XII libri. Tradotti in lingua toscana da m. Michelangelo Florio*, Basilea, per Hieronimo Frobenio et Nicolao Episcopio.
- Al-Hiyal, K., 1979, *The Book of Ingenious Devices*, Netherlands, Springer.
- Al-Khalili, J., 2013, *La casa della saggezza*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Alberi, E. (a cura di), 1839-1863, *Le relazioni degli ambasciatori veneti al Senato*, Firenze, Tipografia e calcografia all'insegna di Clio.
- Alberti, L. B., 1739, *Della architettura di Leon Battista Alberti libri 10. Della pittura libri 3. E della statua libro 1. Tradotti in lingua italiana da Cosimo Bartoli*, Londra, presso Tommaso Edlin.
- Alberti, L. B., 2006, *Il nuovo De pictura di Leon Battista Alberti*, Sinisgalli, R. (a cura di), Roma, Kappa.
- Aleotti, G. B., 1589, *Gli artifiziosi et curiosi moti spiritali di Herone. Tradotti da M. Gio. Battista Aleotti d'Argenta. Aggiuntoui dal medesimo Quattro Theoremi*, Ferrara, per Vittorio Baldini Stampator ducale.
- Altieri Biagi, M. L., 1965a, *Galileo e la terminologia tecnico-scientifica*, in Biblioteca dell'«Archivum Romanicum», Serie II, Linguistica, vol. 32.
- Altieri Biagi, M. L., 1965b, *Vile meccanico*, in «Lingua Nostra», Volume XXVI, Sansoni, pp. 1-12.
- Altieri Biagi, M. L. e Basile, B., 1983, *Scienziati del Settecento*, Milano-Napoli, Ricciardi.
- Amaldi, U. e Giorgi, G., 1933, *Lavoro*, in *Enciclopedia Italiana*, Treccani.
- Ambrosini Massari, A. M. e Cellini, M. (a cura di), 2005, *Nel segno di Barocci. Allievi e seguaci tra Marche, Umbria, Siena*, Milano, F. Motta.
- Andersen, K., 2007, *The geometry of an art. The history of the mathematical theory of perspective from Alberti to Monge*, New York, Springer.
- Andersen, K., 2013, *Guidobaldo: The Father of the Mathematical Theory of Perspective*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607)*.

“Mathematics” and technics from Urbino to Europe, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 145-166.

Andersen, K. e Gamba, E., 2008. *Guidobaldo del Monte*, in *New Dictionary of Scientific Biography*, Detroit, T. Gale, vol. 5, pp. 174–178.

Anonimo Fiorentino, 1993, *Trattato di geometria pratica. Codice L.IV.18 -sec. XV-, conservato presso la Biblioteca Comunale di Siena*, Simi, A. (a cura di), Università degli studi di Siena.

Archimede, 1974, *Opere di Archimede*, Frajese, A. (a cura di), Torino, UTET.

Archimede, 2013, *Metodo. Nel laboratorio del genio*, Acerbi, F., Fontanari, C. e Guardini M. (a cura di), Torino, Bollati Boringhieri.

Aristotele, 1996a, *Organon. Analitici secondi, Topici, Confutazioni sofistiche*, Vol. II, trad. it. Zanatta, M. (a cura di), Torino UTET.

Aristotele, 1996b, *Organon. Categorie, Dell'interpretazione, Analitici Primi*, Vol. I, trad. it. Zanatta, M. (a cura di), Torino UTET.

Aristotele, 2008a, *Fisica*, trad. it. Russo, A. (a cura di), in *Aristotele*, Vol. I, Milano, Mondadori.

Aristotele, 2008b, *Metafisica*, trad. it. Russo, A. (a cura di), in *Aristotele*, Vol. I, Milano, Mondadori.

Aristotele, 2010, *Meccanica*, Ferrini, M. F. (a cura di), Milano, Bompiani.

Aristotele, 1995, *The Complete Works of Aristotle*, Barnes, J. (a cura di), Princeton, Princeton University Press.

Argenziano, R., 2014/2015, *Un contributo allo studio dell'italiano della comunicazione epistolare nel Seicento: le lettere di Jan Brueghel il vecchio a Federico Borromeo ed Ercole Bianchi*, Supervisore: Gabriella Cartago Scattaglia, Università degli Studi di Milano.

Arrighi, G., 1965, *Un grande scienziato italiano: Guidobaldo dal Monte in alcune carte inedite della biblioteca Oliveriana di Pesaro*, in «Atti dell'Accademia Lucchese di Scienze, lettere ed arte», XII, 2, pp. 181–199.

Ashworth, E. J., 1974, *Language and logic in the post-Medieval period*, Dordrecht-Boston, Reidel.

Assis, K. T. e Magnaghi, C. P., 2016, *Il Metodo Illustrato di Archimede. Usando la Legge della Leva per Calcolare Aree, Volumi e Centri di Gravità*, Apeiron, Montreal.

Baldi, B., 1589a, *Di Herone Alessandrino, De Gli Automati, overo Machine Se Moventi, Libri due*, Venetia, appresso Girolamo Porro.

Baldi, B., 1589b, *La corona dell'anno. Del reuerendiss. sig. Bernardino Baldi da Urbino, abate di Guastalla. Nella quale si contiene tanti sonetti, quanti santi corrono in tutto l'anno, secondo il calendario romano*, in Vicenza, appresso Agostino dalla Noce.

Baldi, B., 1590, *Versi e prose di Monsignor Bernardino Baldi da Urbino*, Venetia, appresso Francesco de' Franceschi Senese.

- Baldi, B., 1607, *Concetti morali, cantati da Bernardino Baldi da Urbino, abbate di Guastalla, nell'illustrissime Academie Innominata Seluaggio, & Affidata Hileo*, Parma, nella stamperia di Erasmo Viotti.
- Baldi, B., 1609, *Bernardini Baldi urbinatis acad. Innominati et Affiliati Disticha*, Parma.
- Baldi, B., 1612a, *De verborum vitruvianorum significatione*, Augustae Vindelicorum, ad insigne Pinus.
- Baldi, B., 1612b, *Scamilli impares vitruviani*, Augustae Vindelicorum, ad insigne Pinus.
- Baldi, B., 1616, *Heronis Ctesibi Belopoecca*, Augustae Vindelicorum, typis Davidis Franci.
- Baldi, B., 1621, *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes: adiecta succinta narratione de autoris vita et scriptis*, Mainz, Johann Albin Witwe.
- Baldi, B., 1627, *La difesa di Procopio contro le calunnie di Flauio Biondo, con alcune considerationi intorno al luogo oue seguì giornata fra Totila, e Narsete. Di monsignor Bernardino Baldi da Urbino abbate di Guastalla*, Urbino, per Marc'Antonio Mazzantini.
- Baldi, B., 1706, *Encomio della patria, Urbino*, Angelo Antonio Monticelli.
- Baldi, B., 1707, *Cronica de matematici overo epitome dell'istoria delle vite loro opera di monsignor Bernardino Baldi da Urbino abate di Guastalla*, Urbino, per Angelo Ant. Monticelli.
- Baldi, B., 1821, *Della vita e de' fatti di Guidobaldo I. da Montefeltro duca d'Urbino libri dodici di Bernardino Baldi da Urbino*, Milano, per Giovanni Silvestri.
- Baldi, B., 1824, *Vita e fatti di Federigo di Montefeltro duca di Urbino istoria di Bernardino Baldi estratta da ms. inedito della Biblioteca Albani e corredata di osservazioni del sig. avv. Francesco Zuccardi*, Roma, per Alessandro Ceracchi, [poi] presso Perego Salvioni.
- Baldi, B., 1859, *Versi e prose scelte*, Ugolini, F. e Polidori F. L. (a cura di), Firenze, F. Le Monnier.
- Baldi, B., 1887, *Vite inedite di matematici italiani*, Narducci, E. (a cura di), Roma, Tip. delle Scienze Matematiche e Fisiche. estratto da Bollettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche, T. 9, 1886.
- Baldi, B., 1901, *L'invenzione del bossolo da navigare*, Canevazzi, G. (a cura di), Livorno, Giusti.
- Baldi, B., 1914, *Gli epigrammi inediti, gli apologhi, le ecloghe, epigramma*, Ciampoli, D. (a cura di), Lanciano, R. Carabba, n. 375, vol. I.
- Baldi, B., 1998, *Le vite de' matematici. Edizione annotata e commentata della parte medievale e rinascimentale*, E. Nenci (a cura di), Milano, FrancoAngeli.
- Baldi, B., 2010, *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes*, edizione anastatica, Nenci, E. (a cura di), Milano, FrancoAngeli.
- Baldi, B. e Bianchini, F., 1724, *Memorie concernenti la città di Urbino dedicate alla sagra real maestà di Giacomo III, re della Gran Brettagna*, in Roma, presso Gio: Maria Salvioni, stampator vaticano nell'Archiginnasio della Sapienza.

- Banker, J. R., 2014, *Piero della Francesca. Artist and Man*, Oxford, Oxford University Press.
- Barone, J., 2011, *Cassiano dal Pozzo's manuscript copy of the Trattato: new evidence of editorial procedures and responses to Leonardo in the seventeenth century*, in «Raccolta Vinciana», 35 (2011), pp. 223-286.
- Baroni, S., 2013, *La trattatistica tecnica di Gherardo Cibo*, in Mangani, G. e Tongiorgi Tomasi, L. (a cura di), *Gherardo Cibo. Dilettante di botanica e pittore di paesi. Arte, scienza e illustrazione botanica nel XVI. Secolo*, Ancona, Il lavoro editoriale.
- Barozzi, F., 1560, *Procli Diadochi Lycii in Primum Euclidis Commentarium*, Patavii, Excudebat Gratosus Perchacinus.
- Barozzi da Vignola, I., 1583, *Le due regole della prospettiva pratica di Iacomo Barozzi da Vignola con i comentarij del R.P.M. Egnatio Danti*, Roma, Francesco Zannetti.
- Bartocci, C. e Odifreddi, O., 2007, *La matematica*, Vol. I, Torino, Einaudi.
- Becchi, B., 2004, *Q. XVI. Leonardo, Galileo e il caso Baldi: Magonza, 26 marzo 1621*, Venezia, Marsilio Editore.
- Becchi A., 2008, *Bernardino Baldi*, in Noretta Koertge (a cura di), *The new dictionary of scientific biography*, vol. 1, pp. 166-168.
- Becchi, A., 2013, “...zoticamente non intendendo le Mechaniche”. *La scientia aedificandi ai tempi di Guidobaldo del Monte*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). “Mathematics” and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 241-264.
- Becchi, A., 2015, *Oltre la ‘Scientia de Ponderibus’*, in Caye, P., Nanni R., & Napolitani, P. D., *Scienze e rappresentazioni. Saggi in onore di Pierre Souffrin*, Atti del Convegno internazionale (Vinci, Biblioteca leonardiana, 26-29 settembre 2012), Firenze, Olschki Editore.
- Becchi, A., 2017a, *I commenti di Daniele Barbaro al Proemio della «terza parte principale dell’Architettura» (1556-1567)*, in Lemerle, F., Zara, V., Caye, P. e Moretti, L. (a cura di), *Daniele Barbaro 1514-1570. Vénitien, patricien, humaniste*, Turnhout, Brepols.
- Becchi, A., 2017b, *Naufragi di terra e di mare. Da Leonardo da Vinci a Theodor Mommsen alla ricerca dei codici Albani*, Roma, Edizioni di storia e letteratura.
- Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). “Mathematics” and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.
- Bedini, S. A., 2001, *La dinastia Barocci. Artigiani della scienza in Urbino 1550-1650*, in Vetrano, F. (a cura di), *La scienza del ducato di Urbino/The science of the Dukedom of Urbino*, Urbino, Accademia Raffaello.
- Bellori, G. P., 1672, *Le vite de' pittori, scultori et architetti moderni*, Roma, per il Success. al Mascardi.
- Belli Barsali, I., 2000, *Ville e committenti dello Stato di Lucca*, Lucca, Maria Pacini Fazzi.

- Belli Barsali, I., 2004, *Isa Belli Barsali per la città di Lucca. Scritti scelti dal 1947 al 1998*, Filieri, M. T. (a cura di), Lucca, M. Pacini Fazzi.
- Beltrame, D., 1995, *Il forte spagnolo Sandoval presso borgo Vercelli (1614-1644)*, in «Bollettino storico vercellese», A. 24, n. 2 (1995), pp. 89-133.
- Benazzi G. (a cura di), 2007, *Lo studiolo di Federico da Montefeltro*, Milano, F. Motta.
- Benedetti, G. B., 1585, *Jo. Baptistae Benedicti Patritii Veneti Diversarum speculationum mathematicarum & physicarum liber*, Taurini, apud Haeredem Nicolai Bevilacqua.
- Benedetti, G. B., 1967, *Le speculazioni giovanili de motu di Giovanni Battista Benedetti. Con estratti dalla lettera dedicatoria della Resolutio omnium Euclidis problematum... e con il testo delle due edizioni della Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotelem et omnes philosophos*, Maccagni, C. (a cura di), Pisa, Domus Galilaeana.
- Benedetti, P., 1570, *Discorso della dignità delle Leggi, rispetto a tutte l'altre Scienze, Facoltà, et Arti, di Pietro Benedetti da Urbino*, Bologna, per Alessandro Benaccio.
- Bentivoglio, E., 1983, *L'attività di Ambrogio Barocci da Milano*, in «Arte Lombarda», Nuova Serie, No. 65 (2), Atti del Convegno: Umanesimo problemi aperti: 6 (1983), Vita e Pensiero – Pubblicazioni dell'Università Cattolica del Sacro Cuore, pp. 73-78,
- Benvenuto, E., 1987, *La statica nell'opera di Giovan Battista Benedetti*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento. Atti del convegno internazionale di studio: Giovan Battista Benedetti e il suo tempo*, Venezia, Istituto veneto di scienze, lettere ed arti, pp. 331-339.
- Benvenuto, E., 2010, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Roma, Edizioni di storia e letteratura.
- Berbiellini, C., 1757, *Raccolta di Lettere sulla Pittura, Scultura ed Architettura scritte da' piu celebri Professori che in dette arti fiorirono dal Secolo XV al XVII*, Volume 2, Roma, Eredi Berbiellini.
- Bernardoni, A., 2009, *Le artiglierie come oggetto di riflessione scientifica degli ingegneri del rinascimento*, in «Quaderni Storici», 44, 130 (1), nuova serie, pp. 35-65.
- Bernini Pezzini, G., 1983, *Problemi di meccanica nel fregio urbinato di Francesco di Giorgio*, in «Notizie da Palazzo Albani», vol. 12, N. 1-2, pp. 51-58.
- Bernini Pezzini, G., 1985, *Il fregio dell'arte della guerra nel Palazzo ducale di Urbino. Catalogo dei rilievi*, Galleria nazionale delle Marche, Roma, Istituto poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato.
- Berrino, A. e Buccaro, A., 2018, *Delli Aspetti de Paesi. Vecchi e nuovi Media per l'Immagine del Paesaggio: Costruzione, descrizione, identità storica*, Napoli, FedOA - Federico II University Press.
- Bertini, M.A., e Catolfi, C., 2010, *Una città e il suo fiume: itinerario cartografico tra cultura del territorio e gestione paesistica*, in «Studi Urbinati, B – Scienze umane e sociali», Vol. 80, 2010, pp. 9-41.

- Bertolini, L., 2000, *Sulla precedenza della redazione volgare del De pictura di Leon Battista Alberti*, in Santagata, M. e Stussi, A. (a cura di), *Studi per Umberto Carpi. Un saluto da allievi e colleghi pisani*, Pisa, ETS.
- Bertoloni Meli, D., 1989, *Federico Commandino and his school*, in «Studies in History and Philosophy of Sciences», Vol. 20, pp. 397-403.
- Bertoloni Meli, D., 1992, *Guidobaldo Dal Monte and the Archimedean Revival*, in «Nuncius», VII 1, pp. 3-34.
- Bertoloni Meli, 2006, *Thinking With Objects. The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Bertoloni Meli, D., 2013, *Guidobaldo, Galileo, and the History of Mechanics*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 105-123
- Bettini, S., 2006, *Bernardino Baldi e Vitruvio*, in Cerboni Baiardi, G. (a cura di), *Seminario di studi su Bernardino Baldi urbinato (1553-1617)*, Urbino, Accademia Raffaello, pp. 227-250.
- Biagioli, M., 1989, *The Social Status of Italian Mathematicians, 1450-1600*, in «History of Science», 1989, 27(1), pp. 41-95.
- Biagioli, M., 2006, *Galileo's Instruments of Credit. Telescopes, Images, Secrecy*, Chicago, The University of Chicago press.
- Bianca, C., 1982, *Commandino Federico*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 27, Treccani.
- Bianca, C., 2004, *La presenza degli umanisti ad Urbino nella seconda metà del Quattrocento*, in Fiore, F. P. (a cura di), *Francesco di Giorgio alla corte di Federico da Montefeltro: atti del Convegno internazionale di studi, Urbino, Monastero di Santa Chiara, 11-13 ottobre 2001*, Firenze, Leo S. Olschki.
- Biffi, M., 2005, *Dal latino all'italiano e ritorno: il De verborum vitruvianorum significatione e la formazione del lessico architettonico italiano*, in Nenci, E. (a cura di), *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli.
- Bilinski, B., 1977, *Prologomena alle Vite dei matematici di Bernardino Baldi, 1587-1596: manoscritti Rosminiani-Celli già Albani-Boncompagni*, Wroclaw, Zaklad narodowy imienia ossolinskich wydawnictwo polskiej akademii nauk.
- Biral, A. e Morachiello, P., 1985, *Immagini dell'ingegnere tra Quattro e Settecento. Filosofo, soldato, politecnico*, Milano, FrancoAngeli.
- Boas, M., 1973, *Il Rinascimento scientifico 1450-1630*, Milano, Feltrinelli.
- Boffito, G., 1982, *Gli strumenti della scienza e la scienza degli strumenti. Con l'illustrazione della tribuna di Galileo*, Benaglia, P. (a cura di), Roma, Multigrafica editrice.
- Bombelli, R., 1572, *L'algebra parte maggiore dell'aritmetica diuisa in tre libri di Rafael Bombelli da Bologna*, Bologna, nella stamperia di Giouanni Rossi.

- Boncompagni, B., 1879, *Intorno alle vite inedite di tre matematici (Giovanni Danck di Sassonia, Giovanni de Lineriis e fra Luca Pacioli da Borgo San Sepolcro) scritte da Bernardino Baldi*, in «Bulettno di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche», XII, 1879, pp. 420-427.
- Bonera, G. e Giudici, F., 1996, *Le teorie di Galileo sul galleggiamento*, in P. Turci (a cura di), *Atti del XVI Congresso nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Como, 24-25 maggio 1996, Centro Volta, Villa Olmo: <http://www.sisfa.org/pubblicazioni/atti-del-xvi-convegno-sisfa-como-1996/>.
- Bonita, C. (a cura di), 2013, *Barocchi in bottega*, Urbino, Giornata di studi, 26 ottobre 2012, Foligno, Editoriale umbra.
- Bordiga, G., 1985, *Giovanni Battista Benedetti: filosofo e matematico veneziano del secolo XVI*, ristampa dagli Atti dell'Istituto veneto di scienze, lettere ed arti, Tomo LXXXV.
- Borgato, M. T., 1981, *Alcune note storiche sugli «Elementi» di Euclide nell'insegnamento della matematica in Italia*, estratto da «Archimede», fasc. 4, pp. 185-193.
- Borgognoni, R., 2012, *Sulle tracce della Historia universalis geographica di Bernardino Baldi*, in «Deputazione di storia patria per le Marche», pp. 55-76.
- Boyer, C. B. 1968, *A History of Mathematics*, New York, Wiley, (*Storia della matematica*, Carugo, A. (trad. it.), Milano, ISEDI, 1976).
- Braccesi, A., 1992, *Partendo dall'acclive e dal declive: una possibile ricostruzione del progresso di Galileo attraverso la scienza del moto*, in *Galileo Galilei e gli atti del ducato di Urbino. Atti del convegno, Pesaro, 14 ottobre 1989*, pp. 21-27.
- Brizzi, G. P., 2001, *Università e collegi marchigiani in età moderna*, in *Scienziati e tecnologi marchigiani nel tempo. Convegno sotrico-scientifico*, Quaderni del Consiglio Regionale delle Marche.
- Brunelli, G., 2002, *Grimani, Marino*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 59, Treccani.
- Bruno, G., 1586, *Dialogi duo de Fabricii Mordentis Salernitani prope divina adinventionem ad perfectam cosmimetriae praxim*, Parisiis, ex Typographia Petri Cheuillot.
- Bucciantini, M., 2007, *Galileo e Keplero. Filosofia, cosmologia e teologia nell'età della Controriforma*, Torino, Einaudi.
- Burckhardt, J., 1927, *La civiltà del Rinascimento in Italia*, Valbusa, D. (trad. it.), Firenze, Sansoni.
- Burioni, M., 2009, *Il giardino prospettico di Villa Garzoni a Collodi. Un inedito di Muzio Oddi*, in Sinisgalli, R. (a cura di), *L'arte della matematica nella prospettiva. Atti del Convegno internazionale di studi. Istituto svizzero di Roma, Centro internazionale di studi Urbino e la prospettiva, Roma-Urbino, 8-11 ottobre 2006*, Foligno, Cartei & Bianchi, pp. 193-197.
- Burns, H., 1974, *Progetti di F. di G. per i conventi di S. Bernardino e S. Chiara di Urbino*, in *Studi Bramanteschi. Atti del Congresso internazionale (1970)*, Roma, pp. 293-311.
- Byrne, J. S., 2006, *A Humanist History of Mathematics? Regiomontanus's Padua Oration in Context*, in «Journal of the History of Ideas», Vol. 67, University of Pennsylvania Press, pp. 41-61.

- Calcagnini, C., 1525, *Quod caelum stet, terra moveatur vel de perenni motu terrae*, in Calcagnini, C., 1544, *Caelii Calcagnini Ferrariensis, ... Catalogum operum post praefationem inuenies, & in calce elenchum...*, Basileae, per Hier. Frobenium et Nic. Episcopium, mense martio, pp. 388-395.
- Camerota, F., 2000, *Il compasso di Fabrizio Mordente. Per la storia del compasso di proporzione*, Firenze, L. S. Olschki.
- Camerota, F., 2003, *Two New Attributions: A Refractive Dial of Guidobaldo Del Monte and the Roverino Compass of Fabrizio Mordente*, in «Nuncius», 18(1), pp. 25-38.
- Camerota, F., 2004, *Il compasso geometrico e militare di Galileo Galilei*, Firenze, Istituto e Museo di storia della scienza.
- Camerota, F., 2006, *La prospettiva del Rinascimento: arte, architettura, scienza*, Milano, Electa.
- Camerota, F., 2009, *Arte e scienza. Da Leonardo a Galileo*, Firenze-Milano, Giunti.
- Camerota, F., 2012, *Mordente Fabrizio*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 76, Treccani.
- Camerota, M., 1992, *Gli scritti De motu antiquiora di Galileo Galilei. Il Ms. Gal 71. Un'analisi storico-critica*, Cagliari, CUEC.
- Camerota, M., 2004, *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della controriforma*, Roma, Salerno Editrice.
- Camerota, M., 2008, *I nomi e le cose. Galileo Galilei e la nascita della nuova scienza*, in *Il Rinascimento italiano e l'Europa, Volume V, Le scienze*, Fondazione Cassamarca, Vicenza, Angelo Colla Editore, pp. 659-683.
- Camerota, M., 2010, *La biblioteca di Galileo: alcune integrazioni e aggiunte desunte dal carteggio*, in «Biblioteche filosofiche private in età moderna e contemporanea», Firenze, Le Lettere, pp. 81-95.
- Camerota, M., 2013, *La meccanica*, in «Il Contributo italiano alla storia del Pensiero – Scienze», Treccani.
- Camerota, M., 2014, *Due inedite questioni meccaniche di Giovanni di Guevara*, in «Galilaeana», XI.
- Camerota, M., Helbing, M. O, 2000, *All'alba della scienza galileiana. Michel Varro e il suo De motu tractatus. Un importante capitolo nella storia della meccanica di fine Cinquecento*, Cagliari, CUEC.
- Campano, 1482, *Preclarissimus liber elementorum Euclidis perspicacissimi: in artem geometrie incipit qua[m] foelicissime*, Venetiis, Erhardus Ratdolt.
- Capecchi, D., 2003, *Storia della scienza delle costruzioni*, Bari, Progedit.
- Capecchi, D., 2012, *History of Virtual Work Laws. A History of Mechanics Prospective*, Milano, Springer.
- Capecchi, D., 2014, *The problem of the motion of bodies. A historical view of the development of classical mechanics*, Switzerland, Springer.

- Capecchi, D., 2017, *Experiments, Mathematics and Principles of Natural Philosophy in the Epistemology of Giovanni Battista Baliani*, «Advances in Historical Studies», 6(2), June 2017, pp. 78-94.
- Cappelli, A., 1906, *Cronologia, cronografia e calendario perpetuo*, Milano Hoepli.
- Cardano, G., 1545, *Hieronymi Cardani ... Artis magnae, sive de regulis algebraicis, liber unus: qui & totius operis de arithmetica, quod opus perfectum inscripsit, est in ordine decimus*, Norimbergae, per Joh. Petreium excusum.
- Cardano, G., 1570, *Opus novum de proportionibus numerorum, motuum, ponderum, sonorum...*, Basileae.
- Cardano, G., 2004, *De subtilitate*, Nenci, E. (a cura di), Milano, FrancoAngeli.
- Carlos Solis J. M. (a cura di), 2001, *Largo campo di filosofare. Eurosymposium Galileo 2001*, La Orotava, Fundacion canaria orotava de historia de la ciencia.
- Carnap, R., 1969, *Philosophical Foundations of Physics. An Introduction to the Philosophy of Science*, M. Gardiner (a cura di), New York, Basic Books.
- Caro, A., 1572, *Rime del commendatore Annibal Caro*, Burleschi, III, Venetia, Aldo Manutio.
- Carugo, A., 1991, *Nota sulle fonti letterarie di Agostino Ramelli*, in: Ramelli, A., 1991, *Le diverse et artificiose machine*, Scaglia, G., Carugo, A. e Ferguson, E. S. (a cura di), Milano, Il polifilo, pp. XXXV-XLI.
- Carugo, A., 2005, *Il paradosso della ruota di Aristotele discusso da Baldi, Mersenne e Galileo*, in Nenci, E. (a cura di), *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli, pp. 317-338.
- Castagné, N., 2012, *Les mots des sciences. La prose scientifique en langue vulgaire dans l'Italie du XVIe siècle*, Université Paris 8 e Università degli Studi di Torino.
- Castagne, N., 2015, *Galileo inventore della prosa scientifica italiana?*, in Fournel, J.-L., Gorris Camos, R., Mattioda, E. (a cura di), *Ai confini della letteratura, atti della giornata in onore di Mario Pozzi (Morgex, 4 maggio 2012)*, Nino Aragno.
- Castagné, N. e Frank, M., 2013, *Definizione dell'italiano scientifico nel tardo Cinquecento: la traduzione del Mechanicorum Liber di Guidobaldo dal Monte*, in «Laboratoire italien» [En ligne], 13, 2013, pp. 279-308.
- Castellani, 1896-97, *Il prestito dei Codici Manoscritti della Biblioteca di San Marco in Venezia ne' suoi primi tempi e le conseguenti perdite de' codici stessi*, Atti del reale istituto Veneto di scienze, lettere ed arti, 55, pp. 311-377.
- Castiglione, B., 1528, *Libro del Cortegiano*, Vinegia, appresso Gabriel Giolito de Ferrari.
- Castronovo, V., 1977, *Carlo Emanuele I, duca di Savoia*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 20, Treccani.

- Cavalieri, B., 1653, *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota*, Bononiae, ex typographia de Ducijs.
- Caverni, R., 1891-1900, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, Firenze, Civelli.
- Cerboni Baiardi, A., 2013, *Barocchi e barocceschi nei disegni della Collezione Antaldi: fogli conosciuti, inediti, precisazioni. Rileggendo Olsen*, in Bonita Cleri (a cura di), *Barocchi in bottega, Acta of the Symposium (Urbino, 2012)*, Foligno, Editoriale umbra, pp. 113–149.
- Cerboni Baiardi, G. (a cura di), 2006, *Seminario di studi su Bernardino Baldi urbinato (1553-1617)*, Urbino, Accademia Raffaello.
- Ceredi, G., 1567, *Tre discorsi sopra il modo d'alzar acque da' luoghi bassi*, Parma, appresso Seth Viotti.
- Ceriana, M., 2004, *Ambrogio Barocchi e la decorazione del Palazzo Ducale di Urbino*, in Fiore, F. P. (a cura di), *Francesco di Giorgio alla corte di Federico da Montefeltro: atti del Convegno internazionale di studi: Urbino, Monastero di Santa Chiara, 11-13 ottobre 2001*, Firenze, Leo S. Olschki.
- Chang, H., 2004, *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress*, New York, Oxford University Press.
- Chastel, A., 1978, *I centri del Rinascimento: arte italiana 1460-1500*, Veronesi, G. (trad. it.), Milano, Feltrinelli (*Renaissance méridionale, 1460-1500*, Gallimard, 1965).
- Ciardi, M., 2014, *Galileo e Harry Potter: la magia può aiutare la scienza?*, Roma, Carocci.
- Ciardi Duprè Dal Poggetto, M. G. e Dal Poggetto, P., 1983, *Urbino e le Marche prima e dopo Raffaello*, Firenze, Salani.
- Ciocci, A., 2003, *Luca Pacioli e la matematizzazione del sapere nel Rinascimento*, Bari, Cacucci.
- Ciocci, A., 2015, *Luca Pacioli e l'Archimede Latino*, in «Bollettino di Storia e delle Scienze Matematiche», Anno XXXV, Numero 2, dicembre 2015, Pisa-Roma, Fabrizio Serra Editore.
- Ciocci, A., 2017, *Ritratto di Luca Pacioli*, Firenze, Regione Toscana, Consiglio regionale.
- Ciocci, A., 2018, *I manoscritti urbinati di Federico Commandino: una ricognizione delle buste 120 e 121 della Biblioteca Universitaria di Urbino*, in «Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche», XXXVIII, 2, 2018.
- Ciocci, A., 2018, *Le proporzioni e il moto dei corpi: l'eco della scuola francescana di Oxford in tre problemi di cinematica della Summa di Pacioli*, in «Physis», 2018/1-2, a. 53 pp. 37-58.
- Claessens, G.A.J., 2015, *The Drawing Board of Imagination: Federico Commandino and John Philoponus*, in «Journal of the History of Ideas», Volume 76, Number 4, October 2015, pp. 499-515.
- Clagett, M., 1953, *The Medieval Latin Translations From the Arabic of the Elements of Euclid, With Special Emphasis on the Versions of Adelard of Bath*, in «ISIS», XLIV (1953), pp. 16-42.
- Clagett, M., 1964-84, *Archimedes in the Middle Ages*, Madison, University of Wisconsin Press.

- Clagett, M., 1972, *La scienza della meccanica nel Medioevo*, Sosia, L. (trad. it.), Milano, Feltrinelli (*The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison, University of Wisconsin Press, 1959).
- Clagett, M., 1974, *The works of Francesco Maurolico*, in «Physis», XVI, pp. 148-198.
- Clavio, C., 1574, *Euclidis Elementorum Libri XV*, Romae, apud Vincentium Accoltum.
- Clavio, C., 1581, *Gnomonices libri octo. In quibus non solum horologiorum solariu[m], sed aliarum quo[quam] rerum, quae ex gnomonis umbra cognosci possunt, descriptiones geometricè demonstrantur*, Romae, apud Franciscum Zanettum.
- Clavio, C., 1992, *Corrispondenza di Cristoph Clavius*, Baldini, U. e Napolitani, P.D. (a cura di), Voll. 7, Pisa, Edizioni del Dipartimento di Matematica dell'Università di Pisa.
- Clucas, S. (a cura di), 2006, *John Dee: Interdisciplinary Studies in English Renaissance Thought*, Netherlands, Springer.
- Commandino, F., 1558a, *Archimedis opera non nulla a Federico Commandino Urbinate nuper in latinum conversa et commentariis illustrata*, Venetiis, apud Paulum Manutium, Aldi F.
- Commandino, F., 1558b, *Ptolemaei Planisphaerium. Iordani Planisphaerium. Federici Commandini Vrbinate in Ptolemaei Planisphaerium commentarius. In quo uniuersa scenographices ratio quam breuissime traditur, ac demonstrationibus confirmatur*, Venetiis, Paolo Manuzio.
- Commandino, F., 1562, *Clavdii Ptolemaei Liber de analemmate: a Federico Commandino Urbinate instauratus, & commentariis illustratus, qui nunc primum eius opera e tenebris in lucem prodit. Eiusdem Federici Commandini liber de Horologiorum descriptione*, Romae, Apud Paulum Manutius Aldi F.
- Commandino, F., 1565a, *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo. A Federico Commandino Urbinate in pristinum nitorem restituti, et commentariis illustrati*, Bononiae, ex officina Alexandri Benacii.
- Commandino, F., 1565b, *Federici Commandini Vrbinate Liber de centro gravitatis solidorum*, Bononiae, ex officina Alexandri Benacii.
- Commandino, F., 1566, *Apollonii Pergaei Conicorum libri quattuor. Una cum Pappi Alexandrini Lemmatibus, et commentariis Eutocii Ascalonitae. Sereni Antinsensis philosophi Libri duo nunc primum in lucem editi. Quae omnia nuper Federicus Commandinus Urbinas mendis quamplurimis expurgata è Graeco convertit, & commentariis illustravit. Sereni Antinsensis libri duo*, Bononiae, ex officina Alexandri Benacii.
- Commandino, F., 1570a, *De superficierum diuisionibus liber Machometo Bagdedino ascriptus... Nunc primum Ioannis Dee Londinensis, & Federici Commandini Vrbinate opera in lucem editus. Federici Commandini De eadem re libellus*, Pisauri, apud Hieronymum Concordiam.
- Commandino, F. 1570b, *Libro Del Modo Di Dividere Le Superficie Attribuito A Machometo Bagdedino; Mandato in luce la prima volta da Giovanni Dee da Londra e da Federico Commandino da Urbino; Con un breve trattato intorno alla stessa materia del medesimo Federico; Tradotti di latino in volgare da Fulvio Viani de Malatesti ... e novamente dati in luce*, Pesaro, Girolamo Concordia.

- Commandino, 1572a, *Aristarchi De Magnitudinibus, et Distantiis Solis, et Lunae, Liber, cum Pappi Alexandrini explicationibus quibusdam. A' Federico Commandino Urbinate in latinum conversus, ac commentarijs illustratus*, Pisauri, apud Camillum Francischinum.
- Commandino, F., 1572b, *Euclidis Elementorum libri XV. Unà cum Scholijs antiquis. A' Federico Commandino Vrbinate nuper in latinum conversi, commentarijsque quibusdam illustrati*, Pisauri, Iacobus Chriegher German, apud Camillum Franceschinum.
- Commandino, F., 1575a, *De gli elementi d'Euclide libri quindici. Con gli scholii antichi. Tradotti prima in lingua latina da M. Federico Commandino da Vrbino, & con commentarij illustrati, et hora d'ordine dell'istesso trasportati nella nostra vulgare, & da lui riueduti*, Urbino, in casa di Federico Commandino, appresso Domenico Frisolino.
- Commandino, F., 1575b, *Heronis Alexandrini Spiritalium liber. A Federico Commandino Vrbinate, ex Graeco, nuper in Latinum conuersus*, Urbini.
- Commandino, F., 1588, *Pappi Alexandrini Mathematicae collectiones à Federico Commandino Vrbinate in latinum conversae, et commentariis illustratae*, Pisauri, apud Hieronymum Concordiam.
- Commandino, F., 2009, *De gli Elementi di Euclide*, edizione anastatica, 1575, Urbino,
- Commandino, F., 2015, *Liber de centro gravitatis solidorum*, Gamba E. e Montebelli V. (a cura di), Pisa, Edizioni della Normale.
- Conti, L. (a cura di), 1992, *La matematizzazione dell'universo. Momenti della cultura matematica tra '500 e '600*, Santa Maria degli Angeli, Assisi, Porziuncola.
- Copernico, N., 1543, *De revolutionibus orbium coelestium*, apud Ioh. Petreium.
- Coyne, G. V., Hoskin, M. A. e O. Pedersen, 1983, *Gregorian Reform of the Calendar: Proceedings of the Vatican Conference to Commemorate Its 400th Anniversary, 1582-1982*, Città del Vaticano, Specola Vaticana.
- Cozzandi Brixiani, L., 1740, *De Plagiariis Liber Singularis*, in *Miscellanea di varie operette all'illustriss. sig. abate d. Jacopo Facciolati publico professore nella Università di Padova*, Tomo primo, Venezia, appresso Gio. Maria Lazzaroni, 1740-1744.
- Crescimbeni, G. M., 2011, *La vita di Bernardino Baldi, Abate di Guestalla*, Filograsso, I. (a cura di), Urbino, QuattroVenti.
- Crombie, A. C., 1964, *Augustine to Galileo*, London, Mercury books.
- Crosland, M. (a cura di), 1975, *The Emergence of science in Western Europe*, London, Basingstoke, Macmillan.
- Cuomo, S., 1997, *Shooting by the Book: Notes on Niccolò Tartaglia's Nova Scientia*, in «History of Science», 35(2), pp. 155-188
- D'Alessandro, P., 2014, *Francesco Maurolico e il latino*, in Fera, V., Gionta, D. e Rollo, A. (a cura di), *Archimede e le sue fortune, atti del Convegno di Siracusa-Messina, 24-26 giugno 2008*, Messina, Centro internazionale di studi umanistici, pp. 655-670.

- D'Alessandro, P., 2015, *Perotti, Niccolò*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 82, Treccani.
- D'Alessandro, P. e Napolitani, P. D., 2012, *Archimede Latino: Iacopo da San Cassiano e il "Corpus" Archimedeo alla metà del Quattrocento, con edizione della "Circuli dimensio" e della "Quadratura parabolae"*, Paris, Les Belles Lettres, 2012.
- D'Agostino, S., 1983, *Strumenti scientifici e teorie fisiche: considerazioni storico-critiche sulla storia della strumentazione scientifica*, in Tarozzi, G. (a cura di), *Gli strumenti nella storia della e nella filosofia della scienza*, Istituto per i beni artistici culturali naturali della Regione Emilia-Romagna, Bologna, Edizioni ALFA, pp. 171-182.
- D'Amico, S., 2012, *La rappresentazione dell'architettura militare nei trattati cinquecenteschi*, Tesi di Dottorato, Supervisor: Bini, M. e Luschi, C. M. R, Università degli Studi di Firenze.
- Dal Poggetto, P., 1982a, *Dux ex machina*, in «Notizie da Palazzo Albani», pp. 59-63.
- Dal Poggetto, P., 1982b, *La Biblioteca del Duca Federico (sunto)*, in «Notizie da Palazzo Albani», pp. 32-35.
- Damerow, P., Freudenthal, G., McLaughlin, P., Renn, J., 1992, *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics. A Study of Conceptual Development in Early Modern Science: Free Fall and Compounded Motion in the Work of Descartes, Galileo and Beeckman*, New York, Springer.
- Danesi, L., 1649, *Della scienza mecanica, e delle vtilità, che si traggono da gl'istromenti di quella. Opera cauata da manoscritti dell'eccellentissimo matematico Galileo Galilei, dal cauallier Luca Danesi da Rauenna. All'illustrissimo sig. patrone colendissimo F. Valerio Spreti commendatore gerosolimitano*, Ravenna, appresso gli Stamp. Camerali.
- Davico, M. V. e Lusso, E., 2013, *L'ingegneria delle difese militari*, in «Il contributo italiano alla storia del Pensiero – Tecnica», Treccani.
- Daumas, M., 1953, *Les instruments scientifiques aux XVII et XVIII Siècles*, Paris, Presses Universitaires de France.
- De Ferrari, A., 1981, *Cibo Gherardo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 25, Treccani.
- De Guevara, G., 1627, *In Aristotelis mechanicas commentarij: vna cum additionibus quibusdam ad eandem materiam pertinentibus*, Romae, apud Iacobum Mascardum.
- De La Sizeranne, R., 1979, *Federico da Montefeltro. Capitano, principe, mecenate (1422-1482)*, Zeppieri C. (a cura di), Urbino, Argalia.
- De Montfaucon, B., 1739, *Bibliotheca Bibliothecarium Manuscriptorum Nova*, Tomo II, Parisiis, apud Briasson.
- De Nolhac, P., 1887, *La bibliotheque de Fulvio Orsini. Contributions a l'histoire des collections d'Italie et a l'etude de la Renaissance*, Paris, F. Vieweg, Libraire-Éditeur E. Bouillon & E. Vieweg.
- De Pace, A., 1993, *Le matematiche e il mondo. Ricerche su un dibattito in Italia nella seconda metà del Cinquecento*, Milano, FrancoAngeli.

- De Risi, V., 2016, *The development of Euclidean axiomatics*, in «Archive for history of exact sciences», Vol. 70 (2016), p. 591-676.
- Dee, J., 1570, *The Elements of Geometrie of the most auncient Philosopher Euclide of Megara*, Billingsley, H. (a cura di), London, stampato da John Daye.
- Degli Abati-Olivieri Giordani, A., 1774, *Memorie del porto di Pesaro raccolte da Annibale degli Abati-Olivieri Giordani*, Pesaro, in casa Gavelli.
- Del Centina, A., 2016, *On Kepler's system of conics in Astronomiae pars optica*, in «Archive for history of exact sciences», 70, 567–589.
- Del Monte, G., 1577, *Mechanicorum Liber*, Pisauri, Hieronymum Concordiam.
- Del Monte, G., 1579, *Planisphaeriorum universalium theorica*, Pisauri, Hieronymum Concordiam.
- Del Monte, G., 1580, *De ecclesiastici calendarii restitutione*, Pisauri, Hieronymum Concordiam.
- Del Monte, G., 1581, *Le mecaniche dell'illustriss. sig. Guido Vbaldo de' marchesi Del Monte: tradotte in volgare dal sig. Filippo Pigafetta nelle quali si contiene la vera dottrina di tutti gli istrumenti principali da mouer pesi grandissimi con picciola forza*, Venetia, appresso Francesco di Franceschi senese.
- Del Monte, G., 1588, *Guidiubaldi è marchionibus Montis In duos Archimedis aequponderantium libros paraphrasis scholijs illustrata*, Pisauri, apud Hieronymum Concordiam.
- Del Monte, G., 1600, *Perspectivae libri sex*, Pisauri, Hieronymum Concordiam.
- Del Monte, G., 1609, *Problematum astronomicorum libri septem*, Venetiis, Bernardum Iuntam, Io. Baptistam Ciottum, et socios.
- Del Monte, G., 1615, *De cochlea*, Venetiis, Evangelistam Deuchinum.
- Della Rovere, F. M., 1583, *Discorsi militari dell'eccellentiss. sig. Francesco Maria I. Dalla Rouere duca d'Urbino. Nei quali si discorrono molti auantaggi, & disuantaggi, della guerra, vtilissimi ad ogni soldato*, Ferrara, per Dominico Mammarelli.
- Dennistoun, J., 1851, *Memoirs of the Dukes of Urbino, Illustrating the Arms, Arts, and Literature of Italy, from 1440 to 1630*, London, Longman, Brown, Grenne, and Longmans.
- Devreesse, R., 1965, *Le fonds grec de la Bibliothèque Vaticane des origines à Paul V*, Città del Vaticano, Biblioteca apostolica vaticana.
- Devreesse, R., 1968, *Les Manuscrits de Cervini*, Scriptorium, 22, 1968, pp. 250-270.
- Di Bono, M., 1987, *L'astronomia copernicana nell'opera di Giovan Battista Benedetti*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento, Atti del Convegno Internazionale di studio Giovanni Battista Benedetti e il suo tempo Venezia*, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, pp. 283-300.
- Di Pasquale, G. 1998, *La stadera: un problema di filologia, storia ed archeologia*, in «Nuncius», volume 23, fasc 2, pp. 657-666.

- Di Pasquale, G., 2004, *Tecnologia e meccanica. Trasmissione dei saperi tecnici dall'età ellenistica al mondo romano*, Firenze, L. S. Olschki.
- Di Teodoro, F. P., 2002, *Vitruvio, Piero della Francesca, Raffaello: note sulla teoria del disegno di architettura nel Rinascimento*, in «Annali di architettura», 14, 2002, pp. 35-54.
- Di Teodoro, F. P., 2009, *Per l'edizione del Vitruvio di Fabio Calvo per Raffaello*, in Di Teodoro, F. P. (a cura di), *Saggi di letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, I, Firenze, L. S. Olschki, pp. 191-206.
- Diamanti, I. (a cura di), 2006, *Giornata di studio su Federico Bonaventura tra politica e scienza*, Urbino, Accademia Raffaello.
- Dijksterhuis, E. J., 1961, *The mechanization of the world picture*, Dikshoorn, C. (trad. di), Oxford, Clarendon press (*Il meccanicismo e l'immagine del mondo dai presocratici a Newton*, Carugo, A. (trad. it.), Milano, Feltrinelli, 1971).
- Dijksterhuis, E.J., 1987, *Archimedes*, Dikshoorn, C. (trad. di), Princeton, Princeton University Press.
- Domenichini, R., 1994, *Note sulla presenza della Compagnia di Gesù in alcune località della Marca. I: La fondazione dei collegi*, in «Deputazione di storia patria per le Marche. Atti e memorie», 99 (1994), pp. 111-190.
- Dominique, R., 2016, *Studies on Binocular Vision Optics, Vision and Perspective from the Thirteenth to the Seventeenth Centuries*, Switzerland, Springer.
- Donna, D., 2008, *Induzione, enumerazione e modelli della spiegazione scientifica. Il metodo di Descartes dagli studi di ottica alla fisica della luce (1618-1637)*, Tesi di Dottorato, Supercisore: M. Spallanzani, Università di Bologna.
- Dorez, M. L., 1891, *Recherches at documents sur la Bibliotheque du Cardinal Sirleto*, in «Melanges d'Archeologie et d'Histoire», 11, pp. 457-491.
- Drake, S., 1978, *Galileo at work. His scientific biography*, Chicago-London, University of Chicago Press.
- Drake, S. e Drabkin, I. E. (a cura di), 1969, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy. Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo, & Galileo*, Madison, Milwaukee, & London, University of Wisconsin Press.
- Dreyer, J. L. E., 1977, *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*, Sosio, L. (a cura di), Milano, Feltrinelli.
- Duffy, M. C., 2002, *Engineering and Engineers: Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 20-26 July 1997)*, Vol. XVII, Turnhout, Brepols Publishers.
- Dugas, R., 1988, *A history of mechanics*, Maddox, J. R. (trad. di), New York, Dover.
- Duhem, P., 1905, *Les origines de la statique*, Paris, Hermann (Duhem, P., 1991, *The origins of statics. The sources of physical theory*, Leneaux, G. F., Vagliente, V. N., Wagener, G. H. (trad. di), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers).
- Duhem, P., 1913, *Etudes sur Leonard de Vinci*, Paris, Hermann.

- Eiche, S., 1996, *Muzio Oddi*, in Turner, J. (a cura di), *The dictionary of art*, New York, Grove an imprint of Oxford University press.
- Eiche, S., 2005, *Muzio Oddi architetto del duca di Urbino*, in Oddi, Mu., 2005, *I gheribizzi di Muzio Oddi*, Eiche, S. (a cura di), Urbino, Accademia Raffaello, pp. 5-13.
- Emmer, M., 2018, *Il Mazzocchio da Paolo Uccello a Lucio Saffaro*, in Emmer, M. (a cura di), «Matematica e cultura», Milano, Springer, pp. 111-126.
- Enriques, F., 1930, *Gli Elementi di Euclide e la critica antica e moderna. Libri V-IX*, Zanichelli, Bologna.
- Erone, 1894, *Les mécaniques, ou L'élévateur de Hèron d'Alexandrie publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostà ibn Lûqâ et traduites en français par M. le baron Carra de Vaux*, De Vaux, C. (a cura di), Paris, Imprimerie Nationale.
- Euclide, 1533, *Euclides, Elementa geometriae*, Simon Grynaeus, apud Ioan. Heruagium, Basileae.
- Euclide, 1883-1888, *Euclidis Opera omnia*, Heiberg, L, Lipsiae, in aedibus B. G. Teubneri.
- Euclide, 1925-1936, *Gli elementi d'Euclide e la critica antica e moderna*, Enriques, F. (a cura di), Bologna, Zanichelli.
- Euclide, 1970, *Gli Elementi di Euclide*, Frajese, A. e Maccioni, L. (a cura di), Torino, UTET,
- Euclide, 2014, *Tutte le opere*, Acerbi, F. (a cura di), Milano, Bompiani.
- Falcioni, A., 2014, *Guidubaldo da Montefeltro*, in *Enciclopedia machiavelliana*, Treccani.
- Fano, V. e Pietrini, D., 2019, *The rigor of the ancients and the opportunism of the moderns: the case of the lever*, in «Physis», 2019/1-2, a. 54, pp. 37-60.
- Fano, V. e Pietrini, D., in corso di pubblicazione, *La scuola commandiniana nell'epistemologia galileiana. Coincidenze storiche per un nuovo modo di intendere la metodologia di Galileo*.
- Farago, C., 2018a, *Introduction: Defining a Historical Approach to Leonardo's Trattato della pittura*, in Farago, C., Bell, J., e Vecce, C., 2018, *The fabrication of Leonardo da Vinci's Trattato sulla pittura. With a scholarly edition princeps (1651) and an annotated English translation*, Leiden, Brill, pp. 1-72.
- Farago, C., 2018b, *On the Origins of the Trattato and the Earliest Reception of the Libro di pittura*, Farago, C., Bell, J., e Vecce, C., 2018, *The fabrication of Leonardo da Vinci's Trattato sulla pittura. With a scholarly edition princeps (1651) and an annotated English translation*, Leiden, Brill, pp. 213-237.
- Farago, C., Bell, J., e Vecce, C. (a cura di), 2018, *The fabrication of Leonardo da Vinci's Trattato sulla pittura. With a scholarly edition princeps (1651) and an annotated English translation*, Leiden, Brill.
- Favaro, A., 1876, *Intorno ad un recente lavoro del Dr Cantor sugli Agrimensori romani*, «Bulettno di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche», IX, 1876.

- Favaro, A., 1886a, *Carteggio inedito di Ticone Brahe, Giovanni Keplero e di altri celebri astronomi e matematici dei secoli 16. e 17. con Giovanni Antonio Magini, tratto dall'archivio Malvezzi de'Medici in Bologna*, Bologna, Tip. Di Nicola Zanichelli.
- Favaro, A., 1886b, *La libreria di Galileo Galilei*, in «Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche», XIX, 1886, pp. 219-293.
- Favaro, A., 1894-1917, *Amici e corrispondenti di Galileo*, Voll. 3, Firenze, Libr. editrice Salimbeni.
- Favaro, A., 1899-1900, *Due lettere inedite di Guidobaldo del Monte a Giacomo Contarini*, in «Atti del Reale Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti», LIX 2 (1899-1900), pp. 307-310.
- Favaro, A., 1907-1908, *Per la Storia del Compasso di Proporzione*, in «Atti del R. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti», Vol. LXVII, pp. 723-739.
- Favaro, A., 1913–1914, *Serie ventesimaterza di Scampoli galileiani CXL VI. Galileo e Guidobaldo del Monte*, in «Atti e Memorie della Reale Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», 30, pp. 54–61.
- Fera, V., Gionta, D. e Rollo, A. (a cura di), 2014, *Archimede e le sue fortune, Atti del Convegno di Siracusa-Messina, 24-26 giugno 2008*, Messina, Centro Internazionale di Studi Umanistici, 2014.
- Ferraro, G., 2008, *Bernardino Baldi e il recupero del pensiero tecnico-scientifico dell'antichità*, Alessandria, Edizioni dell'Orso.
- Finocchiaro, M. A., 1974, *Galileo as a logician*, in «Physis», XVI, pp. 129-148.
- Finocchiaro, M. A., 1980, *Galileo and the art of reasoning. Rhetorical foundations of logic and scientific method*, Dordrecht, Springer.
- Fiocca, A., 1998, *Giambattista Aleotti e la <scienza et arte delle acque>*, in Fiocca, A. (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Olschki.
- Foligno, A., 2016/2017, *The Point Mass as a Model for Epistemic Representation. A Historical & Epistemological Approach*, Tesi di dottorato, Supervisore: V. Fano, Università di Urbino.
- Foligno, A. e Graziani, P., 2015, *Ipotesi sui punti materiali*, in De Felice, F. e Graziani, P. (a cura di), «Scienze e Filosofia nel Rinascimento», Numero speciale della rivista "Itinerari", novembre 2015.
- Foligno, A. e Pietrini, D., in corso di pubblicazione, *Ancient Mathematics, Technical Abilities and the Emergence of Technological Approach. The Mechanicorum Liber by Guidobaldo del Monte and the Parere intorno al porto di Pesaro by Bernardino Baldi*.
- Folkerts, M., 1989. *Euclid in medieval Europe*, Winnipeg, Man., Canada, Dunellen, U.S.A., The Benjamin catalogue.
- Fontana, D., 1590, *Della transportation dell'obelisco vaticano et delle fabbriche di nostro signore papa Sisto V*, Roma, appresso Domenico Basa.
- Forster, E. S., 1913, *Mechanica*, in W. D. Ross, ed., *The works of Aristotle translated into English*, vol. VI *Opuscula*, Oxford, at the Clarendon Press.

- Frajese, A., 1963, *Platone e la matematica nel mondo antico*, Roma, Studium.
- Frajese, A., 1964, *Galileo matematico*, Roma, Studium.
- Frajese, A., 1965, *Introduzione alla matematica*, Torino, Eri Edizioni.
- Frajese, A., 1969, *Attraverso la storia della matematica*, Firenze, Le Monnier.
- Frajese, A., 1974, *Opere di Archimede*, Torino, UTET.
- Frank, M., 2011, *Guidobaldo dal Monte's Mechanics in Context. A Research on the Connections between his Mechanical Work and his Biography and Environment*, Tesi di dottorato, Supervisor Napolitani, P.D. (Università di Pisa), Maccagni, C. (Università di Genova), Renn, J. (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin).
- Frank, M., 2013a, *A proposal for a new dating of Guidobaldo dal Monte's Meditatuunculae*, in «Bollettino di storia delle scienze matematiche», XXXIII, 2, 2013, Pisa, Fabrizio Serra.
- Frank, M., 2013b, *Mathematics, technics, and courtly life in Late Renaissance Urbino*, in «Archive for History of Exact Sciences», (2013) 67, Springer, pp. 305–330.
- Frank, M., 2014a, *Dating Federico Commandino's teaching activity in Urbino*, in «Galilaeana», A. 11, pp. 105-119.
- Frank, M., 2014b, *Mechanics, Mathematics and Architecture: Guidobaldo dal Monte at Urbino and Giovanni Battista Benedetti at Turin*, in Katsiampoura, G. (a cura di), *Scientific cosmopolitanism and local cultures: religions, ideologies, societies, Proceedings of the 5th International Conference of the European Society for History of Science*, National Hellenic Research Foundation/Institute of Historical Research, pp. 284-290.
- Frank, M., 2015a, *Scienza e tecnica alla corte sabauda nel tardo Rinascimento*, Torino, Centro studi piemontesi.
- Frank, M., 2015b, *The Curious Case of QP.6: The Reception of Archimedes' Mechanics by Federico Commandino and Guidobaldo dal Monte*, in «Revue d'histoire des sciences», Tome 68-2, juillet-décembre, 2015, pp. 419-446.
- Frank, M. e Montinaro, G., 2012, *Ludovico Agostini. Lettere inedite*, in «Bruniana & Campanelliana», 18(1), 243-251.
- Frank, M. e Napolitani, P.D., 2015, *Il giovane Galileo e Guidobaldo dal Monte: discepolo e maestro?*, in P. Caye, R. Nanni Romani e P. D. Napolitani (a cura di), *Scienze e rappresentazioni: saggi in onore di Pierre Souffrin. Atti del convegno internazionale, Vinci, Biblioteca Leonardiana, 26-29 settembre 2012*, Firenze, L.S. Olschki.
- Francesco di Giorgio Martini, 1841, *Trattato di architettura civile e militare. Con dissertazione e note per servire alla storia militare italiana*, Cesare Saluzzo, Torino, Tipografia Chirio e Mina.
- Frommel, C. L., Ray, S. e Tafuri, M., 2002, *Raffaello architetto*, Milano, Electa.
- Frosini, F., 2011, *Il concetto di forza in Leonardo da Vinci*, in Bernardoni, G. Fornari (a cura di), *Il Codice Arundel di Leonardo: ricerche e prospettive*, CB Edizioni, Poggio a Caiano, pp. 115-128.

- Fuligatti, G., 1617, *De gli horiuoli a sole del P. Giulio Fuligatti*, Ferrara, presso Vittorio Baldini.
- Galilei, G., 1632, *Dialogo di Galileo Galilei Linceo matematico sopraordinario dello Studio di Pisa. ... Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico, e copernicano; proponendo indeterminatamente le ragioni filosofiche, e naturali tanto per l'vna, quanto per l'altra parte*, Fiorenza, per Gio. Batista Landini.
- Galilei, G., 1638, *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuoue scienze, Attenenti alla Meccanica & i Movimenti locali. Con una Appendice delcentro di grauità d'alcuni Solidi*, Leida, appresso gli Elsevirii.
- Galilei, G., 1846, *G. Galilaei in Jovis satellites lucubrationes quae per ducentos fere annos desiderabantur ab Eugenio Alberio in lucem vindicatae*, Florentiae, Tipis Societatis Editricis Florentinae.
- Galilei, G., 1929a, *De motu antiquiora*, in A. Favaro (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. I, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1929b, *Theoremata circa centrum gravitatis solidorum*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. I, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1932, *Lettera a Iacopo Mazzoni (30 maggio 1597)*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. VIII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1933a, *Delle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. VIII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1933b, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. VIII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1933c, *Il saggiatore*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. VI, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1934a, *Carteggio 1574-1610*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. X, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1934b, *Carteggio 1611-1613*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XI, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1934c, *Carteggio 1614-1619*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1935a, *Carteggio 1620-1628*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XIII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1935b, *Carteggio 1629-1632*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XIV, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1936a, *Carteggio 1633*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XV, Firenze, Tipografia di Barbera.

- Galilei, G., 1936b, *Carteggio 1634-1636*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XVI, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1937a, *Carteggio 1637-1638*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XVII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1937b, *Carteggio 1639-1642*, in Favaro, A. (a cura di), *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Edizione Nazionale*, Vol. XVIII, Firenze, Tipografia di Barbera.
- Galilei, G., 1958, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Carugo, A. e Geymonat, L. (a cura di), Torino, Boringhieri.
- Galilei, G., 1997, *Galileo Galilei*, scelta ed introduzione di Rossi P., cronologia, biografia, bibliografia, antologia della critica, schede introduttive e note ai testi di Ciardi, M., Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- Galilei, G., 2002, *Le Meccaniche*, Gatto, R. (a cura di) Firenze, L. S. Olschki.
- Galilei, G., 2005, *Il Saggiatore*, Besomi, O. e Helbing, M. (a cura di), Medioevo e Umanesimo 105, Roma-Padova, Editrice Antenore.
- Galilei, G., 2014, *Dialogo sui massimi sistemi*, Flora, F. (a cura di), Milano, Oscar Mondadori.
- Galluzzi, P., 1979, *Momento. Studi galileiani*, Roma, Edizioni dell'Ateneo & Bizzarri.
- Galluzzi, P., 1987, *Leonardo da Vinci. Engineer and architect*, Montreal, The Montreal museum of fine arts.
- Galluzzi, P., 1997, *Introduzione*, in *Gli ingegneri del Rinascimento. Da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza, Giunti.
- Galluzzi, P., 2001, *Il Rinascimento. Gli ingegneri del Rinascimento: dalla tecnica alla tecnologia*, in «Storia della scienza», Treccani.
- Gamba, E., 1975, *L'attività scientifica nel ducato di Urbino durante i secoli XVI e XVII*, «Studi urbinati di storia, filosofia e letteratura», XLIX B 2, pp. 127-178.
- Gamba, E., 1985, *La meridiana a rifrazione nella fontana del giardino pensile*, in Polichetti, M. L. (a cura di), *Il Palazzo di Federico da Montefeltro. Restauri e ricerche*, Urbino, QuattroVenti, pp. 553-556.
- Gamba, E., 1988, *Saggio bibliografico sull'ambiente scientifico del Ducato di Urbino*, in «Studia Oliveriana», (1988-1989), 8/9, pp. 35-67.
- Gamba, E., 1992, «*La mano ministra dell'intelletto*». *Orologi e matematica a Pesaro nel secondo Cinquecento*, in «Pesaro città e contà. Rivista della Società pesarese di studi storici», II (1992), pp. 81-86.
- Gamba, E., 1994a, *Documenti di Muzio Oddi per la storia del compasso di riduzione e di proporzione*, in «Physis», XXXI, pp. 799-815.

- Gamba, E., 1994b, *Geometria empirica, speditiva, "scientifica"*, in Giusti, E. (a cura di), *Luca Pacioli e la matematica del Rinascimento, Atti del convegno internazionale di studi, Sanspeolcro, 13-16 aprile, 1994*, Città di Castello, Petrucci Editore, pp. 283-293.
- Gamba, E., 1995, *Guidobaldo dal Monte tecnologo*, in «Pesaro città e contà. Rivista della Società pesarese di studi storici», V, pp. 99-106.
- Gamba, E., 1998, *Guidobaldo dal Monte matematico e ingegnere*, in A. Fiocca (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Atti del convegno, Ferrara 1996, Firenze, L. S. Olschki, pp. 341-351.
- Gamba, E., 2001a, *Guidobaldo dal Monte matematico e fisico*, in *Scienziati e tecnologi marchigiani nel tempo. Convegno sotrico-scientifico*, Quaderni del Consiglio Regionale delle Marche, pp. 91-108.
- Gamba, E., 2001b, *Le scienze fisiche e matematiche dal Quattrocento al Seicento*, in «Pesaro nell'età dei Della Rovere», 3 Voll., Venezia, Marsilio, vol. II, pp. 75-103.
- Gamba, E., 2002, *La scuola matematica urbinata nell'età roveresca*, in B. Cleri, S. Eiche, J. E. Law, F. Paoli (a cura di), *I Della Rovere nell'Italia delle corti. Atti del convegno Urbania, 1999*, 4 Voll., Urbino, QuattroVenti, vol. III, pp. 75-91.
- Gamba, E., 2005, *Bernardino Baldi e l'ambiente tecnico-scientifico del ducato di Urbino*, in Nenci, E. (a cura di), *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli, pp. 339-351.
- Gamba, E., 2007, *Galileo e l'ambiente scientifico urbinata: testimonianze epistolari*, in «Galilaeana», IV, pp. 343-360.
- Gamba, E., 2008, *Uomini e cannoni a Urbino nel Rinascimento. Storie di architetti e ingegneri militari*, Quaderni del Centro di Studi "Urbino e la prospettiva", Urbino,
- Gamba, E., 2009a, *Federico Commandino matematico e umanista*, in Commandino, F., 2009, *De gli Elementi di Euclide*, edizione anastatica, 1575, Urbino, pp. 11-38.
- Gamba, E., 2009b, *Raffaello e la matematica*, Quaderni del Centro di Studi "Urbino e la prospettiva", Urbino.
- Gamba, E., 2010, *Proviamo a rileggere il "Doppio ritratto" di Luca Pacioli*, in Cesaroni, F.M., Ciambotti, M., Gamba, E., Montebelli, V. (a cura di), *Le tre facce del poliedrico Luca Pacioli*, Quaderni del Centro di Studi "Urbino e la prospettiva", Urbino.
- Gamba, E., 2011, *Le stelle sopra Urbino. Storie di astrologi alla corte dei Montefeltro*, Quaderni del Centro di Studi "Urbino e la prospettiva", Urbino.
- Gamba, E., 2015, *'Gravitando' verso il centro del mondo. Alcune critiche di Guidobaldo del Monte a Giambattista Benedetti*, in De Felice, F., Graziani, P. (a cura di), *Filosofie e scienze nel Rinascimento*, «Itinerari», Lanciano, Carabba, pp. 105-118.
- Gamba, E., 2017, *Tra esilio, congiure e malefatte: la travagliata vita di Muzio Oddi, architetto e matematico*, in Bartolucci, M., Calanchi, A. e Rocchi, M. (a cura di), *Trilli diabolici e nature morte. Crime for art's sake*, Fano, Aras, pp. 43-64.

- Gamba, E. e Mantovani, R., 2013, *Gli strumenti scientifici di Guidobaldo del Monte*, in A. Becchi, D. Bertoloni Meli, E. Gamba (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.
- Gamba, E. e Montebelli, V., 1987, *La matematica abachistica tra recupero della tradizione e rinnovamento scientifico*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento, atti del convegno internazionale di studio Giovan Battista Benedetti e il suo tempo*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 169-202.
- Gamba, E. e Montebelli, V., 1988, *Le scienze a Urbino nel tardo Rinascimento*, Quattroventi, Urbino.
- Gamba, E. e Montebelli, V., 1992, *Memorie, conti, lavori di Muzio Oddi architetto e matematico urbinato dell'epoca galileiana, in alcune carte della Biblioteca Universitaria di Urbino*, in *Galileo Galilei e gli atti del ducato di Urbino. Atti del convegno, Pesaro, 14 ottobre 1989*, pp. 35-62.
- Gamba, E. e Montebelli, V., 1996, *Piero della Francesca matematico*, in «Le Scienze», n. 331, marzo 1996, pp. 70-77.
- Gamba, E. e Montebelli, V., 2015, *Introduzione*, in Commandino, F., 2015, *Liber de centro gravitatis solidorum*, Edizioni della Normale, Pisa.
- Gamba, E. e Montebelli, V. e Piccinetti, P., 2006, *La matematica di Piero della Francesca*, in «Lettera matematica», Pristem, 59, pp. 49-60.
- Gamba, E. e Morini, M., 2000, *I quattrocento anni della 'Prospettiva' di Guidobaldo Dal Monte*, in «Pesaro città e contà. Rivista della Società pesarese di studi storici», XI, pp. 73-78. pp. 97-99.
- Gambioli, D., 1918, *La controversia sull'esilio di Guidobaldo del Monte l'illustre matematico marchigiano*, in «Atti e Memorie della R. Deputazione di Storia Patria per le Marche», Terza Serie, Vol. II, 1916-1917, Ancona, pp. 266-270.
- Gamna, C., Gamberai, G., Coppola, G., Calogero, G., 1943, *Momento*, in *Enciclopedia Italiana*, Treccani.
- Garin, E., 1961, *Gli umanisti e la scienza*, in «Rivista di Filosofia», 52 (3).
- Garin, E., 1994, *Il ritorno dei filosofi antichi, rist. accresciuta del saggio Gli umanisti e la scienza*, Napoli, Bibliopolis.
- Gatto, R., 2002a, *I testimoni e i criteri di edizione*, in Galilei, G., 2002, *Le Meccaniche*, Gatto, R. (a cura di), Firenze, L. S. Olschki.
- Gatto, R., 2002b, *Tra la scienza dei pesi e la statica. Le Meccaniche di Galileo Galilei*, in Galilei, G., 2002, *Le Meccaniche*, Gatto, R. (a cura di), Firenze, L. S. Olschki.
- Gatto, R., 2005, *Bilance e leve nel trattato In mechanica Aristotelis problemata exercitaitones di Bernardino Baldi*, in Nenci, E. (a cura di), 2005, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli, pp. 269-302.

- Gatto, R., 2008, *Cristoforo Clavio e l'insegnamento delle matematiche nella Compagnia di Gesù*, in *Il Rinascimento italiano e l'Europa*, Volume V, Le scienze, Fondazione Cassamarca, Vicenza, Angelo Colla Editore, pp. 437-454.
- Gasca, A. M., 2006, *Fabbriche, sistemi, organizzazioni. Storia dell'ingegneria industriale*, Milano, Springer.
- Gavagna, V., 2009, *La tradizione euclidea nel Rinascimento*, in Commandino, F., 2009, *De gli Elementi di Euclide*, edizione anastatica, 1575, Urbino, pp. 1-10.
- Gavagna, V., 2012, *La soluzione per radicali delle equazioni di terzo e quarto grado e la nascita dei numeri complessi: Del Ferro, Tartaglia, Cardano, Ferrari, Bombelli*, in https://php.math.unifi.it/archimede/archimede/note_storia/gavagna-complessi.pdf
- Gavagna, V., 2014a, *Gli Elementi di Euclide "ex traditione Francisci Maurolyci"*, in Fera, V., Gionta, D. e Rollo, A. (a cura di), *Archimede e le sue fortune*, atti del Convegno di Siracusa-Messina, 24-26 giugno 2008, Messina, Centro internazionale di studi umanistici, 2014, pp. 389-420.
- Gavagna, V., 2014b, *The Euclidean tradition at the Renaissance courts: the case of Federico Commandino*, in Katsiampoura, G. (a cura di), *Scientific cosmopolitanism and local cultures: religions, ideologies, societies, Proceedings of the 5th International Conference of the European Society for History of Science*, National Hellenic Research Foundation/Institute of Historical Research, pp. 291-297.
- Gaurico, L., 1503, *Tetragonismus idest circuli quadratura per Camapanum, Archimedem Syracusanum atque Boetium mathematicae perspicacissimos adinventum*, Venetiis, per Ioan. Bapti. Sessa
- Gendler, T. S., 1998, *Galileo and the indispensability of scientific thought experiment*, in «British Journal for the Philosophy of Science», 49 (3), pp. 397-424.
- Geymonat, L., 1979, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, voll. 1 *L'Antichità e Il Medioevo*, 2 *Il Cinquecento e il Seicento*, 3 *Il Settecento*, Milano, Garzanti.
- Giannotti, A., 2018, *Barocci and the Legacy of the Artistic Tradition of his Homeland*, in Mann, J. (a cura di), *Federico Barocci: Inspiration and Innovation in Early Modern Italy*, Abingdon, Routledge, pp. 46-62.
- Giardina, G. R., 2003, *Erone di Alessandria. Le radici filosofico-matematiche della tecnologia applicata*, Catania, CUECM.
- Gille, B., 1972, *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*, Milano, Feltrinelli.
- Giorgi, A., 1592, *Spirituali di Herone Alessandrino, ridotti in lingua volgare da Alessandro Giorgi da Urbino*, Urbino, appresso Bartholomeo e Simone Ragusij fratelli.
- Gioseffi, D., Fontana, V., Ciriaco, S., Pesenti, T., Chemello, A., Gasparini, G., 1985, *Trattati di prospettiva, architettura militare, idraulica e altre discipline*, Vicenza, N. Pozza.
- Giostra, A., 2013, *Guidobaldo del Monte e i nuovi corpi celesti*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 317-338

- Giovannozzi, D. e Veneziani, M., 2014, *Locus-spatium*, XIV Colloquio internazionale, Roma, 3-5 gennaio 2013, Lessico intellettuale europeo, Firenze, Olschki.
- Giusti, E., 1990, *Introduzione*, in Galilei, G., 1990, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica ed i movimenti locali*, Giusti, E. (a cura di), Torino, Einaudi.
- Giusti, E., 1993, *Euclides reformatus. La teoria delle proporzioni nella scuola galileiana*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Giusti, E., 2013, *Guidobaldo e la teoria delle proporzioni*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 127-144.
- Giusti, E., 2014, *Francesco Maurolico nella matematica del Cinquecento*, in Fera, V., Gionta, D. e Rollo, A. (a cura di), *Archimede e le sue fortune, atti del Convegno di Siracusa-Messina, 24-26 giugno 2008*, Messina, Centro internazionale di studi umanistici, 2014, pp. 589-604.
- Giusti, E. e Maccagni, C. (a cura di), 1994, *Luca Pacioli e la matematica del Rinascimento*, Firenze, Giunti.
- Giusti, E. e Martelli, M. (a cura di), 2010, *Pacioli 500 anni dopo*, Atti Convegno di studi, Sansepolcro, 22-23 maggio 2009, Supplemento al Quaderno n. 3 della Serie "R&D" - Ricerca e Didattica, Sansepolcro, Centro studi Mario Pancrazi.
- Gnudi, M., 1974, *Agostino Ramelli and Ambroise Bachot*, in «Technology and Culture», 15(4), pp. 614-625.
- Gorman, M. J. (a cura di), 2009, *A Mysterious Masterpiece: The World of the Linder Gallery*, Alias.
- Gorman, M. J. e Marr, A., 2007, 'Others see it yet otherwise': *disegno and pictura in a Flemish gallery interior*, in «Burlington Magazine», 149, pp. 85-91.
- Grimani, A., 1636, *Aurora*, Camerino, apud Rinaldo Ruuli, in Grimani, R., 1635, *Pratica facile, e breve di molte sorti di Horologi solari orizzontali, e verticali. E del trasportare gli Orizzontali in Verticali, e Declinati. Con trè tavole, dell'Altezza del Polo, ò Larghezza de' Paesi: dell'Amplitudine Ortiva, e della lunghezza, e brevità de i giorni, e delle notti. Con alcuni Dubij dell'Hora VI e XII et altre cose notabili, e curiose*, Orvieto, per Rinaldo Ruuli.
- Grimani, R., 1635, *Pratica facile, e breve di molte sorti di Horologi solari orizzontali, e verticali. E del trasportare gli Orizzontali in Verticali, e Declinati. Con trè tavole, dell'Altezza del Polo, ò Larghezza de' Paesi: dell'Amplitudine Ortiva, e della lunghezza, e brevità de i giorni, e delle notti. Con alcuni Dubij dell'Hora VI e XII et altre cose notabili, e curiose*, Orvieto, per Rinaldo Ruuli.
- Grimani, R., 1640, *Pratica facile, e breve di molte sorti di Horologi solari in questa seconda stampa corretta, et accresciuta*, Viterbo, per Bernardino Diotalleui.
- Grossi, C., 1819, *Degli uomini illustri d'Urbino commentario*, Urbino, per Vincenzo Guerrini.

- Guidone, M., 2001, *Ostilio Ricci da Fermo: un ponte tra Galileo e la scienza rinascimentale*, in *Scienziati e tecnologi marchigiani nel tempo. Convegno sottrico-scientifico*, Quaderni del Consiglio Regionale delle Marche.
- Hall, C., 2015, *Galileo's library reconsidered*, in «Galilaeana», a. 12 (2015), pp. 29-82.
- Hall, R., 1973, *Da Galileo a Newton (1630-1720)*, Milano, Feltrinelli.
- Heath, T. L., 1897, *The works of Archimedes*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Heath, T. L., 1953, *The works of Archimedes with a supplement The method of Archimedes recently discovered by Heiberg*, New York, Dover.
- Heath T.L., 1926, *The thirteen books of Euclid's elements*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Helbing, M. O., 2000, *Galileo e le Questioni meccaniche attribuite ad Aristotele alcune indicazioni*, in Montesinos, J., Santos, C. S. (a cura di), *Largo campo di filosofare: Eurosymposium Galileo*, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- Helbing, M. O., 2008, *La scienza della meccanica nel Cinquecento*, in *Il Rinascimento italiano e l'Europa*, Volume V, Le scienze, Fondazione Cassamarca, Vicenza, Angelo Colla Editore, pp. 573-592;
- Henninger-Voss, M., 2000, *Working Machines and Noble Mechanics: Guidobaldo del Monte and the Translation of Knowledge*, in «ISIS», XCI 2, pp. 233–259.
- Henry, J., 2008, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*, Studies in European History, New York, Palgrave Macmillan.
- Hill, D., 1996, *A history of engineering in classical and medieval times*, London-New York, Routledge.
- Holden, T., 2004, *The architecture of matter. Galileo to Kant*, Oxford, Clarendon press.
- Håkansson, H., 2001, *Seeing the Word John Dee and Renaissance Occultism*, Department of Cultural Sciences, Lund University.
- Høyrup, J., 1988, *Jordanus de Nemore: a case study on 13th century mathematical innovation and failure in cultural context*, in «Philosophica», 42.
- Høyrup, J., 2017, *Archimedes: Knowledge and Lore from Latin Antiquity to the Outgoing European Renaissance*, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Preprint (487).
- Jammer, M., 1971, *Storia del concetto di forza. Studio sulle fondazioni della dinamica*, Milano, Feltrinelli.
- Jammer, M., 1974, *Studio del concetto di massa nella fisica classica e moderna*, Milano, Feltrinelli.
- Keplero, J., 1609, *Astronomia Nova AITIOAOΓHTOΣ seu physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G.V. Tychonis Brahe*.
- Kirkbride, R., 2008, *Architecture and memory. The Reinaissance studioli of Federico de Montefeltro*, New York, Columbia University press.

- Knobloch, E., 1894, *De rebus militaribus: De machinis 1449, M. Taccola*, Baden-Baden 1984,
- Knobloch, E. e Schneider, I., 2001, *Il Rinascimento. Le arti meccaniche*, in «Storia della scienza», Treccani.
- Koyré, A., 1966, *Études galiléennes*, Paris, Hermann.
- Koyré, A., 1970, *Dal mondo chiuso all'universo infinito*, Calfiero, L. (trad. it.), Milano, Feltrinelli.
- Koyré, A., 2000a, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, in Koyré, A., 2000, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Zambelli, P. (a cura di), Torino, Einaudi.
- Koyré, A., 2000b, *I filosofi e la macchina*, in Koyré, A., 2000, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Zambelli, P. (a cura di), Torino, Einaudi.
- Kristeller, P. O., 1962, *La tradizione aristotelica nel Rinascimento*, Padova, Antenore.
- Kristeller, P. O., 1967, *Iter Italicum. A finding of uneatalogued or incompletely catalogued humanistic manuscripts of the Renaissance in Italian and other libraries*, Tip. E. J. Brile.
- Kristeller, P. O., 1998, *Il pensiero e le arti nel Rinascimento*, Baiocchi, M. (trad. it.), Roma, Donzelli.
- Kuhn, T. S., 1996, *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press.
- Kulski, K. J., 2019, *Leonardo da Vinci and the Pacioli Code*, Bowker Kulski.
- Labowski, L., 1967, *Bessarione*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Treccani, Volume 9.
- Lagrange, J. L., (1811-1815), *Mécanique analytique*, Paris, Ve Courcier.
- Laird, W. R., 1986, *The Scope of Renaissance Mechanics*, in «Osiris», vol. 2, 1986, pp. 43–68.
- Laird, W. R., 2013, *Guidobaldo del Monte and Renaissance Mechanics*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 36-52.
- Laird, W. R., 2017, *Hero of Alexandria and Renaissance Mechanics*, in Cormack, Lesley B., Walton, Steven A., Schuster, John A. (a cura di), *Mathematical Practitioners and the Transformation of Natural Knowledge in Early Modern Europe*, Studies in History and Philosophy of Science, Springer International Publishing.
- Lanteri, G., 1559, *Giacomo Duo libri di M. Giacomo Lanteri di Paratico da Brescia. Del modo di fare le fortificationi di terra intorno alle città, & alle castella per fortificarle. Et di fare così i forti in campagna per gli alloggiamenti de gli esserciti*, in Vinegia, per Francesco Marcolini.
- Lefèvre, W. (a cura di), 2004, *Picturing Machines 1400-1700*, The MIT Press, Cambridge.
- Lefèvre, W. e Renn, J. e Schoepflin, U. (a cura di), 2003, *The Power of Images in Early Modern Science*, Basel, Springer.
- Leopardi, G., 1824, *Canzoni del conte Giacomo Leopardi*, Bologna, dei tipi del Nobili.

- Litta, P., 1842-1843, *Famiglie celebri d'Italia. Marchesi del Monte Santa Maria detti Bourbon del Monte*, Milano, Giulio Ferrario.
- Locke, J., 1836, *An Essay Concerning Human Understanding*, London, T. Tegg and Son.
- Loria, G., 1950, *Storia delle matematiche. Dall'alba della civiltà al tramonto del secolo XIX. Seconda edizione riveduta e aggiornata*, Milano, Hoepli.
- Lorini, B., 1596, *Delle fortificationi di Buonaiuto Lorini, nobile fiorentino, libri cinque. Ne' quali si mostra con le piu facili regole la scienza con la pratica, difortificare le città, & altri luoghi sopra diuersi siti. Con tutti gli auuertimenti, che per intelligenza di tal materia possono occorrere*, Venetia, appresso Gio. Antonio Rampazetto.
- Losito, M., 1989, *Il IX Libro del De Architectura di Vitruvio nei Commentari di Daniele Barbaro (1556-1567)*, in «Nuncius», Volume 4, Issue: 1.
- Maccagni, C., 1981, *Le scienze nello studio di Padova e nel Veneto*, in *Storia della cultura veneta*, Vicenza Neri-Pozza, 1981, vol. 3/III, pp. 151-156.
- Maccagni, C., 1987, *La stampa, le scienze e le tecniche a Venezia e nel Veneto tra Quattrocento e Cinquecento*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento, atti del convegno internazionale di studio Giovan Battista Benedetti e il suo tempo*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 483-494.
- Maccagni, C., 1989, *Il disegno di macchine come fonte per la storia delle tecniche del Rinascimento*, in Calegari, M. e Vergari, R. (a cura di), *Miniere e metallurgia. Archeologia di un sapere (sec. XV-XVIII)*, *Quaderni storici*, n. 70, Vol. XXIV, Il Mulino, pp. 13-24.
- Maccagni, C., 1993, *Leggere, scrivere e disegnare la "scienza volgare" nel Rinascimento*, in «Annali della Scuola normale Superiore di Pisa. Classe di Lettere e Filosofia», ser. 3, vol. 23, fasc. 2 (1993), pp. 631-675.
- Maccagni, C., 1995, *Le matematiche nella concezione galileiana della fisica come scienza sperimentale*, in Baldo Ceolin, M. (a cura di), 1995, *Galileo e la scienza sperimentale*, Padova, Dipartimento di fisica Galileo Galilei.
- Maccagni, C., 1996, *Cultura e sapere dei tecnici nel Rinascimento*, in Dalai Emiliani, M. e Curzi, V. (a cura di), *Piero della Francesca: tra arte e scienza*, Venezia, Marsilio 1996, pp. 279-292.
- Mach, E., 1992, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, D'Elia, A. (trad. it.), Torino, Bollati Boringhieri.
- Machiavelli, N., 2006-2011, *Edizione nazionale delle opere di Niccolò Machiavelli*, Roma, Salerno.
- Maffioli, C. S., 1998, *La controversia tra Ferrara e Bologna sulle acque del Reno. L'ingresso dei matematici (1578-1625)*, in Fiocca, A. (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Olschki, pp. 239-267.
- Maffioli, C. S., 2002, *Hydraulics in the late Renaissance 1550-1625. Mathematicians' involvement in hydraulic engineering and the "mathematical architects"*, in Duffy, M. C. (a cura di), 2002, *Proceedings of the XXth International Congress of History of Science, vol. XVII: Engineering and Engineers*, Turnhout, Brepols, pp. 28-37.

- Mai, A., 1828-1838, *Classicorum auctorum e vaticanis codicibus editorum tomus I*, Vaticanæ Bibliothecæ Praefecto, Romae, Typis Vaticanis.
- Malpangotto, M., 2008, *Regiomontano e il rinnovamento del sapere matematico e astronomico nel quattrocento*, Bari, Cacucci.
- Maltese, C., 1982, *Federico da Montefeltro e la civiltà urbinata del Rinascimento*, in «Notizie da Palazzo Albani», pp. 21-31.
- Mamiani, G., 1828, *Elogi storici di Federico Commandino G. Ubaldo Del Monte Giulio Carlo Fagnani letti all'accademia pesarese dal conte Giuseppe Mamiani*, Pesaro, dalla tipografia Nobili.
- Manara, C. F., 1966, *La matematica nel pensiero galileiano*, Estratto dal volume *Nel quarto centenario della nascita di Galileo Galilei*, Milano, Vita e pensiero.
- Mann, J.W., 2018, *Federico Barocci. Inspiration and innovation in early modern Italy*, London-New York, Routledge.
- Manni, P., 1980, *La terminologia della meccanica applicata nel Cinquecento e nei primi del Seicento*, Estratto da «Studi di Lessicografia Italiana», Vol. II, Firenze, Accademia della Crusca, pp. 139-213.
- Manni, P. e Biffi, M. (a cura di), 2011, *Glossario leonardiano. Nomenclatura delle macchine nei codici di Madrid e Atlantico*, Biblioteca Leonardiana. Studi e Documenti, Leo S. Olschki.
- Manno, A., 1987, *Giulio Savorgnan: machinatio e ars fortificatoria a Venezia*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento, atti del convegno internazionale di studio Giovan Battista Benedetti e il suo tempo*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 227-246.
- Mantovani, R. e Serafini, F., 2008, *Lo studiolo virtuale di Urbino*, in Emmer, M. (a cura di), in «Matematica e cultura», 2008, Springer, Milano, pp. 127-137.
- Marcacci, F., 2009, *Alle origini dell'assiomatica. Gli Eleati, Aristotele, Euclide*, Roma, Aracne.
- Marchesini, G., 2015, *Sulle tracce di Archimede. Viaggio nella Biblioteca Malatestiana*, Roma, Carocci Editore.
- Marchis, V. e Dolza, L., 1998, *L'acqua, i numeri, le macchine. Al sorgere dell'ingegneria idraulica moderna*, in Fiocca, A. (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Olschki, pp. 207-222.
- Marcuccio, R. e Panizzi, C. (a cura di), 2020, *Un fisico reggiano a Parigi. Giovanni Battista Venturi e una nuova immagine di Leonardo da Vinci*, [Reggio Emilia], Biblioteca Panizzi edizioni.
- Marotta, A., Spallone, R. (a cura di), 2018, *Defensive architecture of the Mediterranean proceedings of the International conference on Modern age fortifications of the Mediterranean coast*, FORTMED 2018 Torino, Politecnico di Torino.
- Marr, A., 2006, *The production and distribution of Mutio Oddi's Dello squadro*, in Kusukawa, S. e Maclean, I. (a cura di), 2006, *Transmitting Knowledge: Words, Images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford University Press.

- Marr, A., 2005, *Il periodo milanese di Muzio Oddi*, in Oddi, Mu., 2005, *I gheribizzi di Muzio Oddi*, Eiche, S. (a cura di), Urbino, Accademia Raffaello, p. 15-25.
- Marr, A., 2011, *Between Raphael and Galileo. Mutio Oddi and the mathematical culture of late Renaissance Italy*, Chicago-London, University of Chicago Press.
- Marsden, E. W., 1969, *Greek and Roman artillery. Historical development*, Oxford, Clarendon Press.
- Martelli, M. (a cura di), 2020, *Arte e matematica in Luca Pacioli e Leonardo da Vinci*. [Sansepolcro], Biblioteca del Centro studi Mario Pancrazi, Città di Castello, Nuova Prhomos.
- Martinelli, R., 2011, *La città delle mura. Progetti e realtà di un'impresa lucchese*, Lucca, Maria Pacini Fazzi Editore.
- Martinelli, R., e Puccinelli, G., 1983, *Lucca, le mura del Cinquecento. Vicende costruttive dal 1500 al 1650*, Lucca, Matteoni.
- Marzi, D., 1896, *La questione della riforma del calendario nel quinto concilio lateranense (1512-1517)*, Firenze, Tip. G. Carnesecchi e Figli.
- Mattioli, P. A., 1568, *I discorsi di m. Pietro Andrea Matthioli sanese, medico cesareo, et del serenissimo principe Ferdinando archiduca d'Austria & c. nelli sei libri di Pedacio Dioscoride Anazarbeo della materia medicinale*, in Venetia, appresso Vincenzo Valgrisi.
- Mattioli, P. A., 2005, *I discorsi di P. A. Mattioli. L'esemplare dipinto da Gherardo Cibo: eccellenza di arte e scienza del Cinquecento*, Contin, D. e Tongiorgi Tomasi, L. (a cura di), Sansepolcro, Aboca.
- Maurolico, F., 1575, *De linei horariis brevis tractatus*, Venetjjs, Franciscum Franciscum Senensem.
- Maurolico, F., 1685, *Admirandi Archimedis Syracusani Monumenta omnia mathematica quae extant... ex tradizione D. Francisci Maurolici*, Palermo, 1685.
- Mazenta, A., 1919, *Le memorie su Leonardo da Vinci*, Milano, Alfieri & Lacroix.
- Maziarz, E. A. e Greenwood, T., 1968, *Greek mathematical philosophy*, New York, F. Ungar.
- Mazzoni, J., 1596, *Discorso a Madama ser.ma Granduchessa di Toscana, intorno alla cometa veduta di luglio*, BAV Urb. Lat. 1363, 1r-24r.
- Mei, M. e Paoli, P. (a cura di), 2008, *La libreria di Francesco Maria II Della Rovere a Casteldurante. Da collezione ducale a biblioteca della città*, Urbino, QuattroVenti.
- Menchetti, F., 2013, *Guidobaldo del Monte nel Granducato di Toscana e la scuola roveresca di architettura militare*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E., 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" e technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.
- Menchetti, F. e Pelissetti, L. S., 2012, *Guidobaldo del Monte as Architect and the Construction of Santa Maria degli Angeli in Pesaro*, in Carvais, R., Guillerme, A., Nègre, V. e Sakarovitch, J. (a cura di), 2012, *Nuts e Bolts of Construction History. Culture, Technology and Society*, Paris, Picard, pp. 621-628.

- Merril, E., 2017, *The Professione di Architetto in Renaissance Italy*, in «Journal of the Society of Architectural Historians», 2017, 76 (1), pp. 13–35.
- Micalori, I., 1626, *De sfera mondiale del signor Iacomo Micalori canonico d'Urbino libri quattro, in Urbino*, appresso Marc'Antonio Mazzantini.
- Micheli, G., 1980, *L'assimilazione della scienza greca*, in Micheli, G. (a cura di), *Storia d'Italia. Annali 3, Scienza e tecnica nella cultura e nella società dal Rinascimento a oggi*, Torino, Giulio Einaudi.
- Micheli, G., 1995, *Le origini del concetto di macchina*, Firenze, Olschki Editore.
- Micheli, G., 1998, *Il concetto di automa nella cultura greca dalle origini al sec. IV a.C.*, in «Rivista di Storia della Filosofia», 53(3), pp. 421-462.
- Micheli, 2005, La traduzione degli *Automata* di Erone, in Nenci, E. (a cura di), 2005, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli, pp. 247-268.
- Mieli, A. (a cura di), 1919, *Gli scienziati italiani dall'inizio del Medioevo ai nostri giorni. Repertorio biobibliografico dei filosofi, matematici, astronomi, fisici, chimici, naturalisti, biologi, medici, geografi italiani*, Roma, Nardecchia.
- Mikkeli, H., 2018, *Giacomo Zabarella*, in Zalta E. N. (a cura di), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/zabarella/>.
- Mögling, D., 1629, *Mechanischer Kunst-Kammer Erster Theil Von Waag Hebel Scheiben Haspel Keyl und Schrauffen, Begreifend die wahre Fundamenta aller Machination*, Frankfurt am Main, Caspar Röteln.
- Molari, L., e Molari, P. G., 2006a, *Il trionfo dell'ingegneria nel fregio del palazzo ducale d'Urbino*, Pisa, Edizioni ETS.
- Molari, L., e Molari, P. G., 2006b, *Una 'cartolina' firmata da Francesco di Giorgio nelle formelle del Palazzo Ducale di Urbino*, in Amodio, D. (a cura di), *AIAS 2006, Atti del XXXV Convegno Nazionale* (http://www.giovannipastore.it/AIAS2006/memoria_Molari.pdf).
- Montebelli, V., 1993, *Tommaso Leonardi, algebrista fanese*, in «Nuovi studi fanesi», vol. 8, pp. 55-78.
- Montebelli, V., 2015, *Paolo da Middelburg, algebrista alla corte di Federico da Montefeltro*, in De Felice, F., Graziani, P. (a cura di), *Filosofie e scienze nel Rinascimento*, «Itinerari», Lanciano, Carabba, pp. 119-142.
- Montebelli, V., 2018, *Pacioli's and Galileo's ship*, «Lettera Matematica», Pristema, 6, pp. 143–151.
- Montinaro, G., 2013, *Guidobaldo del Monte e Francesco Maria II della Rovere duca di Urbino*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.

- Moody, E. e Clagett, M. (a cura di), 1952, *The Medieval Science of Weights (Scientia de Ponderibus). Treatises Ascribed to Euclid, Archimedes Thabit ibn Qurra, Jordanus de Nemore and Blasius of Parma*, Madison, The University of Wisconsin Press London,
- Moon, F. C., 2007, *The Machines of Leonardo Da Vinci and Franz Reuleaux Kinematics of Machines from the Renaissance to the 20th Century*, Netherlands, Springer.
- Moranti, L., 1967, *L'arte tipografica in Urbino (1493-1800)*, Firenze, Olschki.
- Moranti, L., 1981, *Litere maiuscole fatti in legno dal Barocchi*, in «La Bibliofila», Vol. 83, No. 2, pp. 133-149.
- Moranti, M. e Moranti, L., 1981, *Il trasferimento dei "codices Urbinales" alla Biblioteca vaticana. Cronistoria, documenti e inventario*, Urbino, Accademia Raffaello.
- Moretti, G., Sprugnoli, R., Menini, S. e Tonelli, S., 2016, *ALCIDE: Extracting and visualising content from large document collections to support humanities studies*, in «Knowledge-Based Systems», Volume 111, 2016, Pages 100-112.
- Moretti, W. e Pepe, L., 1997, *Torquato Tasso e l'università*, Firenze, L. S. Olschki.
- Morpurgo, E., 1950, *Dizionario degli orologiai italiani: 1300-1880*, Roma, Ed. La Classica.
- Morpurgo, E., 1984, *Gli orologi*, Milano, Fabbri.
- Moscheo R., 1988, *Francesco Maurolico tra Rinascimento e scienza galileiana. Materiali e ricerche*, Messina, Società messinese di Storia Patria.
- Moscheo, R., 2008, *Maurolico, Francesco*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 72, Treccani.
- Motta, U., 2005, *Bernardino Baldi e le biografie dei duchi feltreschi*, in Nenci, E. (a cura di), 2005, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli, pp. 175-220.
- Mussini, M., 1991, *Il trattato di Francesco di Giorgio Martini e Leonardo: il Codice estense restituito*, Parma, Università, Istituto di storia dell'arte.
- Napolitani P. D., 1982, *Metodo e statica in Valerio con edizione di due sue opere giovanili*, in «Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche», pp. 3-86.
- Napolitani, P. D., 1987, *La geometrizzazione della realtà fisica: il peso specifico in Ghetaldi e Galileo*, «Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche», pp. 139-237.
- Napolitani, P. D., 1988, *Maurolico e Commandino*, in Nastasi, P. (a cura di), *Convegno Il meridione e le scienze, secoli XVI-XIX, Atti del Convegno Il meridione e le scienze, secoli XVI-XIX, Palermo, 14-16 maggio 1985*, Palermo, Università di Palermo, 1988, p. 281-316
- Napolitani, P.D., 2001, *Archimede. Alle radici della scienza moderna*, Milano, Le scienze.
- Napolitani, P.D., 2007, *Il Rinascimento italiano*, in C. Bartocci, P. Odifreddi, *La matematica*, vol. I, Torino, Einaudi, 2007, pp. 237-282.

- Napolitani, P. D., 2010, *Archimede nella cultura dell'abaco e nell'umanesimo*, in Martelli, M., e Giusti, E. (a cura di), *Pacioli 500 anni dopo*, Atti Convegno di studi, Sansepolcro, 22-23 maggio 2009, Supplemento al Quaderno n. 3 della Serie "R&D" - Ricerca e Didattica, Sansepolcro, Centro di Studi Mario Pancrazi, pp. 221-246.
- Napolitani, P.D., 2013, *Fra mito e Matematica: le vicende di Archimede e della sua opera*, in «Lettera Matematica», Pristem 86, pp. 17–25 (2013).
- Napolitani, P. D. e Giorello, G., 2012, *Pier Daniele Napolitani e Giulio Giorello raccontano: Archimede. Il primo genio universale*, Gruppo Editoriale L'Espresso - La Biblioteca di Repubblica.
- Napolitani, P. D. e Saito, K., 2004, *Royal road or labyrinth? Luca Valerio's De centro gravitatis solidorum and the beginnings of modern mathematics*, in «Bollettino di storia delle scienze matematiche», XXIV (2004) 2, pp. 71–138.
- Nardini, L., 1914, *Il compasso di Galileo e l'officina meccanica di Urbino*, in «Urbium», anno 1, n. 1, agosto 1914, pp. 55-59.
- Narducci, E., 1871, *Intorno ad una traduzione italiana fatta nel secolo decimoquarto del trattato d'ottica d'Alhazen, matematico del secolo undecimo, ed altri lavori di questo scienziato*, in «Bullettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche», Vol. IV.
- Narducci, E., 1887, *Vite inedite di matematici italiani scritte da Bernardino Baldi*, in «Bullettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche», Vol. XIX, luglio-novembre, 1886.
- Narducci, E., 1892, *Catalogo di manoscritti ora posseduti da Baldassarre Boncompagni*, Roma, Tip. delle scienze matematiche e fisiche.
- Naylor, R., 1974, *The Evolution of an Experiment: Guidobaldo del Monte and Galileo's Discorsi demonstration of Parabolis Trajectory*, in «Physis» 16(4), pp. 232–346.
- Nenci, E., 1998, *Introduzione*, in Baldi, B., 1998, *Le vite de' matematici. Edizione annotata e commentata della parte medievale e rinascimentale*, Nenci, E. (a cura di), Milano, FrancoAngeli.
- Nenci, E. (a cura di), 2005, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli,
- Nenci, E., 2005, *L'invenzione del bossolo da navigare, e le scoperte geografiche*, in Nenci, E. (a cura di), 2005, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura. Atti del Convegno di studi di Milano, 19-21 novembre 2003*, Milano, FrancoAngeli, pp. 233-246.
- Nenci, E., 2008, *Le ricerche matematiche tra segretezza e pubbliche dispute*, in *Il Rinascimento italiano e l'Europa*, Volume V, Le scienze, Fondazione Cassamarca, Vicenza, Angelo Colla Editore, pp. 627-640
- Nenci, E., 2011, *Bernardino Baldi's "In mechanica Aristotelis problemata exercitationes"*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.

- Nenci, E., 2013, *Dalle macchine semplici alla meccanica newtoniana*, in «Il contributo italiano alla storia del pensiero – Tecnica», Treccani.
- Netz, R., 2017, *The works of Archimedes. Translated into english, together with Eutocius commentaries, with commentary and critical edition of the diagrams*, Cambridge, Cambridge university press.
- Netz, R. e Noel, W., 2007, *The Archimedes codex: revealing the secrets of the world's greatest palimpsest*, London, Weidenfeld & Nicolson.
- Neville, P., 1986, *The Printer's Copy of Commandino's Translation of Archimedes, 1558*, in «Nuncius», 1(1986), pp. 7-12.
- Newton, I., 1687, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, London, Benjamin Motte.
- Nesselrath, A., 1989, *Gherardo Cibo, alias Ulisse Severino da Cingoli. Disegni e opere da collezioni italiane*, Firenze, SPES.
- Oddi, Ma., 1627, *Precetti di architettura militare*, in Milano, appresso Bartolomeo Fobella
- Oddi, Mu., 1614, *De gli horologi solari nelle superficie piane trattato di Mutio Oddi da Urbino*, Milano, appresso Giacomo Lantoni.
- Oddi, Mu., 1625, *Dello squadra trattato di Mutio Oddi da Urbino*, Milano, appresso Bartolomeo Fobella.
- Oddi, Mu., 1633, *Fabrica et uso del compasso polimetro*, Milano, Francesco Fobella.
- Oddi, Mu., 1637, *Risposta di Mutio Oddi da Urbino a i dubbi di Raffaello Grimani da Orvieto d'intorno all'hora sesta Astronomica, e duodecima Italiana Negli Horologi Orizzontali*, Perugia, per Angelo Bartoli.
- Oddi, Mu., 1638, *De gli horologi solari trattato di Mutio Oddi da Urbino*, Venetia, per il Ginammi.
- Oddi, Mu., 2005, *I gheribizzi di Muzio Oddi*, Eiche, S. (a cura di), Urbino, Accademia Raffaello.
- Omodeo, P. D., 2009, *La cosmologia infinitistica di Giovanni Battista Benedetti*, in «Bruniana & Campanelliana», 15(1), pp. 181-190.
- Omodeo, P. D. e Renn, J., 2019, *Science in Court Society Giovan Battista Benedetti's Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber (Turin, 1585)*, Edition Open Sources, Sources 11.
- Omont, H., 1888, *Un premier catalogue des manuscrits grecs du cardinal Ridolfi*, in «Bibliothèque de l'Ecole des Chartes», Tome 49, Société de l'École des Chartes, pp. 309-324.
- Olsen, H., 1955, *Federico Barocci. A critical study in Italian Cinquecento painting*, Stockholm, Almqvist & Wiksell.
- Ori, F., 2019, *Giovanni Battista Venturi nella storia della scienza*, Reggio Emilia, Antiche Porte.

- Oronce, F., 1587, *Opere di Orontio Fineo del Delfinato: diuise in cinque parti; arimetica, geometria, cosmografia, & oriuioli, tradotte da Cosimo Bartoli ... et gli Specchi, tradotti dal caualier Ercole Bottrigaro*, Venezia, presso Francesco Franceschi Senese.
- Palmerino, C. R., 2011, *Galileo's use of medieval thought experiment*, in Ierodiakonou, K. e Roux, S. (a cura di.), *Thought Experiments in Methodological and Historical Contexts*, Brill
- Palmerino, C. R. e Thijssen, J. M. M. H. (a cura di), 2004, *The reception of the Galilean science of motion in seventeenth-century Europe*, Dordrecht, Kluwer Academic publishers.
- Palmieri, G., F., 1620, *Descrittione facile degli horiuoli a sole orizzontali italiani per via di numeri, e de' murali per via d'vn'orizzontale*, Siena, appresso Ercole, & Agamennone Gori.
- Palmieri, P. 2008, *The empirical basis of equilibrium: Mach, Vailati, and the lever*, in «Studies in History and Philosophy of Science», 39, 2008, pp. 42-53.
- Palmieri, P., 2008, Breaking the circle: The emergence of Archimedean mechanics in the late Renaissance, in «Archive for History of Exact Sciences», 62(3), pp. 301-346.
- Panicali, R., 1988, *Orologi e orologiai del Rinascimento italiano. La scuola urbinata*, Urbino, QuattroVenti.
- Paoli, D., 1842, *Fatti per servire alla storia de' mutamenti avvenuti sulla costa d'Italia da Ravenna ad Ancona per gl'interrimenti, e considerazioni sul moto radente: comunicati alla terza Riunione degli scienziati italiani convocati a Firenze, Sezione di geologia, mineralogia, e geografia da D. Paoli*, Firenze, Nella Stamperia granducale.
- Passalacqua, L., 1994, *Le "Collezioni" di Pappo: polemiche editoriali e circolazione di manoscritti nella corrispondenza di Francesco Barozzi con il Duca di Urbino*, in «Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche», XIV 1 (1994), pp. 91-156.
- Pedretti, C., 1995, *Introduzione*, in Da Vinci, L., 1995, *Libro di Pittura*, edizione in facsimile del Codice Urbinata lat. 1270 nella Biblioteca Apostolica Vaticana Pedretti, C. (a cura di), Firenze, Giunti.
- Pedretti, C. (a cura di), 2005, *Leonardo: genio e visione in terra marchigiana. Ancona, Mole Vanvitelliana 15 ottobre 2005-8 gennaio 2006*, Foligno, Cartei & Bianchi.
- Pedretti, C., 2008, *Leonardo e io*, Milano, Mondadori.
- Pedretti, C. e Cianchi, M., 1995, *Leonardo. I codici*, Art e dossier, Firenze, Giunti.
- Pedullà, G., 2010, *Atlante della letteratura italiana, vol. I*, Einaudi, pp. 592-595, (<http://www.einaudi.it/speciali/Atlante-della-letteratura-italiana>).
- Pepe, L., 1998, *Astronomia e matematica nelle Università italiane del Quattrocento*, in Giusti, E. (a cura di), *Luca Pacioli e la matematica nel Rinascimento*, Città di Castello, Petrucci, 1998, pp. 29-49.
- Perini Folesani, G., 2019, *Bernardino Baldi, la ditta Barocci e Guidubaldo dal Monte*, in «OADI – Rivista dell'Osservatorio per le Arti Decorative in Italia», Numero 19, giugno 2019, http://www1.unipa.it/oadi/oadiriv/?page_id=3426.

- Peruzzi, M., 2014, "*Lectissima politissimaque volumina*": *I fondi urbinati*, in *La Vaticana nel Seicento (1590-1700). Una biblioteca di biblioteche, Storia della Biblioteca Apostolica Vaticana III*, Città del Vaticano, Biblioteca Apostolica Vaticana, 2014, pp. 337-394.
- Petrarca, F., 1965, *Rerum memorandarum libri*, Billanovich, G. (a cura di), Firenze, Sansoni.
- Petrucchi, F., 1984, *Cozzando Leonardo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Vol. 30, Treccani.
- Peverone, G. F., 1558, *Due breui e facili trattati, il primo d'arithmetic: l'altro di geometria ne i quali si contengono alcune cose nuoue piaceuoli e utili, si à gentilhuomini come artigiani*, Lione, per Gio. di Tournes
- Pezzolesi, B., 1999, *Il Breve trattato dell'istoria di Bernardino Baldi*, in «Studi urbinati B», 69, pp. 267-303.
- Pezzolesi, B., 2001/2002, *Teorie della poesia didascalica nella trattatistica cinquecentesca e La nautica di Bernardino Baldi*, Supervisore: Giorgio Cerboni Baiardi, Università degli studi di Urbino.
- Pezzolesi, B., 2006, *'L'invenzione del bossolo da navigare' nelle redazioni della 'Nautica' di Bernardino Baldi*, in *Letteratura del mare: atti del convegno di Napoli, 13-16 settembre 2004*, Pubblicazioni del Centro Pio Rajna. Sez. 1, Studi e saggi, 14, Roma, Salerno, pp. 673-687.
- Philoponus, 2005, *On Aristotle On the Soul 1.1-2*, Van der Eijk, P. J. (trad. di), Bloomsbury.
- Piccolomini, A., 1542, *De le istituzione di tutta la vita de l'homo nato nobile e in città libera*, Venetis, apud Hieronymum Scotum
- Piccolomini, A., 1582, *Parafrasi sopra le mecaniche d'Aristotele, tradotta da Oreste Vannocci Biringucci*, Roma, Francesco Zanetti.
- Picutti, E., 1989, *Sui plagi matematici di frate Luca Pacioli*, in «Le Scienze», pp. 72-79.
- Piero della Francesca, 1970, *Trattato d'Abaco. Dal Codice Ashburnhamiano 280 (359-291*) della biblioteca Medicea Laurenziana*, Arrighi, G. (a cura di), Pisa, Domus Galileiana.
- Piero della Francesca, 2016, *De prospectiva pingendi*, Gizzi, C. (a cura di), Venezia, Ca' Foscari-Digital Publishing.
- Pietrini, D., 2019, *Gianfranceschi e la divulgazione della relatività in Italia. Storia di una conferenza manoscritta e della corrispondenza inedita con Tullio Levi-Civita*, in «Isonomia, Rivista online di Filosofia – Epistemologica –», giugno 2019, <http://isonomia.uniurb.it/epistemologica>.
- Pietrini, D. e Tarozzi, G., 2020, *Esperienza e matematica in Leonardo*, in Marcacci, F. e Tagliagambara, S. (a cura di), *Atti del Convegno Leonardo e la Luna. Alle origini della scienza moderna. Cinquecentenario di Leonardo e cinquantennio dell'allunaggio. Pontificia Università Lateranense, Roma, 20 novembre 2019*, in «Giornale di Astronomia Rivista di informazione, cultura e didattica della Società Astronomica Italiana», numero speciale, Vol. 46, N. 4, Pisa-Roma, Fabrizio Serra editore, dicembre 2020.
- Pigafetta, F., 1586, *Discorso di M. Filippo Pigafetta d'intorno all'historia della aguglia, et alla ragione del muoverla*, Roma, appresso Bartolomeo Grassi.

- Pisano, R., & Capecchi, D. (2016), *Tartaglia's Science of Weights and Mechanics in the Sixteenth Century. Selections from Quesiti et inventioni diverse: Books VII–VIII*, Dordrecht Heidelberg New York London, Springer.
- Polichetti, M. L. (a cura di), 1985, *Il Palazzo di Federico da Montefeltro: restauri e ricerche*, Urbino, QuattroVenti.
- Popplow, M., 2013, *Court Mathematicians, Rosicrucians, and Engineering Experts: The German Translation of Guidobaldo del Monte's Mechanicorum liber by Daniel Mögling (1629)*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 293-316.
- Popplow, M. e Renn, J., 2002, *La rivoluzione scientifica: luoghi e forme della conoscenza. Ingegneria e macchine*, in «Storia della scienza», Treccani.
- Porter, R., Teich, M. (a cura di), 1992, *The scientific revolution in national context*, Cambridge, Cambridge university press.
- Prager, F.D. e Scaglia, G., 1972, *M. Taccola and his book «De ingeneis»*, Cambridge, MA-London.
- Procissi A., 1960, *Ancora sulla corrispondenza di Bonaventura Cavalieri*, in «Physis», 2, pp. 321–324.
- Promis, C., 1848, *Vita di Muzio Oddi. Ingegnerie e matematico (1569-1639)*, in *Antologia italiana. Giornale di scienze, lettere ed Arti*, Anno II, Tomo IV, Torino, Giuseppe Pomba e C. Editori, pp. 377-400.
- Purnell, F. jr., 1972, *Jacopo Mazzoni and Galileo*, in «Physis», XIX, pp. 273-294.
- Rambaldi, E. I, 1989, *John Dee and Federico Commandino: an English and an Italian Interpretation of Euclid during the Renaissance*, in «Rivista di Storia della Filosofia», Vol. 44, No. 2 (1989), FrancoAngeli, pp. 211-247.
- Ramelli, A., 1558, *Le diuerse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli ... Nelle quali si contengono uarij et industriosi mouimenti, degni digrandissima speculatione, per cauarne beneficio in ogni sorte d'operatione; composte in lingua italiana e francese*, Parigi, in casa dell'autore.
- Ramelli, A., 1991, *Le diverse et artificiose machine*, Scaglia, G., Carugo, A. e Ferguson, E. S. (a cura di), Milano, Il polifilo.
- Renn, J., 2013, *La controversia sull'equilibrio*, relazione presentata in occasione della mostra ai Musei Capitolini di Roma Archimede. Arte e scienza dell'invenzione, 30 maggio 2013 (<http://www.museicapitolini.org/en/file/intervento-di-j-rngen-renn-direttore-del-max-planck-institute-history-science-di-berlino>).
- Renn, J. e Damerow, P., 2010, *Guidobaldo del Monte's "Mechanicorum liber"*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.
- Renn, J. e Damerow, P., 2012, *The Equilibrium Controversy. Guidobaldo del Monte's Critical Notes on the Mechanics of Jordanus and Benedetti and their Historical and Conceptual Background*,

Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.

- Renn, J., Damerow, P., e McLaughlin, P., 2004, *Aristotle, Archimedes, and the origins of mechanics: The perspective of historical epistemology*, in Montesinos Sirera, J. L. (a cura di), *Symposium Arquímedes*, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, (pp. 43–59).
- Renn, J., Damerow, P., Rieger, S. e Giulini, D., 2001, *Hunting the White Elephant: When and How did Galileo Discover the Law of Fall?*, in Renn, J. (a cura di), 2001, *Galileo in Context*, Cambridge, Camnbridge University Press, pp. 29-149.
- Renn, J. e Omodeo, P. D., 2013, *Guidobaldo Del Monte's Controversy with Giovan Battista Benedetti on Positional Heaviness*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D., e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545–1607) Theory and Practice of the Mathematical Disciplines from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access.
- Repishti, F. e Schofield, R., 2003, *Architettura e controriforma. I dibattiti per la facciata del Duomo di Milano 1582-1682*, Milano, Electa.
- Riccardi, P., 1887, *Saggio di una bibliografia euclidea. Parte I. e 2.*, Bologna, Tip. Gamberini e Parmeggiani.
- Ridolfi, R., 1929, *La biblioteca del cardinale Nicolò Ridolfi (1501-1550)*, in «La Bibliofila», XXI, pp. 173-193.
- Rinaldi, S., 2013, *Nel laboratorio paesaggistico di Gherardo Cibo. Osservazioni a margine di un catalogo*, in Mangani, G. e Tongiorgi Tomasi, L. (a cura di), *Gherardo Cibo. Dilettante di botanica e pittore di paesi. Arte, scienza e illustrazione botanica nel XVI. Secolo*, Ancona, Il lavoro editoriale.
- Robens, E., Jayaweera, S., Amarasiri A., Kiefer, S., 2014, *Balances Instruments, Manufacturers, History*, Berlin, Springer.
- Rocca, A., 1591, *Bibliotheca Apostolica Vaticana a Sixto 5. pont. max. in splendidiorem, commodioremq. locum translata, et a fratre Angelo Roccha a Camerino, ... commentario variarum artium, ac scientiarum materijs curiosis, ac difficillimis, scituq. dignis refertissimo, illustrata*, Romæ, ex typographia Apostolica Vaticana.
- Rose, P. L., 1968, *The origins of proportional compass from Mordente to Galileo*, in «Physis», X, 1968, pp 53-69.
- Rose, P. L., 1971, *Plusieurs manuscrits autographes de Federico Commandino à la Bibliothèque Nationale de Paris*, in «Revue d'histoire des sciences et de leurs applications», 24, (4), (1971), pp. 299-307.
- Rose, P. L., 1972, *Commandino, John Dee, and the De superficierum Divisionibus of Machometus Bagdedinus*, in «ISIS», Volume 63, N. 1, The University of Chicago Press Journals, pp. 88-93.
- Rose, P. L., 1973a, *Humanist Culture and Renaissance Mathematics: The Italian Libraries of the Quattrocento*, in «Studies in the Renaissance», 20, pp. 46-105.

- Rose, P. L., 1973b, *Letters illustrating the career of Federico Commandino*, in «Physis», 15, (1973), pp. 401-410.
- Rose, P. L., 1974, *Rediscovered manuscripts of the “Vite de’ matematici” and mathematical works by Bernardino Baldi (1553-1617)*, in «Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti», Serie 8, 56 (1974), fasc. n.3, p. 272-279.
- Rose, P. L., 1975, *The Italian Renaissance of Mathematics: Studies on Humanists and Mathematicians from Petrarch to Galileo*, Geneva, Libraire Droz.
- Rose, P. L., 1976, *Jacomo Contarini (1536-1595) a Venetian patron and collector of mathematical instruments and books*, in «Physis», A. 18, fasc. 2 (1976), p. 117-130.
- Rose, P. L., 1977, *A venetian patron and mathematician of the sixteenth century: Francesco Barozzi (1537-1604)*, in «Studi veneziani», 1, 120.
- Rose, P. L. e Drake, S., 1971, *The Pseudo-Aristotelian Questions of Mechanics in Renaissance Culture*, in «Studies in the Renaissance», vol. 18, 1971, pp. 65–104.
- Rosen, E., 1968, *The Invention of the Reduction Compass*, in «Physis», X, pp. 306-308.
- Rosen, E., 1970, *John Dee and Commandino*, in «Scripta Mathematica», 28, pp. 321-326.
- Rossi, G. V. (Giani Nicio Eritreo), 1692, *Pinacotheca imaginum illustrium, doctrinae vel ingenii laude, virorum*, 2° edizione, Lipsia.
- Rossi, P., 1989, *La scienza e la filosofia dei moderni. Aspetti della rivoluzione scientifica*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Rossi, P., 2005, *La nascita della scienza moderna in Europa*, Roma, Laterza, 2005.
- Rossi, P. (a cura di), 2006, *La rivoluzione scientifica: dal Rinascimento a Newton*, Vol 1, Roma, Gruppo Editoriale L’Espresso.
- Rossi, P., 2017, *I filosofi e le macchine 1400-1700*, Milano, Feltrinelli.
- Ruscelli, G., 1568, *Precetti della militia moderna, tanto per mare, quanto per terra, trattati da diuersi nobilissimi ingegni, & raccolti con molta diligenza dal signor Girolamo Ruscelli. Ne' quali si contiene tutta l'arte del bombardiero, & si mostra l'ordine che ha da tenere il maestro di campo, quando vuole accampare il suo essercito*, Venetia, appresso gli heredi di Marchio Sessa.
- Russo, A., 2017, *Loreto. Città santuario nell'età della Controriforma*, Roma, GBE/Ginevra Bentivoglio Editoria.
- Russo, L., 2017, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Milano, Feltrinelli.
- Russo, L., 2019, *Archimede. Un grande scienziato antico*, Roma, Carocci.
- Russo, L. e Santoni, E., 2010, *Ingegni minuti. Una storia della scienza in Italia*, Milano, Feltrinelli.
- Saito, K., 2012, *Traditions of the diagram, tradition of the text: A case study*, in «Synthese», 186(1), pp. 7-20.

- Saito, K., 2013, *Archimede e la doppia riduzione all'assurdo*, in «Lettera Matematica», Pristem 86, pp. 9–16.
- Saito, K. e Sidoli, N., 2012, *Diagrams and arguments in ancient Greek mathematics: lessons drawn from comparisons of the manuscript diagrams with those in modern critical editions*, in Chemla, K. (a cura di), *The History of Mathematical Proof in Ancient Traditions*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 135-162.
- Salvia, S., 2008/2009, *Sulle tracce del giovane Galileo. Un dialogo a distanza tra Antonio Favaro ed Emil Wohlwill*, Supervisore: Massimo Bucciantini, Istituto e Museo della scienza di Firenze, Università degli studi di Pisa, Università degli studi di Firenze, Università degli studi di Siena.
- Sangiorgi, F., 1989, *Diario di Francesco Maria II Della Rovere*, Urbino, QuattroVenti.
- Sangiorgi, F., 1972, *Committenze milanesi a Federico Barocci e alla sua scuola nel carteggio Vincenzi della Biblioteca universitaria di Urbino*, Urbino, Accademia Raffaello.
- Saviotti, S., 1901, *Di un inedito carteggio di Bernardino Baldi*, in «Le Marche illustrate nella storia, nelle lettere, nelle arti», I, 1901, pp. 145-155.
- Scaglia, G., *M. Taccola, De machinis. The engineering treatise of 1449*, I-II, Wiesbaden 1971.
- Scarpati, G., 2000, *Per la biblioteca di Leonardo: "Libro di Giorgio Valla"*, in «Aevum», vol. 74 (2000), pp. 669-673.
- Schmitt, C., 1969, *Experience and Experiment: a Comparison of Zabarella's View with Galileo's in De Motu*, in «Studies in the Renaissance», XVI, 1969, pp. 80-138.
- Schmitt, C. B., 1975, *Science in the Italian Universities in the Sixteenth and Early Seventeenth Centuries*, in Crosland, M. P. (a cura di), *The Emergence of Science in Western Europe*, London, Macmillan, pp. 35–56.
- Schmitt, C., 1987, *Philoponus' commentary on Aristotle's Physics in the Sixteenth Century*, in Sorabji, R. (a cura di), *Philoponus and the Rejection of Aristotelian Science*, Cornell University Press, pp. 210-227.
- Schlaudt, O., 2013, *Hölder, Mach, and the Law of the Lever: A Case of Well-founded Non-controversy*, in «Philosophia Scientiæ», 17-1, 2013, pp. 93-116.
- Sconza, A., 2010, *La prima trasmissione manoscritta del "Libro di pittura"*, in «Raccolta Vinciana», pp. 309-366.
- Segarizzi, A. (a cura di), 1913, *Relazioni degli ambasciatori veneti al Senato*, vol. II, Bari, Laterza.
- Segre, M., 1980, *The Role of Experiment in Galileo's Physics*, in «Archive for History of Exact Sciences», 23(3), pp. 227-252.
- Serassi, P. A., 1790, *Vita di Jacopo Mazzoni patrizio cesenate scritta dall'abate Pierantonio Serassi e dal medesimo umiliata alla santità di nostro signore Pio sesto pontefice massimo*, Roma, Pagliarini.
- Serrai, A., 2002, *Bernardino Baldi. La vita, le opere. La biblioteca*, Milano, Edizioni Sylvestre Bonnard.

- Servolini, L., 1933, *Muzio Oddi. Architetto urbinato del Seicento*, Urbino, Società Tipografica Editrice Urbinate.
- Settle, T. B., 1971, *Ostilio Ricci, a bridge between Alberti and Galileo*, in Cain, J. et al. (a cura di), *XIIe Congrès International d'Histoire des Science*, Actes, Paris, 1971, III B, pp. 121–126.
- Settle, T. B., 1987, *The Tartaglia Ricci Problem: towards a Study of the Technical Professional in the 16th Century*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento, atti del convegno internazionale di studio Giovan Battista Benedetti e il suo tempo*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 217-226.
- Settle, T. B., 1995, *La rete degli esperimenti Galileiani*, in Baldo Ceolin, M. (a cura), 1995, *Galileo e la scienza sperimentale*, Padova, Dipartimento di fisica Galileo Galilei, pp. 11- 62.
- Severino, N., 2007, *Oddi Muzio: gnomonista coraggioso*, www.nicolaseverino.it, in «Biblioteca Digitale Gnomonica», Aprile 2007.
- Sgarbi, M., 2016, *Aristotele per architetti, ingegneri e artigiani*, in «Philosophical Readings», VIII.2 (2016), pp. 67-78.
- Shea, W. R., 1970, *Galileo's atomic hypothesis*, «Ambix», 17, 1970, pp. 13-27.
- Shea, W. R., 1974, *Galileo's Intellectual Revolution*, London, Mac Millan Press (*La rivoluzione intellettuale di Galileo*, Galluzzi, P. (trad. it.), Firenze, Sansoni).
- Shea, W. R., 2001, *Galileo e l'atomismo*, «Acta Philosophica», vol. 10, 2001, fasc. 2, pp. 257-272.
- Shea, W. R., 2013, *Guidobaldo del Monte: Galileo's Patron, Mentor and Friend*, Becchi A., Bertoloni Meli, D., Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access. pp. 95-104.
- Shelby, L., 1975, *Mariano Taccola and His Books on Engines and Machines*, in «Technology and Culture», 16(3), pp. 466-475.
- Siekiera, A. M., 2009, *L'ingegno e la maniera di Bernardino Baldi*, in Di Teodoro, F. P. (a cura di), 2009, *Saggi di letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, I, Firenze, Olschki, pp. 299-312.
- Siekiera, A. M., 2010, in Baldi, B., 2010, *Descrittione del palazzo ducale d'Urbino*, Alessandria, Edizioni dell'Orso.
- Sinisgalli, R., 1978, *Per la storia della prospettiva (1405-1605. Il contributo di Simon Stavin allo sviluppo scientifico della prospettiva artificiale ed i suoi precedenti storici*, Roma, L'Arma di Bretschneider.
- Sinisgalli, R., 1984, *I sei libri della prospettiva di Guidobaldo dei marchesi Del Monte dal latino tradotti, interpretati e commentati da Rocco Sinisgalli*, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- Sinisgalli, R., 2000, *A History of the Perspective Scene From Renaissance to the Baroque: Borromini in four dimensions*, Firenze, Edizioni Cadmo.
- Sinisgalli, R., 2001, *Verso una storia organica della prospettiva*, Roma, Kappa

- Sinisgalli, R., 2006, *Il nuovo De pictura di Leon Battista Alberti*, Roma, Kappa.
- Sinisgalli, 2009, *Galileo ed una specifica «Eredità Geometrica» di Federico Commandino*, in Sinisgalli, R. (a cura di), *L'arte della matematica nella prospettiva: atti del convegno internazionale di studi, Istituto svizzero di Roma, Centro internazionale di studi Urbino e la prospettiva, Roma-Urbino, 8-11 ottobre 2006*, CB Edizioni, Poggio a Caiano.
- Sinisgalli, R. e Vastola, S., 1992a, *Il planisfero di Tolomeo*, Firenze, Edizioni Cadmo.
- Sinisgalli, R. e Vastola, S., 1992b, *L'analemma di Tolomeo*, Firenze, Edizioni Cadmo.
- Sinisgalli, R. e Vastola, S., 1994a, *La rappresentazione degli orologi solari di Federico Commandino*, Firenze, Edizioni Cadmo.
- Sinisgalli, R. e Vastola, S., 1994b, *La teoria sui planisferi universali di Guidobaldo Del Monte*, Firenze, Edizioni Cadmo.
- Sinisgalli, R. e Vastola, S., 2000, *Il planisfero di Giordano Nemorario*, Firenze, Edizioni Cadmo.
- Sinopoli, A., 2015, *Il problema dell'equilibrio da Aristotele a Varignon*, Milano, FrancoAngeli.
- Solari, G., 1973, *22 Storie dei Duchi di Urbino tra il Sole e la Luna*, Arnoldo Mondadori Editore.
- Spike J. T., 1994, *Barocchi in Urbania*, in Cellini M. et al., *Federico Barocchi, Giovanni Francesco Guerrieri, Domenico Peruzzini: tre disegnatori delle Marche nella Collezione Ubaldini*, catalogo mostra Urbania, Urbania, Edizioni Biblioteca e civico Museo di Urbania.
- Stevin, S., 1955-1966, *The principal works of Simon Stevin*, Crone, E. et al. (a cura di), Amsterdam, Swets e Zeitlinger.
- Taccola, 1969, *Mariano di Jacopo detto il Taccola. Liber tertius de ingeneis ac edifiitiis non usitatis*, Beck, J. H. (a cura di), Milano, Il Polifilo.
- Tafuri, M., 1987, *Daniele Barbaro e la cultura scientifica veneziana del '500*, in *Cultura, scienze e tecniche nella Venezia del Cinquecento, atti del convegno internazionale di studio Giovan Battista Benedetti e il suo tempo*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 55-84.
- Tartaglia, N., 1537, *Nova scientia inventa da Nicolo Tartalea*, Vinegia, Stefano da Sabio.
- Tartaglia, N., 1543a, *Euclide megarense philosopho: solo introduttore delle scientie mathematice: diligentemente reassetato, et alla integrita ridotto per il degno professore di tal scientie Nicolo Tartalea, brisciano, secondo le due tradottioni: e per commune comodo & utilita di latino in volgar tradotto. Con una ampla espositione dello istesso tradottore di novo aggiunta*, Venezia, per Venturino Roffinelli ad instantia e requisitione de Guilielmo de Monferra, & de Pietro di Facolo da Vinegia libraro, & de Nicolo Tartaglia brisciano Tradottore.
- Tartaglia, N., 1543b, *Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi per Nicolaum Tartaleam*, Venetijs, per Venturinum Ruffinellum.
- Tartaglia, N., 1551, *Ragionamenti de Nicolo Tartaglia sopra la sua Trauagliata inuentione. Nelli quali se dichiara uolgarmente quel libro di Archimede Siracusano intitolato. De insidentibus aquae, con altre speculatiue pratiche da lui ritrouate sopra le materie, che stano, & chi non stano sopra lacqua ...*apresso di l'autore, Venetia, per Nicolo Bascarini.

- Tartaglia, N., 1556, *General trattato, de numeri et misure di Nicolo Tartaglia. Nel quale si dichiarano i primi principii, et la prima parte della geometria, con bellissimo, et facilissimo modo; cose utilissime, et diletteuoli, per tutte quelle persone, che si diletmano di sapere. Dimostrasi oltra di cio, la prattica di misurare ciascuna cosa, con brieve, & facile via*, in Vinegia, per Curtio Troiano.
- Tartaglia, N., 1565, *Iordani Opusculum de ponderositate Nicolai Tartaleae studio correctum*, Venetiis, apud Curtium Troianum.
- Tartaglia, N., 1959, *Quesiti et inventioni diverse*, I edizione 1546, Riproduzione in facsimile dell'edizione del 1554, Masotti, A. (a cura di), Brescia.
- Tasso, T., 1994, *Le Rime*, Basile, B., (a cura di), Roma, Salerno Editrice.
- Tassora, R., 2001, *Le Meditatiunculae de rebus mathematicis di Guidobaldo del Monte*, Tesi di dottorato, supervisore: P. D. Napolitani, Università di Bari.
- Thorndike, L., 1923, *History of magic and experimental science*, New York-London, Columbia University Press, MacMillan Co.
- Tiriticco, L., 2013, *La nuova teoria prospettica nei Perspectivae libri sex: il primato dell'architettura e della pittura nell'opera di Guidobaldo del Monte e in particolare nel De scenis*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 193-208.
- Tommasoli, W., 1978, *La vita di Federico da Montefeltro (1422-1482)*, Urbino, Argalia,
- Trabucco, O., 2010, «L'opere stupende dell'arti più ingegnose». *La recezione degli πνευματικά di Erone Alessandrino nella cultura italiana del Cinquecento*, Firenze, Olschki.
- Trabucco, O., 2015, *Architetti e uomini d'arme di fronte al Mechanicorum liber di Guidobaldo dal Monte*, in P. Caye, R. Nanni Romani e P. D. Napolitani (a cura di), *Scienze e rappresentazioni: saggi in onore di Pierre Souffrin. Atti del convegno internazionale, Vinci, Biblioteca Leonardiana, 26-29 settembre 2012*, Firenze, L.S. Olschki.
- Trenta, T., 1822, *Memorie e documenti per servire all'istoria del Ducato di Lucca*, Tomo VIII, Lucca, presso Francesco Bertini.
- Tuzzi, 1837, *Dizionario filosofico-pratico della lingua italiana compilato da Vincenzo Tuzzi*, Padova, Minerva.
- Ugolini, F., 1859, *Storia dei conti e duchi d'Urbino*, di Firenze, Grazzini, Giannini e C.
- Ugaglia, M., 2004, *Modelli idrostatici del moto da Aristotele a Galileo*, Roma, LUP.
- Ugaglia, M., 2015, *Peso e peso specifico in Aristotele*, in Caye, P., Nanni, R., Napolitani, P. D. (a cura di), *Scienze e rappresentazioni. Saggi in onore di Pierre Souffrin. Atti del convegno internazionale, Vinci, Biblioteca Leonardiana, 26-29 settembre 2012*, Biblioteca leonardiana. Studi e documenti, Firenze, L.S. Olschki, MMXV.
- Ugaglia, M., 2017, *La matematica immanente (e finita) di Aristotele*, in L. Grecchi (a cura di), *Immanenza e trascendenza in Aristotele*, Petite Plaisance, Dicembre 2017, pp.163-188.

- Ulivi, E., 1994, *Luca Pacioli, una biografia scientifica*, in Giusti, E., e Maccagni, C. (a cura di), *Luca Pacioli e la Matematica del Rinascimento*, Firenze, Giunti.
- Ulivi, E., 2002, *Scuole e maestri d'abaco in Italia tra Medioevo e Rinascimento*, in Giusti, E. (a cura di), *Un ponte sul Mediterraneo. Leonardo Pisano, la scienza araba e la rinascita della matematica in Occidente*, Firenze, Polistampa, pp. 121-159.
- Ulivi, E., 2008, *Le scuole d'abaco e insegnamento della matematica*, in *Il Rinascimento italiano e l'Europa*, Volume V, Le scienze, Fondazione Cassamarca, Vicenza, Angelo Colla Editore, pp. 403-420.
- Ulivi, E., 2009, *Documenti inediti su Luca Pacioli, Piero della Francesca e Leonardo da Vinci, con alcuni autografi*, in «Bollettino di storia delle scienze matematiche», XXIX, 1, 2009.
- Vagnetti, L., 1979, *De naturali et artificiali perspectiva. Bibliografia ragionata delle fonti teoriche e delle ricerche di storia di prospettiva; contributo alla formazione della conoscenza di un'idea razionale, nei suoi sviluppi da Euclide a Gaspard Monge*, Firenze, Edizione della cattedra di composizione architettonica IA di Firenze e della L.E.F.-Libreria editrice fiorentina.
- Vailati, G., 1911a, XX. *Del concetto di centro di gravità nella statica di Archimede*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 79-90.
- Vailati, G., 1911b, XXI. *Il principio dei Lavori Virtuali da Aristotele a Erone d'Alessandria*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 91-106.
- Vailati, G., 1911c, XXV. *La dimostrazione del principio della Leva data da Archimede nel libro primo sull'equilibrio delle figure piane*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 115-117.
- Vailati, G., 1911d, XXX. *Le speculazioni di Giovanni Benedetti sul moto dei gravi*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 161-178.
- Vailati, G., 1911e, CXVI. *La più recente definizione di matematica*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 528-533.
- Vailati, G., 1911f, CLXXXVII. *La scoperta della condizione d'equilibrio d'un grave scorrevole lungo un piano inclinato*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 834-841.
- Vailati, G., 1911g, CCII. *Sullo sviluppo storico della distinzione tra "Peso" e "Massa"*, in Vailati (1911), *Scritti di Vailati (1863-1909)*, Calderoni, M., Ricci, U., Vacca, G. (a cura di), Leipzig-Firenze, Johann Ambrosius Barth Verlagsbuchhandlung and Successori B. Seeber Librai-Editori, pp. 902-905.

- Valerio, F. Vidon, A., 2018, *Giulio Savorgnan. Il gentiluomo del Rinascimento e le fortezze della Serenissima*, Udine, Gaspari.
- Valla, G., 1501, *De expetendis et fugiendis rebus opus*, Venetia, A. Manutio.
- Valleriani, M., 2009, *The transformation of Aristotle's «Mechanical Questions». A bridge between the Italian Renaissance Architects and Galileo's First New Science*, in «Annals of Science», 66, 2, 2009, pp. 283-308.
- Valleriani, M., 2010, *Galileo Engineer*, Boston Studies in the Philosophy and History of Science, Dordrecht, Springer.
- Valleriani, M. (a cura di), 2013, *Metallurgy, Ballistics and Epistemic Instruments. The Nova scientia of Nicolò Tartaglia. A New Edition*, Berlin, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Sources 6, Edition open access.
- Valleriani, M. (a cura di), 2017, *The Structures of Practical Knowledge*, Switzerland, Springer.
- Valleriani, M. e Renn, J., 2000, *Galileo and the challenge of the Arsenal*, Firenze, Letture galileiane, pp. 481-503.
- Van Dyck, M., 2005, *The paradox of conceptual novelty and Galileo's use of experiments*, in «Philosophy of science», 72(5), pp. 864-875.
- Van Dyck, M., 2006a, *An archaeology of Galileo's science of motion*, Tesi di dottorato, Supervisore: Erik Weber, Ghent, Belgium.
- Van Dyck, M., 2006b, *Gravitating towards Stability: Guidobaldo's Aristotelian-Archimedean Synthesis*, in «History of Science», 2006, 44(4), pp. 373-407.
- Van Dyck, M., 2013, «Argumentandi modus huius scientiae maxime proprius.» *Guidobaldo's Mechanics and the Question of Mathematical Principles*, in Becchi, A., Bertoloni Meli, D. e Gamba, E. (a cura di), 2013, *Guidobaldo del Monte (1545-1607). "Mathematics" and technics from Urbino to Europe*, Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, Berlin, Edition Open Access, pp. 9-34.
- Vandi, L., 2016, *Muzio Oddi architetto urbinato e consulente artistico. La cattedrale medievale di Lucca e l'architettura 'alla moderna'*, in «Arte Marchigiana», Vol. 4, pp. 31-55.
- Vasari, G., 1550, *Vite dei più illustri pittori e scultori da Cimabue sino ai nostri giorni*, Firenze, edizione per i tipi di Lorenzo Torrentino.
- Vecce, C. (a cura di), 1992, *Leonardo da Vinci. Scritti*, Milano, Mursia.
- Ventrice, P., 1998, *Architettura militare e ingegneria tra XVI e XVII secolo a Venezia*, in Fiocca, A. (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Olschki, pp. 309-330.
- Vernaccia, P. G., 1740, *Notizie Istoriche di Muzio Oddi Matematico raccolte da Alvino Diopeio pastore Arcade*, BUU, Fondo del Comune, ms 60, cc 1-24.
- Vernarecci, A., 1889, *Della colpa e della prigionia di Muzio Oddi*, in «Nuova Rivista Misena», a. II (1889), nn. 7-9, Arcevia.

- Vernarecci, A., 1893, *Della colpa e della prigionia di Muzio Oddi*, in «Nuova Rivista Misena», a. VI (1893), n. 12, Arcevia.
- Vetrano, F. (a cura di), 2001, *La scienza del Ducato di Urbino*, Urbino, Accademia Raffaello.
- Villalpando, J. B., 1596-1604, *Hieronymi Pradi et Ioannis Baptistae Villalpandi ... In Ezechielem explanationes et apparatus urbis, ac templi Hierosolymitani commentariis et imaginibus illustratus. Opus tribus tomis distinctum*, Romae, Zanetti.
- Virgili, P., 1587, *Di Polidoro Virgilio da Urbino de gli inventori delle cose libri otto tradotti per M. Francesco Baldelli*, Fiorenza, per Filippo e Iacopo Giunti e fratelli.
- Virgili, P., 2005, *De l'origine e de l'inventori de le leggi, costumi, scienze, arti*, Venezia, 1545, ristampa anastatica, Urbino, Accademia Raffaello.
- Vitruvio, 1567, *I dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio, Tradotti & commentati da Monf. Daniel Barbaro eletto Patriarca d'Aquileia, da lui riueduti & ampliati; & hora in piu commoda forma ridotti*, Vinegia, Appresso Francesco de Franceschi Senese, et Giouanni Chrieger Alemanno Compagni.
- Viviani, V., 1674, *Quinto libro degli elementi d'Euclide, ovvero Scienza universale delle proporzioni spiegata colla dottrina del Galileo, con nuou'ordine distesa, e per la prima volta pubblicata da Vincenzio Viviani ultimo suo discepolo. Aggiuntevi cose varie, e del Galileo, e del Torricelli ...con altro che dall'indice si manifesta*, in Firenze, alla Condotta.
- Verstegen, I., 2019, *Federico Barocci and the Science of Drawing in Early Modern Italy*, Heidelberg: arthistoricum.net.
- Volpe, G., 2007, *Urbino. I luoghi della scienza*, Centro Internazionale di Studi Urbino e la Prospettiva, Urbania.
- Yan, H.-S. e Ceccarelli, M. (a cura di), 2009, *International Symposium on History of Machines and Mechanisms. Proceedings of HMM 2008*, Springer, Netherlands.
- Wallace, W. A., 1981, *Prelude to Galileo. Essays on medieval and sixteenth-century sources of Galileo's thought*, Dordrecht, D. Reidel.
- Wallace, W. A., 1984, *Galileo and his sources. The heritage of the Collegio Romano in Galileo's science*, Princeton, N. J., Princeton University press.
- Wallace, W.A., 1992, *Galileo's Logic of Discovery and Proof: The Background, Content and Use of His Appropriated Treatises on Aristotle's Posterior Analytics*, Dordrecht - Boston, Kluwer Academic.
- Walters, G. R., 1978, *Federico Barocci. Anima naturaliter*, New York-London, Garland.
- Walton, S. A., 2017, *Technologies of Pow(d)er: Military Mathematical Practitioners' Strategies and Self-Presentation*, in Cormack, L. B., Walton, S. A. e Schuster, J. A., *Mathematical Practitioners and the Transformation of Natural Knowledge in Early Modern Europe*, Studies in History and Philosophy of Science, Vol. 45, Switzerland, Springer, pp. 87-113.
- Waźbiński, Z., 1994, *Il cardinale Francesco Maria Del Monte (1549-1626)*, Firenze, L. S. Olschki.

- Whiteside, D. T., 1974, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University press, vol VI.
- Zaccagnini, G., 1908, *Bernardino Baldi nella vita e nelle opere*, Pistoia, Tipo-litografica toscana.
- Zampetti, P., 1982, *Chi era Federico da Montefeltro?*, in «Notizie da Palazzo Albani», pp. 6-12,
- Zerlenga, O., 2016, *Federico Commandino (1509–1575)*, in Cigola, M. (a cura di), *Distinguished Figures in Descriptive Geometry and Its Applications for Mechanism Science, From the Middle Ages to the 17th Century*, Switzerland, Springer.