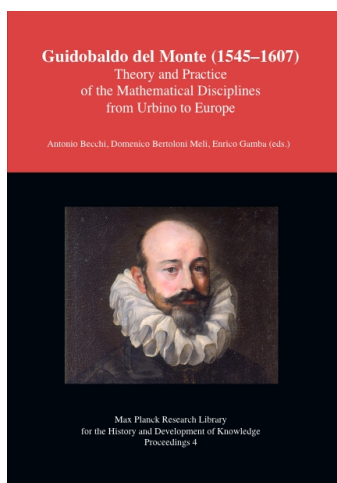


Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge

Proceedings 4

Enrico Gamba e Roberto Mantovani:

Gli strumenti scientifici di Guidobaldo del Monte



In: Antonio Becchi, Domenico Bertoloni Meli and Enrico Gamba (eds.): *Guidobaldo del Monte (1545–1607) : Theory and Practice of the Mathematical Disciplines from Urbino to Europe*

Online version at <http://edition-open-access.de/proceedings/4/>

ISBN 9783844242836

First published 2013 by Edition Open Access, Max Planck Institute for the History of Science under Creative Commons by-nc-sa 3.0 Germany Licence.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

Printed and distributed by:

Neopubli GmbH, Berlin

<http://www.epubli.de/shop/buch/27498>

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>

Chapter 10

Gli strumenti scientifici di Guidobaldo del Monte

Enrico Gamba e Roberto Mantovani

La strumentazione scientifica è un aspetto poco conosciuto, e tuttavia di notevole importanza, dell'opera di Guidobaldo del Monte. Nella ricognizione del materiale manoscritto e a stampa dello scienziato pesarese, abbiamo cercato di mettere ordine, anche cronologicamente, nelle numerose testimonianze relative all'invenzione, perfezionamento, utilizzo di numerosi apparati e dispositivi meccanici, destinati sia a impieghi di ordine pratico, sia a scopi osservativi e sperimentali.

In questo spiccato interesse verso gli strumenti scientifici un ruolo di primaria importanza assunse, nell'ambito del vivace e stimolante ambiente scientifico del ducato, la nascita e lo sviluppo a Urbino verso la metà del Cinquecento di una officina specializzata nella costruzione di strumenti scientifici che presto ottenne vasta fama. Fondatore dell'officina e capostipite di una lunga ed importante schiera di artigiani-meccanici urbinati fu Simone Barocci (1525–1608).¹ Stando alle fonti note Guidobaldo collaborò con questo artefice, come vedremo più avanti, alla costruzione di almeno due strumenti scientifici—compasso di proporzione e orologio a calice—, ma è indubbio che la loro collaborazione² dovette essere assai più frequente e duratura di quanto i pochi documenti rinvenuti riescano a testimoniarc.

È noto che un'importante porzione dell'opera di Guidobaldo sia stata spesa, sul piano teorico, nel tentativo di sistematizzare la teoria delle macchine semplici; in tale sforzo assiomatico-dimostrativo egli non perse mai di vista la necessità di evidenziare una concordanza teoria-pratica, mettendo in luce la componente empirico-operativa e rimarcando l'utilità pratica delle “discipline mathematiche.” Sotto questo punto di vista la presenza di una qualificata officina di meccanici nel ducato dovette rappresentare per il nostro un forte stimolo non solo verso una più meditata concettualizzazione della meccanica, ma anche per studiare ed approfondire le applicazioni pratiche delle discipline matematiche che allora aveva-

¹ Simone, fratello del famoso pittore Federico, è figlio d'arte. Il padre Ambrogio, era un orefice che all'occorrenza “lavorava di cavo e di rilievo modelli, sigilli et astrolabij.”

² Nel Proemio alla *Fabrica et uso del compasso polimetro* Muzio Oddi (1633), parlando di Guidobaldo, afferma che “in quei tempi [1570c.] si tratteneva in Urbino per conferire i suoi studij con il Commandino et spesso era alla casa dove lavorava il Baroccio.”

no, quali discipline “subalterne,” la topografia, la “scientia” delle macchine, la prospettiva, l’architettura civile e militare, la cartografia.

In aggiunta Guidobaldo ebbe l’opportunità di vivere in un contesto culturale di altissimo livello per la presenza nel ducato di figure quali Federico Comandino (1509–1575)—scienziato-umanista di levatura europea—Bernardino Baldi (1553–1617) e Muzio Oddi (1569–1639).

Poteva inoltre beneficiare di quella tradizione architettonica iniziata ai tempi di Federico da Montefeltro e mantenuta viva lungo il periodo roveresco, che aveva prodotto una folta schiera di architetti e tecnici civili e soprattutto militari. Lo stesso padre di Guidobaldo, Raniero del Monte, aveva notevole competenza nel campo architettonico-militare. Assistiamo così, anche in Urbino, ad un processo di specializzazione nel settore strumentale, stimolato primariamente da tre fattori: l’esistenza di un ambiente scientifico locale di alto livello, sensibile a questo tema³; la contemporanea formazione di un ambiente tecnico avanzato, locale e non, che produce un sostanzioso aumento della domanda di strumenti che ormai fanno parte della dotazione di figure emergenti, ma essenziali, quali topografi, agrimen-sori, architetti civili e soprattutto militari; infine una committenza ricca, favorita anche dai duchi d’Urbino. Lo stesso Francesco Maria II possedeva orologi e strumenti matematici costruiti dal Barocci, e molti di essi venivano richiesti da nobili e prelati, o inviati in dono presso le corti d’Italia e d’Europa. E’ in questo favorevole quadro politico, e di competenze tecnico-scientifiche, che deve inquadrarsi l’interesse di Guidobaldo verso gli apparati strumentali.

È probabile che l’elenco degli strumenti che qui presentiamo, individuati tra gli scritti, o semplicemente grazie a testimonianze coeve e successive, non sia esaustivo di tutta la produzione scientifica di Guidobaldo; non si dimentichi che molte sue carte ed opere andarono perdute e che non sempre l’ideazione e la realizzazione di strumenti scientifici veniva accompagnata da registrazioni scritte. C’è un’importante testimonianza del figlio di Guidobaldo, Orazio, il quale scrivendo a Galileo⁴ a proposito di alcuni documenti inediti del padre in suo possesso, afferma di possedere “la fabbrica di alcuni istromenti ritrovati da lui, delle quali tutte cose vi sono le figure intagliate.” Sembra, quindi, che Guidobaldo volesse pubblicare un libro sugli strumenti, visto che aveva pronte le xilografie delle relative figure. Naturalmente non ci è dato sapere quali strumenti stesse preparando, ma ciò non può che rafforzare l’idea di un interesse e di una produttività strumentale senz’altro maggiore di quanto ci è dato conoscere.

³Tale ambiente porterà Muzio Oddi, allievo di Guidobaldo, a focalizzare gran parte della propria produzione scientifica verso la strumentazione. Due delle sue opere più significative vennero dedicate rispettivamente allo squadro agrimensorio (Oddi 1625) e al compasso polimetro (Oddi 1633).

⁴*Orazio del Monte a Galileo*, Crema 16 giugno 1610 (Galilei 1968, vol. X, 371).

10.1 Gli strumenti di Guidobaldo

Al fine di facilitare la distinzione tra funzioni e contesti d'uso, abbiamo ritenuto utile fornire una classificazione di massima degli strumenti scientifici elaborati da Guidobaldo inserendo in essa sia quelli da lui ideati, sia quelli perfezionati. Nello schema è stato assegnato ad ogni strumento una data che primariamente vuole indicare l'anno d'invenzione; quando ciò non è stato possibile si è riportata la data della prima realizzazione nota.

Strumenti da disegno: ellissografo (1579), strumento a regoli e a filo per l'iperbole (1587 c.), compasso per circonferenze a largo raggio (1579)

Strumenti per il rilevamento: teodolite astronomico (1579c.), squadro (1589c.)

Strumenti di calcolo: compasso di proporzione (1570c.), moltiplicatore meccanico delle frazioni di grado (1579)

Strumenti come apparati sperimentali: libra (1577), sistemi di carrucole (1577), bilancia idrostatica (1587c.)

Strumenti per la misura del tempo: orologio solare a rifrazione tipo calice (1572), orologio solare a rifrazione tipo fontana (1587–1601).

Naturalmente ogni classificazione ha sempre qualcosa di arbitrario e la nostra non sfugge a tale regola. Ad esempio il compasso di proporzione può essere inteso, ad un tempo, come strumento da disegno oltre che di calcolo, perché risolve il problema di dividere un segmento, o una circonferenza, in un numero prefissato di parti uguali.

Infine va segnalata l'assenza di strumenti di tipo prospettico, nonostante che Guidobaldo pubblichi il più importante testo di prospettiva⁵ del XVI secolo, nel quale non compare nessuno strumento. Analizziamo ora ciascuno dei punti della classificazione.

10.2 Strumenti da disegno

Nel 1579 Guidobaldo pubblica a Pesaro un'opera di notevole spessore scientifico, il *Planisphaerium universalium theorica* (Monte 1579), diviso in due libri, dove affronta il problema, allora assai dibattuto, della risoluzione della sfera celeste sul piano. La questione aveva assunto operativamente una notevole importanza con la diffusione in Occidente dell'astrolabio da parte degli arabi. L'utilizzo della proiezione stereografica polare aveva costretto i vari costruttori a dotare gli astrolabi di un numero sempre maggiore di dischi ciascuno dei quali forniva la rappresentazione della sfera celeste per una data latitudine. Questa proiezione, utilizzata operativamente all'inizio del Cinquecento da Johannes Stöffler

⁵Cfr. (Monte 1600). In quest'opera non compaiono strumenti prospettici.

nella costruzione dell'astrolabio, affondava le sue radici storiche nelle opere tolemaiche del *De Analemmate* e del *Planisphaerium*, quest'ultima poi riportata in auge da un "commentarius" del Commandino nel 1558 (Commandino 1558). Era quindi un argomento che Guidobaldo conosceva bene per essere stato ampiamente trattato dal suo maestro con quel rigore geometrico che gli competeva e che egli aveva ben assimilato. I tentativi, intorno alla metà del Cinquecento, d'introdurre una rappresentazione grafica della sfera sul piano che fosse indipendente dalla latitudine, spinsero Guidobaldo ad approfondire il tema. Le teorie del planisfero universale di Juan de Rojas Sarmiento e di Gemma Frisio erano state proposte dai loro autori senza dimostrazioni geometriche e a fini meramente pratici. Il programma del *Planisphaeriorum* nasce proprio per ovviare a tali carenze teoriche. Guidobaldo affronta nel primo libro la teoria del planisfero di Gemma Frisio e nel secondo quella proposta da Juan de Rojas. Le due costruzioni si differenziano nella scelta del polo proiettivo che nel primo caso è individuato nel punto equinoziale, nel secondo caso nel medesimo punto equinoziale portato all'infinito. Scorrendo l'opera colpisce la precisione quasi maniacale con la quale egli dimostra i principi matematici che sottendono le due teorie, forse minuziosamente trattate per esigenze didattiche e per facilitarne una maggiore diffusione. In questa rielaborazione teorica Guidobaldo non trascura l'aspetto dell'esecuzione pratica dei nuovi planisferi proponendo la realizzazione di due nuovi strumenti da disegno per facilitare il tracciamento di curve quali gli archi di circonferenza ad ampio raggio e archi di ellisse.

10.2.1 Il compasso per circonferenze ad ampio raggio

Nel primo libro del *Planisphaeriorum* Guidobaldo dimostra per la prima volta che gli elementi proiettivi del planisfero di Gemma Frisio sono linee rette e cerchi. In particolare fornisce la dimostrazione geometrica che alcuni meridiani e paralleli, quelli vicini agli assi diametrali del planisfero, sono archi di circonferenze ad ampio raggio. Tracciare con precisione tali curve, soprattutto in planisferi di media⁶ o notevole grandezza, comportava serie difficoltà tecniche sia per l'operazione, alquanto incerta, d'individuare il centro quando si hanno grandi distanze radiali, sia per la mancanza d'idonei strumenti. Per ovviare a tali difficoltà Guidobaldo inventa uno strumento (Monte 1579, 124–128) ad hoc in grado di disegnare archi di circonferenza passanti per tre punti dati quando sono quasi allineati. Il suo apparato⁷ meccanico è costituito da un paio di prismi a forma di cuneo e da un sistema articolato triangolare (Figura 10.1) formato da due regoli incernierati su

⁶Per media grandezza Guidobaldo intende il diametro di un piede, il piede di Pesaro misurava 34 cm.

⁷Circa i materiali più idonei per la costruzione dello strumento Guidobaldo cita il ferro, il bronzo, o il legno duro.

un perno *B* dove è posizionato anche uno stilo appuntito. Per tracciare l'arco di circonferenza passante per i punti *V*, *I*, *X* si posizionano preliminarmente la punta dello stilo nel punto *I* e gli spigoli *Y* e *Z* dei due prismi rispettivamente in contatto con i punti *V* e *X*. Mettendo in leggera rotazione il sistema avendo cura di mantenere costante il contatto tra spigoli e lati dei regoli, lo stilo tratterà la curva cercata. Guidobaldo descrive e disegna lo strumento in modo molto accurato, per renderne più agevole possibile la costruzione.

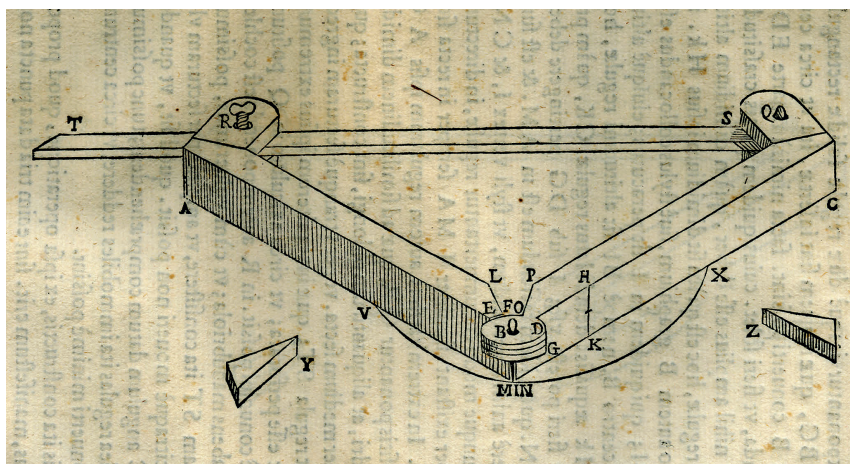


Figura 10.1: Compasso per circonferenze a largo raggio. *Planisphaerium universalium theoricæ*, Pesaro 1579. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

10.2.2 L'ellissografo

Nel secondo libro del *Planisphaerium* Guidobaldo dimostra per la prima volta che nella proiezione ortografica equinoziale del planisfero di de Rojas i cerchi meridiani sono archi di ellisse.⁸ Quindi descrive due metodi grafici per disegnare un'ellisse, il primo dei quali, classico, utilizza uno stilo e un filo di lunghezza costante. Nel fornire il secondo metodo Guidobaldo descrive l'ellisso-grafo (Monte 1579, 213–216), uno strumento da lui ideato per disegnare archi di

⁸Gemma Frisius, pur riconoscendo che non si tratta di cerchi, parla di curve anomali; De Rojas, invece, le lascia senza nome ma ha il merito comunque di disegnarle in forma corretta per punti.

ellisse.⁹ Prima di questo strumento queste curve venivano disegnate per punti o con metodi poco sicuri.¹⁰ Guidobaldo, conscio di ciò, propone un apparato nuovo in grado di disegnare con precisione quarti di ellisse in modo continuo (Figura 10.2).

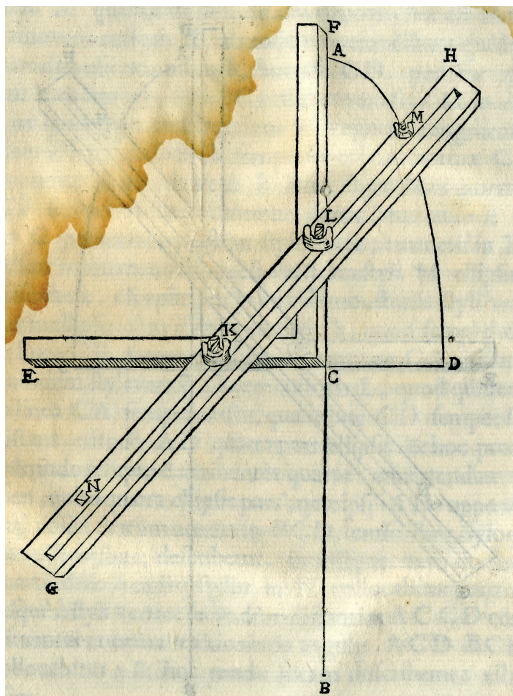


Figura 10.2: L'ellissografo. *Planisphaeriorum universalium theorica*, Pesaro 1579. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

⁹Si noti che Simone Stevino cita nelle sue *Mémoires mathématiques* (Stevin 1605-1608, vol. II, libro I) il metodo utilizzato da Guidobaldo e ciò a riprova che le sue opere erano già conosciute ed apprezzate.

¹⁰Tra i contemporanei che hanno utilizzato il metodo per punti Guidobaldo cita il Dürer e Commandino. Albrecht Dürer aveva descritto nella sua *Institutionum Geometricarum* (Dürer 1532) un metodo per disegnare le coniche. Lo stesso aveva fatto il Commandino nel *De Horologiorum Descriptione* e in particolare nella descrizione degli orologi solari orizzontali dove aveva fornito un teorema per disegnare per punti l'ellisse. Ma se Commandino si era limitato a fornire un teorema geometrico il Dürer aveva costruito un vero e proprio apparecchio che a suo dire disegnava ellissi ma che in realtà costruiva curve che si torcevano su se stesse.

Lo strumento è costituito da una squadra e da un regolo in cui è praticata una scanalatura nella quale possono scorrere ed essere bloccati in qualsiasi posizione due cursori. Uno stilo può essere fissato a piacere in uno dei due fori¹¹ agli estremi del regolo a seconda che si voglia disegnare il quarto di ellisse superiore o inferiore. Inizialmente si regola la distanza tra i cursori in modo che siano spaziati secondo la differenza tra i due semiassi. Posizionata la squadra lungo i semiassi dell'ellisse è sufficiente far scorrere i cursori lungo i lati della squadra per tracciare il quarto d'ellisse. Un primo aspetto notevole da sottolineare consiste nel modo con cui Guidobaldo presenta l'ellissografo, fornendo le immagini dello strumento completo, di alcune delle parti che lo compongono, e degli esplosi (Monte 1579, 105–106; Figure 10.3 e 10.4) fatto più unico che raro per un testo del 1579.

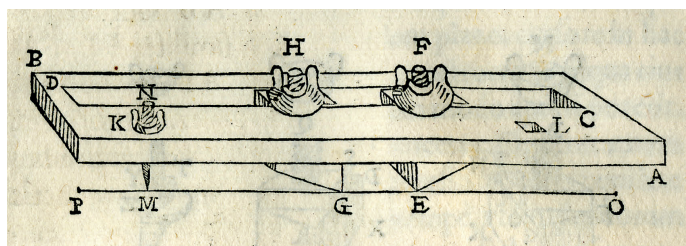


Figura 10.3: Particolare dell'ellissografo. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

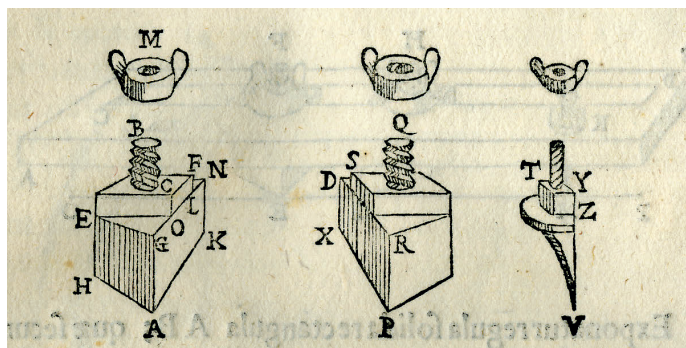


Figura 10.4: Particolare dell'ellissografo, in esploso. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

¹¹Ciascun foro dista, rispetto al cursore più lontano, della lunghezza del semiasse maggiore dell'ellisse.

Insomma Guidobaldo si prende cura di fornire dettagliate informazioni per la costruzione in officina dello strumento (ricordando molto probabilmente le domande in proposito dell'artefice Simone Barocchi) e praticamente ne fa il progetto esecutivo; stando ai nostri criteri mancano solo le quote per renderlo simile a un progetto esecutivo.¹² L'intento evidente è d'incrementarne la diffusione. Forse è per questo che il *Planisphaerium* viene ristampato a Colonia due anni dopo.

La seconda considerazione riguarda la sua diciamo “derivazione” dallo strumento di Nicomede¹³ per tracciare la concoide, un'immagine di quest'ultimo si trova nel *General trattato* del matematico bresciano Nicolò Tartaglia (1499–1557) (1560, ff. 48–49; Figura 10.5).

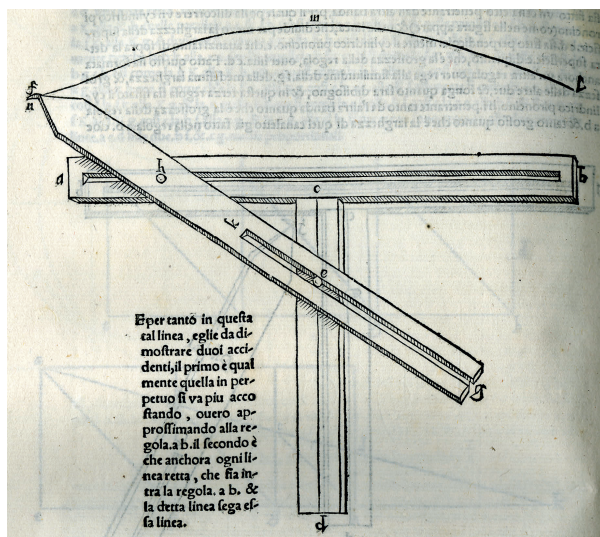


Figura 10.5: Strumento di Nicomede per tracciare la concoide. *General trattato de numeri et misure*, parte quinta, Venezia 1560. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

È evidente che analiticamente la concoide ha ben poco a che fare con l'elisse, ma per configurazione meccanica i due strumenti sono molto simili. Basta

¹²Per una rappresentazione secondo criteri grafici simili di uno strumento topografico si veda (Castrioti 1564), a riprova della simbiosi nel ducato di Urbino tra ambito tecnico e ambito scientifico, tenuto conto poi che Guidobaldo spesso ricopriva anche mansioni tecniche.

¹³Questo strumento aveva ispirato la costruzione di un particolare compasso da parte di un allievo di Regiomontano, tale Johann Werner (1468–1528), descritto in un *libellus* del 1522. Probabilmente quest'ultimo apparato aveva ispirato anche quello del Dürer.

infatti rendere mobile il punto fisso *e* perché lo strumento di Nicomede tracci elissi anziché concoidi. Ciò è interessante perché fa comprendere come venivano sviluppati gli strumenti polivalenti. Ad esempio, l'urbinate Felice Paciotti (1534–1622) realizza un unico strumento in grado di tracciare le tre curve coniche.¹⁴ Infine va sottolineato che lo strumento di Guidobaldo ha il pregio non trascurabile di disegnare l'ellisse partendo dalla conoscenza predeterminata dei semiassi anziché dai due fuochi “quia vero in astrolabio ellipsis describendae semper dati sunt axes” (Monte 1579, 102).

10.2.3 Strumento per disegnare l'iperbole

Nel manoscritto parigino delle *Meditatiunculae*¹⁵ compare uno strumento per tracciare le iperboli, presentato in due versioni, a regoli e a filo (Figure 10.6 e 10.7).¹⁶

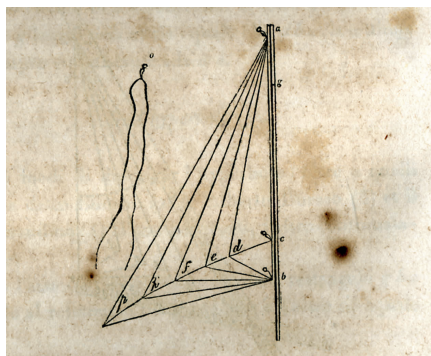


Figura 10.6: Strumento a fili per disegnare l'iperbole. Da *Meditatiunculae*, Bibliothèque Nationale, Parigi.

A questo proposito Guidobaldo cita un passo del *Liber de horologiorum* dove il Commandino fa cenno ai metodi per tracciare le coniche esposti da Eutocio e dal Dürer, e dove propone un proprio metodo generale di tracciamento per punti. Si tratta comunque di una costruzione grafica che non viene tradotta in un qualche

¹⁴Cfr. (Oddi 1638, 183–192; Rose 1970).

¹⁵*Meditatiunculae Guidi Ubaldi ex Marchionibus Montis S. Mariae de rebus mathematicis*, Bibliothèque Nationale, Parigi, ms. lat., 10246. Il manoscritto è una sorta di zibaldone contenente scritti su svariati argomenti di matematica e fisica. E' databile all'incirca al periodo 1587–92. Alcune parti del manoscritto sono state pubblicate da Libri (1838–1841, vol. IV). I disegni con le descrizioni si trovano nel vol. IV, pp. 380–383, da cui sono tratte le immagini sopra riportate.

¹⁶*Ibidem*, cc. 7–8.

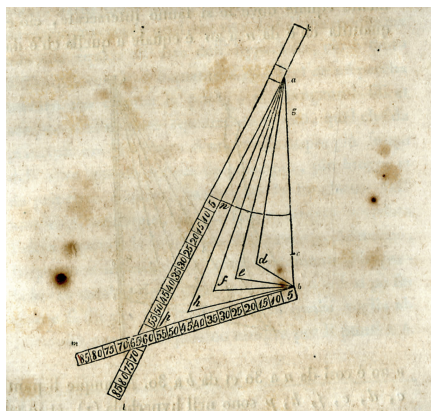


Figura 10.7: Strumento a regoli per disegnare l'iperbole. Da *Meditatiunculae*, Bibliothèque Nationale, Parigi.

strumento.¹⁷ Ed   quello che fa Guidobaldo proponendo un dispositivo che   una materializzazione della propriet  delle iperboli di essere il luogo dei punti la cui distanza dai due fuochi mantiene una differenza costante. Si tratta di due regoli, di cui quello inferiore *bm*, interamente graduato,   munito di una punta fissa situata nell'estremit  *b*. L'altro regolo *kl*, pi  lungo, graduato a partire dal punto *n*, ha un cursore *a* munito anch'esso di punta. Le due punte vanno infisse dove si vogliono posizionare i fuochi dell'iperbole, i due regoli possono ruotare intorno alle rispettive punte. Quindi si traccia un ramo dell'iperbole individuandone i punti *p*, *h*, *f*, *e*, *d*, mediante l'intersezione delle divisioni sui due regoli contrassegnate dagli stessi numeri. In questo modo la differenza delle distanze dei vari punti dell'iperbole dai due fuochi si mantiene costante. E' molto probabile che questo strumento fosse tra quelli del progettato testo sugli strumenti, insieme all'ellissografo e al compasso sopra descritti.

10.3 Strumenti per il rilevamento

10.3.1 Lo squadro

Guidobaldo era anche un tecnico di prim'ordine: soprintendeva alla costruzione e riparazioni di acquedotti, ispezionava le fortificazioni, faceva prove di tiro con l'artiglieria, studiava come rendere pi  efficienti le macchine, era naturale

¹⁷Cfr. (Commandino 1562, ff. 58v-59v).

che prestasse la sua attenzione anche all'agrimensura. Nelle pagine iniziali delle *Meditatiunculae* troviamo un capitoletto intitolato *Del misurar*¹⁸ nel quale Guidobaldo descrive preliminarmente i metodi geometrici di Leon Battista Alberti e Gemma Frisio per misurare "l'altezze, profondità et inclinationi." Segue una pagina dedicata allo squadro agrimensorio¹⁹ nella quale s'illustrano alcuni semplici utilizzi dello strumento per la misura delle aree dei terreni, e per il rilevamento degli angoli. La descrizione è supportata da disegni (Figura 10.8).

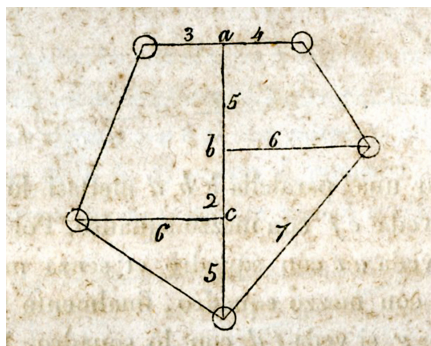


Figura 10.8: Uso dello squadro agrimensorio. Da *Meditatiunculae*, Bibliothèque Nationale, Parigi.

Il metodo utilizzato è quello di scomporre le superfici in triangoli e trapezi rettangoli utilizzando uno o più punti di stazione. Lo strumento nella versione di Guidobaldo è costituito da un cilindro avente fenditure "spaccature" longitudinali²⁰ a 90° e a 45° che forniscono i seguenti angoli fissi di traguardo: 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° . La forma cilindrica dello squadro, a differenza del modello a disco piatto²¹, presentava notevoli vantaggi in quanto forniva piani anziché linee visuali, permettendo di traguardare angoli anche su terreni non pianeggianti.²² Un'altra notevole caratteristica tecnica dell'apparato è lo snodo mediante il

¹⁸ *Ms. cit.*, cc. 9–11.

¹⁹ *Ibidem*, c. 12. Il titolo è *Misurar a lo squadro tagliato in otto parti*, questa pagina è riprodotta in (Libri 1838-1841, vol. IV, 384-392).

²⁰ Nelle collezioni mediche presso il Museo Galileo di Firenze, è conservato uno squadro marcato "Urbino 1654," che oltre alle fenditure a 90° e 45° ha una fenditura a $30^\circ/60^\circ$.

²¹ I primi squadri erano dei dischi in legno con due fenditure ad angolo retto. Tartaglia, ancora nella terza parte del terzo libro del suo *General trattato di numeri e misure* (Tartaglia 1556-1560) descrive il modello piatto munito di forellini o traguardi alle estremità dei due diametri ortogonali.

²² Guidobaldo precisa che se la misura avvenisse in un terreno non pianeggiante: "Guardisi per le spaccature la sommità del monte facendo star lo squadro sempre retto all'horizonte," *Meditatiunculae*,

quale lo squadro è connesso al sostegno; con esso era possibile disporre orizzontalmente il piano della fenditura principale così da avere a disposizione, tramite le altre fenditure, un angolo visuale di 45° per misurare le altezze. Guidobaldo presenta lo squadro nella forma cilindrica che si manterrà tale per secoli. Ad esso l'architetto urbinato Muzio Oddi dedica nel 1625 un'intera opera,²³ la prima in età moderna dedicata esclusivamente ad uno strumento agrimensorio. Si può dire che con l'Oddi nasce l'agrimensura moderna.

10.3.2 Il teodolite astronomico

All'inizio dei *Problematum astronomicorum libri septem*, pubblicati postumi a Venezia nel 1609 (Monte 1609, ff. 2v–3v), Guidobaldo, dopo aver affrontato il problema delle scale graduate, propone uno strumento (Monte 1609, ff. 7r–7v) per rilevare l'altezza e l'azimut dei corpi celesti, cioè una sorta di teodolite astronomico (Figura 10.9).

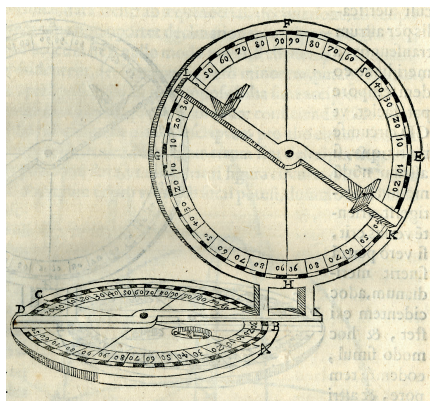


Figura 10.9: Il teodolite astronomico di Guidobaldo. *Problematum astronomicorum libri septem*, Venezia 1609. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

La sua conformazione è molto simile a quella del teodolite terrestre le cui origini vengono generalmente ricondotte al modello²⁴ di Leonard Digges descritto per la prima volta nel 1571. Tuttavia in quegli anni altri autori stavano elaborando analoghi strumenti, è quanto risulta dal confronto tra lo strumento di Guidobaldo

ms. cit., c. 12.

²³Lo squadro dell'Oddi ha le stesse fenditure dello squadro urbinato conservato a Firenze (1625).

²⁴Cfr. (L. Digges and T. Digges 1571), pubblicato postumo dal figlio di Leonard, Thomas Digges.

e il teodolite topografico che compare nel testo di geometria pratica di Cosimo Bartoli (1564, f. 98r; f. 102r nell'edizione del 1589) (Figura 10.10).



Figura 10.10: Il teodolite di Cosimo Bartoli. *Del modo di misurar*, Venezia 1589. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

Si noti però che il teodolite del Bartoli non è previsto per osservazioni astronomiche, bensì per rilievi topografici in campagna, quindi con minori requisiti di precisione; fatti salvi poi i forti dubbi se uno strumento del genere sia stato realizzato ed effettivamente impiegato dai topografi dell'epoca. Comunque sia, entrambi gli strumenti restavano nell'ambito della tradizione perché di ridotte dimensioni e perché richiedevano capacità tecnico-costruttive che non oltrepassavano le lavorazioni dell'epoca. L'apparato di Guidobaldo è costituito da due cerchi metallici graduati: uno orizzontale con bussola, l'altro verticale, quest'ultimo fornito di un'alidada con mire a fenditure aperte. I cerchi graduati presentano le incisioni delle scale come nei più tradizionali astrolabi, ai quali lo strumento appare strettamente imparentato. L'apparato permetteva di traguardare angoli di qualsiasi ampiezza sia per i rilievi topografici e geografici, sia per le osservazioni astronomiche.²⁵ Soprattutto per queste ultime un aspetto di centrale importanza

²⁵Un apparato simile, tra i più antichi conosciuti, era stato già descritto nella *Margarita philosophica* di Gregor Reisch del 1512. Lo strumento, denominato *polimetrum*, venne descritto in appendice

era l'apprezzamento delle frazioni di grado. Guidobaldo, conscio della portata del problema, l'affronta proprio all'inizio dei *Problematum astronomicorum*. Lo fa da un punto di vista del tutto generale, cioè si occupa della lettura su una scala standard, indipendentemente dallo strumento che la ospita: giustamente tenta di generalizzare. Quello che espone è un procedimento ricorsivo che consente in linea teorica di risalire non solo alle consuete frazioni di grado, cioè ai primi e ai secondi, ma di procedere oltre, all'infinito, cioè ai "terzi," "quarti," "quinti," ecc., dove ad esempio il "terzo" è la sessantesima parte del secondo. Convinto della fattibilità del metodo, Guidobaldo perfeziona anche uno strumento meccanico per il calcolo delle frazioni di grado, meccanismo che descriveremo più avanti quando parleremo degli strumenti di calcolo. Significativa è a riguardo la sua osservazione sulle dimensioni dei cerchi graduati, dove stima il diametro di 1 piede (34 cm il piede di Pesaro) sufficiente per risalire a qualsivoglia frazione di grado. E' questa sua errata convinzione a spingerlo a non intraprendere nuove strade, come quella che proprio in quegli anni aveva imboccato Tico Brahe, e a rimanere nell'ambito della tradizione proponendo apparati di dimensioni contenute. In effetti dal suo punto di vista il sistema delle frazioni di grado, non richiedendo scale di grandi dimensioni, risultava vantaggioso, evitava problemi progettuali e costruttivi tipici degli strumenti di grandi dimensioni (peso, carico sui perni e sui sostegni, deformazioni, ecc.) e di conseguenza manteneva i costi di lavorazione contenuti, fattore quest'ultimo non da sottovalutare.

D'altra parte la *Mechanica* di Tico Brahe²⁶ era ben nota nell'ambiente urbinato e sarebbe quindi poco probabile supporre che Guidobaldo l'avesse di proposito ignorata, più plausibilmente, pur cogliendo l'importanza della precisione osservativa,²⁷ non si rendeva conto che la strumentazione astronomica andava di fatto rivoluzionata e che il metodo da lui proposto di rilevazione delle frazioni di grado non poteva essere in alcun modo un'alternativa "povera" alla costosissima strumentazione ticonica. Occorre tuttavia aggiungere che la comunità scientifica urbinata dedicava poca attenzione all'astronomia in generale e meno ancora verso quella osservativa.²⁸ Nei *Problematum*, così come nel *Planisphaerium*, Guidobaldo si rivela un ottimo conoscitore delle tecniche matematiche che cerca

al testo dal topografo e cartografo renano Martin Waldseemüller. Alla stregua dello strumento di Guidobaldo esso misurava angoli orizzontali e verticali ma il suo uso era rivolto essenzialmente al rilevamento e alla cartografia.

²⁶Brahe (1598) descrive con grande cura tutto l'armamentario strumentale di Tico. Esso era caratterizzato da scale graduate di grandi dimensioni e da soluzioni tecniche avanzatissime quali, ad esempio, l'uso di precisi sistemi di traguardo a doppia fenditura: un *modus operandi* ben diverso rispetto a quello scelto da Guidobaldo.

²⁷Come già ricordato i *Problematum* si aprono proprio con la lettura delle scale graduate e con il metodo delle frazioni di grado.

²⁸Quest'aspetto si integra bene con il largo disinteresse da parte degli artefici urbinati degli strumenti scientifici verso la costruzione di strumenti astronomici.

di rendere più agevoli procedendo per via geometrica, ma non mostra altrettanto interesse e competenza per gli aspetti osservativi e operativi della raccolta-dati. In definitiva Guidobaldo non coglie l'importanza fondamentale del programma proposto da Brahe, ossia la necessità di avere a disposizione di prima mano cospicui, omogenei e precisi dati osservativi, ma si limita a procedere con maggiore chiarezza e rigore nell'ambito della tradizione utilizzando linee e cerchi anziché funzioni trigonometriche ed affrontando, come è nel caso dei *Problematum*, temi quali le stelle fisse—il primo mobile—e non l'astronomia planetaria.

10.4 Strumenti di calcolo

10.4.1 Il compasso a due scale

Muzio Oddi attribuisce a Guidobaldo l'invenzione del compasso di proporzione come perfezionamento del compasso di riduzione del Commandino (Gamba 1994). Stando a quanto riferisce l'Oddi, l'innovazione decisiva di Guidobaldo è la conformazione dello strumento a due regoli incernierati con incise le scale per la divisione in un numero prefissato di parti uguali dei segmenti e delle circonferenze, soluzione che “emancipa” lo strumento dai tradizionali compassi facendone il capostipite dei regoli calcolatori (Figura 10.11).

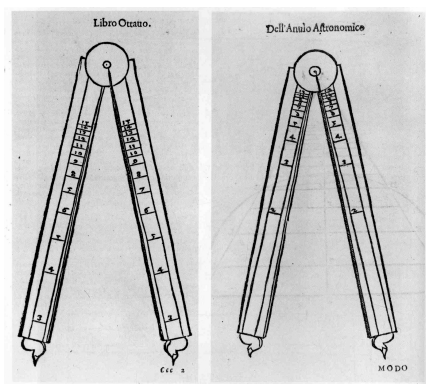


Figura 10.11: Il compasso di Guidobaldo. Giovanni Paolo Gallucci, *Della fabrica et uso di diversi stromenti di astronomia et cosmografia*, Venezia 1598.

Inoltre i due regoli si prestano a ospitare altre scale per altri usi, e questo avvalorava la rielaborazione di Guidobaldo perché ha consentito ulteriori sviluppi

dello strumento.²⁹ Si tratta di una classe di strumenti ben noti su cui non ci soffermiamo. E' solo ragionevole avanzare l'ipotesi di una comune ispirazione in Guidobaldo del compasso di proporzione e del compasso per tracciare circonferenze a largo raggio; entrambi, infatti, presentano la forma a regoli incernierati. Resta comunque il fatto che Guidobaldo non parla del suo compasso e senza la segnalazione dell'Oddi probabilmente non ne avremmo avuto notizia.

10.4.2 Il moltiplicatore meccanico delle frazioni di grado

Completamente diverso è lo strumento ideato da Guidobaldo per calcolare le frazioni di grado la cui descrizione si trova nei *Problematum astronomicorum*. Si tratta di un dispositivo meccanico che esegue automaticamente la moltiplicazione per 60 non solo delle frazioni di grado, ma anche dei primi, dei secondi, dei "terzi," dei "quarti," ecc. Il problema, spiega Guidobaldo, può essere preliminarmente affrontato e risolto per via geometrica mediante un normale compasso.³⁰ Ad esempio se l'alidada riguarda un angolo compreso tra 26° e 27° , la procedura da utilizzare risulta semplice: con le punte del compasso si riprende sulla scala graduata la frazione di grado eccedente i 26° , quindi, partendo dal fondo scala, la si riporta sulla medesima scala per 60 volte. La divisione della scala su cui essa cade indicherà i primi; se non si ottiene l'esatto allineamento con una divisione, si riporta sempre col compasso la frazione di primo così ottenuta a fondo scala e si ripete la procedura prima esposta ottenendo i secondi, e così di seguito, con un processo iterativo, fino a intercettare esattamente una divisione. Guidobaldo esegue queste operazioni tutte su una medesima scala³¹ con graduazione da 0° a 60° . Il metodo, oltre al dispendio di tempo, pone il problema della precisione e dell'accuratezza delle misure iterate. Per ovviare ciò Guidobaldo, ispirandosi all'orologeria, propone un dispositivo meccanico rapido, e a suo parere preciso, che esegue automaticamente una moltiplicazione per 60.³² Si tratta di un sistema di quattro ingranaggi che fa corrispondere a una rotazione di un indice su un quadrante, 60 rotazioni di un altro indice su di un quadrante opposto. Di conseguenza alla rotazione di un arco di 1° corrisponde, sull'altro quadrante, la rotazione di 60° (Figure 10.12 e 10.13).

²⁹Si vedano, ad esempio, i successivi compassi di Galileo, Coignet e di altri tra cui il modello dello stesso Muzio Oddi (1638).

³⁰Si vedano nel primo libro dei *Problematum astronomicorum* rispettivamente i problemi I, III, IV, V, ff. 2v–6v.

³¹Si noti che non fa alcun cenno al problema della realizzazione tecnica delle graduazioni delle scale, sembra che dia per acquisita la loro buona divisione.

³²Cfr. *Op. cit.*, ff. 5r–6v.

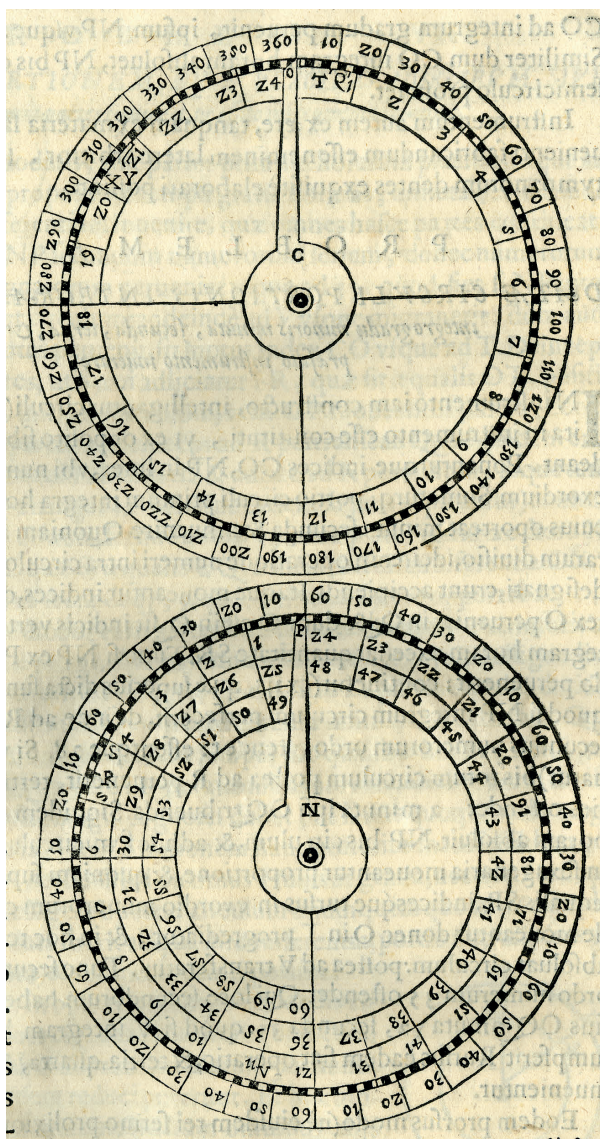


Figura 10.12: Quadranti e indici del calcolatore meccanico delle frazioni di grado. *Problematum astronomicorum*, Venezia 1609. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

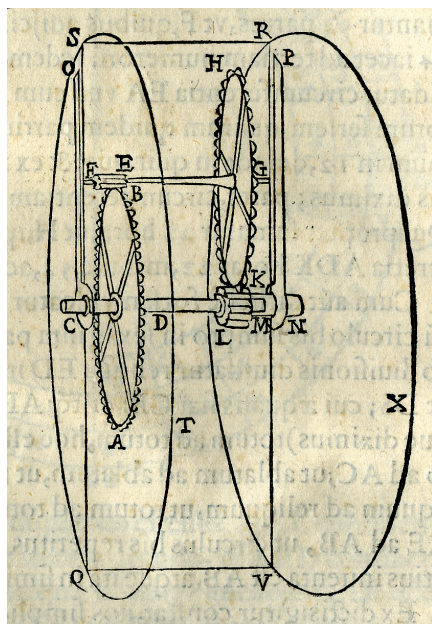


Figura 10.13: Il sistema di ingranaggi del calcolatore meccanico. *Problematum astronomicorum*, Venezia 1609. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

Da una citazione sappiamo che lo strumento era in gestazione fin dal 1579.³³ Va però precisato che l'idea dell'amplificazione meccanica delle frazioni di grado non è di Guidobaldo bensì del veneziano Giacomo Contarini (1536–1595). Infatti due lettere di Guidobaldo al Contarini, datate 1580, ci informano dell'invenzione da parte del senatore veneziano di un primo modello di “moltiplicatore.” E' solamente dopo averlo studiato che Guidobaldo rielabora lo strumento.³⁴

Nella storia dell'astronomia il sistema meccanico per la rilevazione delle frazioni di grado non avrà alcun seguito.³⁵ L'idea, seppur suggestiva, era tecni-

³³Cfr. (Monte 1579, 38). Un appunto sul metodo generale di calcolo della frazioni di grado compare anche a c. 109 del citato manoscritto parigino delle *Meditatiunculae*.

³⁴A quanto pare Contarini aveva inviato a Guidobaldo l'apparato su cui il marchese aveva modellato uno suo. Egli, quindi, chiede al Contarini il permesso di descrivere il meccanismo nel suo quasi pronto *Problematum astronomicorum* opera che poi uscirà postuma senza alcun accenno al Contarini. Per l'intera vicenda cfr. (Rose 1975, 224); *G. del Monte a G. Contarini*, Pesaro 4 gennaio e 15 febbraio 1580, in (Rose 1976, 127).

³⁵Di questo meccanismo se ne è tuttavia conservato il principio. Si pensi agli strumenti per l'amplificazione di grandezze lineari (spessori, scenterature,...), quali, ad esempio, il comparatore o minimetro,

camente errata. Guidobaldo, come abbiamo precedentemente detto, non coglie il vento del progresso tecnico che stava rivoluzionando la strumentazione astronomica (in particolare con l'opera e la strumentazione del Brahe) e preferisce muoversi nell'ambito della tradizione, illudendosi di poter ricavare dati più precisi anche da strumenti di modeste dimensioni, ritenendo in fondo che il problema fosse il sotto-utilizzo della strumentazione tradizionale. Va poi notato che in sede italiana era molto diffuso un atteggiamento di poca attenzione verso il miglioramento della strumentazione astronomica, è il caso di ricordare lo scarso interesse di Galileo per i lavori di Keplero che si basavano sulla imponente raccolta di nuovi dati osservativi realizzata da Tico Brahe.³⁶

Resta infine il dubbio che la mancata pubblicazione da parte di Guidobaldo dei sette libri dei *Problematum* possa essere dovuta proprio a dei ripensamenti del nostro sull'opera del Brahe e in particolare sulla radicale revisione della strumentazione tradizionale ivi attuata.

10.5 Strumenti come apparati 'sperimentali'

Sfogliando il *Mechanicorum liber* (Monte 1577) è inevitabile accorgersi di una marcata asimmetria dell'opera: i primi due capitoli, sulle leve e sulle carrucole, occupano infatti ben 208 pagine, mentre ai restanti tre capitoli sul verricello, cuneo e vite vengono dedicate solo 50 pagine.

A parte la fretta di dare alle stampe il volume, la ragione principale ci sembra prevalentemente di ordine metodologico. Nello studio delle proprietà di leve e carrucole Guidobaldo procede basandosi su prove empiriche realizzate mediante apparati che egli progetta appositamente per le sue ricerche. Sotto questo punto di vista i primi due libri del *Mechanicorum* godono di un'impalcatura empirico-strumentale che sembra mancare agli altri tre libri. Sarebbe forse esagerato parlare di fisica sperimentale, tuttavia si tratta di una "statica strumentale" che le è molto vicina.

10.5.1 La libra

Il primo apparato discusso nel *Mechanicorum* è la libra, ossia una leva a bracci uguali avente il baricentro coincidente con il centro di sospensione e alle cui estremità sono posti pesi uguali. Guidobaldo la studia a fondo per sostenere il

tuttora in uso presso i tornitori, dove, sempre tramite ingranaggi, allo spostamento di un'asta di 1 mm risponde la deviazione di un indice su un quadrante di 100 divisioni.

³⁶Galileo non mostra apprezzamento per la cospicua impresa strumentale del Brahe, e arriva perfino ad affermare di aver ottenuto buone misure del diametro apparente delle stelle traguardando a occhio nudo la collimazione tra le stelle e una corda tesa, cfr. G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi* (Galilei 1968, vol. VII, 388-389). In generale cfr. (Maccagni 1999).

proprio punto di vista su una polemica allora in atto e dimostrare così l'esistenza dell'equilibrio indifferente. La controversia oppone Guidobaldo, che difende l'equilibrio indifferente, al Cardano, Tartaglia e Giordano, e si svolge sia sul piano teorico,³⁷ sia attraverso test eseguiti con "bilancie" appositamente costruite per convincere in concreto chi manteneva obiezioni. Questa attenzione verso un problema d'equilibrio può sembrare puntigliosa, eccessiva, dettata da spirito polemico, eppure per Guidobaldo era un passaggio di fondamentale importanza nella scelta da lui intrapresa di elaborare una teoria delle macchine semplici tenendo conto anche dei risultati della pratica strumentale (Figura 10.14).

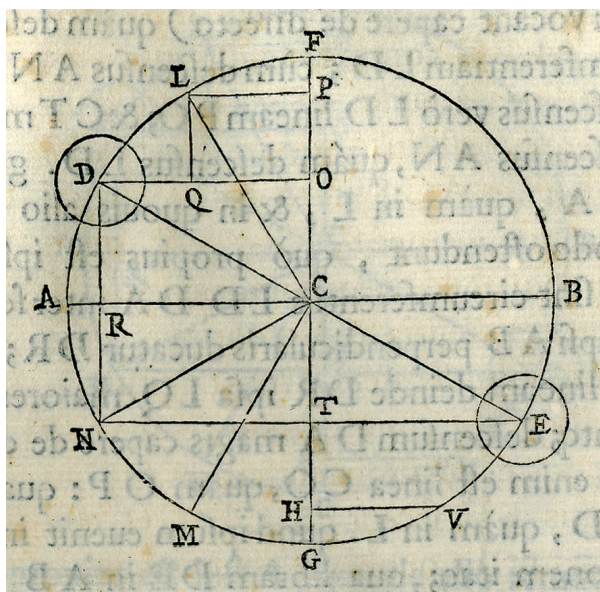


Figura 10.14: La libbra. *Mechanicorum liber*, Pesaro 1577. Bibl. Oliveriana, Pesaro.

È solo operando con sistemi di leve e di carrucole reali, e non ideali, e cercando d'individuare i rapporti tra potenza e resistenza, che ci si rende conto che, per ottenere risultati numerici affidabili, occorre operare su sistemi meccanici prima disposti in equilibrio indifferente e poi caricati con i dovuti pesi. L'esistenza dell'equilibrio indifferente diventa una questione di radicale importanza.

³⁷Cfr. il cap. I, prop. IV, del *Mechanicorum* che da sola occupa ben 51 pagine.

10.5.2 Sistemi di carrucole

La questione dell'equilibrio indifferente, oltre alle leve, riguarda le carrucole che Guidobaldo giustamente riconduce alla leva a bracci uguali, cioè alle libbre di cui sopra.

Alla carrucola e ai sistemi di carrucole Guidobaldo dedica un intero capitolo, con 28 proposizioni e 17 corollari, nel quale vengono trattate tutte le combinazioni possibili sia di carrucole singole, sia di taglie a due o tre carrucole. Per stabilire con certezza le relazioni tra potenza e resistenza nelle diverse disposizioni Guidobaldo fa costruire, quasi certamente dall'officina urbinata degli strumenti scientifici, sistemi di carrucole estremamente precise, leggere e a bassissimo attrito. In una lettera a Giacomo Contarini, datata ottobre 1580,³⁸ Guidobaldo riporta alcuni interessanti particolari tecnici: “le girelle” vanno tornite con la massima precisione, devono essere di ottone, mentre gli assi “sottili sottili” vanno in ferro, la rotazione delle “girelle” deve avvenire “con un soffio” e senza oscillazioni sui perni, solo così questi strumenti sono in grado di fornire risultati esatti. “In somma questa è cosa sicurissima che la pratica con la theorica vanno sempre insieme.”

È significativa la cura con cui Guidobaldo realizza i test sperimentali e il benefico intreccio tecnico-matematico che si attiva. Anche se egli non possiede la nozione di momento d'inerzia, tuttavia si rende conto di alcuni effetti dinamici. Ad esempio che le bilance piccole e a bracci leggeri sono molto più sensibili di quelle grandi e a bracci pesanti, conoscenza quest'ultima che egli consapevolmente trasferisce alle carrucole.³⁹ Spiega infatti Guidobaldo: “Perché le taglie grandi, che sono atte a levar gran pesi, non sono così buone a chiarirsi delle minutezze, sì come si mostra con esempio 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.”⁴⁰ Qui la principale raccomandazione è che gli strumenti siano più leggeri possibile.

10.5.3 La bilancia idrostatica

Mettendo in relazione i suoi studi sulla “libra” con la tradizione idrostatica archimedeica, Guidobaldo espone nelle *Meditatiunculae*⁴¹ un metodo per determinare mediante bilancia ed immersione in acqua, la densità di un corpo. Il problema

³⁸ G. del Monte a G. Contarini, Pesaro 9 ottobre 1580, in (Favaro 1899-1900).

³⁹ La questione compare già nei *Problemi meccanici* aristotelici, cfr. (Piccolomini 1565 [1545], quest. 9, 852a).

⁴⁰ G. del Monte a G. Contarini, lett. cit. (Favaro 1899-1900, 307).

⁴¹ *Meditatiunculae*, ms. cit., c. 232. Il titolo dei tre fogli consecutivi dedicati al problema recita: “Gravitatum proportionem cuiuslibet gravis, humido gravior, ad humidum, libra notam reddere.”

affrontato è il calcolo della densità relativa (o peso specifico) di un corpo che risulta dal rapporto tra il peso del corpo in aria e il peso del corrispondente volume d'acqua, quest'ultimo misurato tramite la diminuzione del peso del corpo una volta immerso in acqua.

La determinazione della densità di vari materiali—ferro, rame, argento, oro, mattoni, marmo—era stata in precedenza intrapresa, con un procedimento del tutto empirico, dal matematico bresciano Nicolò Tartaglia. Con una stadera Tartaglia pesava il corpo in aria e immerso in acqua, facendo poi il rapporto tra i valori numerici delle due pesate.⁴² L'impostazione di Guidobaldo è completamente diversa perché, pur operando con una bilancia a due bracci, non esegue nessuna pesata, ma ricava la densità da un rapporto tra lunghezze. Questo gli è possibile perché tratta il problema secondo un metodo matematico-meccanico.

La bilancia di Guidobaldo è una leva di primo genere con fulcro in B e con i bracci BC e BD non necessariamente uguali, come del resto è nella stadera.

Infatti Guidobaldo non impone la condizione d'uguaglianza dei bracci BC e BD , gli basta supporre che il corpo A appeso in C di cui si vuole misurare la densità, e il peso E —appeso in D —per bilanciarlo, stiano in equilibrio, qualunque sia la distanza di C e di D dal fulcro B della bilancia. Una volta che il corpo A è immerso in acqua l'equilibrio viene meno. Il peso E viene, quindi, spostato verso il fulcro B fino al punto F , cioè fino al punto in cui si ripristina l'equilibrio. Guidobaldo dimostra che la densità relativa del corpo A corrisponde al rapporto BD/DF delle lunghezze. Se si mantiene la distanza BC fissa, appendendo sempre nello stesso punto il corpo di cui si vuole misurare la densità, questa relazione consente di tracciare sul braccio BD della bilancia una graduazione che indica direttamente i valori della densità. È evidente che con tale disposizione l'apparato diventa uno strumento per misurare una grandezza fisica, cioè una bilancia idrostatica.

È interessante notare la somiglianza della bilancia di Guidobaldo con la *Bilancetta*, opera giovanile di Galileo risalente al 1586, soprattutto nella parte dove entrambi in una lega oro-argento vogliono trovare la proporzione dei due metalli. Poiché tale proporzione è determinata tramite proporzione di lunghezze, sorge il problema di come misurare con precisione tali lunghezze; sia Guidobaldo che Galileo ricorrono all'espedito di derivazione tipicamente tecnica di avvolgere un filo sottilissimo intorno alle lunghezze da misurare, contando il numero delle spire: il rapporto è poi fatto tra i numeri di spire.⁴³

Questa attività sperimentale ci porta ad alcune considerazioni. La libra, i sistemi di carrucole e la bilancia idrostatica, sono tra i primissimi strumenti costruiti da Guidobaldo per verificare e ricercare proprietà fisiche. Egli ha ben chiaro

⁴²Cfr. (Tartaglia 1551) fogli non num., “secondo ragionamento” (Favaro 1916; Napolitani 1988).

⁴³*Meditatiunculae*, ms. cit., c. 234. Cfr. (Galilei 1968, vol. I, 219-220).

che non è possibile una teorizzazione diretta degli apparati tecnici, e che bisogna procedere ricostruendo in modo opportuno tali apparati in modo da cogliere gli elementi essenziali richiesti dalla teoria, eliminando effetti collaterali. Questa è la “filosofia” della lettera al Contarini. Per il nostro la verità teorica dei sistemi meccanici è di natura fisico-matematica, per essere indagata ha bisogno dell’esperienza, riprodotta per via strumentale e letta matematicamente.

Il *Mechanicorum* sotto questo aspetto segna l’apertura della grande stagione meccanica seicentesca. Esso non va letto con l’occhio rivolto al dopo, ma piuttosto rivolto a cosa si poteva scrivere in una data “bassa” come il 1577. Ad esempio, per quanto attiene la matematica, è certamente vero che nell’ambito delle tradizionali attività tecniche essa veniva utilizzata più o meno correntemente, tuttavia la sua valenza non era metodologica e costruttiva, bensì ausiliaria, ossia vista come una “tecnica” da affiancare ad altre. Con il *Mechanicorum* indubbiamente questo secolare status inizia a cambiare. Qualunque sia il giudizio sulla percentuale di originalità dell’opera, resta il merito di essere stato il primo serio tentativo in materia.

10.6 Strumenti per la misura del tempo

10.6.1 Gli orologi solari a rifrazione

Vi sono evidenze documentali che attestano lo studio e la progettazione di Guidobaldo di alcuni particolari orologi solari detti a rifrazione. La più importante fonte storica a riguardo è quella fornitaci da Muzio Oddi nel suo testo sugli orologi solari del 1638. Nel capitolo dedicato agli orologi “co i raggi rinfranti,” egli afferma:

Tra quante cose belle, et ammirabili, che in proposito d’Horologi da Sole sono state ritrovate insino al giorno d’hoggi, nissuna è 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 potendosi, 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 certo notizia, 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, et hollo havuto nelle mani molto tempo, il quale servì poi 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 al giorno d'hoggi. E circa ai medesimi tempi Gio. Battista Benedetti pubblicò la sua Gnomonica nella quale [a margine: 1574] fece menzione con un particolare capitolo di questo istesso orologio; et un giorno parlandone io col Padre Christoforo Clavio in Roma, mi disse che Giovanni da Montereio n'havea fatto uno ancor lui per un Principe d'Alemagna. Si conservano ancora presso di me alcuni fogli disegnati dal Commandino, che, per quanto ho potuto conietturare, giva cercando la ragione della varietà de gl'angoli delle refrattioni, non ritirandosi uniformemente l'ombre fatte dal gnomone, quando il Sole è vicino all'orizzonte, da quando è alto da terra, benché habbia trascorso intervalli uguali, forse per comporre le tavole a questo effetto, non essendo le medesime, che quelle d'Alazeno e di Vitellione [a margine: Alaz. li. 7 prop. 11. Vitel. li. X prop. 8]. Né il Benedetti, né il Signor Guidobaldo lo fecero, ma solo accennarono il come si haverebbe a fare per comporre, e però la fabrica di questi Horologi, fino adesso, si riduce ad una mera pratica" (Oddi 1638, 99-102).

Il brano ci fornisce un buon numero d'informazioni sulla storia di questi orologi, nonché sul diretto coinvolgimento di Guidobaldo nella realizzazione di uno di questi. Secondo la testimonianza dell'Oddi, ricavata a sua volta da una confidenza del padre Cristoforo Clavio, questi particolari orologi, detti a scafea o a tazza, erano già in uso nella seconda metà del Quattrocento. Tuttavia fino ad oggi nessun strumento firmato o attribuibile a Regiomontano, né databile al XV secolo è stato rinvenuto. I primi strumenti a noi noti sono quelli fabbricati nella prima metà del XVI secolo dal costruttore tedesco Georg Hartmann (1489–1564).⁴⁴ Secondo Sven Dupré (2003) dopo Hartmann lo studio di questi strumenti in Italia venne fortemente incentivato da Ettore Ausonio, medico, costruttore di strumenti scientifici e matematico dell'Accademia Veneziana della Fama. Alcuni suoi manoscritti riportano infatti studi, descrizioni e proposte di vendita di orologi solari a rifrazione (Dupré 2003, 56–58). Nel ducato d'Urbino, come ci ricorda l'Oddi nel brano citato, i primi studi sulla rifrazione si ebbero con il Commandino⁴⁵. Quasi certamente Guidobaldo apprese dal suo maestro l'interesse verso questi

⁴⁴Di questo costruttore si conoscono solo tre strumenti molto simili tra loro: due di questi, datati 1547, sono in Spagna rispettivamente presso il *Museo de Santa Cruz* di Toledo e presso il *Museo Nacional de Ciencia y Tecnologia* di Madrid; il terzo, datato 1548, è conservato presso la *Collection of Historical Scientific Instruments* della Harvard University.

⁴⁵Dupré ipotizza che il Commandino venne stimolato su questi argomenti dall'Ausonio; in effetti entrambi studiarono medicina a Padova tra il 1540 e il 1545 ed ebbero rapporti con l'Accademia della Fama. La loro diretta conoscenza è comprovata da un paio di lettere conservate presso la biblioteca Ambrosiana di Milano.

particolari orologi solari. Inoltre alcune sue opere perdute, e precisamente il *De horologijs* e il *De radiis in aqua refractis*, entrambe citate da Orazio del Monte nella lettera a Galileo del 16 giugno 1610, attestano un più diretto coinvolgimento di Guidobaldo verso questo genere di studi.

10.6.2 L'orologio a calice

Il brano dell'Oddi c'informa che nel 1572 era stato progettato da Guidobaldo e fatto costruire da Simone Barocci "in una mezza sfera d'ottone" un orologio solare a rifrazione. Una descrizione dello strumento ci è anche fornita da Bernardino Baldi in un epigramma dal titolo "Sopra un orologio da sole oprato con acqua del P. Guido Baldo de' Marchesi del Monte" e che così recita:

"Non è tazza di Bacco e di Fileno / Quel che là vedi concavo emisfero; / Orologio è ch'al sol dimostra il vero, / Se fin'a l'orlo è di bell'onda pieno / Ha dunque doppio il vaso in sé calore, / Poi ch'à labri dà il fonte, agli occhi l'ore."⁴⁶

Si trattava quindi di un orologio solare portatile, forgiato a calice, che aveva sulla sua superficie interna sia l'incisione del tracciato delle ore, sia uno stilo fisso, inclinato rispetto al piano orizzontale di un angolo pari alla latitudine del luogo per il quale l'orologio era stato progettato; esso veniva riempito d'acqua fino all'orlo in modo tale che la punta dello gnomone potesse raggiungere la superficie dell'acqua. La descrizione del Baldi non fa cenno della piccola bussola che generalmente accompagnava lo strumento e che permetteva il corretto orientamento dell'orologio. La lettura dell'ora avveniva osservando sul fondo della tazza la proiezione dell'ombra dello gnomone. Il Museo Galileo di Firenze possiede un orologio a rifrazione che è stato recentemente attribuito da Filippo Camerota (2003) al binomio del Monte-Barocci (Figura 10.15).

Esso porta nel coperchio della piccola bussola un disegno floreale, simbolo araldico della famiglia della Rovere. Lo strumento fiorentino era presente nella collezione medicea sin dagli anni 1570–72 (inventario della Guardaroba di Cosimo I), probabilmente dono del duca di Urbino a Cosimo I de' Medici. Camerota ipotizza che, stante la certezza quasi assoluta della provenienza urbinata, l'orologio del museo fiorentino possa essere un altro rispetto a quello citato dal Baldi del 1572. La costruzione di più calici a rifrazione provenienti dal binomio del Monte-Barocci risulta molto plausibile. Francesco Maria II in un suo appunto datato 4 giugno 1601 scriveva: "Mandai alla contessa di Lemos viceregina di Napoli un quadro di pittura, un horologgio fatto a vaso et una cagnina levriera senza pelo" (Sangiorgi 1989, 117). Una ulteriore conferma ci è data da un "Registro dei

⁴⁶(Baldi 1914). L'epigramma citato è il n. 375, vol. I, p. 82. L'esistenza dell'opuscolo di Guidobaldo sugli orologi solari a rifrazione è confermata anche da una nota in un manoscritto anonimo di architettura militare, cfr. BOP, ms. 198, c. 146v.



Figura 10.15: Orologio solare a rifrazione attribuito al binomio del Monte-Barocchi. Museo Galileo, Firenze.

conti privati della famiglia del Monte di Monte Baroccio (1630–1650)” dove risulta che, nell’anno 1634, si era proceduto alla vendita di “un bichiero a guisa d’horologio.”⁴⁷

10.6.3 L’orologio-fontana a rifrazione

La seconda informazione riportata nel brano dell’Oddi riguarda un’importante orologio-fontana, collocato nel Giardino pensile del Palazzo ducale di Urbino.

⁴⁷ La notizia è riportata in (Gamba 1994, nota 34). Gli oggetti di Guidobaldo, ed in particolare l’orologio, vennero contrattati per l’acquisto da Muzio Oddi. Scrive l’Oddi al Giordani: “Già scrissi al signor Piermatteo che vedesse di recattare tutti quei libri che erano del signor Guidobaldo, e si comprassero a conto mio a ogni prezzo, e così anco i suoi strumenti e particolarmente quell’horologio coi raggi rinfranti, desiderarei ancora qualche avviso di ciò che si può sperare del feudo di Monte Baroccio,” Lucca, 6 settembre 1634, *lettera di Muzio Oddi a Camillo Giordani*, Biblioteca Oliveriana, Pesaro, ms. 413, cc. 231r–231v.

no. Come vedremo il medesimo giardino presenta ancor oggi un orologio-fontana (mancante dello gnomone) ancorché la sua tipologia sia differente da quella descritta dall'Oddi. Stando alle parole di quest'ultimo si trattava di una bella fontana in pietra che, durante il periodo di Francesco Maria II, venne trasformata in orologio solare a rifrazione. L'Oddi non menziona esplicitamente l'artefice della trasformazione, ma ciò può forse spiegarsi con la non diretta conoscenza dei fatti di corte stante il suo lungo esilio da Urbino.⁴⁸ Quanto all'anno della trasformazione,⁴⁹ non abbiamo informazioni precise. Da una descrizione del Giardino pensile fornita da Bernardino Baldi e datata 1587, sappiamo che la fontana in quella data ancora non funzionava come orologio.⁵⁰ Dunque la trasformazione avvenne tra il 1587 e il 1631, anno di morte dell'ultimo duca di Urbino,⁵¹ tuttavia considerando che la data di morte di Guidobaldo è il 1607, è ragionevole supporre che la fontana venne trasformata in orologio prima di quella data, se costruita dal binomio del Monte-Barocci. Dopo la morte di Simone Barocci l'officina meccanica urbinata passa nelle mani di Lorenzo Vagnarelli (1584–1675) ed è a quest'ultimo che dovremmo probabilmente ricondurre il tracciato dell'orologio qualora la trasformazione sia avvenuta tra il 1608 e il 1631. Circa il metodo utilizzato per tracciare le linee esso era del tutto empirico: in base alle regole di gnomonica si disegnava l'orologio solare; di notte, simulando le posizioni del Sole, si sospendeva una lanterna in modo da far coincidere l'ombra dello gnomone con una data ora; si riempiva la fontana d'acqua trovando così la posizione che l'ombra rifratta assumeva. Si tenga conto che l'ora veniva indicata dall'ombra della punta dello gnomone (Figura 10.16).

Come già accennato un orologio-fontana in pietra fa ancora oggi bella vista nel centro del Giardino pensile del Palazzo ducale di Urbino. Sul fondo della vasca, approssimativamente di forma semiellittica, sono ancora visibili le incisioni delle linee orarie, in tutto tredici, dalla undicesima alla ventitreesima ora italiana, attraversate dalla linea equinoziale e da quella meridiana. L'intero tracciato, tuttavia, per la sua estensione geometrica non sembra essere quello tipico di un

⁴⁸Le predette assenze furono dovute per buona parte all'accumulo di vari contenziosi giudiziari con il duca che gli procurarono carcerazione ed esilio dal 1601 al 1637.

⁴⁹L'occasione probabilmente potrebbe essersi presentata per la rottura del sistema idrico del giardino pensile che alimentava la suddetta fontana.

⁵⁰Il Baldi era un esperto di orologi solari, sui quali aveva scritto un trattato, se la trasformazione fosse già avvenuta probabilmente l'avrebbe segnalata.

⁵¹A proposito di Francesco Maria II, Alexander Marr ha recentemente segnalato una lettera di Muzio Oddi inviata prima dell'agosto del 1612 a Pier Matteo Giordani nella quale lo scienziato urbinata, oltre a manifestare l'intenzione di voler pubblicare l'opuscolo *Degl' horologi coi raggi rinfranti nell'acqua* scritto da Guidobaldo—intenzione mai realizzata per l'opposizione del figlio di Guidobaldo, Orazio—, afferma che Guidobaldo inventò quegli orologi “per servire al serenissimo nostro Padrone,” cioè Francesco Maria II; cfr. Biblioteca Oliveriana, Pesaro, ms. 413, cc. 7r–8v.



Figura 10.16: L'orologio solare-fontana del Giardino pensile del Palazzo ducale di Urbino. Soprintend. BB. SS. AA., Urbino.

orologio solare a rifrazione⁵² bensì di un orologio a secco.⁵³ Riempiendo d'acqua il catino della fontana ed osservando ad esempio la linea oraria ventitreesima (quella del tramonto essendo ore italiane) tale linea risulta posizionata immediatamente al di sotto della superficie libera dell'acqua, ossia è molto vicina al bordo del catino, come si vede a destra nella figura. È evidente che su tale linea l'ombra rifratta della punta di un qualsiasi gnomone posto sott'acqua non potrebbe mai arrivare. Alla luce di queste considerazioni⁵⁴ si può ragionevolmente avanzare l'ipotesi che l'attuale fontana-orologio non sia quella descritta dall'Oddi, ma un'altra, forse già allora posizionata in un diverso luogo del Palazzo.

Riferimenti

- Baldi, B. (1914). *Gli epigrammi inediti, gli apologhi, le ecloghe*. Lanciano: R. Carabba.
- Bartoli, C. (1564). *Cosimo Bartoli gentil'huomo et accademico fiorentino, del modo di misurare le distantie, le superficie, i corpi, le piante le provincie, le prospettive*. Venezia: Francesco Franceschi.

⁵² A questo proposito è sufficiente analizzare gli orologi dell'Hartmann per rendersene conto.

⁵³ Su questo importante aspetto siamo debitori all'astronomo Lino Colombo per averci fornito adeguate informazioni a riguardo.

⁵⁴ A nostra conoscenza, fino ad oggi, si è sempre identificato l'attuale orologio-fontana del giardino pensile con quello descritto dall'Oddi nel brano del 1638.

- Brahe, T. (1598). *Tychonis Brahe astronomiae instauratae mechanica*. Wandsburg.
- Camerota, F. (2003). Two New Attributions: A Refractive Dial of Guidobaldo del Monte and the “Roverino Compass” of Fabrizio Mordente. *Nuncius* XVII: 25–37.
- Castrioti, F. (1564). *Della fortificatione della città libri III*. Venezia: Rutilio Borgominieri.
- Commandino, F. (1558). *Federici Commandini urbinatis in Planisphaerium Ptolemaei commentarius*. Venezia: Aldo Manuzio.
- (1562). *Claudii Ptolemaei liber de Analemmate a Federico Commandino Urbinatense instauratus et commentariis illustratus. [...] Eiusdem Federici Commandini liber de Horologiorum descriptione*. Roma: Paolo Manuzio.
- Digges, L. and T. Digges (1571). *A Geometrical Practise Named Pantometria*. London: H. Bynnenman.
- Dupré, S. (2003). The Dioptrics of Refractive Dials in the Sixteenth Century. *Nuncius* XVIII:39–67.
- Dürer, A. (1532). *Albertus Durerus [...] versus e Germanica lingua in Latinam, pictoribus, fabris erariis ac lignariis, lapicidis, statuariis, et vniuersis deum qui circino, gnomone, libella, aut alioqui certa mensura opera sua examinant prope necessarius, adeo exacte quatuor his suarum Institutionum geometricarum libris, lineas, superficies et solida corpora tractauit*. Paris: apud Christianum Wechelum.
- Favaro, A. (1899-1900). Due lettere inedite di Guidobaldo del Monte a Giacomo Contarini. *Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti* LIX:307–310.
- (1916). Nicolò Tartaglia e la determinazione dei pesi specifici. *Commentarii dell'Ateneo di Brescia*:3–6.
- Galilei, G. (1968). *G. Galilei, Le opere*. Ed. by A. Favaro. Florence: Barbera.
- Gamba, E. (1994). Documenti di Muzio Oddi per la storia del compasso di riduzione e di proporzione. *Physica* XXXI:799–815.
- Libri, G. (1838-1841). *Histoire des sciences mathématiques en Italie depuis la renaissance des lettres jusqu'à la fin du dix-septième siècle*. Paris: Renouard.
- Maccagni, C. (1999). La cosmologia di Galileo. In: *Principio di secol novo*. Pisa: Cassa di Risparmio di Pisa, 67–93.
- Monte, Guidobaldo del (1577). *Mechanicorum liber*. Pesaro: Hieronymum Concordiam.
- (1579). *Planisphaeriorum universalium theoria*. Pesaro: Girolamo Concordia.
- (1600). *Perspectivae libri sex*. Pesaro: Girolamo Concordia.

Monte, Guidobaldo del (1609). *Problematum astronomicorum libri septem*. Venezia: Bernardo Giunti, Giovanni Battista Ciotti e soci.

Napolitani, P. D. (1988). La geometrizzazione della realtà fisica: il peso specifico in Ghetaldi e in Galileo. *Bollettino di storia delle scienze matematiche* 2: 139–237.

Oddi, M. (1625). *Dello squadro trattato di Mutio Oddi da Urbino*. Milano: Bartolomeo Fobella.

— (1633). *Fabrica et uso del compasso polimetro*. Milano: Francesco Fobella.

— (1638). *De gli orologi solari trattato di Mutio Oddi da Urbino*. Venezia: Ginammi.

Piccolomini, A. (1565 [1545]). *In mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*. Venezia: Traianum Curtium.

Rose, P. L. (1970). Renaissance Italian Methods of Drawing the Ellipse and Related Curves. *Physis* XII:399–400.

— (1975). *The Italian Renaissance of Mathematics*. Genève: Droz.

— (1976). Jacomo Contarini (1536-1595) a Venetian Patron and Collector of Mathematical Instruments and Books. *Physis* XVIII:117–130.

Sangiorgi, F. (1989). *Diario di Francesco Maria II della Rovere*. Urbino: Quattroventi.

Stevin, S. (1605-1608). *Mémoires mathématiques*. Leyde: chez Jan Paedts Jacobsz.

Tartaglia, N. (1551). *Regola generale da sollevare con ragione e misura non solamente ogni affondata nave, ma una torre solida di metallo, trovata da Nicolò Tartaglia, delle discipline mathematiche amatore, intitolata la Travagliata invenzione*. Venezia: Nicolò Bascarini.

— (1556-1560). *General trattato di numeri e misure*. Venezia: Curzio Troiano.

— (1560). *Quinta parte del general trattato de numeri et misure di Nicolò Tartaglia*. Venezia: Curzio Troiano.