

IL COMPASSO GEOMETRICO E MILITARE

2. Studio del compasso galileiano di Pisa

© 2006 Roberto Vergara Caffarelli

1.1. *Il Compasso: un assillo per Galileo*

Quattrocento anni fa Galileo stampava in casa in soli sessanta esemplari *Le operazioni del compasso geometrico et Militare*¹. Vi sono almeno due buone ragioni per celebrare il quarto centenario della pubblicazione: perché è il primo libro stampato da Galileo e perché segna ufficialmente la nascita del moderno calcolo automatico.

Una terza ragione è strettamente pisana: è approdato qui da noi uno dei rarissimi compassi geometrici di epoca galileiana, acquistato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa e concesso in comodato al Dipartimento di Fisica per essere esposto nel Museo degli Strumenti per il Calcolo². Questi avvenimenti mi spingono, dopo 14 anni³, a riprendere quanto ho già scritto sul Compasso, per aggiungere altre informazioni, quasi tutte ricavate dalla corrispondenza galileiana. Occorre tener presente un fatto: lo strumento ebbe un grande successo. In una lettera del 1609 Galileo parla di migliaia di esemplari fabbricati; non certo da lui, che sappiamo averne fatto costruire solamente un centinaio. Per Galileo il successo del compasso è dovuto alla sua utilità nell'insegnamento della matematica⁴:

... Desiderando che non restino per la difficoltà e lunghezza delle comuni strade privi di cognizioni tanto a nobili Signori necessarie, mi rivolsi a tentare di aprir questa via veramente regia, la quale con l'aiuto di questo mio Compasso in pochissimi giorni insegna tutto quello, che dalla geometria e dall'aritmetica, per l'uso civile e militare, non senza lunghissimi studii per le vie ordinarie si riceve. Quello che io abbia con questa mia opera conseguito, nol dirò io, ma lo lascerò giudicare a quelli che da me sin qui l'hanno appresa o per l'avvenire l'apprenderanno, ed in particolare da chi avrà veduti gli Strumenti da gli altri in simili propositi ritrovati: ben che la più gran parte dell'invenzioni, e le maggiori, che nel mio Strumento si contengono, da altri sin qui non sono state né tentate né immaginate; tra le quali è molto principale questa, del poter qual si voglia persona risolvere in un istante le più difficili operazioni di aritmetica; delle

¹ - *Le operazioni del compasso geometrico et militare di Galileo Galilei nobil fiorentino, lettore delle matematiche nello Studio di Padova. Dedicato al sereniss. principe di Toscana d. Cosimo Medici*, Padova 1606.

² - Con la realizzazione del suo proprio museo, detto *Palazzo Blu*, la Fondazione ha annullato la concessione ed ha ritirato il suo esemplare dal Museo degli strumenti per il Calcolo. [Nota aggiunta nel novembre 2011.]

³ - ROBERTO VERGARA CAFFARELLI (a cura di), *Il Compasso Geometrico e Militare di Galileo Galilei. Testi, annotazioni e disputa negli scritti di G. Galilei*. M. Bernegger e B. Capra, Pisa 1992.

⁴ - ROBERTO VERGARA CAFFARELLI (a cura di), *Il Compasso Geometrico e Militare...*, cit., p. [7].

quali però ne descrivo quelle sole che alle civili e militari occorrenze più frequentemente accaggiono.

Un altro motivo del successo è che il compasso permette il calcolo automatico: seguendo le istruzioni, il risultato ottenuto è sicuro, privo di quegli errori che spesso avvengono nel susseguirsi delle operazioni quando sono fatte con carta e penna. Naturalmente, la precisione è limitata a due cifre soltanto, ma in molti casi non si richiede di più. Inoltre, il compasso può servire come controllo dei calcoli con quadrati o radici quadrate, cubi o radici cubiche, che fino ai primi anni del seicento erano resi ancora più complicati dalla grande variabilità delle unità di misura di peso, distanza, volume di aridi e liquidi, monete ecc. che troviamo, a seconda dei casi, divise in 5, 12, 20, 60, o più parti. L'introduzione della virgola da parte di Simon Stevin e Giovanni Antonio Magini alla fine del '500 renderà i calcoli molto più facili, ma la diffusione di questa straordinaria semplificazione avverrà attraverso un processo abbastanza lento.

Due documenti ufficiali fissano con precisione la data di pubblicazione del trattato galileiano. Il 26 giugno 1606 l'inquisitore di Padova attesta:

Faccio fede io Zuanne Meraveglia Secretario haver letto un libro in foglio, scritto a mano di c.^{le} 43, intitolato *Division della linea*, senza nome dell'auttore: comincia: *Venendo alla dichiarazione particolare*; finisce: *Quanta veramente è la distantia AB*; nel qual tale non ho trovato cosa contraria alla S.^{ta} Fede Cat.^{ca}, Prencipi et buoni costumi. Et con giuramento affermo che lo giudico degno di stampa.

Il titolo ripete quello del primo capitolo con cui ha inizio il piccolo trattato sul compasso, l'*incipit* è identico, mentre alle parole indicate come ultime dall'inquisitore, nel libro seguono alcune righe di conclusione, aggiunte in corso di stampa.

Galileo, nel sottoporre alla censura il *Compasso*, ha lasciato da parte sia la dedica a Cosimo dei Medici sia l'avviso "ai discreti lettori". Il motivo di quest'ultima omissione è evidente: l'avviso avrebbe dato adito a dubbi sull'eventualità di contestazioni da parte di altri autori.

... E questa saria stata potente cagione, che mi arrebbe fatto astener dall'imprimer quest'opera, se non mi fosse giunto all'orecchie, che altri, alle mani di cui, non so in qual guisa, è pervenuto uno de i miei Strumenti con la sua dichiarazione, si apparecchiava per appropriarselo; il che mi ha messo in necessità di assicurar, col testimonio delle stampe, non meno le fatiche mie, che la riputazione di chi se l'avesse volute attribuire.

Parere uguale a quello del Segretario ducale è espresso nello stesso giorno dai Riformatori dello Studio di Padova, Girolamo Capello e Antonio Querini. Il giorno dopo, i Capi del Consiglio dei Dieci, Marco Contarini, Francesco Morosini e Zuane Moro, concedono licenza perché possa essere stampato a Padova. Una esempio della grande efficienza dell'amministrazione della Repubblica di Venezia.

In previsione dell'imminente autorizzazione, il 17 giugno, Galileo dà un anticipo di lire 31 e soldi 16 al tipografo, Pietro Marinelli e poi, il 23 giugno, altre 18 lire. La stampa delle 60 copie, avvenuta in casa sua, costò in tutto lire 85 circa 12 ducati, mentre l'intagliatore ebbe lire 16 e soldi 5 per 34 incisioni, quasi tutte semplicissime: linee, poligoni, cerchi ecc.

L'11 novembre dell'anno precedente Galileo aveva preannunciato la stampa del compasso alla Granduchessa Cristina:

Io sto aspettando che mi siano mandati li due strumenti d'argento, per poterli segnare et rimandare perfetti. In Venezia ho fatto dar principio ad intagliare le figure che vanno nel discorso circa l'uso di esso mio strumento; et intagliate che siano, farò subito stampar l'opera, consecrandola al nome immortale del mio Ser.^{mo} et Humaniss.^o Principe. Al quale intanto con ogni maggiore humiltà m'inchino, dopo l'havere al Ser.^{mo} G. D. et a l'Altezza Vostra con infinita reverenza baciata la veta, con pregargli da S. Divina Maestà il colmo di felicità.

La fabbricazione dei compassi, che all'inizio deve avere avuto un carattere occasionale, in seguito era divenuta sistematica. Si può ipotizzare una produzione mensile di un paio di strumenti, assicurata dal meccanico che Galileo aveva assunto il 5 luglio 1599. In un suo quaderno di ricordi è segnata con questa data la seguente annotazione:

Essendo, a di detto, venuto a stare in casa mia Mess. Marcantonio Mazzoleni, per lavorare strumenti matematici per me et a mie spese di ordigni et materia, sarà qui appresso notato il conto di tutte le spese fatte da me per tali lavorieri.

In un altro quadernetto, sempre datato 5 luglio 1599, vi è un'annotazione simile:

Memoria come a di detto è venuto a stare a casa mia Mess. Marcantonio Mazzoleni, per lavorare per me et a mie spese strumenti matematici; et essendomi io obbligato di far le spese a lui, sua donna et alla sua puttina, et di più darli 6 ducati l'anno, qui a presso saranno notati i denari che da me haverà ricevuti.

Galileo comincia col pagare al Mazzoleni ogni compasso di ottone di misura ordinaria 25, lire poi passa a 28 lire, che sono 4 ducati⁵; mentre quelli grandi gli costano 40 lire. Un'unica volta trovo un pagamento di 35 lire per la fattura di uno strumento d'argento, e se *fattura* deve essere intesa come lavorazione tale costo non comprende il materiale. Normalmente l'ottone è acquistato da Galileo che lo mette in conto al meccanico ed a carico del Mazzoleni sono anche le spese per il fonditore e per il materiale di consumo.

Galileo vende gli strumenti poco più che a prezzo di costo, perché il suo guadagno è nelle lezioni per apprendere ad usarli. In una nota del 1599 leggo che varie persone hanno pagato il compasso 35 lire. Tra questi acquirenti vi è Guido Bentivoglio, che compra uno strumento ed anche un compasso a quattro punte, spendendo lire 49 in tutto. Bentivoglio, scolaro di Galileo a Padova, quarantatré anni dopo, sarà uno dei cardinali della Sacra Inquisizione che lo condanneranno alla prigione perpetua. Il Landgravio Filippo d'Assia per uno strumento d'argento gli diede 62 lire.

Vi è una nota con elenco di scritture avute da Mess. Silvestre, certamente un amanuense. Sono 6 copie di fortificazioni e 5 copie dell'uso del compasso. Tra i nomi di coloro che ebbero un manoscritto sull'uso del compasso appaiono: Stanislao Lubinski, che divenne vescovo di Plock, Filippo d'Assia e Francesco di Noailles, futuro ambasciatore di Francia a Roma, a cui Galileo dedicherà i *Discorsi intorno a due nuove scienze*.

⁵ - A partire da settembre 1609 i compassi passano a costargli 30 lire. Da due registrazioni in data 9 luglio e 15 agosto 1610, in cui paga 52 lire due strumenti «fatti con il mio ottone», si evince che per fare un compasso ci volevano 4 lire di metallo. In una nota del 1599 Galileo scrive «Al fonditore, per haver buttato una piastra per uno strumento et una venuta a mezzo, lire 1» e in un'altra del 10 febbraio 1602 «Marcantonio ha hauto a di detto per far buttar dua strumenti lire 6,5»; infine il 9 settembre 1603 «a di detto ha hauto lire dieci per far buttare dua strumenti, et a conto della fattura», mentre e nel gennaio 1601 «per conciatura di un compasso Lire 17».

Alcuni anni dopo, il 7 maggio 1609, Galileo scrive a Belisario Vinta, segretario del Granduca di Toscana:

Mi bisogna di più ristampare l'Uso del mio Compasso Geometrico, dedicato a S. A., non se ne trovando più copie; il quale strumento è stato talmente abbracciato dal mondo, che veramente adesso non si fanno altri strumenti di questo genere, et io so che sin hora ne sono stati fabricati alcune migliaia.

Il successo dello strumento, dunque, era stato grande e certamente fabbri e incisori fabbricavano il compasso, copiando l'originale: ecco perché occorreva ristampare il piccolo trattato del 1606. È anche probabile che i costruttori facessero circolare istruzioni manoscritte per l'uso del compasso, copie di quelle che Galileo dava ai suoi studenti insieme ai compassi.

Dalla corrispondenza non risultano altre notizie significative, e occorre fare un salto di decenni, per arrivare ad una lettera di Fulgenzio Micanzio, frate dell'ordine dei servi di Maria, compagno di fra' Paolo Sarpi fin dai tempi della guerra dell'interdetto. Micanzio è la persona con cui Galileo ha più scambiato lettere negli ultimi anni di sua vita. Gli scrive da Venezia il 15 settembre 1635:

Coll'occasione di raccordar all'Ill.^{mo} Baitello⁶ l'essattione della rata matura, m'ha ricercato come potrebbe havere uno de' compassi di V. S. Gli ho risposto non ne havere ritrovato per me in Venetia, come è vero, ma che pregherei V. S. metterci su la strada di haverne.

Venerdì 20 ottobre 1635, a Galileo arriva un'altra lettera di Micanzio:

Do conto all'Ill.^{mo} Baitello di quanto V. S. mi scrive intorno al compasso e del suo desiderio di farli questo honore. A Padoa non ho scritto, perchè disegno andarvi io stesso all'aprir delle lettioni prossime. Mi par bene un gran deffetto che non ci sia discorso di V. S. sopra l'uso del compasso, perchè tengo per certo che sia di molto maggior uso di quello che mostrerà a prima vista; et io, che assolutamente ne voglio uno, senza il suo indrizzo a che me ne valerò?

Le ultime parole fanno comprendere che Galileo deve aver promesso un compasso anche al vecchio amico. La prima cosa che viene in mente a Galileo è di ricercare il suo meccanico, così scrive a Micanzio il 1° dicembre 1635:

Desideravo d'intender da lei se maestro Marcantonio Mazzoleni viveva ancora in Padova, et in conseguenza se da lui poteva restar servito l'Ill.^{mo} S. Baitello del compasso che desidera, acciò, non potendo riceverlo di costà, io potessi in qualche maniera procurar la sua sodisfazione di qua.

Lo stesso giorno, rispondendo ad una precedente richiesta di informazioni, Micanzio gli scrive:

⁶ - Ludovico Baitelli (1586-1660) bresciano, laureato in legge a Padova dove conobbe Galileo, ricoprì cariche importanti a Brescia e a Venezia. Fu autore di opere erudite e giuridiche. Ebbe da Galileo la procura per riscuotere le rate della pensione assegnatagli dal papa sopra la Mansioneria della Cattedrale di Brescia. L'impegno che Galileo mostra nel cercare di soddisfare la richiesta di Baitelli è anche dovuto al desiderio di disobbliarsi.

Quel maestro Marc'Antonio Mazzoleni morì di peste; non vi è chi più sappia far li compassi: cosa strana che, sendo di così importanti usi, si lasci perir l'inventione, e che non si trovi nè anco il discorso dell'uso, quale cerco con smania.

Queste notizie le avrà sentite di persona a Padova, dove Micanzio era andato proprio in quei giorni.

Soltanto il 15 marzo 1636 Galileo ritorna a parlare del compasso, cosicché apprendiamo che ne ha ordinato la fabbricazione ad un costruttore fiorentino, fabbro e insieme incisore:

Speravo di poter con questo ordinario mandare uno de i compassi; ma il maestro, oltre all'esser di nuovo stato ammalato, gli vuol dar finiti amendue insieme. Il non poter assistergli in persona cagiona di simili dilazioni; pure mi vien referto che non manca se non a segnarli.

Il 12 aprile Galileo non ha ancora i compassi

Il fabro de i compassi haveva promesso darmegli finiti per oggi: hora si manda a scusare d'essere stato indisposto, e domanda dilazione d'un'altra settimana. Il non poter io praticar la città cagiona queste proroghe.

La lettera che segue, di Micanzio, fa presupporre che vi deve essere stata in mezzo una lettera di Galileo andata perduta:

Ricevo la gratissima di V. S. Ecc.^{ma} di 17.

Li compassi verranno a tempo. Li ringraziamenti del favore li lasciarò da canto, notando solo a partita di tante altre mie obligationi, a' quali non ho con che corrispondere che colla gratitudine d'animo. Mi è stata promessa anco la scrittura dell'uso, quale stupisco non fosse stampata.

Come si vedrà più avanti, Galileo era costretto a far copiare a mano il testo del compasso, perché non aveva più esemplari del trattato stampato a Padova. Nel 1613 era stata pubblicata a Strasburgo una traduzione latina per opera di Mattia Bernegger⁷, che aveva sopperito alle richieste, ma dopo oltre 20 anni non c'era dove trovarli.

Sfogliando la corrispondenza, trovo che anche Castelli, il suo antico discepolo, ora professore a Roma, chiamato dalla famiglia Barberini come precettore, aggiunge la sua alle richieste di molti di avere una copia del *Compasso*, esprimendo questo desiderio in chiusura di una lettera, datata 19 aprile 1636:

Nel resto vivo sempre di V. S., e la prego se mi potesse fare havere una copia del libro dell'uso del compasso geometrico, che mi sarebbe carissima.

⁷ - D. GALILAEI DE GALILAEIS patritii florentini, mathematicum in Gymnasio Patavino Doctoris excellentissimi, de proportionum instrumento a se invento, quod merito compendium dixeris universale geometriae, tractatus, rogatu philomathematicorum, a Matthia Berneggero ex Italica in Latinam linguam nunc primum translatus: adiectis etiam notis illustratus, quibus et artificiosa instrumenti fabrica et usus ulterior exponitur, - *Argentorati, typis Caroli Kufferi*, 1613. Utilizzando copie non vendute della prima edizione il libro fu riproposto con nuovo frontespizio proprio nel 1635: *Tractatus de proportionum instrumento, quod merito compendium universae Geometriae dixeris*, autore Galilaeo Galilaei, nobili florentino, philosopho et mathematico excellentissimo, ex Italica Lingua Latine conversus, adiectis Notis, quibus & artificiosa Instrumenti fabrica, & usus ulterior exponitur, - *Argentorati, typis Davidis Hautti*, 1635.

Si scopre subito che la richiesta non è per lui, perché il 6 maggio Castelli ripete la richiesta a nome di Francesco di Noailles, personaggio a cui abbiamo fatto cenno all'inizio di questo scritto:

Il Sig.^r Ambasciatore poi mio Signore desidererebbe un compasso geometrico di V. S., ma che fosse più grande il doppio di quelli che già faceva in Padova il Mazoleni; e parimente vorrebbe un libro per l'uso di esso compasso: per tanto prego V. S. a fare questo favore a S. Ecc.^{za}, che della spesa io rimetterò il danaro in Firenze, come ella m'ordinerà.

e il 10 maggio ritorna sull'argomento:

Il nostro Sig.^r Ambasciatore di Francia è andato alla S.^a Casa, e sarà in breve di ritorno. Il giorno che partì di Roma scrissi a V. S. molto Ill.^{re} con l'occasione di un gentiluomo Francese che partiva per cotesta volta, e scrissi la lettera in camera di S. Ecc.^{za} e di ordine suo: però aspettarò la grazia che dimando, con fare copiare il libro dell'uso del compasso, perchè se bene, a dire il vero fra noi, il Sig.^r Ambasciatore, per i grandi negozi che ha per le mani, non può attendere nè intendere molte cose, in ogni modo desidera tanto ardentemente questa scrittura, che è necessario fargliela avere; però mi perdoni se sono importuno.

La richiesta sarà soddisfatta e vedremo a suo tempo l'epilogo, ma per mantenere l'ordine cronologico, devo tornare a Fulgenzio Micanzio, che scrive il 7 giugno:

Hoggi invio il suo all'Ill.^{mo} Baitello, il quale so che, oltre il ringraziamento et obligatione, mi sarà adosso con importunità del costo. Vorrei saper che risponderli in causa commune, perchè io ancora sarei al medesimo, se non conoscessi V. S. un poco più che non fa quel Signore.

Lodovico Baitelli scrive subito dopo, l'11 giugno 1636:

Nel regale esquisitissimo che l'incomparabil generosità di V. S. molt'Ill.^{re} et Ecc.^{ma} ha voluto fare all'inutile mia servitù, vorrebbe l'animo mio esser tutto gratie per poter, almeno con esterne dimostrazioni, attestarle l'infinita obligatione ch'io ho contratta con lei, già che ne gl'eccessi della cortesia ricevuta senza alcun mio merito mi si leva la speranza di mostrarmene in qualche maniera grato. Al P. Rev.^{mo} in discorso richiesi se in Venetia si trovava presso ad alcuno de' Signori il compasso di V. S. molt'Ill.^{re} et Ecc.^{ma}, per vederlo et studiarlo; egl'ha voluto, secondo il suo solito, favorirmi con tanta pienezza, che m'ha reso di maniera confuso che non ho concetto adeguato all'obligatione. Già che tanto V. S. molto Ill.^{re} et Ecc.^{ma} vuole, goderò i frutti delle sue glorie, ammirerò il sommo della sua virtù, et conserverò perpetua la memoria di questa che stimo singolarissima gratia, fin tanto che col mezzo d'alcun comando, che pregiatissima gratia sarà sempre da me stimata, come con ogni più caldo affetto ne la supplico, io possa mostrar in fatti a V. S. molt'Ill.^{re} et Ecc.^{ma} di tenermele perpetuamente donato

Il trattato in latino sull'uso del compasso, tradotto dal Bernegger e stampato a Strasburgo, appare ricordato qua e là nella corrispondenza con il servita veneziano. Galileo scrive a Micanzio il 21 giugno:

Fo con diligenza far la copia de i nuovi Dialogi, per mandarli costà avanti la partita del detto S. Elzevirio, acciò gli possa condur seco e con la sua diligenza e prestezza farli pubblici, assicurandolo che la novità delle materie, che in essi son contenute, gli farà havere grand'esito. Intanto lo saluti caramente in mio nome e me lo conservi ben affetto, e gli dica che faccia intendere al Sig. Bernengero che mandi in grazia delle copie dell'uso del mio compasso geometrico, ch'egli già illustrò e fece latino, perchè continuamente ne vengono domandate, sì che io, per sodisfare a molti che me lo domandano, son forzato a far farne copie manuscritte del mio antico, con mio gran tedio e spesa. Comporti la P. V. R.^{ma} che io dica d'essermi un poco scandalizzato nel veder che ella mi habbia domandato quello che deve scriver all'Ill.^{mo} S. Baitello in materia del compasso, il costo del quale viene a cento doppi soprapagato col dargli luogo tra le cose rare che adornano lo studio di un tal Signore: però *de his actenus*.

Galileo spera inutilmente di poter ricevere dal Bernegger qualche copia dell'edizione latina del *Compasso*, per evitare l'incomodo di farlo copiare e sull'argomento ritorna alla carica con Micanzio il 28 giugno:

Sarebbe anco necessario che il S. Beniamino [*Engelcke*], se è ancora costì, scrivesse al S. Bernengero che mandasse molte copie dell'uso del mio compasso, perchè hanno una chiesta grande, e qui continuamente mi bisogna farne far copie manuscritte con tedio e spesa.

Il 5 luglio Micanzio gli risponde con una buona notizia: gli Elzeviri pubblicheranno una edizione latina delle maggiori opere di Galileo, compreso il *Compasso* e il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*.

Il Sig.^r Elzvir resterà qua ancora per tutto questo mese, onde V. S. ha tempo per mandar l'opera. Ho trattato seco, e lo veggio benissimo disposto a stampare tutte le opere insieme di V. S. in un solo volume; perlichè resta procurare di metterle tutte insieme e fargliele capitare, nel che io offerisco ogni diligentia. Potremo consegnarle adesso tutto quello che si ha alla mano per quel fine. Ma subito gionto, stamperà li Dialoghi, il Discorso delle cose che stano sopra l'aqua, Delle macchie solari, e Dell'uso del compasso, purchè si trovi; e con il tempo mi dà intentione che non ha dubio alcuno che si traduca in latino tutto quello che non è posto. Io pretendo, nel procurar questo che tutte le compositioni di V. S. si riducano in un volume, di far un supremo servitio e piacere a chi ha gusto di filosofia e non di chiacchiere.

Nella lettera a Micanzio del 12 luglio Galileo esprime il suo grande piacere per la notizia, ma chiede immediatamente che non sia pubblicato il disgraziato *dialogo*! L'Inquisizione non glielo perdonerebbe.

Nell'ultima sua mi scrisse ch'era in trattamento col S. Lodovico Elzevirio del ristampar tutte le mie opere (trattone lo sgraziato Dialogo) in un volume. Questo mi piacerebbe talmente, che benchè io sia sicuro che tal libro harebbe grande spaccio, non si trovando alle librerie più nissuna delle mie opere et havendo continue chieste, io mi contenterei (per facilitar il negozio) di obbligarmi a comperarne cento o più copie, oltre a quelle che alla cortesia di detti SS.ⁱ Elzevirii piacesse di donarmi; e pur che si facesse un magnifico volume in foglio, non recuserei qualsivoglia altra iuridica spesa, conforme alla sincerità de gl'animi Olandesi, celebri sopra tutte le altre nazioni nella realtà. Però la P. V. R.^{ma},

se è anco a tempo, tratti pure col S. Lodovico Elzevirio e vegga di serrare il partito, ch'io non sarò renitente a concorrere a quello che a i medesimi SS.ⁱ Elzevirii paresse ragionevole.

Il 15 luglio Galileo si decide a scrivere direttamente a Mattia Bernegger⁸, il calvinista copernicano di Strasburgo, che aveva finito di tradurre in latino proprio allora il *Dialogo sopra i due massimi sistemi*.

Io hebbi, circa 3 mesi fa, il primo foglio della mia scrittura tradotta e stampata, e ultimamente ho ricevuto della medesima il frontispizio con le 2 lettere, che mi son piaciute assai; e ne starò aspettando un esemplare intero, desiderato grandemente da tutti i miei amici, come con affetto contrario è per esser veduto dagli ostinati ed implacabili miei nemici. Io non dubito, che trasmettendone in Italia, harebbe grand'esito, come anco l'uso del mio compasso, che già molti anni sono V. S. si compiacque di far latino ed illustrare con molte sue aggiunte, del quale officio io mi son tenuto sempre molto onorato e obbligato a V. S. Questo ha grandissima chiesta, e giornalmente se ne fanno copie manuscritte, non si trovando più nissuno di quelli che già feci stampare io, sì come non si trova più nissun'altra dell'opere mie stampate; e se il S. Elzeviro le stamperà tutte in un sol volume, come mi pare che habbia intenzione, spero che il suo utile non sarebbe minore del mio onore.

L'edizione elzeviriana delle Opere non ebbe poi luogo e così Galileo non poté disporre di altre copie del *Compasso*. Tuttavia Galileo non desiste e richiede, in maniera quasi ossessiva, a Micanzio di far mandare a Firenze alcune copie dell'edizione latina del compasso.

Il 26 luglio gli scrive:

E quanto al Compasso Geometrico, già fu fatto latino e stampato dal Sig. Berneggero con aggiunte e annotazioni; e sarebbe bene farne venire in Italia, dove ha continue chieste e bisogna continuamente farne copie manuscritte.

Il 12 settembre 1636 gli ripete:

Facciami grazia d'intender se in coteste librerie, che hanno corrispondenza in Alemagna, si trova l'Uso e la fabbrica del mio compasso, tradotto già latino dal medesimo S. Berneggero, e trovandosi favoriscami di mandarmene un esemplare.

Micanzio gli risponde dichiarando che tutte le sue opere sono introvabili a Venezia e che del *Compasso* conosce solo una copia manoscritta.

⁸ - In una lettera di M. Bernegger a Gaspare Hofmann del 31 luglio 1638 trovo: «De Galilaeo non valde me perculisti, qui sciam, ipsum simulate, non serio, dixisse quae dixit. Anni sunt 20 et quod excurrit, cum, amicorum rogatu, ex italico converti tractatum ipsius de instrumento proportionum. Ea versio cum non displicuisset, internuncio Deodato I. C.¹⁰ Parisiensi, rogavit me ut item Systema suum Copernicanum vertendum susciperem, ex alto tamen dissimularem me hoc precibus suis dedisse.» [traduzione: non mi hai sorpreso molto su Galileo, il quale so che ha detto quello che ha detto non sul serio ma proprio in modo simulato. Sono 20 anni e passa che, a richiesta di amici, ho tradotto dall'italiano il suo trattato sullo strumento di proporzione. Poiché quella traduzione non displicque, per intermediazione di Diodati I. C.¹⁰ di Parigi, (*Galileo*) mi ha chiesto di fare pure la traduzione del suo Sistema Copernicano, ma di tenere nascosto che mi ero messo a fare ciò dietro sua richiesta.]

Alla dimanda che V. S. mi fa, dico che delle opere di V. S., se intende quali si ritrovano in Venetia per poterle comprare, che non se ne ritrova nessuna assolutamente, perchè sono gioie tali, che chi le conosce non le lascia per danaro, et chi le ha le tiene care. Quelle che ho io, sono queste: *Sidereus Nuncius*, il Saggiatore, il Discorso delle cose che stano sopra l'aqua, la Risposta alle opposizioni del Sig.^r Lodovico delle Colombe, il Discorso delle comete, il Dialogo divino sopra il sistema Copernicano, quali tutti ho cavati dalle mani di V. S. E.^{ma} con l'importunità che ella sa, e non me le lascierei uscir di mano a modo alcuno; e quando si parla del Dialogo, mi lascio liberamente intendere che più tosto restarei privo di quanti altri libri ho che di quel solo, e così è la verità. Havevo anco le Lettere delle macchie solari, le ho prestate non so a chi, et da galant'huomo non me le rende, come mi avviene di molti buoni libri; e per diligenza usata, non ho potuto ritrovarlo alle librerie. L'instruttione per l'uso del compasso latina non è possibile ritrovarla: ci è nella nostra lingua a penna, ma è del Sig.^r Marc'Antonio Celesti, che non la darebbe per cosa alcuna. In somma non occorre pensare di haver alcuna delle sue opere per prezzo alle librerie. Delle possedute da me V. S. è padrona, ma con la conditione che non me ne privarei se non per il suo commandamento et con gran repugnanza della mia volontà, perchè s'imagini che quelle sono il giardino del mio sollievo doppo che son stanco delle noie nelle quali vivo immerso.

Il 18 ottobre Castelli scrive di nuovo, confermandogli che il compasso per l'ambasciatore era giunto:

Hieri, ritornato da Bagnaia, dove son stato a servire il nostro caro et gentilissimo Sig.^r Ambasciatore⁽⁹⁾, fui necessitato a mettermi in letto per un poco d'indispositione, dalla quale spero in Dio presto liberarmi. Hoggi ricevo la lettera di V. S. molto Ill.^{re} et Ecc.^{ma}, per la quale resto maravigliato vedendo che non ha riceute le mie lettere, in due delle quali accusava la riceuta del compasso e li scriveva altri particolari, et sopra il tutto ch'io havevo dicidotto scudi in mano per la spesa del compasso, quali mandarò o pacarò qui in Roma, conforme a quello che mi sarrà da V. S. ordinato.

Il Sig.^{re} Ambasciatore partì da Bagnaia giovedì mattina alle quindici hore, continuando il suo viaggio alla volta di Siena, e credo che da Pongibonzi si trasferirà incognito a riverire il Ser.^{mo} Gran Duca; ma sopra il tutto tiene ardentissimo desiderio di vedere V. S. Del resto non ho che dirli altro; intenderà molte cose dal medesimo Sig.^r Ambasciatore, e credo ancora che toccherà con mano che io li vivo servitore di fedelissima e constantissima devotione: e tanto basti. Con che li fo riverenza.

È vero che il compasso per l'Ambasciatore era grande il doppio di quelli che si facevano a Padova, ma il prezzo era salito assai, dai 3 ducati di inizio secolo ai 18 scudi del 1636!

L'anno seguente, a Galileo arriva una diversa offerta di pubblicare le sue Opere, presentatagli da Pierre Carcavy, di cui Elia Diodati è tramite ed è a quest'ultimo che risponde il 4 luglio 1637:

Quanto all'impresa dell'Ill.^{mo} Sig. Carcavil, V. S. faccia pur istanza che dia mano all'opera, cominciando in tanto dal Nuncio Sidereo, già latino, e dall'Uso del Compasso Geometrico, fatto pur latino già dal Sig. Berneggero, che fra tanto fo tradurre in latino tutto il resto delle mie opere; e quando io vegga un poco di principio, potrò mandar le Lettere solari, già finite di tradurre, e di mano in mano conseguentemente tutte l'altre mie composizioni, sichè non reterà impedimento alcuno all'ottenere il privilegio. E

⁽⁹⁾ - FRANCESCO DI NOAILLES.

quando V. S. scorga costà irresoluzione o turbamento, me ne dia avviso, perchè credo che dando l'opere tutte latine al Sig. Elseviri, l'abbracceranno, che così me ne dette intenzione in voce il Sig. Lodovico.

Il 7 luglio Diodati gli manda una lettera, ovviamente indipendente dalla precedente di Galileo perché scritta in una data troppo ravvicinata:

Sin qui non si è dato principio alla stampa dell'opere di V. S. molt'Ill., ma infallibilmente seguirà in breve, il Sig. Carcavi affezionandocisi da doverlo. Non occorrerà che mandi li due libri Delle macchie solari e Delle cose che stanno su l'acqua, avendogli ritrovati tra i miei. Ma quello del Compasso di proporzione, stato stampato a Padova, non visto in queste parti, le piacerà provvederlo, mandandomi, come già le scrissi, l'ordine che se gli doverà osservare.

Ho caro che V. S. molt'Ill. avesse ricevuta la cassetta de' libri mandatigli ben condizionata, e che l'esemplare che ne ha presentato a S. A. sia stato gradito da lei.

Il Sig. Elzevirio portandosi verso di lei da galantuomo nella stampa della sua opera del moto, mi pare che debba aspettarne il fine prima che gli proponga se vorrà stampare tutte le sue opere tradotte in latino; perchè in ogni modo non ci metterebbe la mano adesso, mentre durerà l'opera dell'altra, oltrechè la stagione favorisce poco, anzi è contrarissima, all'imprese litterarie. Intanto se V. S. averà comodità di farle tradurre, non ne perda l'occasione, e tenga l'opera a suo agio preparata, la quale a suo tempo non mancherà d'essere richiesta.

Il 22 agosto Galileo scrive di nuovo a Diodati

Piacemi sentir che si sia dato principio all'intaglio delle figure delle macchie solari, per venire alla stampa dell'opere. Delle quali V. S. mi domanda l'Uso del Compasso Geometrico, ma non se ne trovan più già son molti anni, e due o tre che sono in mano d'amici miei, non se ne vogliono in conto alcuno privare; anzi ultimamente bisognò farne fare una copia manuscritta per l'Ill.^{mo} Sig. Conte di Noailles, dal quale si potrà averla sinchè se ne fabbrichi costà la stampa.

Quante copie manoscritte finite chissà dove! Ma finalmente occorre un fatto nuovo. Da una lettera di Giovanni Michele Pierucci del 4 agosto 1640 apprendiamo che si sta stampando a Padova di nuovo il *Compasso*:

Ritornato in Padova, ho trovato che il Frambotto ha preso a ristampare l'Operazioni del Compasso Geometrico e Militare di V. S. Ecc.^{ma}, conforme alla licenza ch'ella ne dette già con una sua amorevolissima lettera; e fin hora n'ha stampato sei fogli, quali ho giudicato bene subito mandarle, sì come farò ancora del rimanente, insieme con quegli esemplari intieri ch'ella habbia gusto d'havere e per sè e per amici suoi.

Tra tanto vengo a pregarla, che s'ella havesse gusto d'aggiunger qualche cosa, o nella lettera a i lettori o in altra parte dell'opera, mi voglia far favore di darmene avviso avanti che si finisca di stampare, perchè tratterrò la stampa quanto farà di bisogno, finch'ella mandi quelle aggiunte che più vi desidero. Anzi havendo io letto nel fine del detto suo libro la speranza ch'ella ne dà di risolversi *in altra occasione a publicar, insieme con la fabrica dello strumento, una più ampia descrizione de' suoi usi*⁽¹⁰⁾, prendo ardire di

⁽¹⁰⁾ - Cfr. Vol. II, pag. 424, lin. 8-9 [Edizione Nazionale].

metterle in considerazione, che se questa le paresse l'occasione di farlo, io insieme con tanti altri, che ciò desiderano, lo riceveremmo per favor singolarissimo e le ne resteremmo con obbligo perpetuo.

La ristampa del *Compasso* (che ebbe una terza edizione nel 1649, opera dello stesso Paolo Frambotto), finalmente tolse Galileo dal fastidio di dover sopperire con copie manoscritte alle continue richieste, segno che il compasso era uno strumento che si vendeva molto e che pertanto era costruito secondo i disegni e gli esemplari, dovuti all'abilità del povero Mazzoleni. In questa edizione vi è una tavola in cui appare per la prima volta inciso, con grande precisione, il compasso, visto nei due lati insieme al quadrante per le misure angolari.

1.2. *Migliaia i compassi costruiti, pochissimi i sopravvissuti*

Nel periodo che va dal 1599 al 1607 Galileo ha fatto fabbricare a Padova un centinaio di compassi, oltre quelli costruiti ad Urbino, a Firenze e in vari luoghi di Germania. La notizia è nella sua *Difesa ... contro alle Calunnie ed imposture di Baldassar Capra*¹¹:

Dico dunque, che sono già dieci anni, che avendo io ridotto a perfezione un mio strumento, da me chiamato Compasso Geometrico e Militare, cominciai a lasciarlo vedere a diversi gentiluomini, mostrandone loro l'uso e dandogli lo strumento e le sue operazioni dichiarate in scrittura; il quale strumento è stato così aggradito, che da quel tempo in qua per soddisfare a molti Principi e Signori di diverse nazioni, mi è convenuto farne fabbricare in questa città oltre al numero di cento, senza quelli che in Urbino, in Firenze e in alcuni luoghi di Alemagna sono di mio ordine stati lavorati; sicché poche restano le Provincie di Europa, nelle quali da' miei scolari non siano stati di tali strumenti trasportati...

Alcuni anni dopo, il 7 maggio 1609, Galileo scrive a Belisario Vinta, segretario del Granduca di Toscana:

Mi bisogna di più ristampare l'Uso del mio Compasso Geometrico, dedicato a S. A., non se ne trovando più copie; il quale strumento è stato talmente abbracciato dal mondo, che veramente adesso non si fanno altri strumenti di questo genere, et io so che sin hora ne sono stati fabricati alcune migliaia.

Lo strumento aveva avuto successo e vari meccanici, fabbri e incisori costruivano il compasso, copiando l'originale: da qui la necessità di ristampare il manuale del 1606. Circolavano anche istruzioni manoscritte per l'uso del compasso, copie di quelle che Galileo usava dare ai suoi studenti insieme ai compassi.

Da tanti strumenti ne sono rimasti molto pochi: quattro sono a Firenze, a Milano, a Harvard (Massachusetts) e a Pisa. Un quinto è stato acquistato da Stillman Drake¹² che suppone sia uno di quelli fabbricati a Firenze con l'autorizzazione di Galileo. Un quadrante

¹¹ - ROBERTO VERGARA CAFFARELLI (a cura di), *Il Compasso Geometrico e Militare...*, cit., p. [144].

¹² - STILLMAN DRAKE, *Tartaglia's Squadra and Galileo's Compasso*, Phisic, pp. 35-54, fig. 1. Lo strumento è alquanto più grande degli altri e Drake ritiene che sia stato costruito prima del 1606.

isolato è stato ritrovato nel Museo Archeologico Nazionale di Perugia da Gemmarosa Levi-Donati¹³.

La storia conosciuta del compasso pisano si può raccontare in poche righe di un appunto:

La Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa ha acquistato alcuni anni fa un esemplare di compasso geometrico, giudicato di ambiente galileiano, e lo ha affidato in comodato al Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa, perché sia esposto nel *Museo degli strumenti per il calcolo*. Il compasso ha fatto parte della raccolta di strumenti scientifici antichi di Fausto Casi, noto collezionista e antiquario di Arezzo, che aveva inizialmente offerto al Museo l'acquisto in blocco di questo e di altri rari compassi di notevole valore storico, poi comprati dalla Fondazione Caripisa.

Non conosco altro, ma so che esiste una expertise sul compasso preparata in vista dell'acquisto. Secondo l'opinione del dott. Casi, la fabbricazione del compasso risale al primo decennio del secolo XVII. La prof.ssa Mara Miniati, dell'Istituto e Museo della Scienza di Firenze (IMSS), ha scritto al riguardo¹⁴:

IL COMPASSO GEOMETRICO E MILITARE GALILEIANO italiano 1600 mi lascia perplessa. Non lo daterei 1600, ma lo assegnerei più genericamente al XVII secolo. Inoltre una delle divisioni presenta una serie di linee ravvicinate l'una all'altra che sembrano essere intervento successivo "su" una divisione preesistente. Questo intervento nulla toglie all'autenticità dello strumento, ben costruito, uno degli esemplari galileiani che certamente circolarono all'epoca, anche se ne modifica, a mio avviso, la datazione così come la presenta il collezionista.

Si deve riconoscere che le notizie dirette sono molto povere, ma si può arrivare a saperne di più: uno strumento scientifico può essere sottoposto ad un'analisi materiale e storica, esattamente come si fa con un quadro, una scultura, un oggetto archeologico, di cui non si conosce, l'autore, la provenienza o la data di creazione. Il primo passo è fare un confronto con altri esemplari ben storicizzati.

Un compasso sicuramente galileiano è quello conservato all'IMSS di Firenze. Guglielmo Righini¹⁵ ha analizzato la struttura delle sue scale discutendo ed esemplificando alcune operazioni fondamentali e valutando la precisione dei risultati. Il compasso fiorentino è così descritto da lui:

Il Compasso Galileiano attualmente in possesso del Museo di Storia della Scienza di Firenze è costituito da due regoli di ottone a sezione rettangolare di 23 x 5 mm, lunghi 247 mm. Essi sono fulcrati ad una estremità [...] e sono arricchiti da incisioni ed ornamenti vari secondo la moda del tempo. Le estremità inferiori dei due regoli rettangolari sono abbellite da un piedino lavorato di circa 8 mm di lunghezza. Quando il compasso è chiuso esso forma una piastra unica sormontata da un rosone circolare di 30

¹³ - G. LEVI-DONATI, *Sulle tracce di Galileo: il ritrovamento del "Quadrante", parte di un "Compasso geometrico et militare"*, in: *Quaderni di Storia della Fisica*, vol. 12, 2004, pp. 45-57.

¹⁴ - Si veda il testo completo in appendice.

¹⁵ - GUGLIELMO RIGHINI, *Sulla costruzione del Compasso geometrico e militare di Galileo*, Physis, 1974, pp. 201-222. In una riedizione di questo studio, in occasione delle mostre medicee del 1980, la larghezza dei regoli è indicata in 25 mm.

mm di diametro, nel centro del quale vi è un foro per fissarvi il filo di un piombino come si dirà in seguito.

La linea più importante del compasso di proporzione è la linea aritmetica, che nell'esemplare di Firenze è divisa in 260 punti, numerati ogni dieci a partire dal ventesimo punto, con eccezione delle cifre 50, 60 per le quali non vi è abbastanza spazio libero. Righini nell'illustrare le linee aritmetiche e alcune operazioni che si fanno con esse, così le descrive:

Sono scale lineari nelle quali la lunghezza di 245 millimetri è stata divisa in 260 parti uguali. Le divisioni sono numerate di 10 in 10 e ciascuna è realizzata con un puntino incavato nell'ottone del compasso. Non vi sono segni particolari per i valori multipli di 10 per cui l'individuazione della lettura può essere soggetta a qualche incertezza. Ogni divisione vale quindi 0,942 millimetri.

Nel catalogo *L'età di Galileo. Il secolo d'oro della Scienza in Toscana*, a cura di Mara Miniati, al compasso fiorentino è data la lunghezza 256 mm, per cui si deve presumere che in questa misura è compreso l'ornamento del piedino, ma non il semicerchio sporgente del rosone. Nella scheda il compasso è così descritto:

È uno degli strumenti costruiti e impiegati da Galileo, nel quale può forse riconoscersi l'esemplare indicato a pag. 64 dell'inventario di Galleria n. 82 (Archivio degli Uffizi, Firenze) come "un compasso di proporzione di Galileo Galilei di ottone degradato da ambo le parti con una 4^a parte di cerchio da levare e porre con un rabesco che scorre ad un braccio di esso, quale serve per porlo in piano lungo s.[oldi] 9 [= mm 262] n° 529". Potrebbe trattarsi dell'esemplare donato da Galileo a Cosimo II assieme alla stampa del trattato sul compasso (dedicato anch'esso al Granduca) pubblicata a Padova nel 1606.

Questo compasso appare anche nell'inventario degli strumenti consegnati nel 1766 all'abate Felice Fontana. L'ipotesi che il compasso fiorentino sia quello donato a Cosimo, è poco probabile, anzitutto perché l'esemplare donato al principe era d'argento, secondo quanto scrive Galileo alla Granduchessa Cristina l'11 novembre 1605

Io sto aspettando che mi siano mandati li due strumenti d'argento, per poterli segnare et rimandare perfetti.

Il compasso destinato al Principe di Toscana non era stato fatto in casa dal meccanico Mazzoleni, ma forse a Firenze, se il verbo *rimandare* è preso nel suo significato preciso. È anche un particolare da non trascurare l'affermazione di Galileo di riservarsi personalmente il compito di "segnare" lo strumento, ultima operazione nel processo di fabbricazione: se li avesse dati a segnare a Mazzoleni avrebbe messo la spesa nei conti che manteneva con lui.

C'è un altro motivo per dubitare che il compasso fiorentino abbia avuto un così insigne destinatario: nel braccio di sinistra è ben visibile un segno di forma ovale, che rivela l'inserimento di un riporto di ottone, probabilmente per sanare qualche difetto della piastra. Risulta che la riparazione precede l'incisione delle linee e dei numeri. Non è, perciò, plausibile ritenere che Galileo abbia donato all'erede al Granducato un compasso esteriormente difettoso e di materiale comune.

Nell'Archivio di Stato di Firenze, n° 826, Guardaroba Mediceo, risalente al 1675: inventario di mobili e masserizie dell'eredità del cardinale Leopoldo de' Medici si trova indicato un compasso¹⁶ di dimensioni differenti.

A carte 42r. Un compasso d'ottone di proporzione del Galileo lungo $2/3$ [*di braccio, cioè circa 389 mm*], che mancano le vite da formare il semicircolo.

Nell'Archivio di Stato di Firenze, n° 1017. Guardaroba alla Villa Imperiale. Anno 1696.

Un regolo e un regoletto con loro appartenenze.

1.3 *Studio del compasso pisano*

Mi sono attardato nella descrizione precedente, perché il compasso che è a Pisa nel Museo degli Strumenti per il Calcolo presenta somiglianze notevoli con quello fiorentino. È simile tanto nelle dimensioni e nella struttura del compasso, quanto nell'intaglio dei piedini, nell'incisione della *nocella*, come Galileo chiama il fulcro, che rappresenta un rosone in un lato e nell'altro un quadrifoglio; nella decorazione del quadrante e dell'ornamento del rinforzo posteriore, tutti lavori che sembrano usciti da una stessa mano vicina a quella che ha fatto il compasso di Firenze. Vi è un altro segno che accomuna i compassi di Firenze e di Pisa e che manca a quelli di Milano, Harvard e anche a quello di Stillman Drake. Guardandoli dal lato della linea aritmetica, si vede in entrambi un foro molto grande nel regolo di destra, al posto delle prime due lettere della parola ORO della scala dei metalli, la cui esistenza non è stata indicata da Galileo o da altri illustratori dello strumento.

Per il compasso pisano osservo che le cifre sui due regoli del compasso e sul quadrante hanno stile calligrafico molto simile e che nell'opera di incisione sono presenti notevoli errori in entrambe le parti dello strumento: segno che non sono stati messi insieme in seguito ma che sono opera della stessa persona, costruiti per stare insieme.

Per i gravi difetti nella divisione di molte linee si deve escludere che il compasso sia stato inciso dal Mazzoleni, meccanico di Galileo, ma è probabile che si tratti di un lavoro affidato da Galileo ad altro artefice, che può aver realizzato il corpo molto bene, avendo di fronte un esemplare di produzione diretta della "officina" galileiana di Padova o un buon disegno e che poi, dopo aver fatto con abilità le decorazioni, è passato a segnare le linee e le divisioni e a incidere le cifre, rivelando in quest'ultime operazioni molta imprecisione e ignoranza dei minimi rudimenti nell'uso dello strumento.

Galileo ha tenuto la contabilità con Marcantonio Mazzoleni¹⁷, annotando le spese anticipate per l'ottone e il pagamento dei compassi e di altri strumenti matematici. In queste carte si può capire se Mazzoleni faceva gli strumenti dall'inizio alla fine e soprattutto se incideva i compassi fatti da altri.

Si vede in questi registri che qualche volta il meccanico non intagliava le bussole e che una sola volta è stato pagato per segnare un compasso. Nel gennaio 1601 trovo "per una bussola straforata, ma non intagliata. Lire 30" e "per la conciatura di un compasso. Lire 17". Nel marzo del 1603, di nuovo, "Una bussola partita solamente, et per haver straforata la sua cartella Lire 20", e nel settembre 1603 "per quanto mi andava debito, Mess. Marcantonio si è

¹⁶ - GIUSEPPE BOFFITO, *Gli strumenti della scienza e la scienza degli strumenti*, Firenze 1929, p. 163; si veda anche PIETRO PAGNINI, *L'Accademia del Cimento*, Firenze 1942, dove a p. 40 dell'avvertimento legge $1/3$ e in tal caso la lunghezza del compasso sarebbe di circa 194 mm.

¹⁷ - *Galileo Galilei*, Ed. Naz., vol. XIX, pp.130-149.

accordato di dover finirmi due bussole straforate”. Galileo in seguito non precisa più se le bussole non sono finite, ma è sufficiente guardare il costo per assicurarsi che non erano intagliate: per esempio, nel dicembre 1606 annota così la spesa “Per una bussola - Lire 18”.

Nel maggio del 1609 troviamo un’indicazione importante “Per segnatura d’uno strumento - Lire 7”. Nella contabilità col Mazzoleni, che finisce il 7 settembre 1610, vi è segnato il pagamento di 81 strumenti in tutto¹⁸. Ma anche prima di andare a stare in casa di Galileo Marcantonio aveva fatto compassi per lo scienziato, che annotava: “et prima, venendo in casa mi restava debitore, per i conti vecchi rivisti di Lire 43”.

Mazzolenni aveva, infatti, cominciato la sua collaborazione nel 1597:

Adì 24 di Maggio 1607, in Padova. Depongo e affermo io Marcantonio Mazzoleni di Domino Paulo Mazzoleni come è la verità, che da dieci anni in qua ho continuamente lavorati all’Eccellentissimo Sig. Galileo Galilei Lettor delle Matematiche nello Studio di Padova de’ suoi Compassi Geometrici, e Militari secondo l’ordine, e le divisioni datemi da lui sino dal principio, de’ quali glie ne ho fabricati due di argento, uno che mi disse esser per il Serenissimo Arciduca Ferdinando d’Austria, e l’altro per uno deg’Illustrissimi, ed Eccellentissimi Landgravii di Assia, e altri di ottone circa il numero di cento per diversi altri Signori suoi scolari...

Questo attestato conferma due fatti: che i due compassi d’argento di cui scrive Galileo alla Granduchessa di Toscana non furono fatti a Padova dal suo meccanico, che non avrebbe mancato di ricordare una così prestigiosa destinazione; inoltre apprendiamo che egli aveva “l’ordine e le divisioni” per incidere le scale.

Il Mazzoleni faceva dunque non solo la parte meccanica, ma anche l’incisione dei compassi che fabbricava; invece, interveniva solo eccezionalmente a finire i compassi di altri. Gli artefici che “in Urbino, in Firenze e in alcuni luoghi di Alemagna” operavano per Galileo avevano perciò anch’essi le istruzioni necessarie ad arrivare ad un lavoro finito.

A questo punto mi sembra che abbia acquistato una certa consistenza l’ipotesi avanzata prima sul compasso pisano, cioè che può essere il risultato di un nuovo collaboratore che ha dato cattiva prova di sé.

In ogni caso, la data probabile dell’esecuzione deve risalire ai primi decenni del 1600, se non al primo decennio, perché la successiva diffusione di libri con spiegazioni di come costruire e dividere lo strumento rende poco plausibile la loro ignoranza, così evidente nell’opera di incisione. La figura del compasso e la spiegazione di come costruirlo era già nell’edizione in latino di Mattia Bernegger del 1613, riciclata con nuovo frontespizio nel 1635, ma era diventato difficile trovarla in Italia. La riedizione del Compasso fatta a Padova da Paolo Frambotto del 1641, è poi ripetuta nel 1649, questa volta accompagnata da una fedele e realistica riproduzione del compasso. Edmund Gunter¹⁹ stampò nel suo libro del 1623 un’incisione del compasso e molti altri autori di quegli anni ne hanno scritto. In conclusione credo che un compasso così ben fatto nella struttura e così mal finito nelle scale non possa essere stato prodotto dopo i primi decenni del XVII secolo.

¹⁸ - Galileo arrivò a Firenze il 12 settembre 1610.

¹⁹ - Edmund Gunter (1581-1626) nel libro: *The Description and Use of the Sector, the Crosse-Staffe and other Instruments*, 1623 descrive il compasso di Galileo che riproduce in una tavola. Il libro ebbe una seconda edizione a Londra nel 1635. Favaro ritiene che Gunter si appropriò dell’idea di Galileo e cita una quinta edizione del libro del 1673. Gunter fu il primo usò una scala logaritmica, inventò le parole coseno, cotangente e cosecante, e pubblicò per primo le tavole dei logaritmi delle funzioni trigonometriche.



Il compasso di Pisa

1.4 *I difetti di costruzione del compasso pisano*

Il compasso pisano come già detto, è, per aspetto, molto vicino all'esemplare di Firenze e la somiglianza è rafforzata dal confronto delle loro misure. Il metodo seguito nell'indagine è quello di utilizzare per gli esami una scansione del compasso a 600 dpi, ottenuta appoggiandolo direttamente al vetro di uno scanner: si ottengono immagini di ottima qualità che al computer appaiono ingrandite circa 7 volte. È così possibile misurare, sempre al computer, la posizione di tutte le divisioni e cifre del compasso con la precisione di un decimo di millimetro.

Le dimensioni geometriche e fisiche principali sono queste:

Larghezza dei regoli: 22,4 mm

Lunghezza dei regoli, compreso il piedino ornato: 269 mm

Spessore dei regoli (misurato con un calibro): 6 mm

Diametro dei fulcri di apertura: 30,0 mm

Lunghezza dei regoli dal centro di rotazione alla prima riga trasversale del riquadro, dove finisce la linea aritmetica: 247,5 mm

L'angolo tra i regoli quando è inserito il quadrante: $89^{\circ},26$

La linea aritmetica

La «serie di linee ravvicinate l'una all'altra che sembrano intervento successivo “su” una divisione preesistente»²⁰ segnalata nella perizia della professoressa Mara Miniati non è l'unica anomalia presente nel compasso. Tra l'altro, devo segnalare che, osservando l'immagine digitalizzata con alta definizione - dopo averla molto ingrandita - non si scorge l'esistenza di una preesistente divisione o meglio punzonatura.

L'altra anomalia consiste nell'assenza di punti, oppure trattini, marcati sulle altre linee, invece presenti, anche se poco visibili, nell'esemplare conservato all'IMSS. Questa mancanza può solo significare che il lavoro di “segnare” il compasso è stato interrotto.

Devo anche segnalare che lo strumento presenta un difetto abbastanza comune nei compassi dell'epoca, che pregiudica la precisione dei calcoli. Infatti, tranne la linea aritmetica e in parte quella dei metalli, che sono rispettivamente la più interna e la più esterna del lato principale, tutte le altre linee non passano per il centro di rotazione del compasso²¹ (figg. 1-2).

Nella fig. 1 si guardi alle due linee aritmetiche: ho segnato con un trattino nero orizzontale le posizioni in cui si dovrebbero trovare le cifre della numerazione progressiva che nei compassi galileiani ben fatti è presente ogni dieci punti. Questi trattini neri tra loro equidistanti sono il più delle volte lontani dalla posizione delle cifre, evidenziando visibilmente la casualità, o imprecisione, con cui le cifre sono state segnate.

²⁰ - Si veda la lettera della prof.ssa Miniati in appendice.

²¹ - Si veda PIERRE PETIT, *L'usage ... du Compas de Proportion*, Paris 1635: «Io so che il Compasso ben costruito ha comodità che non si troveranno nel Regolo, e che con quello si può fare con un'unica e semplice operazione, ciò che con il Regolo non si fa se non con difficoltà e lentamente. Ma anche quando tutte le linee del compasso non tendono esattamente al centro del suo movimento (difetto comune a quasi tutti) non è vero che non si fa nulla di esatto, e che pensando di avere la nona parte di una linea, ben spesso si ha la decima. Al contrario, poiché le operazioni di questo Regolo non dipendono mai da un centro, *non s'incorre in tutti quegli errori che si commettono normalmente per la cattiva disposizione di quello*. Inoltre, poiché il Compasso non è così grande come il Regolo, non si saprebbero fare le grandi operazioni con tanta certezza ed esattezza. » (il corsivo e la traduzione sono mie)

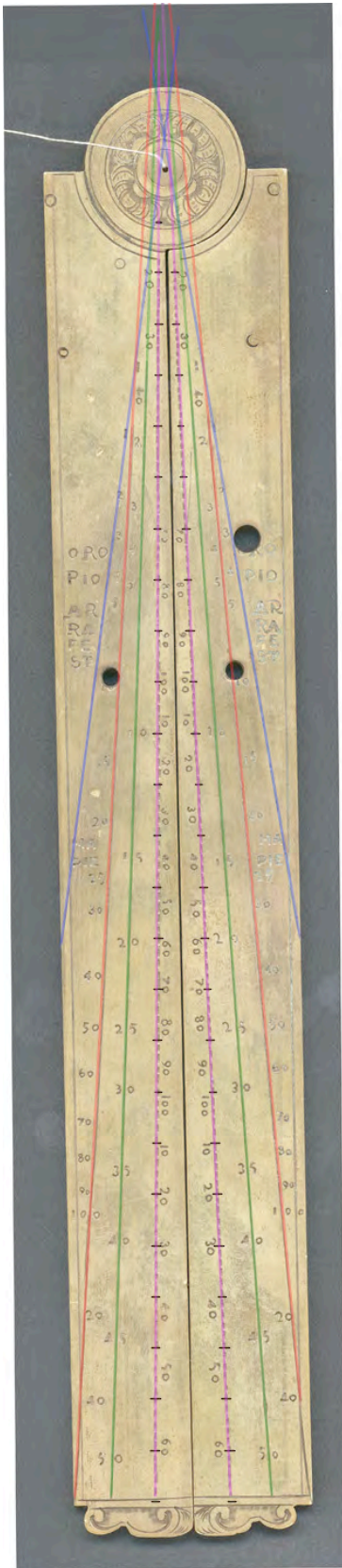


Fig. 1 - Lato A del compasso.

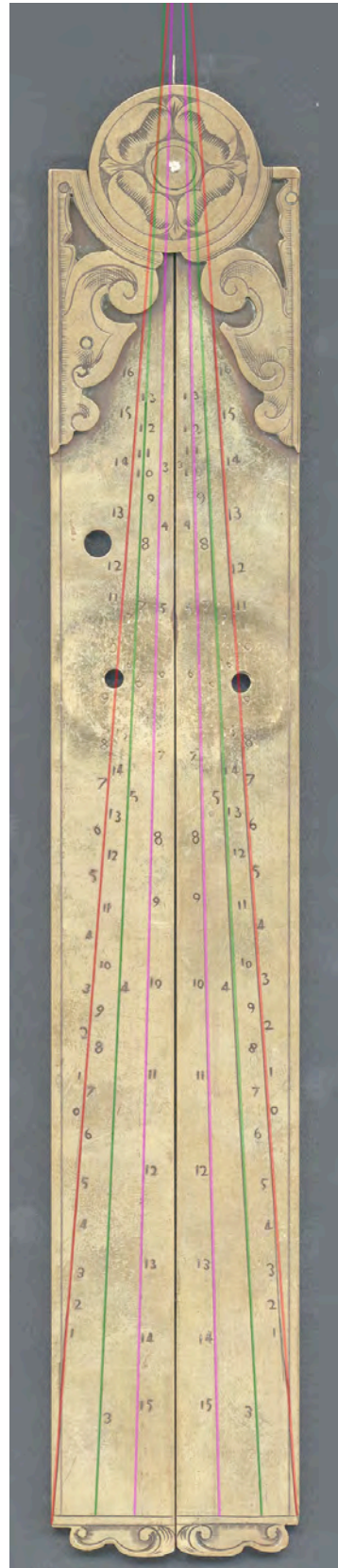


Fig. 2 - Lato B del compasso.

Approfondiamo questo aspetto, perché forse fornisce una possibile spiegazione per la supposta interruzione nella lavorazione del compasso. Ho misurato con grande attenzione le distanze che i numeri incisi lungo la linea aritmetica hanno dal centro di rotazione del compasso, identificato dal foro per il filo a piombo. Il numero 10 manca perché dovrebbe essere segnato nel rosone, il cui centro è l'origine di tutte le linee del compasso. Per questo motivo ho preso la distanza del numero 20 dall'origine e ho scritto in corrispondenza del 20 la posizione $10,1 + 10,1$ perché la sua distanza dall'origine è doppia, in quanto include la posizione non segnata del 10. Il numero 40 è fuori posto, per non tagliare la linea geometrica. Mancano i numeri 50 e 60, non incisi per non sovrapporsi alle altre linee, molto vicine.

Esaminando la tabella risalta un'irregolarità diffusa nella posizione delle cifre. Ciò è del tutto evidente osservando la posizione delle cifre del regolo destro, inserito nella tabella precedente.

Se tra coppie di cifre contigue fossero segnati correttamente dieci punti, invece dei pochi trattini, la distanza media tra due punti contigui potrebbe essere ottenuta direttamente dalla tabella. Si sottrae la prima misura dall'ultima, $264,5 - 17,8 = 246,7$ mm e si divide il risultato per 260 che è il numero dei punti da punzonare: si ottiene la distanza media di 0,95 mm. Le cifre, quindi, dovrebbero mantenere tra loro una distanza costante di 9,5 mm, mentre nel compasso le distanze variano da 6,5 mm fino a 14 mm.

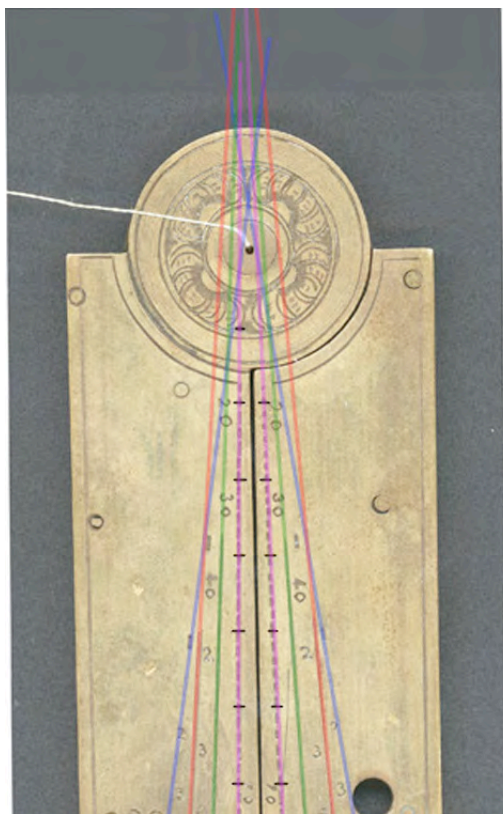


Fig. 3 - Lato A particolare dello snodo..

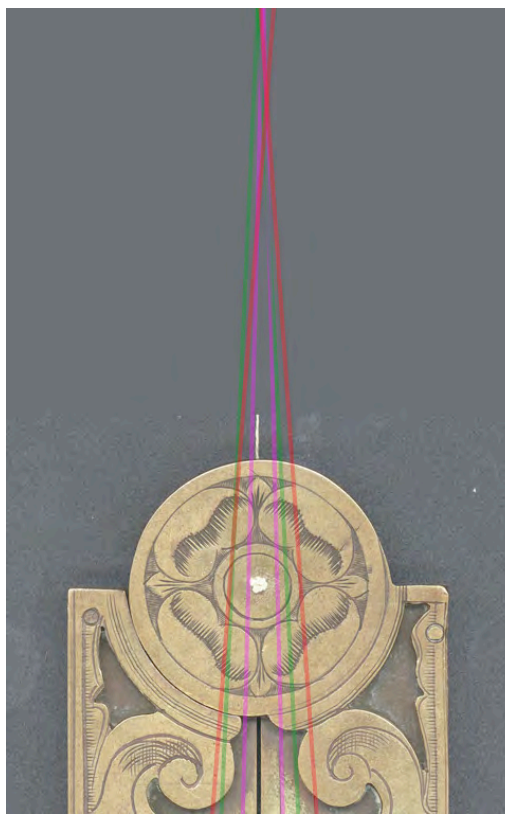



Fig. 4 - Lato B particolare dello snodo.

linee di sinistra e di destra	Misure di posizione ²²	Distanze successive tra le cifre	Numero di tacche per intervallo	
centro del rosone	17,8	-	-	
20	38,0	10,1 + 10,1	-	
30	49,5	11,5	7 - 8	
40	60,3	11,2	6 - 7	
70	85,5	25,2	13 - 13	
80	96,0	10,5	6 - 5	
90	105,0	9,0	5 - 5	
100	113,5	8,5	4 - 5	
110	120,0	6,5	4 - 4	
120	128,5	8,5	4 - 5	
130	137,5	9,0	4 - 5	
140	146,5	9,0	4 - 5	
150	155,0	8,5	4 - 5	
160	162,5	7,5	4 - 4	
170	169,5	7,0	4 - 4	
180	176,5	7,0	3 - 3	
190	184,5	8,0	4 - 4	
200	191,5	7,0	4 - 3	
210	199,5	8,5	4 - 4	
220	208,5	9,0	5 - 5	
230	218,0	9,5	4 - 5	
240	229,5	11,5	5 - 6	
250	241,0	11,5	6 - 6	
260	255,0	14,0	7 - 7	
fine	264,5	9,5	4 - 6	

²² - Nella tabella le distanze sono state prese, per i numeri a due cifre, nel punto di mezzo tra loro, e per 100 e 200 dallo zero centrale.

Ci si deve domandare perché l'artefice ha diviso così male la linea aritmetica, che è la più facile. L'unica risposta che riesco a dare è questa: l'incisore non conosce l'uso delle linee ma vede l'oggetto come un'immagine da riprodurre. Non si pone, infatti, il problema di far passare le linee per il centro dello snodo, ma le traccia con inclinazioni che gli sembrano uguali a quelle del disegno che gli è stato dato. Anche i numeri sono segnati alla meno peggio, e tra di loro non sono segnati dieci punti ma bensì un numero variabile di trattini, che tra l'altro aggiungono una ulteriore imprecisione alle misure (fig. 5). L'incisore non conosce il significato dei punti, uniformemente distribuiti, ma crede che sia – per così dire – una decorazione che può essere sostituita da più comodi trattini.



Fig. 5 - L'ingrandimento mostra l'irregolarità e l'imprecisione dei trattini.

Si consideri che le operazioni, di regola, sono eseguite con un compasso a due punte, prendendo le distanze tra punti situati uno in un braccio e uno nell'altro braccio del compasso e le misure sono esatte quando le punte del compasso di comparazione entrano nei punti punzonati, cosa che non è possibile fare con i trattini nei quali le punte del compasso non trovano una collocazione esatta. Per farmi capire meglio, ho aggiunto il particolare di un compasso francese del secolo XVIII, che acquistai qualche tempo fa (fig. 6), dove sono ben visibili i punti punzonati e il compagno compasso a due punte che serve per prendere le distanze (fig. 7).

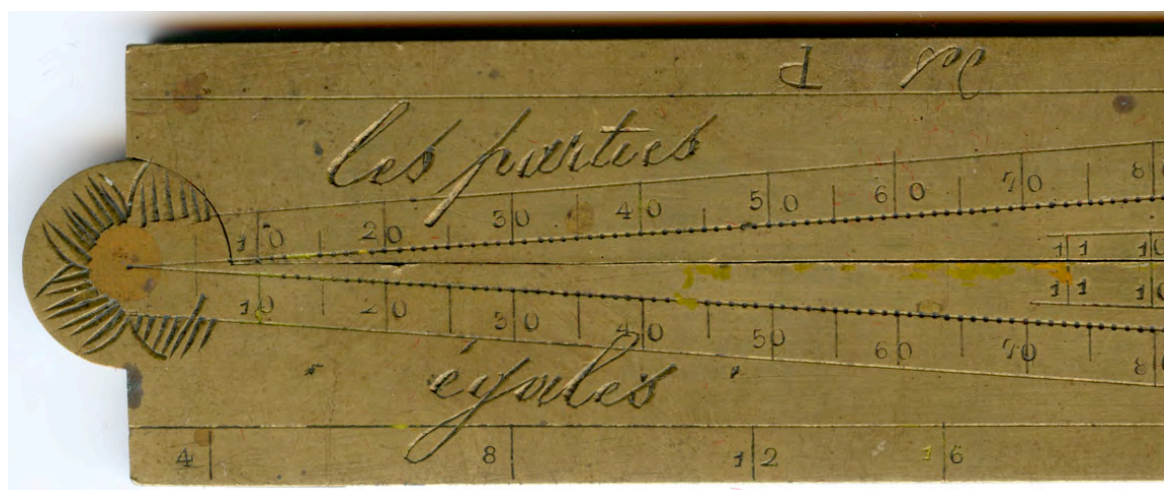


Fig. 6 - Le linee aritmetiche di un compasso ben punzonato.



Fig. 7 - Compasso a due punte per prendere le distanze.

La linea geometrica o dei quadrati

La linea geometrica ha la seguente proprietà: le distanze dei punti dall'origine della linea (centro del rosone) sono proporzionali alle radici quadrate dei numeri segnati. Nell'esemplare di Pisa sono presenti solo le decine, mancando i punti intermedi che segnano la posizione delle unità. Le tabelle che seguono hanno nella prima colonna i numeri incisi lungo le due linee geometriche, rispettivamente quella sul regolo di sinistra e quella sul regolo di destra, nella seconda colonna compaiono le radici quadrate degli stessi moltiplicati per 10 e nella terza la distanza in millimetri dal centro del fulcro. Questi ultimi sono in effetti i risultati che vengono letti sul compasso.

Ritengo che le distanze in millimetri delle cifre nella parte centrale della tabella, da $N = 100$ a $N = 400$ si adattano bene ai numeri della seconda colonna, perché i punti della linea aritmetica sono distanti tra loro circa un millimetro. In ogni caso, è ovvio che il compasso è estremamente impreciso, dovuto alla estrema mancanza di uniformità nella linea aritmetica.

Linea di sinistra			
N	$(N)^{1/2}$	$10(N)^{1/2}$	mm
20	4,47	44,7	51,5
30	5,48	54,8	63,5
40	6,32	63,2	71,5
50	7,07	70,7	78,0
100	10	100,0	105,6
150	12,25	122,5	128,4
200	14,14	141,4	144,5
250	15,81	158,1	160,6
300	17,32	173,2	171,8
350	18,71	187,1	187,0
400	20,00	200,0	200,0
450	21,21	212,1	218,3
500	22,36	223,6	240,7

Linea di destra			
N	$(N)^{1/2}$	$10(N)^{1/2}$	mm
20		44,7	51,5
30		54,8	64,0
40		63,2	71,7
50		70,7	78,0
100		100,0	105,5
150		122,5	129,8
200		141,4	144,0
250		158,1	160,6
300		173,2	171,8
350		187,1	187,0
400		200,0	200,0
450		212,1	218,5
500		223,6	240,0

La linea stereometrica o dei cubi

La linea stereometrica ha la seguente proprietà: le distanze dei punti dall'origine della linea (centro del rosone) sono proporzionali alle radici cubiche dei numeri segnati. Le tabelle delle linee incise sopra i due regoli hanno nella prima colonna i numeri incisi sul compasso; nella seconda colonna le radici cubiche degli stessi moltiplicati per il fattore di conversione 9,6; nella terza la distanza in millimetri dal centro del fulcro e nella quarta i numeri che corrispondono alle distanze.

Per questa linea il rapporto tra distanza e numeri è stabilito attraverso il fattore di conversione 9,6. Anche qui le distanze in millimetri delle cifre nella parte centrale della tabella, da 1 a 4, si adattano bene ai numeri della seconda colonna.

Linea di destra			
N	$9,6 (N)^{1/3}$	mm	$(\text{mm} / 9,6)^3$
0,2	56,1	61,2	0,27
0,3	64,3	69,1	0,37
0,4	70,7	76,4	0,50
0,5	76,2	80,3	0,58
1,0	96,0	97,0	1,0
1,5	109,9	111,3	1,6
2,0	121,0	121,7	2,0
2,5	130,3	133,2	2,7
3	138,4	138,4	3,0
4	152,4	150,5	3,9
5	164,1	161,0	4,7
6	174,4	168,7	5,4
7	183,6	178,0	6,4
8	192,0	184,3	7,1
9	199,7	190,5	7,8
10	206,8	195,3	8,4
12	219,8	214,8	11,2
14	231,4	229,8	13,7

Linea di sinistra			
N	$9,6 (N)^{1/3}$	mm	$(\text{mm} / 9,6)^3$
0,2	56,1	61,5	0,26
0,3	64,3	69,1	0,37
0,4	70,7	77,0	0,52
0,5	76,2	81,6	0,61
1,0	96,0	97,0	1,0
1,5	109,9	111,3	1,6
2,0	121,0	122,5	2,1
2,5	130,3	133,0	2,7
3	138,4	138,7	3,0
4	152,4	151,0	3,9
5	164,1	160,8	4,7
6	174,4	169,0	5,4
7	183,6	178,0	6,4
8	192,0	184,6	7,1
9	199,7	190,8	7,8
10	206,8	194,3	8,3
12	219,8	214,0	11,2
14	231,4	230,5	13,7

Il quadrante

Le misure del quadrante sono le seguenti:

- * Corda interna del quadrante, misurata tra i due regoli: 118 mm
- * Raggio interno del quadrante: 83 mm - 84 mm a seconda dell'angolo
- * Relazione tra raggio e corda per la verifica della circolarità del quadrante:
 $\sqrt{2} \times (83 \text{ mm} - 84 \text{ mm}) = 117 \text{ mm} - 119 \text{ mm}$.
- * Con il quadrante l'angolo tra i regoli è quasi esattamente 90° , più precisamente $89^\circ,26$
- * Raggio della quarta di circonferenza, per misurare l'inclinazione della scarpata:
 98,8 mm - 98,9 mm - 98,8 mm in corrispondenza con $0^\circ - 45^\circ - 90^\circ$.
- * Larghezza del quadrante: 24,5 mm

Nel quadrante sono incise otto linee concentriche, rappresentanti otto quarti di circonferenza. Le quattro linee più interne servono per delimitare la squadra del *bombardiere* e il quadrante astronomico. Le tre linee più esterne costituiscono la squadra per *misurar con la vista* mentre quella più interna è la linea per misurare le inclinazioni, sulla quale sono punzonati i punti da 1,5 a 9, numerati solo fino a 6.

Divisione della squadra del bombardiere

La squadra del bombardiere è un quadrante, delimitato dalla quarta parte di due circonferenze concentriche molto vicine. Il quadrante nei compassi galileiani è diviso in 12 caselle ugualmente lunghe, secondo la convenzione stabilita dal suo inventore Niccolò Tartaglia e universalmente accettata. Contrariamente a questa convenzione e a quanto Galileo scrive nel *Compasso Geometrico et Militare*, il quadrante del nostro strumento è stato diviso in 10 parti uguali, cosicché i punti 9 e 10 si trovano insieme nella stessa casella e lo stesso avviene per i punti 11 e 12; inoltre le due caselle che li contengono, terzultima e ultima delle dieci, sono separate da una casella senza cifre incise.

Un errore così *smaccato* non sarebbe stato possibile se la divisione in 90 gradi del quadrante astronomico fosse stata completata prima della divisione della squadra, perché i punti 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 di quest'ultima dovrebbero avere la stessa posizione radiale delle divisioni 15 – 30 – 45 – 60 – 75 – 90 del contiguo quadrante astronomico, che ha intervalli di cinque in cinque ben evidenziati rispetto alle divisioni di un grado. La mancanza di coordinazione tra le divisioni delle scale dimostra la scarsa conoscenza dell'uso tradizionale della squadra.

Divisione in 90 gradi del quadrante astronomico

Sul quadrante sono segnati 92 lineette trasversali, cosicché la bisettrice passa per la divisione corrispondente a 46 gradi. Questo errore progressivo è dovuto certamente al metodo seguito per la divisione delle linee, che doveva essere di 90 parti uguali, (vedi fig. 8).

Si può ipotizzare che l'incisore abbia effettuato la divisione per reiterazione di una distanza comprendente 10 gradi, calcolata a partire dal raggio: per la linea interna che ha raggio $R = 87,6$ mm si ha $R\pi/18 =$ lunghezza di $10^\circ = 15,1$ mm, mentre per quella più esterna si ha $R = 92,3$ mm e la lunghezza di $10^\circ = 16,1$ mm.

L'artefice ha segnato con un tratto più lungo, che arriva sino alla linea della squadra dei bombardieri, il posto dei multipli di 5 gradi, suddividendo poi ad occhio gli interspazi in 5 parti uguali. Quando è arrivato a incidere l'ultima decina, solo allora deve essersi accorto che rimaneva ancora lo spazio per altri due gradi.

Il metodo più semplice di dividere correttamente in 90 parti il quadrante astronomico è quello di segnare su un piano di legno due rette ortogonali sufficientemente lunghe e la loro bisettrice, e di avvitare il quadrante in modo che il centro di tutte le quarte di cerchio incise sul quadrante, coincida con l'origine comune delle due rette segnate sul piano. La bisettrice permette di segnare la posizione 45° , mentre le posizioni di 30° e di 60° si segnano con la punta di acciaio di un compasso, aperto quanto il raggio della circonferenza: si fissa una punta del compasso tracciatore a 0° e si segna con l'altra la posizione di 60° , poi con una punta su 90° si segna la posizione 30° . Con apertura uguale alla distanza tra 30° e 45° , si segnano anche 15° e 75° . Dopo aver diviso ogni 15 gradi, si divide ancora in tre parti tracciando un segno più lungo, che arriva sino alla squadra dei bombardieri. A questo punto è facile arrivare ad una buona uniformità nella successiva suddivisione di grado in grado, che però

nell'esemplare pisano lascia un po' a desiderare, nel confronto con il quadrante di altri compassi.

Si nota anche un'altra anomalia: i primi quattro gradi, che dovrebbero essere segnati solo tra la terza e la quarta linea, partono dalla seconda linea come le divisioni maggiori dei 5 e 10 gradi, segno di mancanza di pratica, che conferma l'ipotesi che era la prima volta che quell'incisore segnava un quadrante.

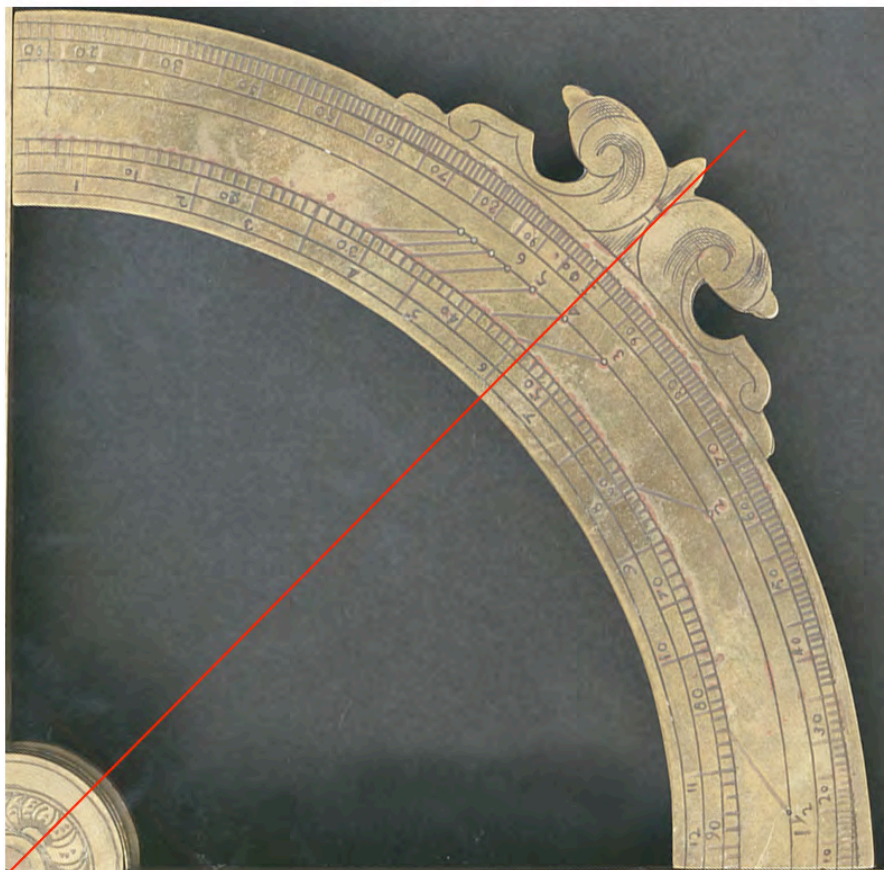


Fig. 8 - Bisettrice del quadrante

La linea per prendere le inclinazioni

Questa linea è così descritta da Galileo:

L'altra circonferenza, che segue appresso, e che si vede divisa d'alcune Linee trasversali, è per prender l'inclinazione della scarpa di tutte le muraglie, cominciando da quelle, che averanno per ogni 10 d'altezza uno di pendenza, fino a quelle, che abbiano uno di pendenza per ogni uno e mezzo di altezza.

Volendo servirci di tale strumento, dobbiamo sospendere il filo da quel piccolo foro, che si vede al principio della Squadra da Bombardieri; dipoi accostandoci alla muraglia pendente gli applicheremo sopra la costa opposta dello strumento: avvertendo dove taglierà il filo; perché seghando per esempio, il numero 5. diremo quella tal muraglia aver per ogni 5 braccia d'altezza 1, di pendenza, similmente tagliando il numero 4 diremo aver 1 di pendenza per ogni 4 d'altezza.

Per segnare i punti $n = 1,5 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9$ che si leggono sulla linea per prendere le inclinazioni, con il quadrante ancora avvitato come ho detto in precedenza, si può procedere in questa maniera²³: lungo la retta verticale tracciata sul piano da disegno misuro la distanza tra il *forellino* **A** indicato da Galileo per il filo a piombo e l'origine **O** comune a tutte le quarte di circonferenza segnate sul quadrante (**O** è il centro delle circonferenze da cui sono estratte le quarte). Lungo l'asse orizzontale del piano di disegno, su cui termina l'estremità del quadrante senza forellino, metto dei chiodi nei punti multipli di **OA**. Lego un anellino ad una estremità di un filo sottile. Il punto **2** sulla linea delle inclinazioni, per esempio, sarà determinato così: infilo l'anellino nel chiodo che dista $2OA$ e tendo il filo in maniera che attraversi il punto **A**. Il filo attraverserà la quarta di circonferenza delle inclinazioni nel punto **2**. Ripetendo l'operazione con gli altri multipli di **OA** si ottengono tutti gli altri punti.

Nel quadrante pisano, come in quello fiorentino, non vi è il *forellino* previsto da Galileo per il filo a piombo e quindi occorre procedere in senso inverso, ricavando la posizione teorica di **A** partendo dai punti segnati sulla linea, presupponendo che i tracciati siano stati eseguiti correttamente. Soltanto dopo avere individuato il punto di sospensione del filo a piombo, si potrà valutare la precisione con cui è stata divisa questa linea dello strumento. Nella tabella che segue vi sono le coordinate dei punti del quadrante rispetto all'origine, che coincide con il foro presente al centro dello snodo.

Coordinate dei punti per la misura dell'inclinazione L'origine è nel centro del quadrifoglio. Misure in mm		controllo: $R = (x^2 + y^2)^{1/2}$
coordinate del punto 1,5	(x = 98,7 - y = 8,6)	99,1
coordinate del punto 2	(x = 88,1 - y = 45,8)	99,3
coordinate del punto 3	(x = 74,7 - y = 64,9)	99,0
coordinate del punto 4	(x = 69,8 - y = 70,1)	98,9
coordinate del punto 5	(x = 65,7 - y = 73,9)	98,9
coordinate del punto 6	(x = 62,5 - y = 76,5)	98,8
coordinate del punto 7	(x = 60,2 - y = 78,3)	98,8
coordinate del punto 8	(x = 58,2 - y = 79,9)	98,8
coordinate del punto 9	(x = 56,7 - y = 81,0)	98,8

L'ultima colonna della tabella, che dà il raggio a partire dalle coordinate, è utile per valutare la circolarità della curva su cui sono segnati i punti²⁴. Solo nelle vicinanze del punto **2** si nota un leggero allontanamento del tracciato dalla forma circolare. Il valore medio del raggio senza i primi due punti è 98,85 mm.

Indico con **A** l'ordinata del punto **A** lungo la retta verticale del piano, (dove dovrebbe essere il forellino in cui si fissa il filo a piombo). Abbiamo mostrato come si ottengono in pratica i punti $N = 1,5 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9$, di coordinate (x,y), posti dove la retta condotta da **A** a **NA** incontra la circonferenza delle inclinazioni. Se indico con nA l'ascissa del punto **NA** lungo la linea orizzontale, tra le coordinate vale, per costruzione, la relazione

²³ - Alla fine di questo paragrafo riporto il passo di Mattia Bernegger che illustra questo procedimento.

²⁴ - L'ultima cifra è una estrapolazione dalla scala di Photoshop che nella vista con pixel reali ha divisioni del quinto di millimetro.

$$A / nA = y/(nA - x) \text{ ossia}$$

$$A = (ny + x)/n$$

Per ogni determinazione di n si calcola il valore corrispondente di A. Il risultato è dato dalla tabella seguente:

n = 1,5	A = 74,40
n = 2	A = 89,85
n = 3	A = 89,80
n = 4	A = 87,55
n = 5	A = 87,04
n = 6	A = 86,92
n = 7	A = 86,90
n = 8	A = 87,17
n = 9	A = 87,30

Il punto n = 1,5 è evidentemente mal situato e non sarà considerato ulteriormente perché il calcolo di A con le sue coordinate dà A = 74,4

Se si calcola il valore medio per A, si ottiene A = 87,83. Se invece si usano gli ultimi sei punti, dove il valore di A oscilla poco, si ha 87,16 mm. Useremo il valore medio A = 87,16 mm per l'operazione inversa di trovare i punti in cui la retta che va da A a NA taglia la circonferenza.

Se si vogliono trovare le coordinate dei punti corrispondenti a n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, si deve fare il seguente calcolo:

Si parte dalle relazione algebriche tra i punti, che sono

$$\begin{aligned} n(A - y) &= x \\ (x^2 + y^2) &= R^2 \end{aligned}$$

Elevando al quadrato le due espressioni e isolando x^2 si ha

$$x^2 = n^2(A - y)^2 = R^2 - y^2$$

Il sistema di equazioni da risolvere è

$$\begin{aligned} (n^2 + 1)y^2 - 2n^2Ay + n^2A^2 - R^2 &= 0 \\ n(A - y) &= x \end{aligned}$$

Quindi, risolvendo l'equazione di secondo grado, si ha:

$$y = \{n^2A \pm [n^4A^2 - (n^2 + 1)(n^2A^2 - R^2)]^{1/2}\} / (n^2 + 1)$$

Semplificando arriviamo alle formule finali:

$$\begin{aligned} y &= \{n^2A \pm [n^2(R^2 - A^2) + R^2]^{1/2}\} / (n^2 + 1) \\ x &= n(A - y) \end{aligned}$$

Introducendo A = 87,16 mm, R = 98,85 mm

$$y = \{87,16 n^2 - [2174,4569n^2 + 9771,3225]^{1/2}\} / (n^2 + 1)$$

$$x = n(87,16 - y)$$

Si ottiene la seguente tabella di risultati:

Coordinate dei punti per la misura dell'inclinazione L'origine è nel centro del rosone. Misure in mm		$R = (x^2 + y^2)^{1/2}$
coordinate del punto 1,5	(x = 96,12 - y = 23,08)	98,85
coordinate del punto 2	(x = 89,22- y = 42,55)	98,85
coordinate del punto 3	(x = 77,54 - y = 61,31)	98,85
coordinate del punto 4	(x = 70,18 - y = 69.62)	98,85
coordinate del punto 5	(x = 65,46 - y = 74,07)	98,85
coordinate del punto 6	(x = 62,25 - y = 76,78)	98,84
coordinate del punto 7	(x = 59,95 - y = 78,60)	98,85
coordinate del punto 8	(x = 58,23 - y = 79,88)	98,85
coordinate del punto 9	(x = 56,89 - y = 80,84)	98,85

Segniamo sul quadrante (vedi fig. 9) con un tratto rosso la posizione dei punti secondo le coordinate della tabella. La figura mostra che solo i punti **2** e **3** hanno coordinate diverse da quelle dei punti segnati nel quadrante, (ricordo che il punto 1,5 era stato scartato fin

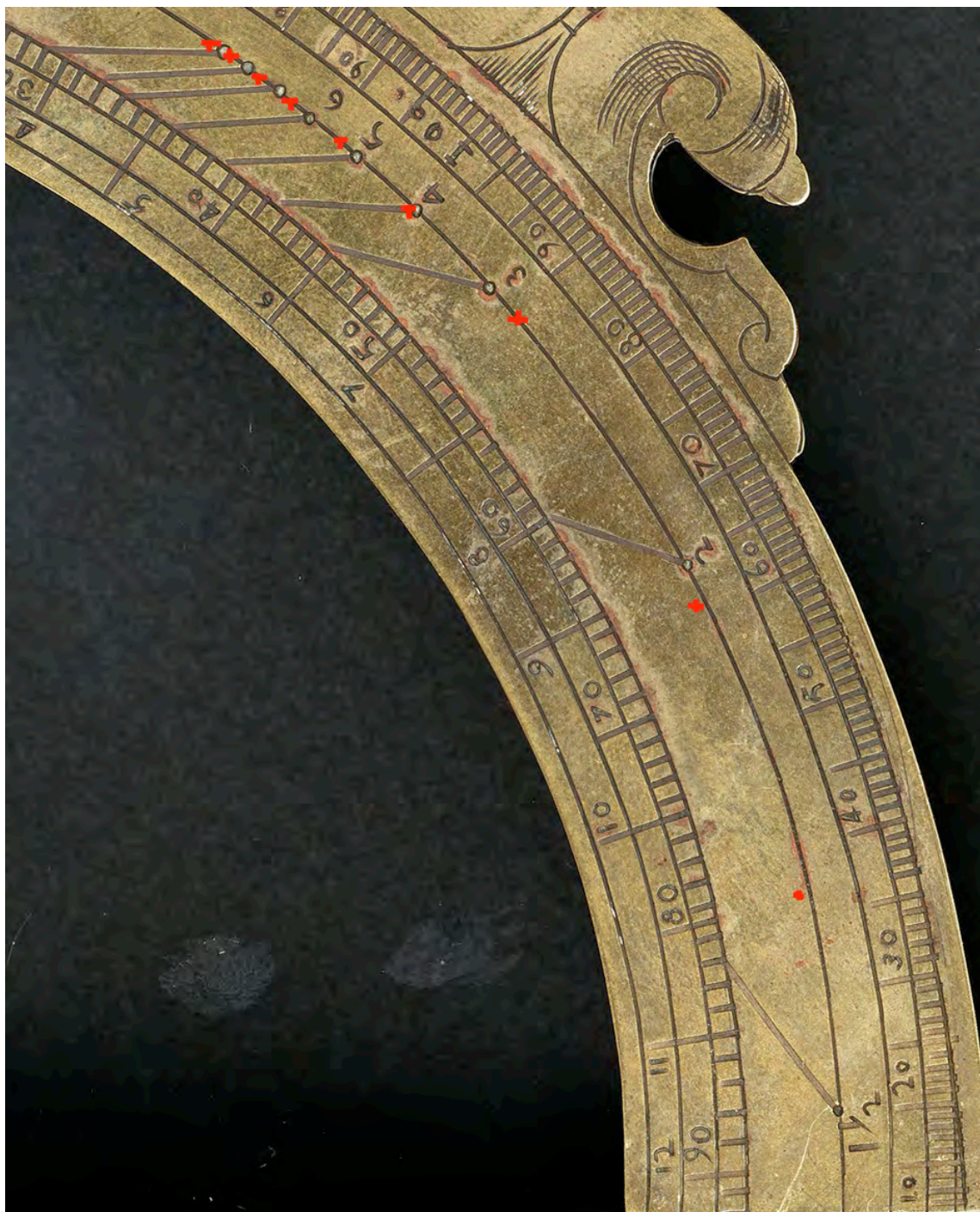


Fig. 9 - In rosso è segnata la posizione dei punti secondo i calcoli.

dall'inizio) risultato da aspettarsi perché alle loro coordinate corrispondono differenti valori di A , rispettivamente $A = 89,85$ e $A = 89,80$.

Se prolunghiamo le linee tracciate sul quadrante si vede che per le linee 4 – 5 – 6 – 7 – 8 si ottengono prolungamenti che rimangono molto vicini o si intersecano in prossimità del braccio del compasso (vedi figg. 10 e 11.)

I prolungamenti delle linee tracciate per i punti 1,5- 2 – 3 hanno invece direzioni completamente diverse, confermando l'anomalia già notata di questi punti.

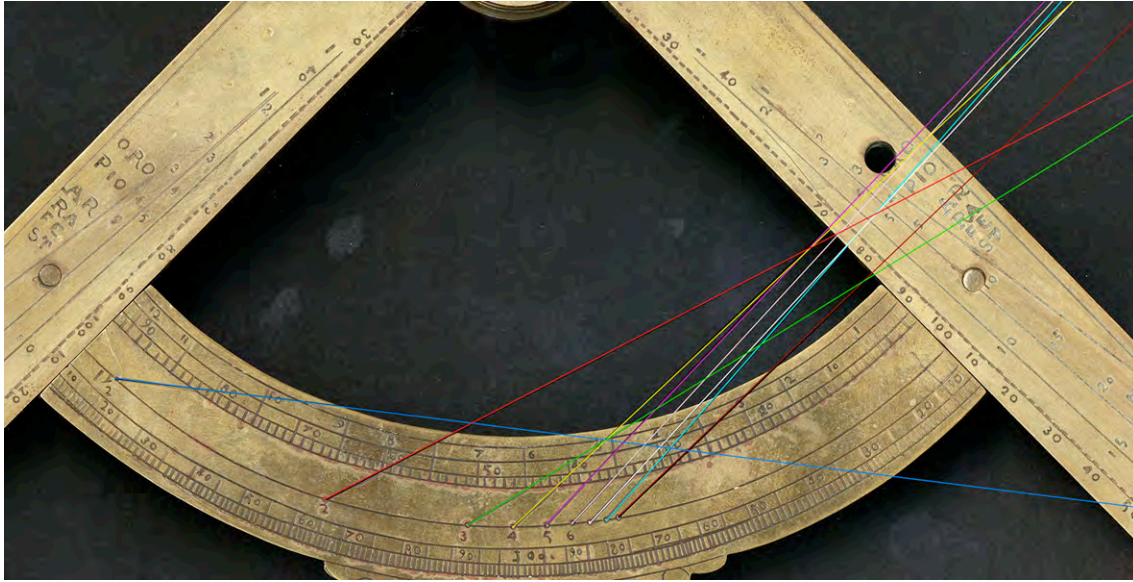


Fig. 10 - Prolungamento delle linee tracciate sul quadrante.

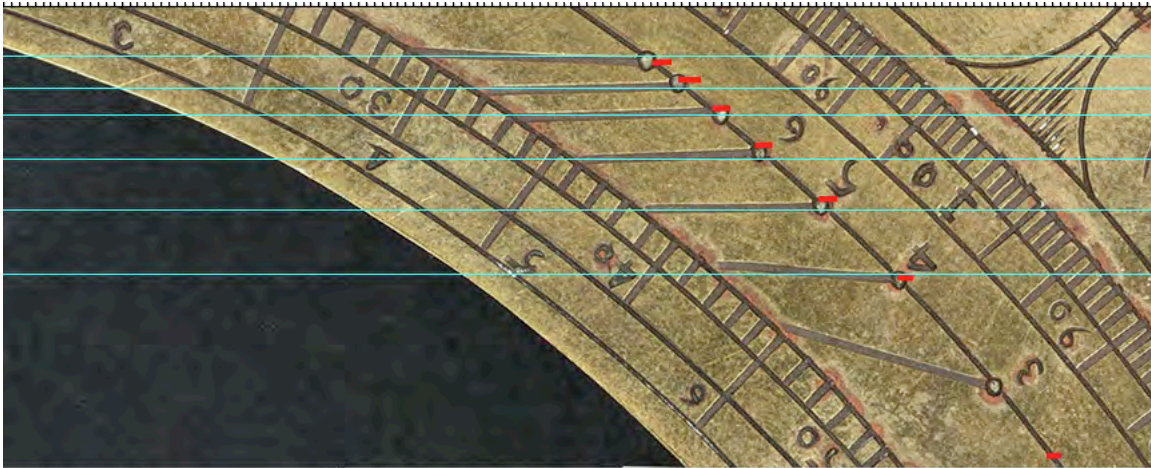


Fig. 11 - Le linee del quadrante confrontate con una serie di linee parallele

Studio dei punti punti 1,5 – 2 -3

Se scegliamo il valore medio $A = 89,83$ mm dei punti 2 e 3, invece che $87,16$ mm utilizzato finora, abbiamo:

$$y = \{89,83 n^2 - [1701,8936n^2 + 9771,3225]^{1/2}\} / (n^2 + 1)$$

$$x = n(89,83 - y)$$

Il risultato è nella tabella seguente, dove abbiamo inserito anche il valore calcolato del raggio, che è $R = 98,85$

Coordinate dei punti per la misura dell'inclinazione L'origine è nel centro del rosone. Misure in mm		$R = (x^2 + y^2)^{1/2}$
coordinate del punto 1,5	(x = 95,28 - y = 26,31)	98,85
coordinate del punto 2	(x = 87,44 - y = 46,11)	98,85
coordinate del punto 3	(x = 74,47 - y = 65,01)	98,85

Possiamo confrontare le misure ottenute nella tabella precedente con le coordinate effettive dei punti.

Coordinate dei punti per la misura dell'inclinazione L'origine è nel centro del quadrifoglio. Misure in mm		controllo: $R = (x^2 + y^2)^{1/2}$
coordinate del punto 1,5	(x = 98,7 - y = 8,6)	99,1
coordinate del punto 2	(x = 88,1 - y = 45,8)	99,3
coordinate del punto 3	(x = 74,7 - y = 64,9)	99,0

I punti 2 e 3 praticamente coincidono, mentre confrontando i valori delle due tabelle per il punto 1,5 si trova che sono buoni i valori della coordinata x mentre sono distanti tra loro i valori della coordinata y.

Nelle figg. 8 e 9 è segnata con un tratto verde la posizione nel quadrante dei punti 1,5 - 2 - 3. Quest'ultima analisi suggerisce una possibile spiegazione delle discrepanze osservate: è possibile che durante la realizzazione del quadrante l'incisore abbia cambiato, senza accorgersene, la posizione di A da $87,16$ mm a $89,83$ mm.



Fig. 12 - Posizione corretta dei punti 1,5 – 2 – 3

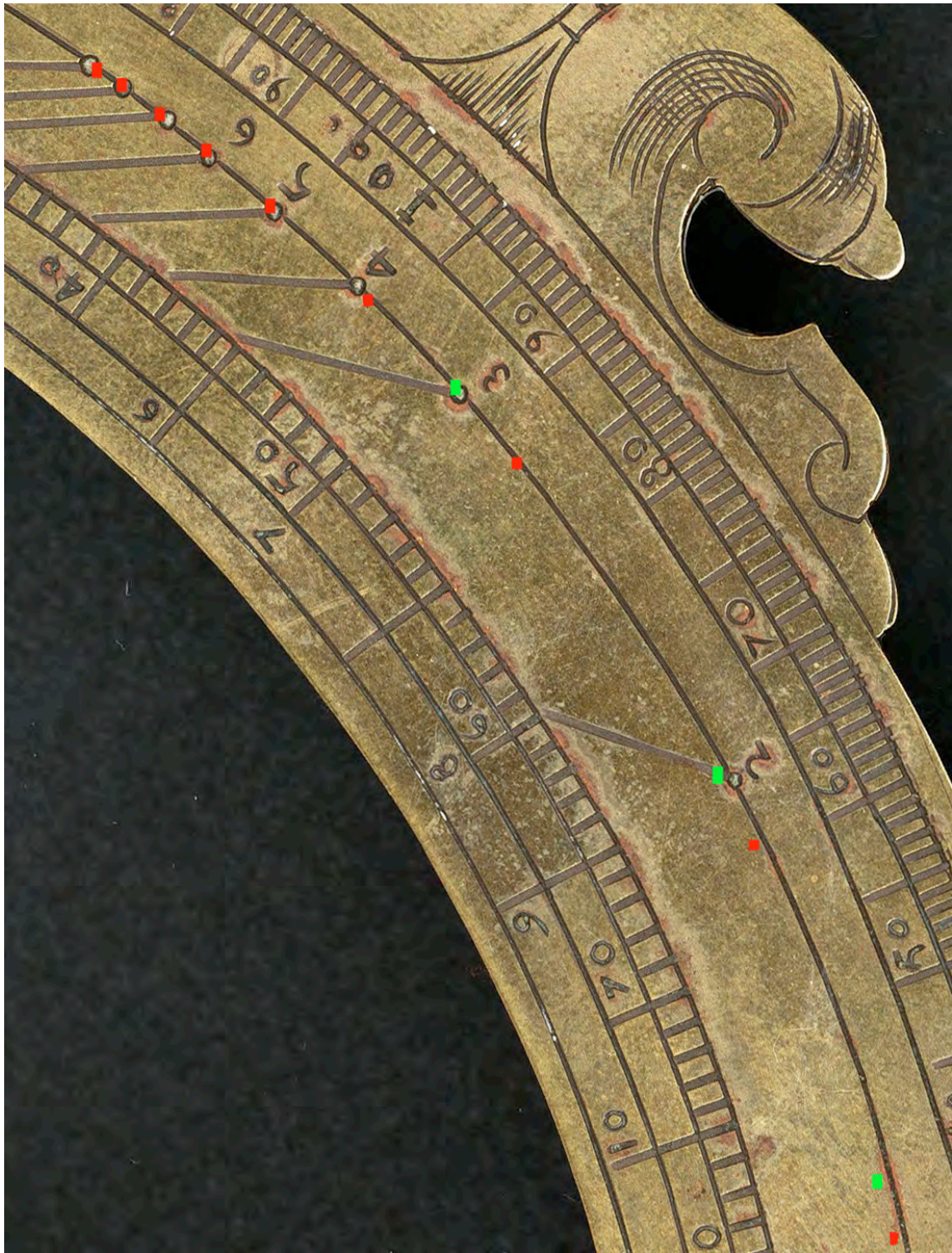
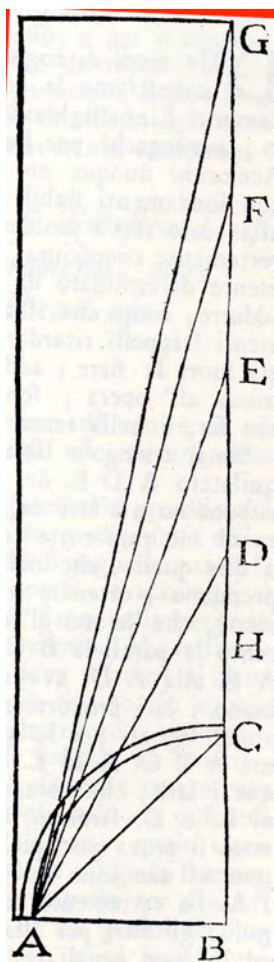


Fig. 13 - Posizione corretta dei punti 1,5 – 2 – 3 (particolare di fig. 12)

APPENDICE 1

Descrizione del quadrante secondo Mattia Bernegger:



E una certa circonferenza compresa da due quadranti, la quale alcune linee transverse segano, con le quali l'inclinazione de' muri s'investigano, questo riceve. La forma di questa divisione è tale. Piglisi la lunghezza della linea dal centro dell'istrumento sino al quadrante interiore della detta superficie: con il qual raggio descrivasi il quadrante ABC di lui un lato BC infinitamente si prolunghi, e questa prolungazione con gli intervalli BC per eguali divisioni sia segata in D, E, F, G ecc. da' quali punti tiransi le linee rette fino all'A, le quali formano nel quadrante quelle linee transverse. A ciascheduna di queste si devono ascrivere i suoi numeri, in guisa che quella linea, che si descrive dalla linea DA, ha annotato il numero 2, dalla EA 3, FA 4, GA 5, ecc. Possono farsi le sezioni intermedie, come a dire se dall'H all'A si tira la linea, alla quale deve ascriversi il numero 1 e mezzo. Ma dall'A si lascia andare il filo perpendicolare, il quale trapassando le linee del già descritto quadrante darà giudizio dell'inclinazione de' muri. Come sarebbe a dire sia il lato BG (come quello che risponde ad uno de' lati dell'istrumento) s'applichi al muro, e il perpendicolo sia pendente dell'A all'E; io dico che il muro è inclinato, che la perpendicolare, dalla di lui sommità lasciata andare alla base, è tripla alla base, imperocché EB è tripla alla BA. Con questo esempio solo facilmente s'intende la Fabbrica, e l'uso insieme. Ma se dall'A in C cada il filo, farà il medesimo il Cateto con la base del muro, avvenga che AB e BC siano tra di loro eguali²⁵.

²⁵ - ROBERTO VERGARA CAFFARELLI (a cura di), *Il Compasso Geometrico e Militare...*, cit., p. [77]. La traduzione, molto mal fatta, è apparsa per la prima volta nel 1656: *Opere di Galileo Galilei Linceo Nobile Fiorentino ...*, Bologna, per gli HH. del Dozza, MDCLVI, p. 42.

L'originale in latino è: MATTHIAS BERNEGGER, *Tractatus de proportionum instrumento, quod merito Compendium universae Geometriae dixeris, Autore Galilaeo Galilaei,...*, editio secunda, Argentorati, MDCXXXV, pp. 97-98: «Hunc excipit quedam circumferentia duobus comprehensa quadrantibus, quam linea quadam transversa secant, quibus parietum vel murorum inclinationis ratio pervestigatur. Huius divisionis ratio sic est. Accipiatur longitudo linea a centro Instrumenti usque ad interiorem dictae superficiei quadrantem: quo radio describatur Quadrans ABC eiusque latus unum BC infinite prolongetur: & prolongata hac, intervallis BC aequali divisione secetur in D, E, F, G etc: a quibus punctis ducantur linea recta ad A qua transversas illas in Quadrante lineas efficiunt. His sui cuique numeri sunt adscribendi: ita quidem, ut illa linea, qua describitur a recta DA, habent adnotatum numerum 2, EA 3, FA 4, GA 5 etc. Possunt intermedie sectiones fieri. Ut si ex H ad A ducatur linea, cui quidem adscribendus est numerus 1 1/2. Porro ex A perpendiculare filium demittatur, quod descripti iam quadrantis lineas transiens, de murorum inclinatione iudicabis. Ut si latus BG (utpote quod Instrumentis cruri alteri respondet) applicetur muro, perpendiculum autem ex A ad E dependeat, aio murum sic inclinatam, ut perpendicularis ex eius summitate in basin demissa tripla sit ad basin. Est enim EB tripla ad BA. Quo uno exemplo structurae ratio & usurpandi modus facile percipitur. Sin ex A in C filium eat, erit eadem cathetus cum basi muri. Nam AB & BC sunt aequales. »

fig. 6

APPENDICE 2

Relazione della prof. Mara Miniati

Date: Sat, 13 May 2000 10:23:56 +0200
 X-Sender: mara@galileo.imss.firenze.it
 To: vergara@difi.unipi.it
 From: "Mara Miniati (vice direttore)" <mara@galileo.imss.firenze.it>
 Subject: relazione
 X-Attachments: G:\TESTIVERGARA.DOC;
 Status:

Gentile Professore,
 in allegato troverà il testo della relazione sugli strumenti.
 Cordiali saluti e a presto
 Mara

Attachment converted: Macintosh HD:VERGARA.DOC 1 (WDBN/MSWD) (000147BA)

RELAZIONE SULLA PROPOSTA DI CESSIONE DI STRUMENTI SCIENTIFICI DI INTERESSE STORICO

Come richiesto dal prof. Vergara Caffarelli, ho esaminato il materiale illustrativo sugli strumenti in oggetto, consegnatomi dallo stesso Professore, e ho poi visionato gli stessi strumenti, consegnatimi dal collezionista, Prof. Fausto Casi.

Il COMPASSO DI RIDUZIONE italiano, del sec. XVII, è senza dubbio un oggetto di grande pregio: le incisioni e le divisioni in gradi sono tipiche degli strumenti dello stesso periodo e lo strumento è un originale di buona fattura, completo e usato in passato per gli scopi per i quali era stato pensato.

Il COMPASSO GEOMETRICO E MILITARE GALILEIANO italiano 1600 mi lascia perplessa. Non lo daterei 1600, ma lo assegnerei più genericamente al XVII secolo. Inoltre, una delle divisioni presenta una serie di linee ravvicinate l'una all'altra che sembrano essere intervento successivo "su" una divisione preesistente. Questo intervento nulla toglie all'autenticità dello strumento, ben costruito, uno degli esemplari galileiani che certamente circolarono all'epoca, anche se ne modifica, a mio avviso, la datazione così come la presenta il collezionista.

Il COMPASSO GEOMETRICO E MILITARE firmato Heroldt è un pezzo eccellente, degno di una sistemazione museale: pochi sono gli strumenti a tutt'oggi noti, firmati dal costruttore. Non vi sono dubbi, a mio parere, sull'autenticità dello strumento, che, inoltre, è anche una buona dimostrazione dello sviluppo, nello stesso Seicento, dello strumento ideato da Galileo.

Del COMPASSO GEOMETRICO E MILITARE firmato Paul Carré sono rimasta piuttosto stupita: la foto non rende la bellezza dello strumento, anche in questo caso, non banale, ben inciso e ben conservato. Anche questo strumento è certamente oggetto da museo

I due COMPASSI DI PROPORZIONE DI TIPO GALILEIANO e GEOMETRICO E MILITARE CON BUSSOLA, firmati rispettivamente Jacobus Lusverg e Dominicus Lusverg

sono pezzi invidiabili: questo Museo conserva alcuni strumenti dei Lusverg con i quali ho potuto confrontare gli strumenti in questione. Posso dire che le caratteristiche costruttive, i punzoni, le decorazioni usate, le firme incise sono perfettamente corrispondenti alla tipologia degli strumenti dei Lusverg. I due strumenti e il piccolo compasso da dividere, presente nella foto del primo dei due compassi, non solo non offrono, anche dopo un accurato esame, motivi di dubbio, ma si presentano assai meglio di quanto le immagini lascino supporre.

In conclusione: ritengo che l'acquisizione di questi strumenti scientifici di interesse storico sia degna del Museo del calcolo quale si sta costituendo, e che qualunque museo sarebbe ben lieto di acquisire pezzi del genere. Inoltre, l'entrare a far parte di una raccolta pubblica, elimina il rischio di dispersione di un patrimonio di grande valore scientifico, storico e culturale e valorizza la raccolta stessa del museo del calcolo, permettendo un approccio più risalente nel tempo che meglio chiarisce lo sviluppo delle macchine calcolatrici.

Auspicio quindi che l'acquisizione stessa possa avere buon esito.

Mara Miniati