

# Galileo e Pisa



OPERE  
*Galileo Galilei*  
Pisa



  
Felici Editore



# Galileo e Pisa

a cura di Roberto Vergara Caffarelli

Pisa 2004





*Roberto Vergara Caffarelli* ha ideato e coordinato la mostra *Galileo e Pisa*  
*Carlo Bemporad, Carlo Bradaschia e Marco Grassi* hanno progettato e realizzato l'apparato "gravità" di cui la PROMEC ha curato i piani esecutivi  
*Stefano Gennai* ha realizzato il pulsilogium ed ha progettato e realizzato le parti metalliche del piano inclinato galileiano, del modello di piano inclinato con bilancia, dell'apparecchio per la prova del teorema delle corde  
*Francesco Ferrante* della ditta Tantussi ha realizzato le parti in legno del piano inclinato galileiano  
*Beatrice Rapisarda e Irene Tarantino* hanno compiuto il restauro elettronico delle immagini e l'elaborazione grafica delle fotografie  
*Beatrice Rapisarda* ha fotografato gli oggetti e gli strumenti galileiani  
*Irene Tarantino* ha provveduto al progetto grafico e all'impaginazione elettronica  
*Simona Cigarini* ha svolto le pratiche doganali e i servizi di segreteria a Pisa per la mostra  
*Alessandro Masetti* ha realizzato i controlli elettronici del piano inclinato galileiano  
*Claudio Luperini* ha ideato i controlli elettronici del piano inclinato galileiano  
*Alberto Di Lieto* ha progettato e realizzato l'interfaccia software della bilancia elettronica  
*Tiziana Paladini* ha realizzato l'indice dei nomi  
*Sandro Bianucci* ha realizzato il progetto iniziale del piano inclinato galileiano  
*Nicola Gronchi* ha digitalizzato il materiale della Biblioteca Universitaria di Pisa

Per l'allestimento della mostra presso il Musée d'Histoire des Sciences de Genève si ringraziano:

*M. César Menz*, Directeur des Musées d'Art et d'Histoire de Genève; *M.me Béatrice Pellegrini*, Conservatrice Musée d'Histoire des Sciences; *M. Stéphane Fischer*, Assistant-Conservateur Musée d'Histoire des Sciences; *M. Laurent Pavy*, Décorateur, Musée d'Art et d'Histoire; *M. Roberto Papis*, Musée d'Art et d'Histoire; *M. Patrick Musy* et le personnel du Musée d'Histoire des Sciences; *M. Jan Lacki*, Historien des Sciences, Université de Genève; *M. Stéphane Garcia*, Historien des Sciences, Université de Lausanne; l'Association pour l'Histoire des Sciences de Genève

Hanno proposto e reso possibile l'iniziativa:

Il Ministero degli Affari Esteri con l'Ambasciatore *Paolo Bruni* e l'Addetto Scientifico prof. *Federico Ferrini* della Rappresentanza Permanente d'Italia presso le Organizzazioni Internazionali a Ginevra; l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare con il precedente Presidente *Enzo Iarocci* e l'attuale Presidente, *Roberto Petronzio*

Per aver messo a disposizione le opere si ringraziano:

le famiglie *Agostini Venerosi della Seta e Pilo Boyl Agostini* per l'Archivio Agostini Venerosi della Seta; la Direttrice dell'Archivio di Stato di Pisa, *Maria Augusta Morelli Timpanaro*; l'Arcivescovo di Pisa Mons. *Alessandro Plotti*, per la Biblioteca Arcivescovile Cardinal Maffi; la Direttrice della Biblioteca Universitaria di Pisa, *Alessandra Pesante*; il Direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa, *Paolo Rossi*; il Presidente della Domus Galilæana, *Vincenzo Cappelletti*; il Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa, *Emilio Vitale*; il Presidente della Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa, *Cosimo Bracci Torsi*, il Presidente dell'Opera della Primaziale Pisana, *Pierfrancesco Pacini*; il Rettore dell'Università di Pisa, *Marco Pasquali*; il Presidente della Grafica Zannini, *Flaminio Farnesi*; il Direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, *Emilio Borchì*

Il piano inclinato galileiano è stato realizzato gratuitamente dalla *Tantussi Serramenti* di S. Maria a Monte (Pisa)

Il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa ha messo a disposizione l'officina meccanica e il laboratorio elettronico

© 2004 Fondazione Galileo Galilei

© 2004 Felici Editore per la presente edizione

© 2004 Archivio Agostini Venerosi della Seta, Archivio di Stato di Pisa, Biblioteca Arcivescovile Cardinal Maffi, Biblioteca Universitaria di Pisa, Università di Pisa, Osservatorio Ximeniano di Firenze, Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa, Opera della Primaziale pisana, Fondazione Domus Galilæana, Ufficio Beni Culturali Ecclesiastici, *Flaminio Farnesi per le riproduzioni*

© 2004 Roberto Vergara Caffarelli, Claudio Luperini, Federico Tognoni, Gabriella Rossetti, Rossella Trevisan, Cristina Materazzi, Maria Luigia Orlandi, Mauro Bernardini, Giovanna Bosco, Carlo Bemporad, Carlo Bradaschia, Roberto Sonnini *per gli scritti*



## Indice

### PRESENTAZIONE

<b>1. GALILEO E PISA</b> <i>a cura di Roberto Vergara Caffarelli</i>	9
1.1 (1564-1574) Notizie sulla famiglia di Galileo e sull'infanzia di lui a Pisa	11
1.2 La scuola elementare frequentata da Galileo	16
1.3 (1580-1585) Galileo studia medicina all'Università di Pisa che poi lascia senza laurearsi	20
1.4 La bilancetta	23
1.5 Galileo scopre il pendolo, con cui misura esattamente piccole frazioni di tempo	27
1.6 Santorio Santorio e gli strumenti inventati due volte	29
1.7 (1589-1592) Galileo professore all'Università di Pisa	35
1.8 Galileo e gli esperimenti dalla Torre Pendente	39
1.9 Galileo scopre la legge del piano inclinato	44
1.10 Ricordi e cimeli galileiani a Pisa	48
<b>2. GLI STRUMENTI E GALILEO</b> <i>a cura di Claudio Luperini</i>	61
Introduzione	62
2.1 Il piano inclinato	63
2.2 L'orologio ad acqua	66
2.3 Apparecchiature per la dimostrazione della legge del piano inclinato	69
2.4 Strumento per la dimostrazione del teorema delle corde	71
2.5 La lampada di Galileo	73
2.6 Il pulsilogium	75
<b>3. L'APPARATO "GRAVITÀ"</b> <i>a cura di Carlo Bemporad, Carlo Bradaschia e Roberto Vergara Caffarelli</i>	77
3.1 Introduzione storica	79
3.2 Descrizione dell'apparato "Gravità"	81
3.3 La fisica dell'esperimento	82
<b>4. I RITRATTI</b> <i>a cura di Federico Tognoni</i>	85
<b>5. LA BIBLIOTECA ARCIVESCOVILE "CARDINAL MAFFI"</b> <i>a cura di Gabriella Rossetti, Cristina Matentzzi, Maria Luigia Orlandi, Rossella Trevisan</i>	97
5.1 Il cardinale Pietro Maffi, arcivescovo di Pisa, la sua preziosa biblioteca e il suo progetto di un monumento a Galileo	99
5.2 Gli autografi di Galileo e le <i>Postille alle esercitazioni di Antonio Rocco</i>	105
5.3 L'edizione latina del 1699 - 1700 del <i>Systema Cosmicum</i> e dei <i>Discursus et Demonstrationes mathematicae</i> di Galileo Galilei	115
<b>6. LA BIBLIOTECA UNIVERSITARIA DI PISA</b> <i>a cura di Mauro Bernardini e Giovanna Bosco</i>	121
Premessa	123
6.1 "Spesso gridando e disputando insieme"	127
6.2 L'inventore e il plagiatore	133
6.3 "Ste reson le fò fatte contra on mazorente di Filuorichi de Stotene"	137
6.4 "Poiché m'ero preparato uno strumento"	140
6.5 "Vicisti Galilae"	145
6.6 La "Battaglia dei corpi galleggianti"	154



6.7 “Non ammetteremo mai tra noi gli schiavi di Aristotele e di qualsiasi altro filosofo, ma gli spiriti nobili e liberi nella ricerca delle cose naturali”	157
6.8 “Viri Galilaei quid statis aspicientes in caelum?”	164
6.9 Saggiatore versus Libra	169
6.10 “Io conosco questo libro benissimo, et è uno di quelli stampati in Fiorenza, e lo conosco come mio e da me composto”	177
6.11 Sensate esperienze e necessarie dimostrazioni	188
6.12 Ultimi dialoghi con Simplicio	194
Indice delle illustrazioni	197
<b>7. FORTUNE DI GALILEO E COLLEZIONISMO PRIVATO A PISA</b> <i>a cura di Roberto Sonnini</i>	201
<b>INDICE DEI NOMI</b>	211



## PRESENTAZIONE

L'Italia partecipa alle celebrazioni dei 50 anni del CERN con una mostra al Musée d'Histoire des Sciences de Genève, nella bella sede di Villa Bartholoni, proposta e finanziata dal Ministero degli Affari Esteri e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, organizzata per la parte italiana dalla Fondazione Galileo Galilei di Pisa, con il patrocinio e la collaborazione del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa e con la partecipazione di vari Enti pisani; per la parte svizzera l'organizzazione è del Musée d'Histoire des Sciences de Genève.

La mostra, che rimarrà aperta dal 19 ottobre prossimo al 15 febbraio 2005, presenta autografi, manoscritti, libri, quadri, riproduzioni di stampe, ed alcuni degli strumenti ideati da Galileo e ricostruiti in base alla descrizione delle sue esperienze. Tutti gli oggetti provengono da Pisa con l'intento di rinnovare le iniziative che da due secoli dedica a Galileo la città, dove lo scienziato è nato 440 anni fa, dove è vissuto per gran parte della sua giovinezza e dove hanno operato i suoi discepoli. Per questo il titolo della mostra è

## GALILEO E PISA

Tra i cimeli, sarà esposta la lettera di Galileo a Paolo Sarpi, che è uno dei documenti più importanti di tutta la storia della scienza. Scrivendola il 16 ottobre 1604, Galileo comunicava al Sarpi di avere con esperienze osservato «gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi». Ricorre, perciò, in coincidenza con la mostra, il quarto centenario della legge che fonda simbolicamente e cronologicamente la scienza moderna.

I documenti più rilevanti per Pisa sono il registro con il battesimo di Galileo dell'Archivio Arcivescovile, che sarà presente in facsimile, e il Liber Matriculae con l'iscrizione di Galileo allo Studio Pisano. Non sono tuttavia di minor importanza alcuni documenti dell'Archivio di Stato, relativi ai rapporti di Galileo con l'Università, ed altri che ricordano come a Pisa vi fosse una scuola comunale frequentata dal piccolo Galileo, con il magister grammatice, il magister abaci e il magister scribendi.

La cultura scientifica che ruotava intorno allo scienziato è illustrata in parte con rare opere originali e in parte con facsimili provenienti dal ricchissimo fondo di libri antichi della Biblioteca Universitaria.

La Biblioteca Cardinal Maffi è presente con una lettera, tanto poco conosciuta quanto significativa per le parole di riconoscenza che Galileo ha scritto a Guidobaldo dal Monte, con una curiosa dedica autografa in un libro, con un manoscritto inedito del sec. XVII contenente le postille di Galileo alle Esercitazioni filosofiche di Antonio Rocco e con la prima edizione latina dei Discorsi sopra due Nuove Scienze. L'Archivio privato Agostini Venerosi della Seta presterà la "vacchetta di pergamena in cui vi è il ricordo di Giuseppe Bocca di aver affittato il 9 luglio 1563 una casa, per un anno, a Vincenzo Galilei, maestro di musica".

A Pisa è presente uno dei tre esemplari originali conservati in Italia dei "compassi geometrici et militari" costruiti su disegno di Galileo, che nella mostra è accompagnato dal primo - rarissimo - libro di Galileo, fatto stampare da lui "in casa" in 60 esemplari e dedicato al Gran Duca. Sono oggetti prestati rispettivamente dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa e dalla Domus Galilæana.

Sarà presente una piccola raccolta di ritratti d'epoca, di quadri con scene storiche del secolo XIX, e di stampe dello stesso periodo di varie provenienze pubbliche e private (Rettorato, Facoltà d'Ingegneria, Opera della Primaziale Pisana, Biblioteca Universitaria, Domus Galilæana, collezionisti privati ecc.).

Saranno esposti alcuni strumenti scientifici galileiani: il *pulsilogium* per misurare la frequenza del polso; un esemplare di *lampada ad olio* di fattura pisana d'epoca, per ricordare che, con la scoperta fondamentale dell'isocronismo Galileo, per la prima volta nella storia del pensiero umano, è riuscito a misurare esattamente il tempo; la ricostruzione del grande *piano inclinato*, con cui ha ottenuto la legge del moto dei gravi; l'*orologio ad acqua*, che con la bilancia esatissima era una apparecchiatura che gli assicurava la precisione del decimo di secondo, insieme ad alcune apparecchiature elettroniche di confronto; un modello di piano inclinato con bilancia per lo studio delle sue proprietà ed infine l'*apparecchio per dimostrare il teorema delle corde*.

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) presenta un esperimento galileiano di forte impatto. Si tratta della dimostrazione della caduta dei gravi in vuoto e in aria in un grande apparecchio a due colonne realizzato a Pisa per la mostra dell'anno mondiale della fisica 2005 e esibito in anteprima a Ginevra per l'anniversario del Cern.

Hanno collaborato alla descrizione degli oggetti esposti: il dott. Mauro Bernardini e la dott.ssa Giovanna Bosco per i libri della Biblioteca Universitaria; il dott. Federico Tognoni per i quadri; il prof. Roberto Vergara Caffarelli per la ricostruzione storica dei rapporti tra Galileo e Pisa; il dott. Claudio Luperini per gli strumenti scientifici; il prof. Carlo Bemporad, il prof. Carlo Bradascchia e il dott. Marco Grassi per l'apparecchio *Gravità*; le dott.sse Cristina Materazzi, Maria Luigia Orlandi e Rossella Trevisan, coordinate dalla prof.ssa Gabriella Rossetti, per la biblioteca "Cardinale Maffi"; Roberto Sonnini per il collezionismo pisano.

Roberto Vergara Caffarelli

#### ISTITUZIONI DI APPARTENENZA

*Fondazione Galileo Galilei:* Simona Cigarini, Tiziana Paladini, Beatrice Rapisarda, Irene Tarantino

*Università di Pisa - Dipartimento di Fisica:* Carlo Bemporad, Alberto Di Lieto, Stefano Gennai, Claudio Luperini, Alessandro Masetti, Roberto Vergara Caffarelli

*INFN:* Carlo Bradaschia, Sandro Bianucci, Marco Grassi

*Università di Pisa - Dipartimento di Storia - Sezione di Medievistica:* Gabriella Rossetti

*Biblioteca Arcivescovile "Cardinal Maffi":* Cristina Materazzi, Maria Luigia Orlandi, Rossella Trevisan

*Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze:* Federico Tognoni

*Accademia dei Disuniti:* Roberto Sonnini



# 1. GALILEO E PISA

---

a cura di

*Roberto Vergara Caffarelli*





## 1.1 (1564-1574) NOTIZIE SULLA FAMIGLIA DI GALILEO E SULL'INFANZIA DI LUI A PISA

Con la mostra "Galileo e Pisa" ci si è proposti di esplorare, per la prima volta e in maniera certamente non esauriente, il tema dei rapporti tra il grande scienziato e la città che gli diede i natali<sup>1</sup>.

A Pisa Galileo trascorse l'infanzia con la madre Giulia Ammannati e la sorella Virginia di nove anni più piccola<sup>2</sup>, nell'ambiente della famiglia materna. Il padre Vincenzo, di un ramo impoverito della nobile famiglia fiorentina, era nato intorno al 1520 a Santa Maria a Monte, una cittadina distante una trentina di chilometri da Pisa, dove suo nonno, Giovanni Galilei, si era trasferito intorno al 1470. Qui Vincenzo aveva una sorella, Lucrezia, alla quale rimasero alcune proprietà di poco valore. Ad essa il fratello non dovette essere molto legato, perché negli scritti di Vincenzo e in quelli di Galileo non appare mai il suo nome, e neppure Santa Maria a Monte viene mai ricordata da loro. È possibile che il padre Michelangelo (morto

intorno al 1540), prima di morire gli abbia dato la sua parte di eredità e che Vincenzo abbia lasciato per sempre il borgo natio.

Gli Ammannati, invece, originari di Pescia, dove avevano beni, si erano trasferiti a Pisa intorno al 1536 e si erano inseriti nel tessuto cittadino: la famiglia era costituita da Lione, che commerciava in panni, seta, ma anche in legname come il padre Cosimo, e dalle sorelle Ermellina, Diamante, Dorotea e Giulia.

Vincenzo Galilei e la bella<sup>3</sup> Giulia Ammannati contrassero matrimonio<sup>4</sup> il 5 luglio 1562 innanzi al notaio Benedetto Bellavita a cui entrambi dissero il loro "sì". Le scritture precisano che Vincenzo concluse la cerimonia dando alla sposa l'anello d'oro. Giulia portava una dote complessiva di cento scudi in denaro<sup>5</sup> ed in vestiario; inoltre, il fratello Lione si era impegnato a sostenere per un anno la spesa del vitto dei due coniugi.

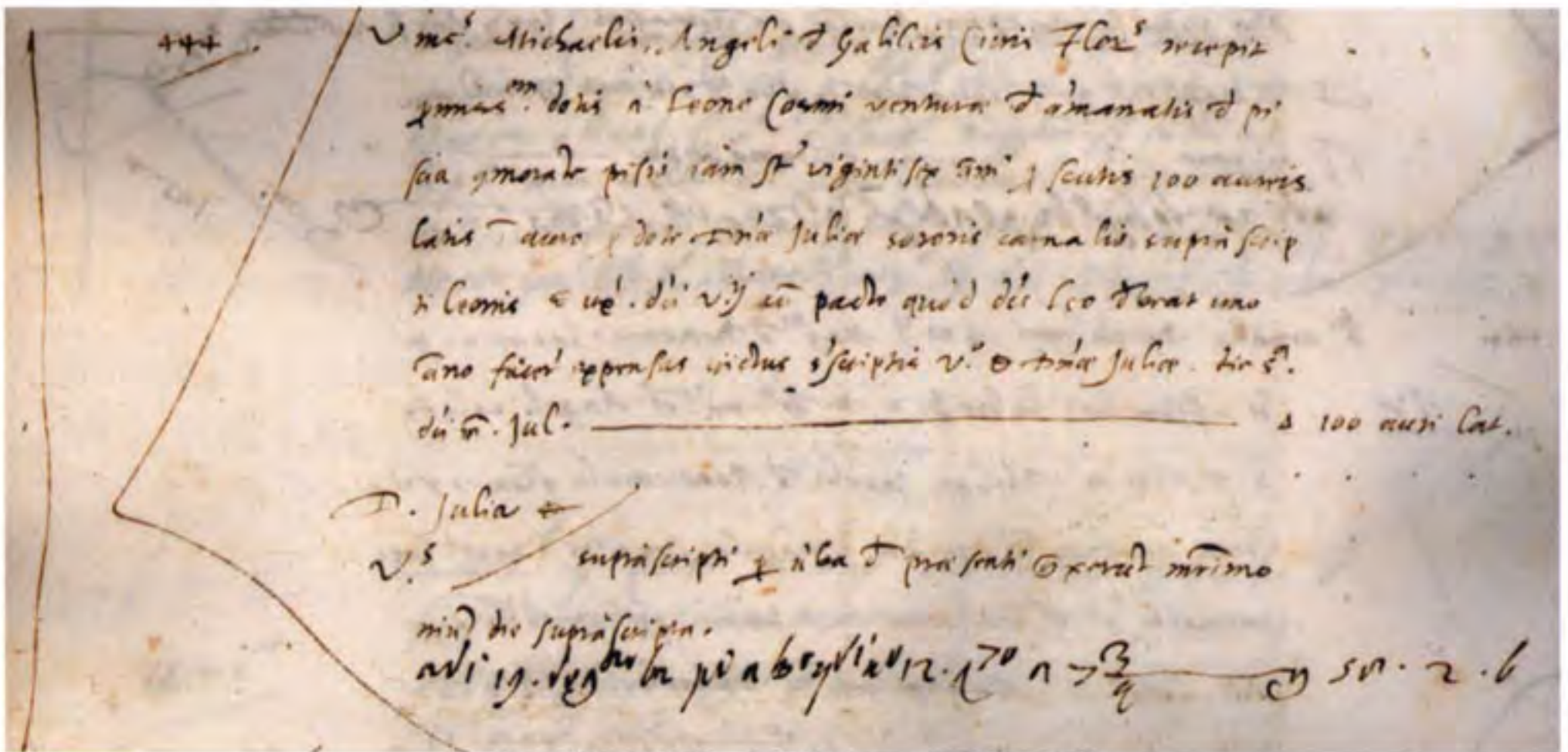
<sup>1</sup> Galileo nacque alle ore tre del pomeriggio, il 15 febbraio 1564. Si veda A. FAVARO, *In qual giorno del febbraio '64 dovrebbe celebrarsi la ricorrenza del natalizio di Galileo*, Atti e memorie della Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti, vol. XXIV, 1907-8, pp. 5-7. Pietro Manni ha lasciato scritto nel suo *Manuale pratico per la cura degli apparentemente morti* (Firenze 1834, p. 215): «... per originali e rari documenti da me letti con molto piacere, so essere avvenuto all'immortale Galileo, di cui non può farsi elogio pari a tanto nome, il quale essendo uscito dal ventre materno per laboriosissimo parto tutto quanto livido, e secondo le apparenze già privo di vita, la riacquistò, perché il padre coadiuvato dalla dottrina, e dalla calda amicizia di un medico per nome Francesco Viscardi, usò a lungo oltre a molti altri rimedii l'insufflazione con le debite cautele». Galileo dunque nacque asfittico e motivi di cautela possono giustificare l'insolito ritardo di quattro giorni nel battesimo, che avvenne di sabato.

<sup>2</sup> Altri suoi fratelli (Benedetto ed Anna), ricordati in alcune carte, con ogni probabilità morirono prima del 1574.

<sup>3</sup> Nel contratto di matrimonio è scritto: *formose puelle*. Si consulti: A. FAVARO, *Il matrimonio dei genitori di Galileo*, Atti e Memorie della Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti, vol. VIII, 1891-92, pp. 12-21.

<sup>4</sup> Soltanto più tardi, nella sessione XXIV del Concilio di Trento, tenutasi l'11 novembre 1563, fu approvato il Decreto di Riforma del Matrimonio, in cui si stabilì la celebrazione del matrimonio in chiesa, davanti al parroco che interviene dicendo: "Ego vos in matrimonium coniugo, in nomine Patris, & Filij, & Spiritus Sancti".

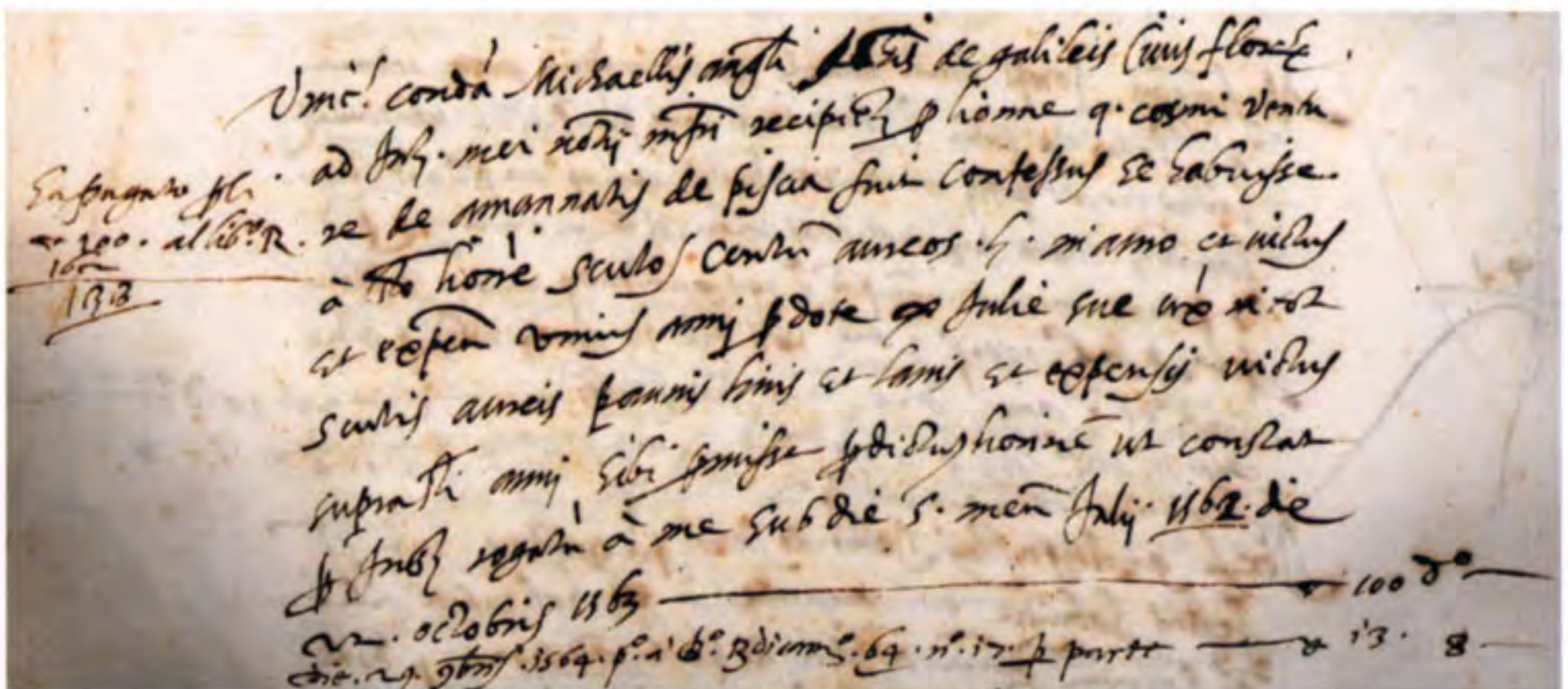
<sup>5</sup> Ben 84 scudi della dote furono in pezze di lino, di panno e di raso, e poi una veste di raso ed una di ermellino, una saia e una sottanella, 5 grembiali, 4 cuffie, 19 fazzoletti, 7 colletti, un vezzo d'oro e due di perle. In denaro rimase ben poco, se si tolgono anche gli 8 scudi di gabella della dote, pagati il 19 agosto e messi in conto. Si veda: G. GALILEI, *Le Opere di Galileo Galilei*, Barbera, Firenze 1968 [in seguito semplicemente G.G.], vol. XIX, pp. 18-19.



Archivio di Stato di Pisa, Gabella dei contratti, 75, c. 162v

[Traduzione] Vincenzo di Michelangelo dei Galilei, cittadino fiorentino, ha ricevuto promessa di dote da parte di Leone di Cosimo di Ventura degli Amanati [sic] di Pescia che già da ventisei anni abita a Pisa per scudi 100 d'oro larghi in oro per la dote della signora Giulia sorella carnale del suddetto Leone moglie del signor Vincenzo con il patto che il signor Leone debba sostenere le spese del vitto dei soprascritti Vincenzo e Signora Giulia. Il di 5 di luglio  
 Ducati 100 larghi  
 Donna Giulia e Vincenzo soprascritti hanno contratto matrimonio secondo la formula. Il di 19 agosto è stata pagata la gabella da detto Vincenzo  
 lire 54 soldi 2 denari 6

[Calcolo della gabella al 7,75%,: 100 ducati = 700 lire al 7,75% = lire 54,25 = lire 54 soldi 2 denari 6]



Archivio di Stato di Pisa, Gabella dei contratti, 76, c. 91v

[Traduzione] Vincenzo del fu Michelangelo dei Galilei cittadino fiorentino a richiesta di me notaio infrascritto incaricato da Lionne del fu Cosimo Ventura degli Amanati di Pescia ha riconosciuto di aver avuto dallo stesso Lionne scudi cento d'oro larghi in oro per vitto e spese di un anno per la dote della signora Giulia sua moglie in tanti scudi d'oro e panni di lino e di lana e spese di vitto per il sopraddetto anno a lui promesso da detto Lionne come consta nell'atto da me rogato il di 5 del mese di luglio 1562.  
 Il di 22 ottobre 1563  
 Il giorno 29 novembre 1564 al pisano ha pagato ... per partito  
 ducati 100 larghi  
 lire 13 soldi 8

[di fianco] ha pagato per i ducati 100 al libri R 162 lire 13 soldi 8



Archivio della Primaziale,  
Libro dei Battezzati, C, c.36v.

All'Archivio di Stato di Pisa è rimasto il ricordo fiscale nel libro dei Partiti del Comune di Pisa (Gabella dei contratti) dove Ser Benedetto di Andrea Bellavita, notaio pisano, ha registrato il pagamento della tassa relativa all'atto.

Tra coloro con cui erano in affari gli Ammannati spicca il nome di Iacopo del Setaiolo, cittadino pisano e canonico della Cattedrale, perché questi è presente in molti loro atti; inoltre, appare mallevadore nel contratto di affitto del 9 luglio 1563 nel quale Giuseppe Bocca<sup>6</sup>, concesse una casa per un anno al maestro di musica Vincenzo Galilei, con inizio il primo giorno di agosto. Era passato un anno dalle nozze, Giulia già aspetta-

va il suo primo figlio e Vincenzo non poteva più contare con il mantenimento (e forse l'ospitalità) a cui si era impegnato il fratello della sposa. Era tempo di avere un'abitazione per sé. La casa che affittò per un anno, al prezzo di uno scudo al mese, era grande e dignitosa: tre piani, una chiostra con pozzo ed altre pertinenze.

Vincenzo, accanto ai proventi della scuola di musica, certamente praticava la mercatura di tessuti<sup>7</sup>. Ormai aveva passato i quarant'anni e di lui, per tutto questo tempo, non sappiamo nulla di più di quanto ci dicono pochi documenti notarili, alcuni ricordi autobiografici inseriti in alcune sue opere e qualche lettera.

Non sappiamo, per esempio, se nel febbraio del 1564 Vincenzo aveva già rinunciato alla casa Bocca, troppo cara per lui, oppure se ancora vi abitava; in ogni caso, le ricerche fatte sinora a tal fine, fanno pensare che Galileo sia nato in casa Ammannati<sup>8</sup>, che era nella parrocchia di S. Andrea, citata nell'atto di battesimo<sup>9</sup>.

Conosciamo troppo poco della vita di Vincenzo Galilei, per sapere quando e perché, lasciata la famiglia a Pisa, si stabilì a Firenze. Le uniche notizie coeve sul piccolo Galileo sono ricavate dalla corrispondenza tra Vincenzo e il suo "compare" e parente Muzio Tedaldi a cui aveva in parte affidato la famiglia. I rendiconti delle spese sostenute dal Tedaldi<sup>10</sup> vanno dal 1572 al 1574: vi spogliamo quanto appare riferito a Galileo<sup>11</sup>:

Nel 1572: il 26 settembre per una "calisea bigia" £ 23; il 9 novembre per il maestro £ 5; il 27 novembre per fattura de' panni £ 5; il 12 dicembre per il maestro £ 5.

Nel successivo 1574, si trovano segnate queste spese: il 9 gennaio, il 6 febbraio e il 5 maggio Galileo portò al maestro £ 5; il

<sup>6</sup> A. AGOSTINI VENEROSI DELLA SETA, *Sulla casa ove nacque Galileo Galilei*, Pisa, 1893.

<sup>7</sup> G.G., vol XIX, p. 22. Vincenzo aveva venduto a Bernardetto de' Medici sette pezze di seta di proprietà di Dorotea Ammannati, al prezzo di 230 scudi d'oro, avendone ricevuti soltanto settanta in acconto. Per farsi restituire l'anticipo e riavere le pezze, o eventualmente ricorrere al giudice, il 22 ottobre 1563 nominò sua procuratrice la cognata Dorotea «ad exigendum, recuperandum et rehabendum» e furono testimoni all'atto Iacopo del Setaiolo "Canonico pisane maioris ecclesiae" e Lazero de Lucca "testori drapporum siriceorum". Vincenzo Galilei aveva dedicato il 7 aprile 1563, le *Intavolature de lauto, madrigali e ricercate*, al figlio di Bernardetto, Alessandro: «Per gli infiniti benefitii ch'ho ricevuti dal S. Bernardetto vostro padre, essendo molto maggiori che da me non si saprebbe esprimere, son ito sempre pensando, non già di corrispondere loro, ma sibben di far fede a Voi, e testimonio al mondo, dell'obbligo con cui mi vi hanno stretto di perpetua Servitù. Perciò, sentendomi per la bassezza della fortuna mia, privo di altri mezzi a pervenire al fine di tal intentione, mi è parso di mettere insieme alcune intavolature, et fattone un libro, dedicarlo a Voi, et sotto la protezione del nome vostro, mandarlo in luce...». Bernardetto de' Medici apparteneva ad un ramo importante della famiglia. Sposò Giulia figlia naturale del Granduca Alessandro e nipote dell'imperatore Carlo V. Nel 1567 comprò la signoria di Ottaviano e si trasferì a Napoli con il figlio Alessandro. Risultava ancora vivo nel 1576. Giorgio Vasari ricorda di aver venduto a lui e al padre Ottaviano de Medici alcuni suoi quadri. I rapporti di Vincenzo Galilei con la famiglia de' Medici erano, dunque, ad altissimo livello.

<sup>8</sup> La casa Bocca faceva parte della parrocchia di San Michele in Borgo, mentre Galileo era nato nella parrocchia di S. Andrea. Si veda, per casa Ammannati, G. DEL GUERRA, *La casa dove, in Pisa, nacque Galileo Galilei*, Pisa 1965.

<sup>9</sup> Archivio della Primaziale di Pisa, Libro dei Battezzati, segnato C, car. 36v. Riprodotto in facsimile nell'edizione nazionale: G.G. XIX, p. 25. Sciogliendo le abbreviazioni, vi si legge: *Galileo di vincentio ghalilei fiorentino et di madonna gulia sua donna fu batezato adì 19 ditto. compari e chavalieri forno el signore pompeo e messer haverardo de' medici in chapella di santo andrea.*

<sup>10</sup> G.G., vol. XIX, pp. 26-30.

<sup>11</sup> Per la monetazione fiorentina, si veda: CARLO M. CIPOLLA, *La moneta a Firenze nel cinquecento*, Bologna 1987. Calisea = Calisse: pannello di poco pregio, che prende il nome dalla città di Cadice (in spagnolo Cadiz); il perpignano è una stoffa di lana proveniente dall'omonima città spagnola.



Archivio privato Agostini Venerosi della Seta –  
Ricordi della famiglia Bocca dall'anno 1496 c.

Ricordo faccio Io Giuseppe Bocca, come hoggi questo di IX di Luglio 1564 al pisano, habbiamo appigionato a vincenti Galilei m<sup>o</sup> di musicha, da fiorenza, la casa n[ost]ra posta nel chiaso di mercanti, per anno uno, il quale debba accominciar il primo di d'Agosto 1564. per pregio di scudi 12 d'oro p[er] l'anno detto, de quali denari cene ha dato tre scudi d'oro innanzi et uno cene ha da dare il p<sup>o</sup> di d'Agosto, et 2. fra sei mesi et sei alla fine dell'Anno, et M[esse]r Jacopo di philippo del Setaiolo c'è intrato malleuatore, come appare per contratto rogato da ser Giuseppe di m<sup>o</sup> Simone muratore sotto di detto

16 maggio per il perpignano incarnato ed altro [panno] e per il sarto, per fattura di panni e soppanni lire 15, soldi 2, denari 8. Infine, dopo il 15 ottobre 1574 – quando forse la famiglia aveva ormai raggiunto Vincenzo a Firenze – una nota conclusiva di £ 5 che “per tanti mi fa debitore Lazero spetiale, per medicine date a Galileo”.

Apprendiamo da un autografo del Tedaldi che il primo ottobre 1573 egli ebbe da Vincenzo, per due anni, *gratis et amore* 100 scudi, prestito che allo scadere gli fu rinnovato per altri due anni. In questa fase della sua vita Vincenzo doveva star bene finanziariamente, se nel 1563 aveva stampato a Roma le *Intavolature de lauto, madrigali e ricercate* e nel 1568 a Venezia il *Fronimo*.

Vincenzo Galilei, nato in un piccolo borgo ai confini del territorio fiorentino, si dichiara sempre “nobile fiorentino” e questo

attaccamento familiare alla città dei suoi avi lo trasmetterà a Galileo. Anche se, nel 1566, viene accolto dalla Compagnia di S. Guglielmo, a cui potevano essere iscritti solamente i fiorentini e ciò fa pensare a una sua presenza abbastanza continua a Pisa per i primi anni di matrimonio, i suoi interessi culturali sono tutti a Firenze, dove fin da giovane aveva potuto approfondire i suoi studi con l'aiuto di Giovanni Bardi dei conti di Vernio. Per conoscere il suo animo e intuire la sua storia basta leggere alcune righe autobiografiche, che si leggono nella lettera dedicatoria al Bardi<sup>12</sup>, che precede il *Dialogo della musica antica et della moderna*:

«... Come potrei io pure in minima parte ricompensare le comodità che ella mi ha date di potere con quieto animo attendere a quelli studij a' quali da primi anni mi diedi, & che senza l'aiuto suo non haverei condotti in quel termine nel quale hora si ritrovano? A che si aggiugne la prontezza dell'animo suo in far venire ad istanza mia, dalle più lontane parti d'Europa varij libri & instrumenti, senza i quali impossibile era potere della Musica quella notizia avere che mediante quelli habbiamo; & acciò questa scienza si mostrasse per me al mondo assai più chiara di quello che forse dopo la sua perdita non è ancora stato, non li è paruto grave darmi comodità di viatico, & prestarmi il suo favore in ogn'altra cosa opportuna per cercare molti luoghi, & indi ritrarre & da costumi degli habitatori, & dalle memorie antiche & da huomini della musicale scienza intelligenti, quelle maggiori & più vere notizie che possibile è stato

Nei suoi libri Vincenzo si rivela un forte polemista, ironico, alle volte fino al sarcasmo, note caratteristiche che il figlio erediterà, insieme alla predilezione per il dialogo, come forma espositiva. Nel suo *Discorso ... intorno all'opere di messer Gioseffo Zarlino*, vi sono passi di feroce polemica che non sono inferiori al meglio del *Saggiatore* galileiano. Un esempio solo, degno della prosa del figlio:

Secondo l'ordine promesso, verrò con quei pochi principi di matematica che da fanciullo apparai, a rispondere a quanto di essa il Zarlino mi riprende; & prima dico, che nel mio Dialogo, tutti i calcoli, & i computi che vi sono, son giustissimi. & con assai facilità spiegati.

Ben è vero, che la più parte di essi son facili, perché il luogo non ricercava difficoltà maggiore; la quale ho con ciascun mio sapere fuggita; & quello che si poteva fare con semplici parole, non ho voluto per predicar me stesso, adoperare difficili strumenti, o farne difficili dimostrazioni: prima per non esser queste da ciascuno

<sup>12</sup> *Dialogo di VINCENTIO GALILEI nobile fiorentino. Della musica antica et della moderna*, in Firenze 1581 appresso Giorgio Marescotti. Aveva già pubblicato a Roma nel 1563 le *Intavolature de lauto, madrigali e ricercate*; a Venezia nel 1569 il *Fronimo*. *Dialogo di Vincentio GALILEI nel quale si contengono le vere et necessarie regole del intavolare la musica nel liuto* che, accresciuto di molti esempi, ristampò sempre a Venezia nel 1584, anno in cui pubblicò altri due volumi, il *Canto de contrappunti a due voci* e il *Tenore de contrappunti a due voci*. Nel 1574 aveva pubblicato *Il primo libro de madrigali a quattro et cinque voci*; nel 1584 ristampa il *Fronimo dialogo sopra l'arte del bene intavolare et rettamente sonare la musica* con molti incrementi nel testo e nel 1587 pubblica *Il secondo libro de madrigali a quattro e cinque voci*. Nel 1589 il *Discorso ... intorno alle opere di messer Gioseffo Zarlino da Chioggia, et altri importanti particolari attenenti alla musica, et al medesimo messer Gioseffo dedicato*. Nel 1602 esce postumo il *Dialogo della musica antica et moderna di Vincentio Galilei nobile fiorentino. In sua difesa contro Joseffo Zerlino*. Aveva, inoltre, composto nel 1588, senza pubblicarlo, un importante *Discorso intorno all'uso delle dissonanze*. Di lui si conoscono 13 opere manoscritte conservate alla Nazionale di Firenze. Sono arrivate sino a noi molte composizioni musicali, soprattutto per liuto.

intese; & quelli per non trovarsene in tutti i luoghi & non saper ciascuno adoperargli.

& venendo al caso del Zarlino dico, ch'io non so vedere in quel suo libro che lui intitola *Dimostrazioni Harmoniche*, quello c'abbia voluto dire, ne anco quello ch'abbino a fare quelle sue novelle di che è pieno, con le dimostrazioni da dovero.

& venendo al particolare si è compiaciuto ch'io contro mia voglia facci, lui scrive nel capo ottavo del primo dei suoi *Supplimenti*, questa bella sentenza in suo favore; dicendo che non può esser huomo di fama, di reputazione, o di valore, senz'esser versato nelle matematiche: laonde se dal saper matematica si ha da far giuditio del valore de gl'huomini, verrò a dimostrare quanto lui ne sappia.

& di qui cominciandomi dico; che nel primo ragionamento, pone la quarta domanda per notissima, la quale per la sua oscurità ha dato occasione di affaticarsi a huomini grandissimi per dimostrarla: com'è Eutochio, Pappo, e Teone; lasciando ch'ei la pone per domanda essendo da Euclide stata posta per diffinitione.

Ma questo fa in tutte le seguenti che lui nomina dignità, le quali sono proposizioni di Euclide; & per la difficoltà loro degne d'esser dimostrate; come è la prima, la quarta, la sesta, la settima, & altre. Hora questo è l'ordinario de comentatori dei luoghi facili, i quali comentatori passano con silentio le cose difficili per non esser da loro intese; scusandosi poi come io ho detto, d'esser brevi e stringati. In quelle cose poi che sono note, vi fanno sopra; lunghissimi discorsi. Lascio stare il poco ordine che in esse osserva, ponendone alcune fisiche, com'è la seconda, tra le altre che sono matematiche; ponendole inoltre indifferentemente tolte dalle definizioni del primo & del settimo d'Euclide [...] lui per mala sua fortuna non dimostra mai alcuna cosa, & lascia sempre nella penna, tutto quello ch'è di buono nelle matematiche, che è il dimostrare necessariamente le sue conclusioni [...]

Hor dicami di gratia Messer Gioseffo, appresso quali matematici ha imparato che si ponghino le diffinitioni & nel medesimo tempo si cerchino di dimostrare? Il che fare è appunto un voler litigare quello che d'accordo ci è concesso [...]

Questo libro, per la sua ricchezza di paradossi, esempi, parabole, osservazioni penetranti, dimostrazioni matematiche e notizie storiche, pur tralasciando le discussioni di teoria musicale, si legge con lo stesso piacere del già ricordato *Saggiatore*, che 24 anni più tardi scriverà Galileo. Il quale Galileo nel 1589, ormai nominato professore dello Studio Pisano, chi sa se non avrà letto le bozze e controllato i calcoli e le citazioni di

quell'Euclide, per amore del quale aveva ottenuto dal padre di lasciar da parte la medicina?

Di Vincenzo Galilei potremmo dire di più<sup>13</sup>, ma quanto è stato scritto è sufficiente per far intuire la sua grande influenza sul figlio primogenito.

Ma ritornando alla fanciullezza, Galileo vedeva ad intermittenza il padre, che gli mandava regali attraverso il Tedaldi (per esempio, uno "schizzatoio" e un pallone) anche se, con molto senso pratico, nel carnevale del 1574 aveva preferito scambiare «la maschera in un paio di pianelle, che così si è contento».

Vincenzo Viviani, forse raccogliendo notizie familiari, ritrae così Galileo:

«Cominciò questi ne' primi anni della sua fanciullezza a dar saggio della vivacità del suo ingegno, poiché nell'ore di spasso esercitavasi per lo più in fabbricarsi di propria mano varii strumenti e machinette, con imitare e porre in piccol modello ciò che vedeva d'artifizioso, come di molini, galere, et anco d'ogni altra macchina ben volgare. In difetto di qualche parte necessaria ad alcuno de' suoi fanciulleschi artifizii suppliva con l'invenzione, servendosi di stecche di balena in vece di molli di ferro, o d'altro in altra parte, secondo gli suggeriva il bisogno, adattando alla macchina nuovi pensieri e scherzi di moti, purché non restasse imperfetta e che vedesse operarla»

Questo faceva "nelle ore di spasso"; perché Galileo studiava buona parte del giorno. Dove? Alla scuola della città.

<sup>13</sup> Ma non può essere tralasciato un passo di una lettera che Pietro dei Bardi scrisse a Monsignor Giovan Battista Doni il 16 dicembre 1634: "Avendo il signor Giovanni mio Padre gran diletto alla Musica, nella quale in quei tempo era compositore di qualche stima, aveva sempre d'intorno i più celebri uomini della Città eruditi in tale professione, e invitandoli in Casa sua, formava quasi una dilettevole e continua Accademia [*la Camerata dei Bardi*], dalla quale stando lontano il vizio, e in particolare ogni sorta di gioco, la Nobile Gioventù Fiorentina veniva allettata con molto suo guadagno, trattendosi non solo nella Musica, ma ancora in discorsi, e insegnamenti di Poesia, d'Astrologia, e d'altre scienze, che portavano utile vicendevole a sì bella conversazione. Era in quel tempo in qualche credito Vincenzio Galilei, Padre del presente famoso Filosofo e Matematico, il quale si invaghì in modo di quell'insigne adunanza, che aggiungendo alla Musica pratica, nella quale valeva molto, lo studio ancora della Teorica, con l'aiuto di quei virtuosi, e ancora delle molte sue vigilie, cercò egli di cavare il sugo de Greci Scrittori e dei Latini e dei più moderni, donde il Galilei divenne un buon Maestro di Teorica d'ogni sorta di Musica ..."; riprodotta in G.B. NELLI, *Vita e commercio letterario di Galileo Galilei*, Losanna [ma Firenze] 1793, Vol. I, p. 9.

## 1.2 LA SCUOLA ELEMENTARE FREQUENTATA DA GALILEO

La comunità di Pisa, tradizionalmente, assumeva a contratto per tre anni il maestro di scrivere, il maestro di grammatica e il maestro d'abaco. Il maestro di grammatica insegnava a leggere e a scrivere anche in latino. Il periodo che ci interessa per Galileo va dal 1569, quando aveva cinque anni fino al ricongiungimento familiare a Firenze nel 1574, quando la madre Giulia raggiunse il marito Vincenzo Galilei.

Questo periodo è interamente coperto da due maestri. Il primo fu *Antonio Leonardi da Castiglione*, che era stato nominato il 18 giugno 1569 per tre anni e che iniziò l'insegnamento il 1° di ottobre di quell'anno. Costui, appena passata la metà del tempo per cui era stato assunto chiese di partire. Gli fu concesso purché continuasse il suo insegnamento un mese ancora per permettere al Comune di trovargli un successore. Il Leonardi fu uno dei pochissimi maestri che conoscesse e insegnasse il greco: risulta infatti che il Comune aveva aggiunto alla sua qualifica di *magister grammatices* anche quella di *magister literarum grecarum*. Lo stipendio era di 122 scudi l'anno, che includeva la paga del ripetitore<sup>14</sup>, ma non l'affitto della casa, per la quale erano dati 10 scudi.

Gli successe *Giacomo Marchesi da Piacenza*, il quale essendo stato eletto il 24 aprile 1571, con 100 scudi di stipendio, altri 10 per la casa e 20 per il ripetitore, diede inizio all'insegnamento con il 1° maggio recitando davanti ai Priori un'elegantissima orazione latina. Il suo insegnamento venne interrotto il 20 febbraio 1573 quando fu chiamato a Firenze per ordine

degli Ufficiali della Moneta e condannato a cinque mesi di carcere. Per diretto intervento dei Priori pisani, preoccupati che non rimanesse scoperto l'insegnamento, fu graziato dal granduca e poté terminare la condotta con il 1° maggio 1574.

Dalle istruzioni date ad Antonio Leonardi si può capire come funzionava la scuola:

Imprima sia obligato insegnare lettere greche et latine in scuola publica et in essa tener uno repetitore idoneo per i principianti da eleggersi per detto maestro ma confermarli per li magnifici Priori advertendo detto maestro che sia cauto in proporre repetitore alli magnifici priori che sia di buone lettere et idoneo, il quale repetitore sia pagato da detto maestro di quel salario che infra di loro saranno d'accordo purché non sia meno di ducati 12.

Sia obligato fuor de giorni festivi tener li scolari tre hore la mattina et tre hore doppo desinare almeno et il lunedì, martedì, mercoledì et giovedì leggere quattro lectioni per ogni giorno, dua la mattina et dua la sera et il venerdì leggere una lectione et il sabato far leggere una lectione a uno scolare con farli argumentare alli altri et insomma fare che ogni sabato si legga una lectione per uno scolare del primo circolo tanto che tocchi una volta per ciascuno; Medesimamente sia obligato fare tre circoli di scolari almeno uno di epistolanti, laltro di latinanti per tutte le regole, terzo de principianti cioè delle concordanze et di quelli della prima regola. Et a epistolanti sia obligato i soprascripti giorni quattro dare ogni giorno una epistola, a latinanti dua latini et a principianti attenda il repetitore tenendoci sopra lochio il maestro advertendo che il venerdì faccia a tutti una examine generale et il sabato oltre la lec-

<sup>14</sup>La delibera precisava che il salario annuo del ripetitore non doveva essere meno di 12 scudi annui. Si veda anche: N. CATUREGLI, *La scuola media in Pisa*, Boll. Stor. Pisano, 1936, anno V, pp. 16-46.

Johannes Decretalis cum suis ceterisque ad hunc acceptis  
 ut offitium ac hunc et ob talis infiduciam  
 Angelum silvanum et  
 Franciscum de Lupis  
 Et per omni Invenit unum veni collegis et promissis et emenda  
 nando doctoribus suis primum et D. Roberto cum in edivindio  
 D. Andrea le polino D. Bondommo de prece et deogue  
 raderio et D. Camillo venerari ab uno alij et septimum  
 Quin quatuor guard obsequi delicti seu conduda de P. Hugo  
 de Leonardis de castilione tertium in magistrum gram. cois  
 et tempore annorum huius prime huius magister L. obabilis  
 factum et ut regitur finem cum solitis salario et alijs solitis prout  
 habebat quentus magister et cum impis et alijs et condidit et in  
 Imprius sua obligato magister suo grege et Carri in scuola  
 publica et mensa teneri uno repetitor videlicet si principis  
 de legenti per deo maestro ma conferenti per magister Prionia ducit  
 tendo detto maestro et sua cautio in hunc repetitor ali  
 magister Prionia ducit di hunc et Sidoneo il quale repetitor  
 sua pagato da deo maestro di gl. salario de infra di loro scuola  
 dauendo prout de no di 12  
 Sia obligato fuor de giorni festiij teneri la scolari de hoc la  
 mattina et hoc hoc dopo desinare almeno et il lunedì  
 martedì mercoledì et giovedì leggetur quatuor lectioni per  
 ogni giorno due la mattina et due hanc et il venerdì  
 leggetur una lectione et il sabbato far leggetur una lectione  
 cum scolare et fuit argumetur ali alij et insom fuit  
 Et ogni sabbato si leggetur una lectione prout solent del  
 primo circolo tanto de trad. una volta prout uno  
 Mediciam de sua oblo far hoc circuli di scolari almeno unum  
 opus laici falco de latinantibus tunc legentibus et hoc  
 de principibus que ille concordante et di gl. della f

Capta Magri  
 scola gram. ces

74

regola etia ipso laus sa obligato; et per tutti giorni quattro dar  
ogni giorno una ceta a latinari sua latinj etia unicipiani  
attenda ilreceptor tenendoci sopra l'occhio il m. auctore de  
ilunendi facia a tutti una examine generale et il sabbato  
oltre la letione da leggersi p[er] lo solare facij a p[er]es iucij in-  
parati amete p[er] lo adret.

It[em] sia obligato detto m. insegnar a tutti i uittadini p[er] tutti i giorni  
et supportare le gruelle in frida et a il m. glii s[ic]o supportano  
i daner e gruelle dalla città come li sabbatori, de borgi et  
s[ic] borgi; Da forestieri possa farsi pagar secondo de comporta  
e honesto ne possa pigliar parte nello insegnar ed andar casa  
digo, d[ic]o ma insegnar tutti equalmente tanto al ponno et  
al riado città et no come nelle fore. Oeghe obligato et scuole  
Il salario et emolument di maestro sono scudi centonove; due p[er] di 7 lo  
grando fanno de primo ora assai meno; No possa p[er] domandare  
augmento aluno ne p[er] al conto possa partire; ma d[ic]o p[er] m[is]e  
tutto il tempo ne possa domandare ludi in d[ic]o a c[on]forma  
s[ic]o s[ic] m[is]e audi la p[er] d[ic]o suu condotta e d[ic]o mandando  
ad d[ic]o d[ic]o m[is]e al uno, ne possa d[ic]o mag[is] d[ic]o d[ic]o  
s[ic]o ad d[ic]o tempo caso p[er] d[ic]o facij i debiti suu de g[ra]do  
e facij e p[er] s[ic]o refuto dagli d[ic]o m[is]e e p[er] il m[is]e d[ic]o  
scuola possa esse liceto d[ic]o mag[is] m[is]e lamento

It[em] d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o m[is]e oltre al d[ic]o salario scudi deni anno  
e la p[er] d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o  
piaciu a mag[is] Priou et d[ic]o d[ic]o m[is]e; p[er] pagar d[ic]o d[ic]o d[ic]o  
grati e mag[is] ad forestieri siano tutti suu; le m[is]e da  
fari secondo il solito tenore suo, cioe la p[er] d[ic]o d[ic]o d[ic]o  
La p[er] d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o d[ic]o  
maestro. usando p[er] ognuna die e quale p[er] d[ic]o d[ic]o



tione da leggersi per lo scolare facci repetere i versi imparati a mente per lo adreto.

Item sia obligato detto maestro insegnare a tutti i cittadini pisani e fiorentini che sopportano le gravezze in fiorenza et a tutti quelli che sopportano i charichi et gravezze della città come li habitatori de borghi et soborghi. Da forestieri possa farsi pagar secondo che comporta l'honesto ne possa pigliar parte nello insegnare ed andare a casa di questo o di quello ma insegni a tutti egualmente tanto al povero quanto al ricco cittadino et maxime nelle hore che gli è obligato alla scuola. Il salario et emolumenti del maestro sono scudi centoventidua di lire 7.10 per scudo l'anno che prima era assai meno. Non possa domandare augumento alcuno ne per tal conto possa partirsi ma debba finire tutto il tempo, ne possa domandare licentia in conto alcuno o conferma se non sei mesi avanti la fine di sua condotta et domandando loro non sia udito in conto alcuno, ne possino detti magnifici darli licentia se non a detto tempo. Caso però che facci il debito suo, che quando non lo facesse et fussi referto da quelli deputati sopra il riveder la scola possa esser licenziato da magnifici iuxto la verità.

Item debba avere detto maestro oltre al detto salario scudi dieci l'anno per la pigione della scuola dovendola tenere in luogo che piaccia ai magnifici Priori et non altrimenti. I pagamenti che guadagnasse per insegnare a forestieri siano tutti sua. Le mancie da farsi secondo il solito tre volte l'anno, cioè la pasqua del natale, la pasqua della resurrezione et del carnovale, siano di detto maestro, usando per ognuna di esse qualche gentilezza al ripetitore secondo la discretione del maestro. Sia obligato pagare come di sopra detto ripetitore del suo

et obligarlo a star seco nella scuola come è obligato il maestro. Non possa detto m.<sup>mo</sup> partirsi di Pisa senza licentia de magnifici Priori che apparisca per partita et contra facendo incorra in pena di scudi 4 per ogni volta, da ritenersi dal suo salario non avendo luogo questo nei giorni festivi. Item habbi detto maestro le vacantie solite concedersi alli altri maestri, giorni XV per settembre, 8 per carnovale et 8 per la 7<sup>ma</sup> santa, computandovi li tre giorni di pasqua et tutti li giorni festivi dell'anno. Et mancando detto m.<sup>mo</sup> di osservare quanto di sopra, incorra in quella pena pecuniaria ad arbitrio dei mag.<sup>ri</sup> Priori, purché non passi scudi dua.

Ricapitoliamo: 33 ore di lezione (3 la mattina e 3 il pomeriggio per 5 giorni, più 3 ore il sabato, perché non si tiene scuola dopo mangiato). Il sabato si ripetevano i versi imparati a memoria; gli epistolanti poi dovevano fare a turno una lezione. I ragazzi sono divisi in tre ordini o circoli: scolari minori, mezzani, maggiori. Stanno probabilmente nella stessa aula, tutti insieme. Il venerdì vi è una lezione unica e poi si fa la ripetizione del programma svolto. Sono persino previste ispezioni mensili per accertare se gli studenti imparano. Indipendentemente dall'età, proprio per la situazione ambientale era possibile un'intensa circolazione di nozioni, e chi dei piccoli riusciva ad assimilare insegnamenti destinati ai più grandi, ne traeva molto profitto. Forse questo sistema di apprendimento, offerto dalla Comunità di Pisa, diede i suoi migliori frutti in Galileo.

### 1.3 (1580-1586) GALILEO STUDIA MEDICINA ALL'UNIVERSITÀ DI PISA CHE POI LASCIA SENZA LAUREARSI

Verso la fine del 1574 Vincenzo Galilei chiamò la famiglia a Firenze e non sappiamo se Galileo ebbe qualche occasione di rivedere le zie Ammannati a Pisa prima del 5 settembre 1580 (1581 al pisano), quando vi fece ritorno per iscriversi all'Università<sup>15</sup>. Lo zio Leone doveva essere morto da tempo, la zia Dorotea forse morì all'inizio del 1581, quando fece testamento<sup>16</sup>, "corpore languens", lasciando eredi in parti uguali le sorelle Giulia e Ermellina.

Da una lettera di Muzio Tedaldi si apprende che Vincenzo, d'accordo con Galileo, voleva "introdurlo qua in Sapienza", cioè farlo accogliere nel Collegio istituito da Cosimo I, in cui erano ospitati gratuitamente scolari poveri e meritevoli. Il 20 aprile del 1579 Muzio scrive:

[...] et dirò solo che mi è grato di saper che haviate rihavuto Galileo<sup>(17)</sup>, et che siate di animo di mandarlo qua a studio; ma questo anno sarà doloroso fare, mediante che siamo di ricolta et ci vale il grano lire 15 il sacco; pure Dio sa tutto, et a tutto provvede.

Il 16 luglio dello stesso anno si dichiara disposto ad ospitarlo:

[...] per il che a quel tempo potrete facilmente mandare il vostro Galileo a studio: et se non harete la Sapienza, harete la casa mia al vostro piacere, senza spesa nessuna, et così vi offero et prometto.

Galileo era ormai un giovane, a cui il padre aveva fatto avere una buona educazione: conosceva il greco e la letteratura; soprattutto sapeva suonare il liuto benissimo e disegnava altrettanto bene. A Pisa, non essendo stato accettato nel Col-

<sup>15</sup> Nel *Liber Matriculae*, presente in mostra, si legge «Galileus Vinc.<sup>o</sup> Galilei flor.<sup>o</sup> art.<sup>o</sup>». Prima della qualifica "artista", cioè studente di medicina e filosofia, era stato scritto e poi cancellato «Leg.<sup>o</sup>», cioè studente di giurisprudenza. Con ogni probabilità si trattò di un errore del Cancelliere nel "descrivere" lo studente: ma non si può escludere del tutto un ripensamento di Galileo, da legge a medicina. Il *Liber Matriculae* è curiosamente organizzato per ordine alfabetico dei nomi. Per ogni lettera iniziale scorrono gli anni e quando si arriva al 1581 si trova scritto sempre: «Fuerunt cassi omnes scolares pis[anos] qui infra septem annos ad huc non se doctorati fuerunt. Die 5 decembris 1588 stile pisano». Per reprimere l'abuso di coloro che si iscrivevano all'università, non per studiare, ma soltanto per godere dei privilegi concessi agli studenti, in particolare l'esenzione dal foro civile e criminale comune, fu stabilita la durata di sette anni. Dopo, ci si poteva ancora laureare, ma non si era più trattati come studenti. I laureandi "in artibus et medicina" dovevano pagare 14 scudi prima che venissero assegnate le domande per l'esame di laurea (venivano chiamati *punti*) che venivano ridotti a 10 scudi, se la laurea era in una soltanto delle due possibili, cioè solo in *arti* o solo in *medicina*.

<sup>16</sup> G.G., vol. XX, p. 370. Il testamento porta la data del 5 febbraio 1581.

<sup>17</sup> Il frate Diego Franchi da Genova, che fu contemporaneo di Galileo e abate del Monastero di Santa Prassede, lasciò un manoscritto nell'Archivio di Santa Maria di Vallombrosa, in cui ricorda la dimora di Galileo in quel monastero, dove egli arrivò ad essere novizio: «Non si deve tralasciare il celebrato nome di Galileo Galilei matematico insigne. Questi fu novizio Vallombrosano, e fece i suoi primi esercizi dell'ammirabile ingegno nella scuola di Vallombrosa. Il padre di lui, sotto pretesto di condurlo a Firenze per curarlo di una grave oftalmia, con trattenerlo assai, il traviò dalla religione in lontane parti. Con lui adulto comunicò intrinsecamente con Onazio Moranti Abate Generale, e non solo ne partecipò nominanza ma ancora qualche disgrazia per la curiosa contemplazione delle stelle». Il Franchi dai suoi superiori aveva avuto l'incarico di scrivere un compendio intorno agli uomini illustri della religione Vallombrosana. Così informa il FAVARO nel suo *Galileo Galilei e lo studio di Padova*, vol. I, p. 7, Padova 1883.

die 8 febr' 77.

- a. Georgius Kirispageni alamanus 18  
21. 78
- a. Gregorius gherri de latenna arto  
22. 78
- a. Gubelrus capota hispanus 18  
15 febr' 78
- a. Georgius lonestaria 18  
28. 79
- a. Gabriel cornus mediolanen' 18  
4. 80
- a. Gherardus venenunus 1. Cort 18  
21. 80
- a. Guernapagarellus de castro carr 18  
7. aprilis 80
- a. Georgius fontana montivray 18  
7. may
- a. Gaspar vinturiale hispanus 18  
17. 80
- a. Georgius gherardus viculus 18  
21. 80
- a. Georgius Rupertus a dolchimgemany arto  
10. 80
- a. Gaspar rober reddus 18  
21. 80
- a. Gerny edmuth de parry flott 18  
11. 80
- a. Georgius de Indry mediolanen' 18  
3. 81
- a. Galileus vider galter flort 18  
11. 81
- a. Guido marreata mediolanen' 18  
24. 81
- a. Georgius uelletius Jovan 18  
die 11. mens. apris 1582
- a. Galietanus merinus 18  
die 20. jom. 1582. sic pis
- a. Galvatus balbannus plebanus liburni 18  
die 10. mens. martii 1583
- a. Georgius meraglinus 18  
die 10. mens. martii 1583

1579  
1581

1581  
die 10. mens. apris 1582  
die 20. jom. 1582. sic pis  
die 10. mens. martii 1583

1582

1583

leggio di Sapienza<sup>18</sup>, fu affidato all'amico Muzio Tedaldi<sup>19</sup>, padrino di battesimo del fratello Michelangelo e ormai parente per aver sposato la figlia di Ermellina.

Per il periodo degli studi universitari dobbiamo attenerci a quanto scrisse, su richiesta del Principe Leopoldo de' Medici, Vincenzo Viviani nel suo "Racconto storico" a cui diede forma di lettera<sup>20</sup>. Egli afferma che le memorie che invia

«... furono estratte per la maggior parte dalla viva voce del medesimo Sir. Galileo, dalla lettura delle sue opere, dalle conferenze e discorsi già co' suoi discepoli, dalle attestazioni de' suoi intrinseci e familiari, e finalmente da varie conferme e riscontri che le autenticano per verissime e prive d'ogni eccezione.»

Ne trascriviamo alcune parti:

Trovandosi dunque il Galileo in età di sedici anni in circa con tali virtuosi ornamenti e con gli studii d'umanità, lingua greca e dialettica, deliberò 'l padre suo di mandarlo a studio a Pisa, quantunque con incomodo della sua casa, ma con ferma speranza ch'un giorno l'avrebbe sollevata con la professione della medicina, alla quale egl'intendeva ch'e' s'applicasse, come più atta e spedita a potergli somministrare le comodità necessarie; e raccomandandolo ad un parente mercante [*Muzio Tedaldi era*] ch'egli aveva in quella città, quivi inviollo, dove cominciò gli studii di medicina et insieme della vulgata filosofia peripatetica [...]

[...] Continuò di così per tre o quatt'anni, ne' soliti mesi di studio in Pisa, la medicina e filosofia, secondo l'usato stile de' lettori; ma però in tanto da sé stesso diligentemente vedeva l'opere di Aristotele, di Platone e delli altri filosofi antichi, studiando di ben possedere i lor dogmi et opinioni per esaminarle e soddisfare principalmente al proprio intelletto.

In questo mentre con la sagacità del suo ingegno inventò quella semplicissima e regolata misura del tempo per mezzo del pendulo, non prima da alcun altro avvertita, pigliando occasione d'osservarla dal moto d'una lampada, mentre era un giorno nel Duomo di Pisa; e facendone esperienze esattissime, si accertò dell'egualità delle sue vibrazioni, e per allora sovvenne di adattarla all'uso della medicina per la misura della frequenza de' polsi, con stupore e diletto de' medici di que' tempi e come pure oggi si pratica volgarmente: della quale invenzione si valse poi in varie esperienze e misure di tempi e moti, e fu il primo che l'applicasse alle osservazioni celesti, con incredibile acquisto nell'astronomia e geografia [...]

Abbreviamo il racconto: Viviani ricorda che Galileo, senten-

do dal padre che la pittura, la prospettiva e la musica avevano avuto origine dalla geometria, chiese di spiegargliela, ma Vincenzo, non volendolo distogliere dallo studio della medicina, rimandava sempre, finché Galileo ebbe occasione di parlare con Ostilio Ricci, matematico dei paggi del Granduca, il quale lo introdusse nelle definizioni, assiomi e postulati del primo libro di Euclide, e il giovane s'interessò tanto di Euclide che cominciò a trascurare gli studi di medicina. Si era intorno al 1583:

[*Galileo*] volle far prova se per sé stesso poteva intenderlo sino alla fine, con desiderio di arrivare almeno alla 47, tanto famosa<sup>21</sup>; e vedendo che gli sorti d'apprendere il tutto felicemente, fattosi d'animo, si propose di voler scorrer qualch'altro libro: e così, ma furtivamente dal padre, andava studiando, con tener gl'Ippocrati e Galeni appresso l'Euclide, per poter con essi prontamente occultarlo quando 'l padre gli fosse sopraggiunto. Finalmente sentendosi trasportar dal diletto et acquisto che parevagli d'aver conseguito in poco tempo da tale studio, nel ben discorrere argumentare e concludere, assai più che dalle logiche e filosofie di tutto il tempo passato, giunto al sesto libro d'Euclide, si risolse di far sentire al padre il profitto che per sé stesso aveva fatto nella geometria, pregandolo insieme a non voler deviarlo donde sentivasi trasportare dalla propria inclinazione. Udillo 'l padre, e conoscendo dalla di lui perspicacità nell'intendere e maravigliosa abilità nell'inventare varii problemi ch'egli stesso gli proponeva, che 'l giovane era nato per le matematiche, si risolse in fine di compiacerlo.

Tralasciando dunque il Galileo lo studio di medicina, in breve tempo scorse gl'Elementi d'Euclide e l'opere de' geometri di prima classe; e arrivando all'*Equiponderanti* et al trattato *De his quae vehuntur in aqua* d'Archimede, sovvenne un nuovo modo esattissimo di poter scoprire il furto di quell'orefice nella corona d'oro di Hierone: et allora scrisse la fabbrica et uso di quella sua bilancetta, per la quale s'ha cognizione delle gravità in specie di diverse materie e della mistione o lega de' metalli, con molt'altre curiosità appresso; quali, benché poi dal Galileo non sieno state fatte pubbliche con le stampe, parte però furono conferite da lui a quei che se gli facevano amici, e parte vanno intorno in private scritture: onde non è gran fatto s'alcuno l'ha pubblicate per sue o se ne è valso, mascherandole, come di propria invenzione.

Galileo, non sappiamo perché, non stimò che per lui era importante laurearsi, pur avendo passato cinque anni all'Università, tempo sufficiente per ottenere il titolo dottorale, così nel 1585 fece ritorno a Firenze.

<sup>18</sup> Se Vincenzio fosse riuscito a farlo entrare in Sapienza, Galileo si sarebbe certamente laureato, per non dover restituire le spese di mantenimento al Collegio.

<sup>19</sup> G.G., vol. XIX, p. 35. Vi si leggono alcune spese per il mantenimento di Galileo all'università, da cui si può valutare che gli studi di Galileo costassero al padre una ventina di scudi l'anno. I conti sono i seguenti:

A dì 29 di Xmbre 1584. Io Bast.no di Vin.o Ferrini ho riscieuto da Mess. Vinc.o Galilei, £ diciotto piccioli contanti, per conto del vitto per Galileo suo figliuolo, che tiene per Mess. Mutio Tedaldi in Pisa a sue spese. £ 18. E a dì 26 di Gen.o da detto Mess. Vinc.o £ diciotto piccioli, recò contanti. £ 18. E a dì 27 di Febbraio dal detto Mess. Vinc.o diciotto piccioli a me Lorenzo Sermini per il medesimo conto. £ 18.

Io Cosimo q. Lioni ho ric.o questo di 6 d'Aprile £ diciotto piccioli da Vinc.o Galilei, quali mi pagha per Mutio Tedaldi. £ 18

Io Olivieri Olivieri ho r.o questo di 4 di maggio £ diciotto.

E ricevo da Vinc.o Galilei, r.to Cosimo Lott.ni £ 18

<sup>20</sup> G.G., vol. XIX, pp. 597-632.

<sup>21</sup> È il teorema di Pitagora: nei triangoli rettangoli, il quadrato sul lato che sottende l'angolo retto è uguale ai quadrati sui lati contenenti l'angolo retto.

## 1.4 LA BILANCETTA

Il testo del *De motu*, di cui parleremo tra poco, mette a fuoco il ruolo che nelle ricerche sul piano inclinato ebbe la bilancia, della cui costruzione e del cui uso Galileo era diventato esperto quando, ancora studente, aveva scritto<sup>22</sup> *La Bilancetta*, un autografo che concordemente si fa risalire al 1586 e che è accompagnato da una *Tavola delle proporzioni delle gravità in specie de i metalli e delle gioie pesate in aria ed in acqua*.

Il punto di partenza del suo interesse era stata la descrizione (pervenuta attraverso Vitruvio) del metodo seguito da Archimede per trovare il furto dell'orefice nella corona d'oro di Ierone<sup>23</sup>:

Si come è assai noto a chi di leggere li antichi scrittori cura si prenda, avere Archimede trovato il furto dell'orefice nella corona d'oro di Ierone, così parmi esser stato sin ora ignoto il modo che sì grand'uomo usar dovesse in tale ritrovamento: atteso che il credere che procedesse, come da alcuni è scritto, co'l mettere tal corona dentro a l'acqua, avendovi prima posto altrettanto di oro purissimo e di argento separati e che dalle differenze del far più o meno ricrescere o traboccare l'acqua venisse in cognizione della mistione dell'oro con l'argento, di che tal corona era composta, par

cosa, per così dirla, molto grossa e lontana dall'esquisitezza; e vie più parrà a quelli che le sottilissime invenzioni di sì divino uomo tra le memorie di lui aranno lette ed intese, dalle quali pur troppo chiaramente si comprende, quanto tutti gli altri ingegni a quello di Archimede siano inferiori, e quanta poca speranza possa restare a qualsiasi di mai poter ritrovare cose a quelle di esso simiglianti.

Galileo giovane era un ammiratore senza limiti di Archimede, così come era critico di Aristotele, per quanto riguardava il moto. Poco più avanti aggiunge:

Ma il conoscer io che tal modo era in tutto fallace e privo di quella esattezza che si richiede nelle cose matematiche, mi ha più volte fatto pensare in qual maniera co'l mezzo dell'acqua, si potesse esquisitamente ritrovare la mistione di due metalli; e finalmente, dopo aver con diligenza riveduto quello che Archimede dimostra nei suoi libri Delle cose che stanno nell'acqua ed in quelli Delle cose che pesano ugualmente, mi è venuto in mente un modo che esquisitissimamente risolve il nostro quesito: il quala modo crederò io esser l'istesso che usasse Archimede, atteso che, oltre all'esser esattissimo, dipende ancora da dimostrazioni ritrovate dal medesimo Archimede.

<sup>22</sup> Un manoscritto anonimo della Biblioteca Civica di Amburgo, dal titolo: *La Bilancia sincera con la quale per theorica e pratica si conosce le frodi dell'oro e delli altri metalli contiene una copia del Discorso del S. Gal. Galilei intorno all'artificio che usò Archimede nel scoprire il furto del oro nella corona di Hierone con la fabrica d'un nuovo strumento detto dall'autore Bilancetta*. A questi scritti segue una Appendice del P. Don Benedetto Castelli la quale tuttavia si limita alle seguenti parole: «Sig. Galilei mio, perdonatemi, voi non sapete il buon vivere del mondo, un altro galanthuomo che avesse ritrovata questa galanteria, l'havrebbe data fuori, non come d'Archimede, ma come sua propria, arrogandosi et usurpandosi la gloria di tal'Invention, quando bene li fussi venuto nelle mani l'Originale stesso d'Archimede, lasciando cantare: *sic vos, non vobis*». A. FAVARO, *Scampoli, Atti e Memorie della R. Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova*, vol. IV, Padova, 1887-88, pp. 112-114. La frase del Castelli potrebbe rivelarci il motivo per cui Galileo, pur facendo circolare il manoscritto, non ha mai pubblicato la Bilancetta: forse non lo riteneva un lavoro originale.

<sup>23</sup> G.G. vol. I, pp. 215-220.

Il modo è co'l mezo di una bilancia, la cui fabrica ed uso qui appresso sarà posto [...]

Per fabricar dunque la bilancia, piglisi un regolo lungo almeno due braccia<sup>24</sup>, e quanto più sarà lungo più sarà esatto l'istrumento<sup>25</sup>; e dividasi nel mezo, dove si ponga il perpendicolo; poi si aggiustino le braccia che stiano nell'equilibrio, con l'assottigliare quello che pesasse di più; e sopra l'uno delle braccia si notino i termini [dove ritor]ano i contrapesi de i metalli semplici quando saranno pesati nell'acqua [...]

Sopra i termini de i metalli semplici avvolgasi un sol filo di corda di acciaio sottilissima; ed intorno agli intervalli, che tra i termini rimangono, avvolgasi un filo d'ottone pur sottilissimo; e verranno tali distanze divise in molte particelle uguali [...]

Ma qui è da avvertire che nasce una difficoltà nel contare: però che, per essere quei fili sottilissimi, come si richiede all'esquisitezza, non è possibile con la vista numerarli, però che tra sì piccoli spazii si abbaglia l'occhio. Adunque, per numerargli con facilità, piglisi uno stiletto acutissimo, col quale si vada adagio, adagio discorrendo sopra detti fili; ché così, parte mediante l'udito, parte mediante il ritrovar la mano ad ogni filo l'impedimento, verranno con facilità detti fili numerati: del numero de i quali, come ho detto di sopra, si averà l'esquisita quantità de i semplici, de' quali è il misto composto.

Ho riportato quella parte del testo, che illustra la costruzione e l'uso della bilancia idrostatica, per convincere il lettore, al di là di ogni possibile dubbio, che Galileo, fin da quando era studente, disponeva di bilance molto sensibili e sapeva servirsene. Dalle due Tavole, anch'esse autografe, si può avere una qualche informazione sulla precisione della bilancia usata da Galileo per le densità, osservando di quanto i valori riportati per la densità di alcune sostanze si discostano dai valori tipici delle stesse sostanze, supposti esatti, in quanto ricavati da pubblicazioni scientifiche recenti.

Per questa valutazione mi sono attenuto a due criteri; tra le tante ho scelto sostanze la cui purezza, per la tecnologia disponibile allora, possiamo considerare abbastanza scontata, e queste sono: oro, argento diamante e rame.

Per non usare valori di oggi, che si basano su campioni troppo raffinati, ho consultato, per le densità, alcuni buoni manuali della metà del secolo XIX ([a] G. Cantoni, *Manuale di Fisica*, Lugano, 1857; [b] A. Naccari e M. Bellati, *Manuale di Fisica Pratica*, Torino 1874). Ho raggruppato i dati che servono nella seguente tabella:

sostanza	x = peso in aria	y = peso in acqua	densità per Galileo	z = densità per [a]Cantoni, [b] Naccari-Bellati	$ \Delta z $
Oro puro	grani 156 1/4	grani 148 1/4	19,531	19,258 [a]	0,273
	grammi 7,675	grammi 7,282			
Argento puro	grani 179 1/4	grani 162	10,391	10,474 [a]	0,083
	grammi 8,805	grammi 7,957			
diamante	grani 48 1/6	grani 34 19/32	3,549	3,521 [b]	0,028
	grammi 2,366	grammi 1,699			
rame	grani 179 9/16	grani 159	8,732	8,788 [a]	0,056
	grammi 8,820	grammi 7,810			

<sup>24</sup> Braccio di terra: 550,63 mm; braccio di panno: 583,02 mm. Da quanto si legge nel *Dialogo sopra i due massimi Sistemi del Mondo*, Galileo usava il braccio di terra. LEONARDO XIMENES nel suo *Del vecchio e del nuovo gnomone fiorentino e delle osservazioni astronomiche, fisiche ed architettoniche fatte nel verificarne la costruzione* (Firenze 1757), racconta come comparò la mezza tesa (di tre piedi e uguale a 974 mm) rettificata sulla tesa della Reale Accademia di Parigi, che il signor de la Condamine aveva con sé quando passò da Firenze nel 1755, con i pubblici campioni del braccio fiorentino (di panno e di terra) incastrati nella facciata del Bargello. La Condamine si era servito di questa tesa esattissima per la misura della figura della terra. Seguendo Ximenes, ho sempre utilizzato i suoi valori per le misure fiorentine, rapportandole al metro attraverso il piede di Parigi.

<sup>25</sup> *Aristotele, Problemi meccanici*, a cura di M.E. BOTTECCHIA DEHÒ, 2000, Rubettino, p. 61. Il primo quesito sulla bilancia è: «per quale ragione le bilance più grandi siano più esatte delle più piccole».

Per valutare la precisione della bilancia di Galileo, considero ognuna delle otto pesate riportate nella tabella, come il risultato di una serie di misure e di aggiustamenti, una media fatta da Galileo a conclusione di un certo numero di pesate. Suppongo, quindi, che Galileo abbia scelto il peso che riteneva più probabile, qualcosa molto vicino al valore medio, per usare un termine matematico. Queste otto pesate sono tuttavia approssimate e soggette a un errore  $\Delta p$  da determinare, intendendo in maniera non formale che il valore esatto di ogni pesata, molto probabilmente, non differisce dal valore trovato da Galileo per più di  $\Delta p$  milligrammi.

Utilizzando il metodo della propagazione degli errori si trovano le seguenti deviazioni percentuali nella misura dei pesi: per l'oro  $\pm 3,98\%$ , per l'argento  $\pm 5,01\%$ , per il diamante  $\pm 4,28\%$  e per il rame  $\pm 4,85\%$ . I pesi, eccetto il diamante, si aggirano intorno agli 8 grammi e pertanto l'errore non può essere superiore a 40 mg.

In realtà, la bilancia "idrostatica" usata da Galileo doveva essere ancora più precisa, perché la misura della densità, essendo il rapporto tra il peso della sostanza in aria e il peso dell'acqua spostata (che si ottiene per sottrazione dal peso della sostanza misurato in aria e in acqua), è ottenuta con due pesate ed è quindi soggetta ad un errore maggiore. Più tardi Galileo ebbe a disposizione una bilancia assai più precisa<sup>26</sup>.

Nell'illustrare a Giovanbattista Baliani il metodo seguito per misurare il tempo negli esperimenti sul piano inclinato, servendosi del pendolo<sup>27</sup>, Galileo accenna a più esatte misure, ottenute raccogliendo l'acqua che fluisce da un recipiente molto grande attraverso un sottile tubicino. Dopo aver pesato

l'acqua uscita durante un tempo abbastanza lungo, misurato con il pendolo, si può trovare "l'esattissima misura e quantità" di ogni altro tempo, "servendoci massime di una bilancia così esatta che tira a un sessantesimo di grano". L'espressione usata da Galileo fa pensare più alla sensibilità che all'esattezza della sua bilancia<sup>28</sup>, che era in grado di rivelare minime differenze di peso, stimate da lui intorno il milligrammo. I risultati appena ottenuti, danno credito alla sua affermazione.

Galileo aveva già pubblicato il metodo dell'orologio ad acqua un anno prima, nei *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze*<sup>29</sup>:

"Quanto poi alla misura del tempo, si teneva una gran secchia piena d'acqua, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiere per tutto il tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta con esattissima bilancia pesando, dandoci le differenze e proporzioni de i pesi loro le differenze e proporzioni de i tempi; e questo con tal giustezza, che, come ho detto, tali operazioni, molte e molte volte replicate, già mai non differivano d'un notabil momento".

La procedura realizzata da Galileo di registrare brevi durate di tempo raccogliendo l'acqua fuoriuscita con flusso costante da un recipiente molto grande, fa del suo "orologio" un cronografo, la cui esattezza dipende dalla precisione della bilancia con cui pesa l'acqua. L'orologio ad acqua di Galileo è stato reso ridicolo da Alexandre Koiré, con una celebre dichiarazione, mai più messa in discussione dall'autore:

<sup>26</sup> Le bilance degli orafi avevano una precisione maggiore: infatti Firenze aveva battuto nel 1321 una moneta d'oro purissimo, chiamata *fiorino di suggello*, che pesava 72 grani come il precedente fiorino d'oro battuto nel 1252 «ma di peso più scelto perché col solo comporto di meno di un quarto di grano ed aveva la denominazione di *Suggello* perché, saggiato e pesato dai Ministri della Zecca, veniva chiuso in una borsa, che con pubblico sugello si sigillava». L.CANTINI, *Legislazione Toscana*, Firenze 1800, pag.91. La legge sopra le monete del dì 5 Marzo 1534 ab Inc. prescriveva di battere una nuova moneta d'argento, chiamata Barile ma poi detta Paolo, dal peso di grani 68 e un ottavo, mentre la precedente moneta, il grosso, pesava grani 110 e sette ottavi. Questo ci fa capire che un ottavo di grano, circa 6 milligrammi, era correntemente pesato dagli orafi, che dovevano controllare il peso delle monete.

<sup>27</sup> G.G., vol. XVIII, p.77, del 1 agosto 1639 Lettera a Giovan Battista Baliani, il quale voleva conoscere «l'artificio col quale io mi sia potuto assicurare che il grave discendente a perpendicolo, partitosi dalla quiete, passi cento braccia di altezza in cinque minuti secondi». Al Baliani risponde di non misurare il tempo di caduta verticale, bensì quello della «scesa di quella palla che io fo scendere per quel canale ad nostro arbitrio inclinato. Il nuovo e più preciso metodo consiste dunque « con havere veduto et osservato qual sia il flusso dell'acqua per un sottile cannello, perché raccogliendola, et havendo pesata quanta ne passa, vgr [verbigrazia], in un minuto, potremo poi, col pesare la passata nel tempo della scesa per il canale, trovare l'esattissima misura e quantità di esso tempo, servendoci massime di una bilancia così esatta che tira ad un sessantesimo di grano». GIOVANNI TARGIONI TOZZETTI, in *Notizie degli Aggrandimenti delle Scienze Fisiche accaduti in Toscana nel corso di anni LX del secolo XVII*, T. II, pp. 462 e 463, Firenze 1780 (ristampa Forni, Bologna), nel trascrivere il diario delle esperienze degli Accademici del Cimento, riporta che in quella del 5 settembre 1662 si servivano di una «bilancia che tirava a 1/48 di grano»; in altra del precedente 8 agosto, che «furono questi Pesì presi sempre con tanta esattezza, che il Peso di un solo quarantottesimo di grano dava il tratto alle Bilance, all'una, o all'altra che si aggiungesse».

<sup>28</sup> Una bilancia è esatta, se non modifica la sua posizione di equilibrio quando si mettono masse uguali sopra i suoi piatti. I costruttori chiamano *sensibilità* di una bilancia il valore del più piccolo soprappeso, aggiunto ad uno dei piatti, che provoca lo spostamento dell'ago di una quantità percettibile. Per i fisici la sensibilità  $\sigma$  è il rapporto, approssimativamente lineare, tra l'angolo di deflessione  $\alpha$  dell'ago e il soprappeso  $m$ , che lo ha prodotto:  $\sigma = \alpha/m$ . Un limite alla sensibilità è dato dalla *fedeltà* della bilancia, che è la sua capacità di riassumere la stessa posizione se si ripete la pesata.

<sup>29</sup> G.G., vol. VIII, p. 213.

Una palla di bronzo che rotola in un canaletto di legno "ben pulito e liscio"! Una secchia piena d'acqua con un piccolo foro attraverso cui l'acqua scorre fuori e viene raccolta in un piccolo bicchiere allo scopo di essere poi pesata e fornire così una misura dei tempi di discesa (l'orologio ad acqua dei Romani, descritto da Vitruvio e inventato da Ctesibio, era già uno strumento molto migliore): quante fonti di errori e inesattezze! È ovvio che gli esperimenti galileiani sono completamente privi di valore: la stessa perfezione dei loro risultati e una prova rigorosa della loro inesattezza<sup>30</sup>.

Abbiamo fatto una ricostruzione dell'orologio ad acqua, basandoci sulle descrizioni che ne ha lasciato Galileo, e abbiamo realizzato un'apparecchiatura elettronica che permette immediatamente il confronto con un cronometro digitale, che registra il centesimo del secondo. Chiunque può constatare, per confronto diretto, che la precisione delle misure dei due strumenti è comparabile, e si aggira intorno a un decimo di secondo<sup>31</sup>.

Questo cronografo ad acqua è necessario per misurare il tempo quando gli spazi sono predeterminati. Occorre uno strumento analogico, continuo, quando la variabile da misurare è il tempo in funzione di spazi prefissati. Il pendolo invece è un "orologio digitale" che serve per esperienze in cui la variabile è lo spazio percorso nelle successive unità di tempo. Per arrivare alla legge del moto, è assai più facile misurare il tempo che non lo spazio percorso, in quanto l'osservazione della posizione del corpo diventa più difficile con il crescere della sua velocità. Per questo motivo Galileo dichiara la misura effettuata con l'acqua e la bilancia superiore alle misure con il pendolo.



Orologio ad acqua e pendolo (ricostruzione)

<sup>30</sup> A. KOYRÉ, *Un esperimento di misurazione, Galileo negli scritti di...*, a cura di A. Carugo, Milano, 1978, pp. 53-54. È la traduzione di un suo articolo pubblicato nei *Proceeding of the American Philosophical Society*, 97 (1953), pp. 222-237. Un lavoro molto simile era stato presentato da Koyré al XXII Congrès International de Philosophie des Sciences (Paris 1949), e pubblicato nel 1952 con il titolo: *Un experimentum au XVII siècle: la détermination de G.*

<sup>31</sup> In un articolo fondamentale Thomas Settle verificò la precisione dell'orologio ad acqua, usando un vaso da fiori, il dito per aprire e chiudere il foro del fondo in cui aveva inserito un tubicino del diametro di circa 0.18 inch (4.5 mm) e un provetta di vetro graduata a dare il volume, trovando una precisione del decimo di secondo: *An experiment in measurement*, *Science*, cxxxiii (1961), pp. 19-23. La stessa precisione è stata verificata con una apparecchiatura più vicina alla nostra, ma sempre misurando il volume fuoriuscito con un beaker, senza pesare l'acqua, da R.H. Naylor. Purtroppo, molti ancora oggi seguono le idee di Koyré. Altri preferiscono non prendere partito. ENRICO GIUSTI ha scritto recentemente nell'introduzione per una edizione dei *Discorsi ... intorno a due nuove scienze* (Torino, 1990): «...un problema tra i più dibattuti dell'esegesi galileiana: l'origine (sperimentale o speculativa) delle leggi del moto. Si tratta di un problema che non ha trovato ancora, credo, una risposta definitiva, anche se ha registrato prese di posizione estreme [...] Di fronte a giudizi così discordanti di tante autorità, ci asterremo dall'esprimere opinioni che per portare qualche contributo devono essere sorrette da ricerche approfondite e specialistiche».



## 1.5 GALILEO SCOPRE IL PENDOLO, CON CUI MISURA ESATTAMENTE PICCOLE FRAZIONI DI TEMPO

La scoperta delle proprietà del pendolo richiede tutta l'attenzione del lettore. Le parole di Viviani, che alquanto modestamente annunciano l'intuizione geniale di Galileo, non sembrano adeguate. Egli non si rende conto che, dopo la bilancia, conosciuta da migliaia di anni, la scoperta dell'isocronismo nelle oscillazioni del pendolo, con le sue immediate applicazioni, è la più grande scoperta della scienza nel campo degli strumenti di misura. Potendo misurare esattamente il tempo, Galileo riuscì a trovare la legge del moto naturale e a condurre esperienze fondamentali per la nascita e lo sviluppo della meccanica, "la madre di tutte le scienze". Alcuni hanno contestato la veridicità di questo racconto, su cui il Viviani tornò in un'altra occasione, a richiesta del Principe Leopoldo<sup>32</sup>, con una lunga lettera intorno all'applicazione del pendolo all'orologio, che ha la data del 20 agosto 1659.

Trovavasi il Galileo, in età di venti anni in circa, intorno all'anno 1583 nella città di Pisa, dove per consiglio del padre s'era applicato agli studi della filosofia e della medicina; et essendo un giorno nel Duomo di quella città, come curioso

ed accortissimo che egli era, caddegli in mente d'osservare dal moto d'una lampana, che era stata allontanata dal perpendicolo, se per avventura i tempi delle andate e tornate di quella, tanto per gli archi grandi che per i mediocri e per i minimi, fossero uguali, parendogli che il tempo per la maggiore lunghezza dell'arco grande potesse forse restar contraccambiato dalla maggior velocità con che per esso vedeva muoversi la lampana, come per linea nelle parti superiori più declive. Sovvennegli dunque, mentre questa andava quietamente movendosi, di far di quelle andate e tornate un esame, come suol dirsi, alla grossa per mezzo delle battute del proprio polso e con l'aiuto ancora del tempo della musica, nella quale egli già con gran profitto erasi esercitato; e per allora da questi tali riscontri parsegli non aver falsamente creduto dell'egualità di quei tempi.

Continua poi Viviani, descrivendo esperimenti fatti in casa da Galileo, per mettere alla prova quanto gli era venuto in mente, esperimenti che più probabilmente avverranno in anni successivi, perché il suo racconto è molto vicino a quanto si legge nella lettera che Galileo inviò a Guidobaldo del Monte il 29 novembre 1602. Ci sembra però assai verosimile quanto aggiunge Viviani:

<sup>32</sup> G.G., XIX, pp. 648-650. Leopoldo de' Medici aveva scritto a ISMAEL BOULLIAU parole severe, dirette contro Christiaan Huygens, che gli aveva inviato una copia del suo *Horologium*, pubblicato ad Le Hague nel 1658: «Circa lo Oriuolo regolato del Pendolo, certo è che l'Invenzione è bella, ma non si deve defraudare della gloria dovutali il nostro Signore per sempre ammirabile Galileo, che già nel mille seicentitrentasei, si io non erro, propose questa sì utile invenzione alli Signori Stati d'Olanda et io ne ho ritrovato, benché in parte diverso circa la costituzione delle ruote, un modello fatto già dal medesimo Signore Galileo... Di firenze 31 marzo 1659». Il principe Leopoldo inviò il 21 agosto successivo pure il disegno dell'orologio: «Sarà dunque annesso a questa il disegno del principio dell'oriuolo regolato dal pendolo che inventò il nostro per sempre ammirabile Signor Galileo. Lo invio delineato con quella rozzezza, con la quale è fabbricato il modello del medesimo, che nella mia camera ora mi trovo. Potrà pertanto Vostra Signoria mandarlo al Virtuosissimo Signore Cristiano Hugenio che desiderava di vederlo; e forse di quest'altra settimana invierò a lei la istoria [quella scritta da Viviani]». CEUVRES COMPLÈTES DE CHRISTIAAN HUYGENS, T. III, Correspondence, La Haye 1890, pp. 462, 468.

Assicuratosi dunque il Galileo di così mirabile effetto, sovvenegli per allora di applicarlo ad uso della medicina per la misura delle accelerazioni de' polsi, come pur tuttavia comunemente si pratica. [...] Ma perché il Galileo nel comunicare le sue speculazioni, come abbondantissimo che egli ne era, ne fu insieme liberalissimo, quindi è che questi usi e le nuovamente da esso avvertite proprietà del suo pendolo a poco a poco divulgandosi, trovaron talvolta o chi con troppa confidenza se le adottò per propri parti, o chi nelle pubblicazioni di qualche scritto, artificiosamente tacendo il nome del lor vero padre, se ne valse in tal guisa, che almeno da quei che ne ignoran l'origine potrebbero facilmente credersi invenzioni di essi.

In un autografo del Viviani conservato nel Tomo 117, car. 60r, dei Manoscritti Galileiani si legge una conclusione simile<sup>33</sup>:

... pensò subito di applicarla ad uso giovevole della medicina (nella quale, per secondar il gusto del proprio padre, faceva allora i suoi studi); onde ei propose a' medici di quel tempo il valersi d'un piccol pendolo per esaminare con un tal giudice inalterabile e spassionato senza dover, come solevano, confidar nella propria e fallace reminiscenza, la varietà delle frequenze de' polsi de' febbricitanti, e chiarirsi de' tempi dell'accesso, dell'agumento, dello stato e della declinazione delle febbri. Di tal semplicissimo strumento (benché da i più, che *turpe putabant, quod imberbes didicere, senes perdendo fateri*, fosse poco apprezzato) non mancarono però de' i più docili che ne fecer conto; e di qui è che spargendosene l'uso per l'Italia et oltre a' monti, vi fu chi se ne appropriò l'invenzione senza né pur far parola del suo primo e vero autore, se non con pregiudizio di quell'onore che si giustamente gli era dovuto.



Antica lampada ad olio di fabbricazione pisana

<sup>33</sup> *Atti e Memorie della Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti*, Vol. XXIV, (1907-1908), pp. 14-16.

## 1.6 SANTORIO SANTORIO E GLI STRUMENTI INVENTATI DUE VOLTE

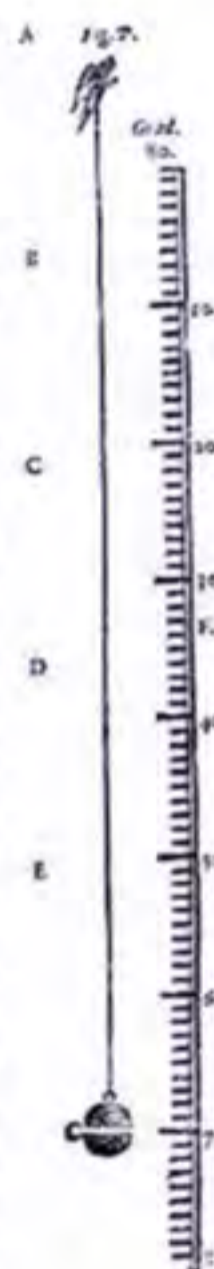
La persona presa di mira dal Viviani è il medico istriano Santorio Santorio, il quale in varie sue opere descrisse uno strumento, al quale diede il nome di *pulsilogium*, che serviva proprio allo scopo di misurare con molta accuratezza le variazioni delle pulsazioni<sup>34</sup>.

Di nobile famiglia di Capodistria, Santorio era nato il 26 marzo 1561. Dopo aver frequentato l'università di Padova dal 1575 al 1582, laureatosi in medicina, nel 1587 si trasferì in Croazia, dove divenne medico personale del conte Zrinski, rimanendovi fino al 1599, quando si portò a Venezia per esercitare la professione di medico. Entrò nell'amicizia di Andrea Morosini, e nella sua casa conobbe Giovanbattista della Porta, Francesco Sagredo e il suo amico Galileo, Girolamo Fabrici d'Acquapendente, Agostino de Mula e fra' Paolo Sarpi, che curò insieme all'Acquapendente quando il Sarpi fu aggredito in un tentativo di assassinio. Morì nel 1636.

Nei suoi libri, oltre al *pulsilogium*, descrisse un *termoscopio* e un *igrometro*, ma la fama acquistata è dovuta alle sue ricerche sul metabolismo, illustrate nell'opera *De Statica Medicina Aphorismorum*: avendo costruito una piattaforma sospesa ad un'enorme bilancia, aveva osservato con questa le variazioni quotidiane del proprio peso, per studiare i fenomeni vitali e l'equilibrio tra la materia consumata e quella rigettata. Diventò

professore di Medicina Teorica a Padova nel 1611, con 800 fiorini di salario, che poi furono portati a 1500. Rimase nell'insegnamento universitario fino al 1624. Santorio ha lasciato una descrizione minuziosa del *pulsilogium* e del suo uso<sup>35</sup>:

[traduzione del testo latino] Abbiamo inventato quattro strumenti. Il primo è il nostro *pulsilogio*, con il quale con certezza matematica; & non per congettura possiamo misurare l'infimo grado del recedere e del battere secondo l'accrescersi e il diradarsi: del quale abbiamo detto qualcosa nel libro 5 del nostro *Meth[odus Vitandorum errorum]*. Dal detto *pulsilogio* ci scegliamo quello di facile realizzazione, che è illustrato dalla prima figura (come più avanti) che comprende una cordicella di lino o di seta, alla quale, come si può vedere, è appesa una sfera di piombo che, quando è colpita, se la funicella è più lunga, il movimento della sfera è più lento e meno frequente, se più corta,



<sup>34</sup> A sua volta SANTORIO nei *Commentaria in primam fen primi libri canonis Avicennae* è costretto a rivendicare la paternità dei suoi strumenti, perché sente che i suoi discepoli: «dispersi in varie parti della terra, ai quali ho insegnato con somma carità e gratuita benevolenza, si attribuiscono l'invenzione di molti di questi [strumenti], e la loro scortesia certamente non è da passare sotto silenzio».

<sup>35</sup> SANTORII SANTORIO IUSTINOPOLITANI OLIM IN PATAVINO GYMNASIO *Medicinam Theoricam ordinariam Primo loco profitentis* COMMENTARIA IN PRIMA FEN PRIMI LIBRI *Canonis Avicennae* ... Venetii, MDCXLVI. La prima edizione è del 1626.

[è] più veloce & più frequente. Perciò, quando vogliamo misurare la rapidità o la lentezza dei battiti, muoviamo la pallina con le dita, allungando o accorciando la cordicella, fino al punto in cui il movimento della sfera coincide esattamente con l'accrescersi o il diradarsi del battito dell'arteria; e trovato subito osserviamo di fronte 70 gradi, indicato da una riga bianca sulla stessa sfera, dove è C. Tenuto a mente questo grado, di nuovo nello stesso giorno o nel seguente possiamo indagare con lo stesso strumento se i battiti dell'arteria siano diventati un pochino più rapidi o più lenti; dico un pochino perché con l'uso di questo strumento non cerchiamo quelle marcate differenze di rapidità o rallentamento delle pulsazioni che possono essere memorizzate dal medico, ma piuttosto quelle minime, le cui differenze non sono percepibili da un giorno all'altro. Per lo stesso uso vi è un altro strumento simile, il cui disegno vedrai a pagina 78 [in questa edizione la figura è alle colonne 109-110], figura E. Per altro si noti che la sfera di piombo spinta da una forza maggiore o minore non cambia la lentezza o la rapidità: perché spingendo più forte, quanto è acquistato in spazio, tanto è restituito in impeto [*quantum amittitur de spacio, tantum remittitur de violentia.*]

Santorio quindi afferma, come Galileo, che la frequenza non dipende dall'ampiezza, ma dalle figure e dalle sue spiegazioni si ricava che per lui il periodo dipende linearmente dalla lunghezza del filo. È significativo, infatti, che nelle rappresentazioni grafiche del *pulsilogium* le scale siano tutte lineari: quindi non permettono una lettura diretta della frequenza del polso. Per costruire scale di questo tipo Santorio avrebbe dovuto sapere che il periodo del pendolo è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del filo.

Inoltre, Santorio non mostra di conoscere un metodo per collegare la lunghezza del filo al tempo. Galileo, per determinare il tempo di un'oscillazione, utilizzò un pendolo, contandone le vibrazioni da una notte all'altra, tra il passaggio di una stella attraverso un traguardo e il suo ritorno dopo 24 ore. Questo

pendolo standard gli serviva poi per tarare i pendoli di lunghezza differente<sup>36</sup>.  
 Raffaello Caverni nella sua monumentale *Storia del metodo sperimentale in Italia* (Firenze 1891-1898, vol. I, pp. 299-304) attribuisce a Santorio addirittura la costruzione di un orologio a pendolo, citando un altro strumento, chiamato *Cotyla*, che il medico istriano descrive nel suo *Commentario in prima fen ...* del 1626:

Non sembra a noi poter esservi alcun dubbio che questa così detta *Cotyla*, descrittaci o mostrataci sotto velo da Santorio, non sia un vero e proprio orologio a pendolo. La chiama *Cotyla* perché

come udimmo dire a lui stesso, la mostra era alquanto incavata da presentare l'immagine di una scodella, [Caverni fa riferimento, non al significato latino, ma al termine greco *κοτυλή* = *conca*, *cavità*, *tazzetta*], ma dietro alla scodella doveva esservi qualche congegno, il quale comunicasse all'indice i moti vibratorii del pendolo. In che propriamente consistesse un tal congegno, e come fosse connesso con gli stessi moti vibratorii, non possiamo noi dirlo con certezza, ma è facile indovinare che consistesse tutto in ruote dentate, a somiglianza di quell'altro orologio a pendolo, che per uso di trovar longitudini fu proposto da Galileo.

E poco più avanti conclude:

...dimostreremo la inverosimiglianza che la prima occasione di scoprire l'isocronismo del pendolo si potesse a Galileo stesso nell'attendere a misurar la durata delle oscillazioni o più ampie o più ristrette della lampada nel Duomo di Pisa. Ma non si può negare, in ogni modo, che verso quel tempo indicato dal Viviani, o poco dopo, il gran Maestro della nuova Scienza del moto non fosse veramente il primo a notare quella insigne proprietà dei corpi oscillanti. Comunque sia, abbiamo documento certissimo che nel 1602 Galileo si faticava intorno alla dimostrazione di quella proprietà naturale de' corpi gravi sospesi, già prima sperimentalmente scoperta, e il documento è una lettera diretta a Guidubaldo del Monte, da Padova, dove da poco insegnava, collega [sic!] e amico di Santorio Santorio. È probabilissimo perciò che il giovane Matematico conferisse questa sua nuova speculazione col Medico già provetto, e la probabilità vien maggiormente confermata dal vedere che i principi meccanici dell'uno erano quegli stessi professati dall'altro. Imperocché il Santorio ammette l'isocronismo assoluto, come Galileo, per ogni ampiezza di arco, e ritien che i tempi delle vibrazioni fatte da due pendoli di differente lunghezza fossero ad esse lunghezze in semplice ragione reciproca proporzionali, [*cosa che Galileo non ha mai supposto*]. Benché insomma il primo a pubblicar questa proprietà



Pulsilogium  
(ricostruzione)

<sup>36</sup> G.G., vol. VIII, p. 455: *Le operazioni astronomiche*.

del pendolo fosse il Santorio, è certo nulladimeno che anni prima [di quando?] aveva privatamente fatta nota quella scoperta Galileo, come principale fondamento al grande edificio meccanico, a cui egli già cominciava a por mano.

Chiunque può rendersi conto che un pendolo costituito da un filo non può essere collegato ad un orologio per dargli la costanza del tempo, poiché le sue oscillazioni ben presto tracciano una superficie conica. Inoltre, gli orologi d'allora, del tipo suggerito dal disegno di Santorio, avevano internamente una molla collegata ad un filo avvolto su un cono, per compensare il progressivo diminuire della forza elastica. Non si vede come il loro meccanismo poteva adattarsi alle oscillazioni di un pendolo. Galileo aveva chiarissima questa difficoltà, ed è dettagliato nel suggerire nel 1637 a Lorenzo Realio (e per suo tramite agli Stati Generali di Olanda) come evitarlo:

Da questo verissimo e stabile principio traggio io la struttura del mio numeratore del tempo, servendomi non d'un peso pendente da un filo, ma di un pendolo di materia solida e grave, qual sarebbe ottone o rame; il qual pendolo fo in forma di settore di cerchio di dodici o quindici gradi, il cui semidiametro sia due o tre palmi; e quanto maggiore sarà, con minor tedio se gli potrà assistere. Questo tal settore fo più grosso nel semidiametro di mezzo, andandolo assottigliando verso i lati estremi, dove fo che termini in una linea assai tagliente, per evitare quanto si possa l'impedimento dell'aria, che sola lo va ritardando. Questo è perforato nel centro, pel quale passa un ferretto in forma di quelli sopra i quali si voltano le stadere; il qual ferretto, terminando nella parte di sotto in un angolo, e posando sopra due sostegni di bronzo, acciò meno si consumino pel lungo muovergli il settore, rimosso esso settore per molti gradi dallo stato perpendicolare (quando sia bene bilicato), prima che si fermi anderà reciprocando di qua e di là numero grandissimo di vibrazioni...

Ma il significar questo alle SS. loro, che hanno uomini esquisitissimi ed ingegnosi in fabbricare orologi ed altre macchine ammirande, è cosa superflua, perchè essi medesimi sopra questo fondamento nuovo, di sapere che il pendolo, muovasi per grandi o per brevi spazi, fa le sue reciprocazioni egualissime, troveranno conseguenze più sottili di quelle che io possa immaginarmi. E siccome la fallacia degli orologi consiste principalmente nel non s'essere sin qui potuto fabbricare quello che noi chiamiamo il tempo dell'orologio, tanto aggiustatamente che faccia le sue vibrazioni eguali; così in questo mio pendolo semplicissimo, e non soggetto ad alterazione alcuna, si contiene il modo di mantenere sempre egualissime le misure del tempo.

In più, un quadrante con una sola lancetta che segna le ore non ha senso per un orologio, a cui è collegato un pendolo che oscilla con la frequenza dei battiti del polso. Per ultimo, l'utilizzo della *Coryla* era, per Santorio, quello di misurare il ritmo della respirazione, confrontando la durata dell'espiazione con quella dell'inspirazione che, secondo Avicenna, erano collegate con la frequenza delle diastole e delle sistole del polso, assai più difficili da confrontare.

Il Favaro ha attribuito al Caverni l'insano proposito di denigrare ad ogni costo Galileo e questo sembra palese per quanto ha lasciato scritto sul primo uso del pendolo per gli orologi:



... il pendolo non s'incominciò ad usar per misuratore del tempo in Astronomia, se non che verso il 1638, come da noi verrà dimostrato a suo luogo. Prima di quel tempo il pendolo, per Galileo, non era altro che uno strumento meccanico, per cui crediamo di poter giustamente asserire che il primo, il quale si servisse del pendolo come di strumento cronologico fu il Santorio. Né la critica sa suggerirci nessun buon motivo di credere che la prima idea del Pulsilogio l'avesse il celebre Medico attinta dai colloqui con Galileo, ripensando che questi non attendeva in Padova all'arte medica, mentre l'altro la professava ivi con gran celebrità, e per l'invenzione di altri strumenti era venuto in gran fama. D'altra parte sappiamo per cosa certa che Galileo non si servì del pendolo per misuratore del tempo, nemmeno nelle sue sperimentali meccaniche operazioni [se ne servì, invece, fin da prima del 1604, quando comunicò a Paolo Sarpi la legge di caduta dei gravi], preferendo l'antica clessidra, col pesar l'acqua in un dato tempo stillata. Se non ne fece dunque l'applicazione in materia propria e in soggetto così geloso, qual'era quello di misurare i tempi di caduta de' gravi rispetto agli spazi successivamente passati; com'è credibile che facesse uso del pendolo, o pensasse a suggerirlo a un'arte aliena dalla sua professione? E come può con giustizia asserire che il Santorio tanto solo avesse d'ingegno, quanto gliene bisognava a furar destramente una scoperta a Galileo?

Si può comprendere l'imbarazzo di Viviani e le sue accuse indirette di appropriazione indebita: Galileo non aveva mai protestato con il Santorio, che conosceva e di cui talvolta era stato paziente. D'altra parte Santorio aveva ribaltato l'uso del pendolo: non una lunghezza fissa per dare sempre la stessa frazione di tempo, ma uno strumento variabile da sincronizzare con le pulsazioni di un'arteria. In questo senso, giustamente, Santorium scrive nell'indice del *Methodus vitandorum errorum*: "Pulsilogium, instrumentum ab autore nuper inventum", [cioè: Pulsilogium, strumento dall'autore recentemente inventato]. Con lo strumento si potevano misurare il moto e la quiete delle arterie, comparare le pulsazione misurate con quelle nei giorni precedenti, ed inoltre osservare e misurare eventuali aritmie.

Galileo cosa avrebbe potuto dire sulla questione della priorità? Portare come prova che aveva scritto una lettera nel 1602 a Guidobaldo del Monte illustrando le proprietà del pendolo? Che aveva tentato di dimostrare l'isocronismo, utilizzando il teorema delle corde, immediata applicazione della legge del piano inclinato, scoperta dieci anni prima a Pisa? Rivelare il risultato delle sue ricerche, di cui era tanto geloso, da aspettare più di trent'anni a pubblicarle? Non aveva alcuna convenienza

ad aprire un caso con Santorio.

Sembra tuttavia che vi sia stata invece una possibile contestazione sull'invenzione del termoscopio. Vi è uno scambio di lettere tra Galileo e Sagredo, che il 30 giugno 1612 gli aveva annunciato:

Il S.<sup>o</sup> Mula fu al Santo<sup>37</sup>, et mi riferì haver veduto uno stromento dal S.<sup>r</sup> Santorio, col quale se misurava il freddo et il caldo col compasso, et finalmente mi comunicò questo essere una gran bozza di vetro con un colo lungo, onde subito me sono dato a fabricarne de molto esquisite et belli. Gl'ordinarî li faccio con spesa di £ 4 l'uno, cioè una inghistara, un'ampoletta et un sione de vetro; et la mia fattura è tanta, che in un'hora ne accomodo fin dieci. Il più bello che ho fatto è stato lavorato alla lume, et è della grandezza et disegno qui ocluso in tutte le sue parti. Aspetto intendere ch'ella habbia fatto *mirabilia magna*.

Il 9 maggio del 1613 vi è il primo riconoscimento di Galileo come inventore del termoscopio

L'istromento per misurar il caldo, inventato da V. S. Ecc.<sup>ma</sup>, è stato da me ridotto in diverse forme assai commode et esquisite, in tanto che la differenza della temperie di una stanza all'altra si vede fin 100 gradi. Ho con questi speculate diverse cose meravigliose, come, per essemplio, che l'inverno sia più fredda l'aria che il ghiaccio et la neve, che hora appari più fredda l'acqua che l'aria, che pochissima acqua sia più fredda che molta, et simili sottigliezze, alle quali i nostri Peripatetici non fanno dar nessuna rissoluzione, essendone alcuni (tra' quali il nostro Gageo) tanto fuori di strada, che ancora non capiscono la causa della prima operatione, stimando essi che si dovesse vedere effetto contrario, perchè havendo il caldo (come dicono) virtù attrattiva, bisognerebbe che, riscaldandosi il vaso, tirasse a sè l'acqua. Et così fatti huomeni pretendono le prime letture di Padova!

Sagredo doveva aver detto qualcosa a Santorio perché questi scrive a Galileo il 9 febbraio 1615

Molto Ill.<sup>mo</sup> et Ecc.<sup>mo</sup> S.<sup>o</sup> mio,

Dia la colpa V. S. molto Ill.<sup>mo</sup> et Ecc.<sup>ma</sup> al libraro di non haver havuta prima che hora la presente mia fatica, che si scordò di mandargliela con un'altra mia sopracoperta.

L'opera<sup>38</sup> è ridotta in afforismi, i quali nascono da due principii certissimi. Il primo è la diffinition della medicina, proposta da Hippocrate nel libro *De flatibus*, dove dice: *Medicina est additio et ablatio: additio eorum quae deficiunt, et ablatio eorum quae excedunt*: diffinition degna di un tanto vecchio; et da questa nasce il primo afforismo, che è prova di molti altri. Il secondo principio di quest'arte è l'esperienza, la quale è prova del resto.

Che quest'arte, da me inventata, veramente sîi importantissima, è cosa chiara, perchè può distintamente mesurar l'insensibile transpiratione, che, alterata o impedita, secondo l'opinion d'Hippocrate et Galeno, è origine quasi de tutti i mali; perchè lei sola, come dice il

nostro quarto afforismo della prima settione, è maggiore de tutti gli escrementi sensibili insieme del nostro corpo, ascendendo a quella quantità di evacuatione che è notata nel sesto afforismo, et più et meno secondo le conditioni ricordate nel settimo seguente afforismo. Che quest'arte sîi accennata da Galeno, è cosa chiara in molti luoghi, et spetialmente nel sesto *De tuenda sanitate*, cap.o 6<sup>o</sup>, dove si leggono queste parole: *Ubi quod ex corpore exhalat minus est iis quae accepit, redundantiae oriri morbi solent; ergo prospiciendum est, ut eorum quae eduntur ac bibuntur, respectu eorum quae expelluntur, conveniens medicritas servetur. Sane is modus servabitur, si ponderabitur a nobis in utrisque quantitas*. Ma se ben Galeno non l'havesse conosciuta, poco importa, pur che sîi vera.

Per conservar o ridur un corpo convalescente al buon stato, non è possibile saperlo senza queste observationi.

Li medici de' nostri tempi, che conchiudono di non far cosa alcuna al convalescente, procedono prudentissimamente, perchè è cosa da savio il non far quello che non si sa, perchè saria un inganar il patiente, il che è provato nel 2<sup>o</sup> afforismo della prima settione, et replicato nel 74<sup>o</sup> della terza, che serve al proposito ch'io voglio inferire; perchè se il medico non sa di giorno in giorno quanto il patiente transpira, et quando più et quando meno, senz'altro si rende vana la sua arte, come si ha provato nelli sopradetti afforismi. Dico *quando più et quando meno*; perchè non è lecito dar medicamento purgante o alterante, o il cibo quotidiano, nell'hora della maggior transpiratione, ma solo doppo essa, il che è ben insegnato nel 56<sup>o</sup> et altri della prima settione. Onde restano inganati quelli che credono a quel medico che dirà: *Mangia questo o quell'altro cibo, o Bevi questo o quell'altro licore, in questa misura, a questa o altr'hora*, non sapendo di giorno in giorno quando et quanto il corpo transpira, et a che hora sia fatta la resolutione del precedente cibo; il che solo da questa statica si può sapere: dico solo, perchè è impossibile a pieno certificarsi per via de' polsi et per gli escrementi sensibili.

Ma io non tedierò più V. S. Ecc.<sup>ma</sup>, perchè lei col suo mirabile ingegno, et con l'esperienza che farà in detta mia fatica, scoprirà gl'arcani suoi, da me anco comunicati a tutti questi miei Signori suoi amici, come Mula, Sagredo, Barozzi, Maestro Paulo et altri, osservati per spatio di 25 anni in più di diecimilla soggetti, tra' quali è anco V. S. molto Ill.<sup>mo</sup> et Ecc.<sup>ma</sup> Et le baccio le mani.

Sagredo ritorna a scrivere a Galileo il 15 marzo 1615

All'istromento per misurar li temperamenti io sono andato giornalmente aggiungendo et mutando, in modo che quando havessi a bocca et di presenza a trattare con lei, potrei, principiando ab ovo, facilmente raccontarle tutta l'istoria delle mie inventioni, o, per meglio dire, miglioramenti. Ma perchè, come ella mi scrisse et io certamente credo, V. S. Ecc.<sup>ma</sup> è stata il primo autore et inventore, perciò credo che gli istromenti fatti da lei et dal suo esquisiteissimo artefice avanzino di gran lunga i miei; onde la prego con prima occasione scrivermi qual sorte di opere fin hora ella habbia fatto fare, che io le scriverò quel di più o di meno che fin hora s'è operato di qua; et toccando in ogni nostra lettera alcuna cosa in questo proposito, io le scriverò alcune mie imperfette specula-

<sup>37</sup> Cioè, alla fiera che si tiene in Padova nella ricorrenza della festa di S. Antonio (13 giugno).

<sup>38</sup> *Arx SANCTORII SANCTORII ecc. de statica medicina et de responsione ad staticomastium aphorismorum, sectionibus septem comprehensa*. Venetiis, MDCXIV.

tioni, le quali da perfetissimo suo giuditio et intelligenza saranno senza studio, et ancora con gusto, perfectionate. Quello che si fa inventore di questi stromenti, è poco atto, per non dir in tutto innetto, per instruirmi conforme al bisogno et desiderio mio, sì come io vanamente mi sono affaticato a dargli ad intendere la cagione de gl'effetti che si vedono in alcuni de' miei istrumenti (dirò così) compositi et moltiplicati.

In una lunga lettera, scritta poco dopo, l'11 aprile, Sagredo mostra tutto il suo entusiasmo di perfetto discepolo nella costruzione dei termometri di cui si riproduce solo uno squarcio, che fa rimpiangere amaramente che siano andate perdute tutte le lettere scritte a lui da Galileo.

Quanto a gl'istrumenti di vetro per misurare i temperamenti, i primi che io feci furono della maniera che V. S. Ecc.<sup>ma</sup> ha fatto fare i suoi, ma doppo ho moltiplicata l'inventione in varii modi, che tutti non posso scrivere nelle presenti, non essendo io tanto otioso quanto sono stato quindici giorni fa, essendo rimasto di Pregadi et havendo havuto carico alli cinque Savii della Mercantia. Ma il partire questo negotio in più lettere, non portando alcuna fretta, darà occasione di visitarci più spesso, non intendendo io che l'occupationi mie interrompano i soliti et scambievoli nostri uffitii, che sono di sollevamento al nostro animo et non di gravezza, ancorchè, consumandoci il tempo, ci proibissero alcun'altra operatione.

Ho intesa l'opinione sua circa la cagione dell'operare di essi istrumenti, la quale m'è riuscita carissima et molto ingegnosa, et ardirei quasi di dire anco vera, se non fosse che questa non è per sè stessa palese al senso, nè credo che per le cose palesi al medesimo senso si possi perfetamente provare; ma appaga assai più la ragione che i discorsi de' Peripatetici: poi che, se col calore esterno l'aere, che si trova nella palla di vetro riscaldata, si dillatta evidentemente in modo che spinge fuori l'acqua, è ben credibile che il calore penetri dentro il vetro, et che ivi penetrato in maggior o minor quantità, richieda più o manco luoco; il quale non potendo in un istesso tempo capire l'aere et lo spirito tenue et igneo, è costretta l'aere a dar luoco: sì come, raffreddandosi l'ambiente esterno, è credibile che lo spirito igneo, che soprabonda nella palla, esca fino che si equilibri con l'ambiente; onde, evacuandosi il luoco che lo capiva, convien succedere l'aere, et dopo di esso l'acqua o vino. Ma però è ben cosa chiara che s'habbia ancora a concedere il vacuo: il che io ho fatto vedere con la sottoscritta esperienza.

Alle fornaci di Murano ho fatto fare un vaso di vetro con un palmo di collo; et essendo ben caldo, l'ho fatto rinchiuder, sì che tutto l'aere che v'era dentro rinchiuso, pieno di calore, non potesse più uscire; et doppo, raffreddato e per consequenza uscito lo spirito igneo e restatavi dentro l'aere di ugual temperamento all'ambiente, persuasi chi erano presenti che dentro vi fosse pochissima aria, sì come al senso era manifesto che non vi fosse lo spirito igneo. Le prove furono due. La prima, che havendovi fatto rinchiuder dentro un sonaglio da sparaviero, questo, mosso, non faceva suono alcuno, se non in quanto percolteva nel vetro et, per consequenza, faceva un suono esterno; il che fu assai facilmente creduto che non avvenisse per altro che per lo mancamento

dell'aere nel vaso sudetto, et tanto più che, essendosi rotto detto vaso, si trovò il sonaglio sonoro, secondo l'ordinario. La seconda, perchè havendo io posto esso vaso col collo in una mastella di acqua, con un ferro gentilmente appersi la bocca, per la quale salendo entrò tant'acqua, che pareva che volesse riempire in tutto il detto vaso, se ben l'impazienza, che fu cagione che si rompesse affatto, non permesse che si vedesse totalmente riempito.

Sagredo aveva contattato Santorio e ne era rimasto deluso: «Quello che si fa inventore di questi stromenti, è poco atto, per non dir in tutto innetto, per instruirmi conforme al bisogno et desiderio mio». Probabilmente gli avrà detto che Galileo rivendicava l'invenzione. Santorio prepara il suo grande trattato di commento ad Avicenna, e illustra il pulsilogium, il termometro e un ingegnoso igrometro, senza un accenno a Galileo. Anzi dedica cinque pagine che sembrano fuori luogo in un trattato di medicina, pagine dense di citazioni, allo scopo di confrontare le teorie di Tolomeo e di Copernico, senza mai citare le scoperte galileiane: i satelliti di Giove, le fasi di Venere, la rotazione del Sole e le macchie solari e lo pubblica nel 1625, quando Sagredo è morto da anni. Così ha esorcizzato Galileo e i suoi amici.

A prova dell'originalità delle ricerche di Galileo e della sua priorità assoluta, valga, tra tanti, questo passo<sup>39</sup> dei *Discorsi intorno a due nuove scienze*, notevole anche per l'accenno che Sagredo, che riporta sempre i pensieri di Galileo giovane, fa delle «lampade pendenti in alcune chiese da lunghissime corde»:

*Salv.* Vedremo se da questi nostri pendoli si possa cavare qualche soddisfazione a tutte queste difficoltà. E quanto al primo dubbio, che è, se veramente e puntualissimamente l'istesso pendolo fa tutte le sue vibrazioni, massime, mediocri e minime, sotto tempi precisamente eguali, io mi rimetto a quello che intesi già dal nostro Accademico; il quale dimostra bene, che 'l mobile che descendesse per le corde sottese a qualsivoglia arco, le passerebbe necessariamente tutte in tempi eguali, tanto la sottesa sotto cent'ottanta gradi (cioè tutto il diametro), quanto le sottese di cento, di sessanta, di dieci, di due, di mezzo e di quattro minuti, intendendo che tutte vadano a terminar nell'infimo punto, toccante il piano orizzontale. Circa poi i descendenti per gli archi delle medesime corde elevati sopra l'orizzonte, e che non siano maggiori d'una quarta, cioè di novanta gradi, mostra parimente l'esperienza, passarsi tutti in tempi eguali, ma però più brevi de' tempi de' passaggi per le corde; effetto che in tanto ha del maraviglioso, in quanto nella prima apprensione par che dovrebbe seguire il contrario; imperò che, sendo comuni i termini del principio e del fine del moto, ed essendo la linea retta la brevissima che tra i medesimi termini si comprende, par ragionevole che il moto fatto per lei s'avesse a spedire nel più breve tempo; il che poi non è, ma il tempo brevissimo, ed in consequenza il moto velocissimo, è quello che si fa per l'arco del quale essa linea retta è corda. Quanto poi alla proporzione de' tempi delle vibrazioni di mobili pendenti da fila di differente lunghezza, sono essi tempi in proporzione suddupla delle lunghezze delle fila, o vogliam dire le lunghezze esser in duplicata proporzione de' tempi, cioè son come i quadrati de' tempi: sì che volendo, v. g., che 'l tempo d'una vibrazione d'un pendolo sia doppio del tempo d'una vibrazione d'un altro, bisogna che la lunghezza

<sup>37</sup> Cioè, alla fiera che si tiene in Padova nella ricorrenza della festa di S. Antonio (13 giugno).

<sup>38</sup> *Ars SANCTORII SANCTORII ecc. de statica medicina et de responsione ad staticomastium aphorismorum, sectionibus septem comprehensa*. Venetiis, MDCXIV.

<sup>39</sup> G.G., vol. VIII, pp. 140-141.

della corda di quello sia quadrupla della lunghezza della corda di questo; ed allora, nel tempo d'una vibrazione di quello, un altro ne farà tre, quando la corda di quello sarà nove volte più lunga dell'altra: dal che ne seguita che le lunghezze delle corde hanno fra di loro la proporzione che hanno i quadrati de' numeri delle vibrazioni che si fanno nel medesimo tempo.

*Sagr.* Adunque, se io ho ben inteso, potrò speditamente sapere la lunghezza d'una corda pendente da qualsivoglia grandissima altezza, quando bene il termine sublime dell'attaccatura mi fusse invisibile e solo si vedesse l'altro estremo basso. Imperò che, se io attaccherò qui da basso un assai grave peso a detta corda e farò che si vada vibrando in qua e in là, e che un amico vadia numerando alcune delle sue vibrazioni e che io nell'istesso tempo vadia parimente contando le vibrazioni che farà un altro mobile appeso a un filo di lunghezza precisamente d'un braccio, da i numeri delle vibrazioni di questi pendoli, fatte nell'istesso tempo, troverò la lunghezza della corda: come, per esempio, ponghiamo che nel tempo che l'amico mio abbia contate venti vibrazioni della corda lunga, io ne abbia contate dugenquaranta del mio filo, che è lungo un braccio; fatti i quadrati delli due numeri venti e dugenquaranta, che sono 400 e 57600, dirò, la lunga corda contener 57600 misure di quelle che il mio filo ne contien 400; e perché il filo è un sol braccio, partirò 57600 per 400, che ne viene 144; e 144 braccia dirò esser lunga quella corda.

*Salt.* Né vi ingannerete d'un palmo, e massime se piglierete moltitudini grandi di vibrazioni.

*Sagr.* V. S. mi dà pur frequentemente occasione d'ammirare la ricchezza ed

insieme la somma liberalità della natura, mentre da cose tanto comuni, e direi anco in certo modo vili, ne andate traendo notizie molto curiose e nuove, e bene spesso remote da ogni immaginazione. Io ho ben mille volte posto cura alle vibrazioni, in particolare, delle lampade pendenti in alcune chiese da lunghissime corde, inavvertentemente state mosse da alcuno [la sottolineatura è mia]; ma il più che io cavassi da tale osservazione, fu l'improbabilità dell'opinione di quelli che vogliono che simili moti vengano mantenuti e continuati dal mezzo, cioè dall'aria, perché mi parrebbe bene che l'aria avesse un gran giudizio, ed insieme una poca faccenda, a consumar le ore e le ore di tempo in sospignere con tanta regola in qua e in là un peso pendente: ma che io fossi per apprendere che quel mobile medesimo, appeso a una corda di cento braccia di lunghezza, slontanato dall'imo punto una volta novanta gradi ed un'altra un grado solo o mezzo, tanto tempo spendesse in passar questo minimo, quanto in passar quel massimo arco, certo non credo che mai l'avrei incontrato, ché ancor ancora mi par che tenga dell'impossibile.

L'importanza della scoperta dell'isocronismo giustifica l'ampio spazio dedicato all'argomento e la presenza nella mostra di un'antica lampada pisana e di una ricostruzione del pulsilogium. L'accusa mossa a Galileo, spesso ripetuta, di non aver condotto esperimenti quantitativi, meritava di essere sfatata e ciò giustifica la costruzione dell'orologio ad acqua e del dispositivo per la valutazione della sua precisione.



## 1.7 (1589-1592) GALILEO PROFESSORE ALL'UNIVERSITÀ DI PISA

Tralasciando tutto ciò che non concerne Pisa e la mostra, si arriva nel luglio 1589, quando Galileo ebbe la cattedra di matematica nello Studio di Pisa, anche per l'influente appoggio di Guidobaldo Del Monte e del fratello Francesco Maria, divenuto da poco cardinale. Lo stipendio, uno dei più bassi: sessanta scudi<sup>40</sup>, certamente non era sufficiente a farlo mantenere decorosamente, e tanto meno gli permetteva di contribuire alle spese della famiglia, che il padre ormai settantenne non poteva certo sostenere dignitosamente. Dopo un anno, appena trascorso il Natale egli scrive al padre<sup>41</sup>

[...] Quella cosa che serbo alla Virginia, è un cortinaggio di seta, la quale comprai in Lucca; et Alimento me l'ha fatto tessere con poca spesa, tal che, ancor che il drappo sia largo un braccio et  $\frac{1}{2}$ , mi costa circa tre carlini il braccio. Il drappo è fatto a liste, et vi piacerà assai; hora fo fare le frangie di seta per fornirlo, et facilmente farò fare la lettiera ancora: ma harò caro che non ne parliate in casa, acciò gli giunghi inaspettato; et alle vacanze del Carnovale lo porterò, et come vi ho detto, se vi piacerà, gli porterò da fare 4 o 5 veste di domasco et di vellutino a opera, che saranno cosa rara. Né altro.

Di Pisa, il dì 26 di 10bre 1590. Vostro Car.<sup>mo</sup> Fig.<sup>o</sup> G. G.

La sorella Virginia stava per sposarsi con Benedetto Landucci, e Galileo, che s'impegolerà con la sua dote, ammontante a 1800 ducati, probabilmente dovette dare lezioni private per arrotondare le entrate.

Galileo stabilì a Pisa alcune salde amicizie; molto noto è questo passo di una lettera che gli scrisse da Roma Luca Valerio<sup>42</sup>, il 14 aprile del 1609

[...] per mia buona ventura godo dell'amicitia di V. S., persona di singolar bontà, di scienze fornitissima, et di profondissimo ingegno. Laonde io ben conosco quanto gran favore V. S. mi fa, offerendomi la sua amicitia et la mia richiedendomi, che, come ho detto, è vecchia di molt'anni; et per non tenerla più sospesa, io sono quel Luca Valerio, devoto suo servitore, ch'ella conobbe in Pisa appresso la felice memoria del S.r Camillo Colonna, quando per quelli ameni et ombrosi prati andavamo, in compagnia d'altri filosofi, bene spesso gridando et disputando insieme.

Tra gli altri filosofi, Galileo aveva fatto amicizia con Jacopo Mazzoni, che ricorda in una lettera al padre<sup>43</sup> scritta da Pisa il 15 novembre 1590.

Car.<sup>mo</sup> Padre,

Ho hauto in questo punto una vostra, con la quale ditemi

<sup>40</sup> Il suo collega ed amico Jacopo Mazzoni, arrivato a Pisa nello stesso anno, ebbe 500 scudi di stipendio annuo, portati a 700 l'anno successivo. Il lettore era la categoria più bassa di docente: il grado più alto era l'ordinariato, la posizione di straordinario era intermedia. Abbiamo anche visto che il salario del *magister gramatice* era di 100 scudi l'anno; tuttavia, se si vuole fare correttamente un confronto, si consideri che Galileo era tenuto a insegnare per un'ora al giorno, cinque giorni la settimana, da novembre a giugno. Per ogni lezione saltata (furono 6 negli anni 1589 e 18 nel 1590) gli venne tolta una lira. La ritenuta di norma era calcolata dividendo lo stipendio annuo per il numero delle lezioni prescritte, ma evidentemente il calcolo fu fatto dividendo per 360 lo stipendio di 60 ducati, valutando solo 6 lire il ducato.

<sup>41</sup> G.G., vol. X, p. 34.

<sup>42</sup> G.G., vol. X, pp. 193-194.

<sup>43</sup> G.G., vol. X, p. 33.

di mandarmi i Galeni et il vestito et la Sfera, le quali cose non ho ancora recuperate: me le harò ancora stasera. I Galeni non hanno ad essere altro che 7 tomi, sì che staranno bene. Io sto benissimo, et attendo a studiare et ad imparare dal S. Mazzoni, il quale vi saluta. E non havendo altro che dire, fo fine.

Al Mazzoni Galileo scriverà<sup>44</sup> il 30 maggio 1597, mettendo in discussione alcune sue affermazioni di argomento copernicano, sostenute nel *De comparatione Aristotelis et Platonis*. Sorpreso felicemente per alcune posizioni meno peripatetiche del Mazzoni, Galileo gli scrive a proposito del suo libro, da poco arrivato a Padova:

[...] si è già fatto palese; e mi ha fatto partecipe se non di tutte le sue bellezze, almeno di quelle che il mio basso ingegno ha potuto sin qui capire, lasciandomi ancora in speranza di poter, di giorno in giorno, scoprirne delle altre.

[...] Ed oltre alla universale dottrina, della quale esso è ripieno, e per la quale è per esser apprezzato ed ammirato da ogn'uno, ha egli a me in particolare arrecata grandissima soddisfazione e consolazione, nel vedere V.S. Eccellentissima, in alcune di quelle questioni che ne i primi anni della nostra amicizia disputavamo con tanta giocondità insieme, inclinar in quella parte, che da me era stimata vera ed il contrario da lei: forse per dar campo ai discorsi, o pur per mostrare il suo felice ingegno, potente anco a sostenere, quando li piacesse, il falso, o sì per salvare incorrotta, anzi intatta in ogni minima particella, la sincerità della dottrina di quel gran Maestro, sotto la cui disciplina pare che militino, e che così far debbano, quelli che si danno ad investigare il vero.

[...] Ma, tornando (per non finir così presto il contento, che ho, di ragionar con lei) alla conformazione delle sue opinioni con quelle ch'io stimo esser vere, ancorché diverse dal comune parere, io confesso tenermene buono, e di stimar più il mio giudizio che prima non facevo, quando non credevo aver sì forte compagno. Ma, per dir la verità, quanto nelle altre conclusioni restai baldanzoso, tanto rimasi nel primo affronto, confuso e timido, vedendo V.S. Eccellentissima tanto risoluta e francamente impugnare le opinioni de i Pitagorici e del Copernico circa il moto e sito della terra; la quale sendo da me stata tenuta per assai più probabile dell'altra di Aristotile e di Tolomeo, mi fece molto aprire le orecchie alla ragione di V.S., come quello che circa questo capo, ed altri che da questo dipendono, ho qualche umore. Però, credendo per la sua infinita amorevolezza di poterli, senza gravarla, dire quello che per difesa del mio pensiero mi è venuto in mente, lo accennerò a V.S., acciò che, o, conosciuto il

mio errore possa emendarmi e mutar pensiero, o, satisfacendo alla ragione di V.S. Eccellentissima, non resti ancora desolata la opinion di quei grand'uomini e mia credenza.

Galileo e Mazzoni dunque negli anni 1589-1592 discutevano della filosofia di Aristotele, e Mazzoni teneva per quest'ultimo. Sembra di poter capire, da quanto Galileo scrive, che tra le cose che egli credeva vere fin dai tempi delle gioconde dispute pisane, si debba includere anche l'opinione dei Pitagorici e di Copernico. Possiamo proporre, in via ipotetica per timore di essere tacciati di partigianeria, che nel fervore di studi tanto creativi di nuove e geniali idee, il ventiseienne Galileo già dal tempo della docenza pisana aveva aderito alle teorie copernicane?

Due mesi dopo, il 4 agosto 1597, Galileo prese l'iniziativa di scrivere a Johannes Kepler ed ebbe così nuovamente l'occasione per dichiararsi copernicano:

... [traduzione] già da molti anni ho aderito al punto di vista di Copernico, e con tale collocazione ho persino scoperto l'origine di molti fenomeni naturali, che senza dubbio non sono spiegabili con l'ipotesi comune. Ho anche composto molti pareri e confutazioni degli argomenti contrarii, che tuttavia non oso fin qui rendere pubblici, spaventato proprio dalla sorte di Copernico, nostro maestro, che, sebbene conseguì fama immortale presso alcuni, tuttavia presso un numero infinito (perché tanto grande è il numero degli stolti) fu accolto con risa e fischi. Oserei certamente divulgare i miei pensieri, se ci fossero molti altri come te; ma, dato che non ci sono, rinuncio a siffatta occupazione

A quali fenomeni naturali allude Galileo, inspiegabili con l'opinione tolemaica e resi comprensibili con i principi copernicani? Noi oggi ce lo domandiamo, ma forse anche Kepler se lo sarà chiesto allora<sup>45</sup>.

Per le vicende relative a questi anni, preferisco non seguire il Viviani e rifarmi a quanto ho scritto in altra occasione<sup>46</sup>, quando ho cercato di spiegare perché Galileo lasciò Pisa per Padova.

[...] Occorre partire da lontano, dalla morte del padre<sup>47</sup>. Se vi è un episodio nella sua vita in cui gli aspetti economici hanno certamente pesato più di quelli scientifici, questo fu il partito

<sup>44</sup> G.G., vol. II, pp. 193-202.

<sup>45</sup> Per scrupolo, prima di licenziare per la stampa questo scritto, ho consultato il libro di Massimo Bucciantini appena comprato: Galileo e Keplero (Torino 2003) e vi ho trovato che E. Wohlwill nel 1884 era certo che Galileo fosse copernicano fin dal tempo del *De motu*. Bucciantini non nutre le sue certezze ma non lo esclude.

<sup>46</sup> ROBERTO VERGARA CAFFARELLI, *Il Compasso Geometrico et Militare di Galileo Galilei. Testi, annotazioni e disputa negli scritti di G. Galilei*, M. Bernegger e B. Capra, Pisa 1992, pp. XXX-XXXIII.

preso da Galileo di abbandonare Pisa per la Lettura di Padova, e tale decisione fu, certamente, dovuta alle necessità della famiglia alla quale egli, primogenito, doveva provvedere.

Il Favaro che racconta con molta accuratezza le circostanze della sua andata a Padova<sup>48</sup>, incorre in un errore di una certa rilevanza, perché ritiene che Galileo avesse accettato uno stipendio assai poco superiore a quello percepito a Pisa: ebbe così una ragione di più per ritenere fondati quei motivi dell'andata a Padova, che furono raccontati dai primi biografi di Galileo, il Viviani e l'Arrighini.

Diamo subito alcune informazioni. Nei rotoli dello Studio di Pisa per gli anni 1589 e 1590 si legge che a Galileo erano stati assegnati fiorini 60, e gli estratti dai libri di cassa degli anni 1589-1592 riportano «a Mess. Galileo Galilei ducati sessanta di moneta [...] d. 60<sup>49</sup>». Quindi Galileo guadagnava a Pisa 420 lire fiorentine<sup>50</sup>.

Non è inutile ricordare che nel rotolo del 1589-90 vengono nominati in tutto 41 professori; di loro ben dieci riceverono solo 45 ducati di stipendio annuo, mentre la retribuzione massima fu quella dei due professori di diritto civile: quello che insegnava di mattina aveva 650 ducati, quello che insegnava nel pomeriggio riceveva 600 ducati. Per un giovane al primo insegnamento non era perciò trascurabile uno stipendio di 60 ducati, soprattutto se poteva integrarli con i proventi delle lezioni private.

Siamo però sempre ai valori più bassi delle retribuzioni: a Firenze in quegli anni un muratore guadagnava due lire il giorno, e perciò da 80 a 90 ducati in un anno, se riusciva a lavorare sempre, ed i manovali e i braccianti agricoli avevano un salario, che era la metà.

A Padova Galileo ricevette nella sua prima condotta 180 fiorini, equivalenti a 900 lire veneziane<sup>51</sup>, più del doppio rispetto a Pisa. S'ingannò il Favaro nello stimare il valore della lira veneziana metà di quella fiorentina; in realtà la lira veneta e quella fiorentina sono due monete di conto, cioè fittizie, che vennero utilizzate per secoli nella pratica commerciale e nella contabilità,

per regolare il valore delle monete in proporzione alla quantità d'oro e d'argento contenuto e in funzione del valore relativo dei due metalli. Dato che alle monete veneziane e fiorentine contenenti la stessa quantità d'oro o d'argento veniva assegnato lo stesso valore in lire, le due monete di conto hanno mantenuto per lungo tempo approssimativamente lo stesso valore<sup>52</sup>. È facile ravvisare dai documenti pervenuti che le ragioni per cui Galileo lasciò Pisa furono essenzialmente economiche, e che i motivi riportati dal Viviani e dal Gherardini non sono quelli che pesarono di più: i loro racconti sembrano fatti apposta per nascondere il reale fattore economico, al quale nessuno dei due biografi accenna neanche di sfuggita.

È una ipotesi, forse, non troppo azzardata, supporre che il contenuto dei loro racconti risalga allo stesso Galileo: poteva il matematico e filosofo del Granduca senza imbarazzo confessare che per pochi ducati Ferdinando si era lasciato sfuggire un ottimo professore, che avrebbe potuto portare gran lustro all'università di Pisa? La ragionevolezza di questa ipotesi può trovare un fondamento nella delicatezza e nell'attenzione che Galileo sempre tenne nei rapporti con i Medici, di cui non dimenticò mai di essere suddito.

Il Viviani narra che

filosofasti suoi emuli, fomentati da invidia, se gli eccitarono contro; e servendosi di strumento per atterrarlo del giudizio dato da esso sopra una tal macchina d'invenzione d'un eminente soggetto, proposta per votar la darsina di Livorno, alla quale il Galileo con fondamenti meccanici e con libertà filosofica aveva fatto pronostico di mal evento (come in effetto seguì) seppero con maligne impressioni provocargli l'odio di quel gran personaggio; ond'egli rivolgendo l'animo suo all'offerte che più volte gl'erano state fatte della cattedra di Padova, che per morte di Giuseppe Moleti stette gran tempo vacante, per consiglio e con l'indirizzo del Sig.r Marchese Guidobaldo s'esse con buona grazia del Ser.mo Gran Duca di mutar clima avanti che i suoi avversari avessero a godere del suo precipizio<sup>53</sup>.

Sta di fatto che la scontentezza di Galileo si era manifestata subito. Guidobaldo del Monte, che si era adoperato per far-

<sup>47</sup> Avvenuta il 2 luglio 1591.

<sup>48</sup> A. FAVARO, *Galileo Galilei e lo Studio di Padova*, Le Monnier, Firenze 1883, vol. I, 36-50. Assai importante il suo articolo: *Sulla veridicità del "Racconto Storico della Vita di Galileo" dettato da Vincenzio Viviani*, in *Archivio Storico Italiano*, 1915, 323-380.

<sup>49</sup> G.G., vol. XIX, pp. 39, 41 e 43.

<sup>50</sup> Nella cronaca di Giuliano de' Ricci redatta nel 1571 si legge: «il piastrone o ducato d'argento che comunemente si chiama anco nelle scritture maxime fiorino, vale lire 7». La citazione è tratta da: C. M. CIPOLLA, *La moneta a Firenze nel cinquecento*, Il Mulino, Bologna 1987, 131.

<sup>51</sup> «D.Galileo Galilei, condotto alla lettura delle Mathematiche a' 26 settembre 1592, con stipendio di fiorini 180 .....L. 900». G.G., vol. XIX, p. 124.

<sup>52</sup> In tutto il periodo considerato la lira veneziana ebbe il valore di 4,31 grammi d'argento puro mentre la lira fiorentina grammi 4,46, con una differenza quindi del 3%. Le monete d'oro e d'argento battute negli stati italiani ebbero peso e il titolo strettamente allineati tra loro, e quindi ebbero *corso ufficiale* abbastanza equivalente onde impedire che le monete con più *intrinseco* fossero fuse e l'oro portato in altri stati. Non solo la lira, ma anche il fiorino da 5 lire e i ducati da lire 6 e soldi 4 sono monete di conto e non indicano il vero valore in lire della moneta d'argento corrente a Venezia e a Firenze.

<sup>53</sup> G.G., vol. XIX, pp. 606 e 638. Niccolò Gherardini fa il nome di Giovanni de' Medici, figlio naturale di Cosimo I, e racconta che la differenza con quel personaggio nacque quando si trattò di mettere in opera alcune macchine «per una certa fabbrica, non so già se di fortificazione o d'altro edificio». Narra quindi che «la contradizione non fu grata al S.r D.Giovanni, il quale con parole di molto sdegno ne mostrò risentimento: di che si intimorì il S.r Galileo di maniera che stimò bene non molto tempo dopo domandar licenza da quella condotta».

gli avere la Lettura di Pisa, scriveva a Galileo il 10 aprile del 1590: «la vorrei vedere più contenta e meglio trattata, secondo li meriti suoi. Io non ho avuto per ancora nuov'alcuna da Venetia; ma io cercarò di saper qualche cosa e non mancherò di avvisargliene.»

Galileo quindi a metà del suo primo anno di insegnamento stava già cercando di spostarsi. Guidobaldo all'inizio del secondo anno accademico chiede: «Una delle cose che io desideravo di sapere è se V.S. ha mai avuto accrescimento di provisione, che questo vorrei che fusse secondo il mio desiderio et il merito suo». Infine abbiamo un altro intervento sull'argomento il 21 febbraio 1592: «Mi dispiace ancora di vedere che V.S. non sia trattata second'i meriti suoi e molto più mi dispiace che ella non habbi buona speranza. Et s'ella vorrà andar a Venetia questa state, io l'invito a passar di qua, che non mancarò dal canto mio di far ogni opera per aiutarla e servirla; che certo io non la posso veder in questo modo. Le mie forze sono deboli, ma, come saranno, io le spenderò tutte in suo servizio<sup>54</sup>».

Dunque le preoccupazioni di Galileo erano allora di ordine economico. Se le difficoltà fossero state quelle supposte dai suoi primi biografi (invidie accademiche e l'ostilità di Giovanni de' Medici), Guidobaldo avrebbe potuto tentare di rimediare, giacché era tenuto in grandissima stima in casa Medici. Più difficile era fargli avere un forte aumento (cioè trattarlo secondo il suo merito) e procurargli eventualmente lezioni private ben remunerate, quali Galileo poteva invece sperare di ottenere a Padova, ove la cattedra era libera.

Il marchese, ormai suo ammiratore, aveva studiato a Padova e nella Repubblica aveva amici influenti; per contro<sup>55</sup> quali altri appoggi aveva a Firenze Galileo?

Galileo a fine agosto del '92 andò a Venezia e Giovan Battista Pinelli, influente amico del Marchese Guidobaldo, che aveva

avuto in stima Vincenzo Galilei, in pochi giorni fu in grado di ottenere per lui il posto di Lettore delle Matematiche, che era vacante dal 1588 per la morte di Giuseppe Moletti<sup>56</sup>: «mi ha detto che darà alla S.V. li 200 fiorini senz'altro, et sarà costò domani o l'altro senza fallo; si che la S.V. ne potrà star sull'avviso, et subito al suo arrivo andarlo a ritrovar, per ringraziarlo del suo buon animo et così far istanza per la spedizione<sup>57</sup>». La persona a cui Pinelli si riferiva in questa lettera del 9 settembre era il procuratore Giovanni Michiel, uno dei tre Riformatori dello Studio: Galileo doveva sollecitargli la spedizione del decreto, che fu emesso il 26 dello stesso mese.

Galileo, ormai sicuro della nomina, fece arrivare a Ferdinando de' Medici la notizia della sua chiamata a Padova attraverso Giovanni Ugucioni. Ne abbiamo notizia da una lettera che il Residente di Toscana a Venezia scrisse<sup>58</sup> a Belisario Vinta il 15 settembre 1592:

Sono in Padova, e sono venutoci con Mess. Galileo Galilei, che legge la Matematica in Pisa; quale quindici giorni fa venne per vedere Venetia, et in tanto hieri in carrozza, in discorrendo meco, mi disse che in Venetia era stato ricercato di leggere in Padova, e che crede che harebbe 200 scudi incirca di salario l'anno e che ha risposto che, sendo al servizio del Gran Duca, non può risolvere cosa nessuna, onde credo che se ne venga a cotesta per trattare di questo negotio con S.A.S.

Il Granduca prese atto di questa offerta, che per l'equivoco dei fiorini trasformati in ugual numero di ducati sembrava triplicare lo stipendio, e non trattenne Galileo, dandogli facoltà di lasciare lo studio pisano, decisione ancor più comprensibile se è vero che il giovane professore era malvisto da alcuni colleghi e da Giovanni de' Medici. [...]

<sup>54</sup> Per le lettere di Guidobaldo si veda: G.G., vol. X, pp. 42, 45 e 47.

<sup>55</sup> Se la sua famiglia avesse avuto prestigio e collegamenti influenti, e risorse economiche, non si sarebbe ingolfato Galileo nelle strane vicende di Giovanbattista Ricasoli, per le quali fu poi coinvolto come testimone nei due processi intentati per l'annullamento del testamento, quando alla sua morte si volle provare che il Ricasoli non era sano di mente. Nelle carte del processo il suo nome purtroppo appare spesso associato a termini ingiuriosi. Vi sono in margine ai documenti postille con contumelie contro vari testimoni e Galileo non è risparmiato: frate sfratato; tristaccio; discortese; perché t'hanno promesso fiorini 150 per la sorella; figliuolo di un maestro di sonare liuto; povero et sfratato ecc. G.G. vol. XIX, pp. 45-46.

<sup>56</sup> Il Moletti ebbe la Lettura di Padova l'anno 1577 con stipendio di 200 fiorini, e ne fu ricondotto nel 1584 con 300 fiorini annui. Il successore di Galileo, Giovanni Camillo Gloriosi, ebbe all'inizio 350 fiorini. Cesare Cremonini, che insegnava filosofia ordinaria ebbe una sequenza impressionante di aumenti: fiorini 400 nel 1599, 600 nel 1601, 1000 nel 1608, 1400 nel 1616, 1800 nel 1623, infine 2000 nel 1629.

<sup>57</sup> G.G., vol. X, p. 48.

<sup>58</sup> G.G., vol. X, p. 49. Cinque giorni dopo scrisse di nuovo al Granduca: «...Sino al principio di questo mese comparse qua il Galileo, Matematico di Pisa, che è stato sempre qui in casa mia per veder la città; e domattina si parte per costà, sendo stato ricercato di legger nello Studio di Padova con 180 ducati l'anno di salario: onde ha risposto che non vuol fermar niente se prima non ne dà conto a V.S.A., come è suo debito ...»

## 1.8 GALILEO E GLI ESPERIMENTI DALLA TORRE PENDENTE

Antonio Favaro, che fu responsabile dell'Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei, al quale dedicò la sua vita di studioso, così riassume l'attività scientifica di Galileo nel triennio di insegnamento a Pisa<sup>59</sup>:

Avverte con meraviglioso acume e pronuncia con solenne asseveranza, tutti i corpi essere gravi, tutti per sé tendere in retta linea al centro; la rispettiva loro gravità con quella del mezzo determinarne il moto ascendente o discendente; tutti i gravi cadenti, sebbene di diverso peso ma della stessa materia, muoversi con eguale velocità per un medesimo mezzo; mette in evidenza gli assurdi manifestissimi che risulterebbero, qualora le velocità d'uno stesso mobile ritenessero la proporzione reciproca delle resistenze: deduce la necessità del moto equabile a un certo punto della caduta dei corpi di qualsivoglia peso, e si fa strada a determinare più tardi la misura della velocità dei cadenti, l'obliquità necessaria alla maggior proiezione, la diagonale risultante da due impulsi obliqui, tutte insomma le leggi fondamentali del moto. Queste ed altre conclusioni sono contenute in parte in alcuni capitoli o lezioni intorno al moto dei gravi, che verosimilmente Galileo veniva esponendo dalla cattedra ai suoi uditori, ed in parte in un Dialogo che riassume e coordina quelle medesime dottrine e che forse fin d'allora divisava di pubblicare sotto tal forma da lui prediletta la quale egli adottò poi per i suoi capolavori, sia a ciò stimolato dall'esempio del padre, sia, come è più probabile, prendendo a modello il divino Platone. Un discorso *De motu*

*naturaliter accelerato*, pubblicato dall'Alberi, porge poi la prova irrefragabile che i Dialoghi delle Nuove Scienze furono, non solo ideati da Galileo nei primi suoi anni, ma effettivamente incominciati; poiché questo capitolo, che fa indubbiamente parte dei suoi lavori giovanili, e per buon tratto identico al discorso riguardante tale argomento è contenuto nella giornata terza dei dialoghi medesimi.

Favaro, divenne ben presto assai critico dell'edizione che Eugenio Albéri aveva fatto delle opere di Galilei<sup>60</sup> e si dovette ricredere sulla datazione del *De motu naturaliter accelerato*. Tuttavia, la maggioranza degli storici che si sono occupati del *De Motu antiquiora*, ritiene, con lui, che l'insieme di queste scritture è stato composto nel periodo della lettura pisana, ed a questo tempo li fa già risalire il Viviani, con un'osservazione, più volte da me stesso verificata nelle mie letture delle opere di Galileo:

Quello però di più singolare, che è sparso in tal manoscritto, tutto, come si vede, l'incastriò poi egli stesso opportunamente, a suo' luoghi, nell'opere che egli stampò<sup>61</sup>

Uno degli argomenti più controversi è il famoso esperimento dalla torre di Pisa.

In questo tempo, parendogli d'apprendere ch'all'investigazione delli effetti naturali necessariamente si richiedesse

<sup>59</sup> ANTONIO FAVARO, *Galileo Galilei e lo Studio di Padova*, Padova 1883, pp. 32-33.

<sup>60</sup> E. ALBÉRI, *Le opere di Galileo Galilei, prima edizione completa, condotta sugli autentici manoscritti palatini e dedicata a .s.a.i. e r. Leopoldo II granduca di Toscana*, Firenze 1842-1856.

<sup>61</sup> *Quinto libro degli Elementi d'Euclide, ovvero scienza universale delle proporzioni, spiegata colla dottrina del Galileo, con nuov'ordine distesa, e per la prima volta pubblicata da Vincenzio Viviani, ultimo suo discepolo. Aggiuntevi cose varie e del Galileo, e del Torricelli, i ragguagli dell'ultime opere loro, ecc.* Firenze 1674, pp. 104-105.

una vera cognizione della natura del moto, stante quel filosofico e vulgato assioma *Ignorato motu ignoratur natura*, tutto si diede alla contemplazione di quello: et allora, con gran sconcerto di tutti i filosofi, furono da esso convinte di falsità, per mezzo d'esperienze e con salde dimostrazioni e discorsi, moltissime conclusioni dell'istesso Aristotele intorno alla materia del moto, sin a quel tempo state tenute per chiarissime et indubitabili; come, tra l'altre, che le velocità de' mobili dell'istessa materia, disegualmente gravi, movendosi per un istesso mezzo, non conservano altrimenti la proporzione delle gravità loro, assegnatagli da Aristotele, anzi che si muovon tutti con pari velocità, dimostrando ciò con replicate esperienze, fatte dall'altezza del Campanile di Pisa con l'intervento delli altri lettori e filosofi e di tutta la scolaresca; e che né meno le velocità di un istesso mobile per diversi mezzi ritengono la proporzion reciproca delle resistenze o densità de' medesimi mezzi, inferendolo da manifestissimi assurdi ch'in conseguenza ne seguirebbero contro al senso medesimo.

Intanto notiamo che Galileo afferma più volte nel *De motu* di aver realizzato esperimenti da una torre<sup>62</sup>

Se due pietre vengono lanciate lasciate cadere nello stesso istante da un'alta torre, ed una sia il doppio in peso dell'altra, per quale ragione, quando la minore sta a metà torre, la maggiore già ha raggiunto terra?

E poi<sup>63</sup>

Ma si deve notare, che qui sorge una grande difficoltà [riguardo alla legge aristotelica che la velocità è proporzionale al peso]: perché chi facesse questo esperimento, scoprirebbe che non sono rispettate queste proporzioni. Se, infatti, prendesse due diversi mobili, che abbiano siffatte condizioni, che uno sia detto il doppio più veloce dell'altro, e poi li lascia cadere da una torre, certamente il più veloce non toccherà terra due volte più presto: che anzi, se si osserva, quello che è più leggero, all'inizio del moto precederà il più pesante e sarà più veloce<sup>64</sup>.

Poco più avanti<sup>65</sup> Galileo torna a parlare di una torre<sup>66</sup>:

Altri dissero, che il mobile si muove più veloce alla fine, perché è da dividere una parte minore del mezzo; e perciò, trovando minore resistenza, credono che vada più veloce. Questa opinione è veramente ridicola, nonché falsa; infatti, se fosse vera, ne seguirebbe che una pietra che viene giù da un'altissima torre, si muoverà più lentamente a metà torre, che se la stessa cadesse a terra da un luogo bassissimo.

Più avanti ancora, si arriva al noto passo in cui Galileo discute l'esperimento di Borro, che era stato suo professore. Borro aveva scritto:

Trovati pertanto due pezzetti, uno di legno, uno di piombo, di ugual peso come era lecito presumere a occhio, e infatti non ritenemmo necessario pesare quegli oggetti alla bilancia, ma giudicammo che era sufficiente, per l'esperimento che stavamo per fare, se venissero valutati ad occhio, trovati dunque questi due pezzetti di ugual peso, li gettammo con uguale impulso e nello stesso tempo da una finestra piuttosto alta della nostra casa. Il piombo discese più lentamente, dunque al di sopra del legno, che cadde in terra per primo. Quanti di noi, che aspettavamo là il risultato della cosa, tutti vedemmo quello venir giù dall'alto, e provammo ciò con identico risultato non una volta, ma molte volte<sup>67</sup>.

Galileo presenta una spiegazione del fenomeno, legata ancora alla teoria dell'impeto, o forza motrice impressa, di natura simile alla gravità ma che può essere diretta ovunque, che rimane nell'oggetto in maniera temporanea, perché svanisce con il tempo come il calore in un corpo riscaldato, o il suono suscitato in una campana. Ecco un altro passo in cui torna sull'argomento<sup>68</sup>:

<sup>62</sup> G.G., vol I, p. 263: «Si, ex alta turri duos lapides, quorum alter altero sit duplus in mole, eodem momento proiciantur, quod, minore existente in dimidia turre, maior iam terram sit assecutus?». Le traduzioni del *De motu* sono mie.

<sup>63</sup> G.G., vol I, p. 273: «Sed animadvertendum est, quod magna hic horitur difficultas: quod proportiones istae, ab eo qui periculum fecerit, non observari comperientur. Si enim duo diversa mobilia accipiet, quae tales habeant conditiones ut alterum altero duplo citius feratur, et ex turri deinde dimittat, non certe velocius, duplo citius, terram pertinget: quin etiam, si observetur, id quod levius est, in principio motus praebit gravius et velocius erit». Una versione simile, che Galileo cancellò, è ripetuta in nota a p. 267, che, tradotta, è così: «Ho sperimentato, infatti, che di due sfere uguali in grandezza, una delle quali era due volte più pesante dell'altra, lasciate cadere da una torre, quella più pesante non raggiunge la terra due volte più velocemente; ché anzi la più leggera all'inizio del moto precede quella più pesante, e per un certo spazio appare più veloce di quella».

<sup>64</sup> T. Settle ha mostrato che questo risultato è vero, avendolo fatto eseguire da 51 studenti e filmando ogni lancio: ha accertato che la sfera più pesante è sempre lasciata cadere un po' più tardi di quella più leggera.

<sup>65</sup> G.G., vol. I, p. 317: «Alii dixerunt, mobile ideo in fine velocius moveri, quia pauciores medii partes sunt illi scindendae; et ideo, cum minorem habeat resistantiam, velocius ferri crediderunt. Verum ridicula, nedum falsa, est haec sententia: nam, si hoc esset verum, sequeretur, lapidem ab altissima turri descendentem tardius in medio turris moveri, quam si idem ab humillimo loco in terram decideret, et ob id minorem etiam ictum facere.»

<sup>66</sup> Altre citazioni di una torre si trovano in G.G., vol. I, pp. 326, 329, 406-407.

<sup>67</sup> G. BORRI, *De motu gravium et levium*, Firenze 1575, al cap. VII, pag. 214, (siamo nella terza parte delle *discussioni*), intitolato *le cose che dissero Temistio contro Aristotele e Averroè contro Temistio sulla gravità dell'aria*. Borro vi rievoca un'esperienza, fatta da una finestra di casa sua a causa di una discussione sul moto dei gravi.

<sup>68</sup> G.G., vol I, p. 334: «Experientia tamen contrarium ostendit: verum enim est, lignum in principio sui motus ocius ferri plumbeo; attamen paulo post adeo acceleratur motus plumbi, ut lignum post se relinquat, et, si ex alta turri demittantur, per magnum spatium praecedat: et de hoc saepe periculum feci».

L'esperienza mostra, tuttavia, il contrario: è vero infatti che all'inizio del suo moto il legno si mostra più veloce del piombo; tuttavia, poco dopo il moto del piombo è accelerato sino al punto che lascia dietro di sé il legno, e se vengono lasciati cadere da un'alta torre, lo precede di un grande intervallo, e di questo ne ho fatto spesso esperienza.

Si deve intendere l'ampio intervallo come non più di qualche braccio, non tale da giustificare quanto dice di aver osservato Giorgio Coresio<sup>69</sup>, che intorno al 1612 afferma di aver fatto esperimenti di caduta di gravi all'interno della Torre di Pisa, dove - fa notare - non ci sono effetti di vento:

Commette di nuovo due errori il Mazzoni, non di poco momento: il primo, negando l'esperienza che in una medesima materia si muova il tutto più presto della parte. Nella quale s'ingannò, perché ne fece forse l'esperienza dalla sua finestra, la quale perché fu bassa, da essa tutte le materie gravi andarono forse ugualmente a basso; ma noi l'abbiamo fatta di cima al campanile del Duomo di Pisa, sperimentando vero il detto di Aristotile, che 'l tutto della medesima materia in figura proporzionata alla parte discendeva più velocemente di essa: luogo veramente a proposito fu, poi che il vento, mediante l'impulsione, potrebbe variare l'effetto, nel qual luogo non sarebbe mai tal pericolo. E così vien avverato [*sic*] il detto d'Aristotile nel primo del Cielo, che 'l corpo maggiore si muove più velocemente del minore della medesima materia, e nel medesimo modo che cresce la gravità, cresce ancora la velocità [...]

È tagliente il commento di Galileo<sup>70</sup>:

Erra a chiamar inconsiderato ed arrogante il Mazzoni, mentre egli stesso inconsideratamente ed arrogantissimamente si mette a voler espor le parole di Aristotile ed a mostrarne il senso, dall'intendimento del quale è più lontano il suo intelletto, che un'ancudine dal poter volare.

Nel discutere l'originalità degli esperimenti di caduta da parte di Galileo, non si può tacere che molti altri autori accennano ad esperimenti simili. Tartaglia illustra con disegni di torri le proposizioni sul moto nella *Nova Scientia* e Cardano ne parla nella sua enciclopedia *Opus de proportionibus numerorum, motuum, ...*

Alla fine del *De motu* vi è un passo<sup>71</sup> che appare così vicino al vero e all'osservazione sperimentale, che il richiamo alla teoria della "virtù impressa" non diminuisce in nulla l'importanza:

Se, infatti, una pietra viene giù da un'alta torre, si vede che la sua velocità aumenta sempre: ciò accade tuttavia, perché la pietra è assai più pesante del mezzo in cui si muove, evidentemente l'aria; inoltre dato che discende con tanta virtù impressa quanto è il suo peso<sup>72</sup>; non è sufficiente il moto dalla sommità di una torre per esaurirla: da ciò segue, che per l'intervallo di una unica torre la velocità cresce sempre. Per cui, se prenderemo qualche grave, la cui gravità non superi di molto la gravità dell'aria<sup>73</sup>, allora messo in moto potremo vedere con i nostri occhi che, poco dopo l'inizio del moto, si muove sempre uniformemente, purché l'aria rimanga tranquillissima. E la stessa cosa vedremo succedere con la pietra, se la lasciassimo cadere da un luogo altissimo<sup>74</sup>[...]

Possiamo comparare questo passo ad un altro, pubblicato quasi cinquanta anni dopo, dove, pur avendo ormai chiarissimo che il moto naturale (nel vuoto) è uniformemente accelerato, spiega la velocità costante osservata nei corpi leggeri, introducendo quella che i moderni trattati chiamano "velocità limite":

*Salv.* Voi acutamente fate istanza contro al mio detto, la quale è ben necessario di risolvere. Dico per tanto che un corpo grave ha da natura intrinseco principio di muoversi verso 'l comun centro de i gravi, cioè del nostro globo terrestre, con movimento continuamente accelerato, ed accelerato sempre egualmente, cioè che in tempi eguali si fanno aggiunte eguali di nuovi momenti e gradi di velocità. E questo si deve intender verificarsi tutta volta che si rimovessero tutti gl'impedimenti accidentarii ed esterni, tra i quali uno ve ne ha che noi rimuover non possiamo, che è l'impedimento del mezzo pieno, mentre dal mobile cadente deve esser aperto e lateralmente mosso: al qual moto trasversale il mezzo, benché fluido cedente e quieto, si oppone con resistenza or minore ed or maggiore, secondo che lentamente o velocemente ei deve aprirsi per dar il transito al mobile: il quale, perché, come ho detto, si va per sua natura continuamente accelerando, vien per conseguenza ad incontrar continuamente resistenza maggiore nel mezzo, e però ritardamento e diminuzione nell'acquisto di nuovi gradi di velocità, sì che finalmente la velocità perviene a tal segno, e la resistenza del mezzo a tal grandezza, che, bilanciandosi fra loro, levano il più accelerarsi, e riducono il mobile in

<sup>69</sup> G. CORESIO, *Operetta intorno al galleggiare de' corpi solidi*, Firenze 1612. Si veda inoltre G.G., vol. IV, p. 242

<sup>70</sup> G.G., vol. IV, p. 285.

<sup>71</sup> G.G., vol. I, pp. 406-407: «Si enim ab alta turri lapis descendat, illius celeritas sempre augeri videtur: hoc tamen accidit quia lapis, respectu medii per quod fertur, nempe aëris, est gravissimus; et cum discedat cum tanta virtute impressa, quanta est sua gravitas, discedit profecto cum multa virtute impressa, ad quam absumendam non sufficit motus ex altitudine turris: ex quo fit, ut per spatium unius turris semper intendatur celeritas. Quod si acciperemus aliquod grave, cuius gravitas non tam longe aëris gravitatem superaret, tunc profecto oculis ipsis cerneremus, ipsum, paulo post principium motus, sempre uniformiter moveri, esistente tamen aëre tranquillissimo. Et idem etiam in lapide accidere perspiceremus, si et ex locis altissimis demitteretur ... »

<sup>72</sup> Si deve supporre che la pietra era stata lasciata cadere da fermo, cosicché iniziava il moto con una "virtù" esattamente opposta alla sua gravità, impressa in essa da chi la teneva ferma.

<sup>73</sup> Per esempio, una vescica gonfia.

<sup>74</sup> Forse per questo motivo Galileo, con altri autori, parla di pietra che cade dal concavo della luna, distanza enorme, in confronto alla quale il breve tratto di moto non uniforme, diventa trascurabile.

un moto equabile ed uniforme, nel quale egli continua poi di mantenersi sempre. È dunque, nel mezzo, accrescimento di resistenza, non perché si muti la sua essenza, ma perché si altera la velocità con la quale ei deve aprirsi e lateralmente muoversi per cedere il passaggio al cadente, il quale va successivamente accelerandosi.

Il rapporto tra *virtù impressa* e *gravità* nel linguaggio moderno non è altro che la complementarità tra energia cinetica ed energia potenziale, conseguenza della conservazione dell'energia. La velocità limite ci ricorda che il principio di inerzia, che lo stesso Newton attribuì a Galileo, «ogni corpo continua nel suo stato di quiete o di movimento uniforme in linea retta, se non è costretto a cambiare quello stato da forze impresse su di lui» vale anche in presenza di forze uguali e contrarie, che si annullano.

Galileo nella sua giovinezza aveva desiderato di trovare una spiegazione dinamica per il moto,

avendo valutato che in nessun modo si potesse avere questa opinione della provvida natura [cioè che operasse a caso e a piacere] divenni ansioso di trovare qualche causa, se non necessaria, almeno utile e coerente<sup>75</sup>

e la trovò nella teoria della virtù impressa; più tardi rinuncerà al suo proposito per quanto riguarda l'origine della forza di gravità.

Per chiudere l'argomento "Torre di Pisa" e gli esperimenti contestati riporto due lettere che Vincenzo Renieri, che aveva la cattedra di matematica a Pisa, scrive a Galileo:

Molto Ill.<sup>mo</sup> et Ecc.<sup>mo</sup> mio Sig.<sup>o</sup> e Pron Col.<sup>mo</sup>

[...] Abbiamo qui havuto occasione di far un'esperienza di due gravi cadenti da alto, di diversa materia, cioè uno di legno et uno di piombo, ma dell'istessa grandezza; perchè un tal Gesuita<sup>76</sup> scrive che scendono nello stesso tempo, e con pari velocità arrivano a terra, ed un tal Inglese affermava che il Liceti componeva qui un problema e ne rendeva la ragione. Ma finalmente abbiamo trovato il fatto in contrario, poichè dalla cima del campanile del Duomo tra la palla di piombo e quella di legno vi corrono tre braccia almeno di differenza. Si fecero anche esperienze di due palle di piombo, una della grandezza eguale a un'ordinaria d'artiglieria e l'altra da moschetto, e si vedeva tra la più grossa e la più piccola, dall'altezza dello stesso campanile, esservi un buon palmo di differenza, del quale la più grossa anticipava la più piccola. Quello che in tali esperienze mi venne notato è che m'accorsi che, accelerandosi il moto delle palle di legno fino ad un certo segno, cominciavano poi a non scendere a perpendicolo, ma per traverso, in quella stessa maniera che veggiamo che fanno, le gocce d'acqua che cadono da' tetti, le quali, giunte vicino a terra, piegano per traverso, e quivi il moto loro cominciava ad esser meno veloce. Ho pensato a questo un poco, e ne dirò a V. S. Ecc.<sup>mo</sup> il mio parere.

Se un mobile dovrà muoversi per un determinato mezzo, determinata ancora dovrà esser la velocità con cui lo potrà passare, in modo che chi volesse farlo andar più presto, il mezzo li resisterebbe, per non poter egli così presto ceder e dar luogo. Per esempio, io moverò con poca fatica una rosta, se la moverò con poco impeto; ma se la vorrò muover con grandissima forza, sentirò farmi resistenza dall'aria, e tal hora anco potrà impedirmene il moto. Dato questo, quando la palla di legno si parte dall'alto, movendosi con poca velocità e sempre più e più accrescendola, finalmente arriva a tal grado che l'aria potrà farli resistenza, e non potendo il grave più fender il mezzo a perpendicolo, penderà e piegherà da qualche parte, e poi fors'anco, ritornando a scender più velocemente, di nuovo anco tornerà a ritardarsi; in quella maniera che un foglio di carta va per aria hor a destra hor a sinistra piegando, prima che arrivi a scender in terra. Non so hora, se cadendo il piombo da una grandissima altezza, potesse arrivare a tal grado di velocità, che in lui si vedesse la stessa esperienza. Ci potrà un poco pensare V. S. Ecc.<sup>mo</sup>, e in tanto compatirmi se forse non mi sarò ben spiegato nella presente, che in fretta m'è convenuto scrivere per esser tornato tardi a casa.

Ho fatto riverenza al Ser.<sup>mo</sup> Principe Leopoldo questa sera, ed habbiamo fatto commemorazione di V. S. Ecc.<sup>mo</sup>; la quale per fine prego a conservarmi nella sua grazia e in quella del Sig.<sup>o</sup> Viviani, mentre ad ambidue bacio caramente la mano.

Di Pisa, li 13 di Marzo 1641.

Pochi giorni dopo, a stretto "giro di posta", risponde ad una lettera di Galileo, che purtroppo è andata perduta:

Molto Ill.<sup>mo</sup> et Ecc.<sup>mo</sup> mio Sig.<sup>o</sup> e Pron Col.<sup>mo</sup>

L'ultimo Dialogo di V. S. Ecc.<sup>mo</sup> non è stato da me letto se non in qua e in là, perchè l'estate passata, che haverei potuto attendervi con diligenza, ella sa com'io stetti, e di poi non ho havuto tempo di poterlo vedere con quella applicazione che ricercano le dimostrazioni che sono in esso. So che è verissimo che due gravi differenti in specie, benchè eguali di mole, non servano proportionone alcuna di gravità nello scendere, anzi che, per esempio, nell'acqua il legno si moverà al contrario del piombo; e però fin da principio mi risi della esperienza del Gesuita, che affermava che il piombo *et frustulum panis* (per dir com'egli scrive) si moveano con equal velocità al centro: ma che due gravi ineguali di peso, ma della stessa materia, cadendo dall'istessa altezza a perpendicolo, habbiano ad arrivar con diversa velocità et in diverso tempo al centro, mi pareva d'haver da lei udito o letto, che ben non mi ricordo, non poter essere. Leggerò per tanto questi pochi giorni di vacanza l'ultimo suo Dialogo, benchè la total lettura me la riserbi a far questa futura estate con più comodo: in tanto torneremo a far l'esperienza delle palle, e vedere se ci fossimo ingannati la prima volta nella osservatione che quando s'avvicinano a terra pieghino e non vadino a perpendicolo, e ne darò avviso a V. S. E.<sup>mo</sup> Hoggi è partita la Corte per Livorno, dove si tratterà queste Feste, le quali a V. S. Ecc.<sup>mo</sup> prego felicissime; e le bacio affettuosissimamente le mani, sì come faccio al Sig.<sup>o</sup> Viviani.

Pisa, li 20 di Marzo 1641.

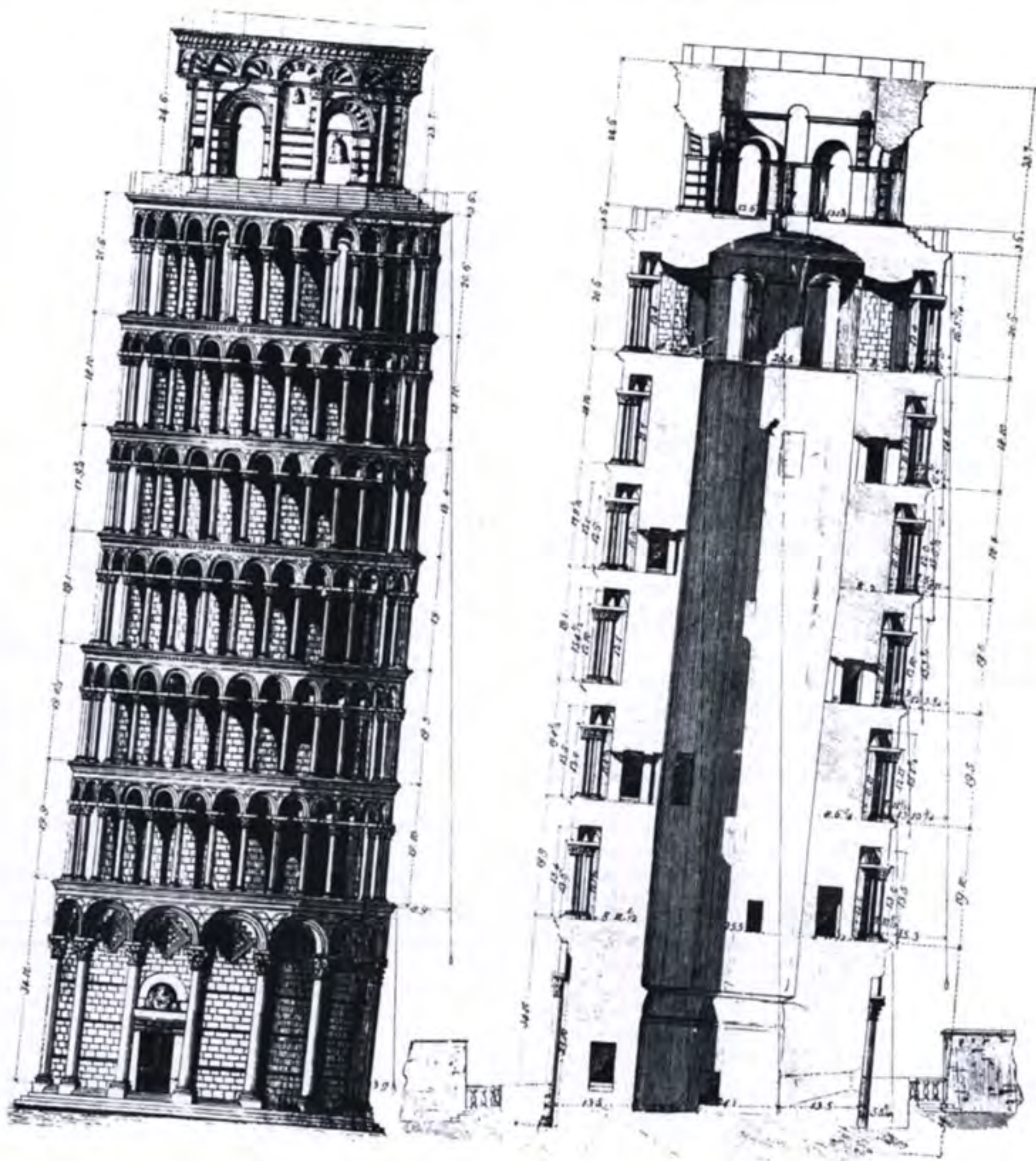
<sup>75</sup> G.G., vol. I, p. 345: «Hoc cum de provida natura nullo posse pacto existimari pependerem, in excogitanda, nisi necessaria, saltem utili et congruente, aliqua causa interdum anxius fui».

<sup>76</sup> Niccolò Cabeo (Ferrara 1585-Genova 1650).



Tutti possono fare esperienze di caduta dalla Torre di Pisa, ma non Galileo! Se il racconto di Viviani non è vero, è ben trovato,

un grande *scoop* pubblicitario, come la mela di Newton. Ma torniamo alla fisica galileiana.



Scala di Misure 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000

La Torre Pendente

## 1.9 GALILEO SCOPRE LA LEGGE DEL PIANO INCLINATO

In un capitolo del *De motu*<sup>77</sup> «...nel quale si tratta delle proporzioni dei moti di uno stesso mobile sopra differenti piani inclinati» Galileo risolve il problema millenario di stabilire come cambia la gravità di un corpo vincolato a muoversi senza attrito sopra un piano inclinato<sup>78</sup>. È un capitolo che solo recentemente ha attirato l'attenzione degli studiosi<sup>79</sup>, benché sia ricco di concetti nuovi, che sono alla base di tutte le ricerche realizzate a Padova e del pensiero più maturo, elaborato a Firenze.

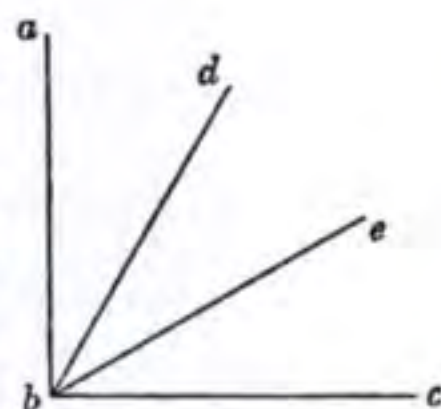
Galileo procede in questa maniera nell'esposizione:

a) anzitutto stabilisce che il moto su un piano comunque inclinato segue le stesse leggi generali del moto libero in caduta verticale e quindi che un corpo passa con continuità dallo stato di quiete, quando il piano è orizzontale alla condizione di massima rapi-

dità, se il piano è verticale e quindi il moto è libero<sup>80</sup>;

b) qualunque sia la legge del moto, il risultato dipende dalla forza che agisce sul corpo, la quale rimane costante durante il moto (più avanti avvertirà: tolti tutti gli impedimenti<sup>81</sup>);

c) questa forza è uguale a quella necessaria per sostenere il corpo sul piano e può essere misurata con la bilancia.



<sup>77</sup> G.G., vol I, pp. 296-302.

<sup>78</sup> Ad onor del vero, lo aveva anticipato, con una soluzione, straordinariamente intelligente e moderna, basata sull'impossibilità del moto perpetuo, Simon Stevin, in un trattato scritto in olandese e pubblicato a Leyden nel 1586 con il titolo *De beghinselen der veeghconst beschreven dver*. Il prof. Jan Lacki, che segue alcuni aspetti storici della mostra, mi ha informato che ragionamenti sul piano inclinato, simili a quelli di Galileo, sono stati espressi da MICHEL VARRO nel suo libro *De Motu Tractatus*, stampato a Ginevra nel 1584.

<sup>79</sup> G. GALILEI, *Le meccaniche*, Firenze 2002. Edizione critica, con ampia bibliografia; vi si vedano le considerazioni svolte da Romano Gatto, che tratta a lungo anche del contributo di Cardano.

<sup>80</sup> È importante che si faccia attenzione agli avverbi *facilius et celerius*, che Galileo usa per il moto in relazione al variare dell'inclinazione. Stanno a significare che egli non pensa di poter trovare una legge, del tipo « $s(t)$  = funzione del tempo» che descriva il moto nel suo svolgersi, una meta che in quel momento è irraggiungibile. La velocità di cui parla è l'aristotelica: è più veloce quello che percorre una distanza prefissata in meno tempo. Nel piano inclinato, il percorso è sempre lo stesso in lunghezza: quando aumenta l'inclinazione il corpo impiega meno tempo a percorrerlo, quindi si muove più velocemente. Galileo vuole determinare il rapporto tra i tempi nel percorrere i piani *ba*, *bd*, *be* della figura: «queritur insuper quanto velocius per *ba* quam per *bd* et hic quam per *be*, mobile descendat» e si aspetta che alle domande, sul perché e sul quanto, sia possibile dare risposte che non dipendono dal tempo, valide per qualsiasi legge oraria  $s(t)$ .

<sup>81</sup> G.G., vol. I, pp. 298-299: «Ma questa dimostrazione deve essere intesa senza alcuna resistenza accidentale (asperità o del mobile o del piano inclinato, o anche la forma del mobile); ma si deve supporre che il piano è in un qualche modo incorporeo, o per lo meno duro e rifinito in maniera esattissima, affinché, il mobile pesando sopra il piano, non lo curvi, e, in qualche modo resti fermo, come in una cavità. È anche necessario che il mobile sia levigatissimo e con una forma che non faccia resistenza al movimento, quale è la sferica perfetta, e così pure di materia durissima, o fluida come l'acqua».

Diventa una semplice applicazione della legge della bilancia arrivare alla determinazione del fattore moltiplicativo<sup>82</sup> che regola il moto sul piano inclinato.

A Galileo occorre però far accettare due osservazioni fondamentali, valide nell'ipotesi che sia assente ogni forma di attrito:

1) la forza con cui si tiene fermo il corpo sul piano inclinato è uguale alla forza che agirà su di lui quando sarà lasciato. Ciò segue da un'osservazione fatta precedentemente studiando l'immersersi di un corpo nell'acqua: in caso di equilibrio la forza necessaria per tenere immerso un pezzo di legno è uguale alla spinta in su che il legno riceve dall'acqua a causa della diversa densità.

È senz'altro manifesto che il legno è portato su da tanta forza, quanta forza gli sarebbe necessaria per essere sommerso sotto l'acqua. (...) Ma una sfera di piombo è anche portata verso il basso, con la stessa forza, con la quale fa resistenza per non essere trascinato verso l'alto<sup>83</sup>.

È il principio di azione e reazione di Newton:

Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocunque mutaverit, idem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius ob æqualitatem pressionis mutuz) subibit. His actionibus æquales fiunt mutationes, non velocitatum sed motuum; scilicet in corporibus non aliunde impeditis. (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Auctore ISAACO NEWTONIO, ... Editio Secunda .... Cantabrigiæ MDCCXIII, pag. 12). [*traduzione*: Se qualche corpo, spingendo un altro corpo, per la propria forza cambierà in qualunque modo il suo moto, anche lui a sua volta subirà lo stesso cambiamento nel proprio moto verso la parte contraria (a causa dell'uguaglianza della mutua pressione). I cambiamenti dovuti a queste azioni sono uguali, non in velocità, ma in movimento; ben inteso nei corpi non altrimenti impediti]

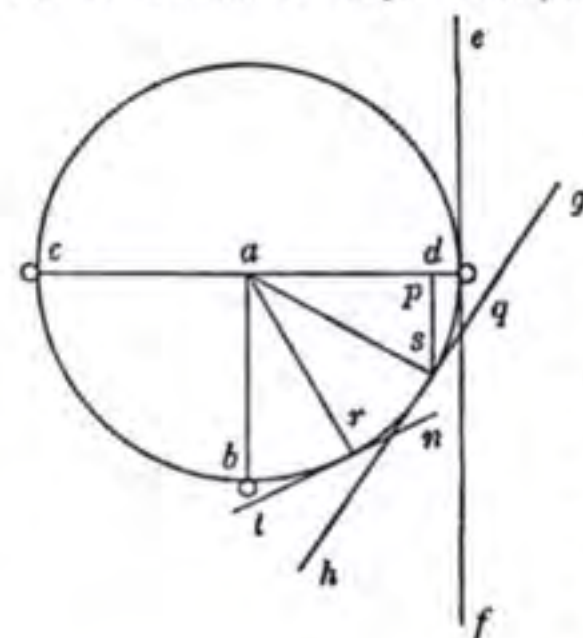
2) per far passare un corpo dallo stato di quiete a quello di moto è sufficiente applicare una forza minima, sia sul piano orizzontale sia su qualunque altro piano.

Se queste cose saranno così disposte, qualunque mobile sarà messo in moto da una forza minima sopra un piano parallelo all'orizzonte, anzi anche da una forza minore di qualunque altra forza<sup>84</sup>. E poiché ciò, sembra che abbastanza difficilmente possa essere creduto, sarà dimostrato con questa dimostrazione...

Con la seconda affermazione Galileo introduce implicitamente una forma di equazione dinamica  $f_r = \Delta v_r$ : una forza  $f_r$ , per piccola che sia, - osserva - mette sempre in moto un corpo, e non

solo sul piano orizzontale ma, come aveva affermato prima, su ogni piano, se si aggiunge in più a quella che lo sostiene.

La domanda che Galileo non poteva evitare di porre a sé stesso è questa: secondo la teoria della "virtù impressa" l'effetto della forza applicata ad un corpo, per un tempo, breve o lungo che sia, si esaurisce sempre. Non può non essersi chiesto che



cosa succede dopo che l'effetto della forza sia venuto meno, quando il corpo si muove senza resistenze su una superficie perpendicolare alla direzione della gravità. Si ferma? Se sì, cosa lo fa fermare? Se no, significa che continua con il moto acquisito.

A ben rifletterci, Galileo aveva già fatto molto cammino ed era prossimo ad arrivare

alla formulazione del principio d'inerzia.

Dopo queste premesse veniamo alla dimostrazione, anticipandone la conclusione: con la condizione che non ci sia attrito, la forza, che sostiene il corpo sul piano inclinato, misurata con la bilancia, è uguale ed opposta alla forza di gravità moltiplicata per un fattore di riduzione. L'espressione matematica che esprime il fattore di riduzione è semplicemente il rapporto tra l'altezza del piano inclinato e la sua lunghezza.

La dimostrazione procede osservando che la forza che spinge in basso il corpo può essere annullata collegandolo ad un braccio della bilancia e appesantendo l'altro braccio fino a raggiungere l'equilibrio.

Galileo si serve per questa dimostrazione di una bilancia di cui si può cambiare l'inclinazione di uno dei bracci, ovviamente aggiungendo opportuni pesi sul suo piatto, in maniera da mantenere in equilibrio la bilancia scarica. Perché questo avvenga, occorre mantenere uguale la distanza del centro di gravità di ognuno dei due bracci dalla verticale che passa per la sospensione. In questa maniera il braccio, reso mobile da una cerniera, può assumere inclinazioni diverse.

Per ogni posizione del braccio, la forza che sostiene il corpo è data dal peso, posto in *c*, che mette in equilibrio la bilancia. Ogni piccola variazione, in più o in meno, del peso in *c*, farà ruotare verso l'alto o verso il basso la bilancia e il corpo, posto all'altro braccio. Nell'istante iniziale coincidono le direzioni della circonferenza e della tangente. Piegando, dunque, il braccio in modo che sia tangente al piano inclinato, cosicché la

<sup>82</sup> Che si tratti di un fattore moltiplicativo era stato anticipato fin dal titolo con il termine *igitur de proportionibus motuum*.

<sup>83</sup> G.G., vol. I, pp. 274-275. "Iam manifestum est quod lignum fertur sursum tanta vi, quanta esset necessaria ad illud vi(s) sub aquam demergendum. (...) Sed eadem vi, qua sphaera plumbea resistit ne sursum trahatur, deorsum etiam fertur".

<sup>84</sup> Nonostante possa sembrare necessario doversi considerare la massa del corpo, è completamente vero che nel caso di un piano orizzontale, senza attrito, qualsivoglia piccola forza mette in movimento qualsiasi corpo di qualsivoglia massa. Naturalmente per dare una velocità rilevante occorrerà che una piccola forza agisca per un tempo sufficientemente lungo. La sentenza di Galileo, che non considera il tempo di azione della forza e neppure la velocità acquisita dal corpo, è qui perfettamente esatta anche alla luce della meccanica newtoniana.



bilancia, non ostacolata, può sostenere il corpo, se è opportunamente caricata da pesi nell'altro braccio, si prova facilmente che i pesi sul piatto *c* della bilancia stanno al peso del corpo inversamente alle loro distanze dalla verticale che passa per il centro della bilancia. Questo è tutto.

Si tratta di una bilancia di facile costruzione, ma di un esperimento difficilmente realizzabile. È pure vero che si possono fare le misure anche con una bilancia normale, se il peso è mantenuto fermo mediante un filo collegato alla bilancia attraverso una carrucola, in maniera che il filo si mantenga parallelo al piano inclinato fino alla carrucola e poi continui verticalmente verso il braccio. Quest'ultima disposizione è stata scelta nel modello esposto, nel quale la bilancia sorregge un cilindro sul piano inclinato.

Naturalmente, passando dalla teoria alla prova sperimentale, occorre avere molta attenzione e Galileo indica le difficoltà che si possono incontrare:

E queste cose che abbiamo dimostrato, come anche abbiamo detto prima, devono essere intese per mobili immuni da qualsiasi resistenza esterna: il che essendo forse impossibile trovare nella materia, non si meravigli taluno, che faccia prove del genere, se rimanga deluso dall'esperienza, ed una grande sfera, anche sul piano orizzontale, non possa essere mossa da una minima forza. Poiché, alle cause già dette si aggiunge anche questa: che non può in realtà esservi un piano equi-

distante dall'orizzonte. Infatti la superficie della terra è sferica e da essa non può equidistare un piano, tangente in un solo punto ad una sfera, se ci allontaniamo da questo punto sarà necessario ascendere; onde ben a ragione da tale punto la sfera non potrà essere spostata da qualunque minima forza.

E da ciò che è stato dimostrato, sarà facile ottenere la soluzione di alcuni problemi: ed essi sono questi.

Primo: dati due piani inclinati, dei quali sia uguale la discesa verticale, trovare la proporzione delle velocità di uno stesso mobile su di essi [...]

Risulta dunque evidente che le velocità del medesimo mobile lungo differenti inclinazioni sono tra di loro inversamente alle lunghezze delle discese oblique<sup>85</sup>, contenenti eguale discesa verticale.[...]

Altri problemi simili possono essere risolti [...]

Ma a bella posta passiamo sotto silenzio queste cose e cose simili, poiché facilmente possono essere ritrovate, da coloro che avessero compreso ciò che è stato detto prima;

Tra le cose che "passa sotto silenzio" sicuramente vi è il problema seguente: quali altezze e lunghezze devono avere due piani inclinati, perché sia uguale il tempo impiegato da un corpo a scendere?

La risposta è: i corpi impiegano lo stesso tempo a percorrere piani inclinati le cui lunghezze e altezze sono quelle di due corde tracciate dal punto più alto di una circonferenza verticale.

A questo problema, che possiamo far risalire al *De motu*, spesso è dato il nome di "teorema delle corde", ed è stato enunciato in una famosa lettera che Galileo scrisse a Guidobaldo del Monte nel 1602. L'applicazione pratica del teorema è affidata

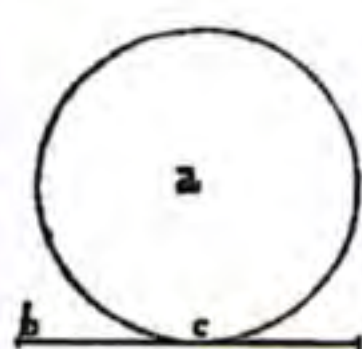


<sup>85</sup> Questo risultato è valido, in quanto la velocità aristotelica (velocità media) differisce da quella finale solo per un fattore 2.

ad un dispositivo, che abbiamo costruito seguendo il disegno di Carlo Alfonso Guadagni, che lo aveva fatto costruire per le sue lezioni di fisica e di cui si parlerà nella sezione dedicata agli strumenti galileiani.

Il moto di un corpo sopra un piano orizzontale e sopra un piano inclinato sono due temi che a Galileo erano stati ispirati da un altro grande scienziato.

Girolamo Cardano nel *Opus Novum* aveva trattato gli stessi argomenti nelle proposizioni 40 e 72. Anche se Galileo ha avuto il merito di correggerli e di estenderli, ritengo che sia giusto e doveroso nei confronti di Cardano far conoscere fino a dove questi era giunto:

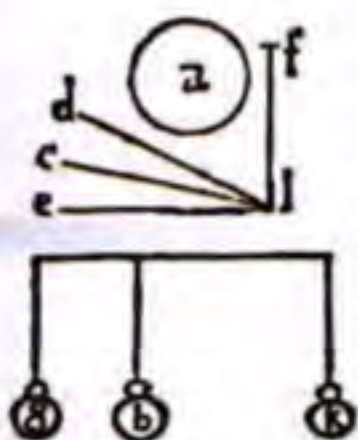


Proposizione quarantesima<sup>66</sup>

Ogni corpo sferico, che tocca un piano in un punto, è messo in moto da qualsiasi forza che può aprire un varco nel mezzo.

Sia *a* un corpo perfettamente sferico tangente al piano *b* nel punto *c* (questo infatti è necessario come è stato dimostrato da Euclide nella sedicesima Proposizione del terzo [libro] degli Elementi) sostengo che

sarà messo in movimento da una forza che sia capace di scindere l'aria. Infatti poiché non sale e non discende, ma si muove quasi in circolo intorno al centro del mondo, non porta peso. Neppure per le dimensioni del contatto, che è in un unico punto, dunque rimane solamente l'impedimento dell'aria. Da ciò è chiaro che il piano deve essere di materia durissima, che non ceda di modo alcuno, altrimenti [la sfera] tocca in più di un punto. Difficilmente può accadere che la sfera tocchi il piano in un punto, come nelle cose elementari, o perché il piano non sarà esattamente dritto, o non [sarà] duro che davvero non ceda, o non posto in equilibrio, oppure la sfera non sarà esattamente rotonda.



Proposizione settantaduesima<sup>67</sup>

Trovare il rapporto tra il peso della sfera sospesa e quello [della sfera] che sale su un piano inclinato

Sia una sfera [a di peso] uguale al peso *g* nel punto *b*, che debba essere tirata sopra *bc* inclinato rispetto al piano *be* [che è] perpendicolare al piano *bf*. Poiché dunque *a*, per le cose dette più sopra, è messa in moto su *bc* da qualsiasi forza modesta, sarà, secondo il comune modo di sentire, nulla la forza che muoverà *a* sopra *cb*. In verità, per le cose dette, *a* sarà sempre mossa fino a *f* da una forza costante uguale a

<sup>66</sup> G. CARDANO, *Opus Novum de proportionibus numerorum, motuum, ponderum, sonorum aliarumque rerum misurandarum, non solum geometrico more stabilitum, sed etiam variis experimentis & observationibus rerum in natura, solerti demonstratione illustratum, ad multiplices usus accomodatum, & in V libros digestum*, Basilea, 1570, liber V, pp. 41-42. I testi originali sono in latino.

<sup>67</sup> G. CARDANO, op. cit., liber V, pp. 63.

<sup>68</sup> A questo punto, una nota al testo richiama la proposizione trentunesima, il cui titolo è: *Ogni moto naturale in un mezzo uniforme è più forte alla fine che all'inizio, al contrario il violento.*

<sup>69</sup> Si riferisce al problema trentesimo delle Meccaniche di Aristotele: «Quando un corpo è già in movimento. Perché ciò che è già in movimento si muove più agevolmente rispetto a ciò che è fermo, come avviene per esempio per i carri, che quando sono in movimento possono essere spostati più rapidamente rispetto a quando cominciano a muoversi? [...] è assai difficoltoso mettere in movimento un corpo quando sia in quiete: oppone infatti resistenza anche ciò che è in quiete. Ma quando un corpo è già in movimento nella medesima direzione di chi spinge, provoca il medesimo effetto che si avrebbe se venisse accresciuta la forza e la velocità del motore. Infatti muovendosi in avanti provoca già da sé il medesimo effetto che dovrebbe subire dal motore.» Aristotele, *Problemi meccanici*, a cura di M.E. BOTTECCHIA DEHÒ, Soveria Mannelli 2000.

*g*, & sopra *bc* da una forza costante uguale a *k*, così come sopra *bd* da una forza costante uguale ad *h*, dunque per l'ultima richiesta, in cui i punti estremi conservano alle parti il medesimo rapporto che ciascuno per sé, e il moto lungo *bc* avviene senza forza alcuna, il rapporto tra *g* a *k* sarà come il rapporto tra la forza che muove lungo *bfc* la forza che muove lungo *bc*, e come tra l'angolo *ebf* retto e l'angolo *ebc*, & così tra la forza, che muove *a* lungo *bf*, che è, come si è [il triangolo] *cbf* a *cbd*: dunque il rapporto tra la difficoltà del moto di *a* lungo *bd* alla [difficoltà] dello stesso *a* per *bc*, è come *h* a *k*, come si doveva dimostrare.

Cardano afferma – senza argomenti di prova – che la forza necessaria per spostare una sfera lungo un piano inclinato sta alla forza necessaria per muoverla verticalmente come l'angolo che questi forma con il piano orizzontale sta all'angolo retto. Ne deduce che il rapporto tra le forze necessarie a muovere la sfera lungo due piani inclinati qualsiasi sta come gli angoli che formano con l'orizzonte. Era andato vicino alla soluzione, ma non era la soluzione.

Azione e reazione, con anche un accenno all'inerzia, si ritrovano in Cardano, come ne fa fede il seguente passo, in cui si serve del termine *motus occultus* di sua invenzione, per indicare il moto dovuto alla *gravitas* o alla *levitas*:

Proposizione trantaduesima



Ogni corpo tanto resiste al moto contrario al suo naturale, quanto è mosso dalla quiete dal moto occulto. Sia un corpo *a* in riposo sul pavimento *b*, ed è mosso al suo interno dal moto occulto verso il centro, come si è visto prima. Si verifica un movimento contrario ad esso verso *c*: se dunque *a* sta in quiete in *c*, è mosso verso *b* da una

certa forza per moto occulto; dunque lui stesso fa resistenza, perché non sia tirato verso *c*. Però [quel moto] è manifesto, perché questo moto occulto è meno manifesto. Da ciò risulta evidente perché le navi ed i carri all'inizio sono messi in moto lentamente e con difficoltà; cresce il moto quando cominciano a muoversi<sup>68</sup>: poiché resistono a causa del moto occulto naturale, che è massimo quando stanno in riposo, come insegnava il Filosofo [Aristotele] nelle meccaniche<sup>69</sup>, infatti quello è il moto naturale e perciò opposto al violento: per cui quando ormai si muove meno di modo violento, si muove di modo naturale, e dunque fa meno resistenza. Verrà infatti dichiarato dopo, che tutto ciò che è mosso da due moti tanto meno è mosso da uno quanto più [è mosso] dall'altro.

Ma Aristotele aveva detto – meglio – le stesse cose.

## 1.10 RICORDI E CIMELI GALILEIANI A PISA

### A) la lettera a fra Paolo Sarpi del 1604

Il cimelio più importante conservato a Pisa è la lettera che Galileo scrisse a fra Paolo Sarpi quattrocento anni fa. Ne fece dono alla Biblioteca Universitaria di Pisa il senatore Luigi Torelli, Prefetto di Pisa, nel febbraio 1864, in occasione delle celebrazioni<sup>90</sup> del terzo centenario della nascita di Galileo

a  
b  
c  
d

Molto Rev.<sup>do</sup> Sig.<sup>no</sup> et Pad.<sup>no</sup> Col.<sup>mo</sup>

Ripensando circa le cose del moto, nelle quali, per dimostrare li accidenti da me osservati, mi mancava principio totalmente indubitabile da poter porlo per assioma, mi son ridotto ad una proposizione la quale ha molto del naturale et dell'evidente; et questa supposta, dimostro poi il resto, cioè gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari *ab unitate*, et le altre cose. Et il principio è questo: che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportion che si discosta dal principio del suo moto; come, v. g., cadendo il grave dal termine *a* per la linea *abcd*, suppongo che il grado di velocità che ha in *c* al grado di velocità che hebbe in *b* esser come la distanza *ca* alla distanza *ba*, et così conseguentemente in *d* haver grado di velocità maggiore che in *c* secondo che la distanza *da* è maggiore della *ca*.

Haverò caro che V. S. molto R.<sup>da</sup> lo consideri un poco, et me ne dica il suo parere. Et se accettiamo questo principio, non pur dimostriamo, come ho detto, le altre conclusioni,

ma credo che haviamo anco assai in mano per mostrare che il cadente naturale et il proietto violento passino per le medesime proporzioni di velocità. Imperò che se il proietto vien gettato dal termine *d* al termine *a*, è manifesto che nel punto *d* ha grado di impeto potente a spingerlo sino al termine *a*, et non più; et quando il medesimo proietto è in *c*, è chiaro che è congiunto con grado di impeto potente a spingerlo sino al medesimo termine *a*; et parimente il grado d'impeto in *b* basta per spingerlo in *a*: onde è manifesto, l'impeto nei punti *d*, *c*, *b* andar decrescendo secondo le proporzioni delle linee *da*, *ca*, *ba*; onde, se secondo le medesime va nella caduta naturale acquistando gradi di velocità, è vero quanto ho detto et creduto sin qui.

Quanto all'esperienza della freccia, credo che nel cadere acquisterà pari forza a quella con che fu spinta, come con altri esempi parleremo a bocca, bisognandomi esser costà avanti Ognisanti. Intanto la prego a pensare un poco sopra il predetto principio.

Quanto all'altro problema proposto da lei, credo che i medesimi mobili riceveranno ambedue la medesima virtù, la quale però non opererà in ambedue il medesimo effetto: come, v. g., il medesimo huomo, vogando, comunica la sua virtù ad una gondola et ad una peotta, sendo l'una et l'altra capace anco di maggiore; ma non segue nell'una et nell'altra il medesimo effetto circa la velocità o distanza d'intervallo per lo quale si muovino.

Scrivo al scuro: questo poco basti più per satisfare al debito della risposta che al debito della soluzione, rimettendomi a parlarne a bocca in breve. Et con ogni reverenza li bacio le mani.

Di Padova, li 16 di Ottobre 1604. Di V. S. molto R. da Ser. re Oblig.mo

Galileo Galilei.

<sup>90</sup> Si veda: *Il terzo centenario di Galileo. Narrazione istorica del prof. Salvatore De Benedetti*, Pisa 1864, pp. 14, 36.

La lettera è un esempio della straordinaria prosa galileiana: «Gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi». È in parole l'espressione matematica  $s = t^2$  che s'impara al liceo: un corpo cade liberamente, per effetto della sola gravità, percorrendo spazii proporzionali al quadrato dei tempi.

Su quali basi si può affermare che è la prima legge della storia della fisica e che questa scoperta fa di Galileo il padre della fisica sperimentale?

Tra le sue carte più antiche, in una nota non datata ma probabilmente contemporanea con questa lettera<sup>91</sup>, giacché Galileo si serve quasi delle stesse espressioni, si trova scritto:

Le distanze dunque dal principio del moto sono come i quadrati de i tempi e, dividendo gli spazii passati in tempi eguali sono come i numeri impari ab unitate: che risponde a quello che ho sempre detto e con esperienze osservato: e così tutti i veri si rispondono.

La legge, dunque, ha una origine sperimentale: «quello che ho sempre detto e con esperienze osservato». Quel *sempre* conferma che Galileo stava conducendo da molto tempo esperimenti sul moto naturale.

La lettera e la nota, insieme, ci dicono qualcosa di più: Galileo nei suoi esperimenti si è servito di uno strumento molto preciso per misurare il tempo: il pendolo. Con il pendolo si ha a disposizione un misuratore di successive durate sempre uguali. Ma sappiamo dell'altro: l'evidenza della dipendenza quadratica dal tempo Galileo la ottiene *dividendo gli spazii passati in tempi eguali* e osservando che i successivi spazii percorsi differiscono tra loro come la serie dei numeri dispari a partire da uno, e così tutti i veri si rispondono.

La serie dei numeri dispari come risultato della differenza dei quadrati di due numeri naturali successivi:  $(n+1)^2 - n^2 = 2n+1$ , si trova già nel matematico pisano Leonardo Fibonacci<sup>92</sup>. Per Galileo è garanzia di certezza, perché fin dal tempo del *De motu* gli è chiaro che la provvida natura non opera a caso e a piacere ma, come ha scritto nel *Saggiatore*<sup>93</sup>:

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.

In che modo poteva Galileo misurare con precisione gli spazii percorsi durante un numero sufficiente di successive oscillazioni del pendolo? Possiamo immaginare il pendolo lungo circa

mezzo braccio, le cui oscillazioni semplici potevano durare circa un secondo. È difficile servirsi con precisione di un pendolo più corto. Galileo, forse fin dal tempo in cui faceva esperimenti a Pisa, aveva visto come è difficile fare misure dello spazio percorso, lasciando cadere una sfera dall'alto. Senza dubbio, dunque, Galileo faceva i suoi esperimenti sul piano inclinato. I miei studenti di storia della fisica sono tra i pochi, credo, che hanno ripetuto l'esperimento ed hanno potuto constatare la delicatezza delle misure. Come sempre, il problema è la certezza della coincidenza tra inizio e fine delle oscillazioni del pendolo e inizio e fine dello scendere della sfera lungo il canale guida, scavato nel piano. Le coincidenze per gli studenti erano segnalate dalla simultaneità dei due suoni, dovuti all'urto della pallina contro un traguardo e del pendolo contro un ostacolo frapposto opportunamente. Hanno ripetuto tante volte le scese, fino ad avere la certezza dell'unisono: allora hanno misurato con calma e precisione lo spazio percorso.

Così doveva avere sperimentato Galileo. Così deve aver visto che la dipendenza quadratica dal tempo si manteneva con il variare dell'angolo, e da ciò quindi aveva dedotto che la legge valeva anche nella caduta libera in verticale.

È con osservazioni di questo tipo che Galileo acquista la certezza di aver trovato la legge seguita dalla natura. È una legge sperimentale, e qui compie un ulteriore progresso di metodo. A Galileo non basta descrivere il moto sul piano inclinato: vuole trovare un principio comune a tutti i moti, arrivare alla teoria: «mi mancava principio totalmente indubitabile da poter porlo per assioma»; ha ormai chiaro che l'importante è conoscere come varia la velocità istante per istante. Questo principio lo enuncia così nella nota che abbiamo citato

Io suppongo (e forse potrò dimostrarlo) che il grave cadente naturalmente vada continuamente accrescendo la sua velocità secondo che accresce la distanza dal termine onde si partì...

Poi aggiunge prima di affrontare la dimostrazione (errata come lo è il principio da lui supposto):

Questo principio mi par molto naturale, e che risponda a tutte le esperienze che veggiamo negli strumenti e machine che operano percotendo, dove il percuziente fa tanto maggior effetto, quanto da più grande altezza casca: e supposto questo principio, dimostrerò il resto.

Si tratta della "forza della percossa" come la chiamerà in seguito, un problema denso di possibili scoperte, su cui tornerà alla fine della sua vita, in un capitolo che non fece a tempo a pubblicare nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*.

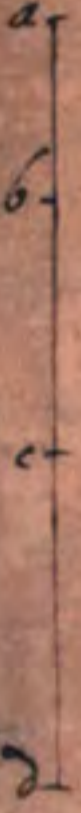
<sup>91</sup> G.G., vol. VIII, pp. 373-374 e Biblioteca Nazionale di Firenze; MS Gal 72, carte 128r e 128 v.

<sup>92</sup> *Il libro dei quadrati di Leonardo Pisano*, Physis, anno XXI(1979), p. 211: «Io ò chonsiderato sopra l'origine di tutti i numeri quadrati e ò trovato quella venire dalla ordinata ascensione de' numeri imparj. Inperò che unità è quadrata e di quella è fatta [sic] el primo quadrato, cioè a uno. Al quale agunto .3, fanno el sechondo quadrato, cioè .4, la cui radice è .2; al quale quadrato se s'aggiugne al terzo numero imparj, cioè .5, si crierà el terzo numero quadrato, cioè .9, del quale la radice è .3. E chosì senpre, per l'ordinata chongiuntione de' numeri imparj ne proviene l'ordinatione de' numeri quadrati.»

<sup>93</sup> G.G., vol. VI, p. 232.

ms. 936  
n. 936

M. Rea. Sig. Et. Pav. 198  
278



Ripensando circa le cose del moto nelle quali si dimostrano li  
 accidenti da me conuenuti mi moueua principio talora inuolun-  
 tariamente da poter farlo p. offina, mi fo ridotto ad una pro-  
 posizione la quale ha molto del naturale et dell' euidente  
 et questa p. p. p. di nostro per il resto, cio' e gli spazij  
 passati dal moto naturale esser ~~come~~ in proporzione  
 doppia de i tempi, et e' diseguale gli spazij passati in tempi  
 equali esser come i nu. <sup>2</sup> Elari ad unitate, et hauer cose.  
 Et il principio e' questo, che il mobile naturale uadia  
 crescendo di uelocita' da quella proporzione che si discosta  
 dal principio del suo moto; come v.g. cadendo il grave  
 dal termine a. e' la linea abcd sull'orizzonte che il grado  
 di uelocita' che ha e' al grado di uelocita' che ha in  
 b. esser come la distanza ca alla distanza ba. et co-  
 sequentemente in d hauer grado di uelocita' maggiore che  
 in c. secondo che la distanza da e' maggiore della ca.  
 Hauer cose che u. s. m. p. da lo d. d. d. in loco et non e'  
 in il suo parere. Et se accettiamo questo principio ad p.  
 dimostriamo, come lo detto e' altre Solutioni, ma credo che  
 haueremo uno assai e' meno e' notbare, che il cadente na-  
 turale et il traietto uoluto fatto e' come. <sup>due</sup> proporzioni  
 di uelocita'. Impero che, se il traietto uie' gettato dal termi-  
 ne d. al termine a, e' manifesto che nel punto a ha grado  
 di uelocita' totale a' spingerlo fino al termine a et no' fia; et  
 quando il med. traietto e' in c. e' chiaro che e' eguale ad  
 grado di uelocita' totale a' spingerlo fino al med. termine a et hauer  
 mente il grado d'impeto in c. basta a' spingerlo in a. Et e' ma-  
 nifesto. Impero nei punti a. c. b. andar decrescendo

Lettera a fra Paolo Sarpi  
Biblioteca Universitaria di Pisa, deposito presso la Domus Galilaiana



porioni delle linee da. ca. ba. onde se secondo la med.  
 na nella caduta nate acquistando grad. di velocità;  
 e' vero quanto ho letto et creduto si qui. Quanto all'  
 esperienza della Grecia, credo che nel cadere acquisterà  
 pari forza a quella di et si spita come di altri esempi  
 parleremo a bocca bisognandomi esser costà auati ogni sat.  
 Intanto la prego a pensare a loco sopra il predetto prec.  
 Quato all'altro problema proposto da lei credo che i  
 med. moti riceveranno ambedue la med. virtù, la  
 quale per se ad opera e ambedue il med. effetto, come  
 v.g. il med. fuoco uogando comunica la sua virtù  
 ad una galletta, et ad una scotta, sendo l'una et l'altra  
 apparenze di maggiore; ma non segue nell'una et nell'  
 altra il med. effetto circa la velocità, o di tempo  
 d'intervallo il quale si misurou. Semuo al scuro  
 questo poco basti più a satisfare al debito della ris-  
 posta che al debito della relatione, rimettendomi a  
 parlarne a bocca breue; et ad ogni voi. li. b. l. ma  
 m. di Lada li. b. di S. b. b. b.

Di V. M. P.

Galileo Galilei

Galileo Galilei

Il principio che la velocità aumenta in proporzione allo spazio era errato; se n'accorse e si corresse nei *Discorsi*. Ma non volle nascondere il suo errore, anzi volle richiamare l'attenzione su di esso.

Nei *Discorsi* mise in bocca a Sagredo l'ipotesi che la velocità cresce con lo spazio percorso (e non con il tempo!) per fare poi rispondere così da Salviati:

Io mi consolo assai d'aver avuto un tanto compagno nell'errore: e più vi dirò che il vostro discorso ha tanto del verisimile e del probabile che il nostro medesimo Autore [Galileo] non mi negò, quando io glielo proposi, d'esser egli ancora stato per qualche tempo nella medesima fallacia. Ma quello di che io poi sommamente mi meravigliai, fu il vedere scoprir con quattro semplicissime parole, non pur false, ma impossibili due proposizioni che hanno del verosimile tanto, che avendole io proposte a molti, non ho trovato chi liberamente non me l'ammettesse.

Con quanto garbo Galileo riesce a segnalare al lettore la novità e l'originalità della sua scoperta e che il verosimile e il naturale non sono sempre gli strumenti più sicuri per raggiungere il vero, come invece lo sono le *sensate esperienze!*

Cosa avrebbe scritto Galileo nel 1638, se avesse saputo che quattordici anni dopo la sua lettera al Sarpi lo stesso errore lo avrebbe compiuto René Descartes insieme ad Isaac Beeckman? E che loro non si sarebbero mai più corretti? E cosa avrebbe detto, se avesse potuto prevedere che tre secoli e mezzo dopo un critico<sup>94</sup> avrebbe scritto:

Galileo [...] fu costretto a rinunciare alla percezione dei sensi come fonte di conoscenza e a dichiarare che la conoscenza intellettuale e aprioristica è la nostra base e l'unico mezzo per conoscere l'essenza della realtà.

#### B) Il libro e lo strumento, con cui Galileo inaugura l'era del calcolo meccanico

Un libro, che per la sua estrema rarità, può essere considerato un cimelio prezioso, è conservato presso la Domus Galilæiana di Pisa. Si tratta di un breve trattato con le istruzioni per l'uso di uno strumento di sua invenzione, il compasso, che è la prima vera macchina da calcolare, un apparecchio che fece costruire in serie, capace di realizzare molte operazioni matematiche, geometriche, di calcolo mercantile ecc.

Galileo aveva fatto stampare il libro nel 1606 a Padova in 60 copie, a casa sua, come si legge nel frontespizio, e lo aveva dedicato al giovane Cosimo de' Medici, erede del Granducato di Toscana e suo discepolo. Il motivo che aveva spinto Galileo a mandare in stampa, per la prima volta, una sua opera era il timore, o meglio il sentore che qualcuno si accingeva ad ap-

propriarsi dell'invenzione, cosa puntualmente avvenuta pochi mesi dopo.

Un giovane milanese, che studiava medicina a Padova, Baldas-



sarre Capra, spinto da un membro della Nazione Germanica Artista dello Studio di Padova, Simon Mayr<sup>95</sup>, l'anno seguente pubblicò un trattato in latino sull'uso del compasso<sup>96</sup>, un plagio che costrinse Galileo a presentare un aggravio davanti al tribunale dei Riformatori dello Studio di Padova. Costoro nel maggio del 1607 ordinarono la requisizione degli esemplari stampati, che erano in tutto 483 copie e la soppressione del libro.

Del libro del Capra si salvarono solo trenta esemplari, perché il giovane le aveva distribuite per diverse parti d'Europa. La diffusione di queste poche copie costrinse Galileo a stampare il suo primo libro di polemica scientifica, *la Difesa di Galileo ... contro alle Calunnie ed imposture di Baldassar Capra Milanese ...*, la sua seconda opera a stampa, poco conosciuto perché difficile da trovare<sup>97</sup>, ma che è di lettura piacevolissima.

<sup>94</sup> A. KOYRÉ, *Introduzione a Platone*, Firenze 1973, p. 162.

<sup>95</sup> Il MAYR si mostrò sempre avverso a Galileo. Aveva scritto un libello contro Galileo in occasione della Nuova Stella del 1604: le *Considerationi astronomiche*, e aveva spinto il Capra a stamparlo con il proprio nome. In seguito rivendicò contro di lui di aver osservato per primo i satelliti di Giove nel suo: *Mundus Jovialis anno M.DC.IX detectus ope perspicilli belgici ...*, Norimberga 1614.

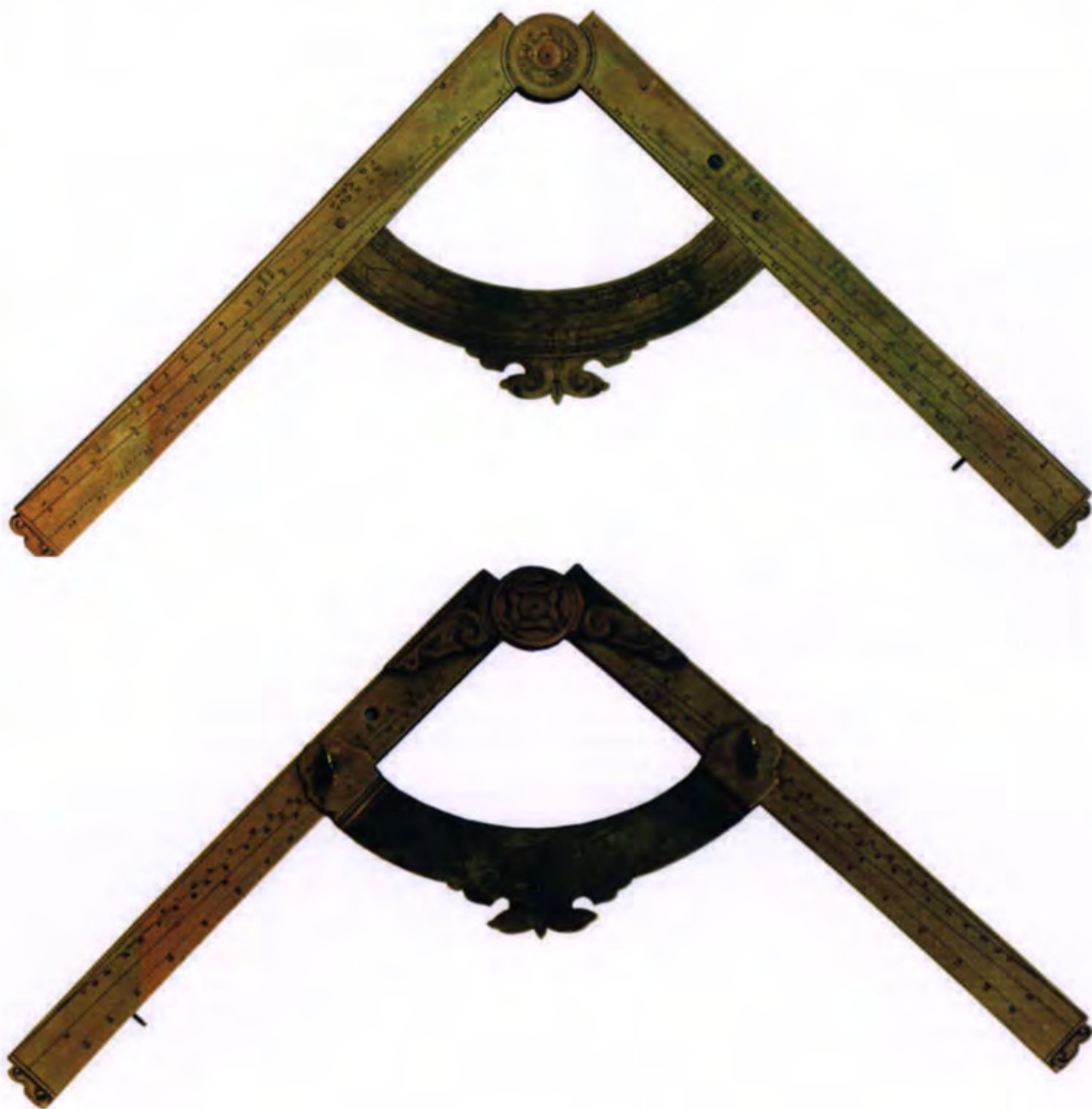
<sup>96</sup> *Usus et fabrica circini cuiusdam proportionis, per quem omnia fere tum Euclidis, tum Mathematicorum omnium problemata facili negotio resolvuntur, opera, et studio Balthasaris Caprae nobilis mediolanensis explicata.*

<sup>97</sup> Si veda però *Il compasso geometrico e militare di Galileo Galilei. Testi, annotazioni e disputa negli scritti di G. Galilei, M. Bernegger e B. Capra*, a cura di ROBERTO VERGARA CAFFARELLI, Pisa 1992.

A Pisa vi è un cimelio, ancor più raro del libro, ed è il compasso stesso, uno dei tre esemplari esistenti in Italia. Proviene dalla collezione Casi ed è stato acquistato recentemente dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa e dato in comodato al Museo degli Strumenti per il Calcolo. Gli altri due esemplari sono all'Istituto e Museo di Storia della Scienza a Firenze e ai

Musei Civici del Castello Sforzesco a Milano.

Il compasso galileiano è il punto di arrivo di prototipi cinquecenteschi molto elementari, dovuti a vari autori, ed è il capostipite di tutti i tentativi che nei due secoli successivi saranno fatti per automatizzare le operazioni di calcolo.



*Compasso galileiano*  
Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa (ex collezione Casi)

L'Istituto e Museo della Scienza di Firenze ha realizzato quest'anno un multimediale, la cui versione semplificata è stata messa in internet, con cui è possibile usare il compasso in maniera realistica. Il prodotto include una riproduzione in cartone e una pubblicazione che lo presenta dal punto di vista storico e tecnico.

### C) Galileo filosofo e matematico primario del Granduca

Il 7 maggio 1610 Galileo scrisse a Belisario Vinta, segretario di Stato del Granduca la lettera in cui precisava le condizioni per tornare a Firenze.

Et dovendo trapassare quelli anni che mi restano o qui o in Firenze, secondo che piacerà al nostro Ser.mo Signore, io dirò a V. S. Ill.ma quello che ho qui, et quello che desidererei costà, rimettendomi però sempre al comandamento di S. A. S.

Qui ho di stipendio fermo fiorini 1000 l'anno in vita mia, et questi sicurissimi, venendomi da un principe immortale et immutabile. Più di altrettanto posso guadagnarmi da lezioni private, tuttavolta che io voglia leggere a signori oltramontani; et quando io fussi inclinato a gl'avanzi, tutto questo et più ancora potrei mettere da canto ogn'anno col tenere gentil'huomini scolari in casa, col soldo de i quali potrei largamente mantenerla. In oltre, l'obbligo mio non mi tien legato più di 60 mez'hore dell'anno, et questo tempo non così strettamente, che per qualunque mio impedimento io non possa, senza alcun pregiudizio, interpor anco molti giorni vacui: il resto del tempo sono liberissimo, et assolutamente mei iuris. Ma perchè et le lezioni private et gli scolari domestici mi sariano d'impedimento et ritardanza a i miei studii, voglio da questi totalmente, et in gran parte da quelle, vivere esente; però, quando io dovessi ripatriarmi, desidererei che la prima intenzione di S. A. S. fusse di darmi otio et comodità di potere tirare a fine le mie opere, senza occuparmi in leggere.[...]

Nè vorrei che per ciò credesse S. A. che le mie fatiche fussero per esser men profittevoli agli studiosi della professione, anzi assolutamente sariano più; perchè nelle pubbliche lezioni non si può leggere altro che i primi elementi, per il che molti sono idonei; et tal lettura è solo di impedimento et di niuno aiuto al condurre a fine le opere mie, le quali tra le cose della professione credo che non terranno l'ultimo luogo. Per simile rispetto, sì come io reputerei sempre a mia somma gloria il poter leggere a i Principi, così all'incontro non vorrei haver necessità di leggere ad altri. [...]

Finalmente, quanto al titolo et pretesto del mio servizio, io desidererei, oltre al nome di Matematico, che S. A. ci aggiugnese quello di Filosofo, professando io di havere studiato più anni in filosofia, che mesi in matematica pura. [...]

Ebbe tutto questo con un rescritto<sup>98</sup> di Cosimo II, datato 10 luglio 1610:

Mag.co nostro Dilett.mo

L'eminenza della vostra dottrina et della valorosa vostra sufficienza,

accompagnata da singolar bontà nelle matematiche et nella filosofia, et l'ossequentissima affezione, vassallaggio, et servitù che ci havete dimostra sempre, ci hanno fatto desiderare di havervi appresso di noi; et voi a rincontro ci havete fatto sempre dire che, ripatriandovi, havereste ricevuto per sodisfazione et grazia grandissima di poter venire a servirci del continuo, non solo di Primario Matematico del nostro Studio di Pisa, ma di proprio Primario Matematico et Filosofo della nostra persona: onde, essendoci risolti di havervi qua, vi habbiamo eletto et deputato per Primario Matematico del suddetto nostro Studio, et per proprio nostro Primario Matematico et Filosofo; et come a tale habbiamo comandato et comandiamo a chiunque s'appartiene de' nostri Ministri, che vi diano provisione et stipendio di mille scudi, moneta fiorentina, per ciascun anno, da cominciarvisi a pagare dal dì che arriverete qui in Firenze per servirci, sodisfacendovisi ogni semestre la rata, et senza obbligo d'habitare in Pisa, nè di leggersi, se non honorariamente, quando piacesse a voi, o ve lo comettessimo espressa et straordinariamente noi, per nostro gusto o di Principi o Signori forastieri che venissino; risedendo voi per l'ordinario qui in Firenze, et proseguendo le perfezioni de' vostri studii et delle vostre fatiche, con obligazion però di venir da noi dovunque saremo, anche fuor di Firenze, sempre che vi chiameremo. Et il Signore Iddio vi conservi et contenti.

Galileo aveva ottenuto ciò che più desiderava: un buon stipendio, che gli sarà pagato a vita dall'Università di Pisa, l'esenzione dall'obbligo di tener lezioni, tempo libero per portare a termine le sue opere. Il lettore delle matematiche a Pisa era Antonio Santucci, chiamato nel 1600, il quale tenne la cattedra fino al 1613, quando, ritiratosi, ad essa venne nominato Benedetto Castelli, il più fidato discepolo di Galileo. Particolare interessante: non si conoscono lezioni di Galileo a Pisa e si può anche capire il dubbio che fu avanzato nel 1629 sulla legittimità dei suoi pagamenti, che gli erano fatti con risorse provenienti dalle decime ecclesiastiche concesse per il mantenimento dello Studio Pisano. Il consulto<sup>99</sup> che ne scaturì fu completamente favorevole e offre lo spunto per apprendere quali attività didattiche effettivamente svolse Galileo dopo il suo ritorno a Firenze:

A questa carica ha egli pienamente sodisfatto per tutto questo tempo, mentre ha letto, primieramente, per molti anni all'istesso Ser.o Gran Duca Cosimo; secondariamente, per altro lungo tempo al S. Principe Don Francesco di felice memoria; terzo, per molti anni al S. Principe D. Lorenzo. Di più, ha, dopo il suo ritorno in Firenze, sì con la propria conferenza come con letture continuate di suoi discepoli, instruiti con notabili progressi gran numero di gentilhuomini principali, rinnovando questo nobilissimo Studio, già quasi del tutto derelitto; et oltre a questo, due pur suoi discepoli, l'uno, il molto Rever.o P.D. Benedetto Castelli, ha letto per 8 anni nello Studio di Pisa, e l'altro di presente legge da tre anni in qua, che è il molto Ecc.o S.r Niccolò Aggiunti: e tutte queste fatiche ha egli fatte gratis, e solo come lettor deputato per lo studio di Pisa.[...]

<sup>98</sup> G.G., vol. X, p. 324.

<sup>99</sup> G.G., vol. XIX, pp. 487-490.

Che questa honorevolezza e reputazione, che arrecano alle Università gli huomini insigni nelle arti, sia da stimarsi e premiarsi più che le lezioni particolari delle cattedre, lo intendono e confessano gli stessi promotori dello scrupolo, e però dicono che interamente sarebbe rimosso ogni aggravio di coscienza al Ser.o Gran Duca, quando il Sig.r Galileo, trasferendosi a Pisa, leggesse due o tre lezioni l'anno, per reputazione sua e dello Studio. A questo io rispondo, che il Sig.r Galileo non recusa di leggere in Pisa attualmente per odio o repugnanza che gli habbia a simil lettura, ma per altri degni rispetti, benissimo saputi da Sua Altezza e da me, e da conferirsi a quelli che sopra la vertente materia, vorranno dar loro parere, senza scriverli qui al presente. [...]

Galileo dunque non tenne mai lezioni dalla cattedra a Pisa, ma certamente vi passò qualche tempo, di volta in volta, quando la corte veniva a svernarvi. Il motivo addotto era stato svelato nello stesso parere, ed è così importante che lo trascriviamo interamente:

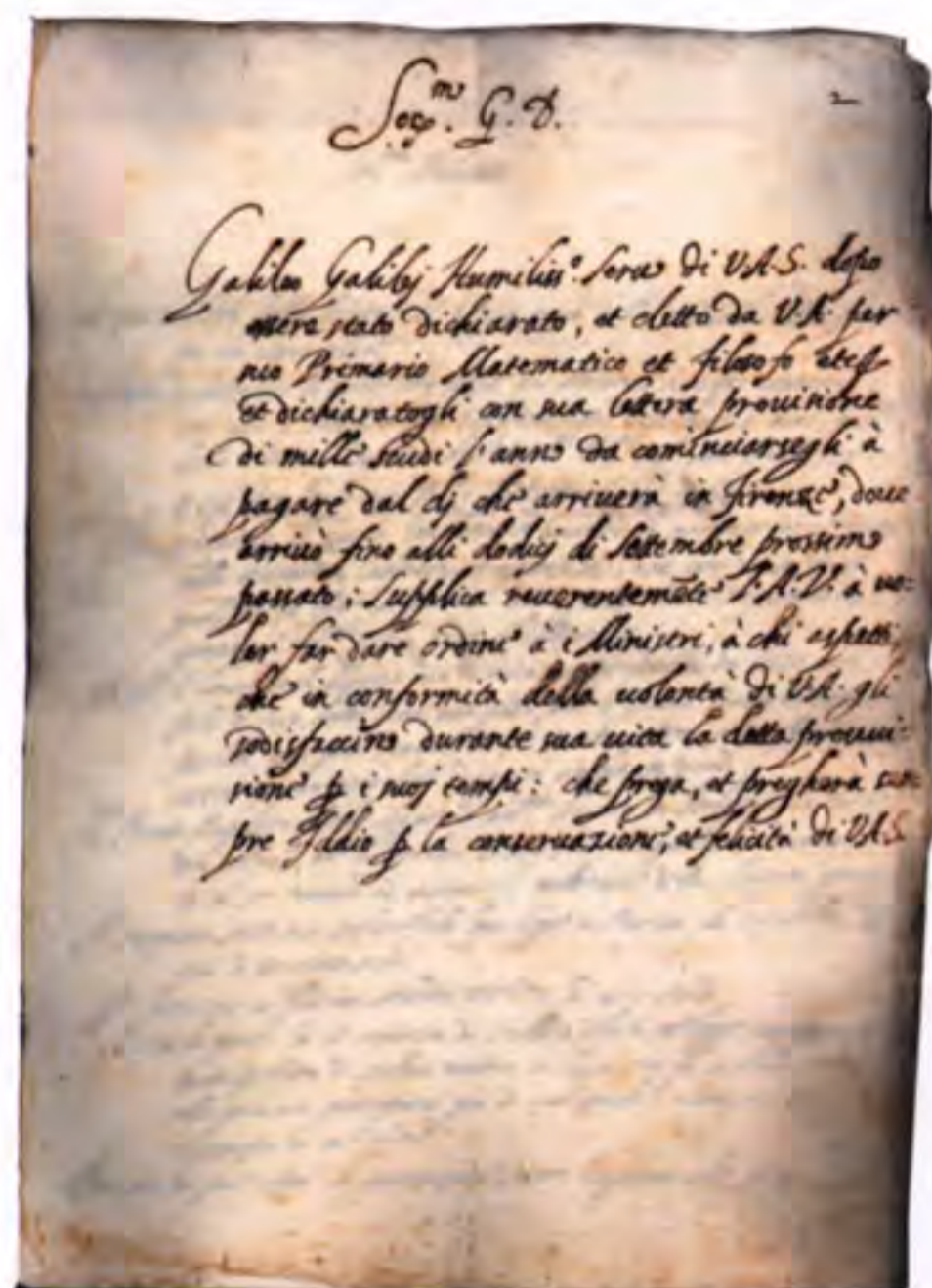
Hora, perch'io so, e sallo il Ser.o Gran Duca e molti altri suoi amici famigliari, e può saperlo chiunque saper lo volesse, che il Sig.r Galileo ha per le mani, et è sul condurle a fine per publicarle, tre opere della professione, assai più da stimarsi dell'altre sue publicate sin hora, e per dargli l'ultima mano ha bisogno di una quiete non interrotta; io ben moverei scrupolo a S.A.S. quando, per mandarlo a legger a Pisa quei primi elementi che soli si possono leggere a' scolari dalla cattedra, gli interrompesse la raccolta de i frutti delle sue maggiori fatiche, le quali possono e sono per arrecare utilità incomparabilmente maggiore non solo a gli studenti di Pisa, ma a quelli di tutte le Accademie, e reputazione grandissima allo Studio di Pisa, con l'intitolarsi ne i suoi libri lettore primario di quello Studio, come anco nominandosi per tale sopra i ruoli che escono di anno in anno fuori.

Chiarito dunque il rapporto tra Galileo e l'Università, riprendiamo il discorso da quando Galileo arriva a Firenze nel settembre del 1610 e non tarda ad iniziare le pratiche per lo stipendio, indirizzando per via gerarchica questa richiesta<sup>100</sup>:

Ser.<sup>mo</sup> Gran Duca,

Galileo Galilei, umilissimo servo di V. A. S., dopo essere stato dichiarato et eletto da V. A. per suo Primario Matematico et Filosofo etc., et dichiaratogli, con sua lettera, provisione di mille scudi l'anno, da cominciaregli a pagare dal dì che arriverà in Firenze, dove arrivò fino alli dodici di Settembre prossimo passato, supplica reverentemente l'A. V. a voler far dare ordine a i ministri, a chi aspetti, che in conformità della volontà di V. A. gli sodisfaccino durante sua vita la detta provvisione per i suoi tempi: che prega et pregherà sempre Iddio per la conservazione et felicità di V. A. S.

Questo documento non potrà essere esposto perché cucito in un grande faldone contenente documenti che riguardano l'Università e viene presentato in facsimile.



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 17, c.2r.

Nella stessa situazione si trova l'altro documento, che riproduciamo, riguardante Benedetto Castelli, il primo grande scienziato della scuola galileiana. Si tratta della richiesta di essere chiamato alla cattedra che era stata di Galileo 25 anni prima:

Ser.<sup>mo</sup> Gran Duca.

D. Benedetto Castelli Monaco Cassinese in Badia devotissimo servo di V.A.S. sentendo esser rimasta vacante la Lettura della Matematica, et Astronomia nello Studio di Pisa, con ogni humiltà supplica l'Altezza Vostra che voglia restar servita di fargli grazia di

<sup>100</sup> G.G., vol X, pp. 356-357, e Arch. di Stato di Pisa. Archivio dell'Università, Negozi dello Studio di Pisa dal 1610 al 1612, Busta 17, car. 2. - Autografa.

tal Lettura, del qual favore, oltre al restargli obligatissimo. Preghe-  
rà sempre nelle sue orazioni Il Sig.re Iddio per ogni sua maggior  
grandezza, et felicità.

Il documento è controfirmato in data 19 settembre 1613 da  
Camillo Guidi, che era il segretario per gli affari dello Studio  
di Pisa, e porta il seguente rescritto, siglato dal Granduca:  
«Concedesili con stipendio di scudi centotrenta l'anno, come  
aveva il Santucci suo Predecessore».



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 18, c.200r.

L'Archivio di Stato di Pisa conserva molti documenti gali-  
leiani, riguardanti soprattutto l'Università di Pisa. Abbiamo  
scelto, tra questi, alcuni tra i più significativi mandati di pa-  
gamento, con quietanze rilasciate da Galileo, che iniziano  
subito nell'ottobre 1610 e cessano del tutto dopo il 1635. Nel primo  
mandato si legge:

Addì 31 di ottobre 1610  
Molto m. Niccolò Colucci Camarlingo della Dogana di Pisa. Pagate al Ecc.  
mo Sig. Galileo Galilei fiorent. Mattematico primario dello Studio di Pisa, et

di S.A.S., V<sup>o</sup> cento trenta otto di m[one]ta che sono p. sua provisione dalli  
12 di 7mbre inclusive proximo passato a tutto il presente giorno a ragione di  
V<sup>o</sup> mille l'anno di m[one]ta; et per sua Sua Sig.<sup>ta</sup> pagate alli Mag.<sup>o</sup> SS.<sup>ti</sup> Cam-  
millo et Giovanni Berzighelli di Pisa, dandone debito a me come Provveditore  
generale di detto Studio, pigliandone dalli suddetti la solita ricevuta.

V<sup>o</sup> 138  
Arturo d'Elci Prov.<sup>o</sup>

Io Galileo Galilei ho ricevuto come sopra.  
Noi Cam.<sup>o</sup> e Gio. Berzighelli di pisa aviamo riceuto i supradetti d.<sup>o</sup> cento  
trentotto di moneta. A me Valerio d'Appiano, per darne credito a esso Sig.<sup>o</sup>  
Galileo Galilei S d. 137

I pagamenti saranno sempre in due rate semestrali, ad aprile e ad otto-  
bre, e il pagamento a cui si riferisce la ricevuta è calcolato sulla frazione  
di anno accademico 1609-1610 e si spiega con la necessità che aveva  
il Provveditore di chiudere il 31 ottobre i conti di quell'anno. Infatti  
(138:1000 ducati) x 365 giorni = 50 giorni, che sono quelli dal 12  
settembre al 31 ottobre.



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 325, ins. 1609-1610, n° 69

Anche la seconda ricevuta che presentiamo, riferita al 1615, è di  
qualche interesse per la biografia di Galileo:

Addi 15 di ottobre 1615 al q[ua]der[n]o n. 28

Molto mag.<sup>m</sup> M. Niccolò Colucci Camarlingo della Dogana di Pisa. Pagate al Ecc.<sup>m</sup> Sig.<sup>m</sup> Galileo Galilei fiorent.<sup>o</sup> Mattematico di S.A.S., et lettore primario della Mattematica nello Studio di Pisa, ducati trecentotrentatré lire dua et soldi sei denari otto p. resto di sua provisione del presente anno da fornire per il presente mese di ottobre p. detta lettura havendo lassato d.<sup>1</sup> cento sessanta sei di m.<sup>o</sup> lire 4.13.4 per sconto et resto delli 500, accomodati<sup>101</sup> sino l'anno passato per ordine di S.A.S. però pagherete la suddetta somma di 500, lire 2.6.8, al detto Sig.<sup>m</sup> Galileo o vero acchi ordererà Sua Sig.<sup>m</sup>, dandone debito a me come Proveditore generale di detto Studio, pigliandone la solita ricevuta. Sc. 333 lire 2.6.8

Girol.<sup>o</sup> da S.<sup>o</sup> Prov.<sup>o</sup> gen.<sup>o</sup>

Aggi 28 di 9mbre io Galileo Galilei soprad.<sup>o</sup> ho ricevuti li d.ti 333. 2.6.8. dal suddetto Niccolò Colucci, e per lui dal Mag.<sup>o</sup> Sig. Simone Grazini.

Il 13 maggio di quello stesso anno, era stata pagata a Galileo una somma esattamente uguale, ma l'importo era stato riscosso da don Benedetto Castelli, che certamente aveva avuto una procura per riscuotere la "provigione" di Galileo. Veniva detratto esattamente un terzo della rata, segno che a Galileo il Granduca aveva fatto un prestito di cinquecento ducati da restituire in tre anni. Le ricevute del 1613 e del 1617 sono senza trattenute, e quindi il prestito era stato fatto nel 1614. Per essere confermati su questa ipotesi, ho cercato notizie nell'epistolario, che è la fonte migliore per ogni ricerca biografica, ed ho trovato questa lettera:

Ser.<sup>m</sup> Gran Duca,

Galileo Galilei, humilissimo servo e vassallo di V.A.S., humilmente la supplica, stretto da' suoi urgenti bisogni, a voler esser servita di dar ordine che gli sia adesso pagato il semestre della sua provisione che finisce alla fine d'Ottobre prossimo avvenire, contentandosi di più che lo sconto di questo impresto si faccia nelle tre rate seguenti, il terzo per rata: del qual favore, oltr'al restargliene in perpetuo obligatissimo, pregherò Sua Divina Maestà per la somma felicità dell'A.V. Alla quale reverentissimamente s'inchina.

In basso un rescritto: «Concedesigli, et il Proveditor dello Studio ne dia gl'ordini opportuni. Pietro Cavallo 15 giugno 1614». Povero Galileo! Al di là dello stile del tempo, quanta umiliazione!

Sfogliando le lettere di quell'anno si trova che Galileo aveva cominciato a sentirsi male, con febbri persistenti, agli inizi di marzo. Tutti i corrispondenti chiedono notizie della sua salute, in particolare Benedetto Castelli, che gli scriveva ogni settimana. Solamente a luglio giunge la notizia di un suo miglioramento. Il 16 agosto lo stesso Galileo commenta così la sua malattia, scrivendo a Paolo Gualdo:

Ho preso molto contento nel vedermi ancor vivo nella memoria di V.S.,

e per avventura non mi è stato men grato che il ritrovarmi ancor fra' viventi dopo una molto lunga malattia, la quale mi ha in guisa interrotto il filo de' miei studi, che non posso accusar a V.S. opera alcuna, di nuovo risoluta.

La malattia non aiutava Galileo ad avere un prestito ed il Proveditore gli scrive, due giorni dopo, perché desse "sicurtà della sopravivenza e continuazione nel servitio".

All'Ill. et Ecc.<sup>m</sup> S.<sup>o</sup> mio Oss.<sup>m</sup>

Il Sig.<sup>m</sup> Galileo Galilei, p.<sup>o</sup> Mar.<sup>o</sup> e Filos.<sup>o</sup> di S. A.

Ill. et Ecc.<sup>m</sup> S.<sup>o</sup> mio Oss.<sup>m</sup>

Dal P.<sup>o</sup> D. Benedetto matematico mi fu presentata la lettera di V. S., con la supplica, segnata da S. A., del pagamento da farsele di 500 500 del semestre da finirsi per tutto 8bre prossimo futuro: e perché queste gratie di prestanze S. A. non le suol mai fare senza haverne sicurtà della sopravivenza e continuatione nel servitio, e nel rescritto si dice ch'il Proveditore dello Studio ne dia gl'ordini oportuni, però per maggior ispeditione ho fatto il mandato delli denari per lei al sudetto Padre, ma con parola ferma di non presentarli a V. S. senza partecipar prima al S.or Auditore Bardini, al quale ne scrivo, accioché appresso di lui V. S. ne possa far dare costà in Fiorenza la sicurtà oportuna, quando non disponesse altrimenti S. A. Ella può vedere intanto come io ho fatto quanto ho potuto perché resti servita. E baciando a V. S. le mani, le prego dal Signore Dio ogni felicità.

Di Pisa, li 17 di Giugno 1614.

Di V. S. Ill. et Ecc.<sup>m</sup> Aff.<sup>m</sup> per ser.<sup>o</sup>

Arturo d'Elci Prov.<sup>o</sup>

Ecco la ricevuta, che ha dato motivo di tanto scrivere:



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 325, ins. 1615, n° 201

Molto interessante anche la seguente ricevuta, in quanto Galileo chiede che dalla soma di 500 scudi ne vengano tratte-

<sup>101</sup> Il ducato valeva 7 lire, ogni lira 20 soldi, ogni soldo 12 denari. Infatti sommando 333 ducati 2.6.8 con 166 ducati 4.13.4 si hanno 500 ducati.

nuti cinquanta, per pagare le spese del figlio Vincenzo<sup>102</sup> che studiava a Pisa. Vincenzo era arrivato a Pisa l'11 gennaio, affidato alle cure del Castelli, il quale subito gli scrive<sup>103</sup>:

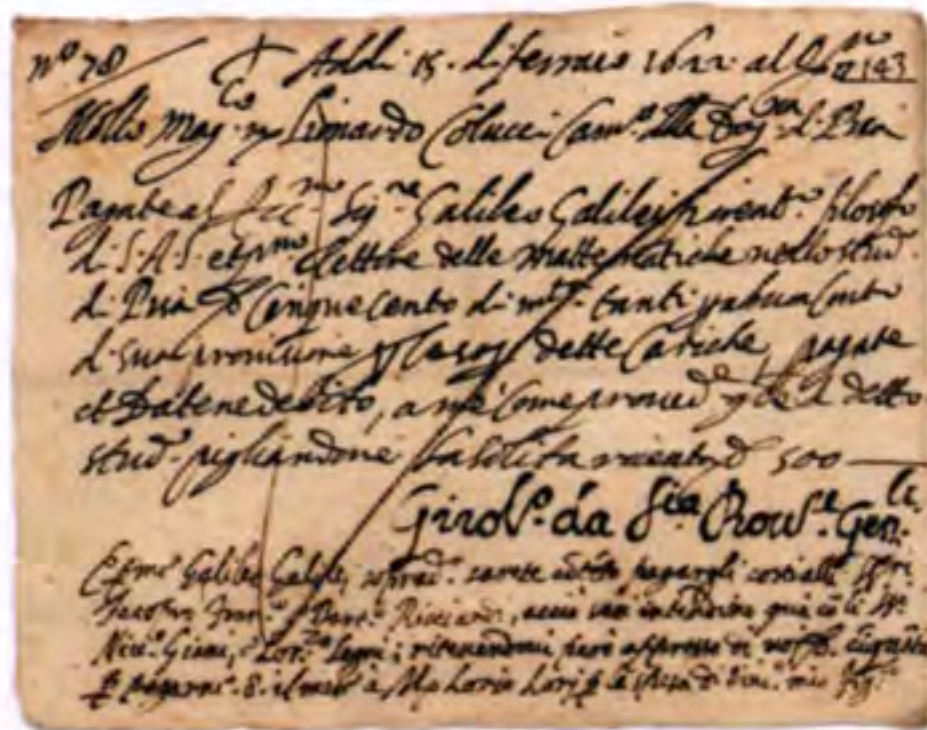
Ho preso un letto a nolo pulito, e il padrone m'ha detto che vole cinque lire al mese a mantenerlo de lenzuola e foderetta: se V.S. ne vol mandare un mattarasso e due para di lenzuola, qua troverò il saccone e panchette, e non si farà questa spesa se non per questo mese.

Castelli aveva combinato con il Priore che Vincenzo restasse da lui, per due ducati al mese. L'affezionato discepolo continuerà a seguirlo, anche quando, nel novembre del 1625, Galileo avrà ottenuto per lui un posto nel Collegio di Sapienza. Ecco la ricevuta:

Addi 15 di ferraio 1622 al q[uader]<sup>no</sup> n. 143  
 Molto mag.<sup>no</sup> M. Lionardo Colucci Camarlingo della Dogana di Pisa. Pagate al Ecc.<sup>mo</sup> Sig.<sup>no</sup> Galileo Galilei fiorent.<sup>o</sup> filosofo di S.A.S., et p.<sup>mo</sup> lettore delle Matematiche nello Studio di Pisa, scudi cinquecento di moneta, tanti per a buon conto di sua provisione per le sopradette cariche. Pagate, et datene debito a me come Proveditore generale di detto Studio, pigliandone la solita ricevuta. Sc. 500

Girol.<sup>o</sup> da S.<sup>ta</sup> Prov.<sup>ta</sup> Gen.<sup>le</sup>

E p. me Galileo Galilei sopradetto sarete contento pagargli costì alli SS.ri Iacopo, Francesco e Bart.<sup>o</sup> Ricciardi, acciò se n'intendino qua con li SS.ri Niccolò Giani e Lorenzo Segni, ritenendovi però appresso di voi s. cinquanta per pagarme 8 il mese a Messer Lorio Lori per la spesa di Vinc.<sup>o</sup> mio figliolo



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 325, ins. 1622-1623, n° 78

Nella ricevuta che segue, vi sono tracce di una operazione finanziaria fatta da Galileo, che chiede al Granduca<sup>102</sup> il pagamento anticipato di

<sup>99</sup> G.G., vol. XIII, p. 83.

<sup>102</sup> Era nato il 21 agosto 1606. Il padre lo aveva iscritto all'inizio del 1622, a 16 anni, alla facoltà di legge.

<sup>103</sup> G.G., vol. XIII, p. 350.

tutto l'anno per poter investire in luoghi di Monte di Pietà. Galileo aveva cominciato investire in luoghi del Monte di Pietà nel dicembre 1622 quando, con autorizzazione del Granduca, aveva acquistato 20 luoghi al prezzo di 100 scudi l'uno. Con questo secondo acquisto il suo deposito fruttifero arriva a 3.000 scudi.

Ser.<sup>mo</sup> Gran Duca,  
 Galileo Galilei, humilissimo servo e vassallo dell'A. V. S.<sup>ma</sup>, la supplica che voglia restar servita di fargli grazia di poter comprar venti luoghi di Monte di Pietà, in una o più volte, con ritrarne i soliti emolumenti; di che resterà perpetuamente obbligato all'A. V., e ne pregherà il S. Dio per ogni sua maggior felicità.

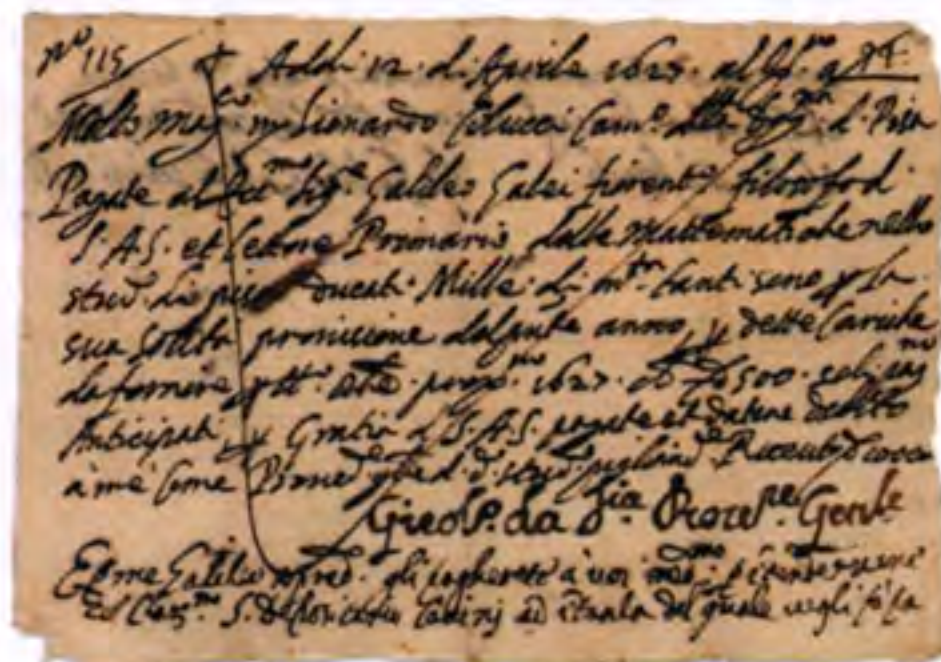
[Di mano di Ferdinando II]: Fer.  
 [E di mano di Andrea Cioli]:  
 Concedesi come domanda: et il Proveditore gli faccia rispondere de' frutti a beneplacito.  
 Andrea Cioli. 23 Marzo 1626

Addi 12 di Aprile 1627 al q[uader]<sup>no</sup> n. 94  
 Molto mag.<sup>no</sup> M. Lionardo Colucci Camarlingo della Dogana di Pisa. Pagate al Ecc.<sup>mo</sup> Sig.<sup>no</sup> Galileo Galilei [sic] fiorent.<sup>o</sup> filosofo di S.A.S., et lettore Primario delle Matematiche nello Studio di Pisa, ducati Mille di moneta, tanti sono per la sua solita provisione del presente anno per dette cariche, da fornire per tutto 8bre proximo 1627, che d. 500 se li pagano anticipati per gratia di S.A.S. Pagate, et datene debito a me come Proveditore generale di detto Studio, pigliandone ricevuta. d. 1000

Girol.<sup>o</sup> da S.<sup>ta</sup> Prov.<sup>ta</sup> Gen.<sup>le</sup>

E per me Galileo sopradetto gli pagherete a voi medesimo, per intendervene col Clar.<sup>mo</sup> S. Depositario Caccini, ad istanza del quale ve gli fo pagare, mandandomene ricevuta o copia di partita che dichiarì ricevuti per detto da me.

Di Firenze, il dì 20 d'Aprile Io Galileo Galilei scrissi m. pp.<sup>ta</sup>



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 337, ins. 1626-1627, n° 115 (fronte)





Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 337, ins. 1626-1627, n° 115 (retro)

Infine, l'ultima ricevuta presente a Pisa.

A di 25 di Aprile 1635 al fiorentino

S.re Pietro Mazzei Camarlingo della Dogana di Pisa. Pagate ducati cinquecento di moneta al Ecc.<sup>mo</sup> Sig.<sup>no</sup> Galileo Galilei lett.<sup>no</sup> Primario della Matematica per S.A.S.<sup>me</sup> li quali si li pagano per a chonto della sua provisione. Ovvero Pagate a chi lui hordinerà, con darne debito a me come Provveditore generale di questo Studio, e con pigliarne la solita ricevuta.

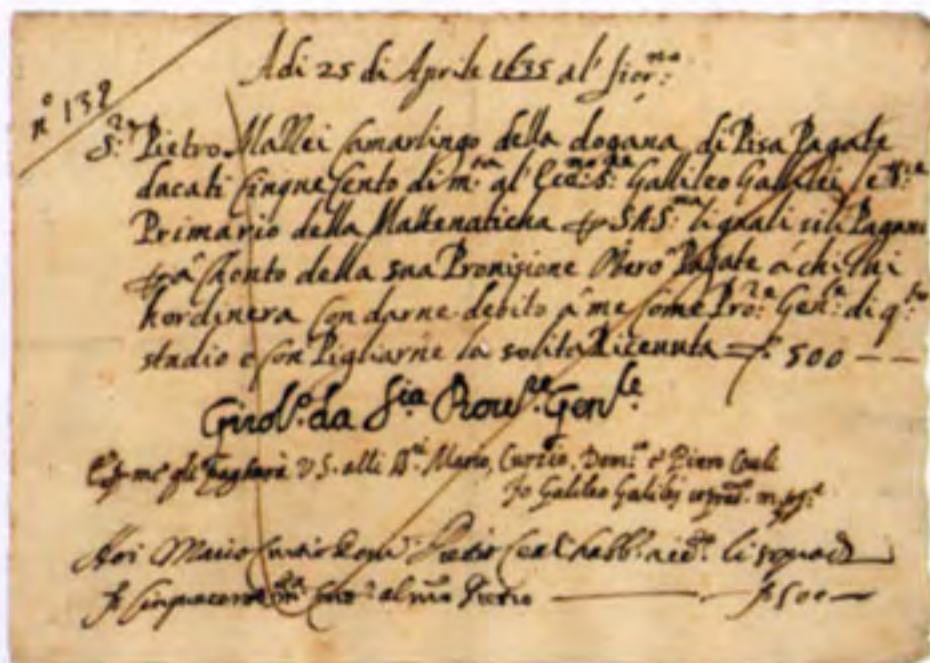
d. 500

Girol.<sup>o</sup> da S.<sup>o</sup> Prov.<sup>o</sup> Gen.<sup>o</sup>

E p. me gli pagherà V.S. alli SS.ri Mario, Curzio, Domenico e Pietro Ceuli. Io Galileo Galilei soprad.<sup>o</sup> m.pp.<sup>o</sup>

Noi Mario, Curtio, Domenico, Pietro Ceuli habb.o ric.to li soprad. d. cinquecento m.ta cont, al nostro Pietro

d. 500



Archivio di Stato di Pisa, I versamento, 325, ins. 1635, n° 139

## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- A. AGOSTINI VENEROSI DELLA SETA, *Sulla casa ove nacque Galileo Galilei*, Pisa, 1893
- E. ALBÉRI, *Le opere di Galileo Galilei, prima edizione completa, condotta sugli autentici manoscritti palatini e dedicata a .s.a.i. e r. Leopoldo II granduca di Toscana*, Firenze, 1842-1856
- G. BORRI, *De motu gravium et levium*, Firenze, 1575, cap. VII, pag. 214
- M.E. BOTTECCHIA DEHÒ, *Aristotele, Problemi meccanici*, 2000, Rubettino, p. 61
- L. CANTINI, *Legislazione Toscana*, Firenze, 1800
- G. CARDANO, *Opus Novum de proportionibus numerorum, motuum, ponderum, sonorum aliarumque rerum misurandarum, non solum geometrico more stabilitum, sed etiam variis experimentis & observationibus rerum in natura, solerti demonstratione illustratum, ad multiplices usus accomodatum, & in V libros digestum*, Basilea, 1570
- N. CATUREGLI, *La scuola media in Pisa*, Boll. Stor. Pisano, 1936, anno V, pp. 16-46
- C. M. CIPOLLA, *La moneta a Firenze nel cinquecento*, Bologna, 1987
- G. CORESIO, *Operetta intorno al galleggiare de' corpi solidi*, Firenze, 1612
- G. DEL GUERRA, *La casa dove, in Pisa, nacque Galileo Galilei*, Pisa, 1965
- A. FAVARO, *Galileo Galilei e lo Studio di Padova*, Padova, 1883
- A. FAVARO, *Il matrimonio dei genitori di Galileo*, Atti e Memorie della Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti, vol.VIII, 1891-92, pp.12-21
- A. FAVARO, *In qual giorno del febbraio '64 dovrebbe celebrarsi la ricorrenza del natalizio di Galileo*, Atti e memorie della Accademia Patavina di Scienze, Lettere ed Arti, vol. XXIV, 1907-8, pp. 5-7
- A. FAVARO, *Scampoli, Atti e Memorie della R. Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova*, vol. IV, Padova, 1887-88, pp. 112-114
- G. GALILEI, *Le mecaniche*, Firenze, 2002
- G. GALILEI, *Le Opere di Galileo Galilei*, Barbera, Firenze, 1968, vol. XIX, pp.18-19
- A. KOYRÉ, *Introduzione a Platone*, Firenze, 1973, p. 162
- A. KOYRÉ, *Un esperimento di misurazione, Galileo negli scritti di...*, a cura di A.Carugo, Milano, 1978, pp. 53-54
- G.B. NELLI, *Vita e commercio letterario di Galileo Galilei*, Losanna [ma Firenze], 1793
- G. TARGIONI TOZZETTI, in *Notizie degli Aggrandimenti delle Scienze Fisiche accaduti in Toscana nel corso di anni LX del secolo XVII*, T. II, pp. 462 e 463, Firenze, 1780 (ristampa Forni, Bologna)
- M. VARRO, *De Motu Tractatus*, Ginevra, 1584
- R. VERGARA CAFFARELLI, *Il compasso geometrico e militare di Galileo Galilei. Testi, annotazioni e disputa negli scritti di G. Galilei*, M. Bernegger e B. Capra, Pisa, 1992
- L. XIMENES, *Del vecchio e del nuovo gnomone fiorentino e delle osservazioni astronomiche, fisiche ed architetoniche fatte nel verificarne la costruzione*, Firenze, 1757