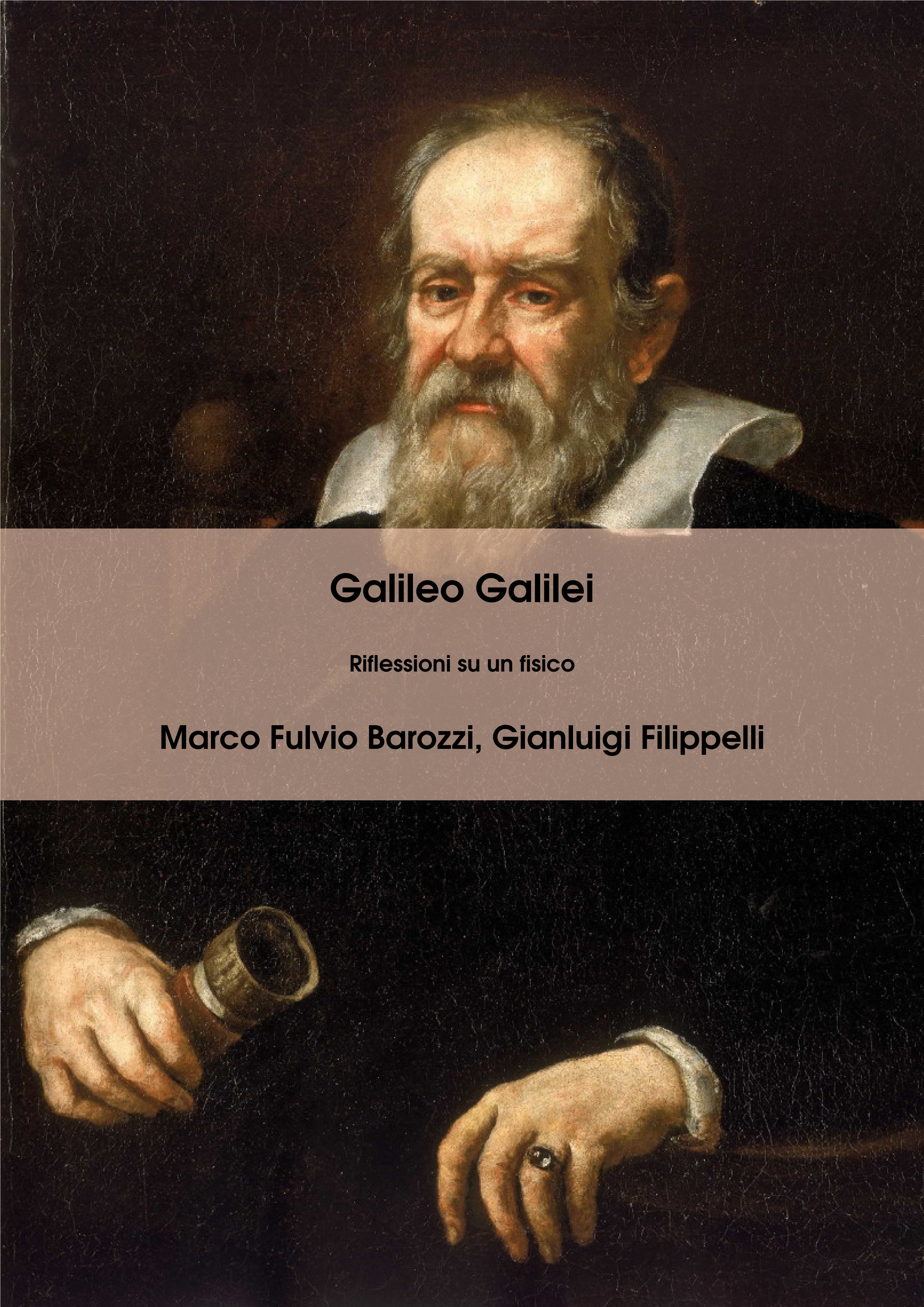


Galileo Galilei

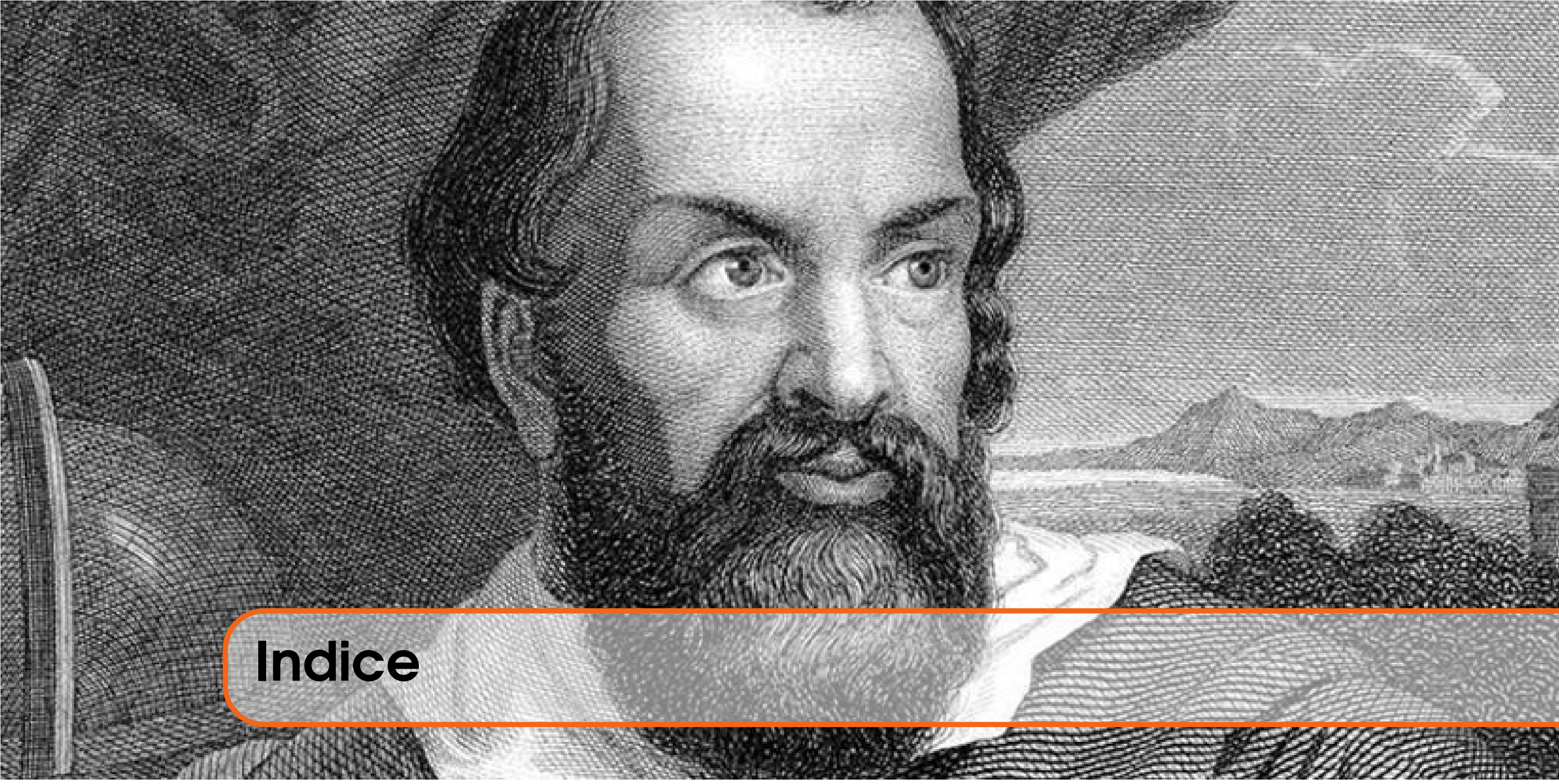
Riflessioni su un fisico

Marco Fulvio Barozzi, Gianluigi Filippelli

PUBLISHED BY PUBLISHER

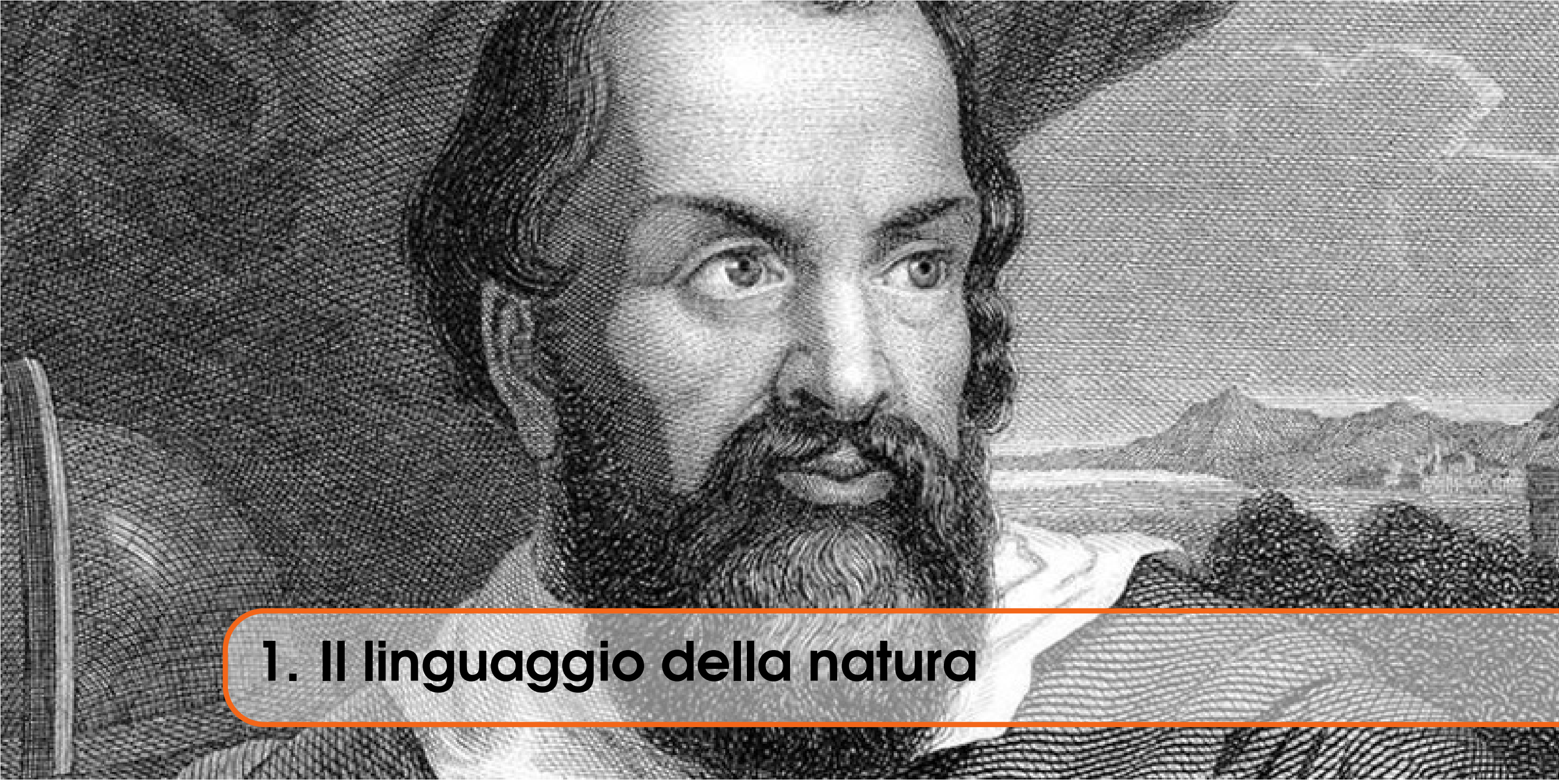
BOOK-WEBSITE.COM

First printing, November 2015



Indice

Galileo Galilei



1. Il linguaggio della natura

1.1 Informazioni biografiche

Galileo Galilei nacque a Pisa i 15 febbraio del 1564, dove iniziò i suoi studi in medicina nel 1581: dopo 4 anni, però, abbandonò la sua città natale e la medicina, verso la quale era stato orientato dal padre, per andare a Firenze e riprendere attivamente le sue passioni verso la meccanica e l'idraulica. Tra i suoi esperimenti più importanti sono da ricordare quelli con il pendolo, il piano inclinato, il compasso proporzionale (che vendeva, con successo, ai suoi studenti), il micrometro e un primo tentativo di misurare la velocità della luce. Lo scienziato pisano, infatti, aveva intuito che la luce non poteva avere una velocità finita.
Ha insegnato matematica a Padova, occupandosi anche di oroscopi, pur se non credeva nel loro potere divinatorio. Egli, infatti, interpretava l'astrologia in termini utilitaristici: era utile per incassare maggior denaro, che utilizzava spesso per la sua famiglia (la madre, il fratello scialacquatore, la convivente, i figli) e per mantenere un tenore di vita agiato, ma anche e soprattutto per mantenere dei buoni rapporti con i personaggi più in vista del tempo che affidavano spesso le decisioni importanti agli oroscopi e alle previsioni astrologiche. In effetti l'astronomia moderna difficilmente sarebbe quello che è oggi senza l'astrologia, ma solo grazie a Galileo l'osservazione scientifica del cielo ha iniziato a distaccarsi dall'astrologia in maniera netta e definitiva. Galileo riteneva, in effetti, che l'astrologia non fosse scienza né lo potesse diventare: tra le sue carte astrologiche emerge un interesse prettamente matematico verso le carte natali: la maggior parte degli astrologi, invece, pur tenendo da conto i complessi calcoli matematici, sfruttavano di più le loro doti di psicologi per raccontare al cliente quello che voleva sentirsi dire[2].
Le sue opere più importanti: *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, dove difende il sistema copernicano, parlando delle prove sperimentali a suffragio di questo modello; *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, dove pone le basi per la meccanica classica, utilizzando la matematica e gli esperimenti; *Il Saggiatore*, dove pone le basi per il metodo scientifico; *Sidereus Nuncius*, dove raccoglie tutte le sue osservazioni astronomiche.

1.2 Carattere sanguigno

> È un uomo facile all'ira, passionale e sanguigno, ma le sue collere durano poco e lasciano spazio all'allegria. Le sue lezioni universitarie sono ormai famose a Padova: è particolarmente incline a farsi capire, e il suo modo di esporre i problemi è affascinante. (...) Ma è, soprattutto, un individuo inquieto che effettua strane ricerche in condizioni di discreto isolamento rispetto all'accademia patavina. Ne discute, infatti, con pochissimi amici: soprattutto per corrispondenza.

Così **Enrico Bellone** ne *L'abisso di Galileo* descrive il fisico pisano Galileo Galilei. Egli ama le sfide che la natura gli propone e soprattutto ama burlarsi dei dotti filosofi che ritengono che per conoscere la natura e il funzionamento del mondo basta prendere in mano i testi di chi ci ha preceduto, accettandoli senza alcuna critica o necessità di verificare quanto lì affermato.
Galilei, invece, seguendo gli insegnamenti contenuti in particolare nei *Libri di ottica* di **Alhazen**, arrivati a lui e altri scienziati in Europa grazie a vari testi rinascimentali, mette in dubbio ogni cosa, convinto che solo con la matematica e gli esperimenti si possa arrivare a comprendere il funzionamento del mondo.
Mosso da queste idee, sono molti gli esperimenti su cui lavora, alla ricerca di queste leggi matematiche o per verificare delle intuizioni. Molti di questi esperimenti si concentrano sugli eventi che accadono sulla Terra, ma la rivoluzione per cui è maggiormente ricordato è l'aver deciso di rivolgere lo sguardo verso le stelle.

1.3 Su una stella nuova

La prima vera osservazione celeste di Galilei avvenne nel 1604[2], quando si interessò alla comparsa nel cielo di una nova, o supernova, come le chiamiamo oggi. Egli, però, non fu il primo a osservare un evento di tal genere: il primo fu **Tycho Brahe** nel 1572.
Brahe, di osservazioni, se ne intendeva: molte di queste le aveva realizzate a occhio nudo, ottenendo dei risultati incredibili per la loro precisione. Galilei, invece, grazie al telescopio, in pratica una versione aggiornata del cannocchiale olandese, rivoluzionò la tecnica con la quale osservare il cielo, proprio iniziando con l'osservazione della supernova del 1604:

> (...) che causò una maggiore eccitazione rispetto a quella di Tycho poiché la sua comparsa coincise con la così detta Grande Congiunzione o l'allineamento di Giove, Marte e Saturno.[4]

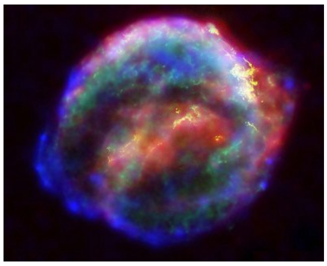


Figura 1.1: La supernova di Keplero

La scoperta di Galilei fu rivoluzionaria per il semplice fatto che scardinava le nozioni basate sugli scritti aristotelici:

> Le osservazioni di Galileo e quelle fatte nel resto dell'Italia e dell'Europa settentrionale indicarono che essa era oltre la Luna, nella regione dove la nuova stella del 1572 era comparsa. L'apparizione di un nuovo corpo oltre il sistema Terra-Luna aveva sfidato la credenza tradizionale, incarnata dalla Cosmologia di Aristotele, che la materia dei pianeti fosse inalterabile e che nulla di nuovo poteva accadere nei cieli.[4]

Riguardo la *nuovastella*, poi

> Galileo stabilisce che [essa] era inizialmente piccola ma crebbe rapidamente in dimensioni tanto da sembrare più grande di tutte le stelle e di tutti i pianeti ad eccezione di Venere.[4]

Possiamo confrontare questa osservazione con le definizioni moderne:

> Le novae sono il risultato delle esplosioni superficiali delle nane bianche, causate dalla caduta sulla sua superficie di materia proveniente dall'atmosfera di una compagna più grande. Una supernova è una stella che improvvisamente aumenta drammaticamente la luminosità, quindi si affievolisce di nuovo, finanche a scomparire alla vista, ma è molto più brillante, circa diecimila volte, di una nova.

Questi eventi drammatici sono oggi un ottimo strumento per osservare l'espansione dell'universo:

> Le supernovae di tipo Ia sono strumenti empirici la cui precisione e luminosità intrinseca le rendono prove sensibili dell'espansione cosmologica.[3]

Questa, però, è un'altra storia, ed è dunque meglio concentrarsi su Galileo e sulla nova del 1604.

1.4 Il mistero del Dialogo di Cecco

Agli inizi del 1605 viene pubblicato a Padova un *Dialogo in prepuosito de la stella nuova* firmato da tale **Cecco di Ronchitti**. I due protagonisti, i "dialoganti", sono due contadini che discutono della nuova stella comparsa nel cielo nel 1604 e su cui hanno discusso con una certa veemenza un filosofo e un matematico, con il filosofo a difendere il punto di vista aristotelico e il matematico a opporsi ad esso, in pratica da un punto di vista copernicano senza però citarlo esplicitamente per ovvi motivi di sicurezza, per se e i suoi cari[1].
Sull'identità dei contendenti e, per traslato, di Cecco di Ronchitti sembrerebbero esserci pochi dubbi. Da un lato abbiamo il conte **Baldassarre Capra** e, molto probabilmente, **Antonio Lorenzini** che giusto un paio di settimane prima aveva visto stampato il *Discorso intorno alla Nuova Stella*, cui il *Dialogo di Cecco* contrappone argomentazioni definite galileiane nel secondo volume delle opere di Galileo pubblicato nel 1891 dalla *Tipografia G. Barbera* di Firenze. E' quindi a ragion veduta che si ritiene il *Dialogo di Cecco* un'opera di Galileo Galilei, all'epoca rettore della cattedra di matematica a Padova, territorio di competenza della Serenissima Repubblica di Venezia[1].
La posizione geografica è importante, perché è quella che permette al matematico di sfuggire una prima volta alle grinfie dell'inquisizione, e questa vicinanza, che implica anche un certo interesse nei confronti della sua opera, potrebbe essere uno dei motivi per la cautela nel dare alle stampe, sotto pseudonimo, un testo che sarebbe stato decisamente pericoloso per la sua incolumità, non solo per le prese di posizione antiaristoteliche, ma anche per la grande ironia di un Dialogo che prende in giro i filosofi, quelli che cercano la comprensione del mondo nei testi, esaltando la figura dei matematici, intesi come coloro che il mondo lo misurano.
E' ovvia la conseguenza di quest'ultima posizione, soprattutto se la si inserisce nel contesto del modello copernicano: le ipotesi dei matematici, soprattutto quando suffragate da dati sperimentali, sono una visione più realistica del mondo rispetto alle teorie dei filosofi, che con questo mondo si rifiutano di entrare in contatto. E questo vuol dire che la teoria di **Copernico** secondo cui il Sole è al centro e la Terra ruota intorno ad esso è reale e non una semplice ipotesi, come invece fatto aggiungere da **Andrea Osiander**, amico di Copernico, nella prima edizione del suo libro (tra l'altro uscito postumo). E affermare che quelle di Copernico non sono delle semplici ipotesi è posizione pericolosa assai nell'Italia dell'epoca, e da qui nasce la necessità di tenersi quanto più nascosti possibile: Galileo lo conferma a **Keplero** durante il loro scambio epistolare, e lo stesso Keplero preferirà non pubblicare il suo *Somnium*, un proto-romanzo di fantascienza che circolò solo all'interno della sue cerchia privata[1].

1.5 Dante, l'Inferno, la Luna

L'interesse di Galilei verso la *Divina Commedia* di **Dante Alighieri** e in particolare nei confronti dell'*Inferno* nasce a causa di una disputa per stabilire quale delle recensioni avesse ragione riguardo

l'opera di Dante.
Queste recensioni, o come venivano chiamate all'epoca *commenti*, erano spesso molto più di semplici recensioni. In particolare le due più gettonate erano quelle di **Manetti**, fiorentino, dell'Accademia delle Scienze di Firenze, poi Accademia della Crusca, e di **Vellutello**, veneziano. Le due posizioni erano differenti, opposte, viene tramandato, e così è necessario dirimere la questione, e l'unico che in grado di farlo è solo un matematico, possedendo egli le qualità per esaminare la questione sia dal punto di vista scientifico (utilizzato soprattutto da Manetti), sia da quello umanistico, essendo questo tipo di formazione basilare all'epoca. L'unico matematico che decise di accettare la sfida fu proprio Galileo Galilei, che non accettò semplicemente per amore della sfida, ma soprattutto per poter andare a Firenze e riuscire magari ad ottenere un impiego stabile e ben remunerato. Nascono così le due lezioni che Galileo dedicò, nel 1587, ai due saggi sull'*Inferno* di Dante, alla fine delle quali il matematico e fisico pisano affermò che l'esame scientificamente più corretto dell'opera dantesca fosse quello di Manetti (e d'altra parte non c'erano dubbi sull'esito, essendo Galileo pagato proprio da Firenze!).
A queste due lezioni sull'*Inferno* dantesco il Politecnico di Milano ha dedicato, nel 2012, una piccola mostra dove venivano unite le interpretazioni artistiche degli studenti dell'Accademia di Brera ad altre prettamente scientifiche, come la ricostruzione, che propongo con le foto qui sotto, dell'esame galileiano dei due commenti.

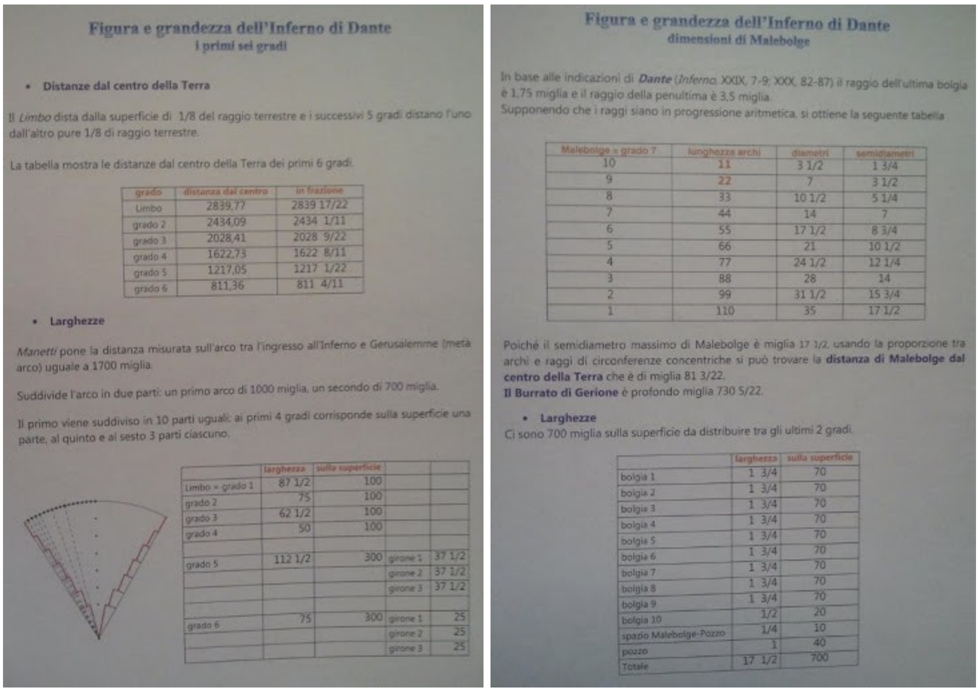


Figura e grandezza dell'Inferno di Dante
i primi sei gradi

- **Distanze dal centro della Terra**

Il *Limbo* dista dalla superficie di 1/8 del raggio terrestre e i successivi 5 gradi distano l'uno dall'altro pure 1/8 di raggio terrestre.

La tabella mostra le distanze dal centro della Terra dei primi 6 gradi.

grado	distanza dal centro	in frazione
Limbo	2839,77	2839 17/22
grado 2	2434,09	2434 1/11
grado 3	2028,41	2028 9/22
grado 4	1622,73	1622 8/11
grado 5	1217,05	1217 1/22
grado 6	811,36	811 4/11

- **Larghezze**

Manetti pone la distanza misurata sull'arco tra l'ingresso all'Inferno e Gerusalemme (metà arco) uguale a 1700 miglia.

Suddivide l'arco in due parti: un primo arco di 1000 miglia, un secondo di 700 miglia.

Il primo viene suddiviso in 10 parti uguali: ai primi 4 gradi corrisponde sulla superficie una parte, al quinto e al sesto 3 parti ciascuno.

	larghezza	sulla superficie		
Limbo = grado 1	87 1/2	100		
grado 2	75	100		
grado 3	62 1/2	100		
grado 4	50	100		
grado 5	112 1/2	300	girone 1	37 1/2
			girone 2	37 1/2
			girone 3	37 1/2
grado 6	75	300	girone 1	25
			girone 2	25
			girone 3	25

Figura e grandezza dell'Inferno di Dante
dimensioni di Malebolge

In base alle indicazioni di ***Dante*** (*Inferno*, XXIX, 7-9; XXX, 82-87) il raggio dell'ultima bolgia è 1,75 miglia e il raggio della penultima è 3,5 miglia.
Supponendo che i raggi siano in progressione aritmetica, si ottiene la seguente tabella

Malebolge = grado 7	lunghezza archi	diametri	semidiametri
10	11	3 1/2	1 3/4
9	22	7	3 1/2
8	33	10 1/2	5 1/4
7	44	14	7
6	55	17 1/2	8 3/4
5	66	21	10 1/2
4	77	24 1/2	12 1/4
3	88	28	14
2	99	31 1/2	15 3/4
1	110	35	17 1/2

Poiché il semidiametro massimo di Malebolge è miglia 17 1/2, usando la proporzione tra archi e raggi di circonferenze concentriche si può trovare la **distanza di Malebolge dal centro della Terra** che è di miglia 81 3/22.
Il Burrato di Gerione è profondo miglia 730 5/22.

- **Larghezze**

Ci sono 700 miglia sulla superficie da distribuire tra gli ultimi 2 gradi.

	larghezza	sulla superficie
bolgia 1	1 3/4	70
bolgia 2	1 3/4	70
bolgia 3	1 3/4	70
bolgia 4	1 3/4	70
bolgia 5	1 3/4	70
bolgia 6	1 3/4	70
bolgia 7	1 3/4	70
bolgia 8	1 3/4	70
bolgia 9	1 3/4	70
bolgia 10	1/2	20
spazio Malebolge-Pozzo	1/4	10
pozzo	1	40
Totale	17 1/2	700

Figura 1.2: Calcoli di Galileo sull'*Inferno* di Dante

Alighieri e Galilei, però, non possono essere accostati solo per l'interesse di quest'ultimo sulla struttura matematica dell'*Inferno*, ma anche per, ad esempio, il carattere sanguigno, per la grandissima cultura (Galileo era anche un teatrante), e per l'interesse verso l'astronomia e in particolare verso la Luna. Il poeta toscano, infatti, le dedica ben 4 canti nel Paradiso[1]. In particolare nel II, il primo della serie, egli si pone un importante interrogativo:

[1] Informazione accessoria: in un interessante articolo per *La Stampa* Piero Bianucci esplora i legami del Paradiso con la geometria non-euclidea. url:`http://www3.lastampa.it/scienza/sezioni/il-cielo/articolo/lstp/371911/`

> Ma ditemi: che son li segni bui di questo corpo, che là giuso in terra fan di Cain favoleggiare altrui?

Ovviamente la domanda è posta a Beatrice, la sua accompagnatrice per l'ultima tappa dei suo viaggio mistico, e Beatrice, prima di rispondergli, lo invita a proporre la sua soluzione:

> E io: "Ciò che n'appar qua sù diverso credo che fanno i corpi rari e densi".

La lunga risposta di Beatrice (che inizia al verso 61) è una sorta di piccolo bignamino di ottica, da cui vi estraggo questo passaggio:

> S'elli è che questo raro non trapassi, esser conviene un termine da onde lo suo contrario più passar non lassi;
> e indi l'altrui raggio si rifonde così come color torna per vetro lo qual di retro a sé piombo nasconde.
> Or dirai tu ch'el si dimostra tetro ivi lo raggio più che in altre parti, per esser lì refratto più a retro.
> E giusto un paio di terzine più sotto ecco che Dante propone, per bocca di Beatrice, un esperimento mentale sulle Luna:
> Tre specchi prenderai; e i due rimovi da te d'un modo, e l'altro, più rimosso, tr'ambo li primi li occhi tuoi ritrovi.
> Rivolto ad essi, fa che dopo il dosso ti stea un lume che i tre specchi accenda e torni a te da tutti ripercosso.
> Ben che nel quanto tanto non si stenda la vista più lontana, lì vedrai come convien ch'igualmente risplenda.
> Or, come ai colpi de li caldi rai de la neve riman nudo il suggetto e dal colore e dal freddo primai,
> così rimaso te ne l'intelletto voglio informar di luce sì vivace, che ti tremolerà nel suo aspetto.

Alla spiegazione dantesca delle macchie lunari (perché è di questo che si sta parlando), che poi è anche profondamente aristotelica, e rappresentata nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* da Simplicio, Galileo risponde con un esperimento, anche questo mentale, come quello presente nel *Paradiso*, ma certamente *galileiano*, ovvero riproducibile:

> **Salviati**: Pigliate ora in cortesia quello specchio che è attaccato a quel muro, ed usciamo qua nella corte. Venite, signor Sagredo. Attaccate lo specchio là a quel muro, dove batte il sole; discostiamoci e ritiriamoci qua all'ombra. Ecco là due superficie percosse dal sole, cioè il muro e lo specchio. Ditemi ora qual vi si rappresenta piú chiara: quella del muro o quella dello specchio? voi non rispondete?
> **Sagredo**: Io lascio rispondere al signor Simplicio, che ha la difficultà; ché io, quanto a me, da questo poco principio di esperienza son persuaso che bisogni per necessità che la Luna sia di superficie molto mal pulita.
> **Salviati**: Dite, signor Simplicio: se voi aveste a ritrar quel muro, con quello specchio attaccatovi, dove adoprereste voi colori piú oscuri, nel dipignere il muro o pur nel dipigner lo specchio?
> **Simplicio**: Assai piú scuri nel dipigner lo specchio.
> **Salviati**: Or se dalla superficie che si rappresenta piú chiara vien la reflession del lume piú potente, piú vivamente ci rifletterà i raggi del Sole il muro che lo specchio.
> **Simplicio**: Benissimo, signor mio; avete voi migliori esperienze di queste? Voi ci avete posti in luogo dove non batte il reverbero dello specchio; ma venite meco un poco piú in qua: no, venite pure.

Sagredo: Cercate voi forse il luogo della reflessione che fa lo specchio?
Simplicio: Signor sì.
Sagredo: Oh vedetela là nel muro opposto, grande giusto quanto lo specchio, e chiara poco meno che se vi battesse il Sole direttamente.
Simplicio: Venite dunque qua, e guardate di lì la superficie dello specchio, e sappiatemi dire se l'è piú scura di quella del muro.
Sagredo: Guardatela pur voi, ché io per ancora non voglio acceccare; e so benissimo, senza guardarla, che la si mostra vivace e chiara quanto il Sole istesso, o poco meno
Simplicio: Che dite voi dunque che la reflession di uno specchio sia men potente di quella di un muro? io veggo che in questo muro opposto, dove arriva il reflesso dell'altra parete illuminata insieme con quel dello specchio, questo dello specchio è assai piú chiaro; e veggio parimente che di qui lo specchio medesimo mi apparisce piú chiaro assai che il muro.
Salviati: Voi con la vostra accortezza mi avete prevenuto, perché di questa medesima osservazione avevo bisogno per dichiarar quel che resta. Voi vedete dunque la differenza che cade tra le due reflessioni, fatte dalle due superficie del muro e dello specchio, percosse nell'istesso modo per l'appunto da i raggi solari; e vedete come la reflession che vien dal muro si diffonde verso tutte le parti opposteli, ma quella dello specchio va verso una parte sola, non punto maggiore dello specchio medesimo; vedete parimente come la superficie del muro, riguardata da qualsivoglia luogo, si mostra chiara sempre egualmente a se stessa, e per tutto assai piú chiara che quella dello specchio, eccettuatone quel piccolo luogo solamente dove batte il reflesso dello specchio, ché di lí apparisce lo specchio molto piú chiaro del muro. Da queste cosí sensate e palpabili esperienze mi par che molto speditamente si possa venire in cognizione, se la reflessione che ci vien dalla Luna venga come da uno specchio, o pur come da un muro, cioè se da una superficie liscia o pure aspra.
Sagredo: Se io fussi nella Luna stessa, non credo che io potessi con mano toccar piú chiaramente l'asprezza della sua superficie di quel ch'io me la scorga ora con l'apprensione del discorso. La Luna, veduta in qualsivoglia positura, rispetto al Sole e a noi, ci mostra la sua superficie tocca dal Sole sempre egualmente chiara; effetto che risponde a capello a quel del muro, che, riguardato da qualsivoglia luogo, apparisce egualmente chiaro, e discorda dallo specchio, che da un luogo solo si mostra luminoso e da tutti gli altri oscuro. In oltre, la luce che mi vien dalla reflession del muro è tollerabile e debile, in comparazion di quella dello specchio gagliardissima ed offensiva alla vista poco meno della primaria e diretta del Sole: e cosí con suavità riguardiamo la faccia della Luna; che quando ella fusse come uno specchio, mostrandocisi anco, per la vicinità, grande quanto l'istesso Sole, sarebbe il suo fulgore assolutamente intollerabile, e ci parrebbe di riguardare quasi un altro Sole.
Salviati: Non attribuite di grazia, signor Sagredo, alla mia dimostrazione piú di quello che le si perviene. Io voglio muovervi contro un'instanza, che non so quanto sia di agevole scioglimento. Voi portate per gran diversità tra la Luna e lo specchio, che ella rimandi la reflessione verso tutte le parti egualmente, come fa il muro, dove che lo specchio la manda in un luogo solo determinato; e di qui concludete, la Luna esser simile al muro, e non allo specchio. Ma io vi dico che quello specchio manda la reflessione in un luogo solo, perché la sua superficie è piana, e dovendo i raggi reflessi partirsi ad angoli eguali a quelli de' raggi incidenti, è forza che da una superficie piana si partano unitamente verso il medesimo luogo; ma essendo che la superficie della Luna è non piana, ma sferica, ed i raggi incidenti sopra una tal superficie trovano da reflettersi ad angoli eguali a quelli dell'incidenza verso tutte le parti, mediante la

> infinità delle inclinazioni che compongono la superficie sferica, adunque la Luna può mandar la reflessione per tutto, e non è necessitata a mandarla in un luogo solo, come quello specchio che è piano.[2]

L'osservazione delle macchie lunari è, in effetti, un'altra delle importanti osservazioni celesti fatte da Galilei grazie al telescopio, insieme alla scoperta dei satelliti di Giove, noti anche come satelliti medicei poiché, con grande intuizione politica, il fisico li dedicò a una delle più importanti famiglie dell'epoca ovviamente con lo scopo di ottenere protezione e finanziamenti.
Più scientificamente, le osservazioni celesti ebbero un'importanza cardinale, poiché, come succede ancora oggi, spesso gli esseri umani si rivolgono al cielo e quindi tutto quello che su di esso si può raccontare è sempre accolto con un certo interesse. Questo implica che furono proprio le osservazioni al telescopio di Galilei che ebbero la maggiore risonanza e quindi quelle dove le critiche e i processi si concentrarono, nel momento in cui fu chiaro che, come Copernico e Keplero, anche Galileo stava mettendo in dubbio le basi aristoteliche (e religiose) della cultura europea.

1.6 Il pendolo

Questa operazione di scardinamento venne portata avanti da Galilei anche nei suoi scritti riguardo la meccanica. Uno dei più noti tra i suoi risultati fu la scoperta dell'isocronismo del pendolo del 1583: leggenda vuole che Galilei ebbe l'intuizione osservando le oscillazioni di una lampada nella navata centrale del Duomo di Pisa. Per verificare quell'intuizione che una semplice osservazione gli aveva posto nella mente, ecco ideato il pendolo, uno strumento semplicissimo costituito da una corda e da un pesetto legato a un capo del filo, mentre l'altro viene fissato, magari tenuto fermo da due semplici dita.
Il pendolo è però uno strumento al tempo stesso semplice e complesso da studiare: dal punto di vista strettamente matematico, le soluzioni delle equazioni del moto che ne descrivono le oscillazioni non sono banali, ma i calcoli possono essere svolti in maniera semplice introducendo una semplice, ma sensata approssimazione, ovvero limitarsi alle piccole oscillazioni. In questo caso la legge per calcolare il periodo è data dall'equazione:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

dove T è il periodo di oscillazione, l la lunghezza del filo e g l'accelerazione di gravità.
Come si può notare il periodo di oscillazione non dipende dalla massa del pesetto, ma solo dalla lunghezza del filo: questa equazione può essere determinata con dei calcoli o nello stesso modo con cui la scoprì Galileo, ovvero con dei semplici esperimenti.

1.7 Il piano inclinato

Un altro degli strumenti più noti tra quelli ideati da Galilei è certamente il piano inclinato, utilizzato per capire (o testare le ipotesi su) il moto uniformemente accelerato, oltre ad avere una certa importanza nella formulazione del principio di inerzia. Grazie ai suoi esperimenti, egli scopre come lo spazio dipenda dal quadrato dei tempi, come scrive nel passo tratto dai *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai movimenti locali* del 1638:

> In un regolo, o vogliàn dir corrente, di legno, lungo circa 12 braccia, e largo per un verso mezo bracio e per l'altro 3 dita, si era in questa minor larghezza incavato un canaletto, poco più largo d'un dito; tiratolo drittissimo, e, per averlo ben pulito e liscio,

[2]Estratto dalla *Giornata prima* del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*

incollatovi dentro una carta pecora zannata e lustrata al possibile, si faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotondata e pulita; costituito che si era il detto regolo pendente, elevando sopra il piano orizontale una delle sue estremità un braccio o due ad arbitrio, si lasciava (come dico) scendere per il detto canale la palla, notando, nel modo che appresso dirò, il tempo che consumava nello scorrerlo tutto, replicando il medesimo atto molte volte per assicurarsi bene della quantità del tempo, nel quale non si trovava mai differenza né anco della decima parte d'una battuta di polso. Fatta e stabilita precisamente tale operazione, facemmo scender la medesima palla solamente per la quarta parte della lunghezza di esso canale; e misurato il tempo della sua scesa, si trovava sempre puntualissimamente esser la metà dell'altro: e facendo poi l'esperienze di altre parti, esaminando ora il tempo di tutta la lunghezza col tempo della metà, o con quello delli duo terzi o de i 3/4, o in conclusione con qualunque altra divisione, per esperienze ben cento volte replicate sempre s'incontrava, gli spazii passati esser tra di loro come i quadrati e i tempi, e questo in tutte le inclinazioni del piano, cioè del canale nel quale si faceva scender la palla; dove osservammo ancora, i tempi delle scese per diverse inclinazioni mantener esquisitamente tra di loro quella proporzione che più a basso troveremo essergli assegnata e dimostrata dall'Autore. 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 bicchiero per tutto 'l 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.

Figura 1.3: Piano inclinato conservato presso il Museo Galileo di Firenze

Un modo per osservare il principio di inerzia e la conservazione dell'energia al lavoro è accostare uno di fronte all'altro due piani inclinati entrambi dello stesso angolo di base ϑ.

Facendo scendere una sfera da un'altezza h_1 per un tratto l_1 di quello a sinistra [Galileo] notò che la sfera, arrivata sul piano orizzontale tra i due piani inclinati, continua il suo moto rettilineo fino alla base del piano inclinato di destra. A quel punto, in assenza d'attrito, la sfera risale il piano inclinato di destra per un tratto $l_2 = l_1$ e si ferma alla stessa altezza $h_2 = h_1$ di partenza. In termini attuali, la conservazione dell'energia meccanica impone che l'iniziale energia potenziale $E_p = mgh_1$ della sfera si trasformi-man mano che la sfera discende il primo piano inclinato di sinistra-in energia cinetica $E_c = 1/2mv^2$ sino alla sua base, dove vale

$$mgh_1 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

La sfera si muove quindi sul piano orizzontale coprendo la distanza tra i piani inclinati con velocità costante v_{max}, fino alla base del secondo piano inclinato. Risale poi il piano inclinato di destra, perdendo progressivamente energia cinetica che si trasforma nuovamente in energia potenziale, fino a un valore massimo uguale a quello iniziale

$$E_p = mgh_1 = mgh_2$$

al quale corrisponde velocità finale nulla $v_2 = 0$.
Si immagini ora di diminuire l'angolo ϑ_2 del piano inclinato di destra in modo tale che $\vartheta_2 < \vartheta_1$, e di ripetere l'esperimento. Per riuscire a risalire—come impone il principio di conservazione dell'energia—alla medesima quota h_2 di prima, la sfera dovrà ora percorrere un tratto l_2 più lungo sul piano inclinato di destra. Se si riduce progressivamente l'angolo ϑ_2, si vedrà che ogni volta aumenta la lunghezza l_2 del tratto percorso dalla sfera, per risalire all'altezza h_2. Se si porta infine l'angolo ϑ_2 ad essere nullo, si è di fatto eliminato il piano inclinato di destra. Facendo ora scendere la sfera dall'altezza h_1 del piano inclinato di sinistra, essa continuerà a muoversi indefinitamente sul piano orizzontale con velocità v_{max} (principio d'inerzia) in quanto, per l'assenza del piano inclinato di destra, non potrà mai risalire all'altezza h_2 (come prevederebbe il principio di conservazione dell'energia meccanica).

Come avete letto dalla trattazione qui sopra estratta da it.wiki[3], la velocità lungo un piano inclinato aumenta con la discesa della pallina fino a raggiungere un valore massimo che, dal principio di conservazione dell'energia è pari a

$$v_f = \sqrt{2mgh}$$

dove, cambiando la notazione rispetto al passo citato, v_f è la velocità alla fine del piano inclinato, m la massa della pallina (o dell'oggetto), h la quota di partenza. Il valore della velocità finale, calcolato attraverso la conservazione dell'energia cinetica, è dipende quindi dalla massa e dall'altezza del piano inclinato. Detto, però, ϑ l'angolo di inclinazione del piano, allora si può utilizzare la trigonometria per determinare la velocità finale della pallina in dipendenza della lunghezza l del piano:

$$v_f = \sqrt{2mgl\sin\vartheta}$$

Si potrebbe allora dire che per un piano inclinato infinitamente lungo la velocità è innumerabilmente grande. Ciò che impedisce alla velocità di aumentare indefinitamente è che la grandezza $l\sin\vartheta$ è costante (ricordo che stiamo solo allungando il piano inclinato, non lo stiamo alzando) e quindi anche la velocità finale, il cui valore è fissato dall'altezza h del piano inclinato. Se poi introduciamo un coefficiente di attrito tra la superficie e l'oggetto in caduta lungo il piano, dovremo modificare l'accelerazione parallela al moto che, detto k il coefficiente d'attrito, sarà data da

$$a = g(\sin\vartheta - \cos\vartheta)$$

[3] url: `http://it.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei#Il_principio_d.27inerzia_e_il_moto_circolare`

Se poi consideriamo anche l'attrito dell'aria, la situazione si complica leggermente. Prendendo la strada più semplice, possiamo valutare tale forza con la formula:

$$F_{aria} = \frac{1}{2}\rho v^2 k_{aria} A$$

dove ρ è la densità dell'aria (o più in generale del fluido), v la velocità relativa dell'oggetto rispetto al fluido, k_{aria} il coefficiente d'attrito, A l'area della sezione dell'oggetto.
In questo caso è facile intuire come l'attrito dell'aria influenza l'accelerazione dell'oggetto (riducendola) che a sua volta influisce sulla velocità dell'oggetto modificando quindi l'attrito dell'aria che influenza l'accelerazione dell'oggetto che a sua volta... e così via fino a che l'oggetto non si ferma.

1.8 La matematica dell'infinito

Galilei, però, non si occupò solo della fisica, ma anche della matematica più strettamente detta, come quella degli infiniti e degli infinitesimi.
Proviamo, innanzitutto, a circostanziare l'argomento: seguendo quanto scoperto e dimostrato da **Georg Cantor**, il numero di elementi contenuti nell'intervallo [0;1] dei numeri reali è lo stesso del numero di elementi contenuti nell'intervallo [0;10], o dell'intervallo [0;100], o dell'intervallo [0;1000] e così via.
Questo vuol dire che tutti questi insiemi, ognuno sottoinsieme di quello successivo, hanno la medesima cardinalità: con questa proprietà in pratica si identificano il numero di oggetti contenenti in un dato insieme. Ad esempio gli oggetti contenuti nell'insieme portamonete coinciderà con il numero di monete contenute nel nostro portamonete. Quando gli insiemi cui pensiamo sono insiemi finiti, è semplice vedere che un qualsiasi sottoinsieme ha cardinalità inferiore all'insieme dato, a meno di non prendere come sottoinsieme l'insieme stesso. Quando però gli insiemi sono infiniti, la questione diventa leggermente meno intuitiva.
Il primo ad accorgersi di questo fatto fu proprio Galilei, che scoprì quello che poi venne chiamato paradosso di Galileo: la cardinalità dell'insieme dei numeri interi è la stessa dell'insieme degli interi quadrati, o detta in altri termini tutti i numeri naturali sono la radice quadrata di un altro numero naturale. O detta ancora più semplice: di qualunque numero naturale posso sempre calcolare il quadrato. Se così non fosse, i naturali sarebbero superiori ai naturali al quadrato.
In questo modo io sto associando a ciascun numero naturale il suo quadrato, ovvero sto costruendo una corrispondenza biunivoca, ovvero un'operazione che mi associa ad ogni elemento di un dato insieme A uno e un solo elemento di un altro insieme B. Quando tra due insiemi A e B esiste una corrispondenza biunivoca, allora i due insiemi hanno la stessa cardinalità.
Questa prima stranezza scoperta (o riscoperta) da Galileo è semplicemente un indizio della forse ancora più strana proprietà che un qualsiasi sottoinsieme dei numeri reali ha la stessa cardinalità dell'insieme di tutti i numeri reali. E questo vuole anche dire che tutti i sottoinsiemi della retta reale hanno tra loro la stessa cardinalità.
Un modo per vederlo graficamente è utilizzare il paradosso del cerchio[4]:

[4] Immagine tratta da *Galileo's Views on Infinity* di **Lubański, M.**, pubblicato su *The Galileo affair: A meeting of faith and science*, Proceedings of the Cracow Conference, May 24–27, 1984

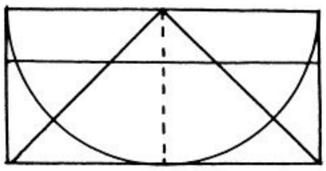


Figura 1.4: Il paradosso del cerchio

Facendo partire delle rette dall'origine del cerchio, posso associare ciascun punto di una qualsiasi corda all'interno della circonferenza con ciascun punto di una corda più grande o, addirittura, con ciascun punto della retta tangente del cerchio e parallela alla corda! Forse è una dimostrazione un po' semplicistica, ma ha il pregio di essere semplice e diretta, in puro stile *galileiano*!

2. Le guerre dei telescopi

Galileo non fu il solo astronomo a puntare verso il cielo il telescopio nei primi anni dopo la sua invenzione in Olanda nel 1608. In realtà tutte le scoperte astronomiche ottenute con il nuovo strumento, per le quali è famoso lo scienziato pisano, furono fatte nello stesso periodo anche da altri osservatori, le cui storie spesso si incrociano in un periodo in cui la corrispondenza tra gli uomini di scienza e la loro mobilità erano assai più intense di quanto oggi siamo portati a pensare. Queste scoperte parallele portarono spesso ad accese dispute di priorità tra Galileo e gli altri astronomi che le rivendicavano. Un esempio famoso è la battaglia a colpi di pamphlet a proposito delle macchie solari tra Galileo e l'astronomo gesuita tedesco Christopher Scheiner.
Christopher Scheiner era nato nel 1575 in Svevia e aveva aderito alla Compagnia di Gesù all'età di vent'anni. Studiò a Ingolstadt, dove più tardi divenne insegnante di matematica dal 1610 al 1616. In quel periodo fece le sue prime osservazioni astronomiche. Si trasferì poi a Innsbruck, su invito dell'Arciduca **Massimiliano del Tirolo**, attratto dalla sua fama crescente. Nella città alpina aveva continuato le sue ricerche, ma si era dedicato anche agli studi di ottica e fisiologia dell'occhio, ipotizzando che la retina sia la sede della visione. Nel 1624 fu chiamato a Roma, dove rimase fino al 1633 come insegnante di matematica. Tornato in Germania per dirigere il collegio gesuita di Niesse, morì il 18 giugno 1650.
La sua controversia con Galileo sulla priorità della scoperta della macchie solari fu un fattore importante, sebbene non l'unico, a provocare il degrado dei rapporti tra Galileo e i membri romani dei Gesuiti. Secondo il suo racconto, Scheiner aveva iniziato a osservare le macchie sulla superficie del Sole nel marzo o nell'aprile del 1611, assieme al suo assistente **Johann Baptist Cysat**. Le prime note pubbliche sulle sue osservazioni compaiono nelle *Tres epistolae de maculis solaribus*, datate 11 novembre 1611 e indirizzate al magistrato di Augusta Mark Wesler. Esse furono pubblicate nella stessa città bavarese nel gennaio 1612. Le tre lettere furono seguite da altre tre nel settembre 1612, pubblicate ancora per l'interessamento di **Mark Wesler**. Scheiner, a suo dire, pubblicò questi documenti sotto lo pseudonimo di *Apelles latens post tabulam*[1], con riferimento all'aneddoto secondo il quale il grande pittore greco si nascondeva dietro i suoi quadri per ascoltare le critiche espresse dal pubblico. Ciò su richiesta dei suoi superiori, per evitare un eventuale disagio dei

[1] Apelle nascosto dietro il dipinto

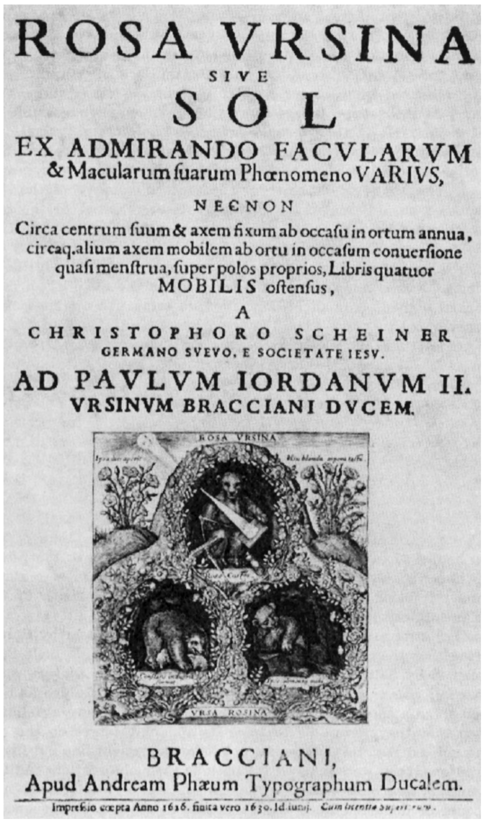
Gesuiti qualora le sue scoperte si fossero provate false o errate.

Figura 2.1: Christopher Scheiner

L'opinione iniziale di Scheiner era che le macchie solari erano piccoli pianeti che orbitavano vicino al Sole, un'ipotesi fortemente contestata da Galileo nel suo *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari del 1613*, che contiene le tre lettere che Galileo inviò allo stesso Wesler in risposta a quelle di Scheiner. Nel suo libello, Galileo identificava correttamente le macchie solari, da lui osservate a partire dal 1611, come irregolarità della superficie solare e non come pianetini interni all'orbita di Mercurio. Studiando la posizione delle macchie solari in giorni successivi, il Toscano deduceva inoltre che il Sole ruota su se stesso, e calcolò il periodo di rotazione come assai prossimo a un mese lunare.
Diversamente da Galileo, Scheiner continuò l'osservazione delle macchie solari per più di 15 anni, nel corso dei quali mise a punto tecniche che migliorarono di molto l'accuratezza dell'osservazione delle posizioni delle macchie e disegnò strumenti specializzati per l'osservazione del Sole. I risultati delle sue osservazioni furono pubblicati tra il 1626 e il 1630 nel *Rosa Ursina*, un tomo di 730 pagine che nella prima parte è quasi interamente dedicato ad attaccare le posizioni di Galileo.
Il volume non ebbe un gran successo, proprio a causa dell'astio che caratterizza il suo primo Libro, tuttavia non è del tutto senza meriti. L'opera contiene infatti un utilissimo catalogo delle osservazioni delle macchie solari in quei tre lustri. Queste osservazioni consentivano inoltre a Scheiner di dimostrare che l'asse di rotazione del Sole è inclinato rispetto al piano di rotazione terrestre. Questa scoperta fu rivendicata come propria da Galileo nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi* (1632) nel quale la utilizzò come ulteriore dimostrazione dell'ipotesi eliocentrica. L'ovvia reazione del gesuita fu l'accusa di plagio contenuta nella sua opera successiva, *Prodromus pro*

Sole Mobile, una critica rabbiosa che non ottenne l'autorizzazione alla pubblicazione durante la vita del suo autore, probabilmente perché considerata sgradevole dai suoi stessi superiori. Il fatto curioso di tutte queste polemiche, che ebbero molta risonanza in tutta la comunità scientifica, è che era stato invece l'inglese **Thomas Harriot** (1560 – 1621) il primo ad aver lasciato traccia documentata delle sue osservazioni delle macchie solari.

Harriot fu il tipico intellettuale polivalente dell'epoca: matematico, fisico, astronomo, etnografo, convinto atomista e in odor di eresia. Fu in corrispondenza con Keplero e viaggiò nelle nuove colonie inglesi del Nuovo Mondo, organizzando e partecipando alla spedizione. che sir **Walter Raleigh** intraprese sull'isola Roanoke lungo le coste della Virginia tra il 1585 e il 1586. La relazione del viaggio, in cui forniva anche gli elementi fondamentali della lingua dei nativi algonchini, uscì nel 1588 e resta l'unico testo pubblicato mentre egli era in vita. Alla sua morte lasciò agli esecutori testamentari il compito di pubblicare un suo testo d'algebra, ma essi lo fecero rimaneggiandolo e togliendo le parti più innovative. Così l'*Artis Analyticae Praxis*, uscito postumo nel 1631, fu privato di anticipatorie intuizioni sulle radici dei numeri negativi e sui numeri complessi. Il resto della sua opera scientifica, più di 400 fogli vergati con minuscola grafia, rimase inedito, finché non fu riscoperto tra il XIX e il XX secolo.


ROSA VRSINA
SIVE
SOL
EX ADMIRANDO FACVLARVM
& Macularum ſuarum Phœnomeno VARIVS,
NECNON
Circa centrum ſuum & axem fixum ab occaſu in ortum annua, circaq. alium axem mobilem ab ortu in occaſum conuerſione quaſi menſtrua, ſuper polos proprios, Libris quatuor
MOBILIS oſtenſus,
A
CHRISTOPHORO SCHEINER
GERMANO SVEVO, E SOCIETATE IESV.
AD PAVLVM IORDANVM II.
VRSINVM BRACCIANI DVCEM.

BRACCIANI,
Apud Andream Phæum Typographum Ducalem.

Figura 2.2: *Rosa Ursina*

Gli appunti astronomici di Harriot offrono la testimonianza delle sue precoci osservazioni telescopiche: essi contengono una mappa della Luna disegnata intorno al 1611, osservazioni dei satelliti di Giove fatte nello stesso periodo di quelle che Galileo pubblicò nel *Sidereus Nuncius* del marzo 1610, e appunti sulle osservazioni delle macchie solari che egli fece con il telescopio il 18 dicembre 1610, cioè qualche mese prima di quanto dichiarato da Galileo e Scheiner nella loro lunga disputa.

Ma non ci fu solo Harriot a precedere i due litiganti. Il primo a pubblicare le osservazioni del fenomeno ottenute con il telescopio fu **Johann Fabricius**, figlio maggiore del pastore di un villaggio frisone, **David Goldsmid**, latinizzato in Fabricius, astronomo dilettante e astrologo, che 1596 aveva scoperto la variabilità della stella Mira Ceti. Da allora Fabricius senior era entrato in corrispondenza con Tycho Brahe, allora a Praga alla corte dell'imperatore Rodolfo II, che invano tentò di convincerlo a raggiungerlo nella capitale a fargli da assistente. Poco prima della morte del grande astronomo danese nel 1601, David era stato a Praga a conoscere Tycho, ma non aveva incontrato il nuovo assistente di quest'ultimo, **Giovanni Keplero**. Aveva invece conosciuto **Simon Marius** (Mayr), un'altro astronomo tedesco che ritroveremo più tardi in questa cronaca, il quale stava facendo presso Tycho quello che oggi chiameremmo un tirocinio di studio semestrale finanziato dal suo signore, il Margravio di Ansbach.

Johann Fabricius (1587–1616), era nato a Resterhave (Frisia tedesca), ed era stato introdotto alla matematica e all'astronomia dal padre, che era pastore luterano. Aveva studiato medicina in varie università tedesche finché nel 1609 approdò a Leida, all'epoca una delle più importanti sedi di studi scientifici. Qui conobbe il telescopio grazie a Rudolph Snel, il cui padre Willibrod avrebbe dato il proprio nome alla legge sulla rifrazione. Rudolph Snel era professore di matematica e già nel 1610 teneva lezioni sul nuovo dispositivo ottico. Tornato a casa nell'inverno di quell'anno, Johann incominciò a puntare il suo telescopio verso il cielo, alternandosi al padre nelle osservazioni. Il 27 febbraio 1611 osservò per la prima volta delle macchie sulla superficie del Sole. L'osservazione diretta era tuttavia difficoltosa e dolorosa, perciò i due decisero di fare una serie di osservazioni sistematiche attraverso una camera oscura, un metodo collaudato di osservazione solare introdotto da Keplero. Essi interpretarono correttamente il moto giornaliero delle macchie solari come un'indicazione della rotazione del Sole sul proprio asse.

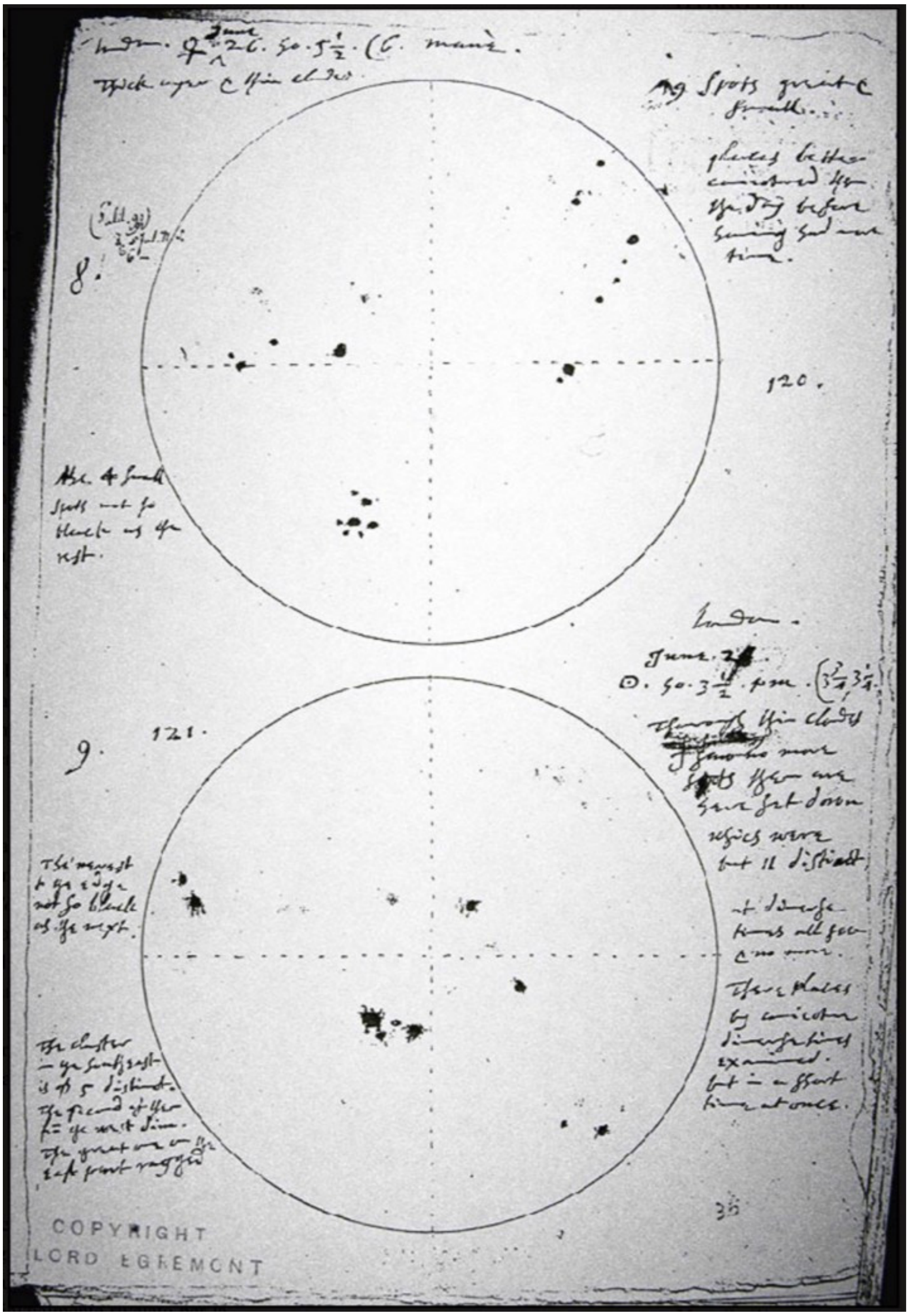
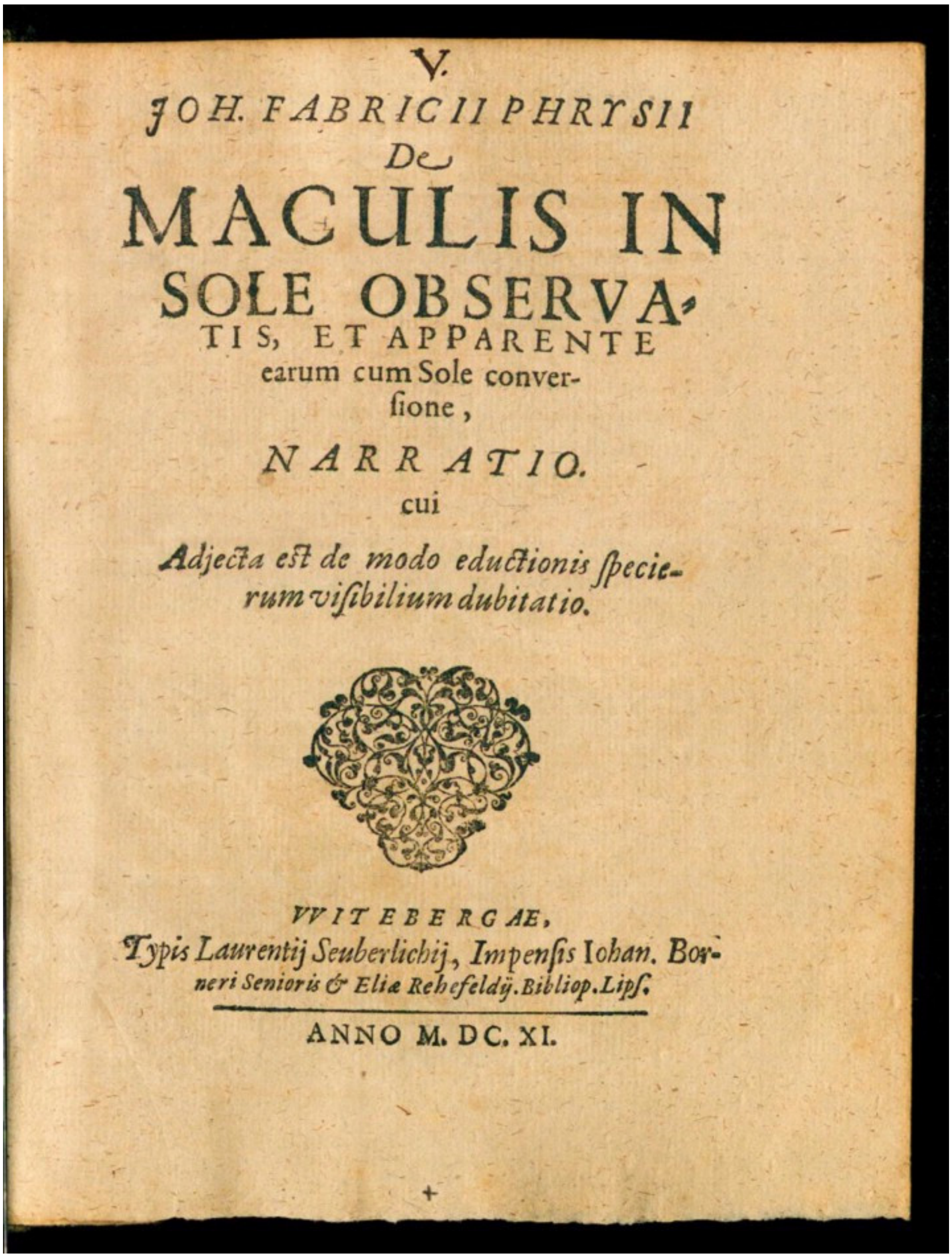


Figura 2.3: Gli appunti di Harriot sulle macchie solari

Nel giugno 1611 il giovane Johann diede alle stampe i risultati delle loro. osservazioni in un opuscolo di 22 pagine intitolato *De Maculis in Sole observatis, et apparente earum cum Sole conversione, Narratio, etc. Witebergae, Anno MDCXI.* Nella loro disputa, sia Galileo che Scheiner ignoravano la pubblicazione di Fabricius, di cui non potevano essere consapevoli data la sua scarsa circolazione. Johann si laureò a Wittemberg il 24 settembre 1611. Continuò a studiare per conseguire il dottorato in medicina, ma morì in circostanze misteriose il 19 marzo 1616. Suo padre, che aveva smesso di osservare le macchie solari, fu ucciso il 7 maggio 1617, da un parrocchiano che si riteneva ingiustamente accusato dal pulpito di aver rubato un'oca e un pollo.



V.

JOH. FABRICII PHRYSII

De

MACULIS IN

SOLE OBSERVA-

TIS, ET APPARENTE

earum cum Sole conver-

sione,

NARRATIO.

cui

Adjecta est de modo eductionis specie-

rum visibilium dubitatio.

VVITEBERGAE,

Typis Laurentij Seuberlichij, Impensis Iohan. *Bor-*

neri Senioris & Eliæ Rehefeldij.Bibliop.Lips.

ANNO M. DC. XI.

Figura 2.4: *De Maculis in Sole observatis*

L'ultimo protagonista di queste dispute telescopiche è **Simon Marius** (Mayr), che abbiamo già incontrato a Praga presso Tycho Brahe nel 1601, ai tempi del viaggio di David Fabricius. Mayr era nato nel 1573 in un villaggio presso Norimberga e si era inizialmente rivelato per la sua bellissima voce, al punto da ricevere un sussidio per gli studi musicali dal Margravio di Ansbach. Ben presto rivelò anche un talento matematico e astronomico: nel 1596 pubblicò la sua prima opera scientifica riguardante le osservazioni sulla cometa comparsa in quell'anno, seguita tre anni dopo da una raccolta di tavole astronomiche. Fu così che ebbe l'opportunità del soggiorno di studio a Praga. Terminata questa esperienza, il suo protettore lo inviò per studiare medicina all'Università di Padova, dove Galileo Galilei era professore di matematica. Il fatto che sia Marius sia il giovane Fabricius alternassero gli studi astronomici e quelli medici non deve sorprendere: agli esordi dell'epoca moderna la medicina astrologica era considerata indispensabile al fine di una corretta diagnosi e cura delle malattie. Non sappiamo se a Padova Marius incontrò Galileo, ma di sicuro fu in quella sede che iniziarono i loro forti dissapori.

Il primo motivo del contendere riguardava il cosiddetto compasso geometrico e militare, uno strumento, antenato del regolo calcolatore, che permetteva di eseguire agilmente calcoli aritmetici e operazioni geometriche. Progettato a Padova da Galileo intorno al 1598, lo strumento incontrò subito un grande successo, che forniva anche sostanziosi profitti. Egli si risolse perciò a redigere nel 1606 un manuale d'uso, *Le operazioni del compasso geometrico e militare*, edito in sessanta copie manoscritte, che veniva venduto assieme allo strumento. Nel 1607, sempre a Padova, il ricco studente milanese Baldassarre Capra pubblicò con il proprio nome la versione latina del manuale di istruzioni di Galileo. Ciò provocò un grande scandalo nell'Ateneo veneto: Capra fu espulso. Si parlò inoltre di una certa responsabilità nella frode anche di Simon Marius, che era tornato in Germania l'anno precedente, in quanto era stato il consulente e il supervisore di Capra negli studi astronomici sulla supernova del 1604 e non poteva ignorarne gli intenti. La reputazione di Marius in Italia era rovinata.

In Germania, Marius pubblicò nel 1609 la prima traduzione dal greco al tedesco dei primi sei libri degli *Elementi* di **Euclide**. Ma la sua ricerca più controversa riguarda il telescopio. Basandosi sulla descrizione di un esemplare di telescopio visto da un ricco conoscente alla Fiera di Francoforte nell'autunno del 1608 (prima ancora che l'invenzione venisse presentata ufficialmente all'Aja), egli si ingegnò di riprodurne una copia, senza tuttavia ottenere risultati soddisfacenti. Con l'aiuto del ricco amico riuscì poi a ottenere un esemplare dall'Olanda, che migliorò dopo essersi procurato delle lenti speciali da Venezia. Alla fine del 1609 egli era così in possesso di uno dei telescopi migliori dell'epoca. Con il suo telescopio, Marius scoprì nel dicembre di quell'anno le lune di Giove e si impegnò a studiarne le caratteristiche e i periodi.

Figura 2.5: Simon Marius

Diversamente da Galileo, che aveva pubblicato immediatamente le sue osservazioni sugli "astri medicei" nel *Sidereus Nuncius* nel marzo 1610, Marius rese noti i risultati della sua attività di osservazione solo nel 1614, quando fu dato alle stampe il *Mundus Iovialis anno MDCIX Detectus Ope Perspicilli Belgici*[2]. La data dell'osservazione indicata dal tedesco portò a una nuova disputa con Galileo, il quale accusò Marius nel *Saggiatore* (1623) di essere un bugiardo e di aver copiato i suoi lavoro, per cui il *Mundus Iovialis* non era altro che un plagio:

> Io potrei di tali usurpatori nominar non pochi; ma voglio ora passarli sotto silenzio, avvenga che de' primi furti men grave castigo prender si soglia che de i susseguenti. Ma non voglio già più lungamente tacere il furto secondo, che con troppa audacia mi ha voluto fare quell'istesso che già molti anni sono mi fece l'altro, d'appropriarsi l'invenzione del mio compasso geometrico, ancor ch'io molti anni innanzi l'avessi a gran numero di signori mostrato e conferito, e finalmente fatto publico colle stampe: e siami per questa volta perdonato se, contro alla mia natura, contro al costume ed intenzion mia, forse troppo acerbamente mi risento ed esclamo colà dove per molti anni ho taciuto. Io parlo di Simon Mario Guntzehusano, che fu quello che già in Padova, dove allora io mi trovava, traportò in lingua latina l'uso del detto mio compasso, ed attribuendoselo lo fece ad un suo discepolo sotto suo nome stampare, e subito, forse per fuggir il castigo, se n'andò alla patria sua, lasciando il suo scolare, come si dice, nelle peste; contro il quale mi fu forza, in assenza di Simon Mario, proceder nella maniera ch'è manifesto nella Difesa ch'allora feci e publicai. Questo istesso, quattro anni dopo la publicazione del mio Nunzio Sidereo, avvezzo a volersi ornar dell'altrui fatiche, non

[2]Il mondo di Giove, scoperto nel 1609 grazie al telescopio olandese

> si è arrossito nel farsi autore delle cose da me ritrovate ed in quell'opera publicate; e stampando sotto titolo di Mundus Iovialis etc., ha temerariamente affermato, sé aver avanti di me osservati i pianeti Medicei, che si girano intorno a Giove. Ma perché di rado accade che la verità si lasci sopprimer dalla bugia, ecco ch'egli medesimo nell'istessa sua opera, per sua inavvertenza e poca intelligenza, mi dà campo di poterlo convincere con testimoni irrefragabili e manifestamente far palese il suo fallo, mostrando ch'egli non solamente non osservò le dette stelle avanti di me, ma non le vide né anco sicuramente due anni dopo: e dico di più, che molto probabilmente si può affermare ch'ei non l'ha osservate già mai.

Simon Marius era poco noto, mentre l'autorità di Galileo era riconosciuta in tutto il mondo scientifico. Pochi credettero al tedesco, soprattutto in Italia dopo l'episodio del maldestro plagio di **Baldassarre Capra**. Inoltre Marius era un luterano militante, di cui erano note le relazioni epistolari con uomini di scienza luterani. Egli poi difendeva il sistema misto del luterano Tycho Brahe sia sul piano scientifico che su quello scritturale. Galileo e l'acerrimo rivale, il gesuita Christopher Scheiner, e la cosa è abbastanza paradossale, si trovarono per una volta dalla stessa parte nel dare torto a Marius anche perché protestante. Così prosegue Galileo:

> Io scrissi nel mio Nunzio Sidereo d'aver fatta la mia prima osservazione alli 7 di gennaio dell'anno 1610, seguitando poi l'altre nelle seguenti notti: vien Simon Mario, ed appropriandosi l'istesse mie osservazioni, stampa nel titolo del suo libro, ed anco per entro l'opera, aver fatto le sue osservazioni fino dell'anno 1609, onde altri possa far concetto della sua anteriorità: tuttavia la più antica osservazione ch'ei produca poi per fatta da sé, è la seconda fatta da me; ma la pronunzia per fatta nell'anno 1609, e tace di far cauto il lettore come, essendo egli separato dalla Chiesa nostra, né avendo accettata l'emendazion Gregoriana, il giorno 7 di gennaio del 1610 di noi cattolici è l'istesso che il dì 28 di decembre del 1609 di loro eretici.

Galileo ricorda che i protestanti adottavano ancora il calendario giuliano. La conversione della data indicata da Marius per la prima osservazione dei satelliti di Giove nel nuovo calendario gregoriano (il 29 dicembre 1609 diventa l'8 gennaio 1610) fa sì che Galileo abbia preceduto il tedesco di un solo giorno. Così, quella volta, al grande scienziato pisano fece comodo essere cattolico. Marius morì nel 1624 ad Ansbach, considerato come una specie di criminale scientifico. La sua opera fu rivalutata solo dopo un paio di secoli. *Sic transit gloria mundi.*

3. Milton e Galileo

3.1 L'incontro

Nell'*Aeropagitica*, il discorso per la libertà di stampa rivolto al Parlamento nel 1644, il grande poeta inglese **John Milton**, secondo i conterranei secondo solo a Shakespeare, riferisce di aver fatto visita a Galileo Galilei durante il suo soggiorno italiano del 1638, prima di essere richiamato in Inghilterra alle prime avvisaglie della Guerra Civile. Milton aveva 29 anni e aveva appena incominciato la sua luminosa carriera. Galileo era vecchio, ormai cieco e agli arresti domiciliari nella sua casa di Arcetri:

> There it was that I found and visited the famous Galileo grown old, a prisner to the Inquisition, for thinking in Astronomy otherwise then the Franciscan and Dominican licencers thought. And though I knew that England then was groaning loudest under the Prelaticall yoak, neverthelesse I took it as a pledge of future happines, that other Nations were so perswaded of her liberty.[1]

È difficile leggere questo passaggio senza riconoscere che per Milton lo scienziato italiano rappresentasse un simbolo della Nuova Scienza e un martire della libertà intellettuale. Così l'incontro è stato interpretato da molti, anche a livello popolare. Lo testimoniano le numerose opere poetiche e pittoriche che sono state dedicate all'episodio, come l'incisione pubblicata sull'Art Journal di Londra nel 1864 che ho riprodotto in apertura di questo articolo.
Milton fa riferimento a Galileo in tre occasioni nella sua opera principale, il *Paradiso Perduto* (*Paradise Lost*), un poema epico in dodici canti sulla creazione, la caduta dell'uomo, la sua cacciata dall'Eden, lo schema divino della sua redenzione. Il poema, considerato uno dei capolavori della letteratura universale, fu scritto tra il 1658 e il 1665. Tutte tre le volte il pisano è associato allo strumento che gli aveva assicurato la fama, il telescopio. Galileo è il solo contemporaneo menzionato nel poema, una volta per nome e due volte attraverso una perifrasi.

[1] Accadde che trovai e visitai il celebre Galileo, invecchiato, prigioniero dell'Inquisizione per aver pensato in Astronomia diversamente dai gerarchi Francescani e Domenicani. E sebbene sapessi che l'Inghilterra allora gemeva ad alta voce sotto il giogo pretesco, tuttavia considerai come una promessa di felicità futura che altre Nazioni fossero così convinte della sua libertà.

3.2 Le macchie della Luna

Nel primo libro dell'opera (vv, 287–291), un riferimento a Galileo compare quando il poeta descrive lo scudo di Satana, il quale:

> Hung on his shoulders like the Moon, whose Orb
> Through Optic Glass the Tuscan Artist views
> At Ev'ning from the top of Fesole,
> Or in Valdarno, to descry new Lands,
> Rivers or Mountains in her spotty Globe.[2]

Le macchie della Luna, le sue irregolarità, sono secondo Galileo un argomento contro la statica perfezione dei corpi celesti, sostenuta da molti filosofi antichi e suoi contemporanei. Nel *Sidereus Nuncius* (1610) afferma infatti:

> Queste macchie alquanto scure e abbastanza ampie, ad ognuno visibili, furono scorte in ogni tempo; e perciò le chiameremo grandi o antiche, a differenza di altre macchie minori per ampiezza ma pure così frequenti da coprire l'intera superficie lunare, soprattutto la parte più luminosa: e queste non furono viste da altri prima di noi. Da osservazioni più volte ripetute di tali macchie fummo tratti alla convinzione che la superficie della Luna non è levigata, uniforme ed esattamente sferica, come gran numero di filosofi credette di essa e degli altri corpi celesti, ma ineguale, scabra e con molte cavità e sporgenze, non diversamente dalla faccia della Terra, variata da catene di monti e profonde valli.

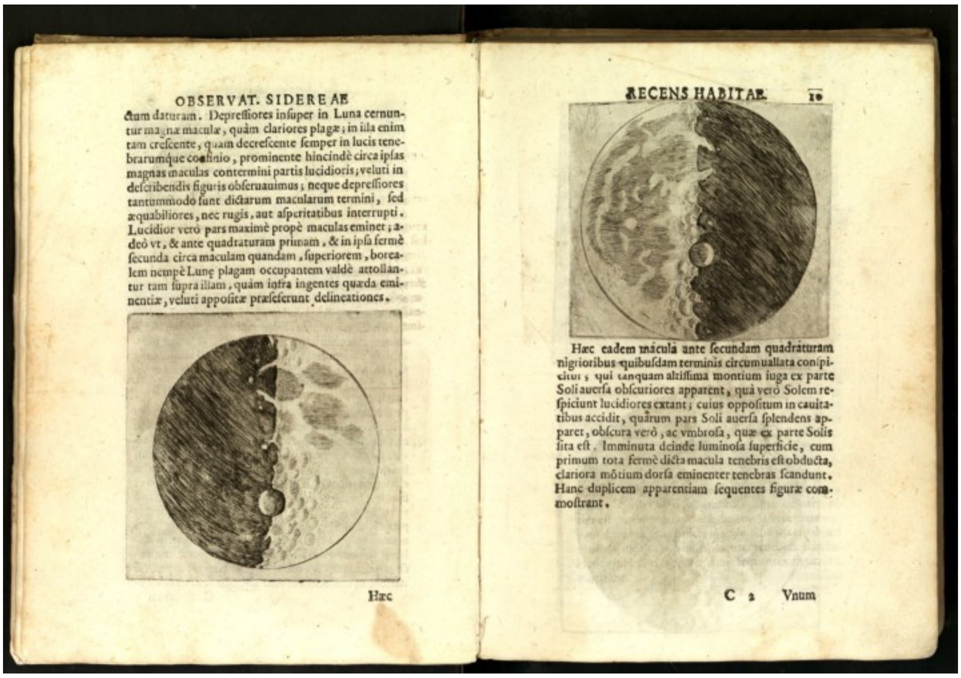


Figura 3.1: La Luna vista da Galileo Galilei

[2] Pende dalle sue spalle come la Luna, la cui Sfera
osserva l'artista toscano con il Vetro Ottico,
di sera, dalla collina di Fiesole
o in Valdarno, per descrivere nuove Terre,
Fiumi o Monti sul suo maculato Globo.

3.3 Le macchie solari

Il secondo accenno a Galileo contenuto nel *Paradise Lost* si trova nel terzo libro (vv. 588–590), nel passo in cui Satana atterra sul Sole prima di iniziare la sua discesa sull'Eden. In questa occasione Milton paragona l'angelo caduto a una macchia solare:

> There lands the Fiend, a spot like which perhaps
> Astronomer in the Sun's lucent Orbe
> Through his glaz'd Optic Tube yet never saw.[3]

È certo che Milton conoscesse gli scritti di Galileo sulle macchie solari, in cui di nuovo veniva criticata senza remore la posizione aristotelica, divenuta dottrina per la chiesa. In una lettera all'accademico dei Lincei **Federico Cesi** (colui che avrebbe inventato la parola "telescopio"), datata 12 maggio 1612, lo scienziato invia una copia delle sue prime osservazioni, osservando:

> Circa le quali macchie io finalmente concludo, e credo di poterlo necessariamente dimostrare, che le sono contigue alla superficie del corpo solare, dove esse si generano e si dissolvono continuamente, nella guisa appunto delle nugole intorno alla terra, e dal medesimo sole vengono portate in giro, rivolgendosi egli in sè stesso in un mese lunare con revolutione simile all'altre de i pianeti, cioè da ponente verso levante intorno a i poli dell'eclittica: la quale novità dubito che voglia essere il funerale o più tosto l'estremo et ultimo giuditio della pseudofilosofia, essendosi già veduti segni nelle stelle, nella luna e nel sole; e sto aspettando di sentir scaturire. gran cose dal Peripato [l'insieme dei filosofi aristotelici, o peripatetici] per mantenimento della immutabilità de i cieli.

Galileo chiaramente riconosceva la natura rivoluzionaria delle sue dichiarazioni, anche se ancora non si rendeva conto delle conseguenze che giudizi simili avrebbero creato sulla sua carriera e nei rapporti tra la chiesa e la nuova scienza che stava contribuendo a far nascere.

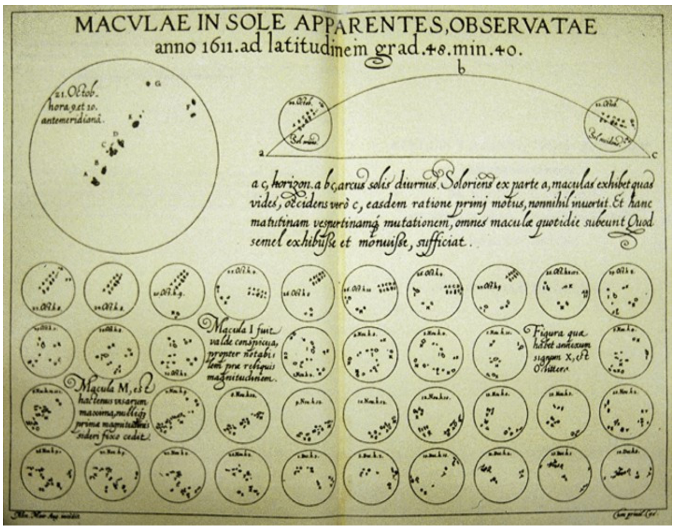


Figura 3.2: Le macchie solari viste da Galileo Galilei

[3] Là approda il Demonio, una tale macchia che forse
l'Astronomo nella lucente Sfera del Sole
con il suo vitreo Tubo Ottico mai non vide.

3.4 Il nocchiero nell'Egeo

L'ultimo riferimento a Galileo si trova nel quinto libro del poema (vv. 261–266). Questa volta il suo nome viene fatto direttamente, in un passaggio che descrive con intensità la discesa dell'arcangelo Raffaele, giunto ad ammonire Adamo per l'ultima volta:

> (...) As when by night the Glass
> Of Galileo, less assur'd, observes
> Imagind Lands and Regions in the Moon:
> Or Pilot from amidst the Cyclades
> Delos or Samos first appeering kenns
> A cloudy spot (...).[4]

Grazie al potere del suo strumento, Galileo è qui l'esploratore che cartografa le regioni del nostro satellite e scorge i contorni incerti di nuove terre, come il nocchiero di una nave che sia avvicina alle isole egee. Nel *Sidereus Nuncius* egli descrive la visione telescopica in termini entusiastici sin dall'inizio: nella dedica a Cosimo II de'Medici suggerisce che le stelle possono essere considerate incorruttibili monumenti. Prima di dedicare le lune di Giove appena scoperte alla famiglia regnante, afferma infatti:

> Alcuni però che guardano a cose più salde e durature consacrarono la fama eterna di uomini sommi non a marmi o metalli, ma alla custodia delle Muse e agli incorrotti monumenti delle lettere. Ma perché ricordo queste cose? quasi che l'ingegno umano, contento di queste regioni, non abbia osato andar oltre: invece, guardando più lontano, avendo ben compreso che tutti i monumenti umani per violenza di tempeste o per vecchiezza alfine muoiono, pensò più incorruttibili monumenti, sui quali il tempo vorace e l'invidiosa vecchiezza non potessero reclamare diritti. E scrutando il cielo affidò a quei noti eterni Globi di chiarissime Stelle i nomi di coloro che per opere egrege e quasi divine furono stimati degni di godere insieme agli Astri l'eternità. Per questo non si oscurerà la fama di Giove, Marte, Mercurio, Ercole e degli altri eroi con i cui nomi si chiamano le Stelle, prima che lo splendore delle stesse Stelle.

Successivamente, nelle frasi di apertura del *Messaggio Astronomico*, sostiene che

> Grande cosa è certamente alla immensa moltitudine delle stelle fisse che fino a oggi si potevano scorgere con la facoltà naturale, aggiungerne e far manifeste all'occhio umano altre innumeri, prima non mai vedute e che il numero delle antiche e note superano più di dieci volte.

In questo caso, tuttavia, Milton non sembra condividere l'entusiasmo dello scienziato: una nota di ambiguità emerge nel suo riferimento. La lente di Galileo è *less assur'd*, meno sicura, e osserva *Imagind Lands*[5]. Al di là della celebrazione dell'invenzione e delle nuove osservazioni da questa rese possibili, emerge una sottile critica. Milton, il religioso poeta che fu ministro di Cromwell, nella maniera allusiva e contorta che caratterizza lo stile poetico della sua epoca, adombra l'idea che il nostro progresso nella conoscenza possa essere un'illusione e che la visione dell'uomo, per quanto prodigiosamente accresciuta dai nuovi strumenti, non potrà mai eguagliare quella divina.

[4](...) Come quando di notte la Lente
di Galileo, meno sicura, osserva
Terre immaginate e Regioni sulla Luna:
o il Nocchiero in mezzo alle Cicladi
guarda il comparire di Delo o Samo,
una cupa macchia. (...)

[5]Terre immaginate

Una parola accompagna infatti tutti i riferimenti a Galileo e al telescopio: “macchia” (*spotty Globe, a spot . . . yet never saw , a cloudy spot*), quasi a significare che l’imperfezione riscontrata nel cielo sia la stessa dell’umanità che la osserva.


ctum daturam. Depressiores insuper in Luna cernuntur magnæ maculæ, quàm clariores plagæ; in illa enim tam crescente, quam decrescente semper in lucis tenebrarumque confinio, prominente hincindè circa ipsas magnas maculas contermini partis lucidioris; veluti in describendis figuris obseruauimus; neque depressiores tantummodo sunt dictarum macularum termini, sed æquabiliores, nec rugis, aut asperitatibus interrupti. Lucidior verò pars maximè propè maculas eminet; adeò vt, & ante quadraturam primam, & in ipsa fermè secunda circa maculam quandam, superiorem, borealem nempè Lunę plagam occupantem valdè attollantur tam supra illam, quàm infra ingentes quædam eminentiæ, veluti appositæ præseferunt delineationes.

Hæc eadem macula ante secundam quadraturam nigrioribus quibusdam terminis circumuallata conspicitur; qui tanquam altissima montium iuga ex parte Soli auersa obscuriores apparent, quà verò Solem respiciunt lucidiores extant; cuius oppositum in cauitatibus accidit, quarum pars Soli auersa splendens apparet, obscura verò, ac vmbrosa, quæ ex parte Solis sita est. Imminuta deinde luminosa superficie, cum primum tota fermè dicta macula tenebris est obducta, clariora môtium dorsa eminenter tenebras scandunt. Hanc duplicem apparentiam sequentes figuræ commonstrant.

Bibliografia

Libri

[24] *L'abisso di Galileo*. Codice Edizioni, 2024 (citato a pagina 9).

[08] *Oroscopi e cannocchiali*. Avverbi Edizioni, 2008 (citato alle pagine 7, 8).

Articoli

[PS03] S. Perlmutter e B.P. Schmidt. "Measuring Cosmology with Supernovae". In: *Lecture Notes in Physics* (2003) (citato a pagina 9).

[She04] W. Shea. "Galileo and the Supernova of 1604". In: *1604–2004: Supernovae as Cosmological Lighthouses, ASP Conference Series* 342.6 (mar. 2004), pagine 1–8 (citato a pagina 8).