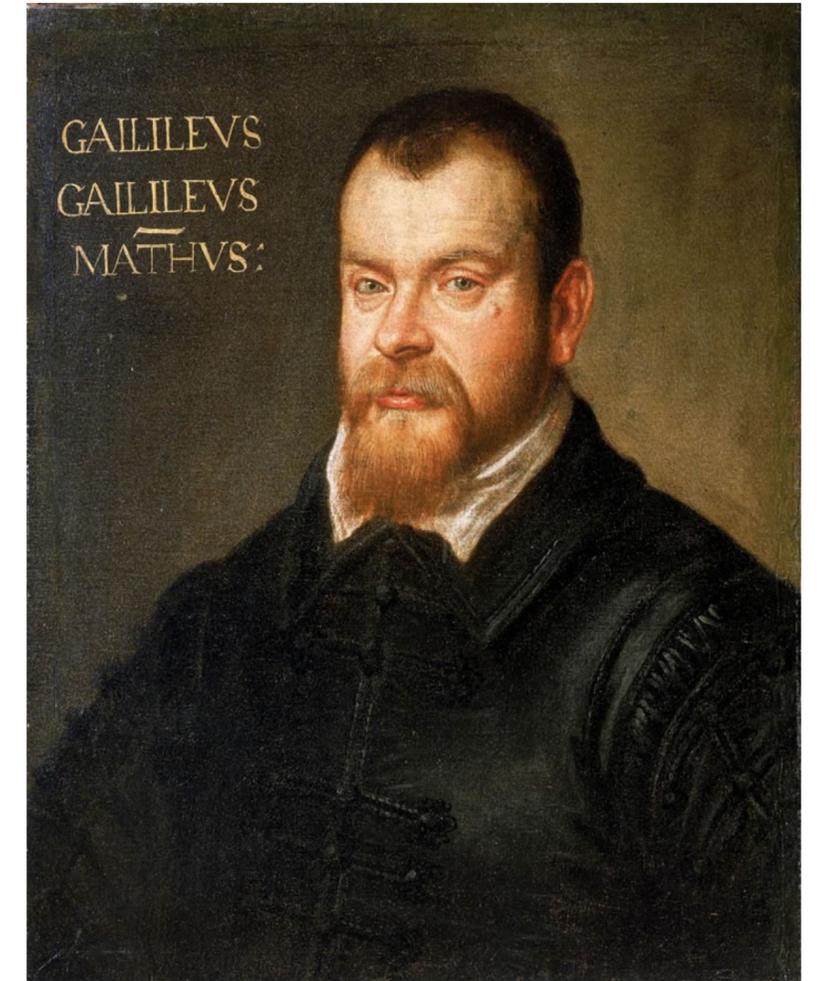


Galileo Galilei e la nascita della scienza moderna

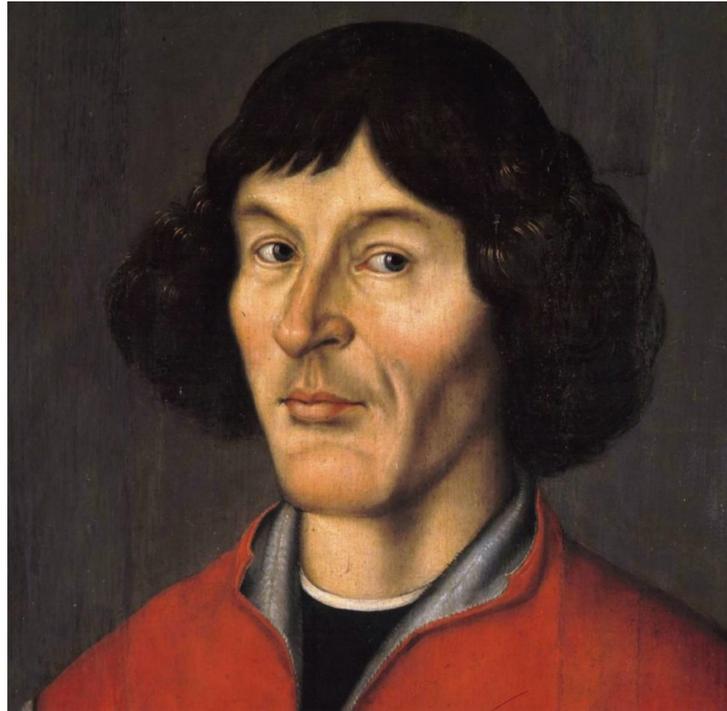
Lezione di Storia delle Fisica ed Epistemologia del 14-03-2024 - Prof. A. Rapisarda



Niccolò Copernico

nasce a Torun in Polonia il 19 febbraio **1473** e muore a Frombork il 24 maggio 1543

Fu un matematico e religioso polacco



Giovanni Keplero

nasce a Weil der Stadt, in Germania, 27 dicembre **1571** e muore a Ratisbona, 15 novembre 1630,

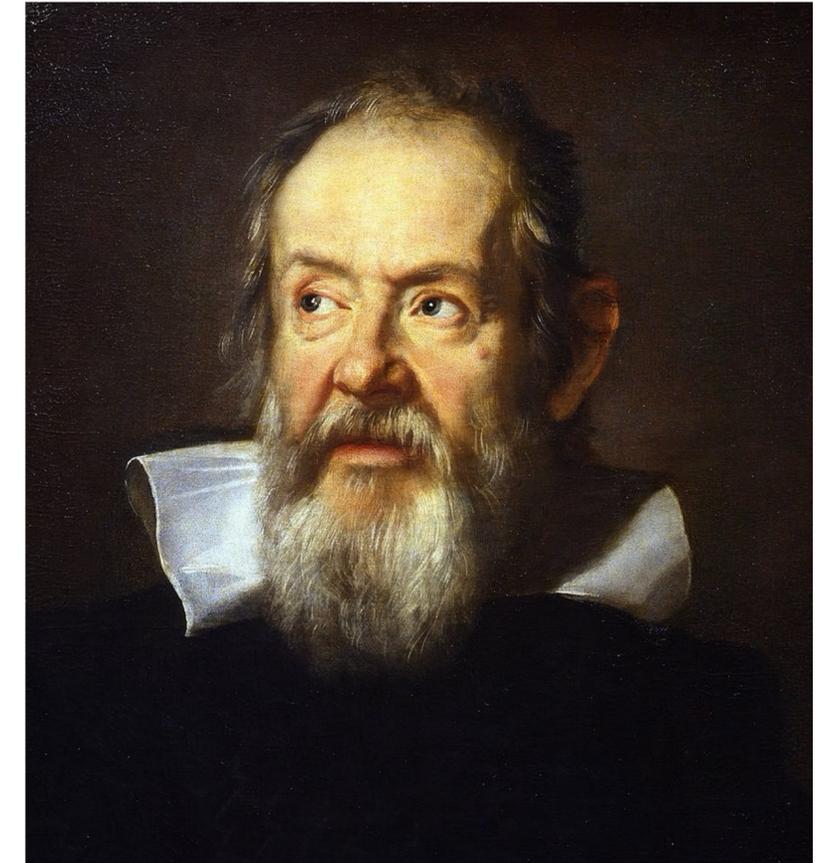
Fu un astronomo e teologo luterano tedesco



Galileo Galilei

nasce il 15 febbraio **1564** a Pisa e muore poi ad Arcetri l'8 gennaio del 1642

E' considerato il padre della Scienza Moderna



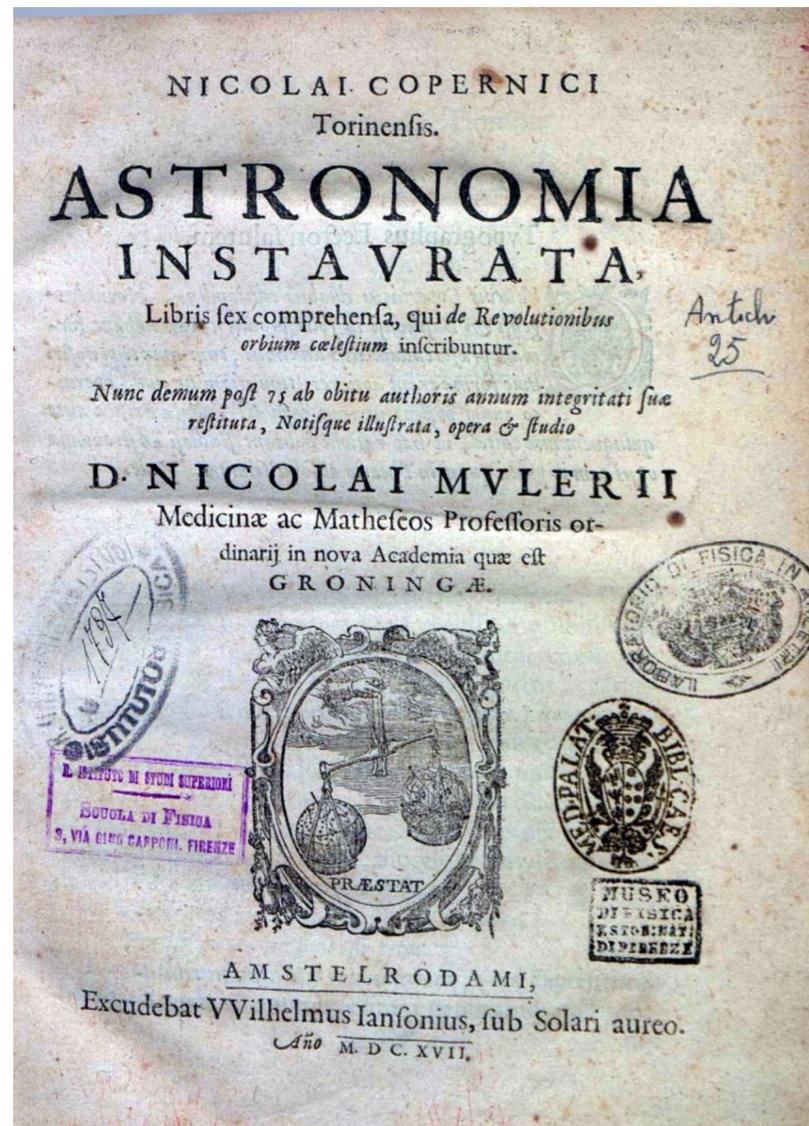
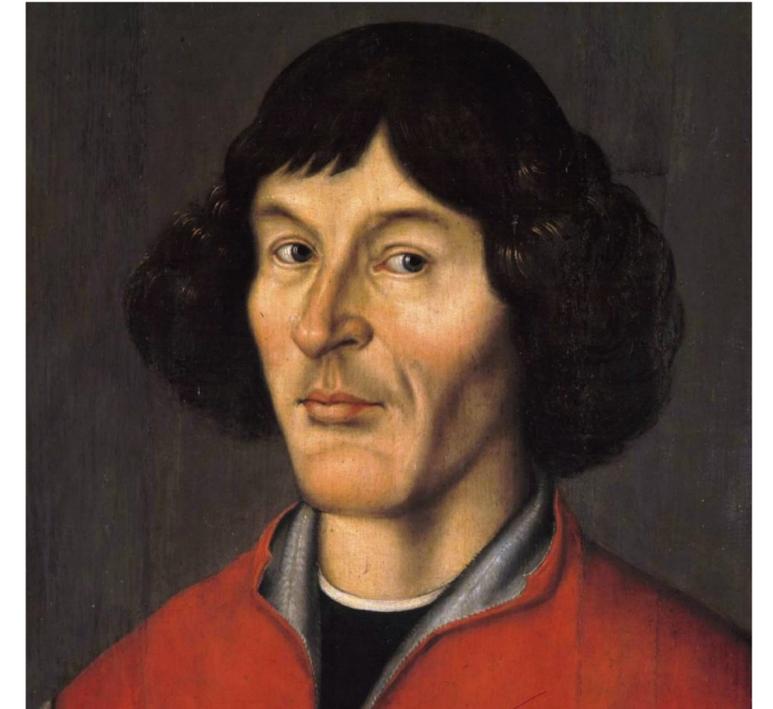
Niccolò Copernico

Niccolò Copernico studiò in Italia e si laureò in diritto canonico presso l'Università degli Studi di Ferrara nel 1503.

Il contributo fondamentale di Copernico è stato l'aver promosso l'evidenza del **sistema eliocentrico** contro il **sistema geocentrico** fino ad allora sostenuto in Europa.

Benché non sia stato il primo a formulare tale teoria, fu lo scienziato che più rigorosamente riuscì a dimostrarla tramite procedimenti matematici.

Copernico fu anche giurista e medico.



Il trattato astronomico di Niccolò Copernico, dal titolo

De revolutionibus orbium coelestium, fu pubblicato per la prima volta

a Norimberga nel 1543, lo stesso anno della sua morte

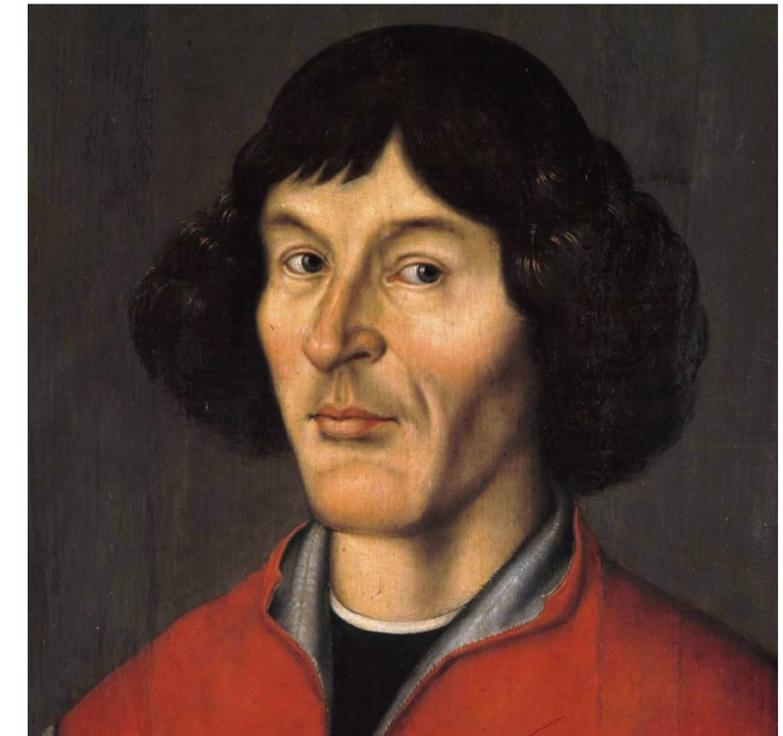
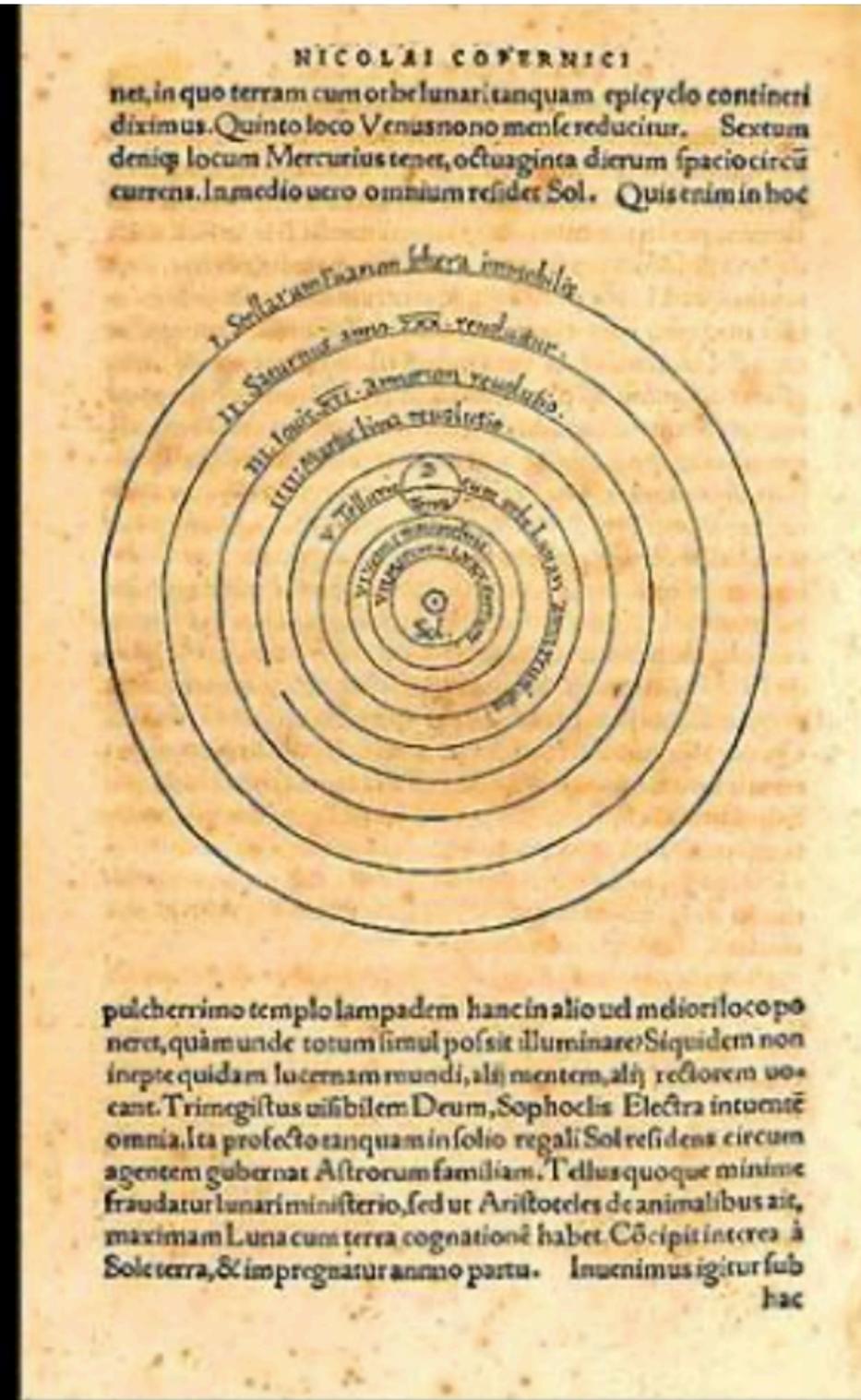
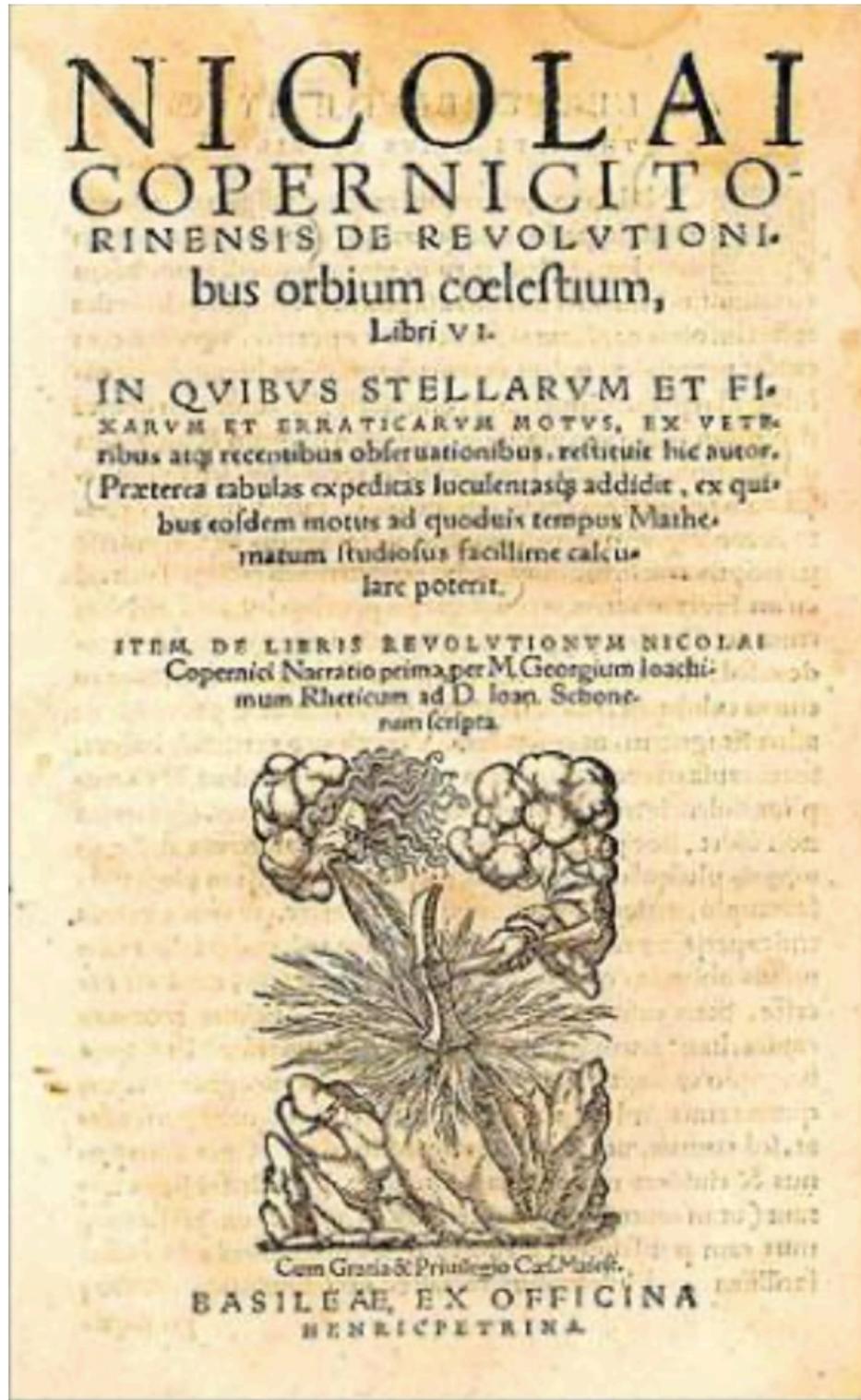
Il lavoro di Copernico apparve con una breve prefazione non firmata, scritta da **Andrea Osiander** (matematico e teologo tedesco), cui un allievo di Copernico, aveva chiesto aiuto per portare a termine la pubblicazione.

In tale prefazione, Osiander, mistificando il pensiero di Copernico, precisava come l'autore intendesse il **suo modello come una semplice costruzione matematica, utile ai calcoli, ma non necessariamente corrispondente al vero.**

Poiché la prefazione era anonima, per lungo tempo si pensò che fosse stata scritta dallo stesso Copernico.

Giordano Bruno, uno dei primi difensori e promotori del sistema copernicano, definì Osiander un "*asino ignorante e presuntuoso*".

Niccolò Copernico



NICOLAI COPERNICI

net, in quo terram cum orbem lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circa currens. In medio vero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



De revolutionibus orbium coelestium

Schema huius praemissae diuisionis Sphaerarum .



Una rappresentazione del 1524 dell'Universo, secondo la tradizione aristotelico-tolemaica

Giovanni Keplero

Giovanni Keplero, nasce a Weil der Stadt, in Germania, 27 dicembre 1571 e muore a Ratisbona, 15 novembre 1630, fu un astronomo e teologo luterano tedesco

Professore di materie scientifiche in diverse università della Germania e dell'Austria

Contemporaneo di Galilei (nasce sette anni prima), fu un convinto sostenitore del sistema copernicano.

Il 4 febbraio 1600, Keplero divenne assistente di Tycho Brahe (astronomo danese) presso la corte di Rodolfo II, imperatore cattolico mecenate, a Praga.

Nel 1601, dopo la morte di Brahe, ne divenne il successore nell'incarico di matematico, astronomo e astrologo imperiale a Praga.

Nel 1604 osservò una supernova che ancora oggi è nota col nome di Stella di Keplero

Le basi per le sue scoperte astronomiche furono gettate nel 1609, quando pubblicò il suo capolavoro *Astronomia nova*, in cui formulò le sue prime due leggi

Nel 1618 Keplero scoprì la terza legge che prende il suo nome, che rese nota l'anno dopo nell'opera *Harmonices Mundi del 1619*

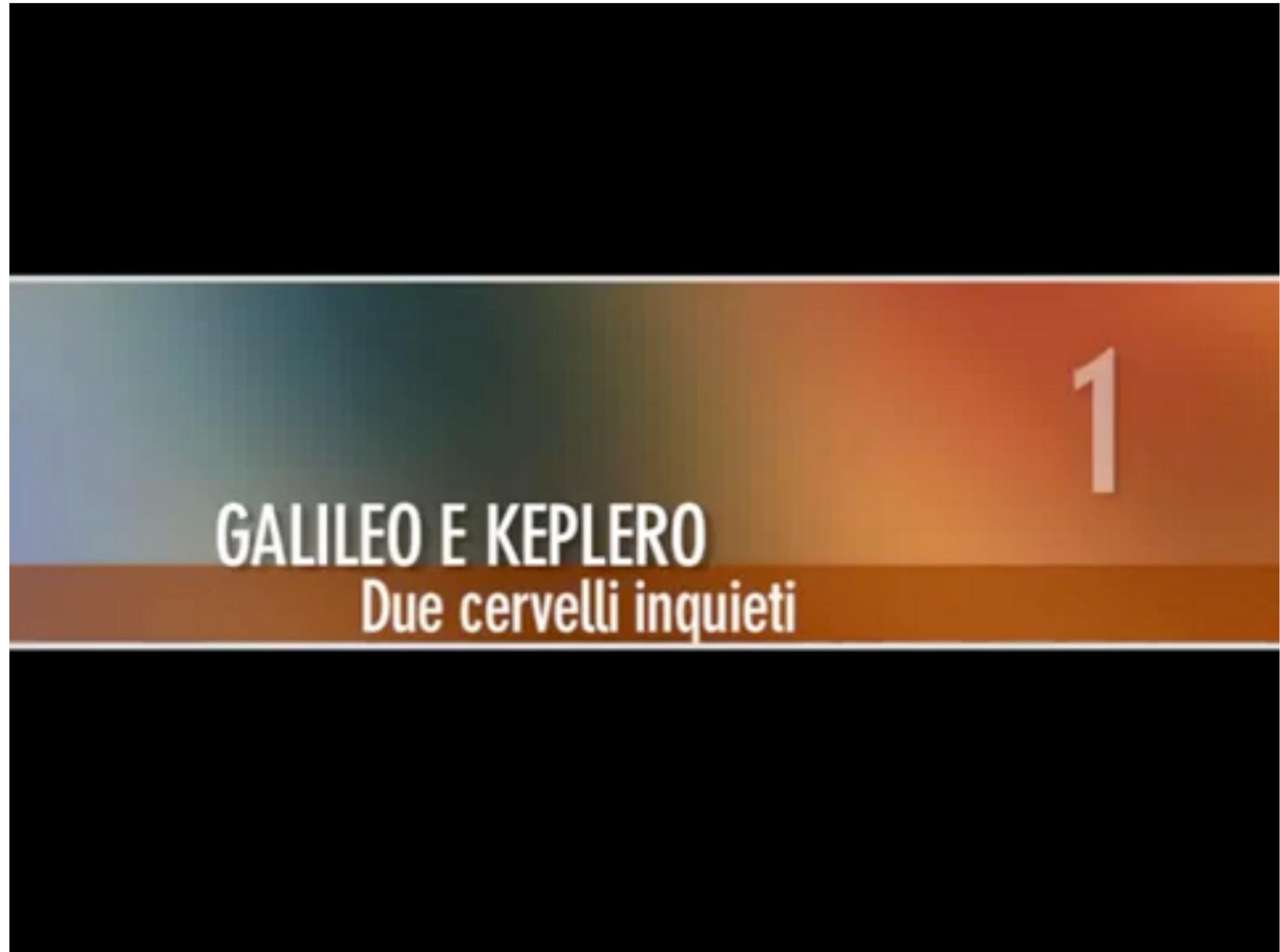
Le **tre leggi di Keplero** rappresentano un modello di descrizione del moto dei pianeti del sistema solare:

1. **L'orbita descritta da ogni pianeta nel proprio moto di rivoluzione è un'ellisse di cui il Sole occupa uno dei due fuochi.**
2. **Durante il movimento del pianeta, il raggio che unisce il centro del pianeta al centro del Sole descrive aree uguali in tempi uguali.**
3. **Il quadrato del periodo di rivoluzione di un pianeta è proporzionale al cubo della sua distanza media dal Sole.**



Galileo e Keplero

Breve intervento di Enrico Bellone



Galileo Galilei nasce il 15 febbraio **1564** a Pisa , muore poi ad Arcetri nel **1642**

Primogenito di sette figli di **Vincenzo Galilei** e di **Giulia Ammannati**

Il padre era un musicista

Nel **1580**, si iscrive all'Università di Pisa con l'intenzione di studiare medicina , sotto la spinta del padre che voleva fargli intraprendere una carriera che poteva procurare lucrosi guadagni.

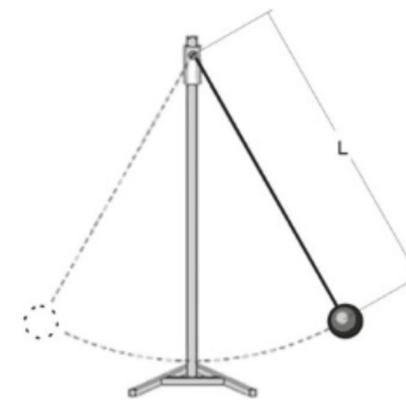
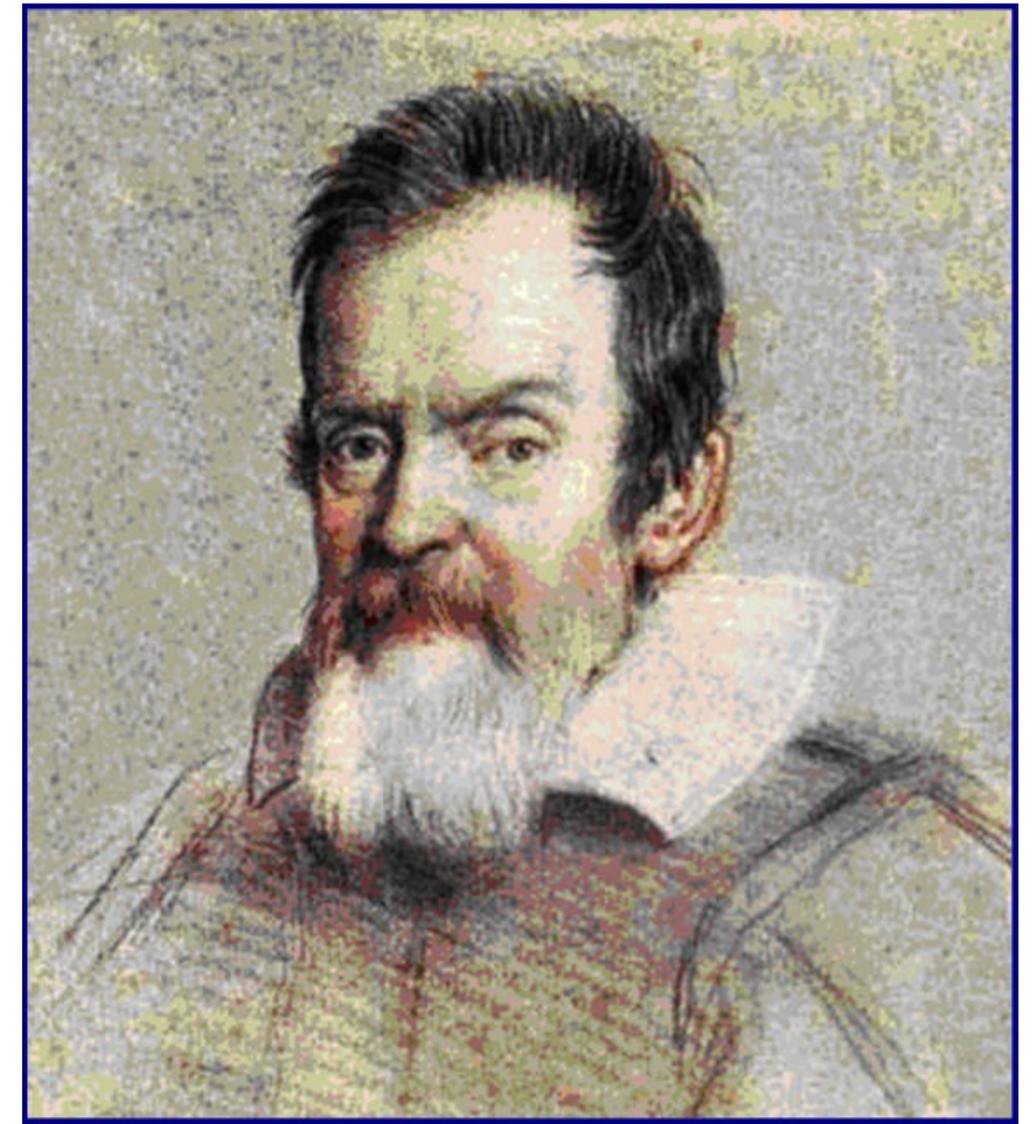
Galileo era però molto più attratto dalla matematica, che cominciò a studiare dall'estate del 1583, sfruttando l'occasione della conoscenza fatta a Firenze del matematico **Ostilio Ricci**, un seguace della scuola matematica di **Niccolò Tartaglia**

Una caratteristica di Ricci era l'impostazione che egli dava all'insegnamento della **matematica: non come una scienza astratta, ma come una disciplina che servisse a risolvere i problemi pratici legati alla meccanica e alle tecniche di ingegneria.**

Fu, infatti, l'influenza di Tartaglia e Ricci - seguaci della tradizione facente capo ad **Archimede** - a insegnare a Galileo l'**importanza della precisione nell'osservazione dei dati e il lato pragmatico della ricerca scientifica**

Durante la sua permanenza a Pisa, protrattasi fino al **1585**, Galileo arrivò alla sua prima, personale scoperta, l'**isocronismo delle oscillazioni del pendolo** , di cui continuerà ad occuparsi per tutta la vita, cercando di perfezionarne la formulazione matematica

Dopo andò per un breve periodo a Firenze iniziandosi ad occupare di meccanica e idraulica



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

Mentre cercava di ottenere una regolare posizione economica, si manteneva dando lezioni private.

Finalmente nel **1589**, **all'età di 25 anni**, ebbe un contratto triennale per una cattedra di matematica presso l'Università di Pisa dove cominciò subito a criticare il pensiero aristotelico criticando l' **ipse dixit**

«Il metodo che seguiremo sarà quello di far dipendere quel che si dice da quel che si è detto, senza mai supporre come vero quello che si deve spiegare. Questo metodo me l'hanno insegnato i miei matematici, mentre non è abbastanza osservato da certi filosofi quando insegnano elementi fisici... Per conseguenza quelli che imparano, non sanno mai le cose dalle loro cause, ma le credono solamente per fede, cioè perché le ha dette Aristotele. Se poi sarà vero quello che ha detto Aristotele, sono pochi quelli che indagano; basta loro essere ritenuti più dotti perché hanno per le mani maggior numero di testi aristotelici [...] che una tesi sia contraria all'opinione di molti, non m'importa affatto, purché corrisponda alla esperienza e alla ragione.^[1]

Nel **1592** , grazie al suo amico matematico Guidobaldo Del Monte ottenne la **cattedra di matematica presso la prestigiosa Università di Padova**

Il 26 settembre 1592 le autorità della Repubblica di Venezia emanarono il decreto di nomina, con un contratto, prorogabile, di quattro anni e con uno stipendio di 180 fiorini l'anno. Il 7 dicembre Galilei tenne a Padova il discorso introduttivo e dopo pochi giorni cominciò un corso destinato ad avere un grande seguito presso gli studenti.



La cattedra lignea di Galileo all'Università di Padova

^[1] [Pio Paschini](#), *Vita e Opere di Galileo Galilei*, Città del Vaticano, Casa Editrice Herder, 1965,

A Padova Galileo insegnò per ben 18 anni che adefinì «*li diciotto anni migliori di tutta la mia età*».[2]

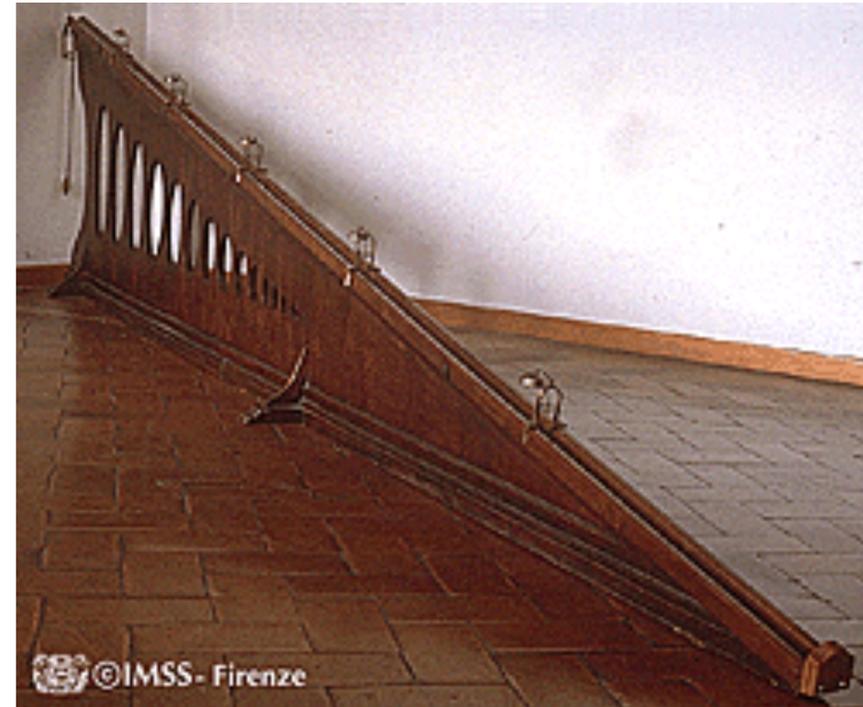
Galilei arrivò nella Repubblica di Venezia solo pochi mesi dopo l'arresto di **Giordano Bruno** (23 maggio 1592) avvenuto nella medesima città.

A Padova Galileo attrezzò, con l'aiuto di un artigiano che abitava nella sua stessa casa, una piccola officina nella quale eseguiva esperimenti e fabbricava strumenti che vendeva per arrotondare lo stipendio. È del 1593 la macchina per portare l'acqua a livelli più alti, per la quale ottenne dal Senato veneto un brevetto ventennale per la sua utilizzazione pubblica.

A Padova studiò il moto dei gravi attraverso il piano inclinato. **Qui a lato un breve video dimostrativo sulle sue misure col piano inclinato**

Dava anche lezioni private a principi e futuri cardinali (suoi allievi furono, tra gli altri, **Vincenzo Gonzaga** ed il principe d'Alsazia **Giovanni Federico**)

Era pure ben pagato, dai 320 fiorini percepiti annualmente nel 1598, passò ai 1.000 ottenuti nel 1609 dopo aver mostrato al Doge la sua invenzione del cannocchiale.



$$s = \frac{1}{2}gt^2$$



[2] Lettera a Fortunio Liceti, 23 giugno 1640. (Ed. Naz., Vol. XVIII, Lettera N. 4025, pp. 164-165)

L'invenzione del Cannocchiale (1609)

Breve intervento di Enrico Bellone

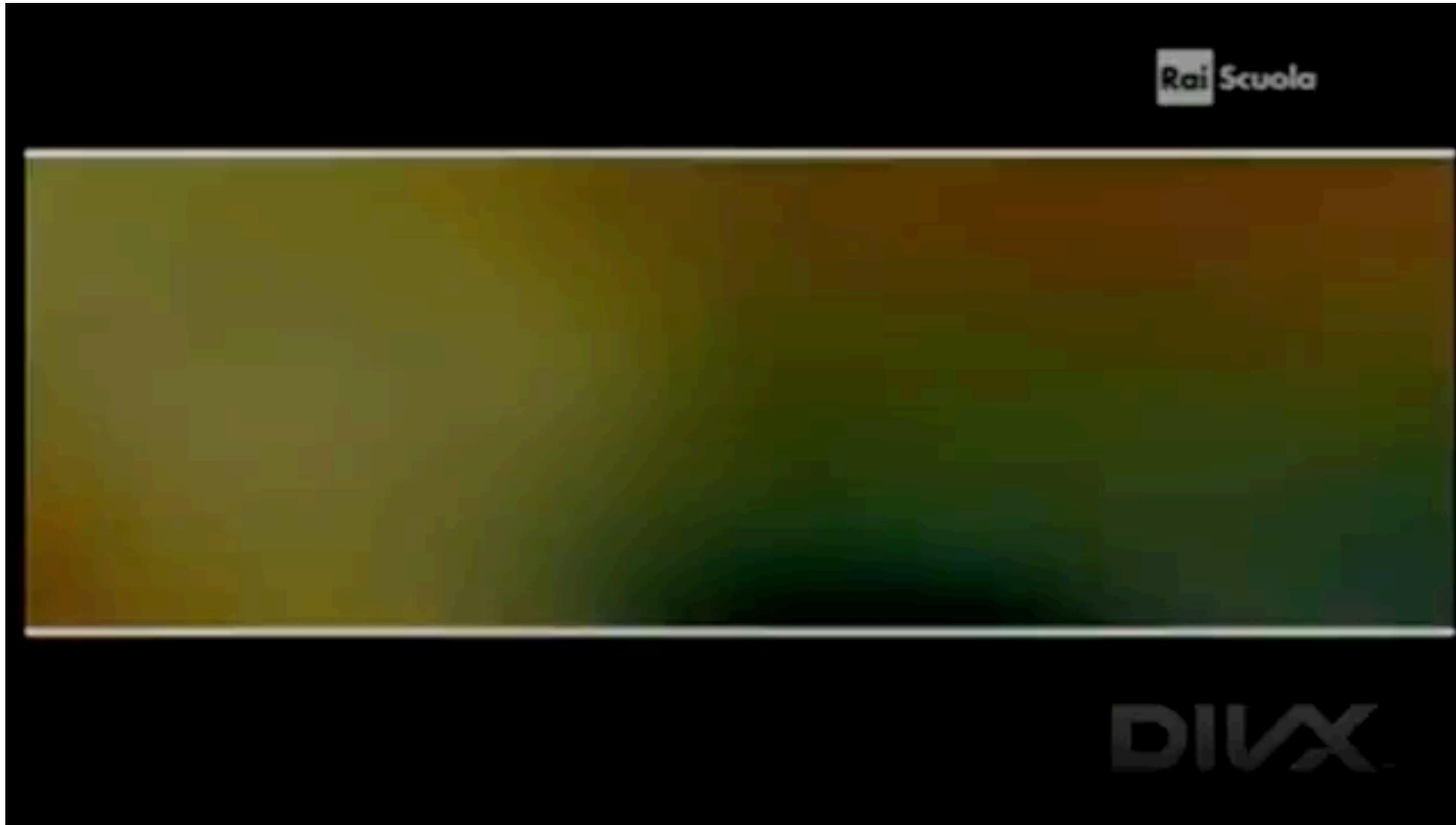


Immagine tratta dal Siderius Nuncius

Le prime osservazioni e la pubblicazione del *Siderius Nuncius* (1610)

Dopo una magistrale dimostrazione delle potenzialità militari del "cannone occhiale" effettuata dal campanile di San Marco il 21 agosto 1609, Galileo, si dedicò al perfezionamento del suo "cannocchiale" e **cominciò finalmente puntarlo verso il cielo** utilizzandolo in campo astronomico.

Molto probabilmente Galileo non fu il primo a usare il "cannocchiale/telescopio" per l'osservazione e lo studio degli astri, essendo stato preceduto da alcuni studiosi olandesi, ma il ***Sidereus Nuncius* fu comunque il primo trattato scientifico basato su osservazioni astronomiche realizzate con questo nuovo strumento.**

Durante le notti serene dell'autunno e dell'inverno successivi, scrutò sbalordito la volta stellata effettuando osservazioni talmente rivoluzionarie da far crollare l'intera impalcatura dell'astronomia e della cosmologia aristotelico-tolemaica.

Prima di tutto vide con grande stupore **le montagne e i crateri della Luna**, fino ad allora ritenuta completamente liscia e composta di materia celeste incorruttibile.

Grazie all'osservazione delle luci e delle ombre proiettate dalla Terra sulla Luna, capì il movimento relativo fra i due corpi celesti.

Osservò anche la **Via Lattea** e la identificò come un enorme ammasso di stelle e corpi celesti, raggruppati in ammassi.

Infine focalizzò la sua attenzione su **Giove**, e scoprì i suoi 4 satelliti naturali chiamati "**planeti medicei**". In onore del granduca di Toscana **Cosimo II de' Medici**, che Galileo voleva ingraziarsi per poter ritornare a **Firenze**.

Ipotizzando la natura di tali satelliti uguale a quella della Luna, stabilì che Giove era un pianeta simile alla Terra fra altri planeti simili.



Frontespizio della prima edizione del 1610

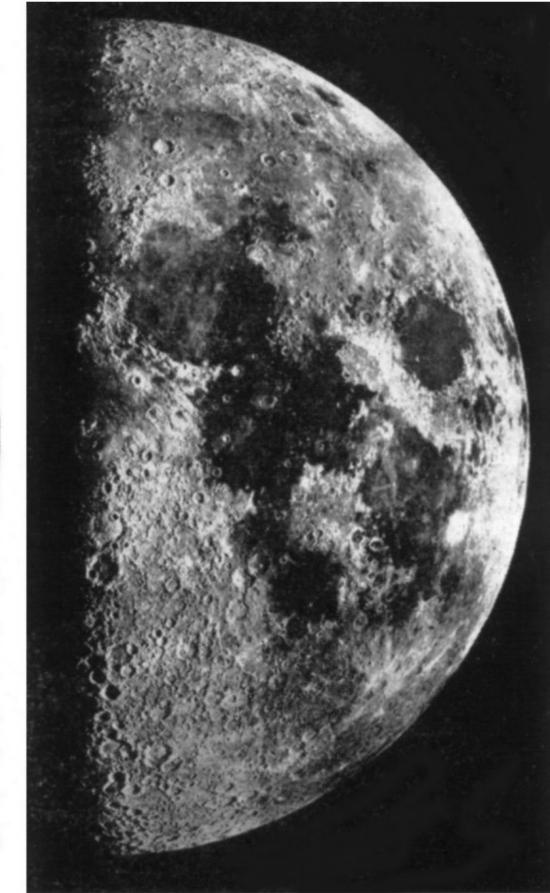
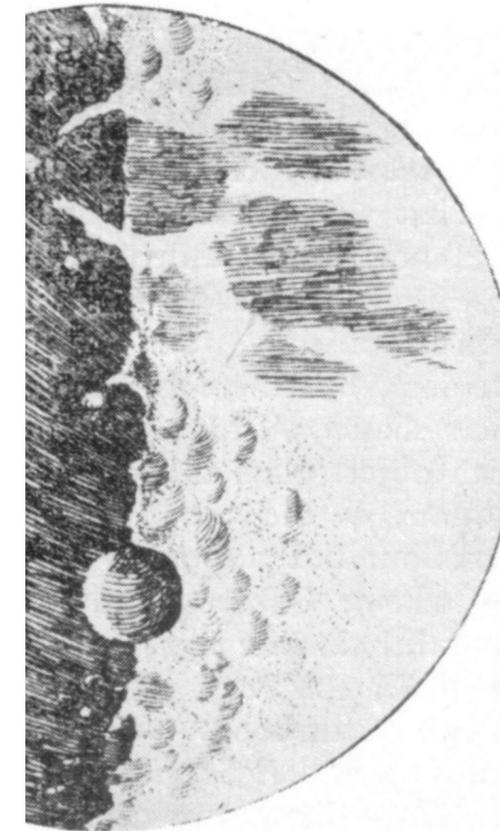
Le prime osservazioni e la pubblicazione del Siderius Nuncius (1610)

Grandi cose per verità in questo breve trattato propongo all'osservazione e alla contemplazione di quanti studiano la natura. Grandi, dico, e per l'eccellenza della materia stessa, e per la novità non mai udita nei secoli, e infine per lo strumento mediante il quale queste cose stesse si sono palesate al nostro senso.

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.

Bellissima cosa e mirabilmente piacevole, vedere il corpo della Luna, lontano da noi quasi sessanta raggi terrestri, così da vicino come distasse solo due di queste dimensioni [...]

Ma quel che di gran lunga supera ogni meraviglia, e principalmente ci spinse a renderne avvertiti tutti gli astronomi e filosofi, è l'aver scoperto quattro astri erranti, da nessuno, prima di noi, conosciuti né osservati, che, a somiglianza di Venere e Mercurio intorno al Sole, hanno le loro rivoluzioni attorno a un certo astro cospicuo tra i conosciuti, ed ora lo precedono ora lo seguono, non mai allontanandosene oltre determinati limiti. E tutte queste cose furono scoperte e osservate pochi giorni or sono con l'aiuto d'un occhiale che io inventai dopo aver ricevuto l'illuminazione della grazia divina.



La luna disegnata da Galilei nel Siderius Nuncius ed una moderna foto della Luna

Ritorno a Firenze e insegnamento a Pisa

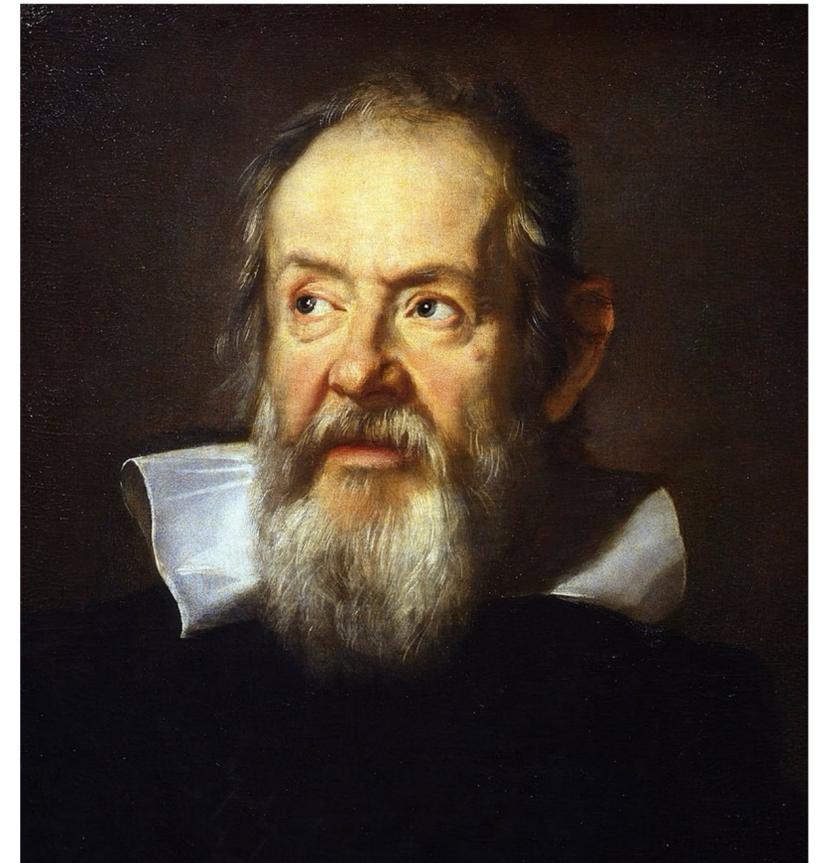
Il 6 giugno 1610 il governo fiorentino comunicava allo scienziato l'avvenuta assunzione come «*Matematico primario dello Studio di Pisa et di Filosofo del Ser.mo Gran Duca, senz'obbligo di leggere e di risiedere né nello Studio né nella città di Pisa, et con lo stipendio di mille scudi l'anno, moneta fiorentina*»^[1] Galileo firmò il contratto il 10 luglio e in settembre raggiunse Firenze.

La pubblicazione del *Sidereus Nuncius* suscitò apprezzamenti ma anche diverse polemiche. Oltre all'accusa di essersi impossessato, con il cannocchiale, di una scoperta che non gli apparteneva, fu messa in dubbio anche la realtà di quanto egli asseriva di aver scoperto.

Un appoggio molto importante fu dato a Galileo da [Keplero](#), che, dopo un iniziale scetticismo e una volta costruito un telescopio sufficientemente efficiente, verificò l'esistenza effettiva dei satelliti di Giove, pubblicando a Francoforte nel 1611 la *Narratio de observatis a sé quattuor Jovis satellitibus erronibus quos Galilaeus Galilaeus mathematicus florentinus jure inventionis Medicaea sidera nuncupavit*.

Poiché i gesuiti docenti presso il [Collegio Romano](#) erano considerati tra le maggiori autorità scientifiche del tempo, **il 29 marzo del 1611 Galileo si recò a Roma per presentare le sue scoperte**. Fu accolto con tutti gli onori dallo stesso [papa Paolo V](#), dai cardinali [Francesco Maria Del Monte](#) e [Maffeo Barberini](#), e dal principe [Federico Cesi](#), che lo iscrisse nell'[Accademia dei Lincei](#), da lui stesso fondata otto anni prima.

Il 1° aprile Galileo poteva già scrivere al segretario ducale [Belisario Vinta](#) che i gesuiti «*avendo finalmente conosciuta la verità dei nuovi Pianeti Medicei, ne hanno fatte da due mesi in qua continue osservazioni, le quali vanno proseguendo; e le aviamo riscontrate con le mie, e si rispondano giustissime*».



^[1] Lettera di Belisario Vinta a Galileo del 6 giugno 1610. (Ed. Naz., Vol. I, p. 287)

Prime critiche della Chiesa nel 1611

Nonostante l'entusiasmo con il quale Galilei andava diffondendo e difendendo le proprie scoperte e teorie cominciarono le prime resistenze e sospetti in ambito ecclesiastico.

Il 19 aprile il cardinale [Roberto Bellarmino](#) incaricò i matematici vaticani di approntargli una relazione sulle nuove scoperte fatte da «**un valente matematico per mezzo d'un istrumento chiamato *cannone* ovvero *ochiale***» e la [Congregazione del Santo Uffizio](#), il seguente 17 maggio, precauzionalmente chiese all'Inquisizione di Padova se fosse mai stato aperto, in sede locale, qualche procedimento a carico di Galilei.

La Curia Romana cominciava già a intravedere quali conseguenze avrebbero potuto avere questi singolari sviluppi della scienza sulla concezione generale del mondo e quindi, indirettamente, sui sacri principi della teologia tradizionale.

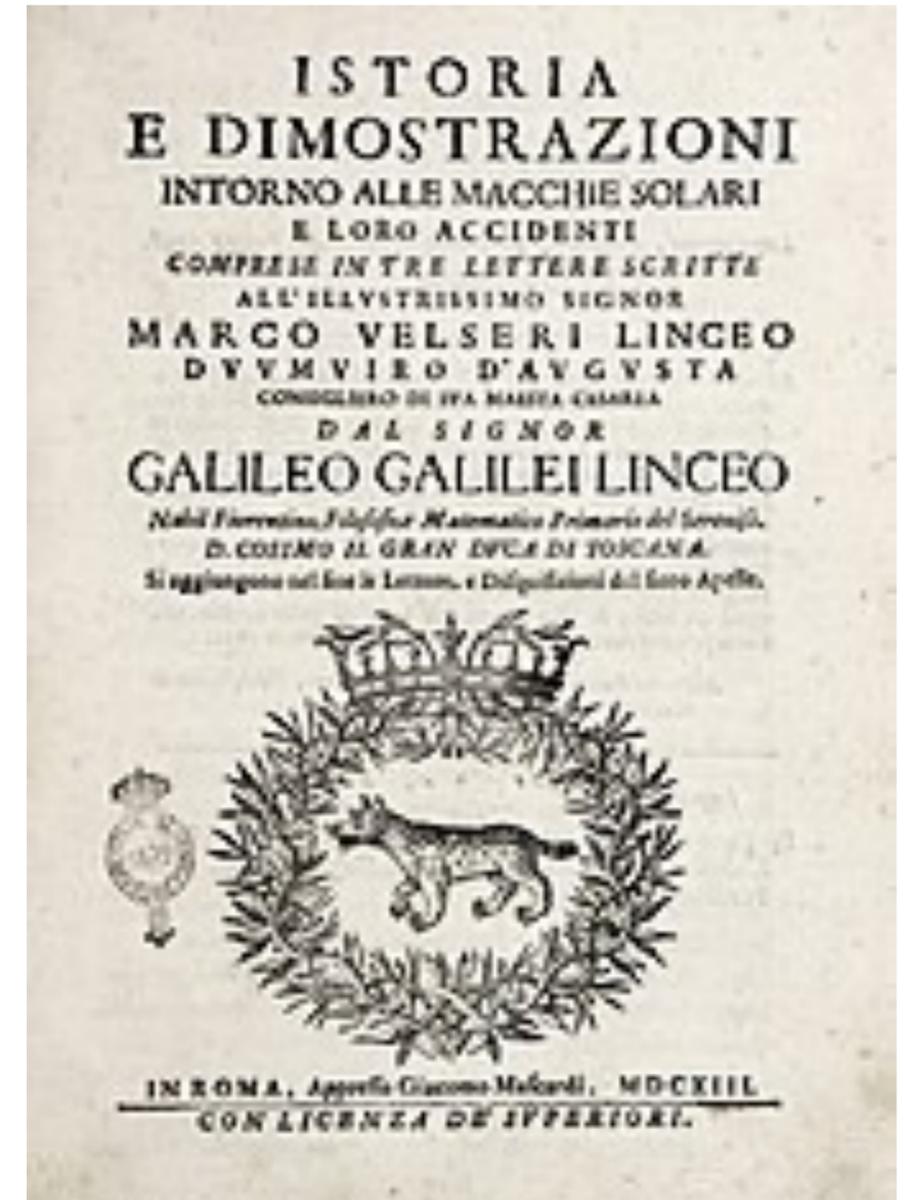
Nel 1612 Galileo scrisse il *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono*, nel quale appoggiandosi alla teoria di [Archimede](#) dimostrava, contro quella di [Aristotele](#), che i corpi galleggiano o affondano nell'acqua a seconda del loro [peso specifico](#) non della loro [forma](#), provocando la polemica risposta del *Discorso apologetico d'intorno al Discorso di Galileo Galilei* del letterato e aristotelico fiorentino [Ludovico delle Colombe](#). Il 2 ottobre, a [Palazzo Pitti](#), presenti il granduca, la granduchessa Cristina e il cardinale [Maffeo Barberini](#), allora suo grande ammiratore, diede una pubblica dimostrazione sperimentale dell'assunto, confutando definitivamente [Ludovico delle Colombe](#).

La polemica sulle macchie solari

Nel suo *Discorso* Galilei accennava anche alle [macchie solari](#), che egli sosteneva di aver già osservate a Padova nel 1610, senza però darne notizia: scrisse ancora, l'anno seguente, *l'Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*, pubblicata a Roma dall'Accademia dei Lincei, in risposta a tre lettere del gesuita Christoph Scheiner.

Scheiner sosteneva erroneamente che le macchie consistevano in sciame di astri rotanti intorno al [Sole](#), mentre Galileo le considerava materia fluida appartenente alla superficie del Sole e ruotante intorno ad esso proprio a causa della rotazione stessa della stella.

L'osservazione delle macchie consentì, quindi, a Galileo la determinazione del periodo di rotazione del Sole e la dimostrazione che il cielo e la terra non erano due mondi radicalmente diversi, il primo solo perfezione e immutabilità e il secondo tutto variabile e imperfetto.



Frontespizio dell'*Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (1613)

L'attacco della Chiesa

La denuncia del domenicano Tommaso Caccini (1614)

Il 21 dicembre 1614, dal pulpito di Santa Maria Novella a Firenze il frate domenicano **Tommaso Caccini** lanciava contro certi matematici moderni, e in particolare contro Galileo, l'accusa di contraddire le Sacre Scritture con le loro concezioni astronomiche ispirate alle teorie copernicane. Giunto a Roma, il 20 marzo 1615, **Caccini denunciò Galileo in quanto sostenitore del moto della Terra intorno al Sole.**

Il cardinale **Roberto Bellarmino**, già giudice nel processo di **Giordano Bruno**, affermava che sarebbe stato possibile reinterpretare i passi della Scrittura che contraddicevano l'eliocentrismo solo in presenza di una vera dimostrazione di esso e, non accettando le argomentazioni di Galileo, aggiungeva che finora non gliene era stata mostrata nessuna, e sosteneva che comunque, in caso di dubbio, si dovessero preferire le sacre scritture.

Era un invito affinché Galileo riconoscesse la teoria copernicana come una mera "ipotesi matematica" atta a "salvare le apparenze".

il Sant'Uffizio stabilì, il 25 novembre 1615, di procedere all'esame delle *Lettere sulle macchie solari* e Galileo decise di venire a Roma per difendersi personalmente, appoggiato dal granduca Cosimo: «*Viene a Roma il Galileo matematico*» – scriveva Cosimo II al cardinale Scipione Borghese – «*et viene spontaneamente per dar conto di sé di alcune imputazioni, o più tosto calunnie, che gli sono state apposte da' suoi emuli*».

Il 25 febbraio 1616 il papa ordinò al cardinale Bellarmino di «convocare Galileo e di ammonirlo di abbandonare la suddetta opinione; e se si fosse rifiutato di obbedire, il Padre Commissario, davanti a un notaio e a testimoni, di fargli precetto di abbandonare del tutto quella dottrina e di non insegnarla, non difenderla e non trattarla».

Nello stesso anno il *De revolutionibus* di Copernico fu messo all'Indice ***donec corrigatur*** (fino a che non fosse corretto).

Il cardinale Bellarmino diede comunque a Galileo una dichiarazione in cui non gli si chiedeva di abiurare, ma in cui si ribadiva la proibizione di sostenere le tesi copernicane



Il cardinale Roberto Bellarmino

Il Saggiatore e la controversia delle comete

Nel novembre del **1618** comparvero nel cielo tre **comete**, fatto che attirò l'attenzione e stimolò gli studi degli astronomi di tutta Europa.

Fra essi il gesuita **Orazio Grassi**, matematico del Collegio Romano, tenne con successo una lezione che ebbe vasta eco, la *Disputatio astronomica de tribus cometis anni MDCXVIII*: con essa, sulla base di alcune osservazioni dirette e di un procedimento logico-scolastico, egli sosteneva l'ipotesi che le comete fossero corpi situati oltre al «cielo della Luna» e la utilizzava per avvalorare il modello di Tycho Brahe, secondo il quale la Terra è posta al centro dell'universo, con gli altri pianeti in orbita invece intorno al Sole, contro l'ipotesi eliocentrica.

Galilei replicò per difendere la validità del modello copernicano dapprima in modo indiretto, attraverso lo scritto *Discorso delle comete* di un suo amico e discepolo, **Mario Guiducci**, ma in cui la mano del maestro era visibile.

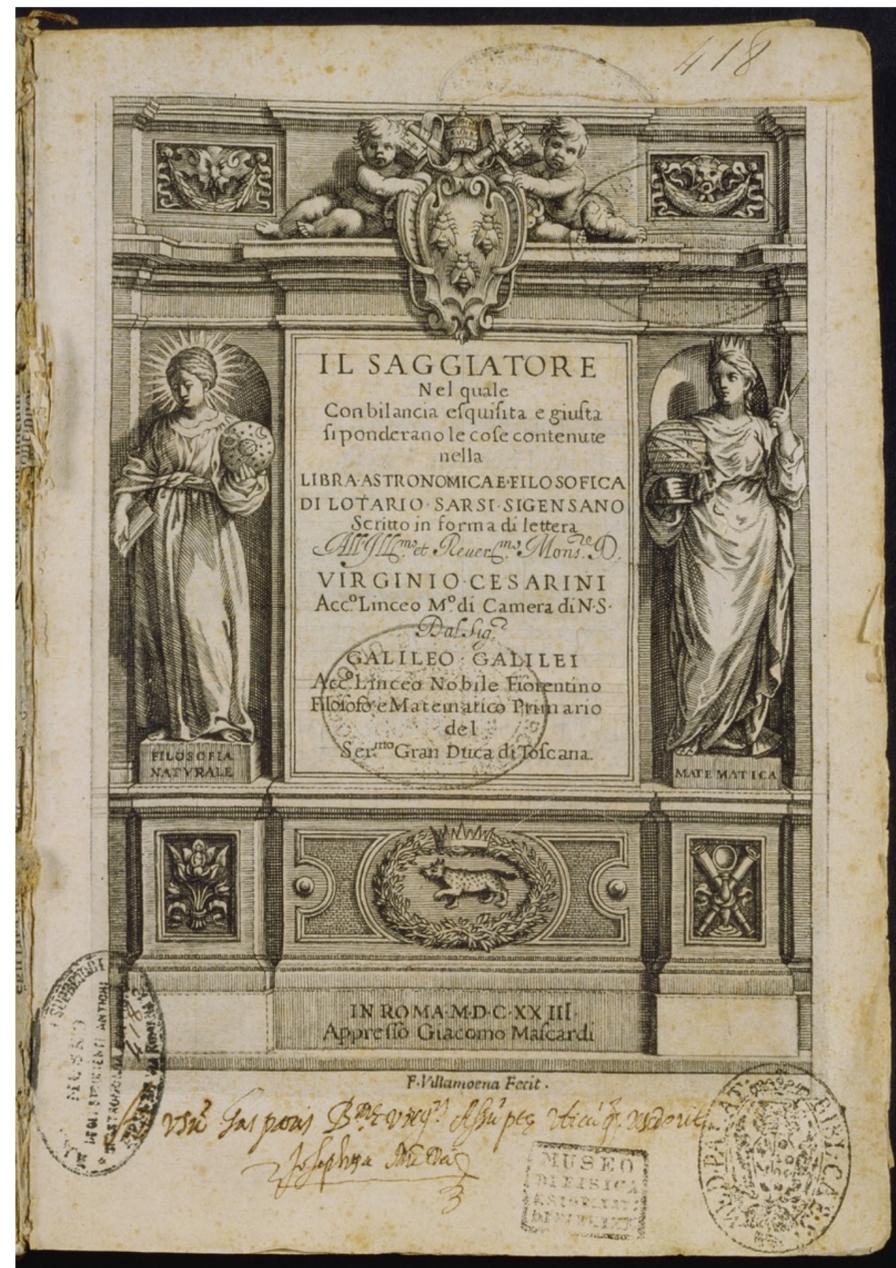
Nella sua replica Guiducci sosteneva erroneamente che le comete non erano oggetti celesti, ma puri effetti ottici prodotti dalla luce solare su vapori elevatisi dalla Terra, ma indicava anche le contraddizioni del ragionamento di Grassi e le sue erronee deduzioni dalle osservazioni delle comete con il cannocchiale. Il gesuita rispose con uno scritto intitolato *Libra astronomica ac philosophica*, firmato con lo pseudonimo anagrammatico di Lotario Sarsi, attaccava direttamente Galilei e il copernicanesimo.

Galilei a questo punto rispose direttamente nel 1622 con il suo trattato *Il Saggiatore*.

Scritto in forma di lettera, fu approvato dagli accademici dei Lincei e **stampato a Roma nel maggio 1623**. Il 6 agosto, dopo la morte di papa Gregorio XV, con il nome di **Urbano VIII** saliva al soglio pontificio Maffeo Barberini, da anni amico ed estimatore di Galileo. Questo convinse erroneamente Galileo che «**risorge la speranza**, quella speranza che era ormai quasi del tutto sepolta. **Siamo sul punto di assistere al ritorno del prezioso sapere dal lungo esilio a cui era stato costretto**», come scritto al nipote del papa **Francesco Barberini**.

Il Saggiatore presenta una teoria rivelatasi successivamente erronea delle comete come apparenze dovute ai raggi solari. In effetti, la formazione della chioma e della coda delle comete, dipendono dall'esposizione e dalla direzione delle radiazioni solari, dunque Galilei non aveva poi tutti i torti

La differenza tra le argomentazioni di Grassi e quella di Galileo era tuttavia soprattutto di metodo, in quanto il secondo basava i propri ragionamenti sulle esperienze. Nel *Saggiatore*, Galileo scrisse infatti la celebre metafora secondo la quale «**la filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo)**», mettendosi in contrasto con Grassi che si richiamava all'autorità dei maestri del passato e di Aristotele per l'accertamento della verità sulle questioni naturali.



Frontespizio di *Il saggiatore* di Galileo Galilei (Roma, 1623)

«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, e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.»

(Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, Cap. VI)

Gli incontri con Urbano VIII (Roma, 1624) e la *Lettera a Francesco Ingoli*

Il 23 aprile **1624** Galilei giunse a Roma per rendere omaggio al papa e strappargli la concessione della tolleranza della Chiesa nei confronti del sistema copernicano, ma nelle sei udienze concessegli da Urbano VIII non ottenne da questi alcun impegno preciso in tal senso.

Nel settembre del 1624, in una lettera a Francesco Ingoli, sostenitore di tesi anticopernicane, Galileo confutava le argomentazioni anticopernicane ed enunciava per la prima volta quello che sarà poi chiamato il ***principio della relatività galileiana***.

Alla frequente obiezione dei sostenitori della immobilità della Terra, che osservavano che **i gravi cadono perpendicolarmente sulla superficie terrestre, anziché obliquamente**, come apparentemente dovrebbe avvenire se la Terra si muovesse, **Galileo risponde portando l'esperienza della nave nella quale, sia essa in movimento uniforme o sia ferma, i fenomeni di caduta o, in generale, dei moti dei corpi in essa contenuti, si verificano esattamente nello stesso modo**, perché

«il moto universale della nave, essendo comunicato all'aria e a tutte quelle cose che in essa vengono contenute, e non essendo contrario alla naturale inclinazione di quelle, in loro indelebilmente si conserva».



Ritratto di Papa Urbano VIII Barberini,

Il Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo (1632)

Nel 1624 Galilei cominciò il suo nuovo lavoro, un *Dialogo* che, confrontando le diverse opinioni degli interlocutori, gli avrebbe consentito di esporre le varie teorie correnti sulla cosmologia, e quindi anche quella copernicana, senza mostrare un particolare sostegno a favore di nessuna di esse.

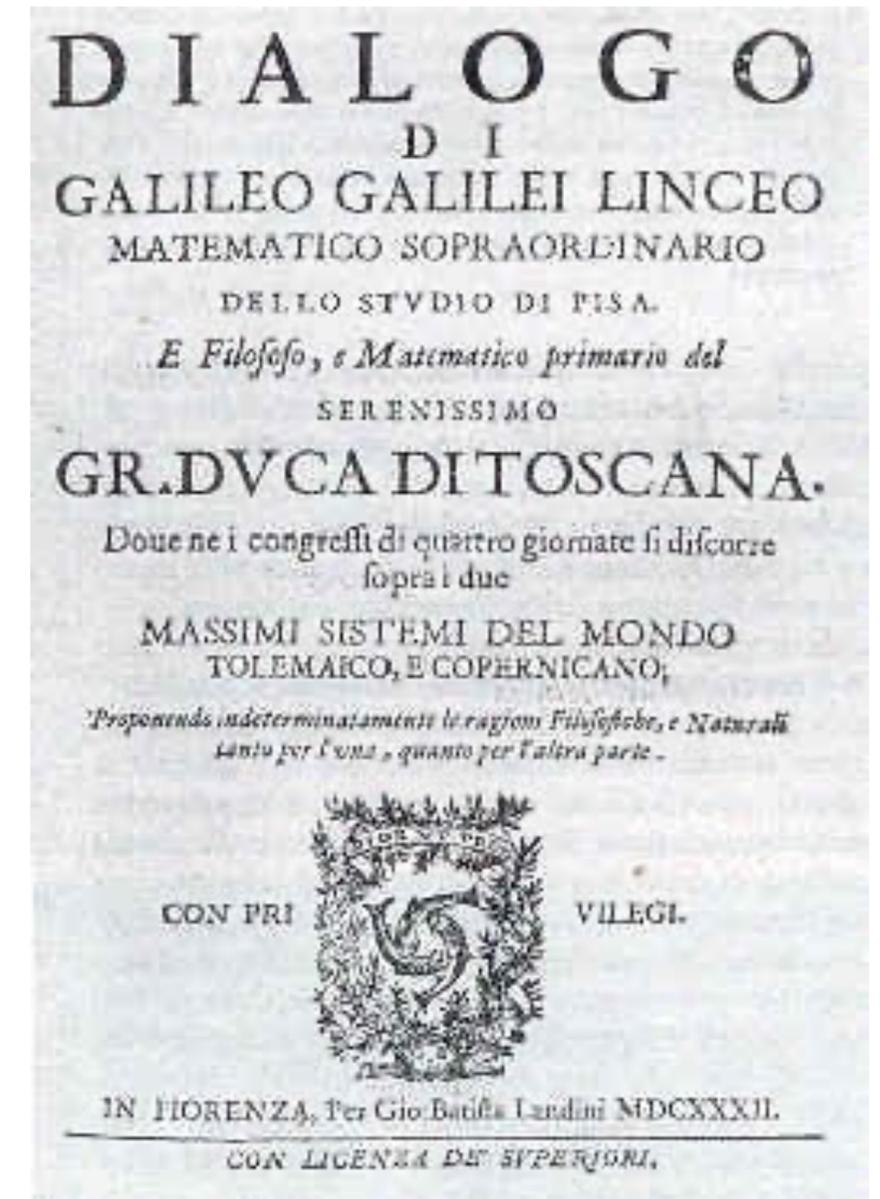
Ragioni di salute e familiari prolungarono la stesura dell'opera fino al 1630: dovette prendersi cura della numerosa famiglia del fratello Michelangelo, mentre il figlio Vincenzo, laureatosi in legge a Pisa nel 1628, si sposò l'anno dopo.

Per esaudire il desiderio della figlia Maria Celeste, monaca ad Arcetri, di averlo più vicino, affittò vicino al convento il villino «Il Gioiello».

Dopo non poche vicissitudini per ottenere l'*imprimatur* ecclesiastico, l'opera venne pubblicata nel 1632.

Nel *Dialogo* i due massimi sistemi messi a confronto sono quello tolemaico e quello copernicano e tre sono i protagonisti: due sono personaggi reali, amici di Galileo, e all'epoca già defunti, lo scienziato fiorentino Filippo Salviati (1582-1614) e il nobile veneziano Gianfrancesco Sagredo (1571-1620), nella cui casa si fingono tenute le conversazioni, mentre il terzo protagonista è Simplicio, un personaggio inventato che richiama nel nome un noto, antico commentatore di Aristotele, oltre a sottintendere il suo semplicismo scientifico.

Simplicio è il sostenitore del sistema tolemaico, mentre l'opposizione copernicana è sostenuta dal Salviati e Sagredo fa da moderatore (rappresenta il destinatario dell'opera) anche se poi finisce però per simpatizzare per l'ipotesi copernicana.



Frontespizio del Dialogo (1632)

La reazione immediata della Chiesa

Il *Dialogo* ricevette subito molti elogi, ma già nell'agosto 1632 si diffusero le prime voci di una proibizione del libro

Il Maestro del Sacro Palazzo Niccolò Riccardi aveva scritto il 25 luglio all'inquisitore di Firenze Clemente Egidi che per ordine del Papa il libro non doveva più essere diffuso; il 7 agosto gli chiedeva di rintracciare le copie già vendute e di sequestrarle. Il 5 settembre, secondo l'ambasciatore fiorentino Francesco Niccolini, il Papa adirato accusò Galileo di aver raggirato i ministri che avevano autorizzato la pubblicazione dell'opera.

Urbano VIII esternò tutto il suo risentimento in quanto una sua tesi era stata trattata, secondo lui, maldestramente ed esposta al ridicolo. Discutendo della teoria sulle maree, sostenuta dal copernicano Salviati - e che avrebbe dovuto essere la prova definitiva della mobilità della Terra - Simplicio propugna "una saldissima dottrina, che già da persona dottissima ed eminentissima appresi, e alla quale è forza quietarsi" (chiaro riferimento a Urbano), secondo la quale Dio, grazie alla sua "infinita sapienza e potenza", avrebbe potuto causare le maree in modi diversissimi tra loro, e non si poteva essere sicuri che quello proposto da Salviati fosse l'unico corretto.

Apparve sicuramente oltraggioso il commento ironico di Salviati, il quale definisce la proposta di Simplicio "una mirabile e veramente angelica dottrina".^[1]

Infine l'opera si chiudeva con l'affermazione che agli uomini si "concede il disputare intorno alla costituzione del mondo" a patto di non "ritrovare l'opera fabbricata" da Dio. Questa conclusione non era altro che un espediente diplomatico escogitato pur di andare in stampa.

Questo espediente aveva fatto infuriare ancora di più il Papa che si sentì in questo modo preso in giro. Inoltre il **dialogo era scritto in italiano volgare e quindi era un'opera divulgativa accessibile a tutti, che metteva la Sacre Scritture in subordine alle osservazioni sperimentali di Galileo.**

Il 23 settembre l'Inquisizione romana sollecitava quella fiorentina perché notificasse a Galileo l'ordine di comparire a Roma entro il mese di ottobre davanti al Commissario generale del Sant'Uffizio.

Galileo, in parte perché malato, in parte perché sperava che la questione potesse aggiustarsi in qualche modo senza l'apertura del processo, ritardò per tre mesi la partenza ma poi di fronte alla minacciosa insistenza del Sant'Uffizio, **il 20 gennaio 1633 partì per Roma in lettiga.**

Il Processo e l'abiura (Roma 1633)

Il processo cominciò il 12 aprile, con il primo interrogatorio di Galileo, al quale il commissario inquisitore, il domenicano [Vincenzo Maculano](#), contestò di aver ricevuto, il 26 febbraio 1616, un «precetto» con il quale il cardinale Bellarmino gli avrebbe intimato di abbandonare la teoria copernicana, di non sostenerla in nessun modo e di non insegnarla.

Nell'interrogatorio Galileo negò di aver avuto conoscenza del precetto e sostenne di non ricordare che nella dichiarazione del Bellarmino vi fossero le parole *quovis modo* (in qualsiasi modo) e *nec docere* (non insegnare).

Incalzato dall'inquisitore, Galileo non solo ammise di non avere detto «cosa alcuna del sodetto precetto», ma anzi arrivò a sostenere che «nel detto libro io mostro il contrario di detta opinione del Copernico, e che le ragioni di esso Copernico sono invalide e non concludenti».

Concluso il primo interrogatorio, Galileo fu trattenuto, «pur sotto strettissima sorveglianza», in tre stanze del palazzo dell'Inquisizione, «con ampia e libera facoltà di passeggiare».^[1]

Il 22 giugno, il giorno successivo all'ultimo interrogatorio di Galilei, nella sala capitolare del convento domenicano di Santa Maria sopra Minerva, fu emessa la sentenza, nella quale si riassumeva la lunga vicenda del contrasto fra Galileo e la dottrina della Chiesa, cominciata dal 1615 con lo scritto *Delle macchie solari* e l'opposizione dei teologi nel 1616 al modello Copernicano. Nella sentenza si sosteneva anche che il documento ricevuto nel febbraio 1616 fosse un'effettiva ammonizione a non difendere o insegnare la teoria copernicana.

Viene quindi imposta l'abiura, viene proibito il *Dialogo*, e Galilei viene condannato al «carcere formale ad arbitrio nostro» e alla «pena salutare» della recita settimanale dei sette salmi penitenziali per tre anni.

La leggenda vuole che Galileo pronunciò la frase «[E pur si muove](#)», subito dopo l'abiura e questo suggerisce la sua ferma convinzione della validità del modello copernicano

Gli ultimi anni 1633-1642

La sentenza di condanna prevedeva un periodo di carcere a discrezione del Sant'Uffizio e l'obbligo di recitare per tre anni, una volta alla settimana, dei [salmi penitenziali](#).

La prigionia consistette inizialmente in un soggiorno coatto per cinque mesi presso la residenza romana dell'ambasciatore del [Granduca di Toscana](#), [Pietro Niccolini](#), a [Trinità dei Monti](#) e poi nella casa dell'arcivescovo [Ascanio Piccolomini](#) a [Siena](#).

Quanto ai salmi penitenziali, Galileo incaricò di recitarli, con il consenso della Chiesa, la figlia Maria Celeste, suora di clausura.

A Siena l'arcivescovo Piccolomini permise a Galileo di incontrare personalità della città e di dibattere questioni scientifiche.

Però a seguito di una lettera anonima in cui si denunciava l'operato dell'arcivescovo e dello stesso Galileo, il Sant'Uffizio provvide, accogliendo una stessa richiesta avanzata in precedenza da Galilei, a confinarlo nell'isolata villa («Il Gioiello») nella campagna di Arcetri.

Nell'ordine del 1° dicembre 1633 *si intimava a Galileo di «**stare da solo, di non chiamare né di ricevere alcuno, per il tempo ad arbitrio di Sua Santità**»*. Solo i familiari potevano fargli visita, dietro preventiva autorizzazione: anche per questo motivo gli fu particolarmente dolorosa la perdita della figlia suor Maria Celeste, l'unica con cui avesse mantenuto legami, avvenuta il 2 aprile [1634](#).

Poté tuttavia mantenere corrispondenza con amici ed estimatori, anche fuori d'Italia. Ad esempio in una lettera all'amico giurista [Elia Diodati](#), che stava a Parigi, scrisse il 7 marzo 1634, che *«l'invidia e la malignità mi hanno machinato contro» con la considerazione che «l'infamia ricade sopra i traditori e i costituiti nel più sublime grado dell'ignoranza»*.

Questa, e altre lettere, dimostrano quanto poco Galileo avesse rinnegato le proprie convinzioni copernicane.

I *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638)

Dopo il processo del 1633 Galilei scrisse e pubblicò nei Paesi Bassi nel 1638 un grande trattato scientifico dal titolo *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e i moti locali* grazie al quale lo si considera il *padre della scienza moderna*.

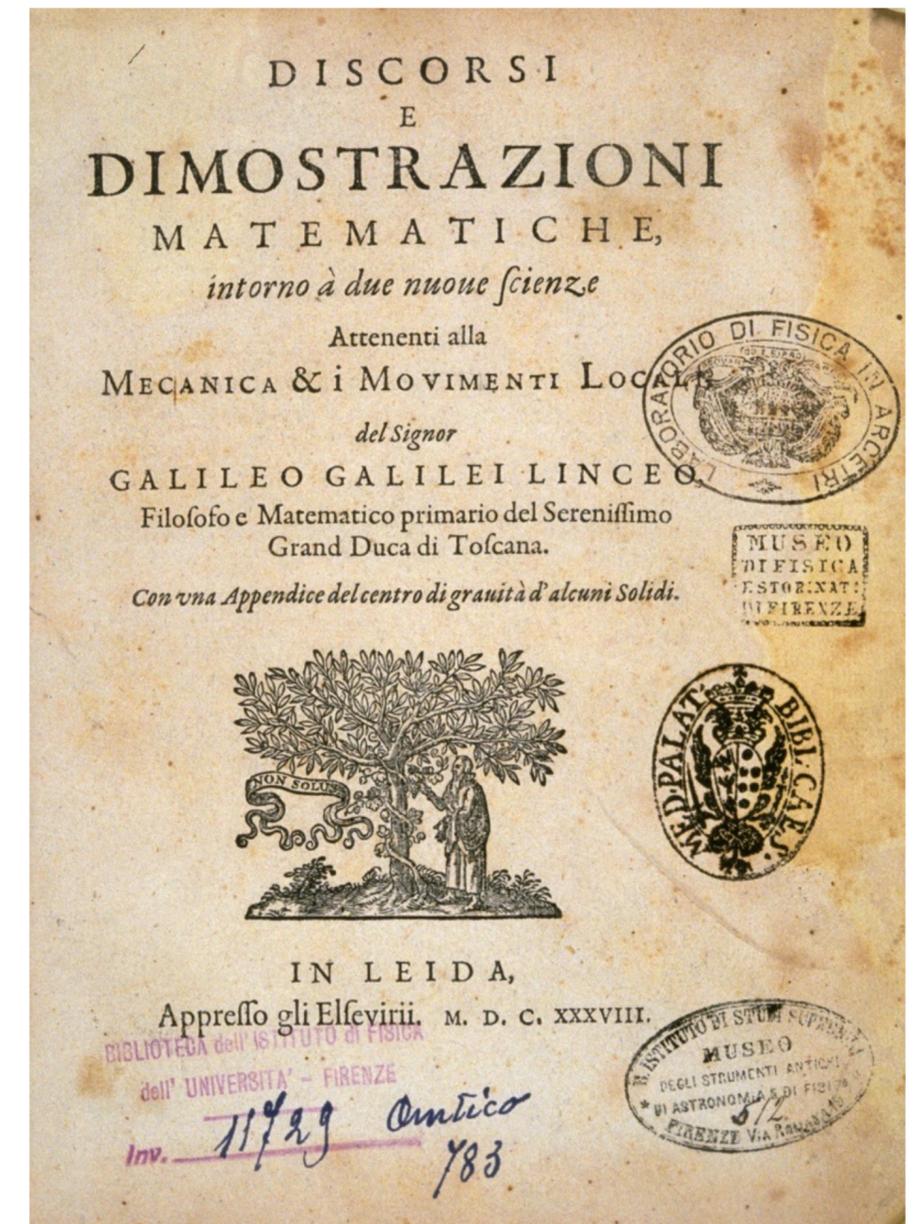
Anche questo scritto è organizzato come un dialogo che si svolge in quattro giornate fra i tre medesimi protagonisti del precedente *Dialogo dei massimi sistemi* (Sagredo, Salviati e Simplicio).

Nella prima giornata, Galileo tratta della resistenza dei materiali: la diversa resistenza deve essere legata alla struttura della particolare materia e Galileo, pur senza pretendere di pervenire a una spiegazione del problema, affronta l'interpretazione atomistica di *Democrito*, considerandola un'ipotesi capace di rendere conto di fenomeni fisici.

In particolare, la possibilità dell'esistenza del *vuoto* – prevista da Democrito – viene ritenuta una seria ipotesi scientifica e nel vuoto – ossia nell'inesistenza di un qualunque mezzo in grado di opporre resistenza – Galileo sostiene giustamente che tutti i corpi «discenderebbero con eguale velocità», in opposizione con la scienza contemporanea che riteneva l'impossibilità del moto nel vuoto.

Nella **seconda giornata** si discute della *statica* e della *leva*

Mentre **nella terza e nella quarta giornata** si occupa della *dinamica*, stabilendo le leggi del moto uniforme, del moto naturalmente accelerato e del *moto uniformemente accelerato* e delle oscillazioni del *pendolo*.



La morte

Galilei morì l'8 gennaio del 1642 e venne tumulato nella [Basilica di Santa Croce](#) a Firenze dove si trovano anche le tombe di altri grandi come [Machiavelli](#) e [Michelangelo](#), ma non fu possibile innalzargli l'«augusto e sontuoso deposito» desiderato dai discepoli, perché il 25 gennaio il nipote di Urbano VIII, il cardinale Francesco Barberini, scrisse all'inquisitore di Firenze Giovanni Muzzarelli di

«far passare all'orecchie del Gran Duca che non è bene fabbricare mausolei al cadavero di colui che è stato penitentiato nel Tribunale della Santa Inquisitione, ed è morto mentre durava la penitenza; nell'epitaffio o iscrizione che si porrà nel sepolcro, non si leggano parole tali che possano offendere la reputatione di questo Tribunale. La medesima avvertenza dovrà pur ella avere con chi reciterà l'oratione funebre [...]».

La Chiesa mantenne la sorveglianza anche nei confronti degli allievi di Galileo: quando questi diedero vita all'[Accademia del Cimento](#), essa intervenne presso il Granduca, e l'Accademia fu sciolta nel 1667.

Soltanto nel [1737](#), Galileo Galilei fu onorato con un monumento funebre in Santa Croce, che sarebbe stato celebrato poi da [Ugo Foscolo](#) ne [I Sepolcri](#).



La tomba di Galilei nella basilica di Santa Croce, Firenze

*«Vide / sotto l'etereo padiglion rotarsi / più mondi, e il Sole irradiarli immoto,
onde all'Anglo che tanta ala vi stese / sgombrò primo le vie del firmamento.»*

L'eredità di Galileo

Il linguaggio della natura è matematico

«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, e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.»

(Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, Cap. VI)

L'eredità di Galileo

Il metodo scientifico

Galileo ci lascia il **metodo scientifico basato sulle osservazioni sperimentali**

E' la maniera con cui la scienza procede per raggiungere una conoscenza della realtà certa, affidabile e verificabile.

Consiste nella *raccolta di dati empirici sotto la guida delle ipotesi teoriche da vagliare e nella analisi rigorosa, logico-razionale e, dove possibile, matematica di questi dati*: come enunciato per primo da Galileo, associando le «**sensate esperienze**» alle «**dimostrazioni necessarie**».

L'eredità di Galileo

Ecco cosa scrive Emilio
Segrè di Galileo in
*Personaggi e Scoperte
della Fisica Classica: da
Galileo alla termodinamica,*
Mondadori 1996

Ho tracciato brevemente la vita di Galileo e ho citato alcune delle sue realizzazioni scientifiche. A mio avviso, le sue scoperte nel campo della fisica sono ancora più importanti di quelle, pur grandi, nel campo dell'astronomia. Sarebbe facile indicare alcune scoperte o invenzioni specifiche, ma ciò darebbe un'idea incompleta dell'importanza di Galileo. Il metodo e lo spirito del suo approccio alla Natura rappresentano i suoi risultati più alti. Nei punti più inaspettati dei suoi testi si possono trovare cose meravigliose: per esempio, il tentativo di misurare la velocità della luce (scoprì che essa era più veloce di quanto egli potesse determinare col suo metodo), o le osservazioni sulla propagazione del suono e sui toni emessi da corde vibranti. E ve ne sono molte altre. Le cose realmente nuove e rivoluzionarie del suo approccio alla Natura sono la larghezza di vedute delle sue osservazioni, il rigore dei suoi ragionamenti e la sua curiosità per tutti i generi di fenomeni naturali. Viviani diceva che Galileo possedeva pochi libri poiché preferiva osservare la Natura piuttosto che leggere libri. La profondità del suo pensiero è dimostrata dalla chiara comprensione che egli ebbe della legge di inerzia e della invarianza dei fenomeni osservati in sistemi in traslazione uniforme rispetto ad altri, e dalla comprensione della composizione e della sovrapposizione dei movimenti. Sono, queste, alcune fra le più profonde acquisizioni scientifiche raggiunte dall'uomo. Nei suoi ragionamenti troviamo spesso deduzioni basate sull'inversione del tempo o su altre proprietà di simmetria che stranamente evocano alcune delle più moderne considerazioni in fisica teorica.

L'eredità di Galileo

Ecco cosa scrive Emilio Segrè del **pensiero di Einstein su Galileo** in *Personaggi e Scoperte della Fisica Classica: da Galileo alla termodinamica*, Mondadori 1996

Una valutazione di Galileo è complicata. Egli fu indubbiamente uno degli uomini più intelligenti che siano mai esistiti, se per intelligenza intendiamo l'abilità analitica e l'immaginazione scientifica. Della sua personalità scientifica, un esperto qualificato come Einstein dice:

Il motivo di fondo che io trovo nell'opera di Galileo è costituito dalla lotta appassionata contro ogni tipo di dogma basato sull'autorità. Per Galileo, solo l'esperienza e la riflessione accurata sono criteri accettabili di verità. Per noi, oggi, è difficile capire sino in fondo come una tendenza del genere potesse essere insolita e rivoluzionaria nell'epoca galileiana, e cioè in un'epoca durante la quale il fatto stesso di nutrire dubbi a proposito della verità di opinioni, prive d'ogni base che

situazione dello stesso genere, o che per lo meno non ne siamo così lontani come alcuni di noi vorrebbero: eppure, se non altro in teoria, il principio stesso del pensiero libero da pregiudizi ha vinto la sua battaglia, e la maggioranza delle persone ama rendere omaggi, non del tutto sinceri, a questo principio.

Si è spesso dichiarato che Galileo divenne il padre della scienza moderna sostituendo il metodo speculativo o deduttivo con il metodo empirico o sperimentale. Credo invece che questa interpretazione non sia in grado di reggere a un esame accurato. Non esiste alcun metodo sperimentale in mancanza di concetti e sistemi speculativi, e non esiste alcuna forma speculativa di pensiero i cui concetti non rivelino, ad esami accurati, il materiale empirico da cui emergono. Il fatto di porre in contrasto netto fra loro l'apparecchio empirico e quello deduttivo è fuorviante, ed era del tutto estraneo allo stesso Galileo.

Per approfondire

- Enrico Bellone, *Galileo*, in *Le Scienze* (a cura di), *I grandi della scienza*, anno I, n. 1, Milano, 1998
- Enrico Bellone, "Storia della Fisica", Utet, 1990
- Ludovico Geymonat, *Galileo Galilei*, Torino, Einaudi, 1957
- Emilio Segrè, *Personaggi e Scoperte della Fisica Classica: da Galileo alla termodinamica*, Mondadori 1996