

# Disegni celesti. Le “sensate esperienze” e le “necessarie dimostrazioni” per la conoscenza e la misura dei cieli

Gabriella Liva

## Abstract

Il contributo approfondisce alcune tematiche condivise dall'Università luav di Venezia in due mostre parallele, a Roma e Firenze, organizzate con il Museo Galileo - Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze in merito all'interpretazione, la misura e la rappresentazione dell'universo all'epoca galileiana. Dopo secoli di sottomissione ai dogmi della Chiesa cattolica, l'universo aristotelico-tolemaico si rivelò uno spazio sorprendente da esplorare e ridisegnare. Il cosmo non era più una collezione unitaria di stelle fisse e di sfere cristalline su cui giacevano i pianeti, ma un insieme di corpi celesti, in parte sconosciuti. L'orizzonte ottico, che era rimasto immutato per secoli e sembrava rimanerlo per sempre, veniva improvvisamente spostato al di là dei limiti ordinari di visibilità determinando un crollo dei principi di ordine, armonia e perfezione sui quali si reggeva. Tale rivoluzione cosmologica e antropologica fu sostenuta da una ricerca scientifica costante in cui l'osservazione e l'esplorazione dei cieli furono accompagnate da una rappresentazione grafica supportata da nuovi strumenti ottici/prospettici. Gli scritti galileiani, ma ancora di più i disegni effettuati, svelarono e diffusero una nuova immagine della meccanica celeste. Se fino all'epoca di Galileo l'occhio risultava il solo mezzo per esplorare il cielo, successivamente il cannocchiale lo potenziò e il disegno diventerà straordinario testimone oculare di questo sguardo aumentato.

## Parole chiave

modelli astronomici, disegno astronomico, cannocchiale, Galileo Galilei, Tycho Brahe

Installazione presente alla mostra “Splendori celesti. L'osservazione del cielo da Galileo alle onde gravitazionali” (16 dicembre 2023 - 17 marzo 2024), ex Dormitorio del Complesso di Santa Maria Novella, Firenze. Il movimento corporeo dell'osservatore interagisce con le variazioni cromatiche desunte dai dati delle diverse onde (onde radio, micro onde, infrarosso, raggi X, raggi gamma, neutrini e onde gravitazionali) dello spazio profondo. Foto: Gabriella Liva, 2023.



## Introduzione

Con la pubblicazione nel 1543 dell'opera *De revolutionibus orbium coelestium*, Niccolò Copernico (1473-1543) attaccò pubblicamente il pensiero astronomico e cosmologico dell'Occidente, aprendo, con la sua teoria eliostatica [1], una fase di straordinario sviluppo scientifico che continuerà con la scoperta della legge di gravitazione universale e, dunque, con l'affermazione della fisica newtoniana [Rossi 2020, pp. 105-233]. In quel periodo occuparsi di scienze era una questione tutt'altro che pacifica; si cominciò a creare una profonda frattura all'interno della comunità scientifica, dando vita a due distinti schieramenti: l'uno, degli uomini di Chiesa, ancorati alla visione classica del mondo, l'altro, degli scienziati laici di stampo innovatore e rivoluzionario.

La convinzione di poter spiegare la perfezione dei cieli tolemaici e teologici delle Sacre Scritture con i postulati e le certezze della cosmologia aristotelica fu messa in discussione dalla "logica scientifica che insegna a veder chiaro" [Raimondi 1982, pag. XVI], verso cui si stavano indirizzando le menti più raffinate del mondo scientifico e religioso [Liva 2013, pp. 251-261]. Nel tentativo di costruire modelli cosmologici fedeli alla realtà e nuove interpretazioni filosofiche del mondo, alcuni tra i temi più sentiti, sui quali si stavano scontrando le due fazioni, riguardavano la struttura dell'universo, le leggi matematiche che regolavano il moto dei pianeti e la natura dei corpi celesti. La fondatezza delle novità telescopiche di Galileo (1564-1642) diffuse le falsità dei cieli tolemaici dimostrando che la volta celeste era qualcosa di mutevole e che aveva la necessità di essere osservata, misurata e disegnata.

## Modelli cosmologici

Fin dopo la morte di Copernico, l'autorità di Aristotele e, successivamente, il *Trattato matematico*, noto col nome dato dagli Arabi, l'*Almagesto* (II sec. d.C.) di Tolomeo, dominarono il pensiero astronomico e cosmologico dell'Occidente. I maestri di Copernico pensavano ancora che la geometria dei cieli fosse quella descritta dal celebre e indiscusso filosofo greco, corretta sulla combinazione deferente/epiciclo per giustificare le evidenti anomalie della meccanica celeste. Il credo cristiano accolse e sostenne questa visione, ponendo al centro di un universo ordinato la Terra, realtà immobile e imperfetta sottomessa ai processi di trasformazione e di corruzione. Il cielo era una calotta rotante intorno a un asse fisso e i moti dei pianeti entità incastonate in altrettante sfere materiali di cristallo in perenne movimento [1]. Ogni contributo innovativo, derivato da nuove osservazioni, veniva osteggiato e taciuto perché comprometteva l'equilibrio finora raggiunto e apportava un'ulteriore complicazione nella spiegazione geometrico-matematica dei moti siderali [Kuhn 2000, pp. 136-146]. Eppure, il controllo sistematico della posizione dei pianeti e delle stelle determinò un aumento sempre maggiore della distanza tra la semplicità originaria del modello primitivo delle sfere aristoteliche e l'insieme delle operazioni di calcolo necessarie alla spiegazione di ogni fenomeno. L'universo antico, adattato agli epicicli di Ipparco o ai vari sistemi eccentrico e omocentrico, alimentò la discordia tra gli studiosi, in primis matematici, che si concentrarono su alternative teorie celesti.

Il modello ticonico, ideato da Tyge Ottesen Brahe (1546-1601), latinizzato in Tycho [Thoren, Christianson, 1991], attivo nel territorio appartenente al Regno di Danimarca, propose una soluzione plausibile alla crisi del paradigma aristotelico-tolemaico, in un periodo di transizione compreso tra le idee rivoluzionarie di Copernico del 1543 e la prima legge delle orbite ellittiche di Keplero (1571-1630) del 1609 [Dreyer 2016, 281-301; Gattei 2011, pp. 651-676]. L'assidua e costante osservazione notturna, non solo in particolari congiunzioni, si focalizzò sulla negazione sia del dogma dell'incorruttibilità ed immutabilità dei cieli, sia dell'esistenza reale delle sfere celesti materiali, uno dei cardini della astrometria tradizionale [2]. Nel *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus* pubblicato a Uraniborg nel 1588, Brahe descrisse, dunque, un sistema planetario – corretto poi dal suo allievo Keplero – che si rivelò una sorta di compromesso tra due modelli, quello tolemaico, di cui accettò moti circolari ed epicicli, e quello copernicano, che vede il Sole in una posizione privilegiata [3]. Il

nostro pianeta era posto al centro delle orbite di Luna e Sole, mentre attorno a quest'ultimo ruotavano gli altri pianeti al tempo conosciuti, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno (fig.1). La sua proposta fu credibile grazie alla costruzione e all'uso di rigorosi strumenti di misurazione, orientati alla quantificazione dei fenomeni celesti, anche se ad occhio nudo, e collocati sia nel palazzo centrale di Uraniborg (fig. 2), sia nella sua estensione, l'osservatorio di Stjerneborg (fig. 3) [4], entrambi nell'isola svedese di Hven [5].

Come testimonia una rappresentazione postuma del matematico spagnolo Juan Caramuel de Lobkovitz (1606 - 1682) [6] per molto tempo i tre sistemi cosmologici – aristotelico\tolemaico, copernicano e ticoniano – vennero più volte studiati e confrontati prima di accettare definitivamente la versione kepleriana.

Anche nell'Antiporta dell'*Almagestum novum* (1651), opera del gesuita Giovan Battista Riccioli (1598-1671), appaiono diversi modelli astronomici, tra cui quello dell'astronomo ferrarese, un sistema misto geo-eliocentrico che risulta una variante di quello ticonico [Dreyer 2016, p. 340]. Nell'incisione, il sistema tolemaico è abbandonato a terra; lo stesso Tolomeo appare pensieroso, semisdraiato con accanto la frase "Confortato se corretto"; la figura mitologica Dike, l'astronomia teorica, regge una sfera armillare e la bilancia della Giustizia con l'iscrizione "trovato il suo equilibrio": su di essa il sistema del Riccioli pesa più di quello di Copernico.

Le diverse rappresentazioni dell'universo che per decenni continuarono a coesistere insieme dimostrarono la passione e la sfida di molti studiosi nel creare modelli geometrici per la lettura, l'analisi, la misurazione e dunque il controllo di tali complesse manifestazioni celesti [7].

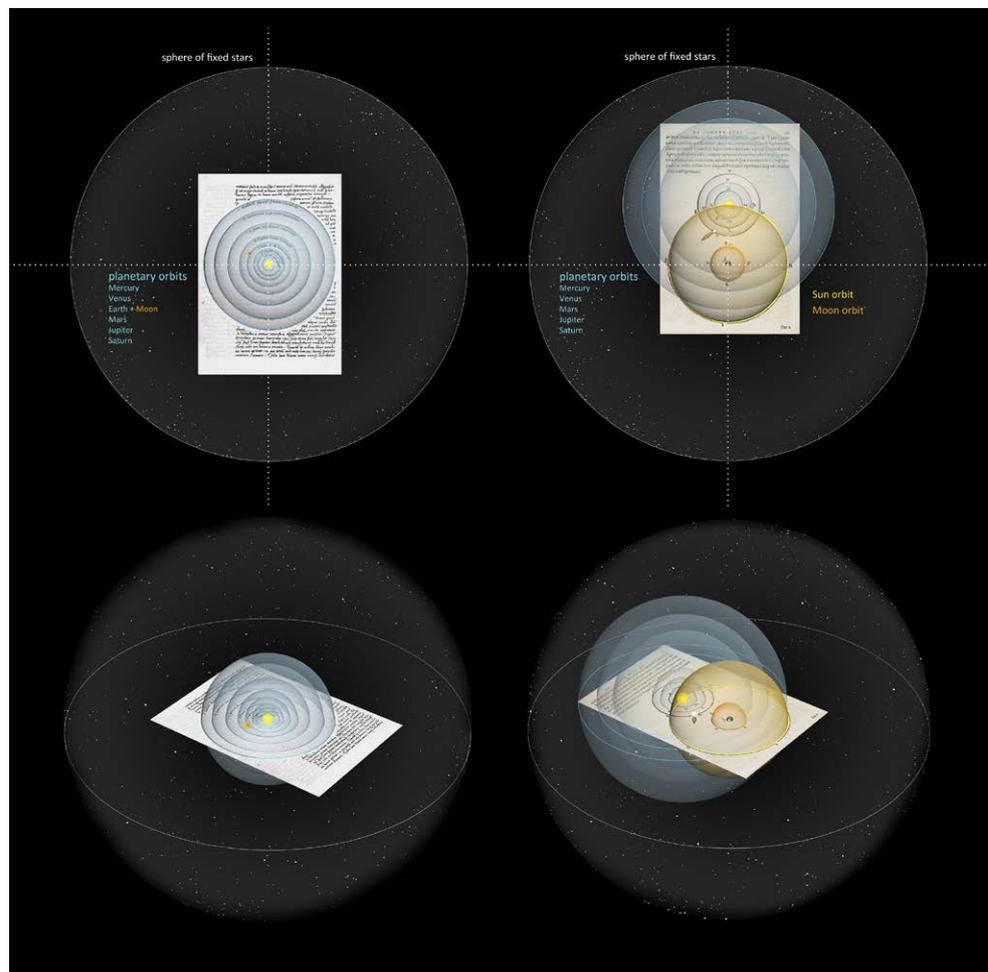


Fig. 1. Confronto tra il modello astronomico copernicano (a sinistra) e il sistema ticonico (a destra). Immagini basate su un'illustrazione del *De revolutionibus* di Niccolò Copernico, 1543 e su *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus*, 1588. Modelli 3D ed elaborazioni grafiche. Elaborazione dell'autrice, 2024.

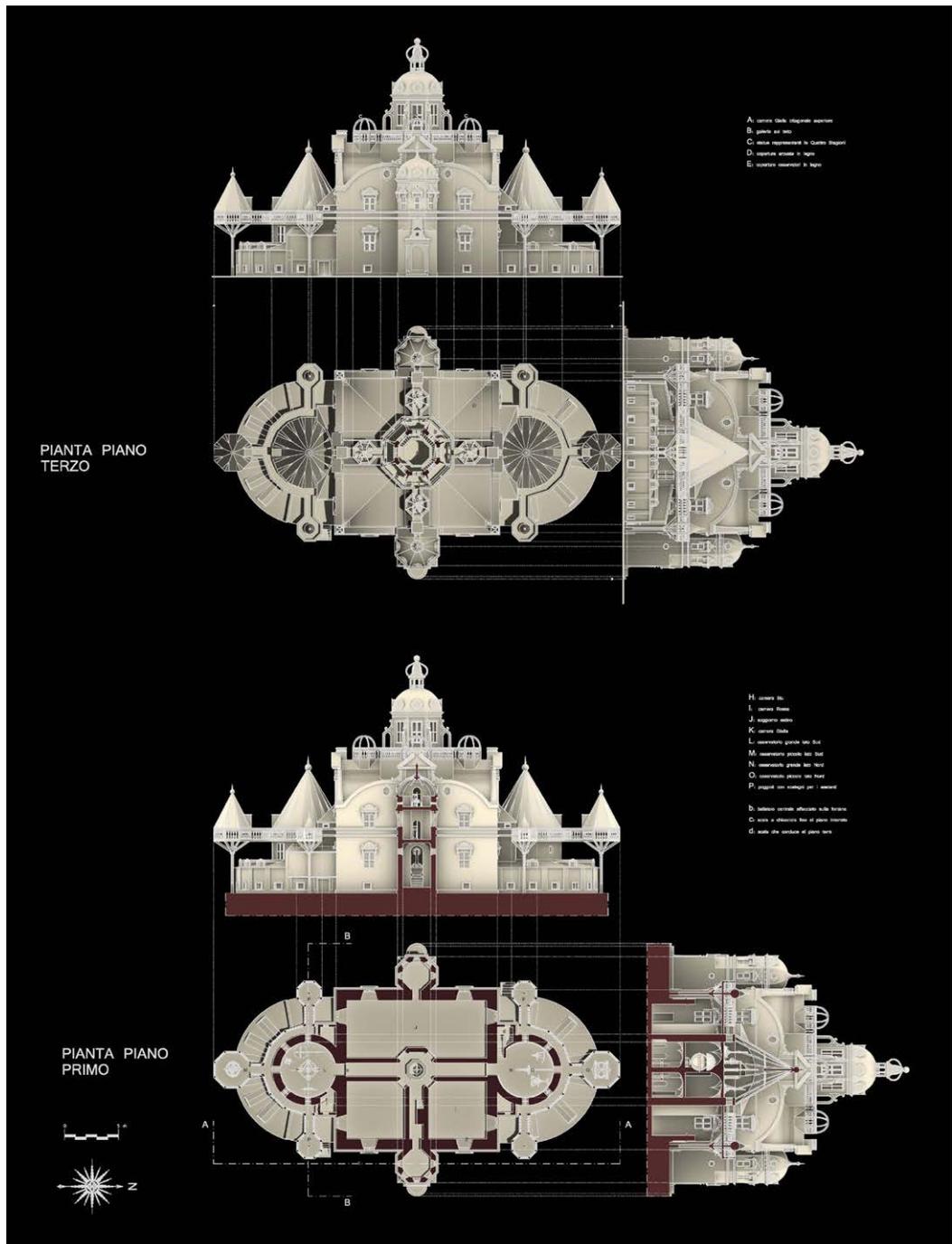


Fig. 2. Ricostruzione digitale del castello di Uraniborg: proiezioni ortogonali. Modello 3D di Monica Enzo.

## Gli strumenti per la conoscenza dei cieli

Il credito crescente riscosso non solo dalle teorie cometarie, ma dall'intero sistema di Tycho Brahe, su cui aveva ripiegato la Chiesa, fu messo a dura prova da un'opera di Galileo, *Il Saggiatore* (1623) trattato che diventerà manifesto della scienza moderna [Brunetti 2005, pp. 595-808]. Il titolo, riferito a un tipo di bilancia di precisione simile a quella usata dagli orefici per pesare piccole quantità di materiali preziosi, venne opportunamente scelto in opposizione a un altro strumento, la libra, riferita a *La Libra astronomica ac philosophica*, testo di Orazio Grassi (1583-1654). La libra era una bilancia classica che non necessitava di misure minuziose

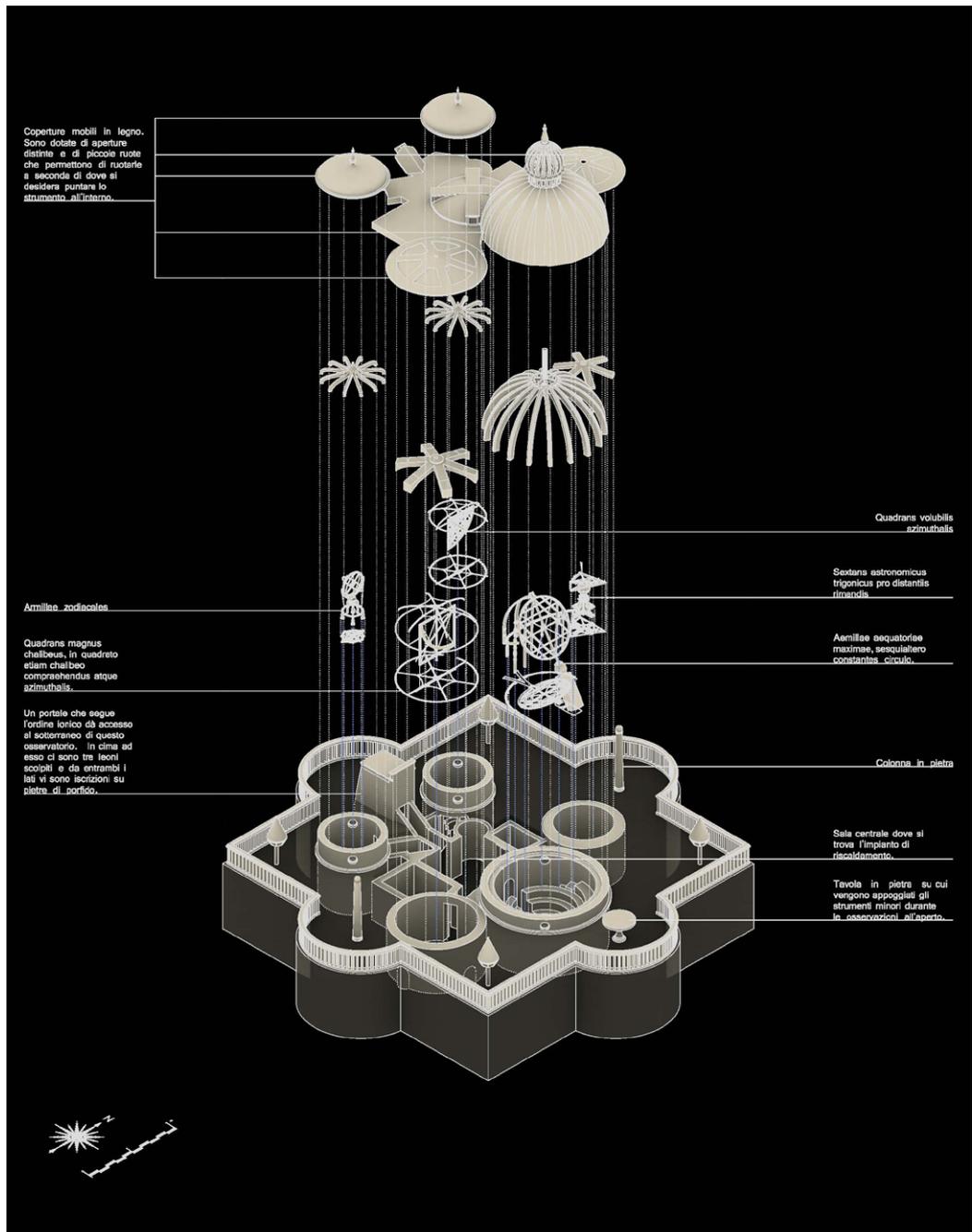


Fig. 3. Esploso assometrico dell'osservatorio di Stjerneborg. Modello 3D di Monica Enzo.

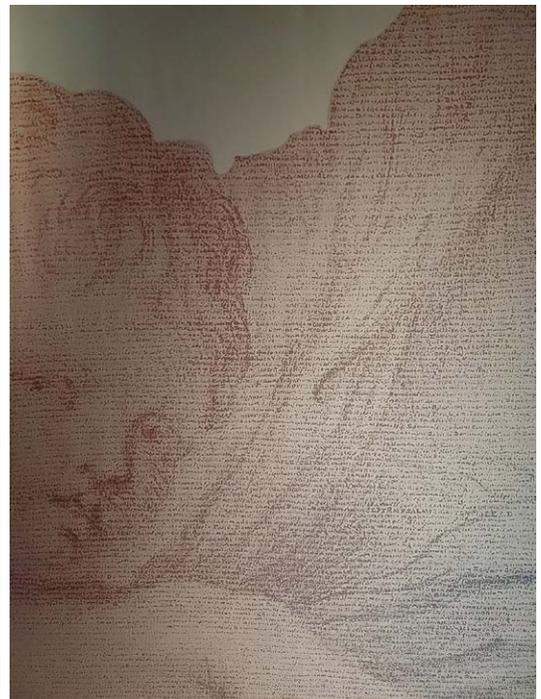
e, dunque, i due libri *Il Saggiatore* e *La Libbra*, contrapposizione tra due bilance, diventarono metafora della disputa tra due metodi scientifici: l'uno, quello galileiano, raffinato e preciso; l'altro, del padre gesuita, più grossolano e antiquato. Risultava evidente come usuali strumenti di misura terrestre si elevarono a simboli di dimostrazioni celesti. Osservare, misurare e comprendere il cosmo divenne un'ossessione. Nel trattato, Galileo ci insegna che il lavoro dello scienziato non è quello di difendere ciò che si ritiene vero, bensì di mettere sempre in discussione le proprie convinzioni e cercare con curiosità risposte nuove a vecchie domande. Le armi dello scienziato sono solo due: le "sensate esperienze", ovvero i dati sperimentali (si osserva la natura, si misurano le caratteristiche degli elementi che influiscono sul fenomeno, si raccolgono i dati e si formula l'ipotesi di spiegazione) e le "necessarie dimostrazioni", cioè le rigorose dimostrazioni matematiche (si organizza un esperimento per riprodurre quanto

osservato e, tramite l'applicazione matematica, i dati raccolti sono rielaborati); ogni teoria scientifica ha necessità di seguire tale costruzione logica.

Protagonista di tale rivoluzione scientifica nella geografia celeste fu proprio il cannocchiale o telescopio, chiamato *fistula dioptrica* e *perspicillum* in latino, *perspective cylinder* in inglese, cannone, trombetta, visorio, occhiale grande, occhiale di canna in italiano... o, in onore al suo maestro, occhiale di Galileo, in grado di mettere "sotto gli occhi del mondo intero, e quotidianamente, un cielo che appariva sempre più complicato e disordinato, rischiando così di trasformarsi in uno strumento sacrilego, profanatore dell'antico firmamento" [Bucciantini, Camerota, Giudice 2012, p. 269].

Vero è che lo scienziato pisano, compreso e indagato l'occhiale olandese, cosciente delle proprietà rifrattive del vetro [8] che permetteva di guardare a lunghe distanze, nonostante il disturbo dell'aberrazione cromatica dovuto alla scomposizione della luce, riuscì proprio a migliorarne le prestazioni tanto che "le cose vedute [...] appariscano quasi 1000 volte più grandi e più di 30 volte più vicine che se si guardino con la sola facoltà naturale" [Brunetti 2005, p. 279]. Il risultato, destinato a cambiare l'immagine dell'universo conosciuto, fu sorprendente: non solo astri e fenomeni prima invisibili divennero visibili ma quelle apparenze considerate per lungo tempo vere si rivelarono illusorie mentre altre credute dubbie divennero chiare e distinte.

Naturalmente l'uso combinato di lenti concave e convesse dilatò i confini della visione sia verso ciò che appariva infinitamente lontano sia, viceversa, verso una realtà estremamente minuta. A tal proposito, un caso unico nel suo genere fu la realizzazione di una curiosità barocca, firmata Ignatius Moli, *Madonna con Bambino* (1642), in cui si invitava l'osservatore a guardare e a leggere "cum mycroscopion" [Camerota 2023b, p. 334-5]. L'eccezionale rappresentazione, gouache su pergamena, è un calligramma, il cui soggetto è tratto da un'opera di Pietro da Cortona ed è costituita da scritte minutissime, realizzate col microscopio, tratte dall'*Officium Beatae Virginis* riconosciuto nel 1631 da papa Urbano VIII (figg. 4-5).



Figg. 4-5. Ignatius Moli, *Madonna con Bambino*, 1642 Collezione Diego Costantini. È stato esposto per la prima volta presso la mostra "La Città del Sole. Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII". Foto: Gabriella Liva, 2023.

## Il disegno per la rappresentazione dei cieli

Nonostante la verità galileiana fosse divulgata in latino al di là dei confini italiani, in realtà la grande innovazione scientifica andò ben oltre le parole scritte; bastava sfogliare le poche pagine del *Sidereus nuncius* (1610) per comprenderne la novità e l'impatto rivoluzionario esercitato sulla tradizione [Brunetti 2005, pp. 563-320]. Le tavole della Luna, la rappresentazione della Via Lattea, della cintura di Orione, delle nebulose o gli schemi dei satelliti di Giove rendevano il messaggio sidereo forte e chiaro: la distanza che separava quel testo da tutti i precedenti sforzi interpretativi de coelo risiedeva proprio sul primato delle immagini rispetto alla parola scritta. Le descrizioni, spiegazioni e deduzioni lasciavano il posto alle sintetiche immagini, i cui pochi segni ribaltavano la dinamica stellare. La scoperta telescopica di un nuovo cielo rivelava un altro mondo e il disegno diventò un mezzo di divulgazione per far capire cosa si potesse vedere attraverso la potenza delle lenti obiettive e oculari [9] (fig.6).

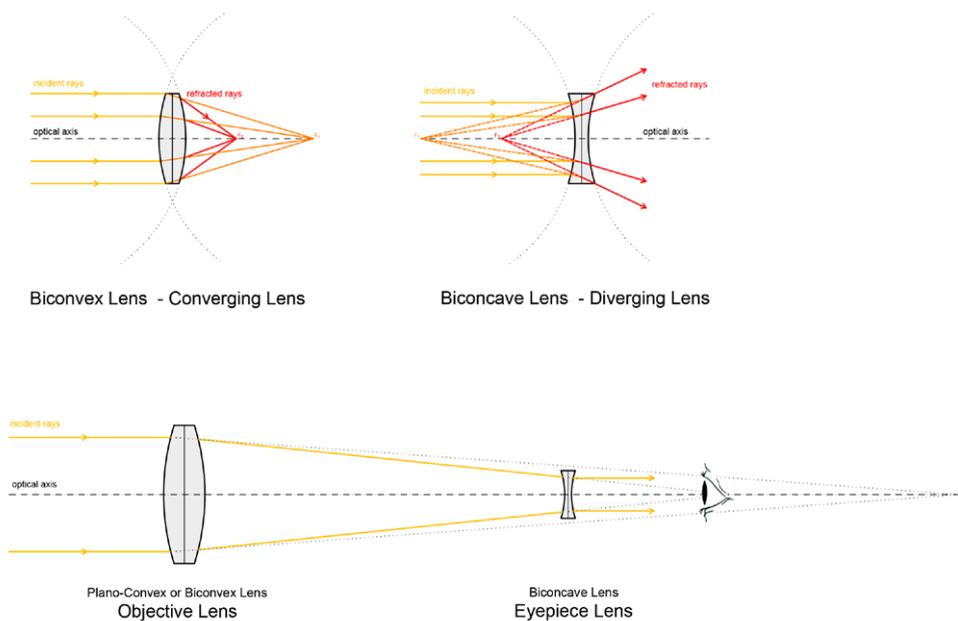


Fig. 6. Schema delle lenti biconvesse e delle lenti biconcave. In basso lo schema del cannocchiale di Galileo Galileo. Elaborazione dell'autrice, 2024.

La costante e quotidiana osservazione notturna venne tradotta in puntuali raffigurazioni che rompevano la rappresentazione millenaria del cielo, costruendo non solo come ipotesi, ma come certezza, un immaginario inesplorato. Fisionomie inattese svelarono astri mai visti e corpi celesti in aggiunta al cosmo tolemaico (fig. 7). I disegni registravano il dato oggettivo in una precisa sequenza temporale, con lo scopo di essere più fedeli possibile alla realtà. L'attenta trascrizione grafica dei fenomeni osservati, con l'ausilio del telescopio, si configurava pari a un rilievo dello stato di fatto della geografia celeste, percepita da un occhio moderno, ovvero potenziato dalla tecnologia che validava la fisica copernicana. Le diverse fasi lunari presenti nel *Sidereus nuncius*, realizzate "in diretta", o quelle acquerellate, testimoniano curiosità e talento artistico indirizzati verso la rappresentazione fenomenica. L'immenso stupore nello scoprire che la separatrice d'ombra propria della Luna non fosse una curva perfetta, ascrivibile a un corpo sferico, si tradusse nello straordinario disegno di una linea sinuosa e frastagliata propria di una superficie ricca di avvallamenti e sporgenze i cui bordi erano alternativamente illuminati dal sole (fig. 8).

Il limite del cannocchiale, ovvero un campo visivo molto ridotto, permetteva a Galileo Galilei di inquadrare solo un quarto di Luna per volta imponendo quattro successive esplorazioni

Fig. 7. Ridisegno della cintura della costellazione di Orione presente nel *Sidereus nuncius* (1610) e confronto con l'attuale geografia celeste. Elaborazione in Stellarium Astronomy Software, versione 1.22.4. Elaborazione dell'autrice, 2024.

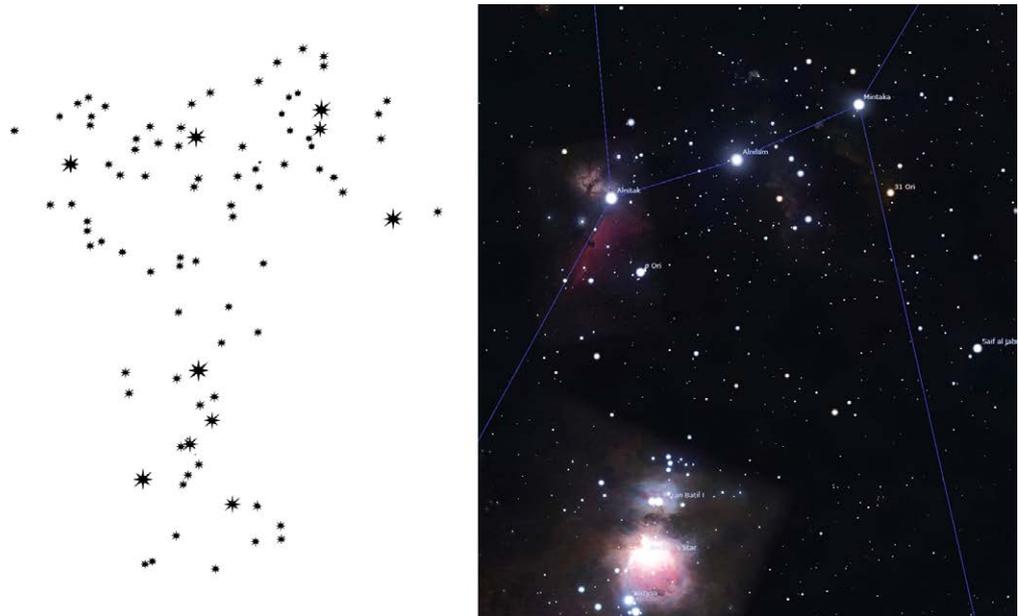
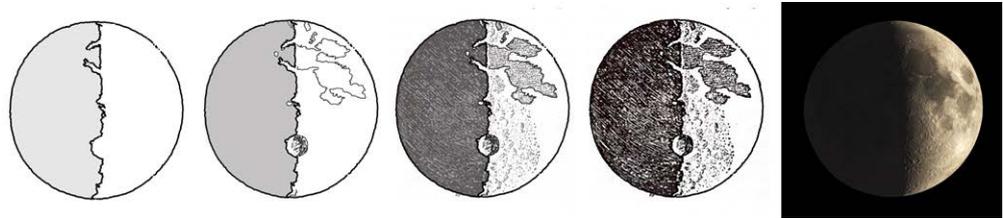


Fig. 8. Ridisegno dell'immagine della Luna presente nel *Sidereus Nuncius* (1610). Sequenza che evidenzia la separatrice d'ombra propria, le sporgenze e avvallamenti della superficie lunare. L'ultima immagine è realizzata con Stellarium Astronomy Software, versione 1.22.4, impostando la data di osservazione al 5 settembre 1609 (periodo di osservazione galileiana della Luna compreso tra agosto e dicembre 1609). Elaborazione dell'autrice, 2024.



e, dunque, quattro spostamenti per ottenere un quadro d'insieme del paesaggio lunare. Un'operazione faticosa e paziente per ogni porzione, ma necessaria affinché la visione avesse una ricaduta concreta sul foglio. Le azioni visive di esplorazione e ridisegno erano tanto più efficaci quanto più si abbattevano i tempi tra una misurazione e l'altra. Proprio per agevolare l'acquisizione del dato osservato, nacquero strumenti specializzati, come il cannocchiale con pantografo, in grado di tradurre in scala i corpi celesti, simultaneamente alla visione reale. Questa duplice funzione consacrò il telescopio come strumento ottico in funzione del disegno scientifico (figg. 9-10) [10].

Il merito di Galilei sta proprio nel fatto di aver esteso la rete visiva umana, di aver catturato nuovi "...elementi che potevamo scegliere di studiare, di incasellare nel mondo visivo preesistente" [Cousins 2018, p. 172]. Nonostante il matematico pisano venne costretto a piegarsi al volere dell'inquisizione, abiurando le sue tesi e concludendo la vita terrena in solitudine, i suoi disegni rimarranno nei secoli testimoni di un'esperienza visiva aumentata che scomponete la realtà allo scopo di comprendere e conoscere.

Fig.9-10. Riproduzione del cannocchiale con pantografo, presente alla mostra "La Città del Sole. Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII". Foto: Gabriella Liva, 2023.



## Conclusioni

Alla luce di queste considerazioni, la lezione galileiana delle “sensate esperienze” e delle “necessarie dimostrazioni” ha portato la scienza a interrogarsi continuamente sulla natura dell’universo. Oggi la conoscenza necessita di infrastrutture scientifiche e tecnologiche di grande dimensione; sofisticati strumenti sono in grado di scandagliare la materia fino al livello dei suoi minimi costituenti, come gli acceleratori del Cern, o di scrutare e ascoltare il cosmo milioni o miliardi di anni luce dalla terra, come i telescopi spaziali o gli osservatori gravitazionali [1]. Nuovi occhi, a supporto di quelli umani, indagano i cieli nel tentativo di osservare, spiegare e misurare i cambiamenti che vengono tradotti in disegni, modelli, grafici necessari a diffondere una verità oggettiva sul cosmo, compatibile con i costrutti fisici e matematici.

All’epoca di Galileo il disegno ha assunto un ruolo decisivo nella divulgazione scientifica, tanto da diventare esso stesso uno degli “strumenti” dell’astronomia telescopica. Le novità sideree si intrecciarono con i principi della teoria della visione e della scienza della rappresentazione per inaugurare, con uno strumento ottico-prospettico, una topografia cosmica in grado di rivoluzionare l’immagine dell’universo, dimostrando la sovrapposizione tra fisica celeste e terrestre.

“Il gesto galileiano di puntare il cannocchiale verso il cielo continua a suggerirci di osare nuove visioni e salti di paradigma non limitandoci a perfezionare quello che già sappiamo. E resta probabilmente anche la lezione più preziosa che la scienza può insegnare alla comunità umana, come bussola per orientarsi nell’incertezza del futuro e nella complessità del mondo” [Camerota 2023b, p. 15].

## Note

[1] Tra Aristotele e Tolomeo sono presenti in epoca ellenistica studiosi quali Aristarco da Samo, Conone di Samo, Archimede, Apollonio di Perga, Ipparco. La teoria eliocentrica fu ideata Aristarco di Samo, come è accennato nell’Arenario di Archimede. Anche Seleuco fu assertore dell’eliocentrismo o dell’universo infinito. Ipparco ipotizzò che le stelle fisse fossero in realtà mobili e aveva scoperto la precessione degli equinozi. Russo 2023, pp. 99-112.

[2] Tolomeo spiega il sistema meccanico dei pianeti in *Ipotesi planetarie*, conservate in arabo e parzialmente in greco. Fino al Rinascimento prevalse tale configurazione sostenuta dalla Chiesa Cattolica e dettagliatamente descritta nella *Divina Commedia* dantesca.

[3] Il sistema di Tycho Brahe era più moderno di quello di Copernico che ancora postulava l’esistenza di sfere cristalline, anche se centrate sul Sole e non sulla Terra. Cfr. Brahe Tycho 1602.

[4] Le tavole astronomiche di Tycho Brahe consentirono a Keplero di confermare la validità del sistema copernicano contro il sistema tolemaico attraverso la formulazione delle tre leggi sul movimento dei pianeti che a loro volta rappresentarono il punto di partenza per le scoperte di Isaac Newton. Cfr. Ferguson 2003.

[5] Per una descrizione dell'osservatorio di Stjerneborg si veda la scheda tecnica a cura dell'autore riferita a Tycho Brahe, *Epistolarum astronomicarum libri...*, Uraniborg, G. Timpach, 1610 37.47.C.21, Camerota 2023b, pp. 438-439.

[6] Caramuel de Lobkovitz 1670, LAMINA XLI.

[7] Recentemente si sono inaugurate due importanti mostre a Roma e a Firenze che hanno in comune la figura cardinale di Galileo Galilei: "La Città del Sole. Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII", (16 novembre 2023 - 11 febbraio 2024) presso Palazzo Barberini, Roma; "Splendori celesti. L'osservazione del cielo da Galileo alle onde gravitazionali" (16 dicembre 2023 - 17 marzo 2024) presso lo spettacolare ex Dormitorio del Complesso di Santa Maria Novella. In entrambi i casi, l'Università Iuav di Venezia, all'interno del gruppo di ricerca Imago rerum del prof. De Rosa, ha collaborato con il Museo Galileo - Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze per l'interpretazione e visualizzazione dei contenuti scientifici.

[8] La fabbricazione dei vetri adatti agli strumenti galileiani fu realizzata grazie alla maestria dei mastri vetrai veneziani.

[9] La lente obiettiva, comune nel cannocchiale come nel microscopio, è la lente (o sistema di lenti) lontana dall'occhio. Essa costituisce un sistema convergente, che riceve luce da una fonte e fornisce un'immagine fedele dell'oggetto. La lente oculare, presente in numerosi strumenti ottici, è un dispositivo ottico alla quale si accosta l'occhio per esaminare ingrandita l'immagine di un oggetto data dall'obiettivo dello strumento stesso.

[10] Le rappresentazioni celesti nei trattati ben presto influenzarono la diffusione di nuove immagini del cielo anche nel mondo dell'arte: celebre fu l'affresco nella cupola della cappella Paolina nella basilica di Santa Maria Maggiore a Roma del Cigoli che raffigurò la Vergine sovrastante una luna con le medesime sembianze osservate dal telescopio. Anche nei quadri di Wuerghel il Vecchio compaiono personaggi immersi in lussureggianti paesaggi o all'interno di ambienti domestici a somiglianza di *wundercammer* con strumenti legati alla visione e all'osservazione celeste.

[11] Proprio in Italia è presente *Virgo*, un rivelatore di onde gravitazionali costituito da un imponente interferometro ottico, in grado di registrare alcuni fenomeni astrofisici, come le esplosioni di supernovae o le interazioni gravitazionali fra buchi neri o stelle di neutroni.

#### Riferimenti bibliografici

Brahe T. (1610). *Epistolarum astronomicarum libri...* Uraniborg e Francoforte: Godfried Timpach.

Brunetti F. (2005). Galileo. *Opere*, vol. I. Torino: Utet.

Bucciantini M., Camerota M., Giudice F. (2012). *Il telescopio di Galileo*. Torino: Einaudi.

Camerota F. (2023a). *La città del Sole. Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII*. Roma. Livorno: Sillabe.

Camerota F. (2023b). *Splendori celesti. L'osservazione del cielo da Galileo alle onde gravitazionali*. Livorno: Sillabe.

Caramuel de Lobkovitz J. (1670). *Ioannis Caramuelis Mathesis Biceps: Vetus et Nova*. Campaniae: Typographia Episcopalis.

Christensen C., Beckett F. (1921). *Tycho Brahe's Uraniborg and Stjerneborg on the Island of Hveen*. London: Oxford University Press.

Cousins M. (2018). *Storia dello sguardo*. Milano: il Saggiatore.

Dreyer John Louis E. (2016). *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*. Bologna: Odoya.

Kuhn S.T. (2000). *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Torino: Einaudi.

Ferguson K. (2003). *L'uomo dal naso d'oro. Tycho Brahe e Giovanni Keplero: la strana coppia che rivoluzionò la scienza*. Milano: Longanesi.

Gattei S. (2011). Argomentare per immagini: L'incisione in antiporta di "Tabulae Rudolphinae". In *Rivista di Filosofia Neo-Scolastica, Vita e Pensiero*, 4, vol.103, pp. 651-676.

Liva G. (2013). Terra incognita: carteggi e fonti niceroniane. In A. De Rosa (a cura di), *Jean François Nicéron. Prospettiva, catottrica e magia artificiale*. Roma: Aracne.

Raimondi E. (1982). Introduzione 1981. In *Letteratura barocca. Studi sul Seicento italiano*. Firenze: Olschki.

Rossi P. (2020). *La rivoluzione scientifica. Da Copernico a Newton*. Pisa: Edizioni ETS.

Russo L. (2023). *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Milano: Feltrinelli, pp. 264-307.

Thoren E.V., Christianson J. R. (1991). *The Lord of Uraniborg. A Biography of Tycho Brahe*. London: Cambridge University Press.

#### Autrice

Gabriella Liva, Università Iuav di Venezia, gabrliv@iuav.it

Per citare questo capitolo: Gabriella Liva (2024). Disegni celesti. Le "sensate esperienze" e le "necessarie dimostrazioni" per la conoscenza e la misura dei cieli/Celestial drawings. The 'sensible experiences' and 'necessary demonstrations' for the measurement and knowledge of the heavens. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1575-1594.

# Celestial drawings. The “sensible experiences” and “necessary demonstrations” for the measurement and knowledge of the heavens.

Gabriella Liva

## *Abstract*

The paper explores some of the themes, shared by the Università luav di Venezia in two parallel exhibitions, in Rome and Florence organised with the Galileo Institute and Museum of the History of Science in Florence concerning the interpretation, measurement and representation of the universe in the Galilean age. After centuries of submission to the dogmas of the Catholic Church, the Aristotelian-Thelemic universe proved to be an enormous space to be explored and redesigned. The cosmos was no longer a unitary collection of fixed stars and crystalline spheres on which the planets lay, but a collection of partly unknown celestial bodies. The optical horizon, which had remained unchanged for centuries and seemed to remain so forever, was suddenly shifted beyond the ordinary limits of visibility, leading to a collapse of the principles of order, harmony and perfection on which it had rested. This cosmological and anthropological revolution took place progressively and was supported by constant scientific research in which the observation and exploration of the heavens was accompanied by a graphic representation supported by new optical instruments. The Galilean writings, but even more so the drawings made, revealed and disseminated a new image of the cosmos. If up until Galileo's time the eye was the only means of exploring the heavens, later the telescope would enhance it and the drawing would become an extraordinary ocular witness to this increased gaze.

## *Keywords*

astronomical models, astronomical drawing, telescope, Galileo Galilei, Tycho Brahe

Installation at the exhibition “Celestial Splendors. Observation of the Sky from Galileo to Gravitational Waves” (16 December 2023 - 17 March 2024), former Dormitory of the Santa Maria Novella Complex, Florence. The observer's body movement interacts with the chromatic variations deduced from the data of the different waves (radio waves, microwaves, infrared, X-rays, gamma rays, neutrinos and gravitational waves) of deep space. Photo: Gabriella Liva 2023.



## Introduction

With the publication in 1543 of his work *De revolutionibus orbium coelestium*, Nicholas Copernicus (1473-1543) publicly attacked the astronomical and cosmological thinking of the West, opening, with his heliostatic theory [1], a phase of extraordinary scientific development that would continue with the discovery of the law of universal gravitation and, therefore, with the affirmation of Newtonian physics [Rossi 2020, pp. 105-233]. At that time, dealing with science was anything but a peaceful affair and a deep rift began to form within the scientific community, giving rise to two distinct camps: from one, of the men of the Church, anchored to the classical worldview, and the other, of the innovative and revolutionary lay scientists. The conviction of being able to explain the perfection of the Ptolemaic and theological heavens of the Holy Scriptures with the postulates and certainties of Aristotelian cosmology was challenged by the “scientific logic that teaches us to see clearly” [Raimondi 1982, p. XVI], towards which the most refined minds of the scientific and religious world were turning [Liva 2013, pp. 251-261].

In the attempt to construct cosmological models faithful to reality and new philosophical interpretations of the world, some of the most emotive themes, on which the two factions were clashing, were the structure of the universe, the laws that regulated the motion of the planets, and the nature of celestial bodies.

Galileo's (1564-1642) telescopic innovations spread the falsehoods of the Ptolemaic heavens by demonstrating that the celestial vault was something changeable and needed to be observed, measured and drawn.

## Cosmological models

Until after the death of Copernicus, the authority of Aristotle and, later, the *Mathematical Treatise*, known by its name given by the Arabs, Ptolemy's *Almagest* (2nd century AD), dominated astronomical and cosmological thought in the West. Copernicus' teachers still thought that the structure of the cosmos was as described by the famous and undisputed Greek philosopher, corrected on the deferent/epicycle combination that justified the evident anomalies of celestial geography. Christian thought accepted and supported this vision, placing the Earth, an immobile and imperfect reality dominated by the processes of transformation and corruption, at the centre of an ordered universe. The sky was a canopy revolving around a fixed axis and the motions of the planets were embedded in as many material crystal spheres in perpetual motion [1]. Every valuable advance, derived from new observations, was opposed because it compromised the equilibrium hitherto achieved and brought a further complication to the mathematical explanation of sidereal motions [Kuhn 2000, pp. 136-146]. Yet the systematic control of the position of the planets and stars led to an ever-increasing distance between the original simplicity of the primitive model of the Aristotelian spheres and the set of computational operations required to explain each phenomenon.

The ancient universe, adapted to the epicycles of Hipparchus or the various eccentric and homocentric systems, fuelled discord among scholars, primarily mathematicians, who focused on alternative celestial theories.

The Tychonic model, proposed by Tyge Ottesen Brahe (1546-1601), Latinised as Tycho [Thoren, Christianson 1991], active in the territory belonging to the Kingdom of Denmark, proposed a plausible solution to the crisis of the Aristotelian-Thelemic paradigm, in a period of transition from the revolutionary ideas of Copernicus in 1543 to Kepler's (1571-1630) first law of elliptical orbits in 1609 [Dreyer 2016, 281-301; Gattei 2011, pp. 651-676]. Kepler's assiduous and constant celestial observation, not only in particular conjunctions, focused on the denial of both the dogma of the incorruptibility and immutability of the heavens and the real existence of material celestial spheres, one of the cornerstones of traditional cosmology [2]. In *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus* published in Uraniborg in 1588, Brahe thus described a cosmological system – later corrected by his pupil Kepler – that turned out to be a sort of compromise between two models, the Ptolemaic one, of which

he accepted circular motions and epicycles, and the Copernican one, which saw the Sun in a privileged position [3]. Our planet was placed at the centre of the orbits of the Moon and Sun, while the other planets known at the time, Mercury, Venus, Mars, Jupiter and Saturn, revolved around it (fig.1).

His proposal was credible thanks to the construction and use of rigorous measuring instruments, oriented towards the quantification of celestial phenomena and located both in the central palace of Uraniborg (fig. 2) and its extension, the Stjerneborg Observatory (fig. 3) [4], both on the Swedish island of Hven [5]. As a posthumous representation by the Spanish mathematician Juan Caramuel de Lobkovitz (1606 - 1682) [6] testifies, for a long time the three cosmological systems - Aristotelian/Ptolemaic, Copernican and Tychonic - were repeatedly studied and compared before finally accepting the Keplerian version.

Even in the Antiporta of the *Almagestum novum* (1651) by the Jesuit Giovan Battista Riccioli (1598-1671), various astronomical models appear, including that of the astronomer from Ferrara, a mixed geo-heliocentric system that is a variant of the Tychonic system [Dreyer 2016, p. 340]. In the engraving, the Ptolemaic system is abandoned on the ground; Ptolemy himself appears thoughtful, semi-reclining with the phrase "Comforted if corrected" beside him; the mythological figure Dike, the theoretical astronomer, holds an armillary sphere and the scales of Justice with the inscription "found its balance": on the scales, Riccioli's system weighs more than Copernicus'.

The different representations of the universe that continued to coexist together for decades demonstrated the passion and challenge of many scholars in creating geometric models for reading, analysing, measuring and thus controlling such complex celestial manifestations [7].

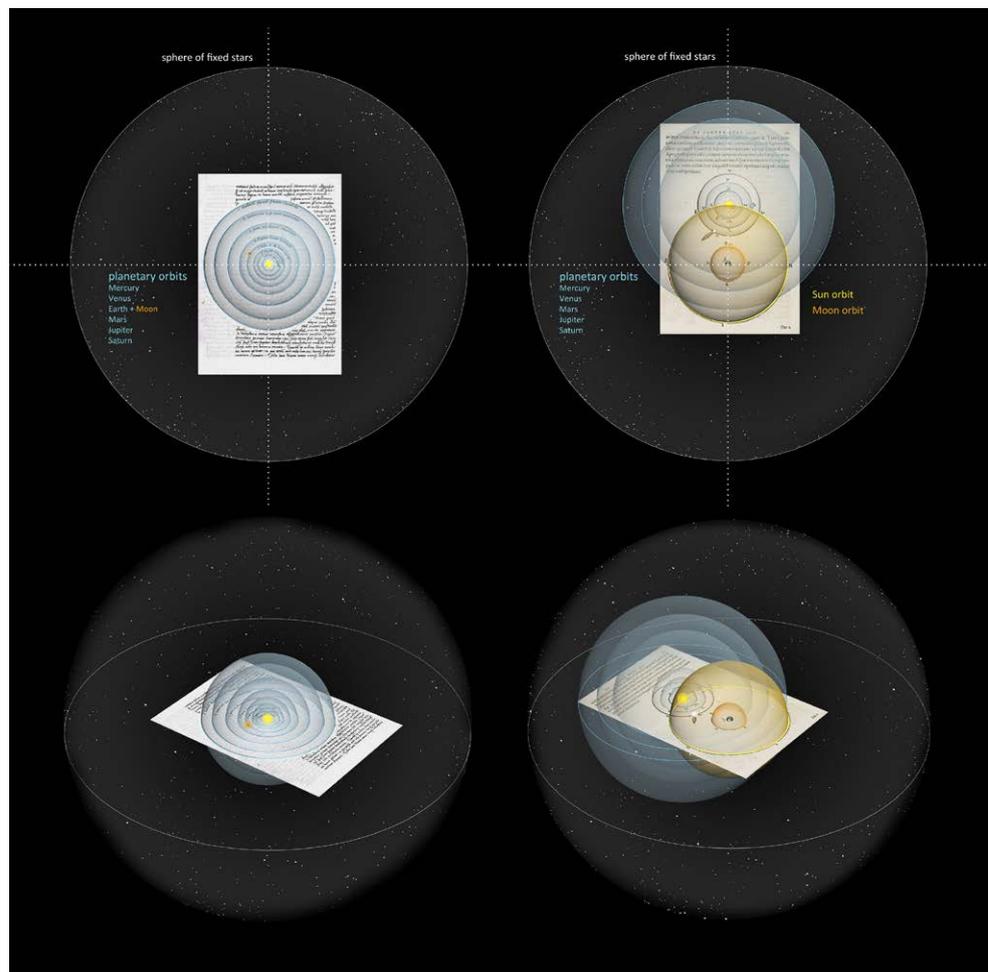


Fig. 1. Comparison between the Copernican astronomical model (left) and the Tychonic system (right). Images based on an illustration from *De revolutionibus* by Nicholas Copernicus, 1543 and *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus*, 1588. Elaboration by the author, 2024.

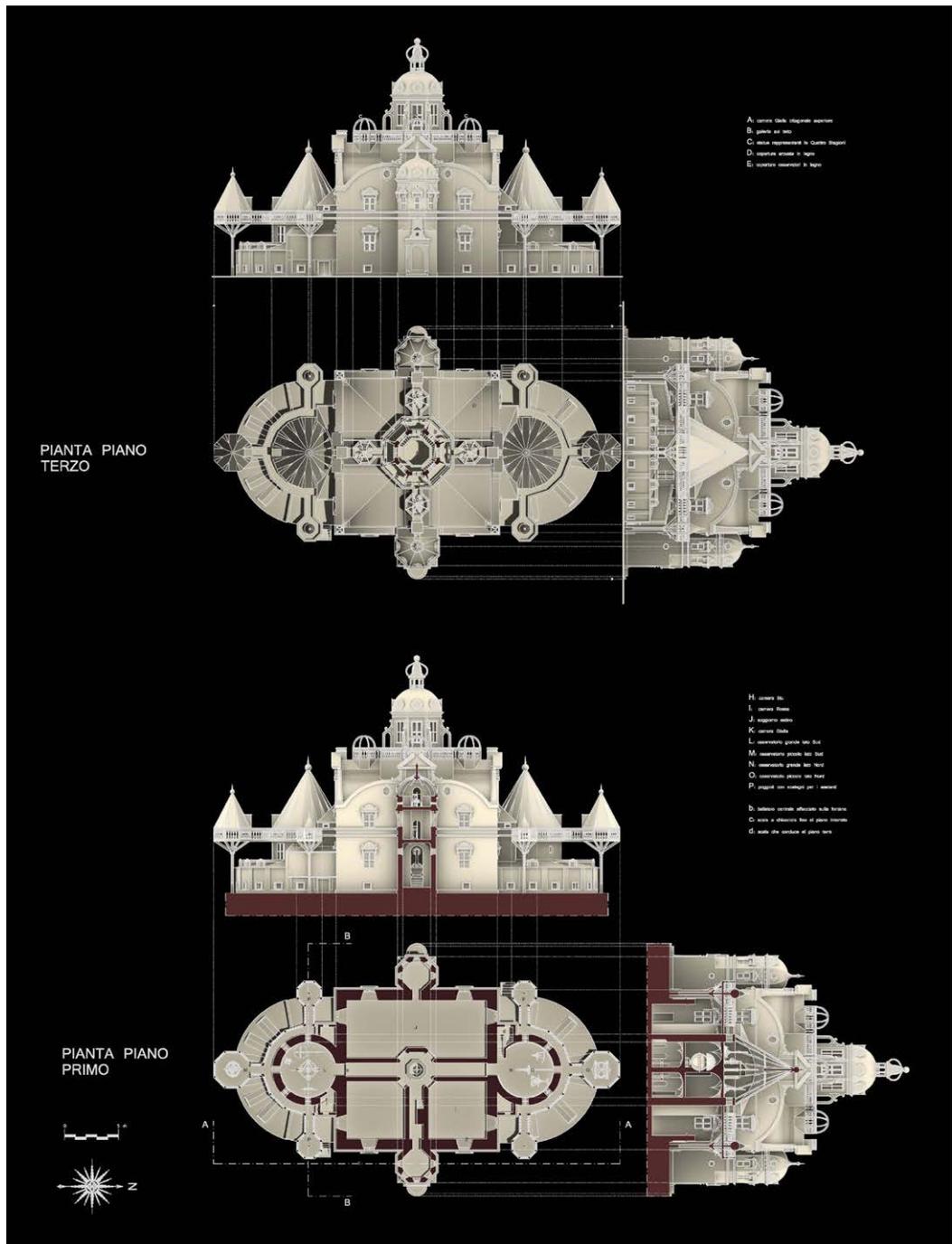


Fig. 2. Digital reconstruction of Uraniborg Castle: orthogonal projections. 3D model: Monica Enzo.

### The tools for knowledge of the heavens

The growing credit received not only by the cometary theories, but by Tycho Brahe's entire system, on which the Church had relied, was put to the test by Galileo's work, *Il Saggiatore* (1623), a treatise that was to become the manifesto of the new science [Brunetti 2005, pp. 595-808].

The title, referring to a type of precision balance similar to the one used by goldsmiths to weigh small quantities of precious materials, was appropriately chosen in opposition to another instrument, the *Libra*, referred to in *La Libra astronomica ac philosophica*, a text by

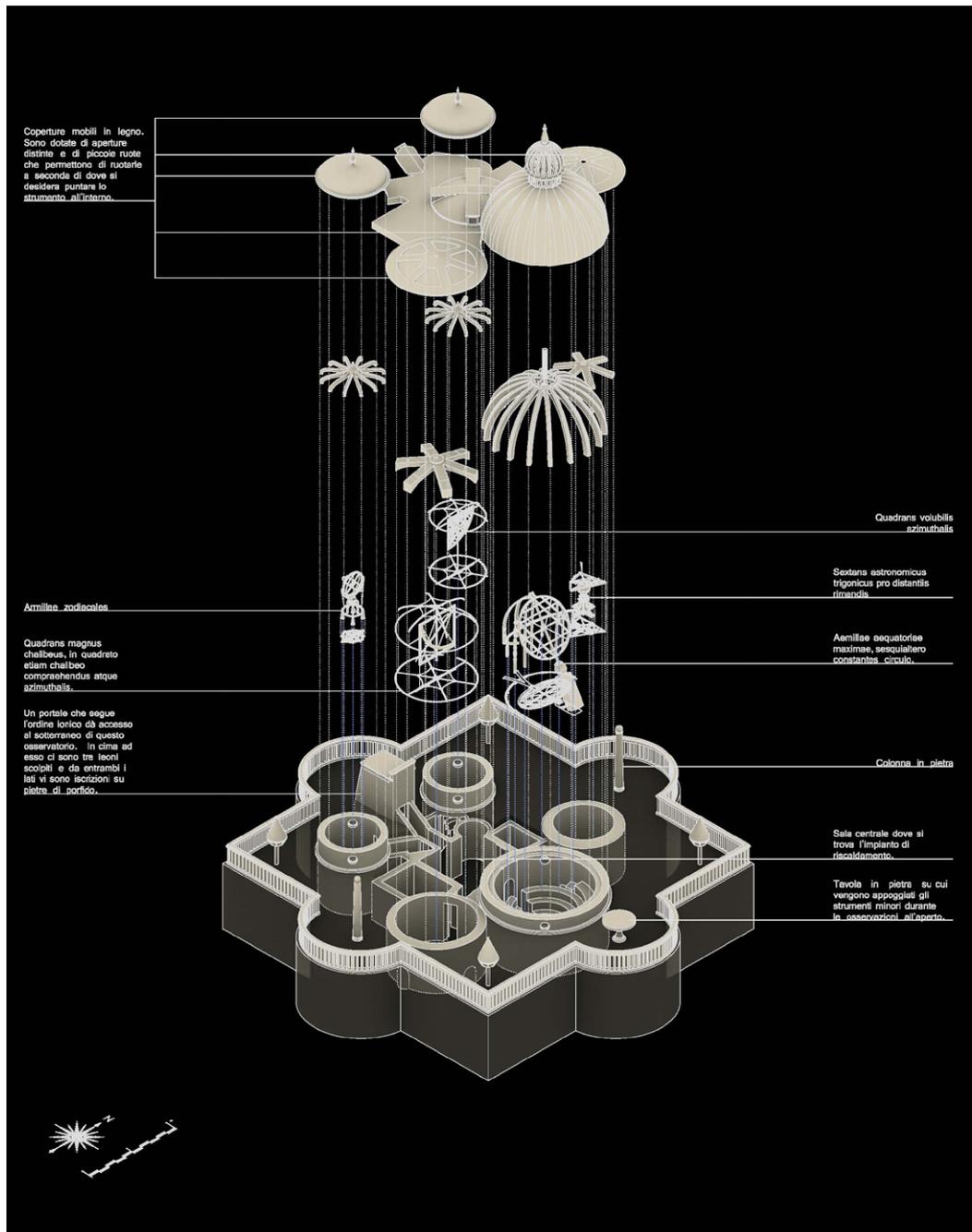


Fig. 3. Axonometric exploded view of the Sjerneborg Observatory. 3D model: Monica Enzo.

Orazio Grassi (1583-1654). The libra was a classical balance that did not require meticulous measurements and, therefore, the two books *Il Saggiatore* and *La Libra*, a contrast between two balances, became a metaphor for the dispute between two scientific methods: one, the Galilean one, refined and precise; the other, the Jesuit father's, coarser and more antiquated. It is evident how usual terrestrial measuring instruments are elevated to symbols of celestial demonstrations.

Observing, measuring and understanding the cosmos became an obsession. In the treatise, Galileo teaches us that the work of the scientist is not to defend what one believes to be true, but to always question one's beliefs and curiously seek new answers to old questions. The weapons of the scientist are only two: the "sensible experiences", i.e. the experimental data (one observes nature, measures the characteristics of the elements that

influence the phenomenon, collects the data and formulates the hypothesis of explanation) and the “necessary demonstrations”, i.e. the rigorous mathematical demonstrations (one organizes an experiment to reproduce what has been observed and, through mathematical application, the data collected are reworked); every scientific theory needs to follow this logical construction.

Protagonist of this scientific revolution in celestial space was the telescope or telescope, called *fistula dioptrica* and *perspicillum* in Latin, *perspective cylinder* in English, *cannon*, *trombetta*, *visorio*, *occhiale grande*, *occhiale di canna* in Italian or, in honour of its master, Galileo’s eyeglass, capable of placing “under the eyes of the whole world, and on a daily basis, a sky that appeared more and more complicated and disordered, thus risking becoming a sacrilegious instrument, profaner of the ancient firmament” [Bucciantini, Camerota, Giudice 2012 p. 269]. Having understood and investigated the Dutch eyeglass, the Pisan scientist, aware of the refractive properties of glass [8] that made it possible to look at long distances, despite the disturbance of chromatic aberration due to the decomposition of light, succeeded in improving its performance so much so that “the things seen [...] appear almost 1000 times larger and more than 30 times closer than if one looked at them with only the natural faculty” [Brunetti Franz 2005, p. 279]. The result was astonishing, destined to change the image of the known universe: not only did previously invisible stars and phenomena become visible, but those appearances that had long been considered true turned out to be illusory, while others that had been considered doubtful became clear and distinct.

Naturally, the combined use of concave and concave lenses expanded the boundaries of vision both to what appeared infinitely distant and, vice versa, to an extremely minute reality. In this regard, a unique case was the creation of a drawing, dated 1642, *Madonna and Child*, in which the observer was invited to look and read ‘cum mycroskopion’ [Camerota 2023b, p. 334-5]. The exceptional representation is a calligram, the subject of which is taken from a work by Pietro da Cortona and consists of minute inscriptions, made with the microscope, taken from the *Officium Beatae Virginis* recognised in 1631 by Pope Urban VIII (figs. 4-5).



Fig. 4-5. Ignatius Moli, *Madonna and Child*, 1642 Diego Costantini Collection. Exhibited for the first time in the exhibition “The City of the Sun. Baroque Art and Scientific thought in the Rome of Urban VIII”. Photo: Gabriella Liva 2023.

## The drawing for the representation of the heavens

Although Galileo's truth was disseminated in Latin beyond the Italian borders, actually the great scientific innovation went far beyond the written word; one need only leaf through the few pages of *Sidereus nuncius* (1610) to understand its novelty and the revolutionary impact it had on tradition [Brunetti 2005, pp. 563-320]. The drawings of the Moon, the representation of the Milky Way, the diagrams of Jupiter's satellites made the sidereal message loud and clear: "The infinite distance that separated that book from all previous *de coelo* works lay precisely in the primacy of images over the written word. Here lay its absolute novelty and originality: it was the word that accompanied the image, and not vice versa' [Bucciantini, Camerota, Giudice 2012, p. 80]. The telescopic discovery of a new sky reveals another world and drawing becomes a means of dissemination to make people understand what could be seen through objective and ocular lenses [9] (fig.6).

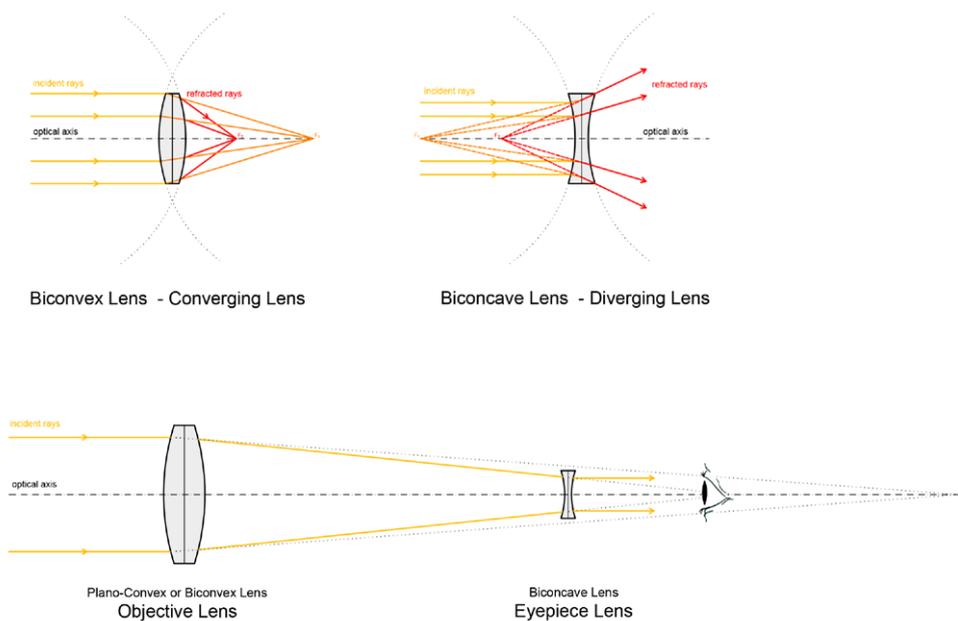


Fig. 6. Schematic of biconvex and biconcave lenses. Bottom diagram of Galileo's telescope. Elaboration by the author, 2024.

The constant and daily nocturnal observation was translated into sketches and orthogonal projections that broke the millenary representation of the sky, constructing not only as a hypothesis, but as a certainty, an unexplored imagery. Unexpected physiognomies revealed unseen stars and celestial bodies in addition to the Ptolemaic cosmos. The drawings recorded the objective datum in a precise temporal sequence, with the aim of being as faithful to reality as possible. Galilean thought is based precisely on a careful graphic transcription of the phenomena observed through the telescope, like a survey of the state of celestial geography, enhanced by technology. The engravings of the *Sidereus nuncius* and even more so the watercoloured lunar phases made live, testify to passion and artistic talent directed towards phenomenal representation. The limitation of the telescope, i.e. a very narrow field of view, allowed only one quarter of the Moon to be framed at a time, imposing four successive explorations and, therefore, four shifts to obtain an overall picture of the lunar landscape. A tiring and patient operation for each framed portion, but necessary for the vision to have a concrete effect on the sheet. The visual actions of exploration and redrawing were all the more effective the more the time between one phase and the next was cut down. Precisely to facilitate the acquisition of the observed datum, specialised instruments were

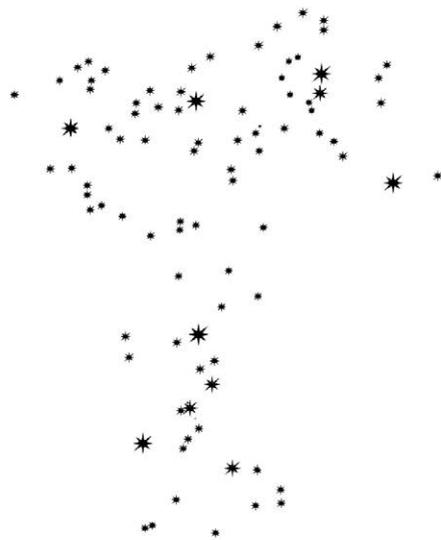


Fig. 7. Redrawing of the belt of the Orion constellation in the *Sidereus nuncius* (1610) and comparison with current celestial geography. Elaboration in Stellarium Astronomy Software, version 1.22.4, 2024. Elaboration by the author, 2024.

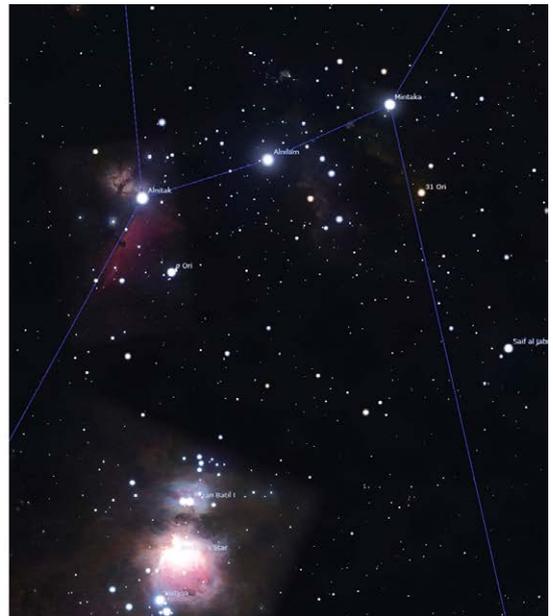
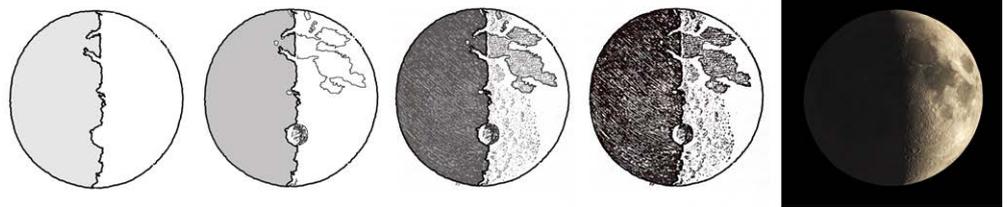


Fig. 8. Redrawing the Moon image in the *Sidereus Nuncius* (1610). Sequence highlighting the shadow separator proper, the protrusions and depressions of the lunar surface. The last image is made with Stellarium Astronomy Software, version 1.22.4, setting the observation date to 5 September 1609 (Galilean Moon observation period between August and December 1609). Elaboration by the author, 2024.



born, such as the telescope with pantograph, capable of translating celestial bodies to scale, simultaneously with observation. This dual function demonstrated how the telescope was used as an optical instrument in function of scientific design (Figs. 7-8) [10]. Galileo's merit lies precisely in having extended the human visual net, captured new "... elements that we could choose to study, to frame in the pre-existing visual world" [Cousins 2018, p. 172]. Despite Galileo had to bend to the will of the Inquisition, abjuring his theses and ending his earthly life in solitude, his drawings will remain over the centuries as witnesses of an augmented visual experience that breaks down reality for the purpose of understanding and knowledge.

Figs.9, 10. Reproduction of the telescope with pantograph, present at the exhibition 'Celestial Splendours. The observation of the sky from Galileo to gravitational waves'. Photo: Gabriella Liva, 2023.



## Conclusions

In light of these considerations, the Galilean lesson of “sensible experiences” and “necessary demonstrations” has led science to continuously question the nature of the universe. Today, knowledge requires large-scale scientific and technological infrastructures; sophisticated instruments are able to probe matter down to the level of its smallest constituents, such as the accelerators at Cern, or to peer into and listen to the cosmos millions or billions of light years from earth, such as space telescopes or gravitational observatories [11].

New eyes, in support of human ones, investigate the heavens in an attempt to observe, explain and measure changes that are translated into drawings, models, and graphs necessary to disseminate an objective truth about the cosmos, compatible with physical and mathematical constructs.

At the time of Galileo, drawing took on a decisive role in the dissemination, so much so that it itself became one of the ‘tools’ of telescopic astronomy. The sidereal innovations intertwined with the principles of the theory of vision and the science of representation to inaugurate, with an optical-prospective instrument, a celestial topography capable of revolutionising the image of the universe.

“The Galilean gesture of pointing the telescope towards the heavens continues to suggest we dare new visions and paradigm leaps by not merely perfecting what we already know. And it also remains probably the most valuable lesson that science can teach the human community, as a compass to orient ourselves in the uncertainty of the future and the complexity of the world’ [Camerota 2023b, p. 15].

## Notes

[1] Between Aristotle and Ptolemy are scholars in the Hellenistic period such as Aristarchus of Samos, Conon of Samos, Archimedes, Apollonius of Perga, and Hipparchus. The heliocentric theory was conceived by Aristarchus of Samos, as mentioned in the *Arenarius* of Archimedes. Seleucus was also an advocate of heliocentrism or the infinite universe, Hipparchus hypothesised that fixed stars were actually mobile and discovered the precession of the equinoxes.

[2] Ptolemy explains the mechanical system of planets in *Planetary Hypotheses*, preserved in Arabic and partially in Greek. Until the Renaissance, this configuration supported by the Catholic Church and described in detail in Dante’s *Divine Comedy* prevailed.

[3] Tycho Brahe’s system was more modern than that of Copernicus, who still postulated the existence of crystalline spheres, albeit centred on the Sun and not the Earth. Cf. Tycho Brahe 1602.

[4] Tycho Brahe’s astronomical tables enabled Kepler to confirm the validity of the Copernican system against the Ptolemaic system through the formulation of the three laws of motion of the planets, which in turn provided the starting point for Isaac Newton’s discoveries. Cf. Ferguson 2003.

[5] For a description of the observatory in Stjerneborg, see the author's reference in Tycho Brahe, *Epistolarum astronomicarum libri ... Uraniborg*, G. Timpach, I 610 37.47.C.21, Camerota 2023b, pp. 438-439.

[6] Caramuel de Lobkovitz 1670, LAMINA XLI.

[7] Two important exhibitions recently opened in Rome and Florence that have the cardinal figure of Galileo Galilei in common: 'The City of the Sun. Baroque Art and Scientific Thought in the Rome of Urban VIII', (16 November 2023 - 11 February 2024) at Palazzo Barberini, Rome; 'Celestial Splendours. the Observation of the Sky from Galileo to Gravitational Waves' (16 December 2023 - 17 March 2024) at the spectacular former Dormitory of the Santa Maria Novella Complex. In both cases, Università Iuav di Venezia, as part of Prof. De Rosa's Imago rerum research group, collaborated with the Galileo Museum - Institute and Museum of the History of Science in Florence for the interpretation and visualisation of the scientific contents.

[8] The manufacture of glass suitable for Galilean instruments was carried out thanks to the mastery of Venetian master glassmakers.

[9] The objective lens, common in the telescope as in the microscope, is the lens (or lens system) away from the eye. It constitutes a converging system, receiving light from a source and providing a faithful image of the object. The ocular lens, found in many optical instruments, is an optical device to which the eye approaches in order to examine the enlarged image of an object given by the objective of the instrument itself.

[10] Celestial representations in treatises influenced the dissemination of new images of the heavens in the art world: famous was the fresco in the dome of the Pauline Chapel in the basilica of Santa Maria Maggiore in Rome by Cigoli, who depicted the Virgin Mary above a moon with the same features observed through a telescope. Also in the paintings of Brueghel the Elder, characters appear immersed in lush landscapes or within domestic settings in the likeness of wundercams with instruments related to celestial vision and observation.

[11] In Italy there is Virgo, a gravitational wave detector consisting of an impressive optical interferometer, capable of recording certain astrophysical phenomena, such as supernovae explosions or gravitational interactions between black holes or neutron stars.

## References

- Brahe T. (1610). *Epistolarum astronomicarum libri ... Uraniborg e Francoforte*: Godfried Timpach.
- Brunetti F. (2005). *Galileo. Opere*, vol. I. Torino: Utet.
- Bucciantini M., Camerota M., Giudice F. (2012). *Il telescopio di Galileo*. Torino: Einaudi.
- Camerota F. (2023a). *La città del Sole. Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII*. Roma. Livorno: Sillabe.
- Camerota F. (2023b). *Splendori celesti. L'osservazione del cielo da Galileo alle onde gravitazionali*. Livorno: Sillabe.
- Caramuel de Lobkovitz J. (1670). *Ioannis Caramuelis Mathesis Biceps: Vetus et Nova*. Campaniae: Typographia Episcopalis.
- Christensen C., Beckett F. (1921). *Tycho Brahe's Uraniborg and Stjerneborg on the Island of Hveen*. London: Oxford University Press.
- Cousins M. (2018). *Storia dello sguardo*. Milano: il Saggiatore.
- Dreyer John Louis E. (2016). *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*. Bologna: Odoia.
- Kuhn S.T. (2000). *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Torino: Einaudi.
- Ferguson K. (2003). *L'uomo dal naso d'oro. Tycho Brahe e Giovanni Keplero: la strana coppia che rivoluzionò la scienza*. Milano: Longanesi.
- Gattei S. (2011). Argomentare per immagini: L'incisione in antiporta di "Tabulae Rudolphinae". In *Rivista di Filosofia Neo-Scolastica, Vita e Pensiero*, 4, vol.103, pp. 651-676.
- Liva G. (2013). Terra incognita: carteggi e fonti niceroniane. In A. De Rosa (a cura di), *Jean François Nicéron. Prospettiva, catottrica e magia artificiale*. Roma: Aracne.
- Raimondi E. (1982). Introduzione 1981. In *Letteratura barocca. Studi sul Seicento italiano*. Firenze: Olschki.
- Rossi P. (2020). *La rivoluzione scientifica. Da Copernico a Newton*. Pisa: Edizioni ETS.
- Russo L. (2023). *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Milano: Feltrinelli, pp. 264-307.
- Thoren E.V., Christianson J. R. (1991). *The Lord of Uraniborg. A Biography of Tycho Brahe*. London: Cambridge University Press.

## Author

Gabriella Liva, Università Iuav di Venezia, gabrliv@iuav.it

To cite this chapter: Gabriella Liva (2024). Disegni celesti. Le "sensate esperienze" e le "necessarie dimostrazioni" per la conoscenza e la misura dei cieli/Celestial drawings. The 'sensible experiences' and 'necessary demonstrations' for the measurement and knowledge of the heavens. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1575-1594.