SCUOLA DI STORIA DELLA FISICA
Asiago, 22-26 Febbraio 2016

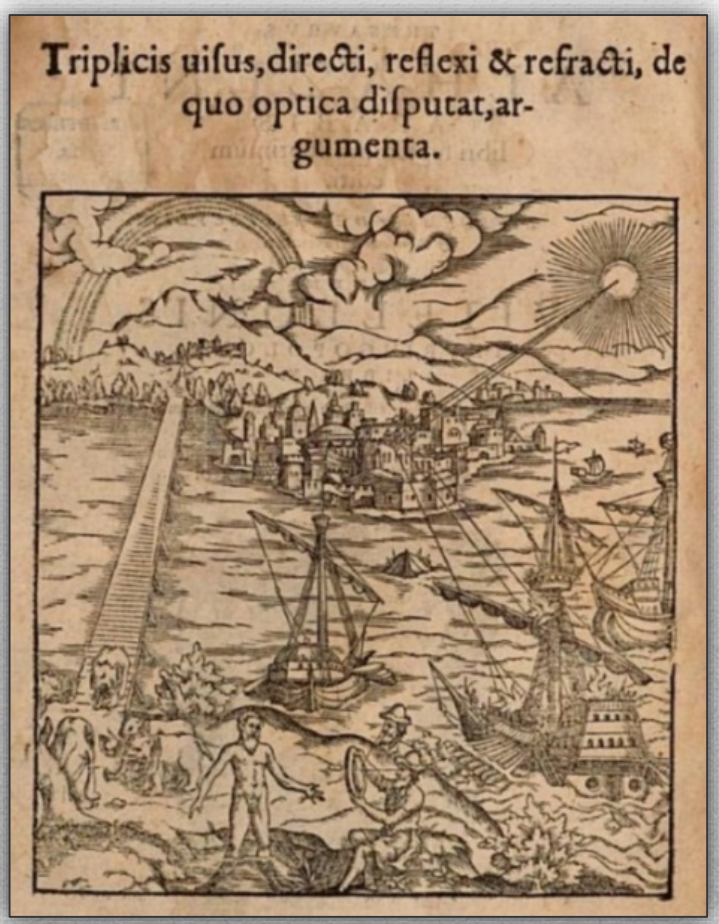
Dal cannocchiale al telescopio

Breve storia dello sviluppo dell'ottica astronomica da Galileo al Novecento

Valeria Zanini
INAF Osservatorio Astronomico di Padova

L'ottica pre-telescopica

Le conoscenze di ottica alle soglie del XVI secolo si fondano sui testi classici di Tolomeo (*Optica*, II sec. d.C.), di Alhazen (*Opticae thesauruse*, XI sec.) e di Witelo (*Peri Optikēs*, XIII sec.). Dall'antica teoria secondo la quale la visione avviene mediante raggi di luce emessi dall'occhio in linea retta, si fa strada l'idea che la visione avvenga per effetto dei raggi di luce che il corpo luminoso o illuminato invia verso l'occhio



Alhazen, *Opticae thesaurus*, 1572. Frontespizio

Nel corso del Medioevo un rinnovato interesse per la disciplina si sviluppa in tre ambiti distinti:

- il mondo accademico, che mira a comprendere il meccanismo della visione e le modalità di percezione (L. Pacioli, P. Apiano…);
- il mondo dell'arte, che sperimenta nelle opere pittoriche e architettoniche la prospettiva lineare (Brunelleschi, Leon Battista Alberti, Piero della Francesca, Leonardo, …)
- l'ambiente dei 'maghi naturali', che studiano la progettazione di specchi e di illusioni ottiche (E. Ausonio, G. B. Della Porta…)

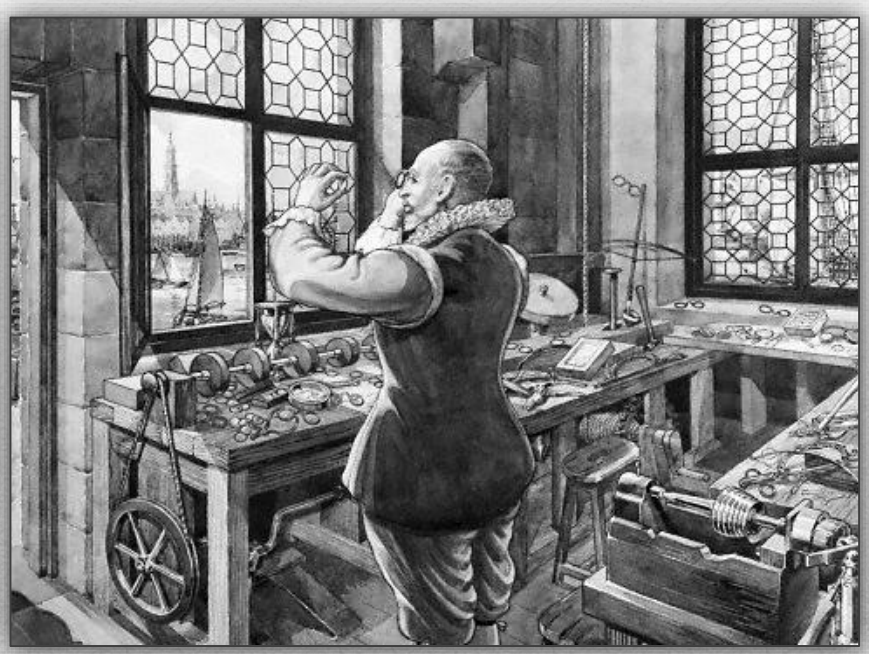
Nasce lentamente una nuova immagine dello scienziato e una progressiva rivalutazione della tecnica e dei manufatti come strumenti funzionali al progresso della conoscenza.

Giovanni Fontana, *Bellicorum instrumentorum liber*, Cod. Icon. 242, Bayerische Staatsbibliothek, Munich, 1420-1440, fol. 70r.

Il mondo artigiano sviluppa invece l'arte della lavorazione delle lenti

Sinistra: Tomaso da Modena (1325-1379), *Ugo di Provenza* in *Quaranta domenicani illustri*, affresco della Sala del Capitolo della Chiesa di San Nicolò, Treviso 1351-1352. Particolare.
Destra: Vetreria veneziana, in G. Agricola, *De Re Metallica*, 1556.

Lenti di qualità ottiche superiori rispetto alle precedenti si diffondo nel nord Europa a partire dalla fine del Quattrocento. In Olanda, nel 1608, viene realizzato il primo cannocchiale, ma la paternità dell'*occhialetto* è contesa tra tre padri.

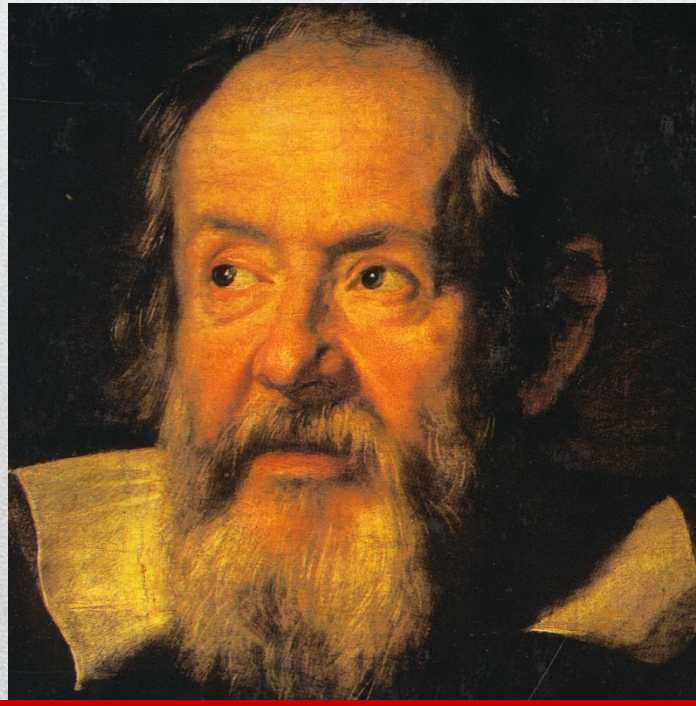


25 settembre 1608 - Hans Lipperhey, di Middelburg, presenta richiesta di brevetto agli Stati Generali d'Olanda; poco dopo presentano richiesta analoga anche Zacharias Janssen e Jacob Metius

Il cannocchiale di Galileo

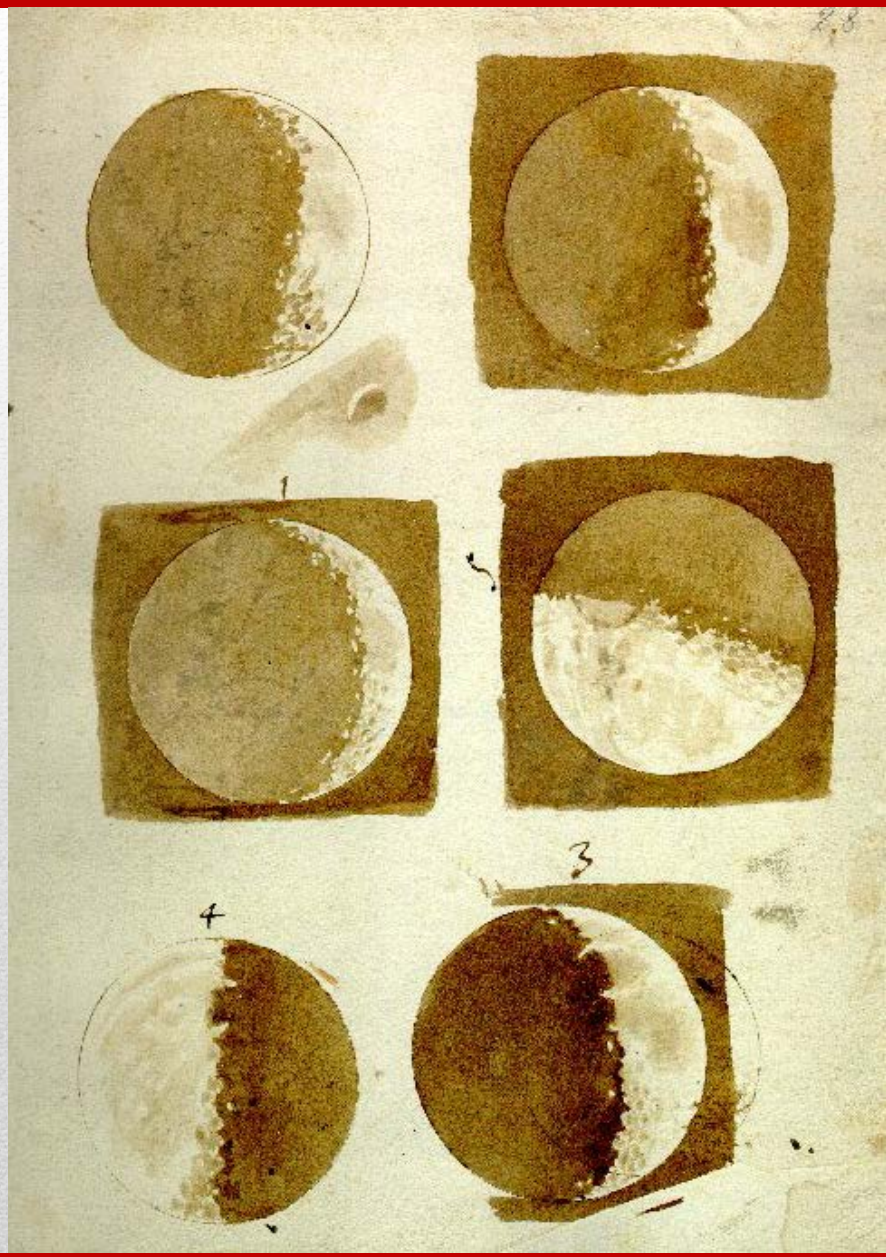
Solo Galileo trasforma l'*occhialetto* in uno strumento scientifico. Egli, infatti, possiede le competenze necessarie in vari ambiti:

Galileo 'artigiano': è progettista e costruttore (compasso geometrico e militare; dispositivi per individuare la legge fisica di caduta dei gravi; orologio ad acqua…), quindi è in grado di ricostruire in modo indipendente, migliorandolo, il telescopio



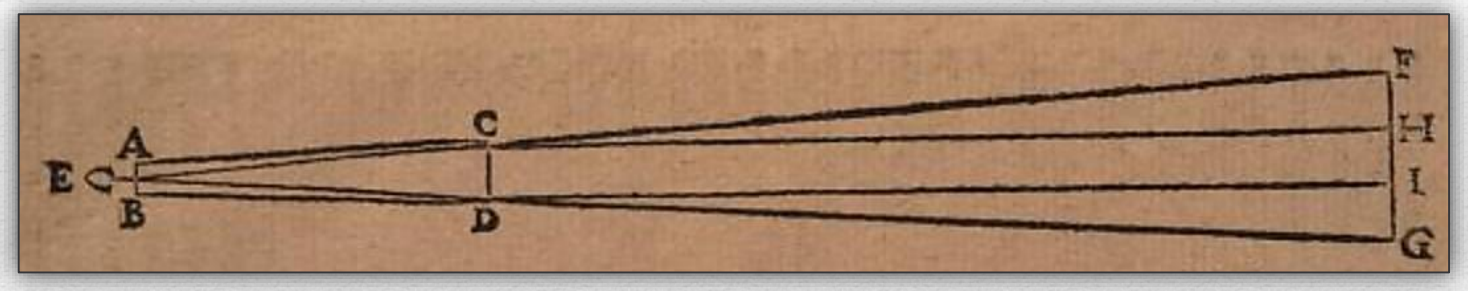
Galileo 'artista': *Il giudizio ch'ei dava delle pitture e disegni veniva preferito a quello de' primi professori dai professori medesimi…* (V. Viviani, *Vita di Galileo*).
Conosce la prospettiva: è in grado di dare senso fisico a ciò che osserva e di riprodurlo graficamente

Galileo 'fisico e matematico': *Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezi è impossibile a intenderne umanamente parola…* (G. Galilei, *Il Saggiatore*)



Galileo Galilei (1564-1642), *Disegni della Luna*, novembre-dicembre 1609 - Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, Ms. Gal. 48, c. 28r

Sidereus Nuncius - 1610

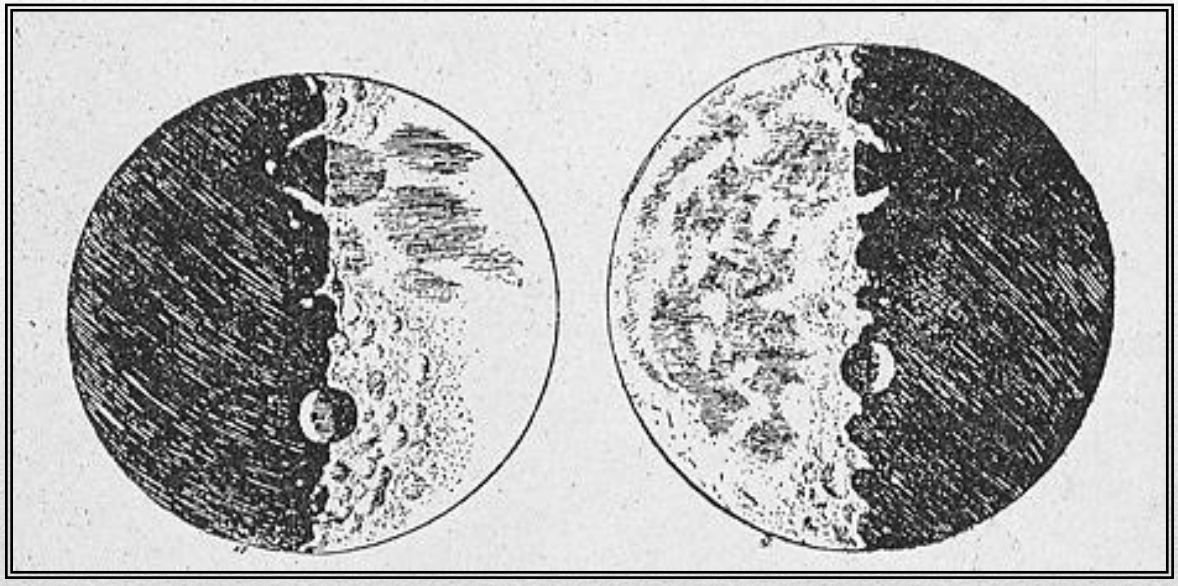


…e prima di tutto mi preparai un tubo di piombo, alle cui estremità applicai due lenti, ambedue piane da una parte, dall'altra invece una convessa ed una concava; accostando poi l'occhio alla concava, scorsi gli oggetti abbastanza grandi e vicini…

Primo prototipo: oggetti *tre volte più vicini e nove volte più grandi di quando si guardavano con la sola vista naturale*.

Sviluppi successivi: necessita di lenti con focali non usualmente utilizzate dagli occhialai → inizia lavorazione autonoma delle lenti → mette a punto *uno strumento così eccellente, che le cose vedute per mezzo di esso appaiono quasi mille volte più grandi e più di trenta volte più vicine*.

La Luna



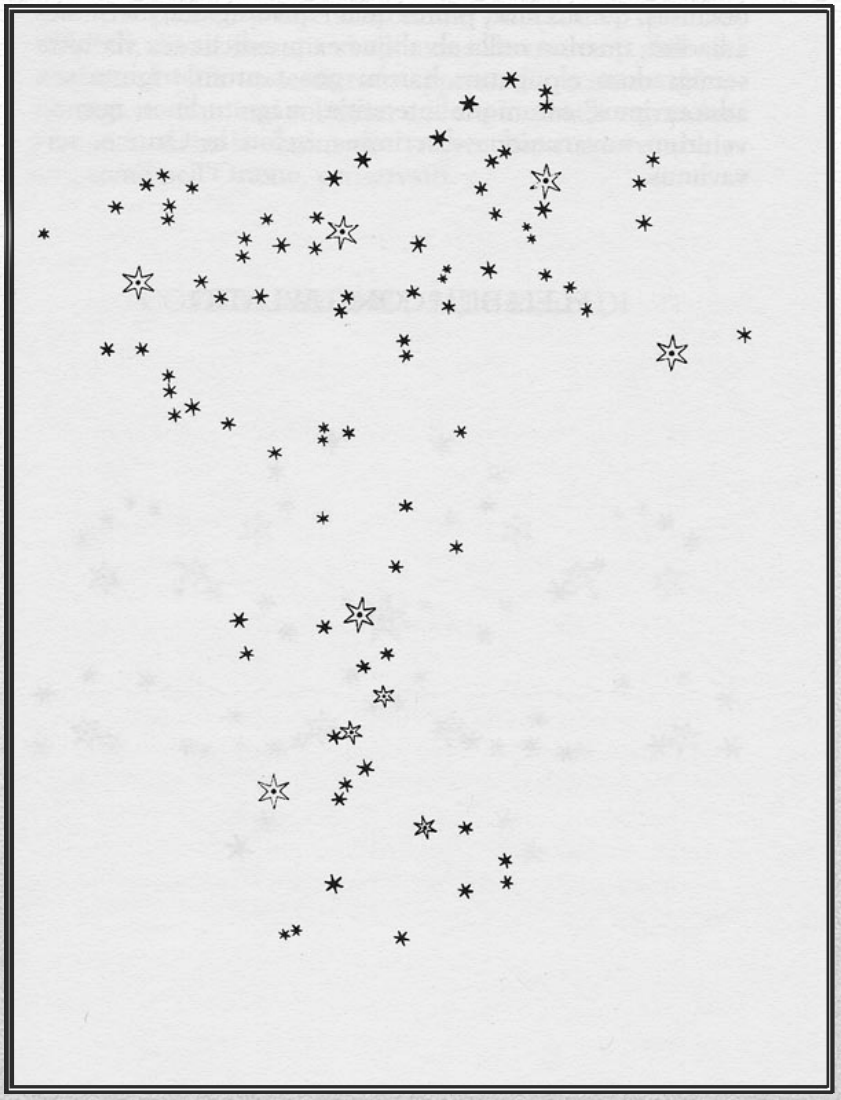
Da osservazioni più volte ripetute di tali macchie fummo tratti alla convinzione che la superficie della Luna non è levigata, uniforme ed esattamente sferica, come gran numero di filosofi credette di essa e degli altri corpi celesti, ma ineguale, scabra e con molte cavità e sporgenze, non diversamente dalla faccia della Terra, variata da catene di monti e profonde valli

La Luna di **Thomas Harriot**

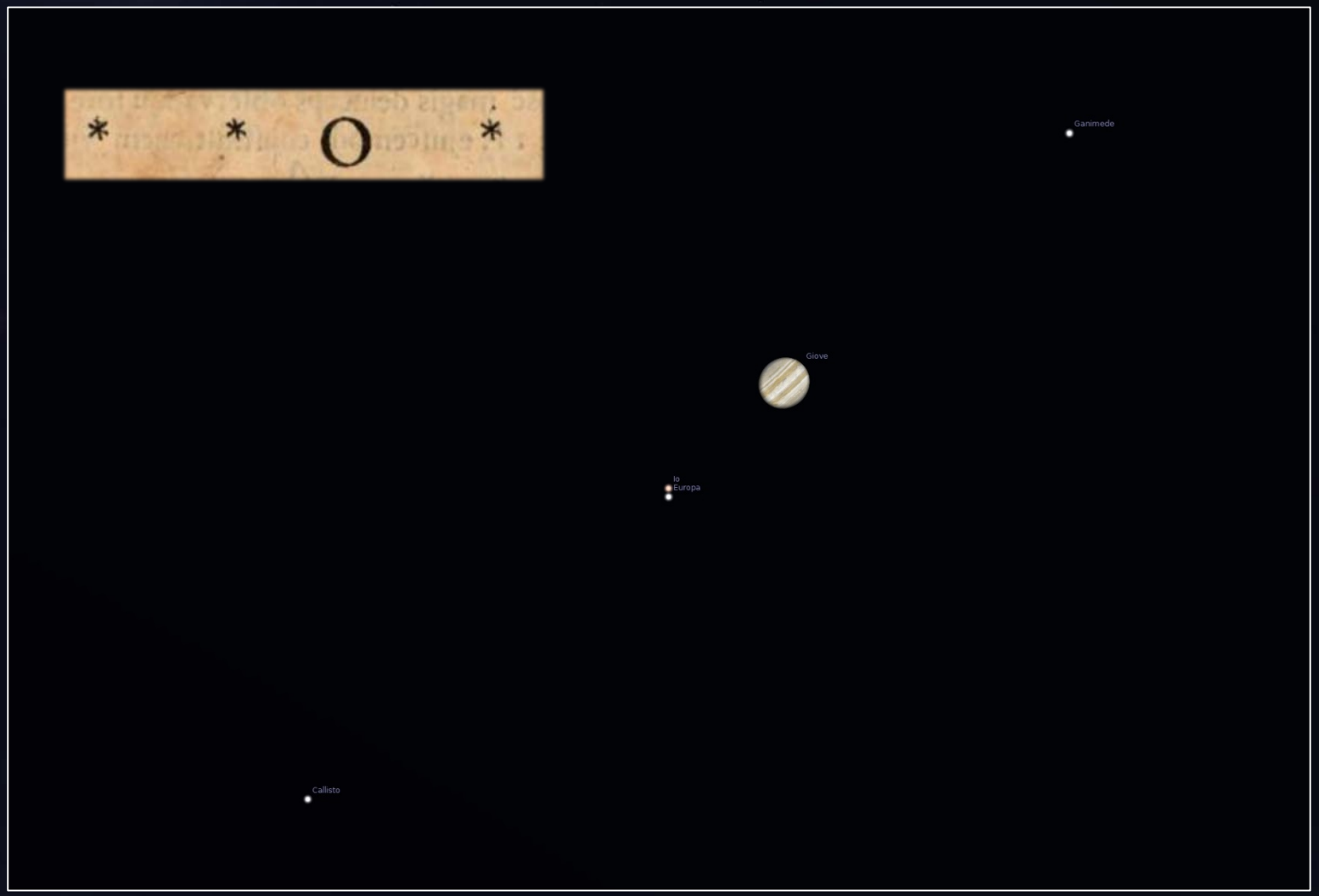
Thomas Harriot (1560-1621), *Tre disegni della Luna*, 1609-1611 - Petworth, Collezione di Lord Egremont

Le stelle

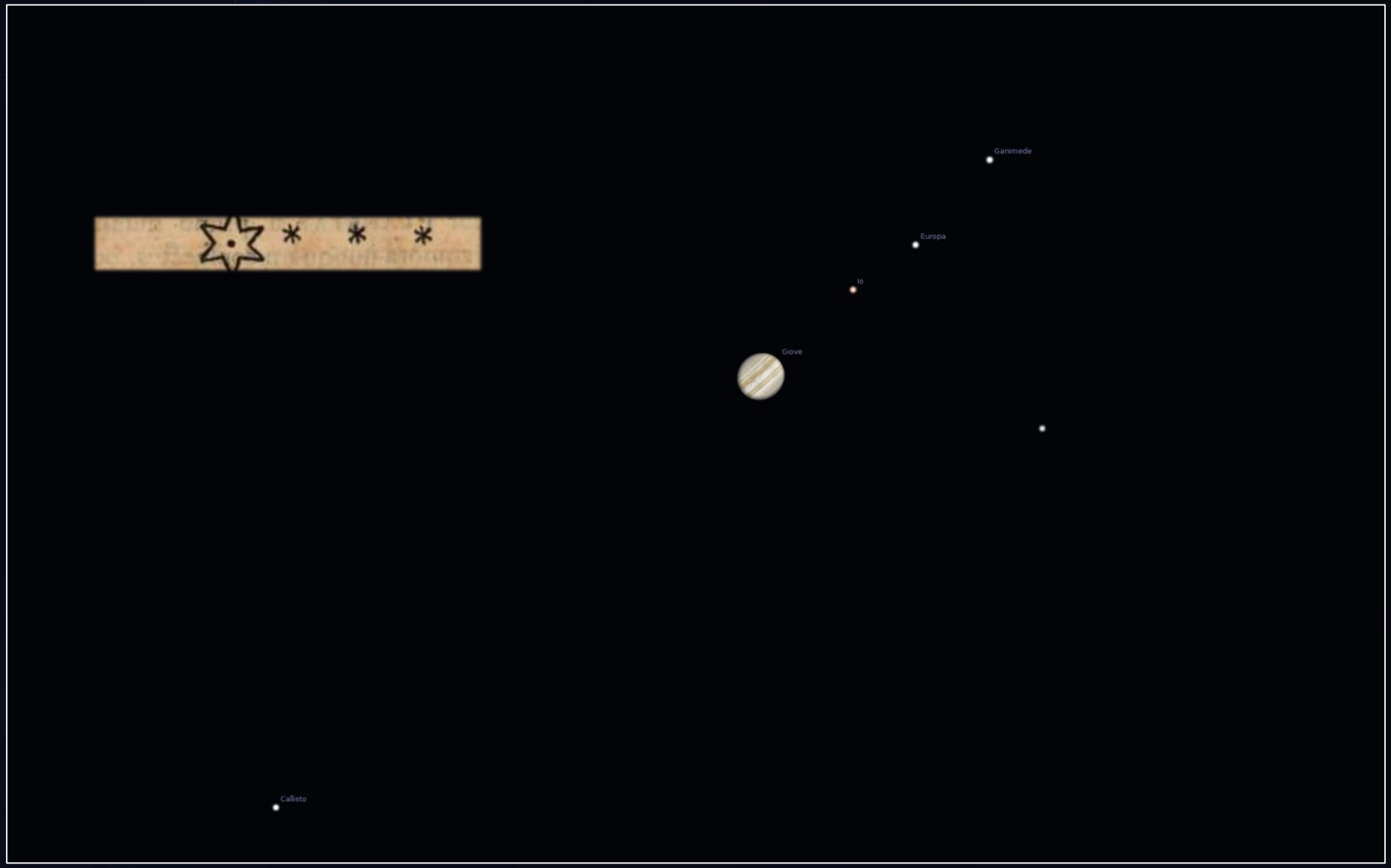
Poi, al di là delle Stelle di sesta grandezza, si scorgerà col cannocchiale un così numeroso gregge di altre, sfuggenti alla vista naturale, che appena è credibile



7 gennaio 1610 – ore 17:45

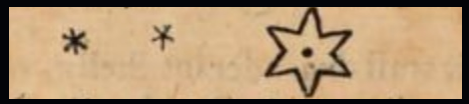


8 gennaio 1610 – ore 17:45



10 gennaio 1610 – ore 17:45

11 gennaio 1610 – ore 17:45



Callisto

Ganimede

13 gennaio 1610 – ore 17:45

Callisto

Io

Ganimede

Giove

Amaltea

Europa

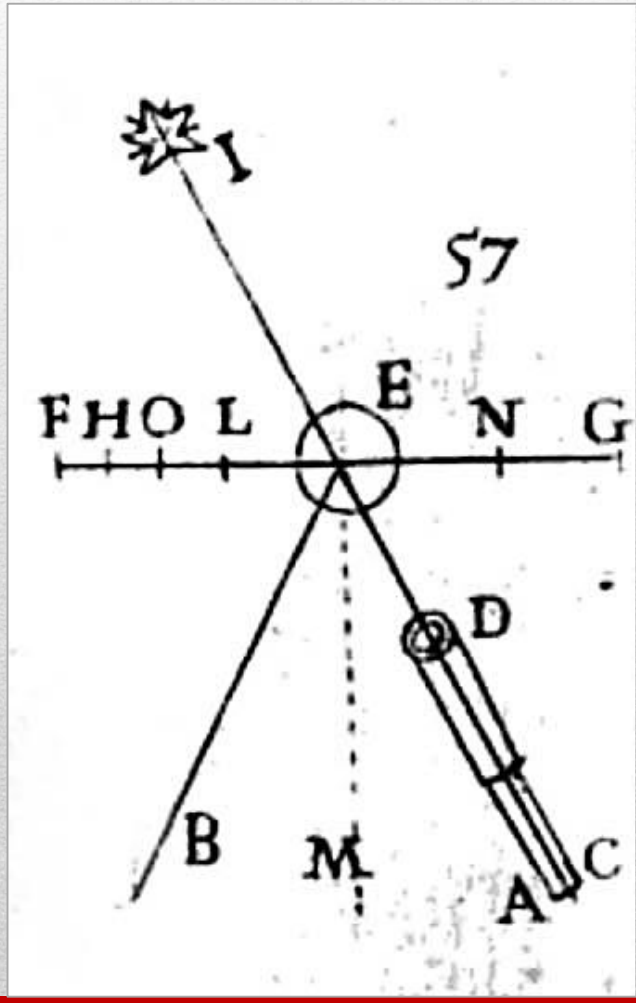
La prima implementazione strumentale

Il micrometro di Galileo

Descritto in A. Borelli, *Theoricae Mediceorum planetarum ex causisi physicis deductae*..., 1666.

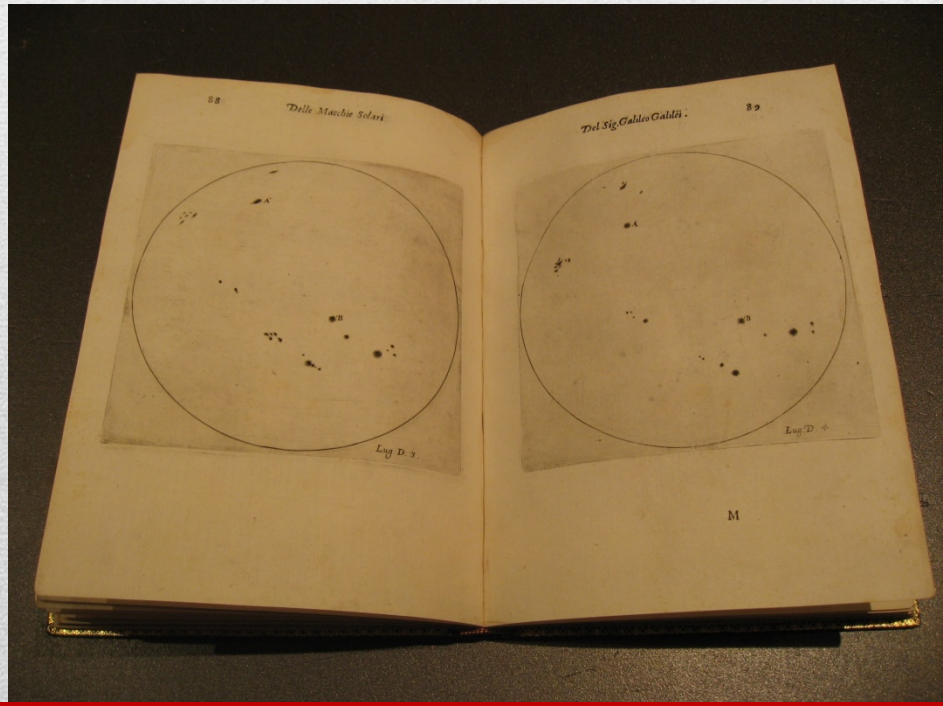
Scala graduata, denominata *rastellus*, da guardare con l'occhio sinistro mentre il destro mira Giove con il telescopio.

Le due immagini si "sovrapponevano" grazie alla visione binoculare degli occhi umani.

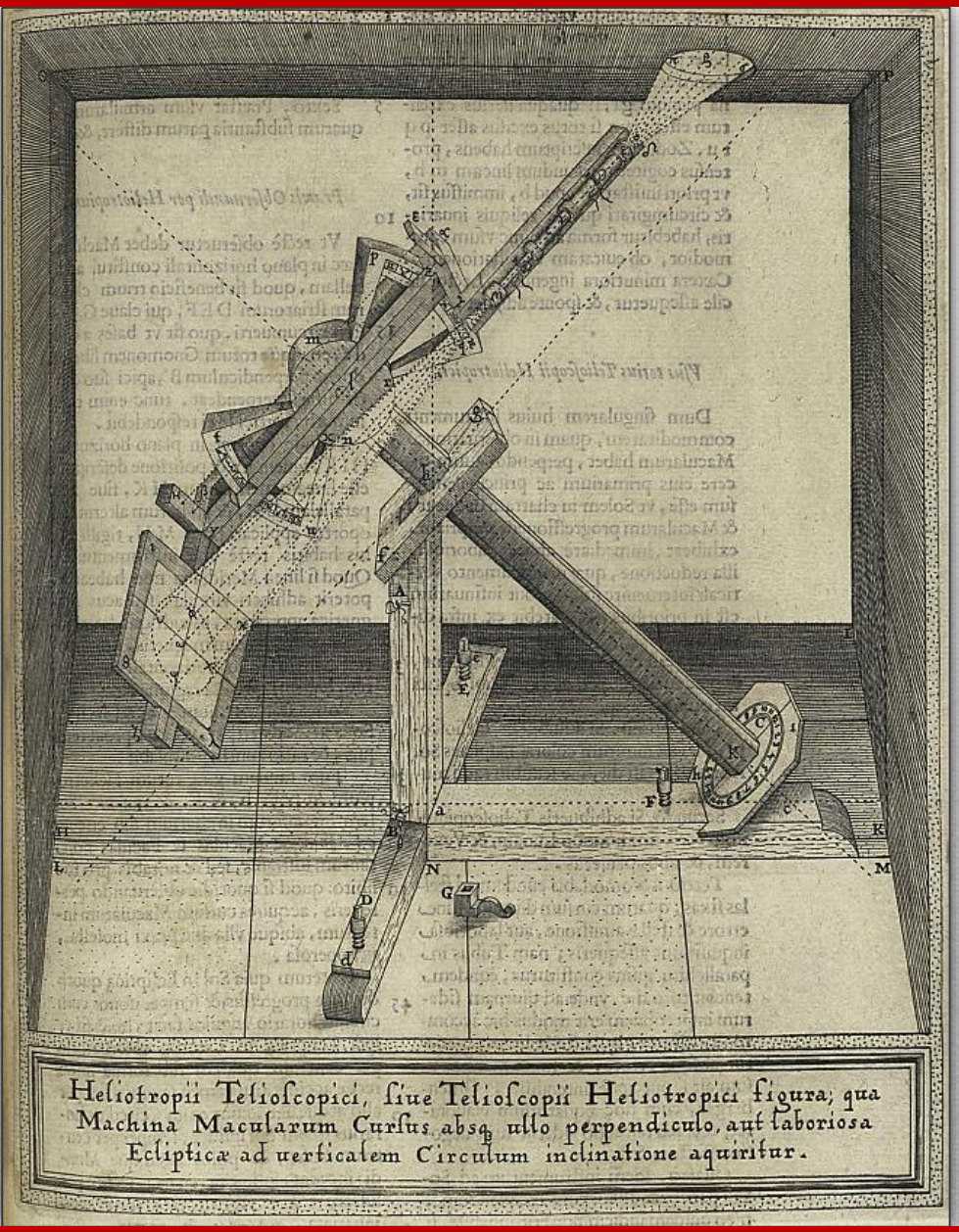


L'osservazione delle macchie solari

Nella *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (tre lettere a Mark Welser - 1613) Galileo contesta l'astronomo gesuita Christoph Scheiner (noto con lo pseudonimo di Apelle), che riteneva le macchie solari essere corpi in moto nello spazio compreso tra la Terra e il Sole. Per la loro osservazione, Galileo fa uso del *metodo per proiezione*, secondo una metodologia ideata dal suo discepolo Benedetto Castelli.



Dal cannocchiale al telescopio



Lo stesso Scheiner utilizzò questo metodo e mise a punto una montatura di tipo equatoriale, dotata di circolo orario alla base e di piano di appoggio per il foglio.
La montatura permetteva, una volta centrato il Sole nel campo dello strumento, di seguire l'astro nel suo moto diurno muovendo un solo asse.
Si tratta del primo esempio di montatura equatoriale (in *Rosa Ursina sive sol ex admirando…* - 1630).

Il cannocchiale kepleriano

Limiti del cannocchiale galileiano:

1. Piccolo campo;
2. Impossibilità di utilizzare un micrometro filare, non essendoci immagine reale;
3. Appannamento della lente, dal momento che l'occhio deve starvi a contatto.

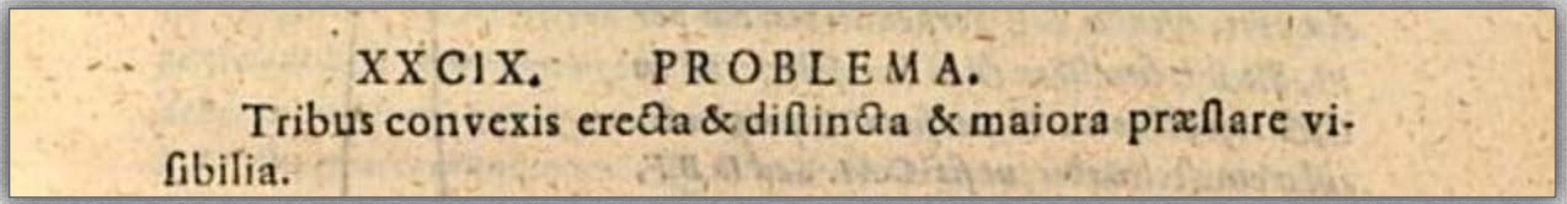
Nel mondo astronomico si imporrà quindi la configurazione kepleriana, perché dà luogo a strumenti di maggior campo (i migliori cannocchiali di Galileo abbracciavano campi pari ad un quarto del diametro della Luna), più semplici da costruire e applicabili a misurazioni di precisione.

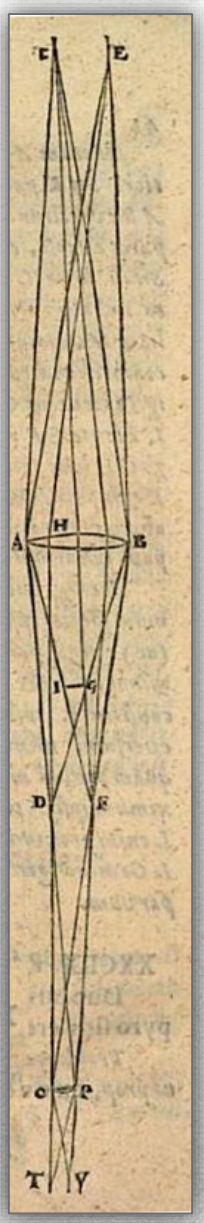
Keplero:

Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur (1604): studio dell'ottica

Dioptrice (1611): trattazione teorica delle lenti; opera redatta in soli due mesi, dopo la lettura del *Sidereus Nuncius*.

Primo moderno trattato di ottica.
Viene proposta anche la combinazione a tre lenti, che dà la possibilità di raddrizzare l'immagine finale ricorrendo ad un'ulteriore lente convessa da inserirsi nel tubo ottico tra obiettivo e oculare.

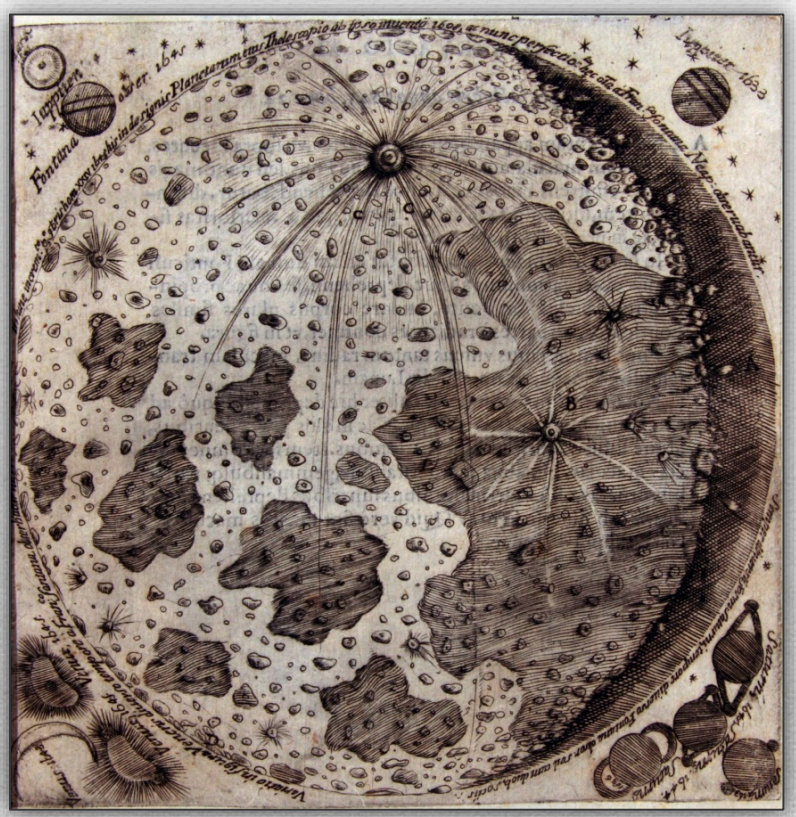

XXCIX. PROBLEMA.
Tribus convexis erecta & distincta & maiora præstare visibilia.



Primi astronomi ad utilizzare un telescopio in configurazione kepleriana :

Christoph Scheiner (1573-1650), ne propone l'utilizzo per l'osservazione delle macchie solari tramite il metodo della proiezione.

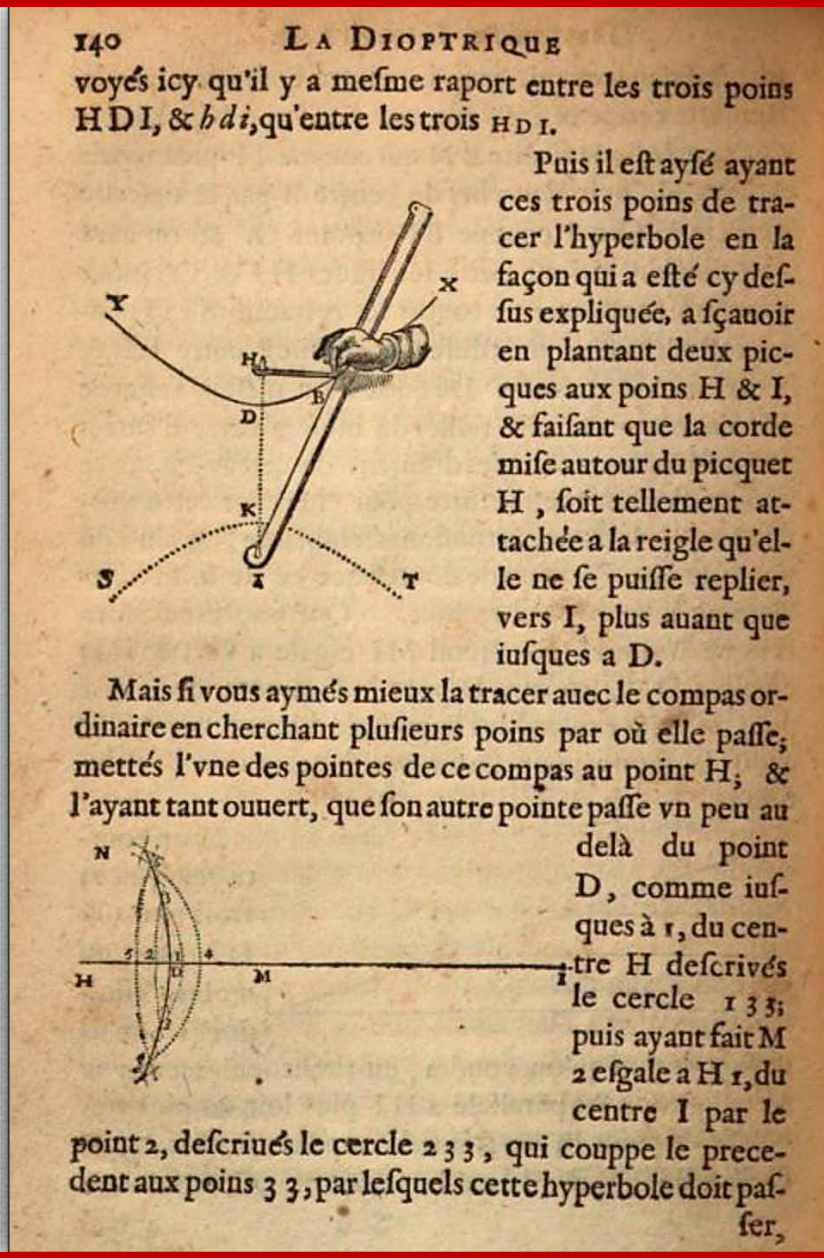
Il napoletano **Francesco Fontana** (1580-1656) nell'opera *Novae colestium terrestriumque rerum observationes* (1646) pubblica le sue osservazioni della Luna e dei pianeti, eseguite con un cannocchiale kepleriano costruito fin dal 1629-30.



Rappresentazioni della Luna e dei pianeti eseguite da F. Fontana, grazie ad osservazioni eseguite con un cannocchiale di tipo kepleriano

Era noto che le lenti soffrivano di aberrazioni intrinseche, in particolare quella sferica e quella cromatica.

Nel 1637 **René Descartes** (1596-1650) nella sua *Dioptrique* - grazie alla corretta legge della rifrazione - dimostrò da un punto di vista teorico che le lenti sferiche non potevano focalizzare i punti-oggetto posti all'infinito in punti-immagine, ma che questo risultato poteva invece essere ottenuto con una lente convessa la cui superficie fosse lavorata a forma di iperboloide.



140 LA DIOPTRIQUE

voyés icy qu'il y a meſme raport entre les trois poins HDI, & *hdi*, qu'entre les trois HDI.

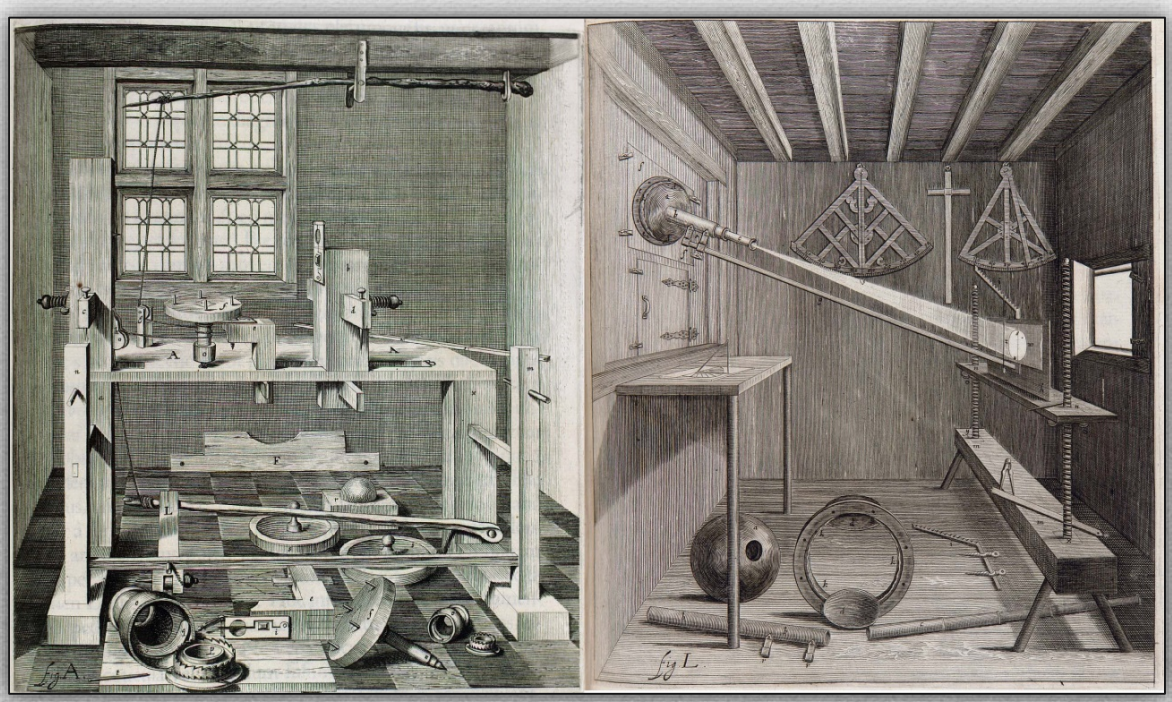
Puis il eſt ayſé ayant ces trois poins de tracer l'hyperbole en la façon qui a eſté cy deſſus expliquée, a ſçauoir en plantant deux picques aux poins H & I, & faiſant que la corde miſe autour du picquet H, ſoit tellement attachée a la reigle qu'elle ne ſe puiſſe replier, vers I, plus auant que iuſques a D.

Mais ſi vous aymés mieux la tracer auec le compas ordinaire en cherchant pluſieurs poins par où elle paſſe; mettés l'vne des pointes de ce compas au point H; & l'ayant tant ouuert, que ſon autre pointe paſſe vn peu au

delà du point D, comme iuſques à 1, du centre H deſcrivés le cercle 1 3 3; puis ayant fait M 2 eſgale a H 1, du centre I par le point 2, deſcriués le cercle 2 3 3, qui couppe le precedent aux poins 3 3, par leſquels cette hyperbole doit paſſer,

La realizzazione dei cannocchiali, tuttavia, si basava di fatto più sull'esperienza degli osservatori e sull'abilità degli ottici che non su considerazioni teoriche.

Johannes Hevelius (1611-1687), nella *Selenographia* (1647), descrive quattro tipi di telescopi: con oculare concavo e obiettivo convesso; con due lenti convesse; con due lenti convesse ed una concava; con tre lenti convesse. Predilige il primo, il secondo lo ritiene utile solo per l'osservazione delle macchie solari, degli ultimi due sostiene che la giusta collocazione della terza lente si apprende solamente con la pratica.



Selenographia, mappa della Luna con nomenclatura.

L'epoca dei lunghi cannocchiali

Le aberrazioni di sfericità e cromatismo hanno tanto più peso quanto più le lenti sono di corta focale e quanto più ci si discosta dalla condizione di 'raggi parassiali'
→ si cominciarono a costruire telescopi di dimensioni sempre maggiori (lunga focale e piccola apertura relativa).

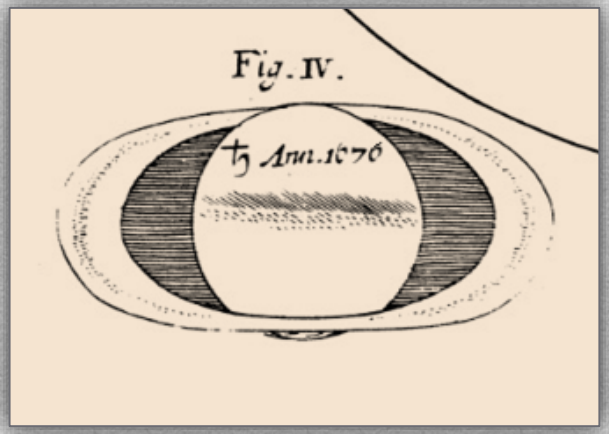
Fra i più celebri costruttori di lunghi cannocchiali sono da ricordare gli italiani **Eustachio Divini** (1610-1685) e **Giuseppe Campani** (1635-1715).

Eustachio Divini

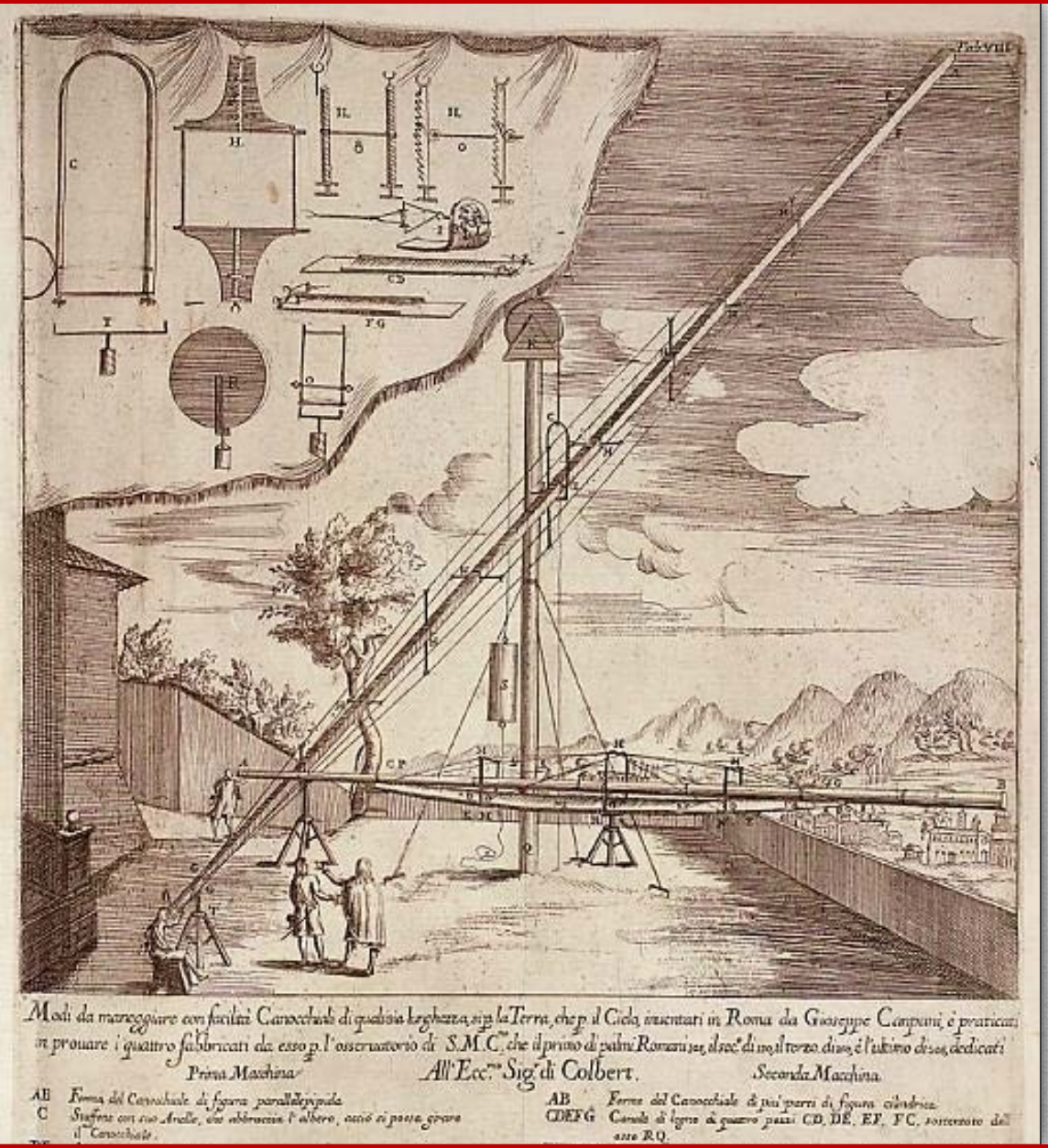
Attorno al 1650 Divini era considerato tra i più abili artefici in attività, e i suoi strumenti si vendevano anche in Francia e Inghilterra, dove l'arte di costruire telescopi non si era ancora raffinata.

Anche Giuseppe Campani professò la sua attività di costruttore di strumenti scientifici a Roma, dove si distinse come orologiaio, meccanico e ottico; in competizione con Divini, tra i suoi acquirenti c'erano personalità come i cardinali Francesco Barberini e Flavio Chigi, il principe Agostino Chigi, il Granduca di Toscana Ferdinando II, Jean-Baptiste Colbert, ministro di Luigi XIV, e soprattutto **Giovanni Domenico Cassini** (1625-1712), che utilizzò i cannocchiali di Campani a Parigi.

Con i telescopi di Campani, Cassini scoprì la rotazione di Giove (1665) e di Marte (1666), la divisione dell'anello di Saturno (1675) e i suoi satelliti Giapeto (1671), Rea (1672), Teti e Dione (1684).



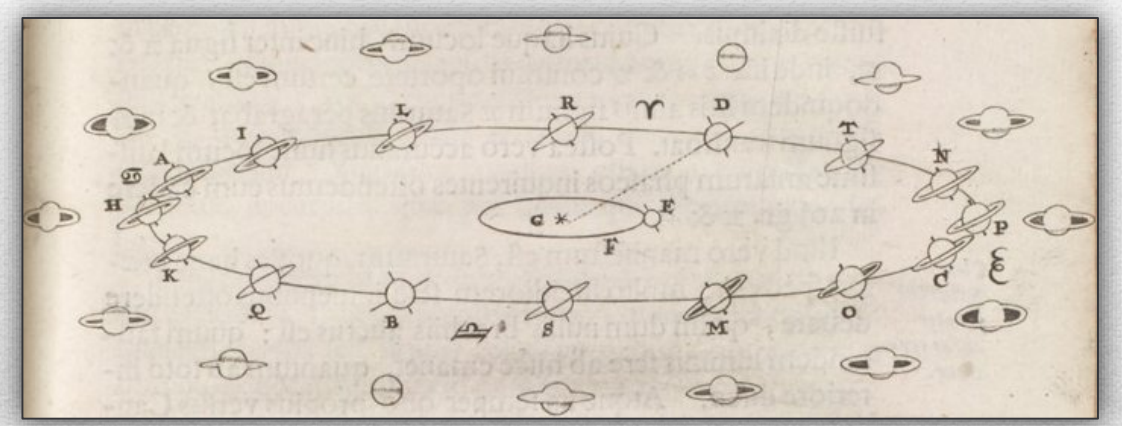
Dal cannocchiale al telescopio



Tutti questi cannocchiali erano però poco maneggevoli e perciò poco adatti a osservazioni di precisione.

Oltre alle problematiche legate alla realizzazione delle ottiche, i cannocchiali seicenteschi soffrivano soprattutto di difficoltà di utilizzo legate alla loro mole.

Importanti innovazioni furono introdotte dall'astronomo olandese **Christiaan Huygens** (1629-1695), che sviluppò una esatta teoria delle lenti sferiche, pubblicata nel *Traité de la lumière* (1690), dove è anche formulata l'ipotesi sulla natura ondulatoria della luce.



Nel 1659, con un telescopio di sua costruzione, e dopo aver già scoperto Titano (1655), determinò la vera natura degli anelli di Saturno.

La sua scoperta suscitò grande scalpore, non tanto per la lunghezza del cannocchiale con cui venne realizzata - un telescopio di 23 palmi del Reno (circa 7 metri) - ma per il particolare oculare impiegato, formato di due lenti.

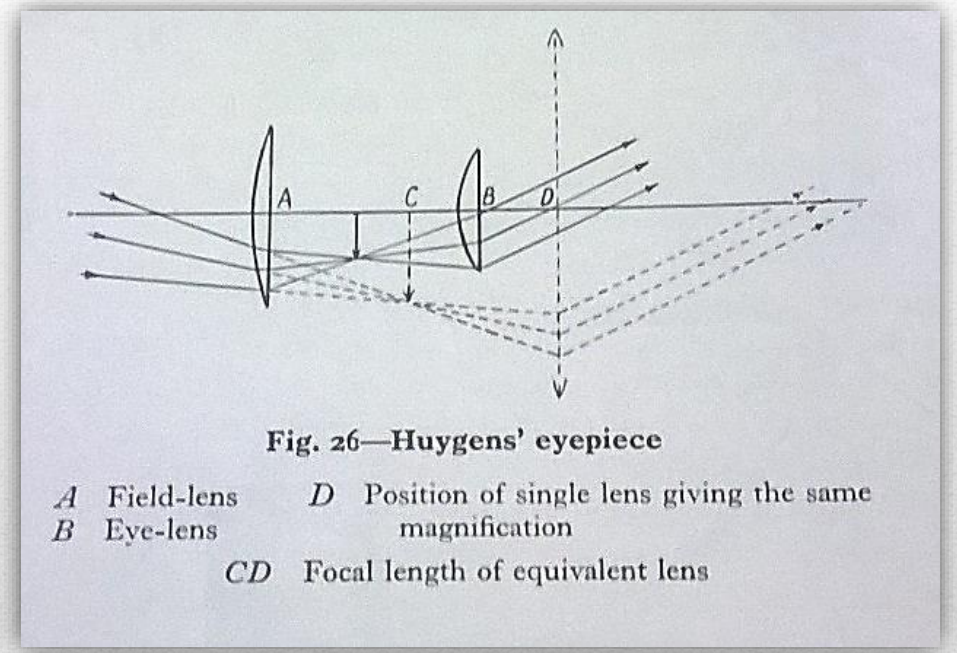
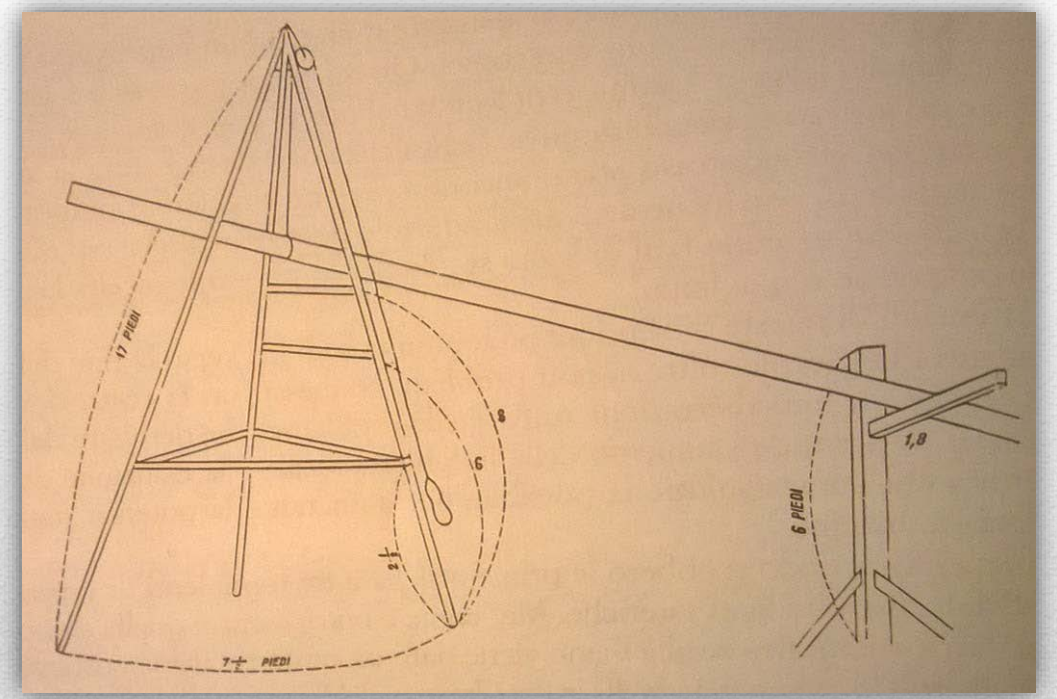


Fig. 26—Huygens' eyepiece

A Field-lens
B Eye-lens
D Position of single lens giving the same magnification
CD Focal length of equivalent lens

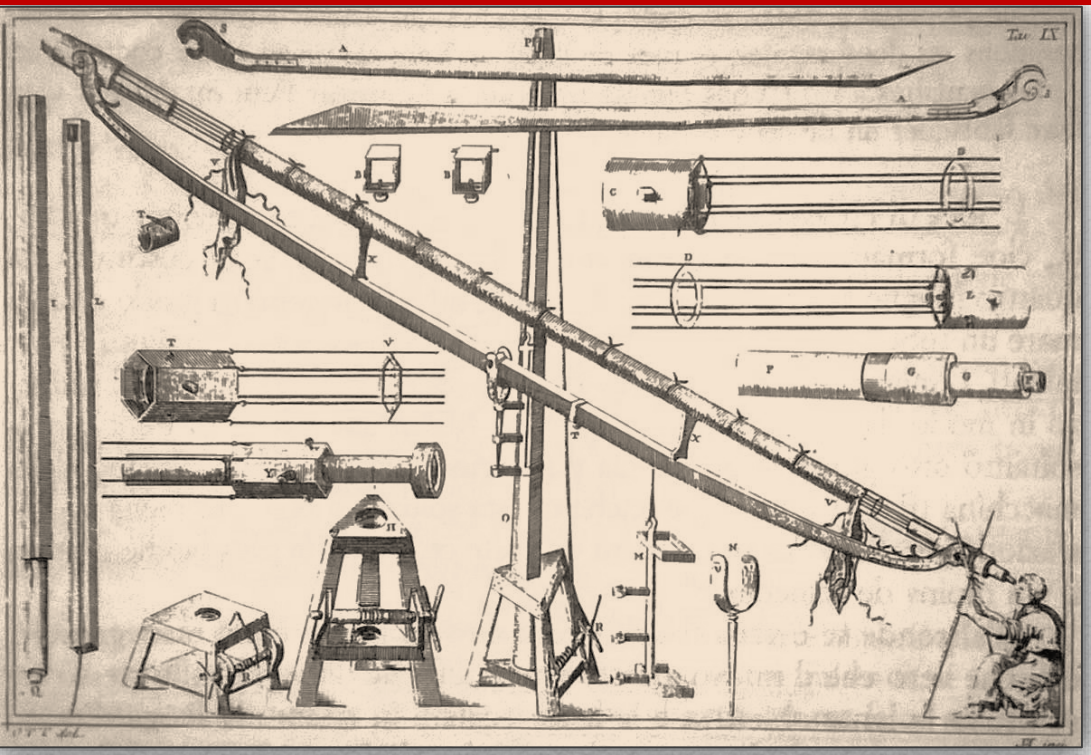
L'*oculare negativo* – così divenne nota questa implementazione di Huygens – consisteva di due lenti piano-convesse sferiche, separate l'una dall'altra di circa la metà della somma delle loro distanze focali, e le cui superfici curve venivano rivolte verso l'obiettivo.

In questo modo si aumentava il campo (infatti la prima lente prese il nome di *lente di campo*) e l'aberrazione cromatica veniva parzialmente compensata e ridotta nel doppio passaggio tra le due lenti.
In seguito si moltiplicarono i tentativi di realizzare oculari composti, ma spesso questi non erano sorretti da una precisa conoscenza della teoria ottica relativa.

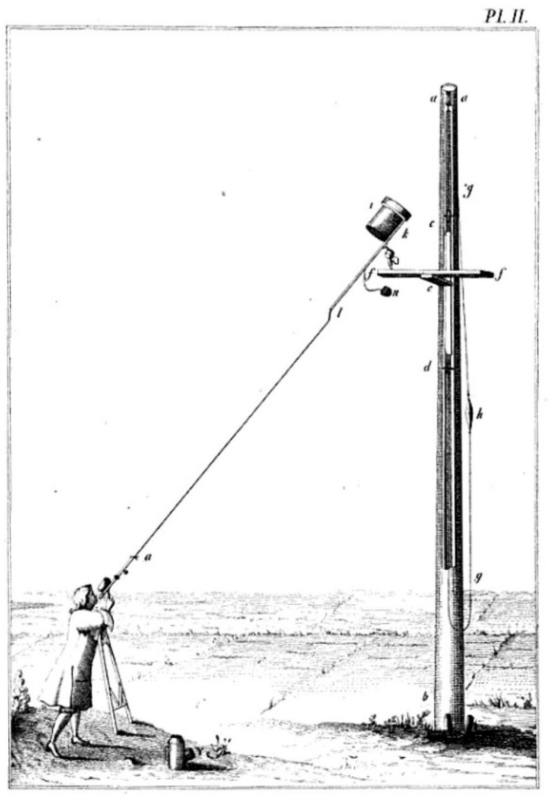


Per ovviare al problema della manovrabilità del suo telescopio di 7 metri, Huygens aveva progettato un sostegno costituito da tre pertiche, alle quali il telescopio era collegato tramite carrucola dalla parte dell'obiettivo, mentre dalla parte dell'oculare poggiava su di un piede, dotato di asta verticale scorrevole. Il sistema non poteva essere utilizzato per cannocchiali di maggiori dimensioni, che a causa del peso non avrebbero mantenuto l'assetto.

Dal cannocchiale al telescopio



In Italia, Candido e Anton Maria Del Buono idearono l'*Arcicanna*: tubo telescopico sostituito da sei funi tenute in tensione.



Huygens arrivò ad abolire del tutto la canna telescopica, sostituita da una lunga asta per sorreggere i porta-lenti. La difficoltà più importante di queste configurazioni, consisteva nel riuscire a mantenere la linearità iniziale dell'asse ottico, senza contare i disturbi dovuti alla luce laterale.

Dal cannocchiale al telescopio

Queste problematiche, assieme alla scarsa qualità del vetro prodotto per la costruzione dei nuovi obiettivi, limitarono per molti anni la possibilità di migliorare ulteriormente le potenzialità osservative dei cannocchiali.

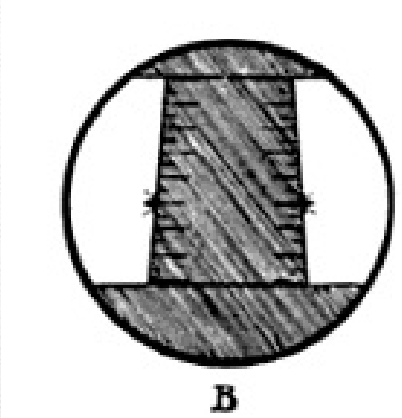
Maximum tubus, di 150 piedi (46 metri) di Hevelius; in *Machina coelestis: Organographiam, Sive Instrumentorum Astronomicorum…, 1673*

Le implementazioni strumentali

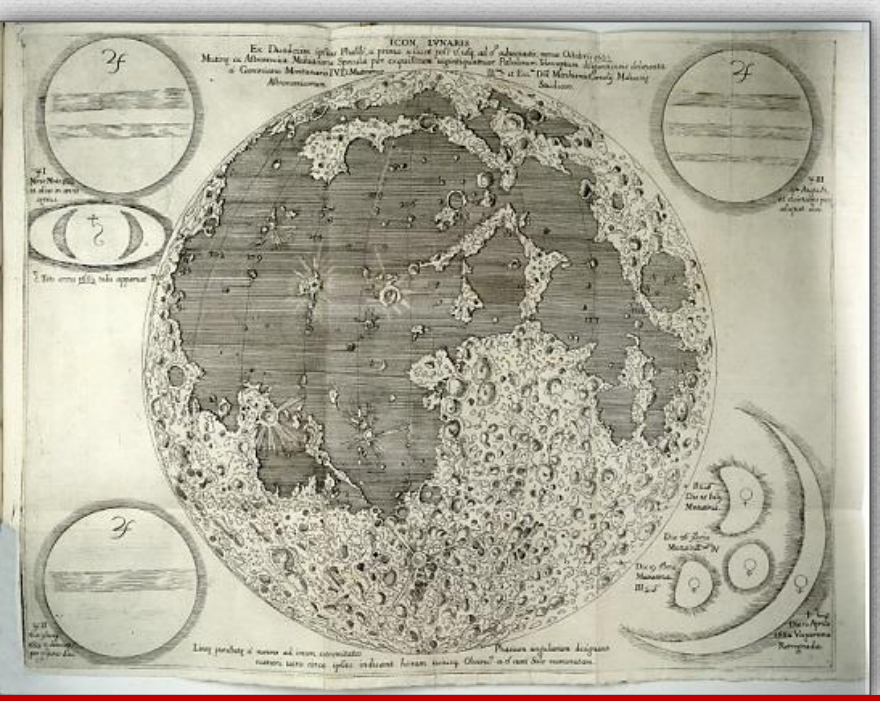
Il cannocchiale, strumento di indagine potentissimo per vedere cose nuove, era pressoché inutile per effettuare misurazioni angolari, scopo primario dell'astronomia matematica.

Il Micrometro: attorno al 1640 **Divini** tracciò la sua mappa lunare con l'ausilio di una *lente vitrea* ricoperta di sottilissimi fili; attorno agli stessi anni, l'astronomo inglese dilettante **William Gascoigne** (1612-1644) trovò casualmente che i fili di una ragnatela che si sovrapponevano all'immagine primaria potevano essere utilizzati per effettuare misurazioni; le sue tecniche furono applicate ad Oxford da **Christopher Wren** (1632-1723) e **Robert Hooke** (1635-1703), ma non circolarono al di fuori degli ambienti inglesi.

Nel Continente, Huygens mise a punto in modo indipendente un altro tipo di micrometro, che egli descrive nel suo *Systema Saturnium*: egli collocò una *virgula* (una barretta di metallo) nel piano focale dell'oculare; questa veniva mossa fino a che non copriva esattamente l'oggetto o la distanza da misurare (in analogia con le pinnule dell'antichità).

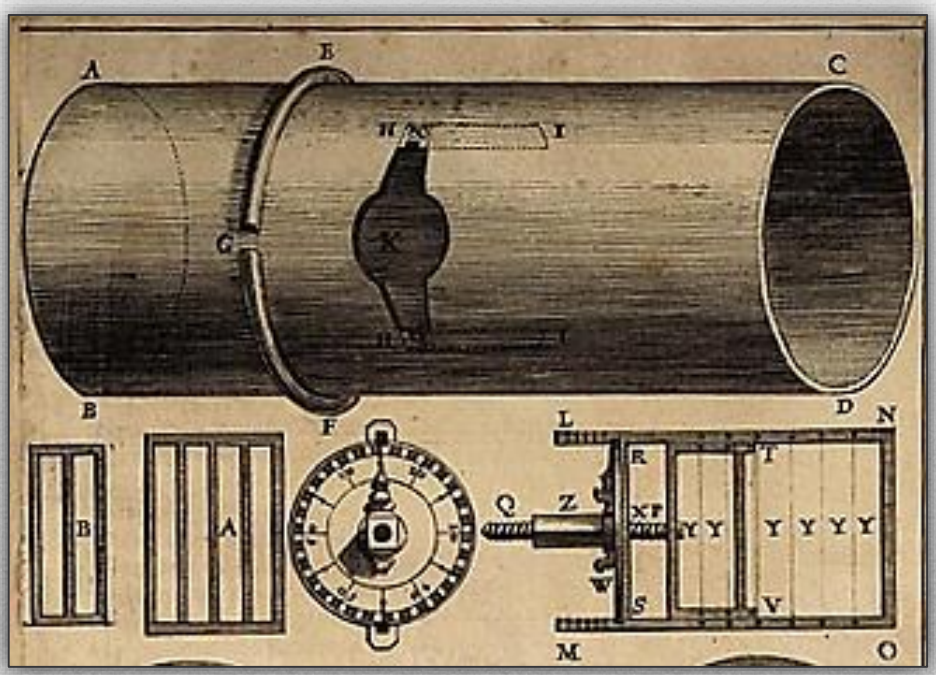


Il micrometro di Huygens



In Italia, l'astronomo **Geminiano Montanari** (1633-1687), ispirandosi a quanto fatto da Divini e Huygens, ideò un reticolo filare a fili fissi, con il quale realizzò una delle più precise mappe lunari dell'epoca, riprodotta all'interno del volume *Ephemerides novissimae motuum coelestium* (1662).

Pochi anni più tardi, i francesi **Adrien Auzout** (1622-1691), **Pierre Petit** (1595 ca.-1677) e **Jean Picard** (1620-1682) misero a punto il primo micrometro a fili mobili.



Applicando un mirino telescopico a uno strumento graduato, si era giunti a combinare uno strumento ottico con uno di misurazione astronomica e si era aperta una breccia nel muro, per così dire, che separava queste due categorie di strumenti.

(Jim Bennett, *Gli strumenti scientifici*)

Con il micrometro filare **James Bradley** (1693-1762) eseguì le misure che portarono alla scoperta dell'aberrazione della luce.

Il doppietto acromatico: Attorno alla metà del '700, più nel mondo artigiano che in quello accademico, lo studio e la comprensione dell'aberrazione cromatica stimolarono studi e ricerche sulla possibilità di eliminare o ridurre tale difetto nei sistemi ottici.

Chester Moore Hall (1703-1771), ottico dilettante, riuscì per primo a trovare una combinazione in grado di deviare la luce senza disperderla, combinando una lente convessa di vetro *crown* (molto trasparente e poco rifrangente) con una lente concava di vetro *flint* (duro e luminoso, molto rifrangente).
Fu però **John Dollond** (1706-1761) a brevettare il doppietto, e ad iniziarne la produzione in serie → predominio inglese nell'industria ottica.

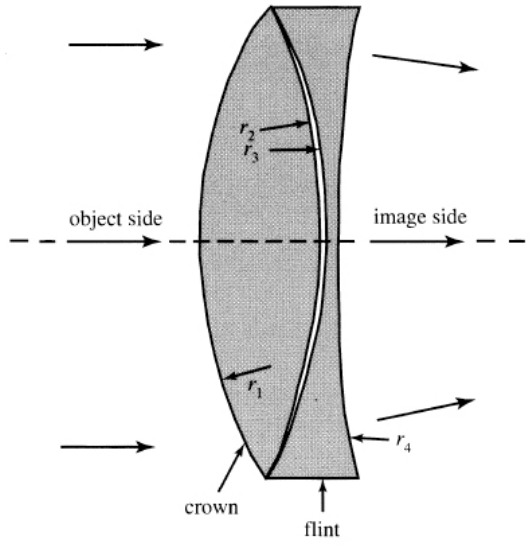
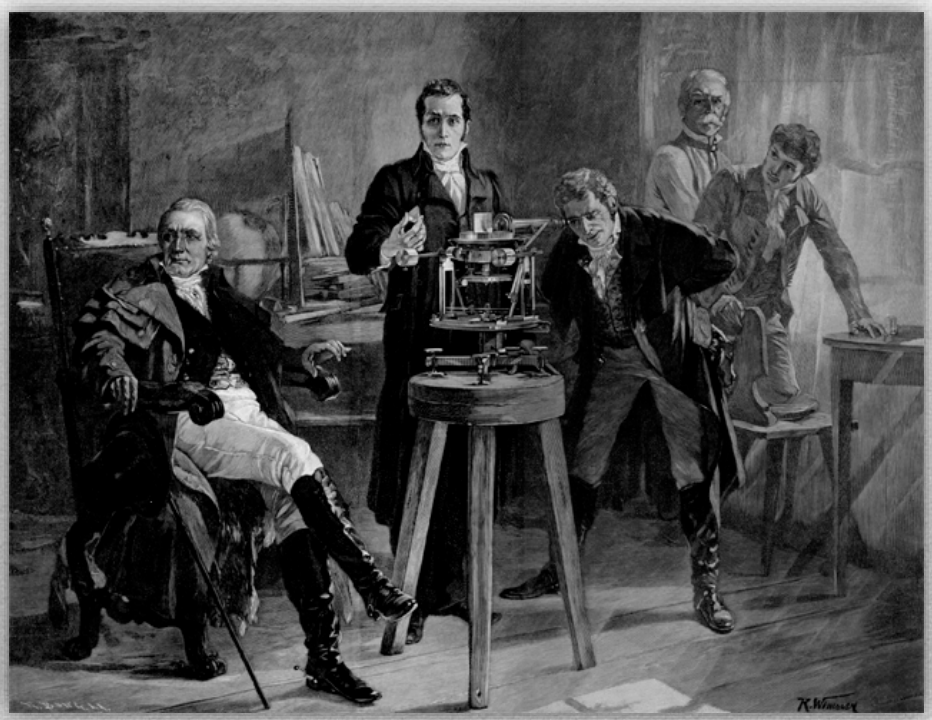


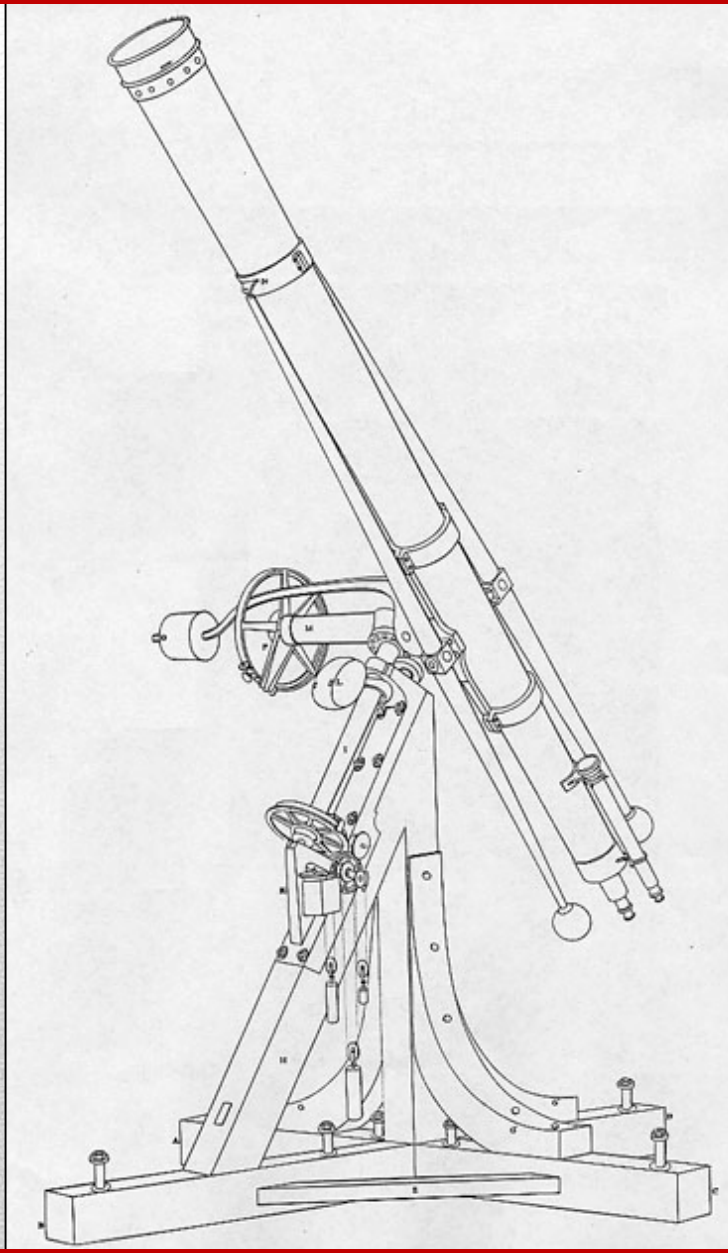
Figure 4. Cross-section of the later definitive form of Dollond's object glass. It becomes the 'classic English object glass' of the second half of the eighteenth century. The biconvex crown glass lens is on the object side, the biconcave flint glass lens on the image side.

Limite: difficoltà nella produzione di vetro flint di grande dimensione.
Alla fine del secolo lo svizzero **Pierre Louis Guinand** (1748-1824), mette a punto un processo produttivo di flint di alta qualità e di grande dimensione, tenuto gelosamente segreto.
Nel 1804 i produttori tedeschi **Reichenbach** e **Utzschneider** reclutano Guinand, che istruirà nell'arte della lavorazione del vetro il giovane **Joseph Fraunhofer** (1787-1826), il quale ben presto superò il maestro.
Grazie anche all'introduzione della **Macchina a Dividere** → Predominio tedesco
→ Epoca dei grandi rifrattori ottocenteschi



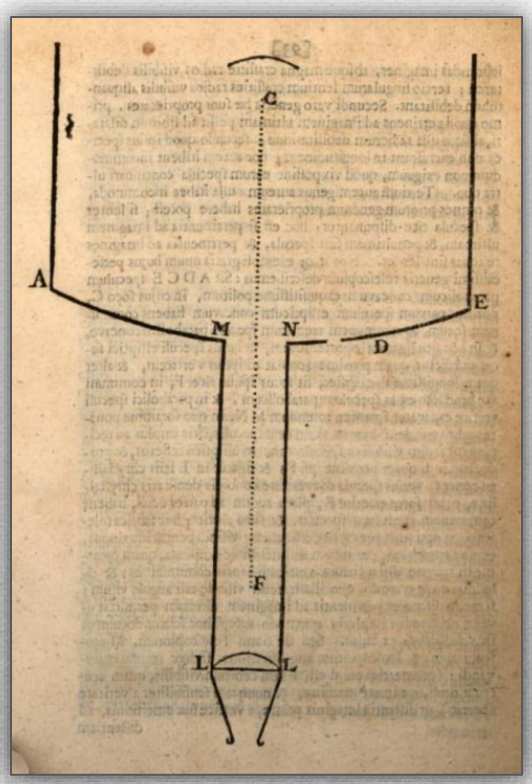
Incisione sul legno di Rudolf Wimmer. La scena, ambientata nel 1814, ritrae da sinistra a destra: Utzschneider, Fraunhofer, Reichenbach e il giovane Georg Merz.

Il rifrattore realizzato da Fraunhofer per **Friedrich Georg Wilhelm von Struve** (1793-1864), direttore dell'osservatorio di Dorpat (oggi Tartu in Estonia) nel 1824. Lo strumento era di qualità eccezionale: non solo era il più grande rifrattore dell'epoca, avendo un obbiettivo di 24,4 cm di apertura, ma era uno strumento innovativo che per le sue caratteristiche costruttive e il suo design: fu il capostipite di tutti i grandi equatoriali del XIX secolo.



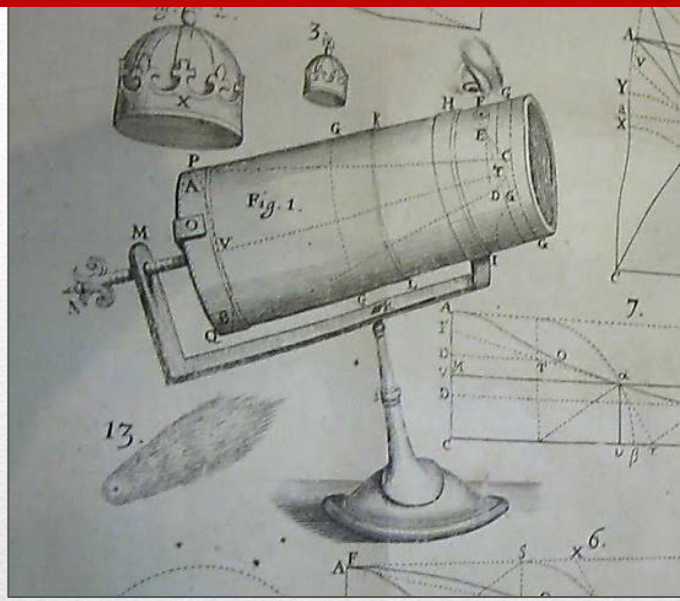
Il riflettore

James Gregory (1638-1675) suggerì per la prima volta l'uso degli specchi nel 1663 (*Optica Promota)* proponendo la combinazione di un primario parabolico con secondario concavo a sezione ellittica posto oltre il fuoco del primario → immagini diritte
Insormontabili difficoltà pratiche di realizzazione

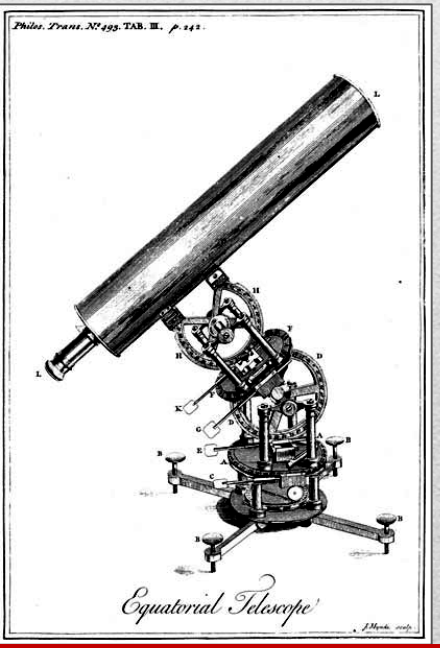


James Gregory, *Optica Promota* 1663

Il primo riflettore della storia è quindi quello di **Isaac Newton** (1643-1727), da lui stesso progettato attorno al 1670, nella classica configurazione che da lui ha preso il nome (specchio secondario piano posto a 45° rispetto all'asse ottico, in modo da deviare la luce perpendicolarmente verso l'oculare, fissato lateralmente al tubo principale).



An Account of a New Kind of Telescope, invented by Mr. Isaac Newton, Philosophical Transactions 1672

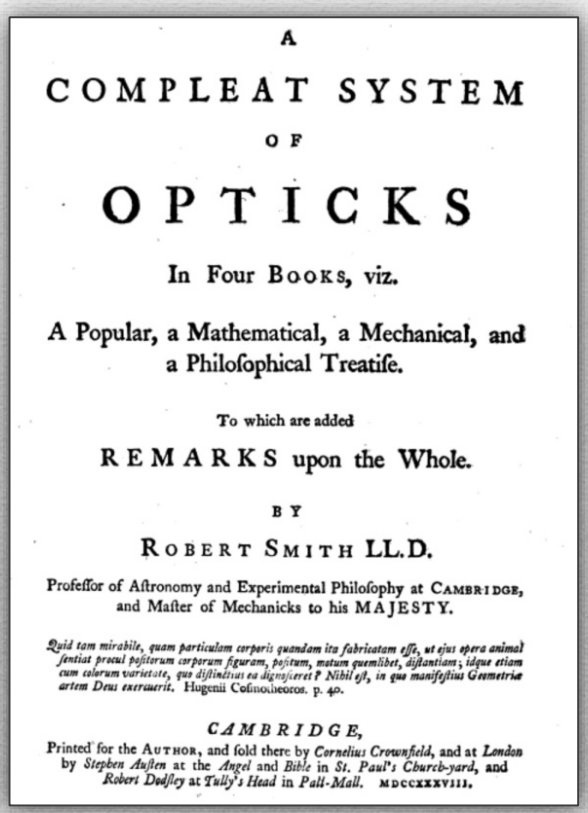


Solo nel XVIII secolo il costruttore **James Short** (1710-1768) riuscì ad acquistare grande abilità nel realizzare e levigare specchi parabolici, con tecniche segrete; questo gli permise di mettere in pratica, dunque, anche la vera configurazione proposta da Gregory, fino ad allora rimasta sulla carta.

James Short - *Philosophical Transactions 46* (1749–50)

I telescopi riflettori presentavano grandi difficoltà di costruzione e lavorazione degli specchi metallici: questi erano realizzati con una lega metallica composta di rame, stagno e talvolta zinco, in varie proporzioni, a volte con aggiunte di altre sostanze, come, per esempio, l'arsenico. Il disco formato era molato a mano e lucidato con un strumento di ottone ricoperto di pece.

Le diverse combinazioni ottiche a riflessioni e i principali metodi di lavorazione degli specchi furono pubblicizzati da **Robert Smith** (1689-1768), professore a Cambridge, nell'opera *A compleat system of opticks* (1738), che influenzò tutta l'opera scientifica di **William Herschel** (1738-1822).



A

COMPLEAT SYSTEM

OF

OPTICKS

In Four Books, viz.

A Popular, a Mathematical, a Mechanical, and a Philoſophical Treatiſe.

To which are added

REMARKS upon the Whole.

BY

ROBERT SMITH LL.D.

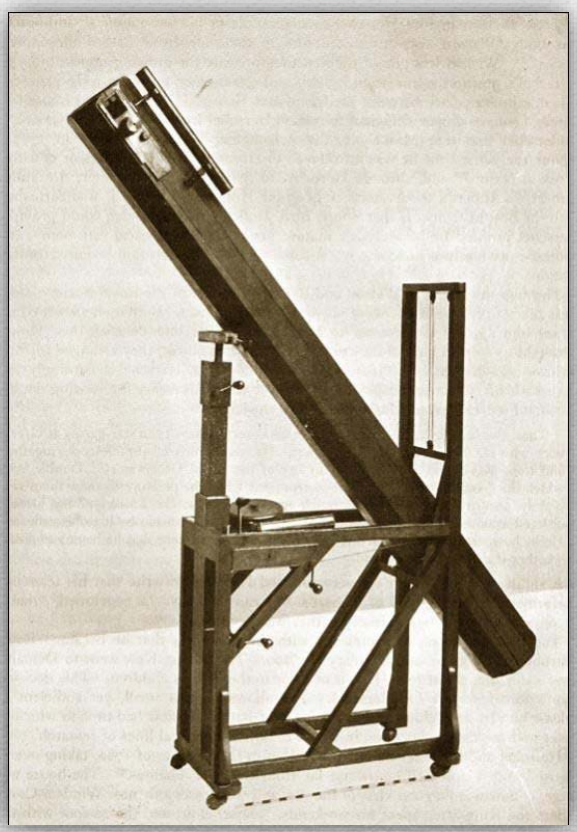
Profeſſor of Aſtronomy and Experimental Philoſophy at CAMBRIDGE, and Maſter of Mechanicks to his MAJESTY.

Quid tam mirabile, quam particulam corporis quandam ita fabricatam eſſe, ut ejus opera animal ſentiat procul poſitorum corporum figuram, poſitum, motum quemlibet, diſtantiam; idque etiam cum colorum varietate, quæ diſtinctius ea dignoſceret? Nihil eſt, in quo manifeſtius Geometriæ artem Deus exeruerit. Hugenii Cosmotheoros. p. 40.

CAMBRIDGE,

Printed for the AUTHOR, and ſold there by *Cornelius Crownfield*, and at *London* by *Stephen Auſten* at the *Angel* and *Bible* in *St. Paul's Church-yard*, and *Robert Dodſley* at *Tully's Head* in *Pall-Mall*. MDCCXXXVIII.

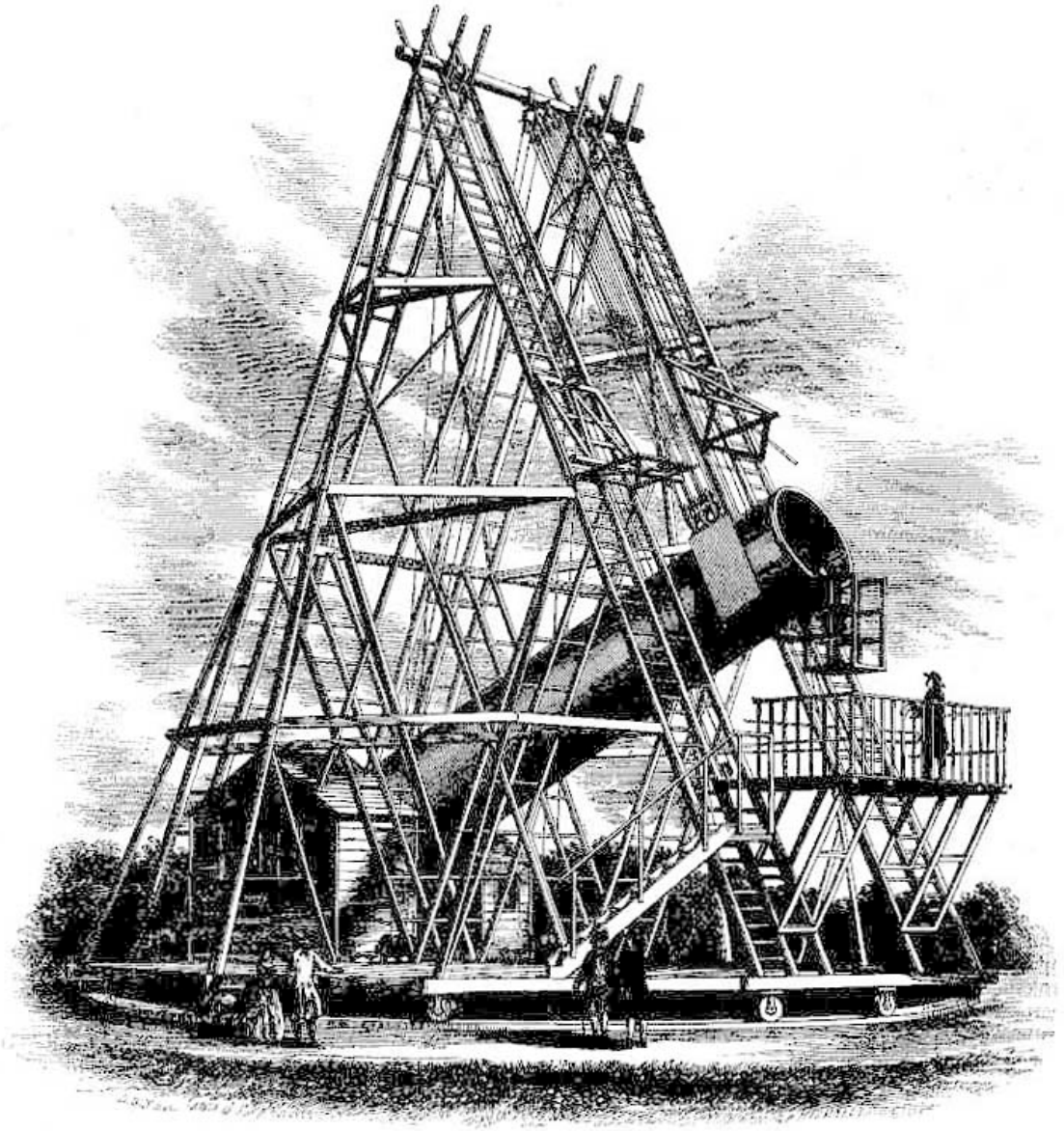
Herschel auto-costruì telescopi sempre più grandi, facendoli diventare anche una fonte di reddito. Come i lunghi rifrattori, presentavano un problema di movimentazione. Ideò perciò una piattaforma regolabile di osservazione, che si poteva alzare e abbassare davanti al tubo



Dal cannocchiale al telescopio

Herschel realizzò anche un telescopio di 40 piedi: questo famoso telescopio divenne un simbolo per la storia dell'astronomia, ma non contribuì molto al programma di osservazioni di Herschel (studio di stelle doppie, osservazione e classificazione delle nebulose, determinazione della struttura della Via Lattea).

La diffusione del doppietto impedì poi l'introduzione stabile del riflettore negli Osservatori Istituzionali.

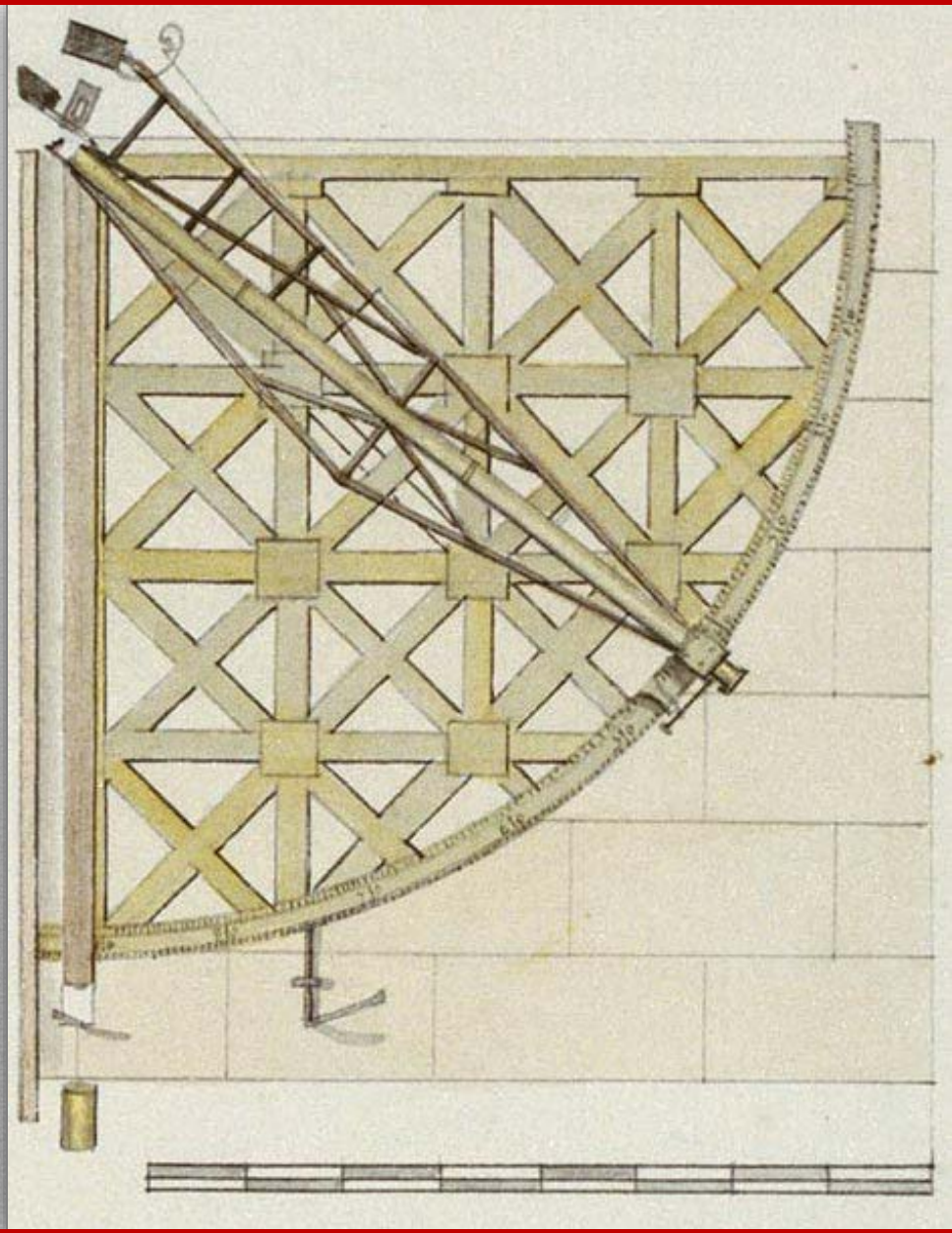


Gli Osservatori Istituzionali

Nascono in tutta Europa - a partire dalla fine del XVII secolo, su modello di quelli di Greenwich e Parigi - come centri di ricerca 'statali', la cui esistenza non dipendeva dall'attività di singoli individui, finalizzati da un lato allo studio e all'investigazione del cielo secondo il nascente metodo galileiano e newtoniano, e dall'altro a soddisfare le esigenze di ricerca dello Stato (determinazione di longitudine, mappatura dei territori, segnale dell'ora...). la creazione di osservatori nazionali, ebbe anche delle importanti ricadute nello sviluppo della strumentazione, dato che era necessaria una continua implementazione delle macchine, e le commesse pubbliche implicavano delle ricadute commerciali in questo settore.

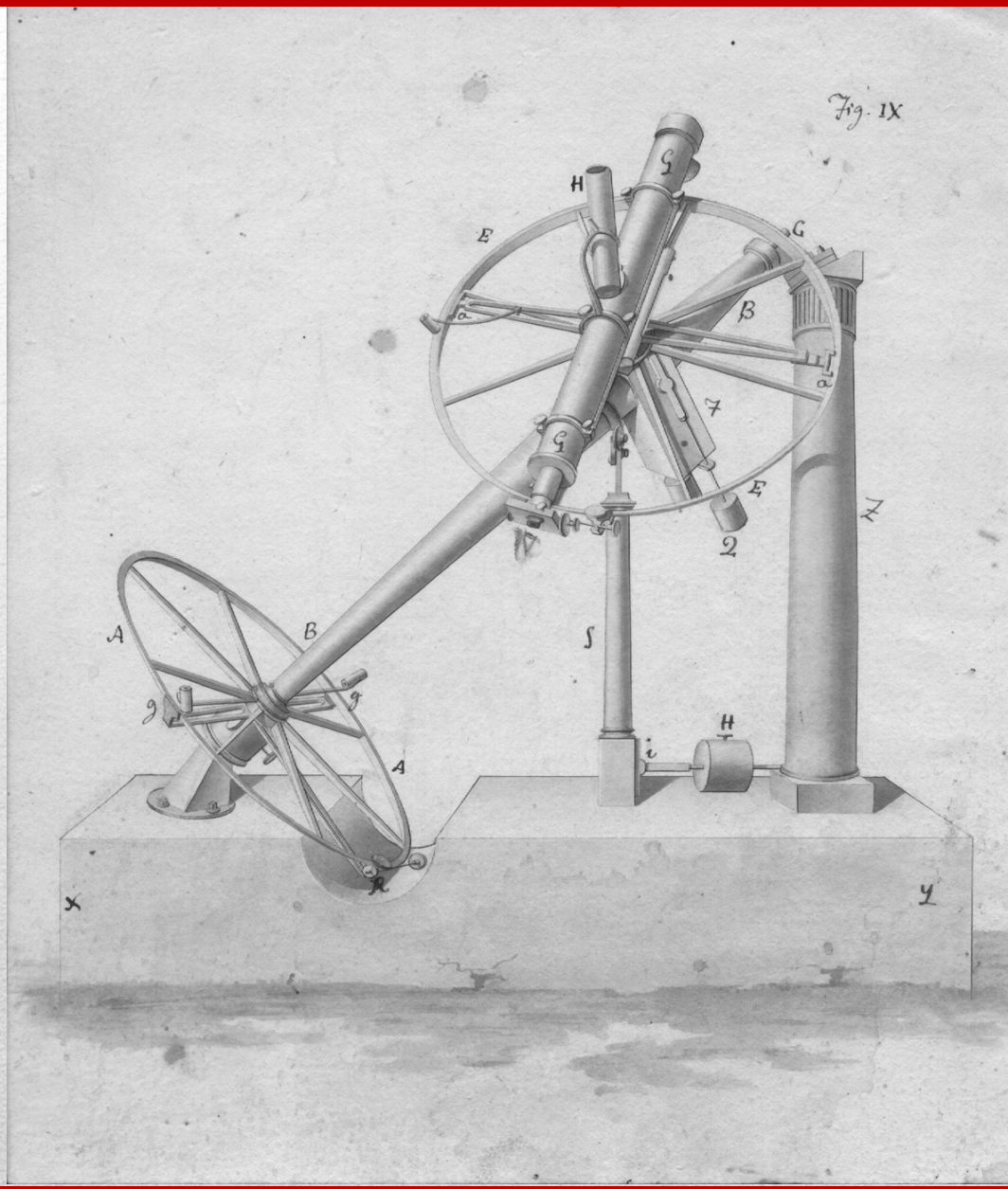
Dal cannocchiale al telescopio

Ogni osservatorio doveva essere provvisto di almeno due locali fondamentali: nella 'sala meridiana' trovavano collocazione i quadranti o i semicircoli murali destinati a misurare, in meridiano, l'altezza degli astri sull'orizzonte, per la determinazione della declinazione degli astri. Lo strumento dei passaggi e l'orologio a tempo siderale erano invece utilizzati per la determinazione dell'ascensione retta. Infine non poteva mancare la linea meridiana, che forniva il tempo locale e con la quale si verificava il corretto funzionamento degli orologi.



Dal cannocchiale al telescopio

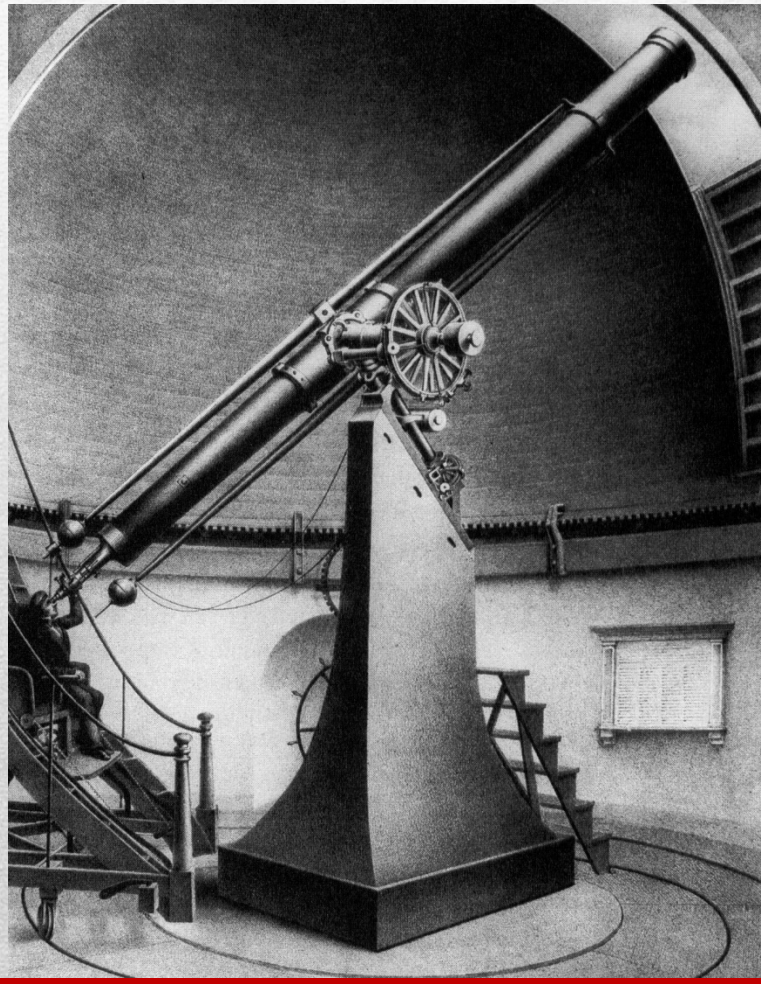
Nella seconda sala si osservava il cielo in ogni direzione e vi si disponevano quindi i quadranti mobili e le macchine parallattiche, che consentivano di seguire gli astri nel corso del loro moto da oriente a occidente per tutta la notte.



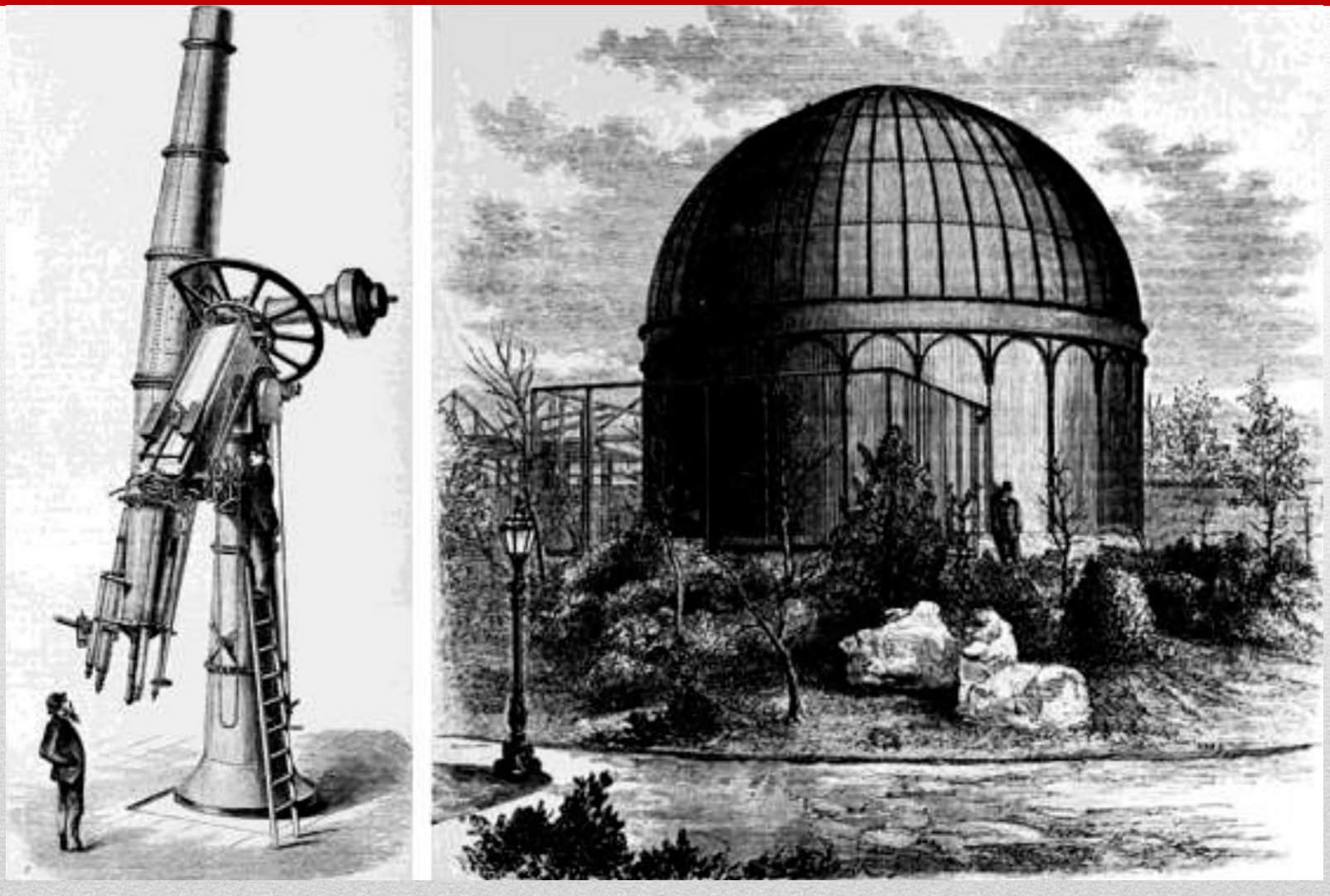
I grandi rifrattori ottocenteschi

1839: Rifrattore di **Merz & Mahler**, successori di Fraunhofer, di 38 cm per l'Osservatorio di Pulkovo (Russia)

1847: rifrattore gemello per l'Osservatorio dell'Harvard College di Cambridge, Massachusetts (USA).

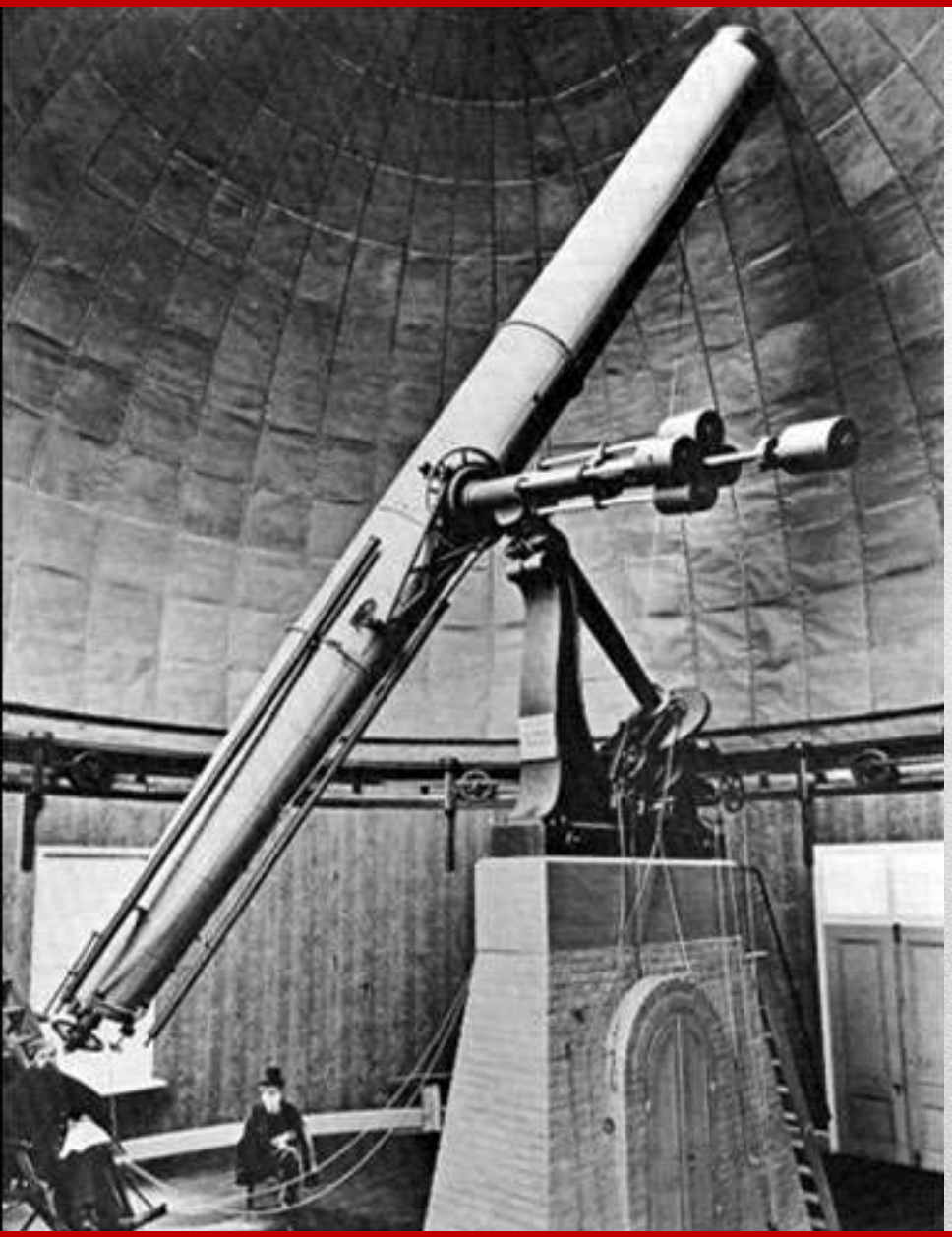


Dal cannocchiale al telescopio



1869: Il rifrattore di **Thomas Cooke** (1807-1868) costruito per il milionario scozzese Robert Stirling Newall. Apertura di 63,5 cm.

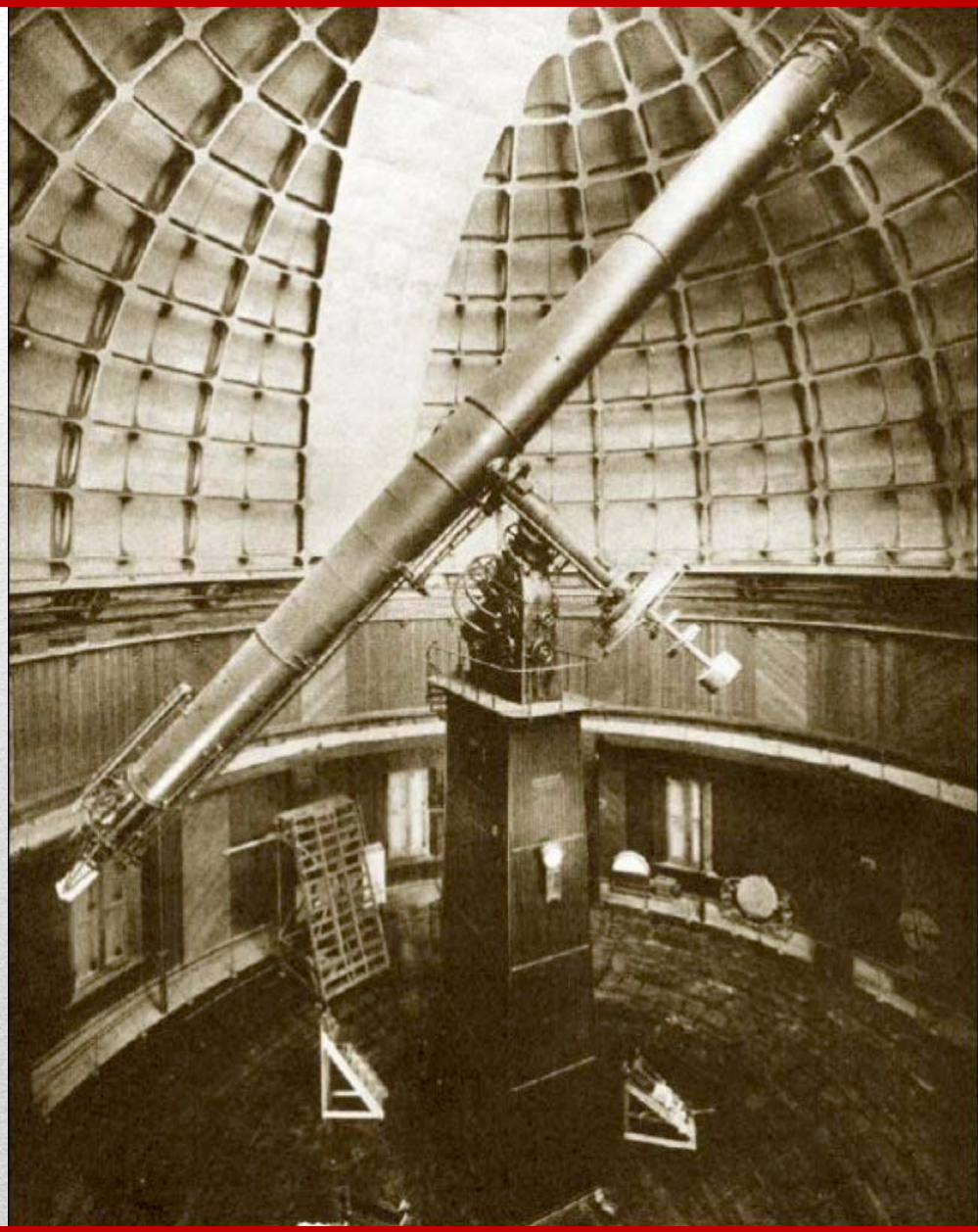
Dal cannocchiale al telescopio



1873: Il rifrattore di 66 cm costruito dall'ottico americano **Alvan Clark** (1804-1887) per l'U.S. Naval Observatory di Washington.

Dal cannocchiale al telescopio

1888: Il rifrattore di Mount Hamilton (California), di 91 cm, eretto con ottiche di Clark grazie alla donazione del miliardario americano James Lick.

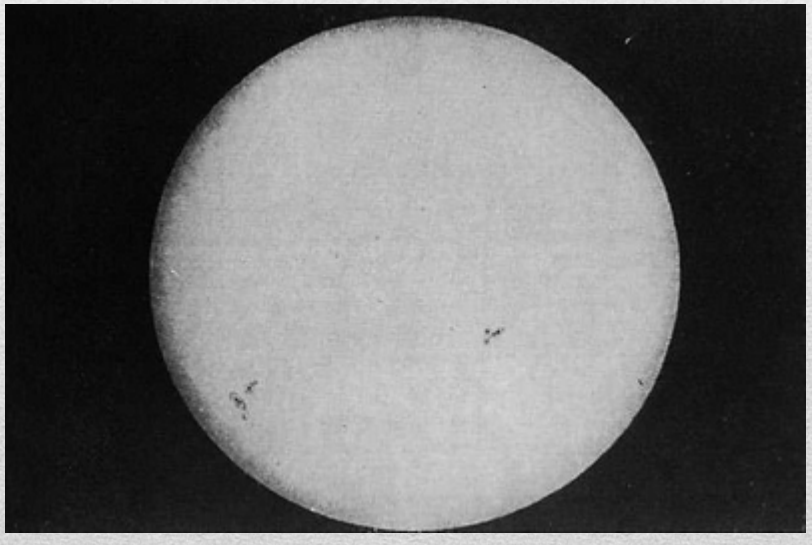


Dal cannocchiale al telescopio

1897: Il rifrattore di 102 cm dell'Osservatorio di Yerkes, della Chicago University, costruito da Alvan Clark grazie alla sponsorizzazione di C. T. Yerkes, ricco industriale di Chicago.
Si raggiungono i limiti costruttivi dei rifrattori.

La fotografia astronomica

Ai suoi esordi (1839), il processo fotografico, detto *dagherrotipia* (dal nome del suo inventore Louis-Jacques-Mandé Daguerre), era lento e inefficiente, per cui esso fu applicato solo ad oggetti estremamente brillanti come il Sole e la Luna.



Il primo dagherrotipo della Luna piena, realizzato dall'americano **John William Draper** (1811-1882) nel 1840, e quello del Sole (1845), dei francesi **Jean Bernard Foucault** (1819-1868) e **Armand Fizeau** (1819-1896)

Il processo fotografico al *collodio umido* sostituì ben presto la dagherrotipia e altri procedimento apparsi nel periodo.
Inconveniente: la lastra doveva essere preparata subito prima dell'esposizione, ma per questo i fotografi si dotarono di camere oscure portatili: tutti gli altri procedimenti scomparvero prima del 1860.

Si cominciarono a fotografare Sole e macchie solari. Attorno al 1880 divenne disponibile la lastra di gelatina secca, che consentiva di preparare le lastre in anticipo e, essendo molto sensibile, aveva tempi di esposizione molto ridotti. Fu quindi possibile cominciare a fotografare oggetti molto deboli come stelle e nebulose.

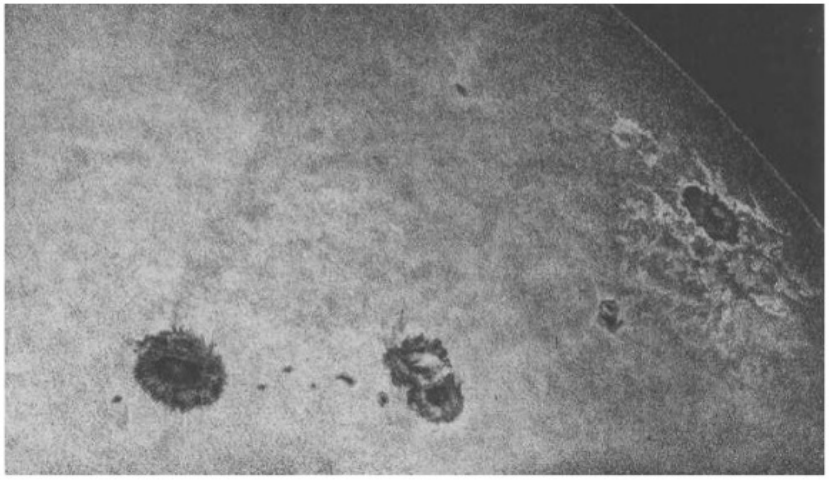


Fig. 16. Details of sunspots and faculæ, from a photograph by Warren De La Rue, 20 September 1861.
Sir Robert Ball, The Story of the Heavens *(London: Casell & Company, 1892) Plate III, opp. p. 41.*

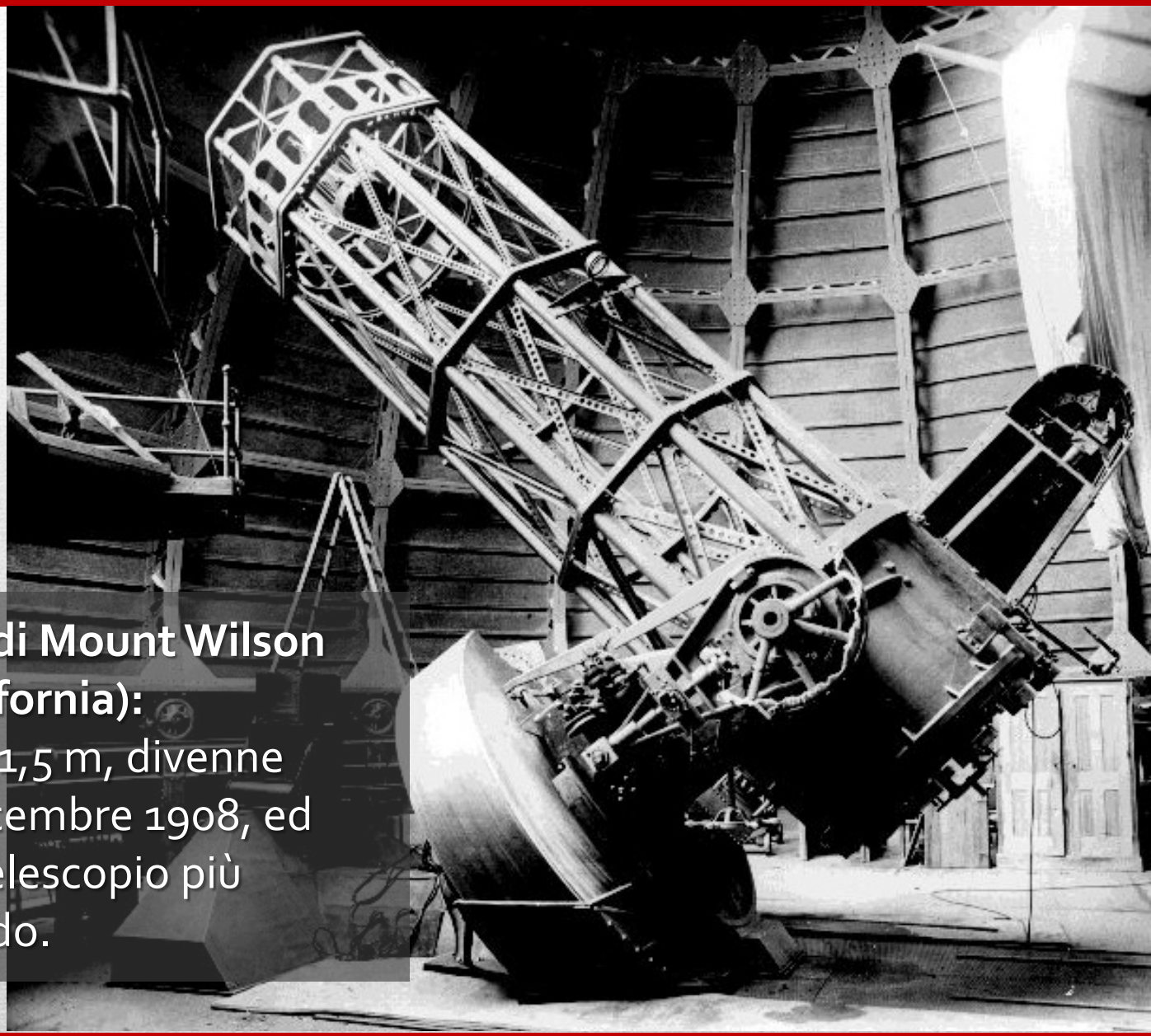
Il grandi rifrattori ottocenteschi mostrarono i loro limiti proprio quando la fotografia cominciò a entrare nell'astronomia stellare e planetaria, e nella fisica solare, con il rapido sviluppo della processo a lastra di gelatina secca, a partire circa dal 1880.

Problema: il doppietto era progettato per l'uso visuale, ed aveva massima efficienza nella parte giallo-verde dello spettro. Nel blu, dove la lastra era invece più sensibile, l'immagine risultava fuori fuoco.

La scoperta da parte del chimico **Justus von Liebig** (1803-1873) del processo chimico mediante il quale depositare uno strato molto sottile di argento metallico su di una superficie di vetro aprì quindi la strada allo sviluppo dei telescopi riflettori, che dominarono l'astronomia del XX secolo.

Foto di M31 di Edward Emerson Barnard, 1892-95, presa con il Crocker Astrograph di 6" (15 cm) del Lick Observatory, Mount Hamilton, California.

Dal cannocchiale al telescopio



Hale telescope di Mount Wilson (Pasadena, California):
con diametro di 1,5 m, divenne operativo nel dicembre 1908, ed era all'epoca il telescopio più grande del mondo.

Dal cannocchiale al telescopio

Hooker telescope di Mount Wilson (Pasadena, California):
con diametro di 2,5 m, entrò in funzione nel 1917. Con questo telescopio E. Hubble dimostrò che Andromeda è esterna alla Via Lattea (1923) e osservò per la prima volta la recessione delle galassie (espansione dell'Universo)

Dal cannocchiale al telescopio

Il riflettore di 5 metri di Monte Palomar (California):
entrò in funzione nel 1949 e per 40 anni è il più potente e incontrastato telescopio al mondo