



ISTITUTO E MUSEO
DI STORIA DELLA SCIENZA

Il cannocchiale di Galileo

Qui di seguito sono stati raccolti tutti i testi dell'applicazione,
a cura dell'*Istituto e Museo di Storia della Scienza* di Firenze.

INDICE

1	STORIA	3
1.1	L'invenzione	3
1.2	Dalla bottega agli astri	4
1.3	Il cannocchiale Kepleriano	6
1.4	Il tubo e l'alloggiamento delle ottiche	8
1.5	L'aberrazione cromatica	11
1.6	I riflettori	12
1.7	Cronologia	15
1.8	Test	20
2	ESPLORA	21
2.1	Lo strumento	21
2.2	Come funziona	22
2.3	Il cannocchiale moderno	24
2.4	Test	24
3	SIMULA	25
3.1.1	L'altezza delle montagne lunari	25
3.1.2	I satelliti di Giove	25
3.1.2.1	Il micrometro	25
3.1.2.2	Il giovilabio	26
3.1.2.3	Il celatone	26
3.1.3	Le fasi di Venere	27
3.1.4	Il sistema di Saturno	27
3.1.5	Le macchie solari	28
3.1.5.1	L'elioscopio	28
3.1.6	Le stelle e la Via lattea	29
3.2	Le prestazioni del telescopio	29

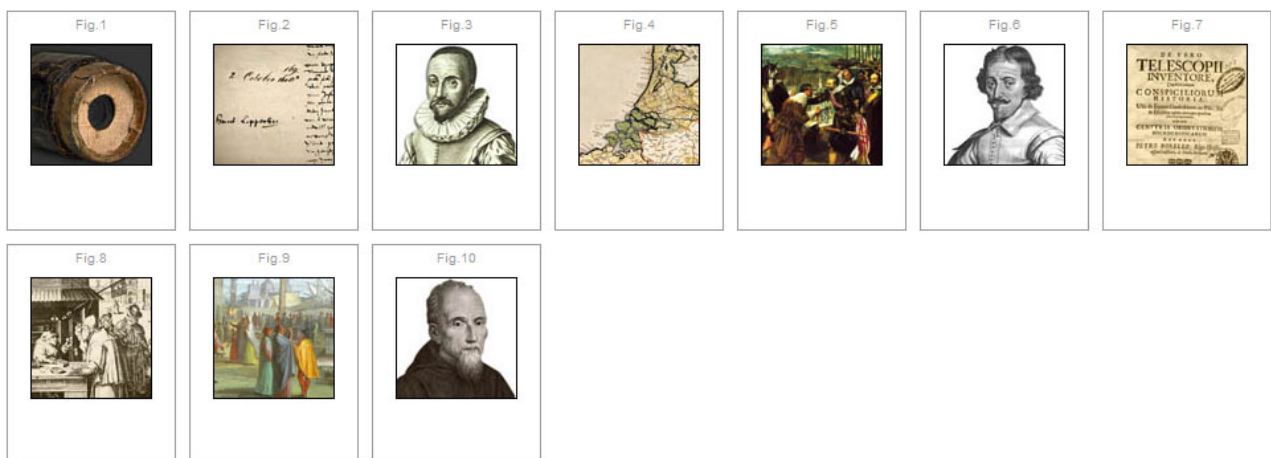
1 STORIA

1.1 L'INVENZIONE

La questione della priorità dell'invenzione del cannocchiale è antica quanto lo strumento stesso. Il 2 ottobre 1608, gli Stati Generali d'Olanda esaminarono la richiesta di brevetto per «un dispositivo per osservare a distanza», avanzata da tale Hans Lipperhey (?-1619), un oscuro occhialaio di Middelburg, nell'Olanda sud occidentale. La richiesta di brevetto fu respinta poiché, sebbene se ne riconoscesse l'utilità, soprattutto a scopo militare, si ritenne impossibile mantenere a lungo il segreto della sua costruzione. Tanto più che, in quegli stessi giorni, un altro artefice – certo Sacharias Janssen (1588-1630), anch'egli occhialaio in Middelburg, indicato da Pierre Borel (c.1620-1671), pochi decenni dopo, come il vero inventore del cannocchiale – si dichiarava in grado di realizzare lo strumento.

La notizia della nuova invenzione si diffuse rapidamente nel resto d'Europa, e già nell'aprile del 1609 piccoli cannocchiali della lunghezza di una trentina di centimetri erano comunemente in vendita, presso le botteghe degli occhialai, a Parigi e presumibilmente a Londra. In Italia, il nuovo strumento fece la sua comparsa a Milano nel maggio dello stesso anno e, due o tre mesi più tardi, a Roma, a Napoli, a Padova e a Venezia, dove Fra Paolo Sarpi (1552-1623), amico di Galileo, ne aveva avuto notizia fin dal novembre del 1608.

IMMAGINI E DIDASCALIE DELLO SLIDE SHOW



1. Cannocchiale di Galileo, fine 1609 - inizio 1610, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

È uno dei due soli cannocchiali sopravvissuti della vasta produzione galileiana, conservati presso l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze.

2. Verbale della seduta del 2 ottobre 1608 degli Stati Generali d'Olanda.

Il 2 ottobre 1608 gli Stati Generali d'Olanda discussero la richiesta di brevetto, presentata da Hans Lipperhey (?-1619), occhialaio in Middelburg, per la costruzione di cannocchiali. Il governo olandese gli commissionerà sei cannocchiali, ma gli rifiuterà la concessione del brevetto.

3. Ritratto di Hans Lipperhey.

Pierre Borel, *De vero telescopii inventore*, L'Aia, 1656.

Originario di Wesel, nella Germania occidentale, e occhialaio in Middelburg, nell'Olanda sud occidentale, Hans Lipperhey (?-1619) è considerato uno dei possibili inventori del cannocchiale.

4. Carta geografica raffigurante l'Olanda.

Sia Hans Lipperhey (?-1619) che Sacharias Janssen (1588-1630), ritenuti da molti i veri progenitori del cannocchiale, svolgevano l'attività di occhialai presso Middelburg, nell'Olanda sud occidentale.

5. Diego Velasquez, *La resa di Breda, 1635, Madrid, Museo del Prado.*

Il dipinto raffigura la resa di Breda, avvenuta, dopo lungo assedio, nel 1625. Giustino di Nassau consegna le chiavi della città al comandante in capo delle truppe spagnole, Ambrogio Spinola (1569-1630), che impugna un cannocchiale da campo.

6. Ritratto di Sacharias Janssen.

Pierre Borel, *De vero telescopii inventore, L'Aia, 1656.*

Occhialaio in Middelburg, nell'Olanda sud occidentale, Sacharias Janssen è indicato da Pierre Borel come il vero inventore del cannocchiale.

7. Pierre Borel, *De vero telescopii inventore, L'Aia, 1656 - frontespizio.*

8. Johannes Collarts, *Tavola raffigurante la bottega di un occhialaio del XVI sec., 1582, incisione.*

Già dall'aprile del 1609 presso le botteghe degli occhialai di Parigi e, probabilmente, di Londra erano in vendita piccoli cannocchiali della lunghezza di una trentina di centimetri.

9. Luigi Catani, *Galileo con alcuni allievi in piazza San Marco a Venezia mentre prova le prime lenti con le quali costruirà il cannocchiale, 1816, Firenze, Palazzo Pitti, Galleria di Arte Moderna.*

10. Ritratto di Fra Paolo Sarpi.

Natale Schiavoni, *Cento ritratti di illustri italiani, Calcografia Bettoni, Milano, 1824.*

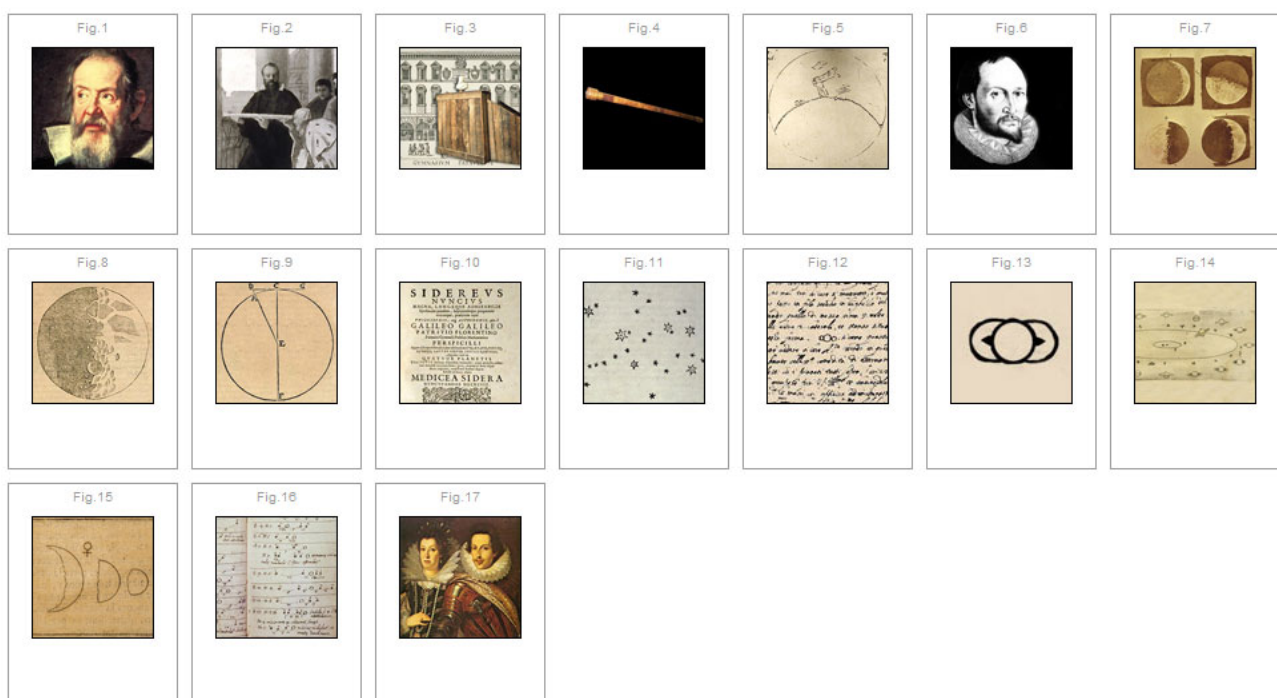
Il servita veneziano Fra Paolo Sarpi (1552-1623) conobbe Galileo probabilmente alla fine del 1592 e da allora fino al 1606, anno in cui l'*interdetto*, per eresia, colpì la città di Venezia, ne seguì attivamente le ricerche.

1.2 DALLA BOTTEGA AGLI ASTRALI

Galileo (1564-1642) realizzò il suo primo cannocchiale, capace di 3 soli ingrandimenti, nell'estate del 1609. Ma già il 21 agosto di quell'anno, sul campanile di San Marco, alla presenza del Doge e di altri notabili veneziani, egli presentò uno strumento da 8 ingrandimenti, che gli valse la conferma a vita della cattedra padovana di matematica con mille fiorini all'anno di stipendio. In novembre, Galileo disponeva di un cannocchiale capace di ben 20 ingrandimenti, cioè di gran lunga più potente di tutti quelli all'epoca circolanti in Europa, i quali utilizzavano comuni lenti da occhiali, di bassa qualità e di focali non idonee. Gli strumenti approntati da Galileo avevano prestazioni nettamente superiori al cannocchiale ad esempio da 6 ingrandimenti col quale l'inglese Thomas Harriot (1560-1621), aveva eseguito nel luglio del 1609, osservazioni e disegni della superficie lunare. Grazie alla potenza del suo strumento, Galileo ottenne risultati straordinari nelle osservazioni della luna, dimostrò, infatti, che la sua superficie non è perfettamente sferica né immacolata riuscendo perfino a calcolare l'altezza delle montagne lunari. Successivamente, Galileo

effettuerà l'eccezionale serie di scoperte astronomiche, esposte nel *Sidereus Nuncius* (Venezia, 1610), pubblicato nel marzo del 1610, e destinate a rivoluzionare per sempre la tradizionale visione del cosmo. Egli scoprirà, da prima l'esistenza, di una miriade di nuove stelle, mostrando che la stessa Via Lattea «non è che un ammasso di innumerevoli stelle disseminate a mucchi». E ancora, osserverà le strane apparenza di Saturno, delle quali quasi mezzo secolo dopo, Christiaan Huygens (1629-1695) individuerà la vera causa, la presenza, cioè, di un anello intorno al pianeta; poi osservò per primo le fasi di Venere, che dimostravano in maniera conclusiva il moto di rivoluzione del pianeta attorno al Sole. Ma la scoperta che gli procurerà fama immortale fu quella compiuta, nel gennaio del 1610, dei quattro satelliti di Giove, che Galileo, in omaggio alla dinastia che governava la Toscana, denominò *Astri Medicei*.

IMMAGINI E DIDASCALIE DELLO SLIDE SHOW



1. Justus Suttermans, *Ritratto di Galileo Galilei*, XVII sec., Firenze, Galleria degli Uffizi.

Nell'estate del 1609 Galileo (1564-1642), lettore di matematica presso lo Studio di Padova, mise a punto il suo primo cannocchiale, capace di tre soli ingrandimenti.

2. Guglielmo De Sanctis, *Galileo Galilei mostra il cannocchiale alla Signoria di Venezia*, riproduzione fotografica, Roma, Museo di Roma, particolare.

Il 21 agosto 1609 sul campanile di San Marco alla presenza del Doge di Venezia e di altri notabili veneziani, Galileo (1564-1642) presentò un cannocchiale da 8 ingrandimenti, che gli valse la conferma a vita della cattedra padovana e uno stipendio di 1000 fiorini.

3. Incisione raffigurante l'Università di Padova (sullo sfondo).

Cattedra lignea di Galileo Galilei all'Università degli Studi di Padova (in primo piano).

4. Cannocchiale di Galileo, fine 1609 - inizio 1610, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

È uno dei due soli cannocchiali sopravvissuti della vasta produzione galileiana, conservati presso l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze.

5. Disegno della superficie lunare eseguito da Thomas Harriot il 26 luglio 1609.

6. Ritratto di Thomas Harriot.

Harriot realizzò, nel 1609, un cannocchiale da 6 ingrandimenti con il quale poté osservare la superficie lunare.

7. Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, bozza autografa, Mss. Gal. 48 - Div. 2a - Parte III, tomo 3, c. 28r.

Tempera raffigurante la superficie lunare.

8. Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, Venezia, 1610.

Disegno raffigurante la Luna al primo quarto.

9. Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, Venezia, 1610.

Disegno raffigurante il metodo di calcolo dell'altezza della montagne lunari.

10. Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, Venezia, 1610 - frontespizio.

11. Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, Venezia, 1610.

Disegno raffigurante le Pleiadi.

12. Lettera di Galileo a Belisario Vinta, Padova, 30 luglio 1610.

Disegno raffigurante Saturno "tricorporeo": "[...] la stella di Saturno non è una sola, ma un composto di 3, le quali quasi si toccano, né mai tra di loro si muovono o mutano; [...] essendo quella di mezzo circa 3 volte maggiore delle altre due laterali".

13. Lettera di Galileo a Fortunio Liceti [in Padova], Firenze, 11 gennaio 1620.

Disegno raffigurante uno degli aspetti di Saturno.

14. Christiaan Huygens, *Sistema Saturnium*, L'Aja, 1659.

Schema esplicativo delle apparenze di Saturno dovute alla presenza dell'anello.

15. Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, Roma, 1623.

Disegno raffigurante le fasi di Venere.

16. Galileo Galilei, *Diari autografi delle osservazioni relative alle posizioni dei satelliti di Giove*, 1610-1613.

17. Justus Suttermans, *Ritratto del Granduca Cosimo II de' Medici con la consorte Maria Maddalena d'Austria e il figlio Ferdinando II*, c. 1640, Firenze, Corridoio Vasariano.

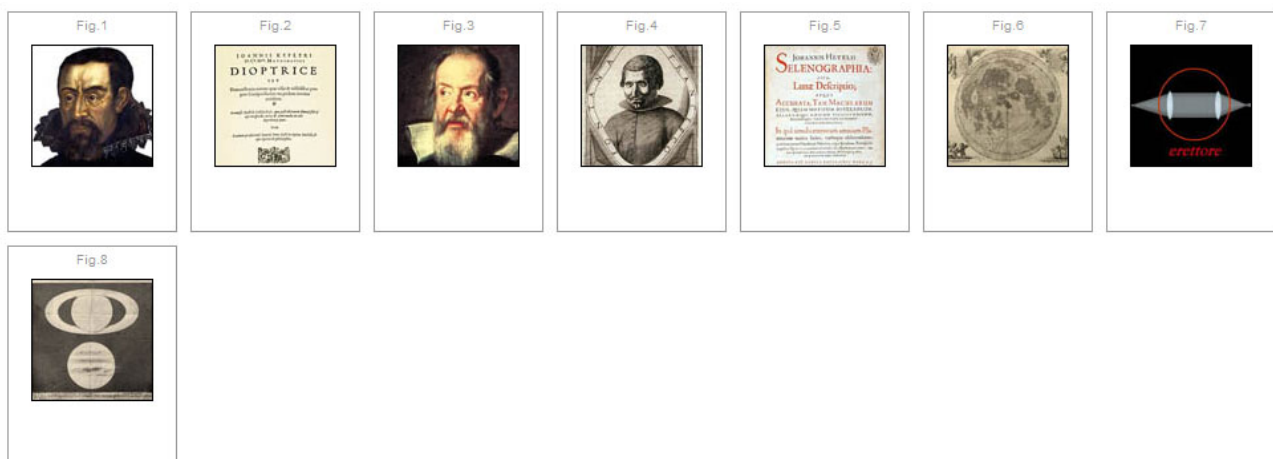
1.3 IL CANNOCCHIALE KEPLERIANO

Il cannocchiale galileiano fornisce immagini diritte, ma possiede un campo visivo estremamente ridotto, che diminuisce rapidamente al crescere dell'ingrandimento. Se, infatti, il campo visivo di un galileiano da 20 ingrandimenti è indicativamente di 15 minuti primi, cioè circa

la metà del diametro apparente della Luna, esso diviene dell'ordine di soli 5 primi in un cannocchiale da 50 ingrandimenti. Campi così limitati non solo rendevano difficile l'utilizzo del cannocchiale galileiano nell'uso civile e militare, ma soprattutto ne impedivano, in campo astronomico, l'incremento delle prestazioni oltre le poche decine di ingrandimenti.

Johann Kepler (1571-1630), l'astronomo tedesco celebre per le sue tre leggi dei moti planetari, aveva tuttavia dimostrato, sin dal 1611, la possibilità di sostituire l'oculare divergente del cannocchiale galileiano con una lente convergente, con il vantaggio di un campo visivo assai più vasto e contrastato. Questa combinazione ottica, oggi nota come cannocchiale kepleriano (o astronomico), fornisce però immagini capovolte che lo rendevano inutilizzabile per l'uso terrestre. Galileo (1564-1642) rimarrà sempre fedele alla combinazione ottica che porta il suo nome. Tuttavia, negli anni '30 del XVII secolo, il cannocchiale kepleriano cominciò a diffondersi, principalmente ad opera dell'ottico napoletano Francesco Fontana (c.1580-1656), fino a soppiantare completamente, verso la metà del secolo, il galileiano. L'ultimo grande lavoro astronomico realizzato per mezzo di un cannocchiale di questo tipo, pubblicato da Hevelius (1611-1687) nel 1647, fu la raffigurazione della superficie lunare. Inoltre, il cannocchiale kepleriano si impose ben presto anche nell'uso terrestre, grazie all'introduzione del cosiddetto erettore, un dispositivo ottico, solitamente costituito da due lenti convesse di uguale focale, che, raddrizza l'immagine capovolta prodotta dall'obbiettivo.

IMMAGINI E DIDASCALIE DELLO SLIDE SHOW



1. *Ritratto di Johann Kepler, copia dalla Collezione Gioviana, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.*

La cosiddetta Collezione Gioviana è una serie di dipinti raffiguranti uomini illustri, iniziata da Cosimo I (1519-1574) sul modello del museo dell'erudito Paolo Giovio (1483-1552) e arricchita nel corso dei secoli. Tra i personaggi raffigurati vi sono, tra gli altri, Dante (1265-1321), Marsilio Ficino (1433-1499), Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), Robert Boyle (1627-1691), Thyco Brahe (1546-1601), Galileo (1564-1642), Isaac Newton (1642-1727), Evangelista Torricelli (1608-1647) e Vincenzo Viviani (1622-1703).

2. *Johann Kepler, Dioptrice, seu Demonstratio eorum quae visui et visibilibus propter conspicilla non ita pridem inventa accidunt, Augsbug, 1611 - frontespizio.*

Nella *Dioptrice*, Keplero (1571-1630), celebre per le sue tre leggi dei moti planetari, dimostrò la possibilità di sostituire l'oculare divergente del cannocchiale galileiano con una lente convergente. Questa combinazione ottica, oggi nota come cannocchiale kepleriano, fornisce immagini capovolte, ma offre un campo visivo assai più vasto e contrastato.

3. Justus Suttermans, *Ritratto di Galileo Galilei*, 1636, Firenze, Galleria degli Uffizi.

Justus Suttermans (1597-1681), pittore fiammingo, fu il ritrattista della famiglia Medici al tempo di Cosimo III (1642-1723). Questa opera è forse il ritratto di Galileo (1564-1642), all'epoca ultrasettantenne, più noto e di maggiore intensità. Attorno al 1639, Suttermans eseguì un altro ritratto ad olio di Galileo, oggi conservato presso il Maritime Art di Greenwich, Londra.

4. *Ritratto di Francesco Fontana*.

Lorenzo Crasso, *Elogii d'homini letterati*, Venezia, Combi & La Nou, 1666, p. 296 - Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Palat. 12.B.A.6.3.7.

Il napoletano Francesco Fontana (c.1580-1656) è noto per aver realizzato e commercializzato i primi esemplari di cannocchiale kepleriano. Nel suo *Novae coelestium terrestriumque rerum observationes* (Napoli, 1646), Fontana ne rivendica l'invenzione che avrebbe, a suo dire, realizzato addirittura nel 1608.

5. Johannes Hevelius, *Selenographia: sive, Lunae descriptio*, Gdańsk, Andreas Hünefeld, 1647 - frontespizio.

Pubblicata a Danzica nel 1647, la *Selenographia* di Hevelius (1611-1687) comprende, oltre a quattro cartografie generali della Luna, 40 splendide tavole del satellite alle varie fasi. Summa delle conoscenze selenografiche dell'epoca, l'opera, che non ha eguali in nessun precedente lavoro sull'argomento, ebbe un immediato successo in tutta Europa.

6. *La Luna nella fase di plenilunio*.

Johannes Hevelius, *Selenographia: sive, Lunae descriptio*, Gdańsk, Andreas Hünefeld, 1647, fig. P.

7. Schema di cannocchiale kepleriano dotato di gruppo erettore.

L'erettore a due lenti, molto diffuso nei cannocchiali secenteschi di tipo kepleriano, è costituito da due lenti convergenti, poste tra il fuoco dell'obiettivo e l'oculare. La loro distanza reciproca è uguale alla somma delle rispettive focali. Il gruppo inverte, raddrizzandola, l'immagine capovolta formata dall'obiettivo. Se le due lenti sono di uguale lunghezza focale, il dispositivo non altera l'ingrandimento del sistema ottico.

8. Christiaan Huygens, *Oeuvres Complètes*, Société Holladaise des Sciences, La Haye 1888-1950, tav. Ft pp. 118-9.

Nel 1664 Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), utilizzando un cannocchiale di Giuseppe Campani (1635-1715), osservò l'ombra dei satelliti galileiani sul disco di Giove. La scoperta era un'ulteriore conferma della straordinaria qualità delle ottiche del Campani, che fece stampare questo foglio nel quale compare anche Saturno da lui stesso osservato.

1.4 IL TUBO E L'ALLOGGIAMENTO DELLE OTTICHE

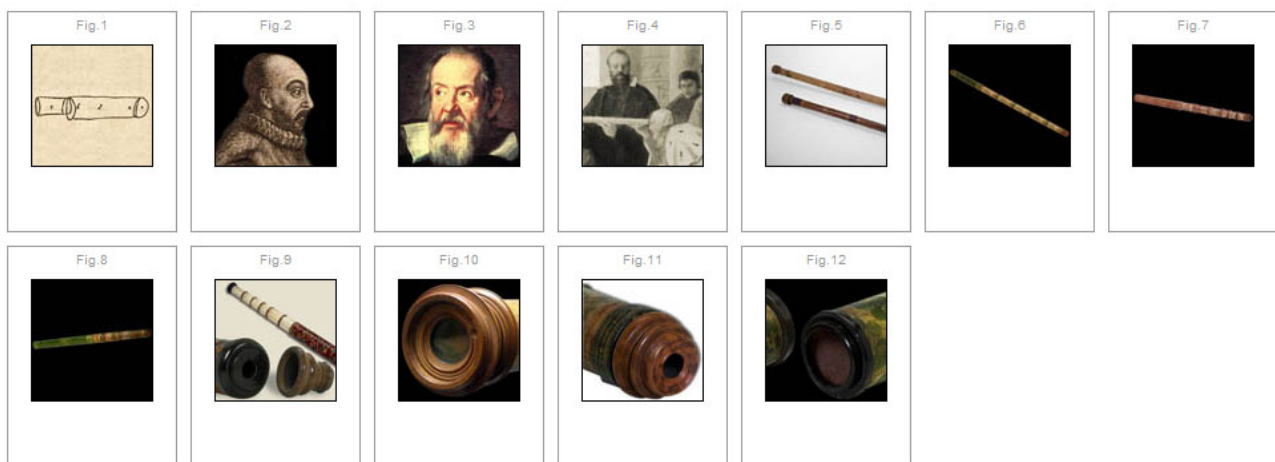
Vari furono i materiali e le tecniche che i primi costruttori di cannocchiali sperimentarono per la realizzazione del tubo. Il piccolo cannocchiale che Giovambattista della Porta (c. 1535-1615) esaminò a Napoli nell'estate del 1609 aveva, ad esempio, il tubo di stagno. Per realizzare il suo primo cannocchiale, Galileo (1564-1642) si servì invece di un tubo di piombo, mentre quello dello strumento che egli presentò al governo veneziano era realizzato in latta ricoperta di *rascia*, una stoffa di lana grezza che sarà utilizzata a Venezia fino alla fine dell'800 per la copertura delle gondole. Gli unici due esemplari sopravvissuti della vasta produzione galileiana, conservati presso

l'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, hanno entrambi tubi in legno: uno è costituito da due semicilindri cavi ricoperti di carta e tenuti uniti da quattro fili di rame; l'altro è realizzato con venti doghe incollate su carta e ricoperte di pelle rossa con bulnature in oro.

Dopo il tubo andò standardizzandosi. Con l'aumentare delle dimensioni dei cannocchiali, esso divenne *telescopico*, costituito cioè da più sezioni scorrevoli l'una nell'altra, in maniera tale da ridurre l'ingombro quando non veniva utilizzato. Il materiale d'elezione divenne il cartone, leggero ma in grado di garantire la necessaria rigidità. Le sezioni secondarie erano spesso rivestite con carta marmorizzata e la sezione principale con pelle finemente decorata. Nei cannocchiali di fabbricazione inglese l'oculare era di solito alloggiato nel tubo di sezione maggiore.

Anche gli alloggi delle parti ottiche divennero più sofisticati. Spesso realizzati al tornio in pregiati legni da ebanisteria, nostrali come il bosso o esotici come il guaiaco, erano muniti di tappi a vite a protezione delle ottiche.

IMMAGINI E DIDASCALIE DELLO SLIDE SHOW



1. Giovanni Battista della Porta, Biblioteca dell'Accademia dei Lincei, Mss n° 12, c. 326 – Autografa

Questo schizzo, che si trova in una lettera di Giovanni Battista della Porta (c.1535-1615) del 28 agosto 1609 a Federico Cesi (1585-1630), è la prima rappresentazione conosciuta del cannocchiale: «È un cannello di stagno di argento, lungo un palmo *ad*, grosso di tre diti di diametro, che ha nel capo *a* un occhiale convesso: vi è un altro canal [*c*] del medesimo, di 4 diti lungo, che entra nel primo, et ha un concavo nella cima».

2. Ritratto di Giovanni Battista della Porta.

Thomas Young, Samuel Speed, *Natural Magick*, Londra, 1658, traduzione inglese della *Magiae naturalis sive de miraculis rerum naturalium*, Napoli, in aedibus Ioannis Steelsij, 1588.

3. Justus Suttermans, *Ritratto di Galileo Galilei*, 1636, Firenze, Galleria degli Uffizi.

Justus Suttermans (1597-1681), pittore fiammingo, fu il ritrattista della famiglia Medici al tempo di Cosimo III (1642-1723). Questa opera è forse il ritratto di Galileo (1564-1642), all'epoca ultrasettantenne, più noto e di maggiore intensità. Attorno al 1639, Suttermans eseguì un altro ritratto ad olio di Galileo, oggi conservato presso il Maritime Art di Greenwich, Londra.

4. Guglielmo De Sanctis, *Galileo Galilei mostra il cannocchiale alla Signoria di Venezia*, riproduzione fotografica, Roma, Museo di Roma, particolare.

Il dipinto originale che De Sanctis espose nel 1867 alla mostra di Bologna e, nel 1883, a quella Internazionale di Roma, venne acquistato dal Principe Giovannelli di Venezia. Della tela, dispersa nel 1927 con la vendita della collezione Giovannelli, rimangono al Museo di Roma un bozzetto su tavola e un modello su tela.

5. Cannocchiali di Galileo, 1609-1610, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Della vasta produzione galileiana di telescopi, molti dei quali destinati alla vendita, sono sopravvissuti solo questi due esemplari, oltre ad una lente obiettiva, anch'essa conservata presso il Museo di Storia della Scienza di Firenze, rottasi accidentalmente e ricolata quando Galileo era ancora in vita.

6. Cannocchiale terrestre di Giuseppe Campani, c.1664, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Cannocchiale terrestre a otto sezioni in cartone. La lente obiettiva è firmata dall'autore. La sezione più piccola è costituita di due parti, la più esterna delle quali reversibile. A seconda di quale lato viene inserito nel tubo, si ottengono 29 o 36 ingrandimenti. Molto probabilmente si tratta del telescopio che Campani (1635-1715) inviò a Ferdinando II de' Medici (1610-1670) nel 1664.

7. Cannocchiale di tipo galileiano, metà XVII sec., Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Il telescopio è di autore ignoto, tuttavia dalle scritte in latino e in italiano sulle carte che foderano l'interno di una delle nove sezioni, realizzate in cartone, se ne deduce un'origine italiana. L'obiettivo è mancante. L'oculare è costituito da una lente biconcava di circa 50 mm di focale, e lo strumento rappresenta quindi un tardo esempio di cannocchiale di tipo galileiano.

8. Cannocchiale terrestre di Eustachio Divini, 1660-1670, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Cannocchiale a sette sezioni in cartone. La principale è rivestita in pelle verde con incisioni in oro, le altre in carta marmorizzata rossa. Lo strumento fu realizzato da Eustachio Divini (1610-1685) probabilmente a scopo sperimentale. L'oculare e il gruppo erettore sono infatti costituiti non da tre lenti singole, bensì da tre paia di lenti piano-convesse. L'obiettivo è mancante.

9. Cannocchiale terrestre attribuito a John Marshall, fine XVII sec., Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Cannocchiale terrestre a otto sezioni in cartone, tutte rivestite di cartapeccora bianca, tranne la prima colorata di rosso e verde con decorazioni in oro. La disposizione delle ottiche — con l'oculare posto nel tubo principale e la lente obiettiva nella sezione più piccola — ne fanno un tipico cannocchiale inglese, attribuibile forse a John Marshall (1663-1712).

10. Cannocchiale terrestre di Jacques Tendre de Moulina, prima metà XVIII sec., Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

La disposizione delle ottiche — con la lente obiettiva posta nella sezione più piccola e la lente oculare in quella di maggior diametro — farebbe pensare ad uno strumento di fabbricazione inglese; tuttavia la seconda sezione reca il nome «Anthoine Dummer» e la più piccola «Jacques Tendre Iray [?] de Moulina», il che fa ipotizzare una provenienza francese.

11. Cannocchiale terrestre di Giuseppe Campani, c.1664, dettaglio dell'oculare, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

A partire dalla metà del secolo XVII, gli alloggi delle ottiche dei cannocchiali erano realizzati al tornio con legni pregiati, esotici come il guaiaco o nostrani come il bosso, con cui è realizzato il barilotto dell'oculare e il relativo tappo a vite di questo cannocchiale del Campani (1635-1715).

12. Cannocchiale terrestre attribuito a John Marshall, 1690-1720, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Attribuito a John Marshall (1663-1712), questo cannocchiale è certamente di fattura inglese, come si evince dalla disposizione delle ottiche, con l'oculare posto nel tubo principale e la lente obbiettiva nella sezione più piccola. Consta di 10 sezioni in cartone, tutte ricoperte di cartapeccora bianca tranne quella principale, colorata e con decorazioni in oro. L'erettore è mancante.

1.5 L'ABERRAZIONE CROMATICA

Un raggio luminoso che attraversa la superficie di separazione tra due mezzi di diversa densità viene rifratto, ossia deviato. Tuttavia la luce è composta da vari colori e l'angolo col quale questi sono rifratti varia per ciascuno di essi. Per questo motivo, in una lente positiva i raggi luminosi non convergono tutti esattamente nello stesso punto, ma le radiazioni di lunghezza d'onda minore focalizzano più vicini alla lente e quelli di lunghezza d'onda maggiore più lontano. Questo fenomeno è noto come aberrazione cromatica. L'assenza di un fuoco unico provoca un fenomeno di iridescenza, che deteriora sensibilmente la qualità delle immagini. I primi costruttori si erano già accorti empiricamente che l'aberrazione cromatica dei cannocchiali diminuisce sensibilmente aumentando il rapporto tra lunghezza focale e diametro dell'obiettivo. I cannocchiali seicenteschi, infatti, non solo hanno focali relativamente lunghe, ma di norma sono dotati anche di un diaframma che ne riduce l'apertura. Tuttavia la distanza focale necessaria a limitare gli effetti dell'aberrazione cromatica non è proporzionale al diametro dell'obiettivo, ma al suo quadrato. Se, ad esempio, un obiettivo di 2 cm di apertura non manifesta fenomeni apprezzabili di aberrazione cromatica per focali di almeno 75 cm, un obiettivo di diametro doppio, ossia 4 cm, deve avere una focale 4 volte maggiore, ossia circa 3 m. Questa circostanza condizionò profondamente la successiva evoluzione del cannocchiale. Da un lato, infatti, il progressivo aumentare del diametro degli obiettivi portò alla costruzione di cannocchiali sempre più lunghi, fino a raggiungere i limiti pratici di realizzazione; dall'altro, spinse alla ricerca di soluzioni basate sull'utilizzo di specchi che, lavorando per riflessione, non sono affetti da aberrazione cromatica.

IMMAGINI E DIDASCALIE DELLO SLIDE SHOW



1. Justus Suttermans, *Ritratto di Galileo Galilei*, 1636, Firenze, Galleria degli Uffizi.

Justus Suttermans (1597-1681), pittore fiammingo, fu il ritrattista della famiglia Medici al tempo di Cosimo III (1642-1723). Questa opera è forse il ritratto di Galileo (1564-1642), all'epoca ultrasettantenne, più noto e di maggiore intensità. Attorno al 1639, Suttermans eseguì un altro ritratto ad olio di Galileo, oggi conservato presso il Maritime Art di Greenwich, Londra.

2. *Ritratto di Eustachio Divini*.

Carlo Antonio Manzini, *L'occhiale all'occhio: Dioptrica Pratica*, Bologna, Herede del Benacci, 1660

Intorno alla metà del Seicento Eustachio Divini (1610-1685) era considerato il miglior artefice di strumenti ottici di tutta Europa. La sua fama sarà oscurata, una decina d'anni più tardi, da quella di Giuseppe Campani (1635-1715).

3. Caspar Netscher, *Ritratto di Christiaan Huygens*, 1671, L'Aia, Haags Historisch Museum.

Christiaan Huygens (1629-1695), famoso fisico e matematico olandese, realizzò, assieme al fratello maggiore Constantijn, alcuni cannocchiali di ottima qualità. Tra questi il telescopio di circa 5 cm di apertura (del quale è sopravvissuta la lente obbiettivo) con cui, il 25 marzo 1655, scoprì Titano, satellite di Saturno, e successivamente comprese la vera natura dell'anello.

4. Cannocchiale terrestre di Paolo Belletti, 1689, dettaglio dell'obbiettivo, Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Paolo Belletti fu un ottico attivo in Bologna nella seconda metà del XVII secolo.

5. *Telescopio aereo*.

Christiaan Huygens, *Astroscopia compendiaria*, 1684

L'impressionante lunghezza raggiunta dai grandi telescopi della seconda metà del XVII secolo pose seri problemi nella realizzazione di montature in grado di garantire la necessaria stabilità. Il telescopio di 123 piedi (oltre 37 m) di Christiaan Huygens (1629-1695) era totalmente privo di tubo e l'allineamento delle ottiche era affidato ad un cavo, tenuto in tensione dall'osservatore, che univa l'oculare all'obbiettivo.

6. Johannes Hevelius, *Machinae coelestis, pars prior*, Gdańsk, Simon Reiniger, 1673, fig Y.

Telescopio da 60 piedi (c. 18 m) di Hevelius (1611-1687). Nei grandi telescopi secenteschi, una volta puntati grossolanamente per mezzo della fune collegata alla carrucola posta sulla sommità del palo, il puntamento definitivo e l'inseguimento degli astri veniva effettuato per mezzo di un punto di appoggio mobile situato in prossimità dell'oculare.

7. Johannes Hevelius, *Machinae coelestis, pars prior*, Gdańsk, Simon Reiniger, 1673, fig. AA.

La tavola — incisa, come la maggior parte delle altre, da Isaak Saal, su disegno del pittore polacco Andreas Stech (1635-1697) — raffigura il celebre telescopio da 150 piedi (ca. 45 m) di Hevelius (1611-1687). Si noti il tubo cosiddetto "a giorno", cioè aperto per renderlo più leggero, che, per limitarne le flessioni, è sospeso in più punti per mezzo di funi e irrigidito da un complesso sistema di tiranti.

1.6 I RIFLETTORI

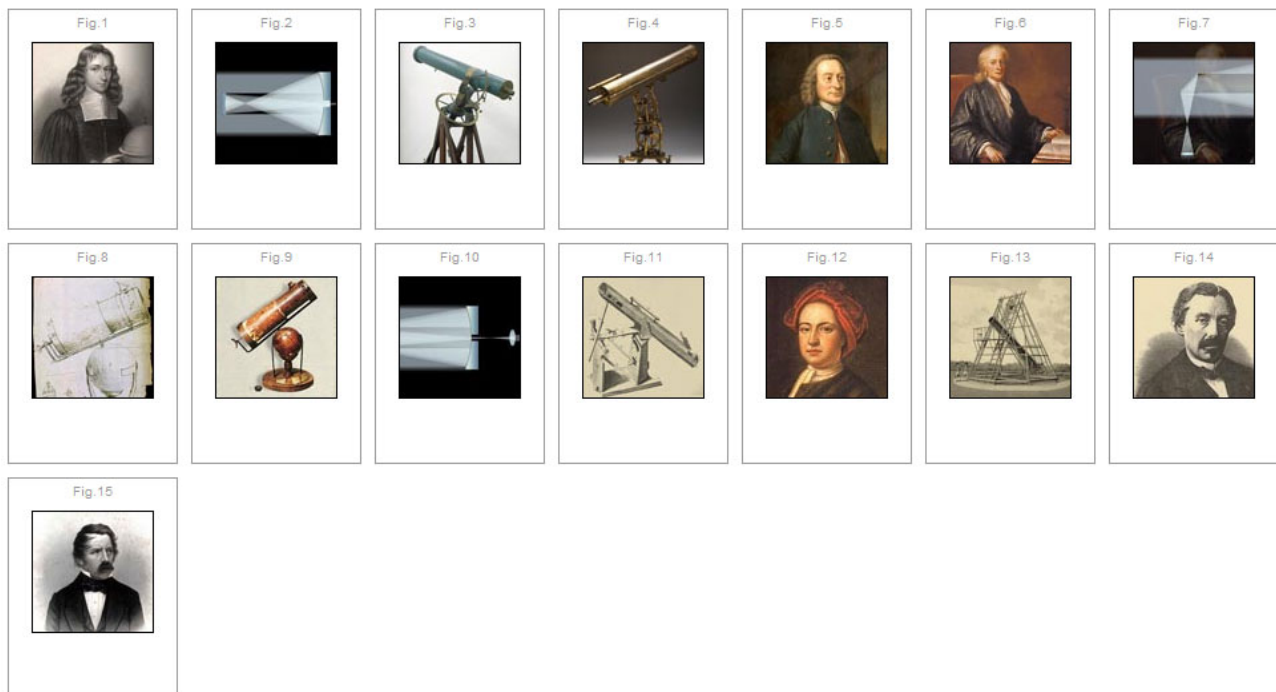
Uno specchio concavo focalizza i raggi luminosi esattamente come una lente convergente e può quindi essere utilizzato come obbiettivo. Nel 1663, il matematico scozzese James Gregory (1638-1675) propose uno strumento costituito da uno specchio principale a sezione parabolica, e da un secondario a sezione ellittica, che rinvia il fascio ottico dietro il primario, opportunamente forato. Il riflettore gregoriano, che fornisce immagini diritte, vivrà una stagione di grande successo nel XVIII secolo soprattutto grazie al celebre ottico scozzese James Short (1710-1768).

Nel 1668, Isaac Newton (1642-1727) realizzò uno strumento nel quale uno specchietto piano di forma ellittica, inclinato di 45°, riflette il fascio ottico lateralmente fuori del tubo dove è collocato l'oculare. Un secondo esemplare, ancora esistente, fu presentato nel 1672 alla Royal Society.

In quello stesso anno, il francese Laurent Cassegrain (c. 1629-1693) propose uno strumento nel quale lo specchio secondario, convesso e a sezione iperbolica, è situato prima del fuoco del primario, focalizzando l'immagine, come nel telescopio di Gregory, dietro quest'ultimo.

Il primo esemplare efficiente di riflettore fu un newtoniano da 6 pollici di apertura presentato nel 1721 alla Royal Society dall'inglese John Hadley (1682-1744). Le sue prestazioni erano equivalenti a quelle del rifrattore di Huygens (1629-1695) da 123 piedi. Sebbene nel corso del XVII secolo sino stati realizzati riflettori di grandi dimensioni, la scarsa riflettività degli specchi dell'epoca, costituiti di una speciale lega di rame e stagno detta *speculum*, che rifletteva solo il 60% circa della luce incidente, impedì l'affermazione del telescopio riflettore. Il problema fu risolto nel 1856, quando Léon Foucault (1819-1868) e Karl August von Steinheil (1801-1870) inventarono il processo di argentatura che consentì l'utilizzo di specchi in vetro ricoperti di un sottilissimo strato di purissimo argento.

IMMAGINI E DIDASCALIE DELLO SLIDE SHOW



1. William Holl, *Ritratto di James Gregory*, incisione, Oxford, Museum of the History of Science.

Nell'*Ottica promota* (Londra, 1663), pubblicato nel 1663, lo scozzese James Gregory (1638-1675) propose il riflettore che porta il suo nome. Nel campo delle matematiche Gregory è noto per il *Vera Circuli et Hyperbolae Quadratura* (Padova, 1667), pubblicato nel 1667, nel quale egli dimostrò la quadratura del cerchio e della parabola per mezzo di serie convergenti.

2. Schema di telescopio gregoriano.

Questo riflettore è costituito da uno specchio primario concavo a sezione parabolica e da un secondario — anch'esso concavo, ma a sezione ellittica — che rinvia il fascio ottico dietro al primario, opportunamente forato, dove è collocato l'oculare. Il telescopio gregoriano fornisce immagini diritte. Oggi del tutto abbandonata, questa combinazione ottica visse, nel XVII secolo, una stagione di grande successo soprattutto ad opera dell'ottico scozzese James Short (1710-1768).

3. Telescopio gregoriano di James Short, seconda metà XVIII sec., Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Lo scozzese James Short (1710-1768) realizzò quasi 1400 telescopi, la quasi totalità dei quali in configurazione gregoriana. Questo esemplare reca sulla culatta la scritta « $1/1309 = 61$ », che, secondo la consuetudine di Short, significa che il telescopio è il primo costruito di queste dimensioni su un totale di 1309 fino ad allora realizzati e che la focale del primario è di 61 pollici (c. 155 cm).

4. Telescopio gregoriano di James Short.

Lo strumento, interamente in ottone, è dotato di una sofisticata montatura equatoriale universale. L'asta esterna al tubo, facendo variare la distanza tra lo specchio primario e il secondario, consente la messa a fuoco.

5. Ritratto di James Short, Oxford, Museum of the History of Science.

6. John Vanderbank, Ritratto di Sir Isaac Newton, c. 1726, olio su tela, Londra, National Portrait Gallery.

Nel 1668 Isaac Newton (1642-1727) realizzò il primo esemplare, oggi perduto, del telescopio da lui ideato. Nell'autunno del 1671, egli ne costruì un secondo esemplare che, l'11 gennaio dell'anno successivo, presentò alla Royal Society, dove suscitò grande interesse. Nel corso di quella stessa seduta Newton fu nominato membro della Royal Society.

7. Schema di telescopio newtoniano.

Questo riflettore è costituito da uno specchio concavo a sezione parabolica e da uno specchio piano di forma ellittica. Il secondario è inclinato di 45° gradi sull'asse ottico, e ha la funzione di intercettare i raggi luminosi provenienti dal primario, deviandoli lateralmente fuori del tubo, dove è posizionato l'oculare. Questo telescopio, grazie alla sua semplicità, è ancor oggi diffusissimo fra gli astrofili.

8. Disegno di telescopio newtoniano.

Questo disegno — che Henry Oldenburg (c.1615- 1677), segretario della Royal Society, inviò a Christiaan Huygens (1629-1695) a Parigi — è la prima rappresentazione di un telescopio newtoniano. Le due corone in basso a sinistra raffigurano l'ornamento di un orologio ad acqua, posto a 300 piedi (c. 90 m) di distanza e osservato (lettera A), con il telescopio di Newton e (B) con un rifrattore da 25 pollici (c. 64 cm) di lunghezza.

9. Telescopio di Newton, Londra, Royal Society.

I primi due esemplari che Newton (1642-1727) realizzò del suo telescopio non sono sopravvissuti. Tuttavia parti di un terzo strumento, che egli costruì nell'inverno del 1671/72, si ritiene siano confluite in questo esemplare presentato nel 1766 alla Royal Society, dove è tuttora conservato. Si noti il giunto sferico in legno per il puntamento e, sulla culatta, la vite della messa a fuoco.

10. Schema di telescopio tipo Cassegrain.

Questo telescopio, che deve il suo nome al francese Laurent Cassegrain (c.1629-1693), è costituito da uno specchio primario a sezione parabolica e da un secondario, convesso e a sezione iperbolica, posto prima del fuoco del primario. Il secondario rinvia il fascio ottico dietro al primario, opportunamente forato. Poiché il secondario, divergente, moltiplica la focale del primario, il Cassegrain fornisce focali relativamente lunghe con tubi compatti.

11. Telescopio di John Bradley, Londra, Science Museum.

Questo telescopio newtoniano — realizzato da John Bradley che lo presentò alla Royal Society, di cui era membro, nella seduta del 12 gennaio 1721 — fu il primo esemplare di riflettore di pratico utilizzo mai realizzato. L'apertura era di c. 6 pollici (c. 15 cm) e forniva prestazioni analoghe al celebre riflettore di 123 piedi di Christiaan Huygens (1629-1695).

12. Bartholomew Dandrigde [attr.], *Ritratto di John Hadley*, Londra, National Maritime Museum.

Si ritiene che il dipinto raffiguri John Hadley (1682-1744). A corroborare quest'ipotesi il fatto che la persona ritratta impugna un ottante — lo strumento, precursore del sestante, che Hadley presentò alla Royal Society nel 1731. Permane tuttavia qualche dubbio circa l'identità del ritratto poiché a quella data Hadley aveva 49 anni di età, mentre la persona raffigurata appare più giovane.

13. Telescopio riflettore da 20 piedi (c. 6 m) di William Herschel, Royal Astronomical Society.

Nei suoi grandi telescopi, per ovviare alla scarsa riflettanza degli specchi dell'epoca, Herschel (1738-1822) — celebre per aver scoperto nel 1781 il pianeta Urano — eliminò lo specchio secondario, inclinando il primario rispetto all'asse ottico. L'osservatore si trovava alla bocca del tubo, su di un'apposita piattaforma, in posizione decentrata per non oscurare l'apertura.

14. *Ritratto di Jean Bernard Léon Foucault*.

Fisico francese, autore della celebre esperienza del pendolo che dimostra la rotazione terrestre, Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868) — poco dopo Steinheil (1801-1870), nel 1857, ma indipendentemente da questi — applicò agli specchi dei telescopi il metodo di argentatura del vetro messo a punto da Liebig (1803-1873). A Foucault è dedicato un cratere lunare.

15. J.C. Battre (da un ritratto di Franz Hanfstaeng), *Ritratto di Carl August von Steinheil*, incisione.

Il tedesco Carl August von Steinheil (1801-1870) ha dato importanti contributi in vari campi della fisica applicata. In ottica, nel 1856, applicò agli specchi dei telescopi il metodo di argentatura del vetro, ideato pochi anni prima dal chimico tedesco Liebig (1803-1873), permettendo la realizzazione di specchi ad alta riflettanza. A Steinheil è dedicato un cratere lunare.

1.7 CRONOLOGIA

1608: L'INVENZIONE DEL CANNOCCHIALE

Il 2 ottobre gli Stati Generali d'Olanda discutono la richiesta di patente, presentata da un certo Hans Lipperhey (?-1619), occhialaio in Middleburg originario di Wesel (Germania occidentale), per la produzione di "uno strumento per guardare a distanza". Si tratta della prima fonte certa che attesta l'avvenuta invenzione del cannocchiale. La patente viene negata poiché gli Stati Generali ritengono, data l'intrinseca semplicità dello strumento, costituito da due sole lenti, che sarebbe impossibile conservare a lungo il segreto della sua costruzione. Un certo numero di esemplari viene comunque commissionato a Lipperhey da parte del governo olandese, a condizione che gli strumenti abbiano forma binoculare e che le lenti siano realizzate in cristallo di rocca.

1609: I PRIMI CANNOCCHIALI

Nel mese di aprile rudimentali esemplari di cannocchiale di 3 o 4 ingrandimenti sono in vendita a Parigi, e probabilmente anche a Londra, presso le botteghe di ottici.

1609: IL PRIMO CANNOCCHIALE DI GALILEO

In maggio Galileo (1564-1642) viene per la prima volta a conoscenza dell'invenzione del cannocchiale. La notizia gli viene confermata pochi giorni dopo in una lettera da Parigi scritta dal francese Jacques Badovere (1570/1580-c. 1620), già suo discepolo.

Fra luglio e agosto Galileo realizza il suo primo esemplare di cannocchiale, della potenza di 3 ingrandimenti.

1609: THOMAS HARRIOT OSSERVA LA LUNA

Il 5 agosto il matematico e astronomo inglese Thomas Harriot (c. 1560-1621) osserva la Luna con un cannocchiale da 6 ingrandimenti tracciando uno schizzo della superficie lunare giunto sino a noi. Si tratta di una rappresentazione piuttosto rozza che testimonia la scarsa qualità dello strumento di cui Harriot era in possesso.

1609: GALILEO A VENEZIA MOSTRA UN CANNOCCHIALE DA 8 INGRANDIMENTI

Il 21 agosto, sul campanile di San Marco, alla presenza del Doge e di altri notabili veneziani, Galileo (1564-1642) dà una dimostrazione del cannocchiale da circa 8 ingrandimenti da lui realizzato. Gli frutteranno la cattedra a vita e l'aumento dello stipendio da 520 a 1000 fiorini l'anno.

1610: LE SCOPERTE DI GALILEO

Il 7 gennaio Galileo (1564-1642) scopre, con un cannocchiale di sua costruzione da 20 ingrandimenti, tre satelliti di Giove. Un quarto satellite sarà scoperto la notte del 10 gennaio.

1610: IL *SIDEREUS NUNCIUS*

Esce a Venezia il *Sidereus Nuncius* di Galileo (1564-1642), dedicato al Granduca Cosimo II de' Medici (1590-1621).

1610: LA NATURA "TRICORPOREA" DI SATURNO

Il 30 luglio, in una lettera a Belisario Vinta (1542-1613), segretario di stato del Granduca Cosimo II (1590-1621), Galileo (1564-1642) — in attesa di rendere pubblica la scoperta in una nuova edizione del *Sidereus Nuncius* (Venezia, 1610) che aveva intenzione di dare alla stampe — dà notizia della natura "tricorporea" di Saturno.

In agosto, in una lettera a Giuliano de' Medici, ambasciatore toscano a Praga, Galileo, sotto forma di un anagramma che Kepler (1571-1630) tenterà invano di sciogliere, annuncia la scoperta, già comunicata a Belisario Vinta il 30 luglio precedente, della natura "tricorporea" di Saturno.

1610: LE FASI DI VENERE

In una lettera a Giuliano de' Medici, datata 11 dicembre, Galileo (1564-1642) annuncia sotto forma di anagramma, che Kepler (1571-1630) tenterà invano di sciogliere, la scoperta delle fasi di Venere.

1611: GALILEO A ROMA

Alla fine di marzo Galileo (1564-1642) si reca a Roma per mostrare alle autorità ecclesiastiche le scoperte da lui compiute col telescopio.

1611: LA *DIOPTRICE* DI KEPLER

Esce ad Augsburg la *Dioptrice* di Johann Kepler (1571-1630), nella quale, tra le altre cose, si teorizza la possibilità di sostituire l'oculare divergente del telescopio galileiano con una lente convergente (telescopio kepleriano).

1611: GALILEO LINCEO

A Roma Galileo diviene accademico linceo in una riunione conviviale che ha luogo il 14 aprile nella villa gianicolense del cardinale Cesi, zio del Principe Federico, fondatore dell'Accademia.

1612: LE MACCHIE SOLARI

Sotto lo pseudonimo di Apelles latens post tabulam (Apelle nascosto dietro il dipinto), il gesuita padre Scheiner (1573-1650) pubblica tre lettere, inviate a Marc Welser (1558-1614), sulle macchie solari.

1613: L'ISTORIA E DIMOSTRAZIONI INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI

Col titolo di *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*, vengono pubblicate a Roma, sotto l'egida dell'Accademia dei Lincei, le tre lettere scritte da Galileo (1564-1642) a Marc Welser (1558-1614).

1613: LA DISPUTATIO DE COELO

Esce a Venezia la *Disputatio de coelo* di Cesare Cremonini (1550-1631).

1616: L'AMMONIZIONE DI BELLARMINO A GALILEO

Ha luogo il cosiddetto primo processo a Galileo (1564-1642). Il *De revolutionibus orbium coelestium* di Copernico (1473-1543) è proibito *donec corrigantur* (fino a che non sia stato corretto). Galileo, che riceve la notifica del provvedimento dal Cardinale Bellarmino (1542-1621), è diffidato dal difendere e dal tenere la teoria eliocentrica. La proposizione «Sol est centrum mundi et omnino immobilis motu locali» è censurata dalla santa inquisizione perché ritenuta stolta e assurda in filosofia e formalmente eretica; la proposizione «Terra non est centrum mundi nec immobilis, sed secundum se totam se movere etiam motu diurno» è censurata perché quanto meno erronea *in fide*.

1618: IL TELESCOPIUM SIVE ARS PERFICIENDI

Esce a Francoforte il *Telescopium sive ars perficiendi* di Girolamo Sirtori.

1621: SNELL FORMULA LA LEGGE DEI SENI

Willebrord Snell (1580-1626) formula la legge dei seni.

1623: IL SAGGIATORE

Curato dall'Accademia dei Lincei e dedicato al nuovo Papa Urbano VIII (1568-1644) viene pubblicato a Roma alla fine di ottobre *Il Saggiatore* di Galileo (1564-1642).

1630: LA ROSA URSINA E LE COMMENTATIONES IN MOTUM TERRAE DIURNUM & ANNUM

Padre Christoph Scheiner (1573-1650) pubblica a Bracciano la *Rosa Ursina*.

Vengono pubblicate a Middelburg le *Commentationes in motum Terrae diurnum & annum* di Philip Landsberg (1561-1632).

1630: LE BANDE SCURE DI GIOVE

Il 17 maggio del 1630 il gesuita Niccolò Zucchi (1586-1670), professore di teologia e matematica presso il Collegio Romano, scopre le bande scure sul disco di Giove. A padre Zucchi è dedicato un cratere lunare.

1632: IL DIALOGO SOPRA I DUE MASSIMI SISTEMI DEL MONDO

In febbraio esce a Firenze, per i tipi di G. B. Landini, il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* di Galileo (1564-1642), la cui stesura, più volte interrotta, era stata ultimata due anni prima.

1633: IL PROCESSO DI GALILEO

Il 12 aprile si tiene a Roma la prima udienza del cosiddetto secondo processo a Galileo (1564-1642), che si presenta al Sant'Uffizio.

Il 22 giugno dello stesso anno con l'abiura di Galileo e la sua condanna al carcere, ha termine il processo. Il carcere viene tramutato in una sorta di detenzione domiciliare e, in luglio, Galileo si

trasferirà a Siena presso l'Arcivescovo Ascanio Piccolomini (1597-1671) ottenendo, in dicembre, dal Papa l'autorizzazione a trasferirsi a villa "Il Gioiello" in Arcetri, presso Firenze, dove rimarrà confinato sino alla morte.

1636: L'HARMONIE UNIVERSELLE

Esce a Parigi l'*Harmonie Universelle* di Marin Mersenne (1588-1648).

1637: LA DIOPTRIQUE

Esce a Leida la *Dioptrique*. Disponendo della legge dei seni, formulata nel 1621 da Willebrord Snell (1580-1626), Cartesio (1596-1650) mostrò che una lente piano-convessa con superficie a sezione iperbolica sarebbe stata esente da aberrazione sferica. Nonostante vari tentativi, Cartesio né alcuno dei suoi contemporanei, furono in grado di lavorare lenti con superfici iperboliche.

1639: IL MICROMETRO

L'inglese William Gascoigne (1612-1644) introduce il micrometro, il dispositivo da applicare all'oculare del telescopio per misurare le distanze angolari.

1642: MORTE DI GALILEO

L'8 gennaio in Arcetri, presso Firenze, nella villa "Il Gioiello" dove era confinato, Galileo (1564-1642) muore.

1642: L'OCULUS ENOCH ET ELIAE SIUE RADIUS SIDEREOMYSTICUS

Ad Anversa viene pubblicato l'*Oculus Enoch et Eliae siue Radius sidereomysticus* di Anton Maria Schyrleus de Rheita (1604-1660). Nel trattato è contenuta un'ampia sezione dedicata ai telescopi binoculari.

1646: LE NOVAE COELESTIUM TERRESTRIVMQUE RERUM OBSERVATIONES

Il napoletano Francesco Fontana (c.1580-1656) pubblica, a Napoli, le *Novae Coelestium Terrestriumque Rerum Observationes*. Fontana fu probabilmente il primo a utilizzare sistematicamente e a commercializzare, sin dai primi anni '30 del XVII sec., il cannocchiale kepleriano (di cui nelle *Observationes* addirittura reclama l'invenzione, avvenuta, a suo dire, nel 1608) e i suoi strumenti divennero presto rinomati in tutta Italia e in Francia. Nell'opera compaiono 28 tavole della Luna osservata nel corso delle varie fasi e, sebbene surclassato già l'anno seguente dalla celeberrima *Selenographia* (Gdańsk, 1647) di Hevelius (1611-1687), quello del Fontana costituisce il primo lavoro selenografico dotato di una certa organicità. Nel trattato sono inoltre riportate le osservazioni di Marte sulla cui superficie Fontana osservò una grande macchia scura, probabilmente la Syrtis Major.

1655: LA SCOPERTA DI TITANO

Il 25 marzo utilizzando un cannocchiale di poco più di 5 cm di apertura da lui stesso realizzato, Christiaan Huygens (1629-1695) scopre Titano, il maggiore dei satelliti di Saturno. Si tratta della prima scoperta di un nuovo corpo celeste dopo quella dei quattro satelliti di Giove compiuta da Galileo ben 45 anni prima.

1656: LA DE SATURNI LUNA OBSERVATIO NOVA

Esce, a L'Aia, la *De Saturni luna observatio nova*. Nel breve trattato, dedicato alla scoperta di Titano, avvenuta l'anno precedente, Huygens (1629-1695) include un anagramma riguardante la scoperta dell'anello di Saturno. L'anagramma, che verrà sciolto solo nel 1659, quando Huygens divulgherà la scoperta, recita infatti: «Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato» ([Saturno] è circondato da un anello sottile, piano, che non tocca [il pianeta] in nessun punto e inclinato rispetto all'eclittica).

1659: IL SYSTEMA SATURNIUM

Christiaan Huygens (1629-1695) pubblica a L'Aia il *Systema Saturnium*.

1660: LA BREVIS ANNOTATIO IN SYSTEMA SATURNIUM CHRISTANI EUGENII

Il marchigiano Eustachio Divini (1610-1685), il più rinomato ottico di tutta Europa attorno alla metà del XVII secolo, pubblica in Roma la *Brevis annotatio in Systema Saturnium Christiani Eugenio*, dedicata a Leopoldo de' Medici (1617-1675), fratello del Granduca di Toscana. Nell'opera il Divini rivendica a sé, contro Christiaan Huygens (1629-1695), la priorità della scoperta dei satelliti di Saturno.

1663: IL TELESCOPIO DI GREGORY

Lo scozzese James Gregory (1638-1675) propone un telescopio riflettore con specchio primario (obiettivo) a sezione parabolica e un secondario a sezione ellittica, situato oltre il fuoco del primario, il che fa sì che questa combinazione ottica fornisca immagini diritte senza l'ausilio di un erettore. Anche per questo motivo il gregoriano conoscerà una stagione di grande successo attorno alla metà del XVIII sec., soprattutto grazie all'opera del celebre ottico scozzese James Short (1710-1768) che, nel corso della sua carriera, ne realizzò oltre mille esemplari, alcuni dei quali di grandi dimensioni.

1666: LE THEORICAE MEDICEORUM PLANETARUM EX CAUSIS PHYSICIS DEDUCTAE

Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) pubblica a Firenze le *Theoricae Mediceorum planetarum ex causis physicis deductae*.

1666: LE MARTIS CIRCA AXEM PROPRIUM REVOLUBILIS OBSERVATIONES

Escono, a Bologna, le *Martis circa axem proprium revolubilis observationes* di Giovanni Domenico Cassini (1625-1712). Cassini, servendosi di telescopi realizzati dal celebre ottico Giuseppe Campani (1635-1715), aveva osservato Marte eseguendo disegni della sua superficie e determinandone il periodo di rotazione che egli stimò aver luogo in 24h 40m (un valore meno di 3m superiore a quello oggi accettato) su un asse pressoché perpendicolare al piano orbitale. Un periodo di rotazione assai vicino a quello assunto da Cassini era stato determinato nel 1659 da Christiaan Huygens (1629-1695) che però, non essendo sicuro del risultato, non aveva pubblicato la scoperta.

1668: IL TELESCOPIO RIFLETTORE DI NEWTON

Isaac Newton (1642-1727) realizza un riflettore con obiettivo a sezione parabolica e con un secondario piano di forma ellittica che rinvia il fascio luminoso lateralmente fuori del tubo.

1671: LA SCOPERTA DI GIAPETO

A dicembre utilizzando un telescopio di 17 piedi realizzato da Giuseppe Campani (1635-1715), Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) scopre un secondo satellite di Saturno, Giapeto.

1671: IL SECONDO ESEMPLARE DEL TELESCOPIO RIFLETTORE DI NEWTON

Isaac Newton (1642-1727) realizza un secondo esemplare del telescopio di sua invenzione. Lo strumento viene presentato alla Royal Society di Londra, dove suscita molto interesse.

1672: IL TELESCOPIO RIFLETTORE DI CASSEGRAIN

Il francese Laurent Cassegrain (c. 1629-1693), all'epoca professore di fisica a Chartres, propone un riflettore con obiettivo a sezione parabolica e con secondario a sezione iperbolica, posto prima del fuoco del primario, che focalizza l'immagine dietro quest'ultimo, opportunamente forato. Grazie all'elemento divergente, costituito dal secondario iperbolico, questa combinazione ottica, tutt'oggi in

uso soprattutto a livello amatoriale, consente di ottenere focali relativamente lunghe (tipicamente f/15) con tubi dalle dimensioni contenute.

1672: LA SCOPERTA DI REA

A dicembre utilizzando un telescopio di 34 piedi realizzato da Giuseppe Campani (1635-1715), Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) scopre un terzo satellite di Saturno, Rea.

1673: L'*HOROLOGIUM OSCILLATORIUM SIVE DE MOTU PENDULORUM*

Esce, a Parigi, l'*Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum* di Christiaan Huygens (1629-1695), nel quale egli descrive l'applicazione del pendolo alla misura del tempo.

1684: LA SCOPERTA DI TETI E DIDONE

A marzo utilizzando rispettivamente i telescopi di 100 e 136 piedi di Giuseppe Campani (1635-1715), Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) scopre due ulteriori satelliti di Saturno, Teti e Didone. L'incredibile serie di scoperte che Cassini aveva realizzato per mezzo dei cannocchiali del Campani sancirono la fama di quest'ultimo come miglior ottico d'Europa.

1687: I *PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA*

Vengono pubblicati a Londra i *Philosophiae naturalis principia mathematica* di Isaac Newton (1642-1727).

1721: IL TELESCOPIO RIFLETTORE DI HADLEY

Il 12 gennaio John Hadley (1682-1744) presenta alla Royal Society, di cui era membro, un riflettore newtoniano di sua costruzione di 6 pollici di apertura (ca. 15 cm) e 62 pollici (ca. 157 cm) di focale. Si tratta del primo esemplare di riflettore capace di prestazioni paragonabili ai rifrattori del tempo. Numerose e innovative le soluzioni tecniche adottate, quali la messa a fuoco a vite nonché la presenza del cercatore e di movimenti micrometrici che rendevano estremamente facile il puntamento e l'inseguimento degli astri. In un confronto con il rifrattore da 123 piedi (ca. 37,5 m) di Huygens (1629-1695), il riflettore di Hadley, sebbene meno luminoso (gli specchi dell'epoca erano realizzati in una lega di rame e stagno, detta speculum, che rifletteva solo il 60% circa della luce incidente), risultò avere pressoché la stessa definizione, con la differenza che, con una lunghezza di solo 1,8 m ca., il newtoniano era estremamente più maneggevole e facile da utilizzare.

1729: L'OBBIETTIVO ACROMATICO

Chester Moor Hall (1703-1771) inventa l'obiettivo acromatico.

1.8 TEST

E' possibile accedere alla versione completa del test di verifica dei contenuti dalla sezione Risorse del sito "Il cannocchiale di Galileo". Apri il file PDF oppure scarica il file RTF e buona prova!

2 ESPLORA

2.1 LO STRUMENTO

Nome: Cannocchiale di Galileo

Ideatore e costruttore: Galileo Galilei

Data: Fine 1609 - inizio 1610

Inventario IMSS: 3429

Luogo: Fattura italiana

Materiali: Legno, pelle

DIMENSIONI

Lunghezza totale: 980 mm

Lunghezza del tubo ottico: 835 mm

Diametro del supporto: 55 mm

Lente oculare:

diametro: 22 mm; **apertura:** 15 mm; **spessore al centro:** 1,8 mm; **lunghezza focale:** -47.5 mm

Lente obbiettiva:

diametro: 37 mm; **apertura:** 15 mm; **spessore al centro:** 2 mm; **lunghezza focale:** 980 mm

COMPONENTI

Tubo

La sua struttura portante è costituita da 20 doghe di legno, incollate su un foglio di carta e ricoperte di pelle rossa con bulnature in oro. A entrambe le estremità, la pelle lascia scoperte le doghe per consentire l'innesto a pressione dei cilindri porta-obbietive. La sua lunghezza complessiva è di 835 mm.

Alloggio dell'obbiettivo

È costituito da un cilindro di legno, ricoperto della stessa pelle del tubo, lungo 45 mm e del diametro esterno di 61 mm. Un'estremità si inserisce a pressione sul tubo, l'altra, con un diametro interno di 52 mm, ospita la lente obbiettiva, protetta da un anello di legno.

Obbiettivo

È costituito da una lente piano-convessa (convergente) con la convessità rivolta verso l'esterno. La sua lunghezza focale è 980 mm, il suo diametro 37 mm e il suo spessore al centro 2,0 mm. Un diaframma in cartone ne limita l'apertura utile a 15 mm.

Tubo porta-oculare

È costituito da un cilindro di legno, ricoperto della stessa pelle del tubo, lungo 40 mm. Un'estremità è inserita a pressione sul tubo, mentre l'altra, il cui diametro interno è uguale al diametro esterno del barilotto, consente lo scorrimento di quest'ultimo per la messa a fuoco dell'oggetto osservato.

Alloggio dell'oculare

Modernamente detto *barilotto*, l'alloggio della lente oculare è costituito da un cilindro in cartone della lunghezza di 30 mm e del diametro esterno di 40 mm. La lente è situata a poco meno di un centimetro dall'estremità esterna del barilotto.

Oculare

L'oculare originale è andato perduto. Quello attuale è costituito da una lente equiconcava della lunghezza focale di -47.5 mm (il segno negativo sta ad indicare che la lente è divergente). Il suo diametro di 22 mm e il suo spessore al centro di 1,8 mm. Un diaframma in cartone ne limita l'apertura utile a 15 mm.

2.2 COME FUNZIONA

In ogni sistema telescopico l'obiettivo — anche se costituito da più elementi, sia convergenti, sia divergenti — deve sempre essere complessivamente convergente. Il cannocchiale galileiano e quello kepleriano si differenziano perciò solo per l'oculare, divergente nel primo, convergente nel secondo.

Il cannocchiale galileiano (fig. 1) consta di una lente convergente (piano-convessa o biconvessa), con funzione di obiettivo, e da una lente divergente (piano-concava o biconcava) in funzione di oculare. L'oculare viene a trovarsi prima del fuoco dell'obiettivo, a una distanza da detto fuoco pari alla distanza focale dell'oculare. Poiché le lenti convergenti sono, per convenzione, positive (o di potenza ottica positiva) e quelle divergenti negative (o di potenza ottica negativa), possiamo dire anche che la distanza tra obiettivo e oculare è pari alla somma algebrica delle loro distanze focali. L'oculare negativo intercetta i raggi convergenti provenienti dall'obiettivo rendendoli paralleli e formando così, all'infinito (posizione afocale), un'immagine virtuale, ingrandita e diritta. L'ingrandimento del sistema è dato dal rapporto tra la lunghezza focale dell'obiettivo e quella dell'oculare. Sebbene fornisca immagini diritte senza l'ausilio di dispositivi erettori, il cannocchiale galileiano presenta il grave inconveniente di un campo visuale estremamente ridotto (il che lo rende, nella pratica, inutilizzabile oltre la trentina di ingrandimenti).

Il principio di funzionamento del cannocchiale kepleriano (fig. 2) è piuttosto semplice. L'obiettivo forma dell'oggetto osservato un'immagine reale, rimpicciolita e capovolta. L'oculare — che essendo costituito da una lente convergente di corta focale, è in pratica una lente di ingrandimento — ingrandisce l'immagine formata dall'obiettivo. L'immagine che si osserva è però capovolta e quindi, almeno nell'uso terrestre, il cannocchiale kepleriano deve essere dotato di un qualche dispositivo erettore, che, reinvertendo l'immagine, la raddrizza. Questo svantaggio è tuttavia largamente compensato da un campo visuale assai più vasto e più uniformemente illuminato di quello offerto dai cannocchiali galileiani.

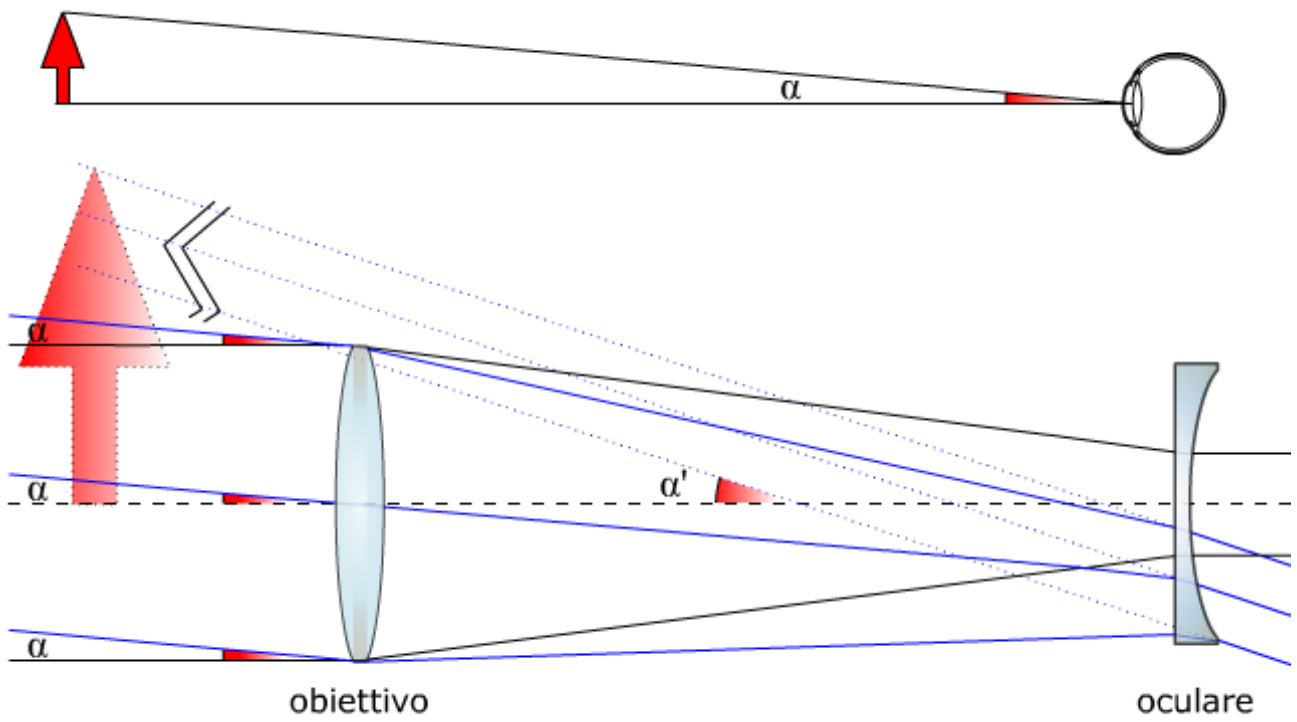


Fig.1 Schema ottico del cannocchiale galileiano

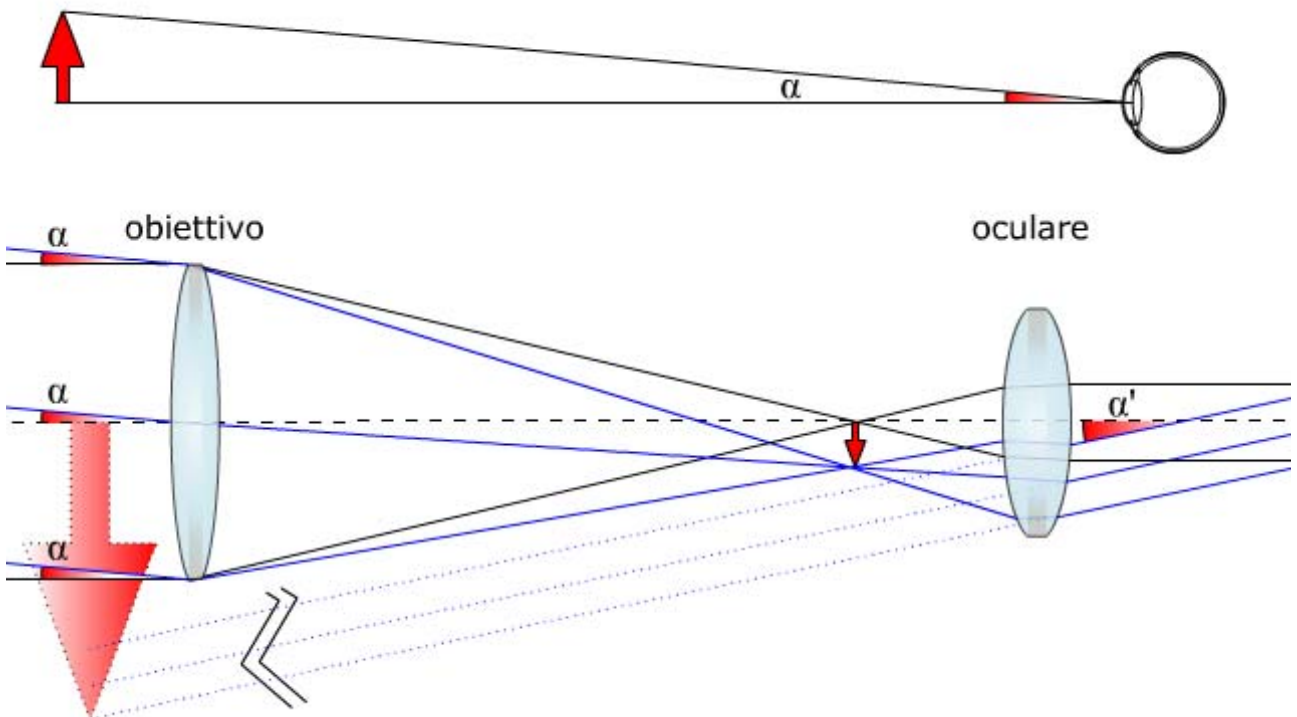


Fig.2 Schema ottico del cannocchiale kepleriano

2.3 *IL CANNOCCHIALE MODERNO*

Componenti

Colonna
Obiettivo
Cercatore
Paraluce
Contrappeso
Prisma zenitale
Asse di ascensione retta
Asse di declinazione
Oculare
Culla
Tubo
Focheggiatore
Regolazione in latitudine

2.4 *TEST*

E' possibile accedere alla versione completa del test di verifica dalla sezione Risorse del sito "Il cannocchiale di Galileo". Apri il file PDF oppure scarica il file RTF e buona prova!

3 SIMULA

3.1.1 L'ALTEZZA DELLE MONTAGNE LUNARI

Sin dall'autunno del 1609 Galileo (1564-1642) intraprese l'osservazione della Luna, della quale realizzò alcuni disegni di grande efficacia.

In aperto contrasto con la tradizione aristotelica che voleva i corpi celesti perfettamente sferici e levigati, la superficie lunare, osservata al telescopio, presentava avvallamenti e protuberanze. Galileo aveva inoltre notato la presenza di piccole zone luminose situate nella parte oscura del disco lunare in prossimità del terminatore, la linea di separazione tra la parte illuminata e quella in ombra. Col progredire dell'alba sulla superficie lunare, le macchie luminose si univano poi alla zona illuminata. Galileo attribuì correttamente il fenomeno alla presenza di rilievi montuosi le cui alte cime vengono raggiunte dai raggi solari prima delle zone sottostanti, esattamente come avviene sulla Terra quando, all'alba, le vette delle montagne sono già illuminate dai raggi del Sole, mentre il fondovalle è ancora immerso nel buio. Con un metodo semplice ma ingegnoso, Galileo fu in grado di calcolare l'altezza dei monti lunari. Egli infatti stimò la distanza della montagna dal terminatore in circa un ventesimo del diametro apparente della Luna. Dividendo quindi per 20 la lunghezza del diametro lunare vero, nota fin dall'antichità, ricavò la lunghezza del segmento FA. Applicando poi il teorema di Pitagora, al triangolo rettangolo GAF, trovò l'ipotenusa FG. Essa rappresenta la distanza della vetta della montagna dal centro della Luna. Sottraendo da questa il raggio lunare, si ottiene così l'altezza della montagna.

3.1.2 I SATELLITI DI GIOVE

La notte del 7 Gennaio 1609, osservando Giove col suo cannocchiale, Galileo (1564-1642) scorse nei pressi del pianeta tre stelle «piccole ma luminosissime». La sera successiva egli trovò una diversa disposizione delle tre stelline rispetto a Giove, come se questo si fosse spostato verso est, ma poiché in quei giorni, secondo le tavole, il pianeta avrebbe dovuto essere retrogrado e quindi spostarsi verso ovest, decise di osservare sistematicamente il fenomeno. Il giorno 10 Galileo comprese che le posizioni osservate erano spiegabili solo ammettendo che le tre stelline si muovevano attorno al pianeta. La notte del 13, infine, egli scoprì un quarto astro in rotazione attorno a Giove. La scoperta costituiva un'argomentazione a favore del sistema copernicano o, meglio, eliminava quella che da alcuni era considerata un'anomalia, una stonatura nell'elegante architettura eliocentrica: se infatti, per Copernico (1473-1543), il Sole era il nuovo centro dei moti planetari, perché solo la Terra avrebbe dovuto avere un astro, la Luna, che le ruota attorno? I satelliti di Giove dimostravano, al contrario, che anche altri pianeti possono avere astri che ruotano loro attorno ed essere quindi, a loro volta, il centro di moti astrali.

3.1.2.1 IL MICROMETRO

Dopo aver scoperto i satelliti di Giove, Galileo (1564-1642) ne seguì per diversi giorni le evoluzioni. Per misurare con precisione la distanza di ciascun satellite dal pianeta Galileo concepì un dispositivo, detto "micrometro".

Secondo la descrizione di Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), il micrometro constava di un regolo con 20 divisioni uguali. Il dispositivo s'innestava sul cannocchiale e poteva scorrere lungo il suo tubo.

Galileo osservava con un occhio il sistema di Giove al cannocchiale, mentre con l'altro occhio guardava il micrometro illuminato da una lanterna. Regolava poi la distanza del micrometro in modo da far coincidere l'intervallo fra due divisioni della scala graduata col diametro apparente del pianeta.

In questo modo, Galileo sovrapponeva il campo di vista del cannocchiale al micrometro. Egli poteva così misurare la distanza di ciascun satellite dal pianeta in raggi di Giove.

3.1.2.2 IL GIOVILABIO

Nel gennaio del 1610, mentre esplorava il cielo col cannocchiale, Galileo (1564-1642) scoprì quattro stelline che seguivano Giove. Egli giunse presto alla conclusione che si trattava di satelliti del pianeta e si impegnò nel tentativo di stabilirne le orbite e i periodi.

I quattro satelliti orbitano con velocità decrescente dal più interno al più esterno e hanno quasi la stessa luminosità. Era dunque difficile identificarli precisamente e stabilirne i periodi.

Per determinare la posizione dei satelliti senza dover compiere ogni volta i calcoli, Galileo mise a punto uno schema grafico, una sorta di calcolatore analogico, detto *giovilabio*.

Lo schema galileiano riporta in scala Giove e le orbite dei quattro satelliti. Queste sono attraversate da una serie di linee parallele verticali che si succedono a intervalli uguali al raggio di Giove.

All'istante dell'osservazione telescopica, Galileo stimava in raggi gioviani la distanza apparente del satellite dal pianeta. L'intersezione fra la riga verticale corrispondente a questa distanza e il cerchio che rappresenta l'orbita del satellite forniva immediatamente la posizione il cui valore, per mezzo d'un filo, poteva essere letto sulla scala graduata tracciata sul margine esterno.

Tuttavia le posizioni osservate dei satelliti variano al variare della posizione reciproca di Giove e della Terra in conseguenza delle loro rivoluzioni intorno al Sole.

Ad esempio, il momento nel quale dalla terra si vede un satellite transitare sul disco di Giove, è diverso dal momento nel quale lo stesso fenomeno verrebbe osservato dal Sole. Questa differenza dipende dall'angolo Terra-Giove-Sole, la cosiddetta parallasse annua.

Per annullarne l'effetto continuamente variabile, Galileo riferì i moti dei satelliti non alla Terra, ma al Sole, e per evitare i complessi calcoli, ideò un secondo schema grafico, che rappresentava in scala le orbite eliocentriche di Giove e della Terra.

Considerato Giove immobile al momento dell'osservazione, lo strumento presenta una scala graduata su cui individuare la posizione relativa della Terra rispetto a Giove. Il valore della parallasse poteva esser letto immediatamente su un'altra scala graduata.

I due schemi grafici vennero successivamente riuniti in un unico strumento, noto come *giovilabio*.

La posizione di Giove al momento dell'osservazione veniva determinata attraverso un disco girevole. Una lancetta mobile, connessa con un'asta al piatto del *giovilabio*, permetteva di stabilire la posizione della Terra in quello stesso momento. L'asta rappresentava così la congiungente Terra-Giove; ovvero la linea di vista continuamente variabile dell'osservatore.

Il valore della parallasse poteva essere letto direttamente su di una scala situata sul lembo superiore dello strumento, per qualunque posizione della Terra rispetto a Giove.

3.1.2.3 IL CELATONE

Per poter utilizzare i satelliti di Giove come un orologio per determinare la longitudine in mare, osservandoli con un cannocchiale dal ponte di una nave in continuo movimento, Galileo

(1564-1642) escogitò un dispositivo che chiamò *celatone*. Esso consisteva di un elmetto metallico al quale, per mezzo di un'apposita visiera, era fissato un piccolo cannocchiale. La visiera, incernierata ai lati dell'elmetto, poteva essere regolata in modo da allineare l'asse del cannocchiale con l'occhio dell'osservatore. In questo modo, essendo la testa in grado di adeguare continuamente la mira ai repentini movimenti della nave, il pianeta sarebbe stato costantemente inquadrato nel campo del cannocchiale. Successivamente Galileo concepì una diversa soluzione. Egli immaginò un recipiente di forma emisferica, dentro al quale si disponeva il marinaio addetto all'osservazione. Questo contenitore galleggiava sull'olio contenuto in una vasca, anch'essa di forma emisferica e di diametro di poco più grande in modo da minimizzare la quantità di olio occorrente. Il bagno d'olio, come una sospensione cardanica, avrebbe neutralizzato le oscillazioni della nave mantenendo stabile la posizione dell'osservatore.

3.1.3 LE FASI DI VENERE

In una lettera a Giuliano de' Medici (1574-1636), ambasciatore toscano a Praga, datata 11 dicembre 1610, Galileo (1564-1642) annuncia una clamorosa scoperta astronomica per mezzo di un complesso anagramma che Keplero (1571-1630) tenterà invano di sciogliere. L'enigma sarà poi svelato in una lettera del 1° gennaio 1611, sempre a Giuliano de' Medici: la madre degli Amori, cioè Venere, imita le configurazioni di Cinthia, ovvero della Luna. In altri termini, esattamente come la Luna, il pianeta Venere presenta delle fasi.

La scoperta prospettava grandi implicazioni cosmologiche. Nel sistema tolemaico, infatti, ogni pianeta si muoveva su un cerchio, l'epiciclo, il cui centro ruotava su un cerchio più grande, detto deferente, attorno alla Terra, immobile al centro dell'universo. Per spiegare il fatto che Venere e Mercurio non si allontanano mai oltre una certa distanza angolare dal Sole, il modello tolemaico prevedeva che il centro dell'epiciclo avesse un periodo di un anno e fosse sempre centrato sul Sole. I due pianeti si trovavano perciò perennemente al di sotto dell'orbe solare e avrebbero quindi dovuto mostrare il fenomeno delle fasi senza tuttavia andare mai oltre una sottile falce.

Nel sistema copernicano invece il Sole è immobile al centro dell'universo, mentre tutti i pianeti, Terra compresa, gli ruotano attorno. Le orbite di Venere e Mercurio risultano dunque comprese entro l'orbita terrestre. Per questa ragione, dovevano mostrare l'intera gamma delle fasi, che è quello che Galileo riuscì per primo ad osservare.

La scoperta delle fasi di Venere rafforzò la convinzione di Galileo della verità del sistema copernicano.

3.1.4 IL SISTEMA DI SATURNO

Nel 1610 Galileo (1564-1642) osservò Saturno col cannocchiale trovandolo "tricorporeo", composto cioè da un corpo centrale con ai lati due masse minori. Circa due anni dopo Saturno gli apparve invece "solitario" e, nel 1616, Galileo osservò nuovamente la presenza dei due compagni del pianeta, che apparivano però molto mutati rispetto alle prime osservazioni.

Nei decenni successivi molti autorevoli osservatori descrissero Saturno in modi estremamente diversi. Solo nel 1659 Christiaan Huygens (1629-1695) formulò l'ipotesi che il pianeta fosse circondato da un anello che si manteneva sempre parallelo a se stesso. La teoria di Huygens fu contestata dal gesuita Honoré Fabri (1607-1688) secondo il quale Saturno era accompagnato da ben quattro satelliti, due oscuri e due luminosi. I satelliti si sarebbero mossi, a coppie, lungo orbite situate al di là di Saturno, e le loro differenti disposizioni avrebbero reso conto delle apparenze osservate.

Nell'estate del 1660, gli accademici del Cimento, invitati dal Principe Leopoldo (1617-1675) a dirimere la polemica, realizzarono un modellino di Saturno che venne osservato da circa 75 metri di distanza con due cannocchiali di diversa potenza e qualità. La prova dimostrò come in effetti Saturno potesse apparire "tricorporeo": per certe inclinazioni dell'anello le sue parti esterne conservano una dimensione tale da poter essere ancora percepite, mentre quelle in prossimità del pianeta si assottigliano e, se osservate con cannocchiali di potenza insufficiente, scompaiono del tutto.

3.1.5 LE MACCHIE SOLARI

Osservata al telescopio, la superficie solare mostra delle macchie scure, dovute— come oggi sappiamo —a intensi campi magnetici che bloccano i moti convettivi degli strati sottostanti. Ricevendo una minore quantità di energia, queste aree presentano una temperatura inferiore e appaiono quindi più scure.

Thomas Harriot (1560-1621) osservò per primo col telescopio questo fenomeno, che fu divulgato in una pubblicazione da Johann Fabricius (1587-c. 1615) nel 1611.

Galileo (1564-1642) ebbe un'aspra controversia sulla natura delle macchie solari con il gesuita Christoph Scheiner (1573-1650), che, nel 1612, sotto lo pseudonimo di *Apelle nascosto dietro al dipinto*, aveva pubblicato tre lettere sull'argomento. Per salvare il dogma aristotelico dell'immutabilità dei corpi celesti, Scheiner aveva ipotizzato l'esistenza di nugoli di piccoli pianeti orbitanti attorno al Sole, i quali, interponendosi tra questo e la Terra, apparivano come macchie oscure sullo sfondo del disco solare. Galileo riteneva invece che il fenomeno avesse luogo sulla superficie del Sole o nelle sue immediate vicinanze, attribuendo il moto delle macchie da est a ovest alla rotazione dell'astro in un periodo di circa un mese. A sostegno di questa ipotesi, egli addusse numerose prove osservative. Le macchie infatti non mostrano alcuna periodicità e si generano e si dissolvono continuamente, anche in prossimità del centro del disco solare, assumendo forme irregolari e di giorno in giorno mutevoli. Inoltre, il movimento di un pianeta orbitante a grande distanza dal Sole dovrebbe procedere sullo sfondo di questo con velocità pressoché costante. Galileo, al contrario, aveva osservato un rallentamento delle macchie a mano a mano che esse si avvicinano al bordo del Sole, in perfetto accordo con l'ipotesi della loro contiguità alla superficie dell'astro.

3.1.5.1 L'ELIOSCOPIO

Alcuni tra i pionieri dell'osservazione telescopica eseguirono osservazioni sistematiche del sole direttamente col telescopio privo di qualunque protezione, procurandosi danni spesso irreparabili alla vista.

Galileo (1564-1642) adottò invece un metodo ideato dal suo allievo Benedetto Castelli (1577/8-1643) che consiste nel proiettare per mezzo del telescopio l'immagine del sole su un foglio di carta situato a circa un metro dall'oculare. Per aumentare il contrasto dell'immagine è consigliabile oscurare la stanza o almeno applicare sul tubo dello strumento un ampio schermo di cartone che attenui la luce proveniente direttamente dal sole. Il metodo, efficace e del tutto sicuro, permetteva così di disegnare con grande esattezza direttamente sul foglio le macchie solari. A questo scopo Galileo tracciava un cerchio sul foglio che situava ad una distanza dall'oculare del telescopio tale che le dimensioni dell'immagine del bordo solare coincidessero esattamente con quelle del cerchio precedentemente tracciato. L'immagine così ottenuta è però specularmente invertita e per ottenere una rappresentazione corretta del disco solare era necessario disporre il

foglio frontalmente, ribaltarlo verticalmente e quindi lucidarlo ossia ricalcarlo in controluce su un altro foglio.

Il metodo della proiezione, che avrà in seguito larga diffusione, fu adottato anche da Christoph Scheiner (1573-1650) che migliorò sensibilmente l'apparato fornendolo di un piano di appoggio per il foglio solidale con il cannocchiale e, soprattutto, introducendo un nuovo tipo di montatura, oggi nota come montatura equatoriale, che permetteva, una volta centrato il sole nel campo dello strumento, di seguire l'astro nel suo moto diurno muovendo un solo asse.

3.1.6 LE STELLE E LA VIA LATTEA

Per mezzo del telescopio Galileo (1564-1642) scoprì l'esistenza di una quantità di stelle ben maggiore di quelle osservabili a occhio nudo. Nel suo *Sidereus Nuncius* (Venezia, 1610) egli inserì due incisioni: una della zona della cintura e della spada di Orione, che, oltre a quelle già note, individua 80 nuove stelle; l'altra delle Pleiadi, con 30 stelle invisibili a occhio nudo.

Per secoli i filosofi si erano impegnati in accanite dispute per stabilire la vera natura della Via Lattea, che Galileo svelò con la forza della «sensata esperienza». Grazie al telescopio, infatti, egli dimostrò che essa è un ammasso di innumerevoli stelle, che non è possibile distinguere singolarmente a occhio nudo.

3.2 LE PRESTAZIONI DEL TELESCOPIO

L'elemento che maggiormente caratterizza un telescopio è la sua apertura, cioè il diametro utile dell'obiettivo, che ne determina potenza e prestazioni. È infatti dall'apertura che dipendono sia la luminosità degli astri più deboli che il telescopio è in grado di mostrare, la cosiddetta **magnitudine limite**, sia il **potere risolutivo**, cioè la dimensione dei dettagli più piccoli che attraverso lo strumento è possibile discernere. Forzare l'ingrandimento di un telescopio oltre i limiti imposti dalla sua apertura non solo non consente di discernere dettagli di dimensioni inferiori al suo potere risolutore, ma, al contrario, rende le immagini scure e confuse.

L'INGRANDIMENTO

In un telescopio, l'ingrandimento — dato dal rapporto numerico tra la lunghezza focale dell'obiettivo e quella dell'oculare — può essere spinto fino a valori altissimi adottando obiettivi di grande lunghezza focale abbinati a oculari di focale cortissima (i moderni oculari sono intercambiabili e hanno focali anche di soli 4 mm). Tuttavia, esasperare l'ingrandimento oltre un certo limite provoca soltanto un deterioramento della qualità delle immagini. A parità di apertura, i telescopi rifrattori supportano ingrandimenti massimi più spinti dei riflettori, che, avendo di norma lo specchio primario parzialmente ostruito dal secondario, hanno un'apertura effettiva inferiore a quella teorica. L'ingrandimento massimo effettivo generalmente adottato, per aperture comprese tra i 6 e i 100 cm, è $I = 100 \sqrt{D - 3}$ per i rifrattori, e $I = 70 \sqrt{D - 1}$ per i riflettori, dove D è l'apertura espressa in centimetri.

Per contro, esiste, per una data apertura, un ingrandimento minimo, il cosiddetto **ingrandimento risolvibile**, al di sotto del quale non sarà possibile distinguere tutti i dettagli potenzialmente rilevabili. Tale ingrandimento — che dipende sostanzialmente dal potere risolutore dell'occhio, variabile da soggetto a soggetto e a seconda delle condizioni di luce, contrasto ecc. — può essere considerato uguale alla metà dell'apertura espressa in millimetri.

LA MAGNITUDINE LIMITE

L'obiettivo funge da collettore di luce, e quanto maggiori sono le sue dimensioni, tanta più luce esso è in grado di raccogliere e di convogliare verso il fuoco, e tanto più deboli sono quindi gli astri che esso riesce a mostrare. La quantità di luce intercettata dall'obiettivo è proporzionale alla sua superficie e, quindi, al quadrato dell'apertura: un obiettivo, ad esempio, di 10 cm di diametro raccoglie quattro volte la luce di un obiettivo di 5 cm, il quale, a sua volta, raccoglie circa 50 volte la luce dell'occhio umano, la cui pupilla, nell'oscurità, ha un diametro di circa 7 mm. Ciò significa che se a occhio nudo si possono osservare stelle fino alla 6a magnitudine (la luminosità degli astri è misurata in magnitudini, in una scala nella quale a numeri più alti corrispondono luminosità minori), con un telescopio di 5 cm di apertura si vedranno stelle fino alla magnitudine 10,3 e fino alla magnitudine 11,8 con un telescopio di 10 cm.

IL POTERE RISOLUTIVO

Il potere risolutivo (o separatore) di un telescopio può essere definito come la distanza angolare minima che due stelle debbono presentare per poter essere distinguibili come astri distinti, in maniera tale che tra di loro sia ancora percepibile una sottilissima divisione scura. Il suo valore è fornito dalla formula $Pr = 12 / D$, dove Pr è il potere risolutivo espresso in secondi d'arco e D è l'apertura espressa in centimetri. Un obiettivo di 15 cm di apertura, ad esempio, può separare due stelle che hanno una distanza angolare di $0",8$ ($= 12 / 15$). Se con esso si osservano due stelle che hanno una distanza apparente inferiore a tale valore, per quanto si aumenti l'ingrandimento, esse appariranno come un unico corpo, tutt'al più oblungo o a forma di otto (un espediente cui si fa ricorso per individuare le stelle doppie che hanno una separazione inferiore al potere di risoluzione dello strumento adoperato).