



Laurea triennale in Fisica
a.a. 2016 - 2017

CORSO DI ASTRONOMIA

LEZIONE 6

Effetto fionda

Il passaggio ravvicinato di una sonda ad un pianeta modifica la velocità della sonda.



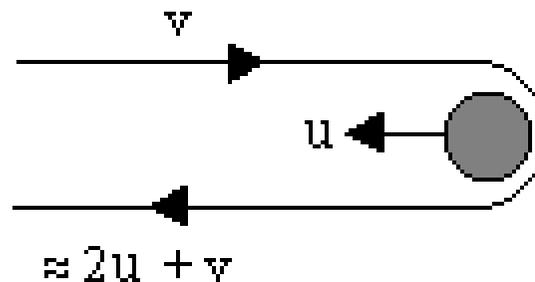
Effetto fionda

Una forma estrema della manovra sarebbe quella di avvicinarsi al pianeta di fronte ad una velocità v , mentre il pianeta si muove direttamente verso di noi a una velocità u (entrambe le velocità misurate rispetto al Sole).

Se la traiettoria è quella giusta e passiamo dietro al pianeta in un'orbita molto eccentrica (iperbolica), facendo un giro a 180° l'effetto netto è quasi come se rimbalzassimo sulla parte anteriore del pianeta.

Rispetto al pianeta ci siamo avvicinati alla velocità $u + v$, e quindi ce ne dovremmo andare alla velocità $u + v$, ma rispetto al Sole il pianeta è ancora in movimento a (quasi) la velocità u , per cui, sempre rispetto al Sole ce ne andremo a $2u + v$.

Questo è esattamente come una palla da biliardo molto piccola che rimbalza su una molto grande.



Effetto fionda

Per essere un po' più precisi, la conservazione dell'energia cinetica e della quantità di moto prima e dopo l'interazione richiede che:

$$\begin{cases} Mu_1^2 + mv_1^2 = Mu_2^2 + mv_2^2 \\ Mu_1 - mv_1 = Mu_2 - mv_2 \end{cases}$$

Gli indici 1 e 2 denotano le quantità prima e dopo l'interazione con il pianeta.

$$v_2 = \frac{(M - m)v_1 + 2Mu_1}{M + m} = \frac{\left(1 - \frac{m}{M}\right)v_1 + 2u_1}{1 + \frac{m}{M}}$$

Poiché il rapporto m/M è praticamente zero (la sonda ha una massa trascurabile in confronto a quella di un pianeta), questa si riduce

$$v_2 = v_1 + 2u_1$$

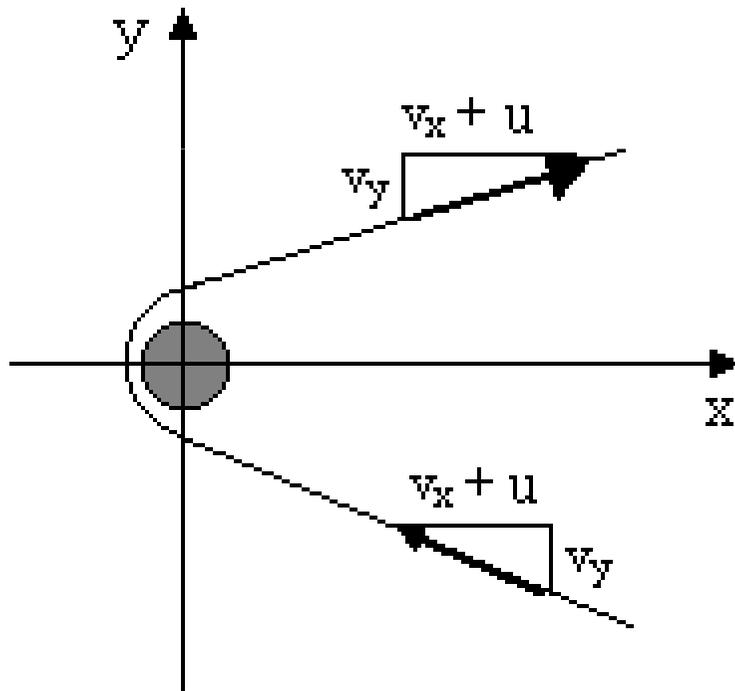
Effetto fionda

La maggior parte dei *fly-bys* planetari non sono inversioni frontali.

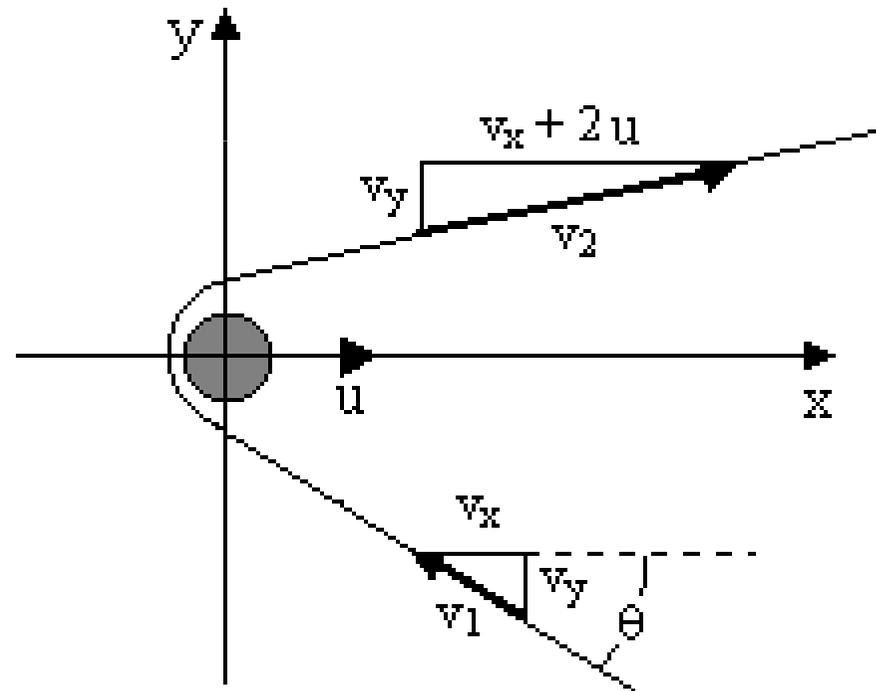
Gli stessi principi si applicano però per qualsiasi angolo di interazione.

Poniamo la direzione del moto del pianeta come asse x e la direzione perpendicolare (definisce il piano orbitale) come l'asse y .

La sonda è inizialmente in movimento con una velocità v rispetto al riferimento solidale con il Sole, in una direzione che si avvicina il pianeta in arrivo a un angolo θ .



Moto rispetto al pianeta



Moto rispetto al sole

Effetto fionda

Disegnando il parallelogramma delle velocità per la sonda e il pianeta e supponendo che l'orbita sia simmetrica rispetto all'asse x (nel sistema del pianeta), il vettore velocità iniziale della sonda rispetto Sole è:

$$\begin{cases} v_{1x} = -v_1 \cos \theta \\ v_{1y} = v_1 \sin \theta \end{cases}$$

ed il vettore velocità finale è:

$$\begin{cases} v_{2x} = v_1 \cos \theta + 2u \\ v_{2y} = v_1 \sin \theta \end{cases}$$

La velocità finale è:

$$\begin{aligned} v_2 &= \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} = \sqrt{(v_1 \cos \theta + 2u)^2 + (v_1 \sin \theta)^2} = \sqrt{v_1^2 + 4u^2 + 4v_1 u \cos \theta} = \\ &= \sqrt{v_1^2 + 4u^2 + 4v_1 u \cos \theta \pm 4v_1 u} = \sqrt{(v_1 + 2u)^2 - 4v_1 u (1 - \cos \theta)} \end{aligned}$$

Che possiamo scrivere nella forma:

$$v_2 = (v_1 + 2u) \sqrt{1 - \frac{4v_1 u (1 - \cos \theta)}{(v_1 + 2u)^2}}$$

Effetto fionda

Se per esempio la velocità della sonda fosse proprio uguale a quella del pianeta ($v_1 = u$) si avrebbe:

$$v_2 = v_1 \sqrt{5 + 4 \cos \theta}$$

Che nel caso $\theta = 0$ darebbe il risultato precedente.

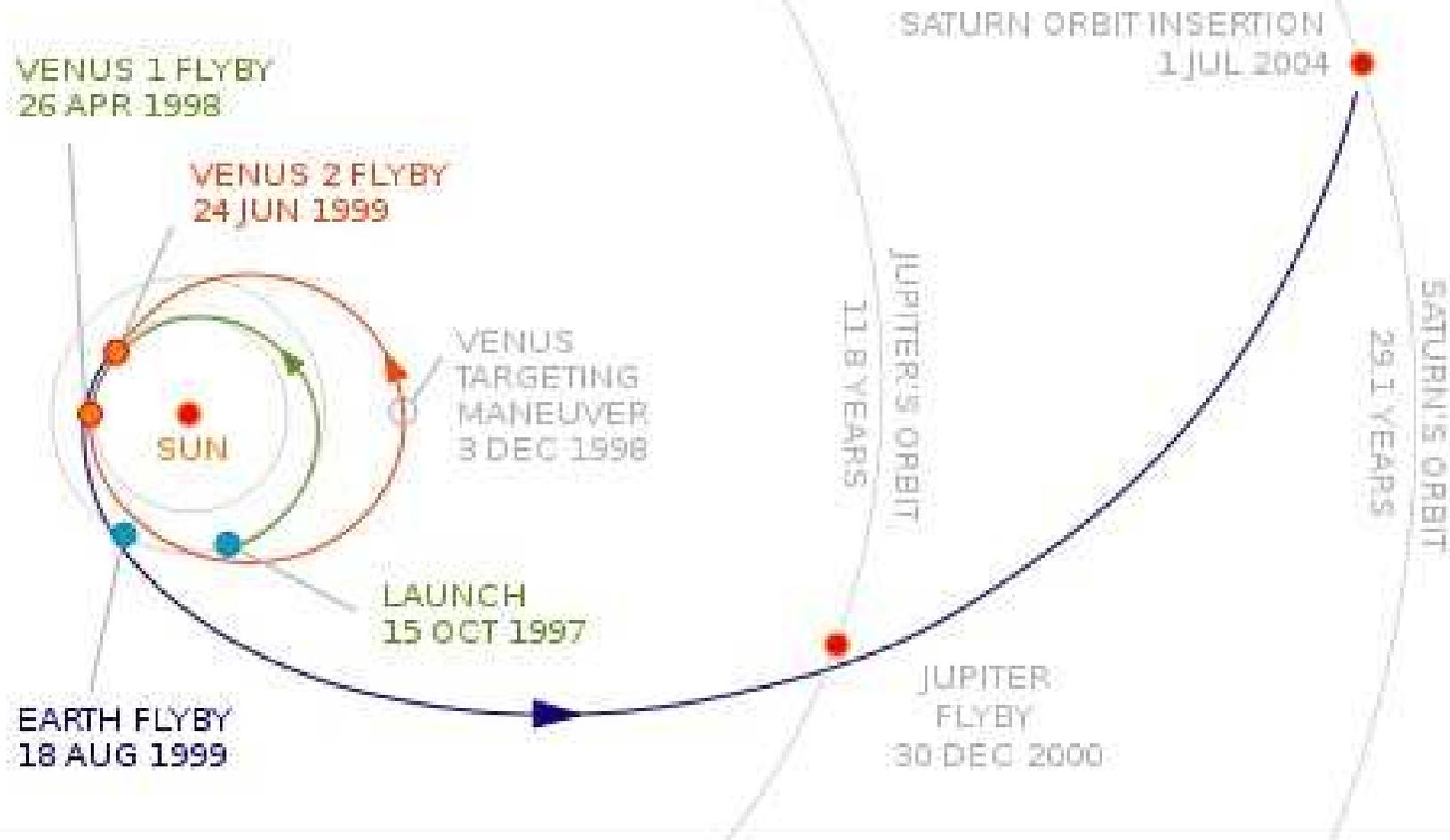
Un caso più realistico è quello in cui la sonda si avvicina al pianeta in direzione quasi perpendicolare al percorso del pianeta (vale a dire $\theta = 90^\circ$). In questo caso la sonda subisce una deviazione che forma un angolo di $26,56^\circ$ con la direzione del pianeta e la nuova velocità finale la velocità è

$$v_2 = v_1 \sqrt{5} \approx 2,24v_1$$

Al giorno d'oggi quasi tutte le missioni spaziali subiscono effetti di fionda gravitazionale per raggiungere le proprie mete.

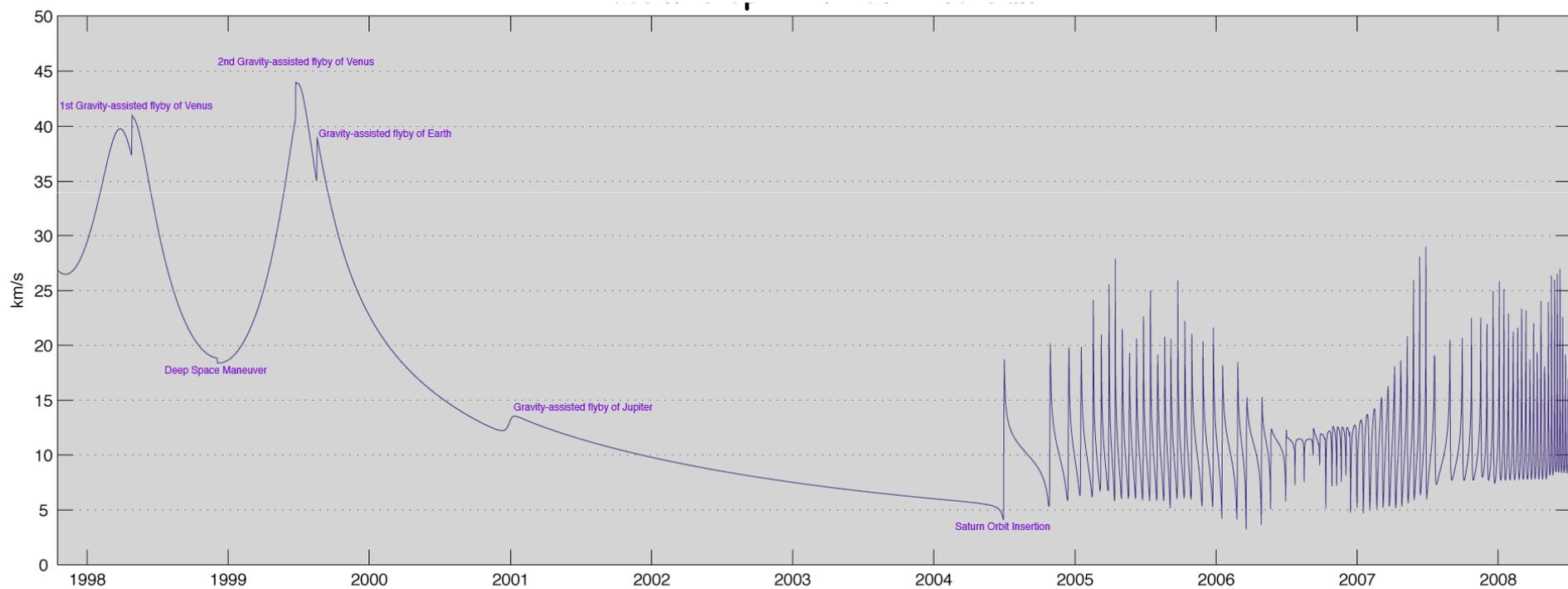
Effetto fionda

Orbita di trasferimento della sonda Cassini verso Saturno

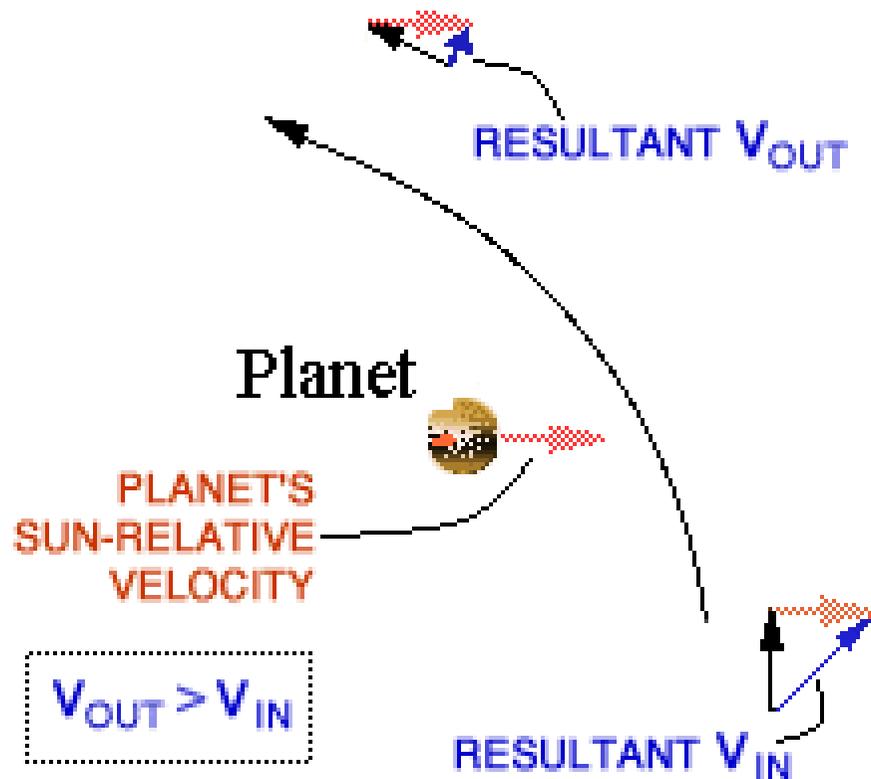


Effetto fionda

Velocità della sonda Cassini



Effetto frenamento

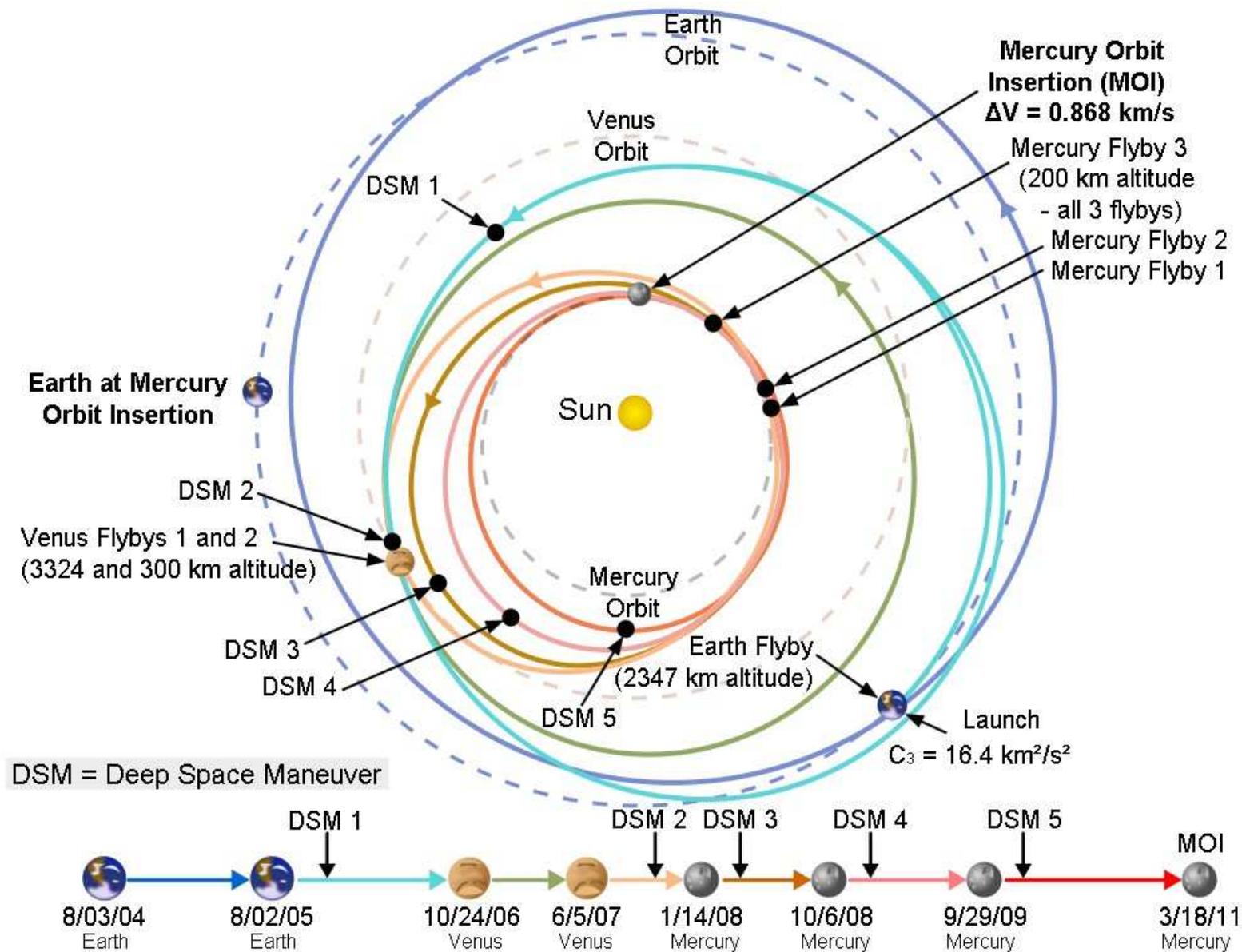


Se la sonda si avvicina al pianeta “passandogli davanti” si può dimostrare che la velocità finale rispetto al Sole diminuisce producendo un effetto di frenamento.

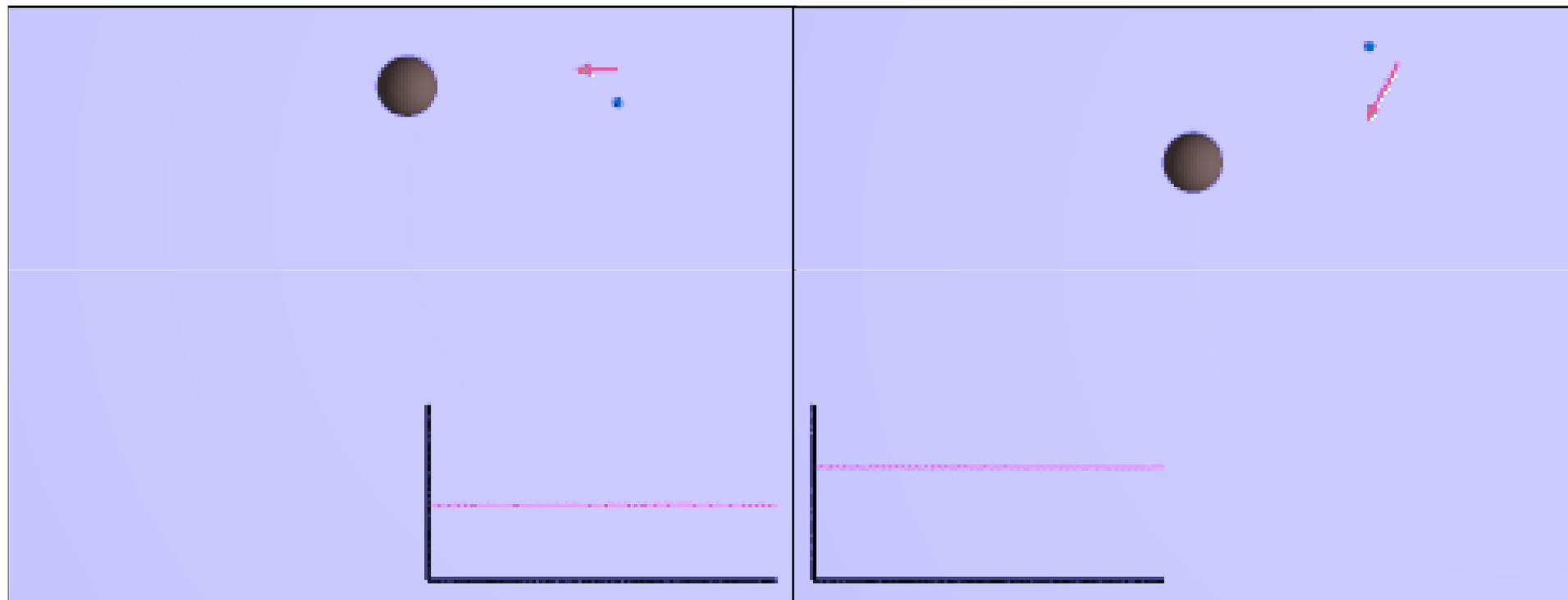
Se le condizioni sono giuste la sonda può anche essere messa in orbita ellittica attorno al pianeta.

Effetto fionda

Orbita di trasferimento della sonda Messenger



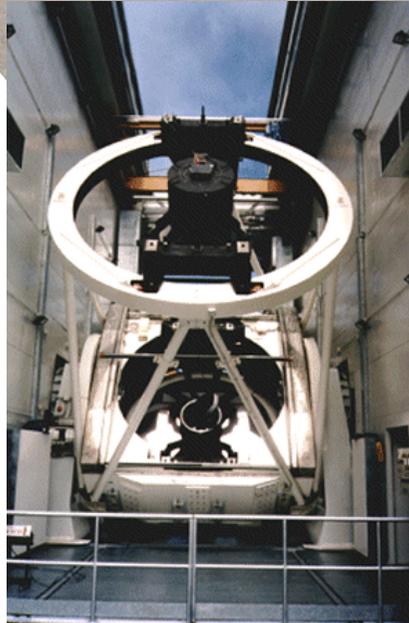
Effetto fionda



I TELESCOPI

Il telescopio

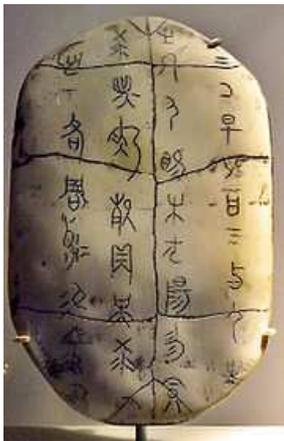
dal greco **TÊLE** (*lontano*) + **SKÓPIOS** (*guardare*)
= strumento per osservare oggetti lontani



Un po' di storia

L'uomo osserva il cielo con curiosità e stupore, ma anche con interesse “scientifico” da migliaia di anni; non si sa quando sia nata l'astronomia, probabilmente con l'uomo.

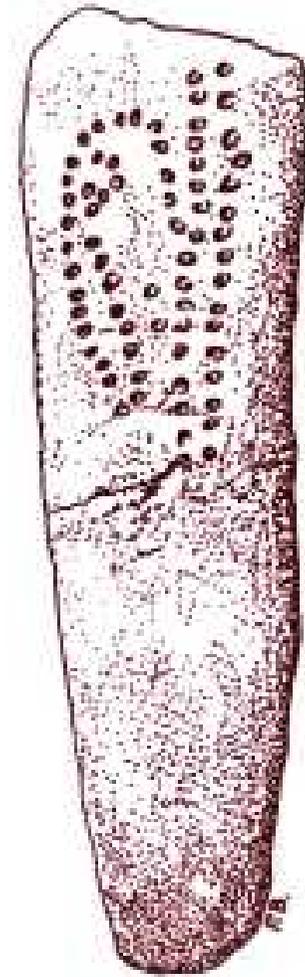
Di certo già 30 000 anni fa qualcuno si prendeva la briga di annotare su un osso le fasi lunari, circa 5 000 anni fa in Europa si costruivano osservatori, o in Cina 4 000 anni fa venivano incisi su gusci di tartaruga segni celesti.



Un guscio di tartaruga risalente alla dinastia Shang (1600 a.C. – 1046 a.C.)



Una veduta del monumento megalitico di Stonehenge



L'“Osso di Blanchard”, proviene da Abri Blanchard, in Francia, riporta 69 incisioni fatte probabilmente da un uomo di Cro-Magnon circa 30.000 anni fa.

Un po' di storia

Plinio il Vecchio, nel I secolo dopo Cristo, nella sua *Storia Naturale*, dice che i Fenici scoprirono accidentalmente il vetro. Narra infatti che alcuni mercanti approdati sulle rive del fiume Belos in Palestina non trovando una pietra su cui appoggiare il cibo per scaldarlo al fuoco usarono blocchi di salnitro che avevano nel carico della nave; il salnitro esposto al calore del fuoco si sciolse sulla sabbia ricca di quarzo della riva e generò rivoli di un liquido sconosciuto che si solidificò in bolle trasparenti; il vetro appunto.

I Greci (Euclide, Archimede, Tolomeo) studiarono la rifrazione delle immagini attraverso aria e liquidi; scoprirono così che bolle di liquido potevano ingrandire l'immagine di oggetti cui fossero applicate.

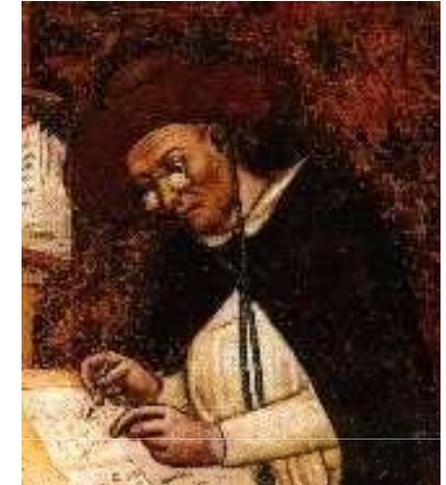
Si dice che nel porto di Alessandria, su una torre alta 100 m, usassero degli specchi sferici per osservare immagini ingrandite delle navi in avvicinamento per guidarle con la luce concentrata di grandi fuochi.

Secondo una tradizione riportata da Galeno questi stessi specchi avevano anche la funzione di specchi ustori (furono utilizzati da Archimede nell'assedio di Siracusa).

Un po' di storia

Ruggero Bacone nel XIII secolo riporta nell'*Opus Maius*:
“Se le lettere di un libro o qualche oggetto minuto sono visti attraverso un segmento di una sfera di vetro o cristallo che su di essi sia appoggiato, essi saranno visti meglio e ingranditi [...] possiamo dare forma a segmenti di sfere trasparenti e disporli rispetto all'occhio e all'oggetto da osservare in modo che i raggi siano rifratti e deviati come si scelga; [...] e possiamo leggere piccolissime lettere da incredibili distanze [...] il Sole e la Luna e le stelle possono essere fatti apparire discendere verso di noi [...].

Probabilmente le prime lenti furono costruite a Venezia, ma l'arte della loro costruzione fu divulgata a Firenze verso la fine del XIII secolo.



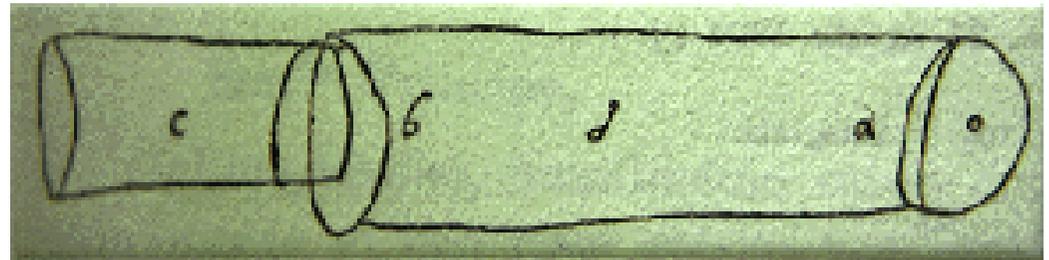
Dettaglio del ritratto di Ugone di Provenza, dipinto da Tommaso da Modena nel 1352. E' la prima volta che vengono rappresentati gli occhiali.

Un po' di storia

Nei manoscritti di Leonardo da Vinci si legge:
«Fa occhiali da vedere la luna grande»

Gerolamo Fracastoro (1478–1553) nel suo *Homocentricorum* parla di accoppiamenti di lenti.

Gian Battista della Porta (1535–1615) nel suo *Magia Naturalis* (1558) specifica che le lenti devono essere l'una concava e l'altra convessa, e secondo tali indicazioni erano stati costruiti cannocchiali verso la fine del 1500.



La più antica illustrazione di un telescopio che si conosca è di Giovanbattista della Porta, la inserì in una lettera che scrisse nell'agosto 1609.

Il telescopio

Il 25 settembre 1608 venne presentata una richiesta di brevetto agli Stati Generali d'Olanda da parte di Hans Lippershey, nato a Wesel e abitante a Middleburg.

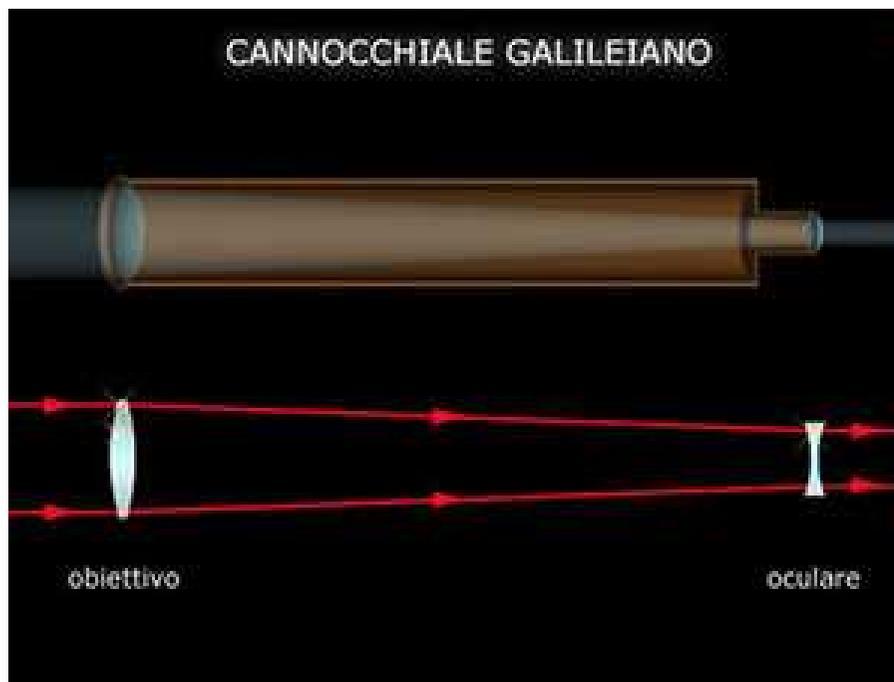
“[...] inventore di uno strumento per vedere a distanza, come verificato da questi Stati, che detto strumento venga mantenuto riservato e che a lui venga garantito il privilegio di esclusiva per trent'anni affinché a nessuno venga permesso di imitarlo, o che invece gli venga garantita una pensione annua che gli permetta di costruire tali strumenti per l'uso di questo paese soltanto, senza venderlo a re o principi stranieri. È stato deciso che l'Assemblea nomini un comitato che prenda contatto con il richiedente circa la detta invenzione, investigando se non gli sia possibile migliorare lo strumento rendendo possibile il suo uso con i due occhi insieme, ed inoltre quale sia la cifra di remunerazione che sarebbe di suo gradimento. A seguito di un rapporto su tali questioni, sarà deliberato se sia opportuno garantire al richiedente una remunerazione o un privilegio. “



Galileo

Nella primavera del 1609 Galileo Galilei viene a conoscenza di un nuovo strumento costruito in Olanda e ne ottiene un esemplare.

Apporta significativi miglioramenti allo strumento e contribuirà in modo determinante alla rivoluzione scientifica del 1600.

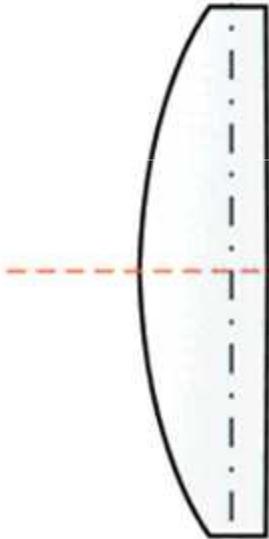


*Obiettivo del cannocchiale con il quale Galileo scoprì i satelliti di Giove
(Firenze, Museo Galileo)*

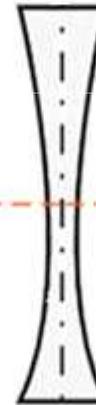
Diametro obiettivo (mm)	15,0
Diametro oculare (mm)	15,0
Distanza focale obiettivo (mm)	980
Distanza focale oculare (mm)	-47,5
Ingrandimenti	20,6
Magnitudine limite visuale teorica	7,7

Il telescopio

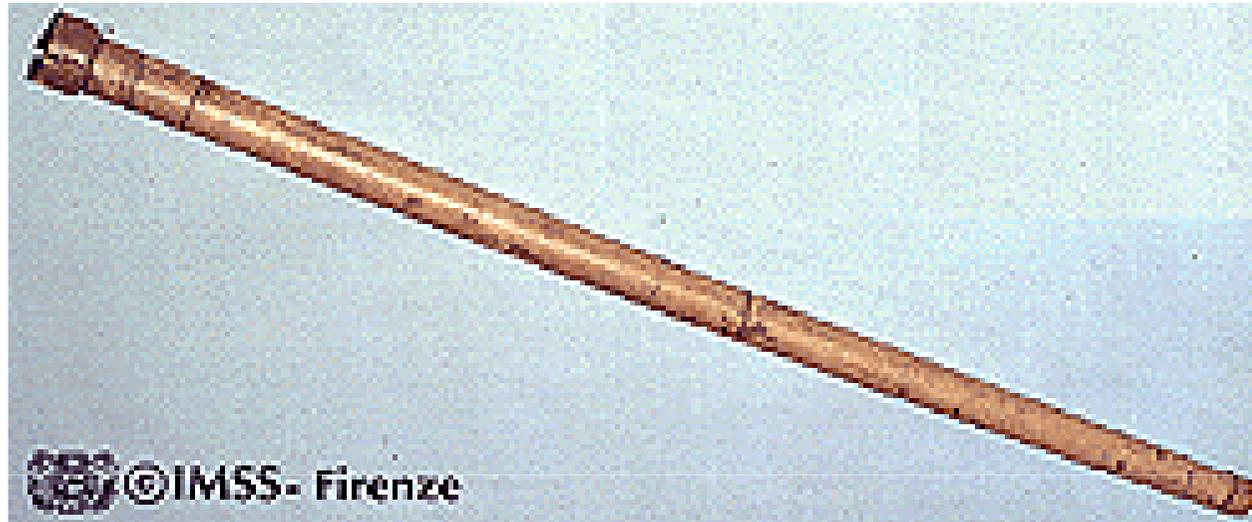
Lente obbiettiva
convergente



Lente oculare
divergente



Galileo



Il tubo di legno ricoperto di carta, contiene una lente obbiettivo biconvessa e un oculare piano concavo. Ha capacità di ingrandimento di 14 volte. La lente obbiettivo di questo cannocchiale ha distanza focale di 1330mm e apertura utile di 26mm.

Il tubo di legno è ricoperto di pelle rossa con fregi in oro. L'obbiettivo è biconvesso e l'oculare biconcavo. Ha capacità di ingrandimento di 21 volte. La lente obbiettivo ha apertura utile di 16mm e



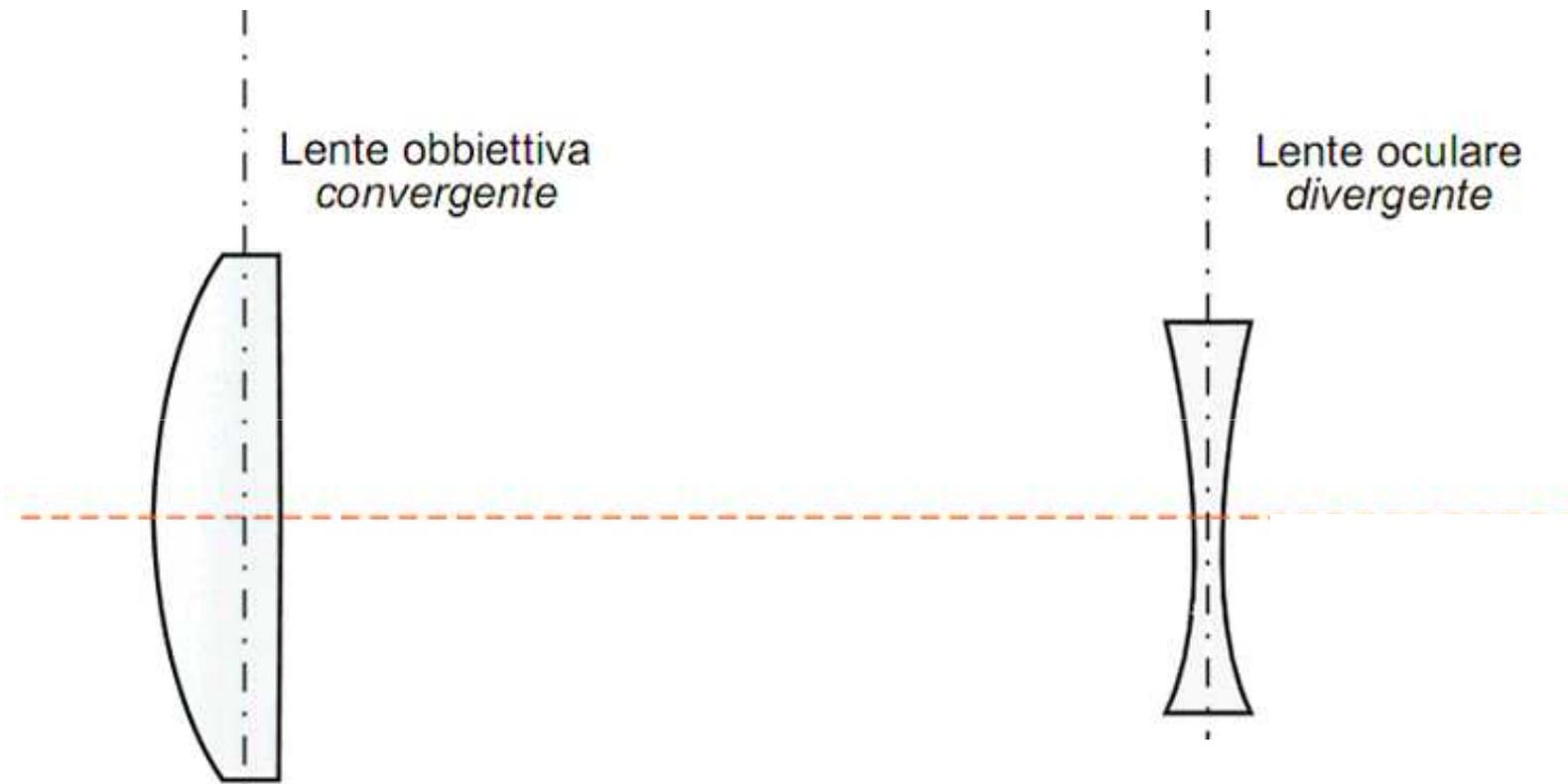
Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori



In occasione dell'Anno Internazionale dell'Astronomia (2009), l'Associazione Astrofili "Crab Nebula" di Tolentino ha realizzato un telescopio simile a quelli che utilizzava Galileo Galilei per le sue prime osservazioni.

Il telescopio è stato interamente costruito da Cleto Rimatori su indicazioni del prof. Angelo Angeletti ricavate dall'analisi dei testi di Galileo e dalle pubblicazioni degli studi fatti sui due strumenti conservati presso il Museo Galileo di Firenze.

Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori



Schema

Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori

Le fasi della costruzione

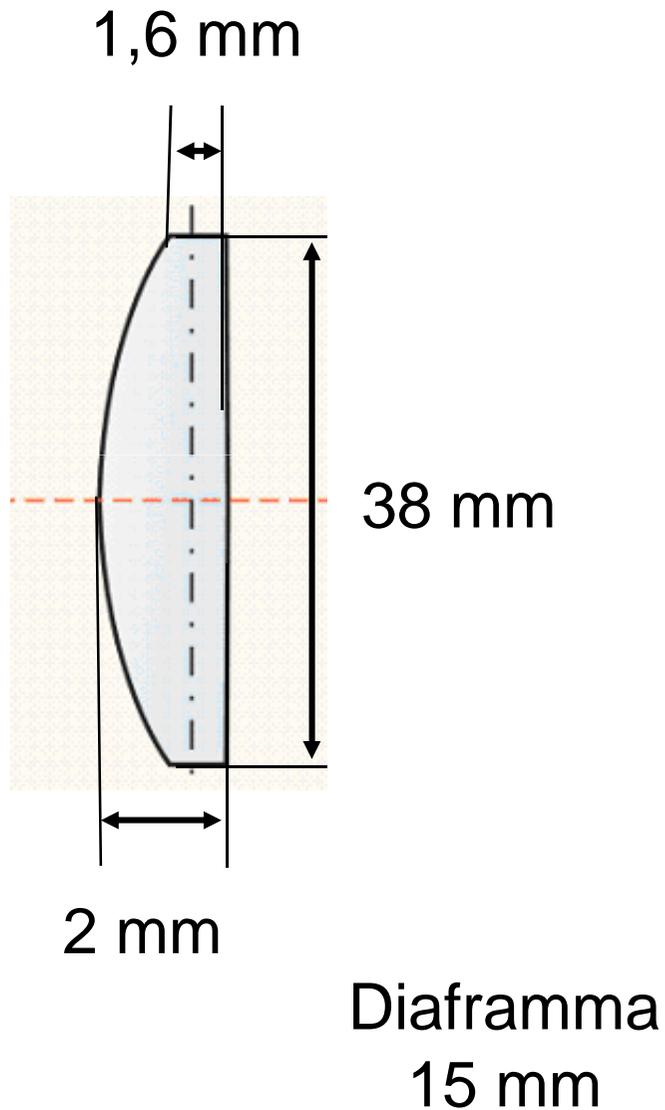
Scelta del vetro

Lavorazione della lente obiettivo e della lente oculare

Assemblaggio

Test

Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori

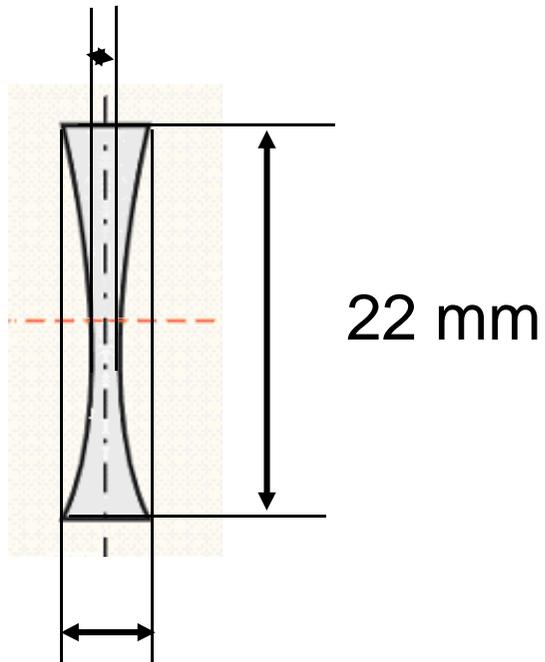


Distanza focale: $F = 980$ mm



Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori

1,6 mm

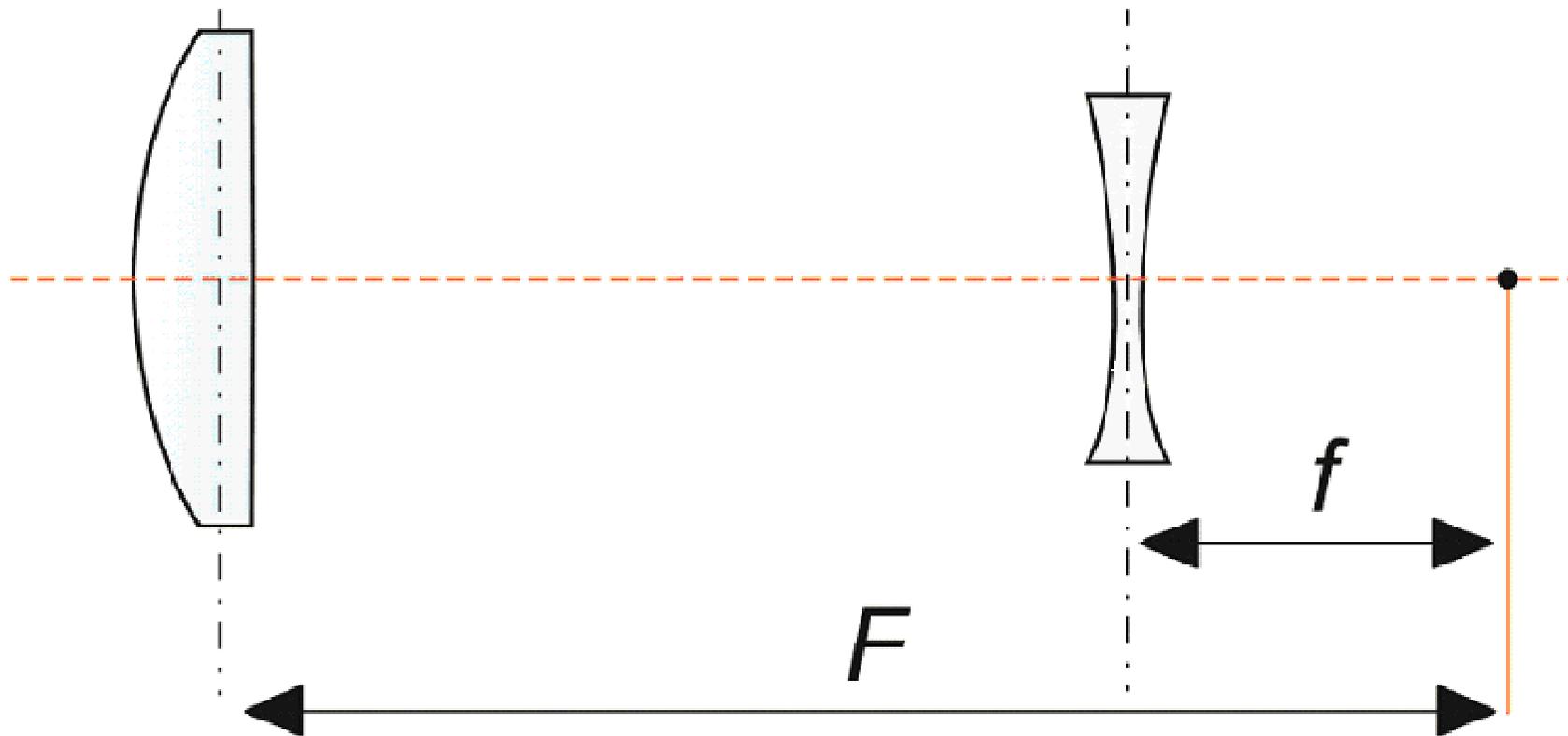


2 mm

Distanza focale: $f = 47,5$ mm



Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori



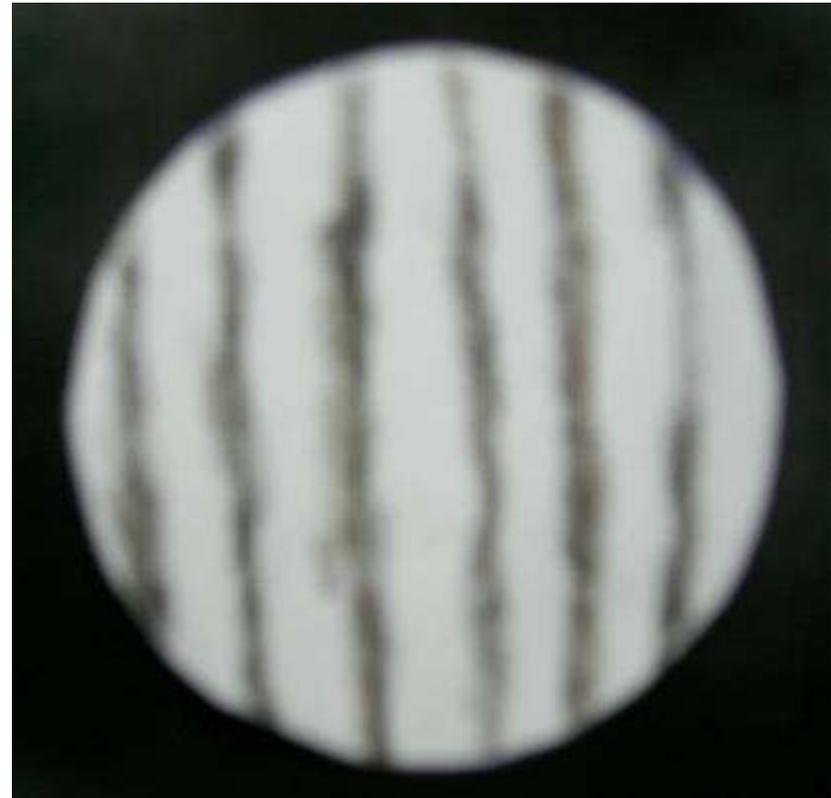
Il telescopio produce circa 21 ingrandimenti

Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori

Le lenti sono state lavorate cercando di riprodurne anche la qualità ottica.

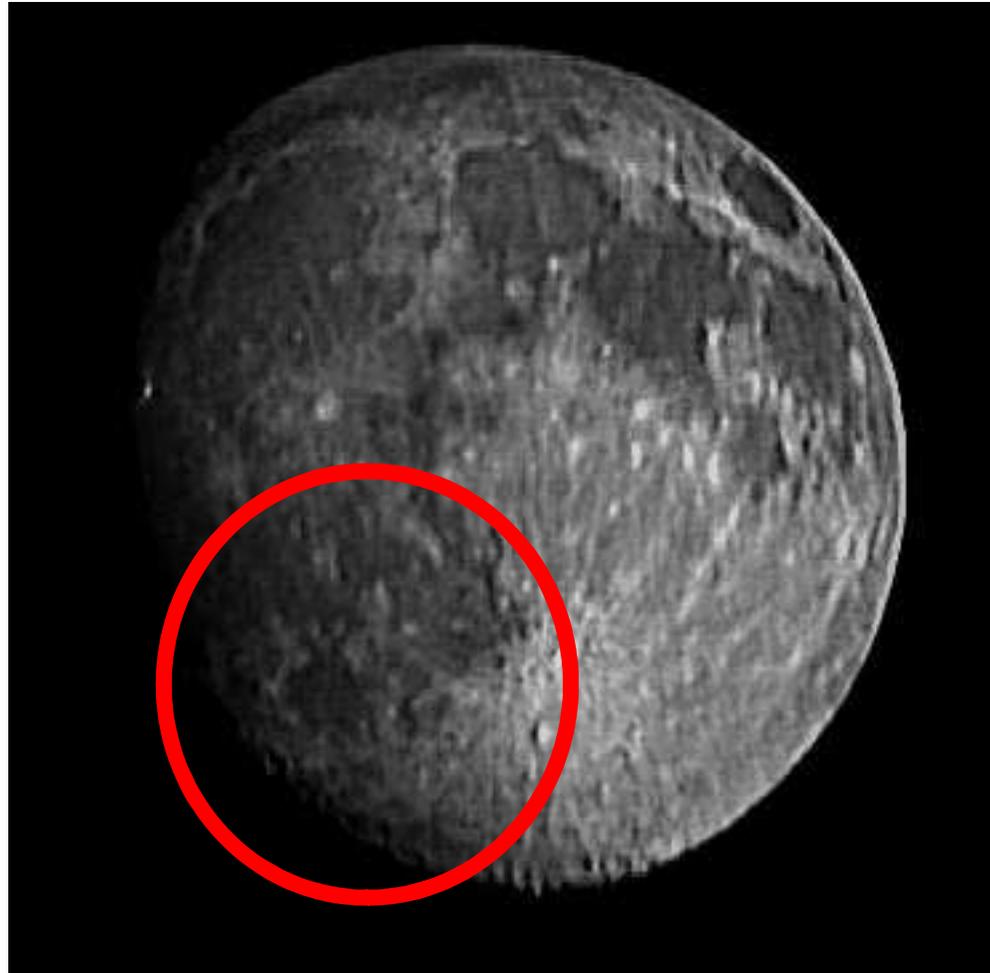


Obiettivo Galileo



Obiettivo Cleto

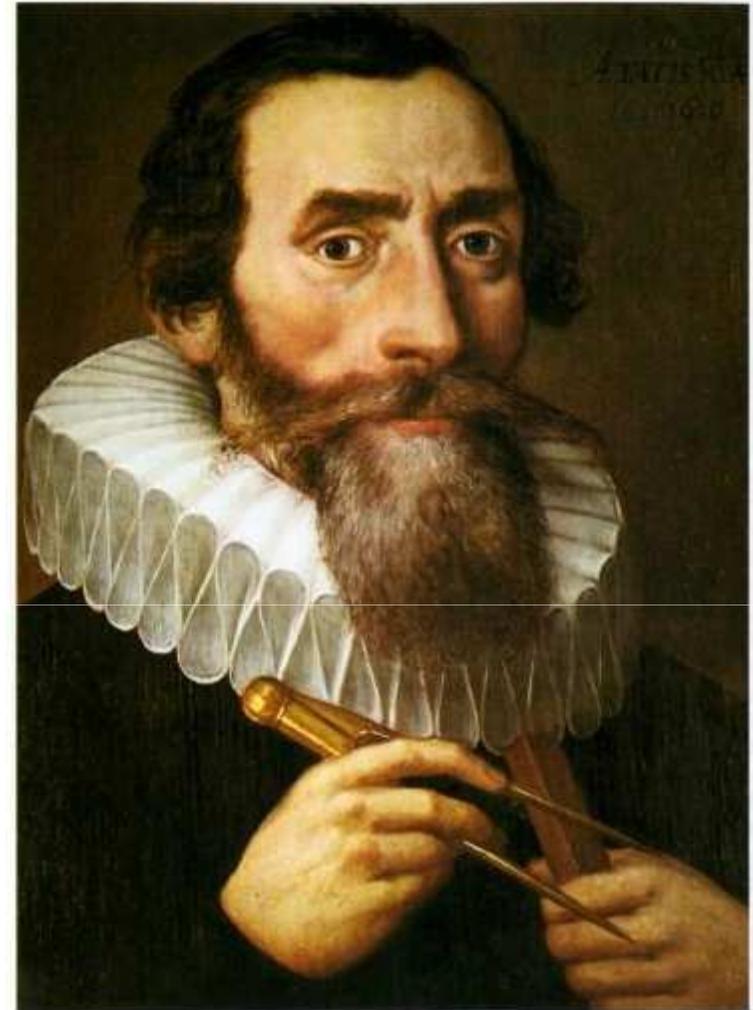
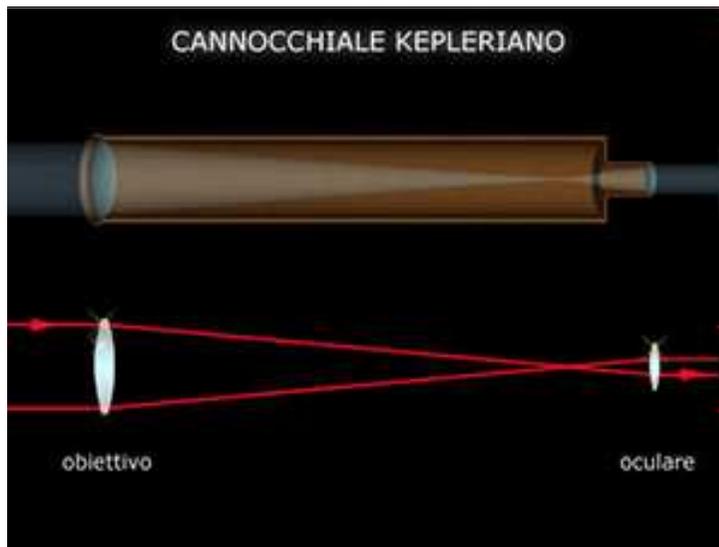
Il cannocchiale galileiano di Cleto Rimatori



Il campo inquadrato visualmente: circa 15'

Keplero

Nella primavera del 1611 Keplero pubblica il *Dioptrice*, dove descrive il suo modello di telescopio.



Keplero

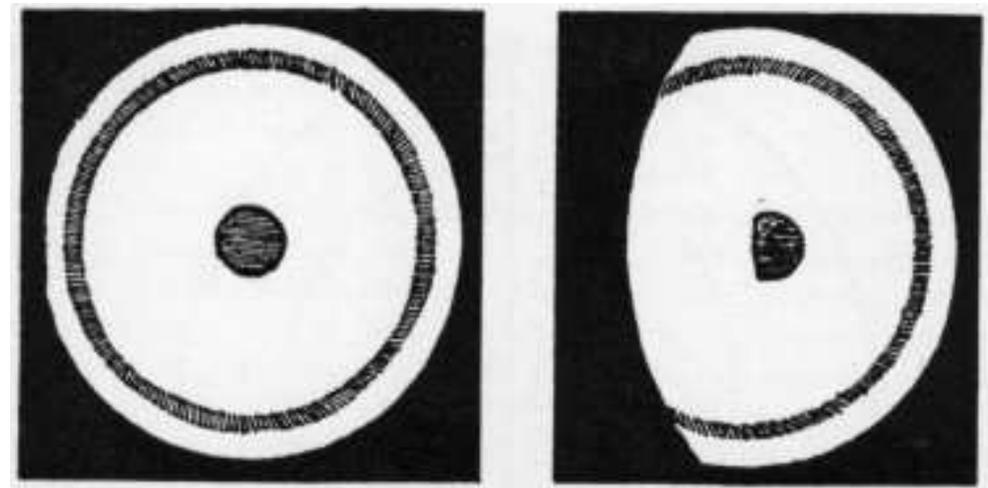
Tra i primi a far uso dello schema kepleriano ci sono il gesuita Christopher Scheiner nel 1623 e in seguito, nel 1629, anche il napoletano Francesco Fontana.



Padre Scheiner



Francesco Fontana



Primo disegno di Marte effettuato da Francesco Fontana

Il telescopio

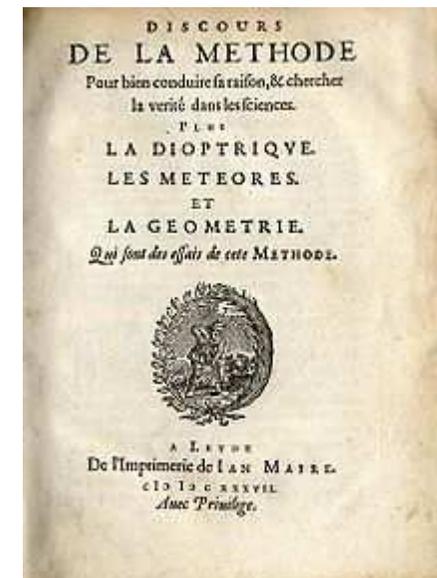
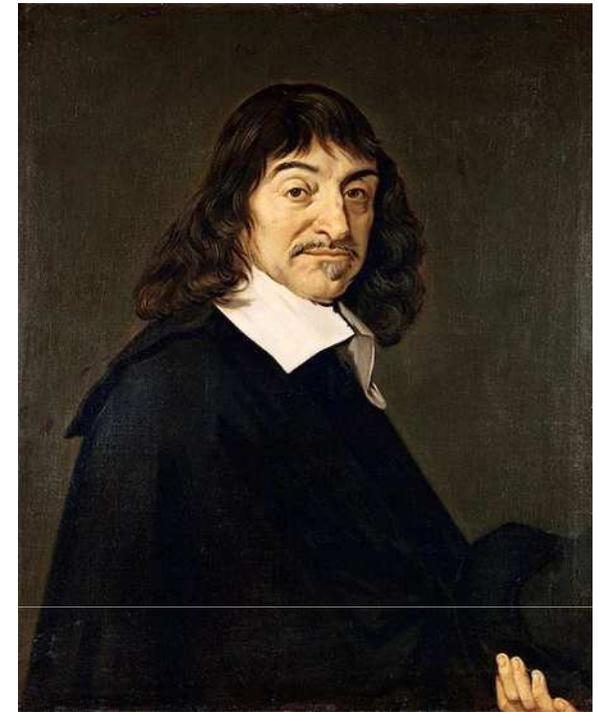
Dopo Galileo il principale contributo al perfezionamento delle lenti si ebbe nel 1637 con la pubblicazione del *Dioptrique* da parte di Cartesio.

Le imperfezioni delle lenti (aberrazioni cromatica e sferica) sono legate alla differenza di spessore dovuta alla curvatura.

Allungando la focale della lente si riducono entrambi.

Cartesio propose diversi progetti per completamente esenti da aberrazioni sferiche, ma non erano, all'epoca, tecnologicamente realizzabili.

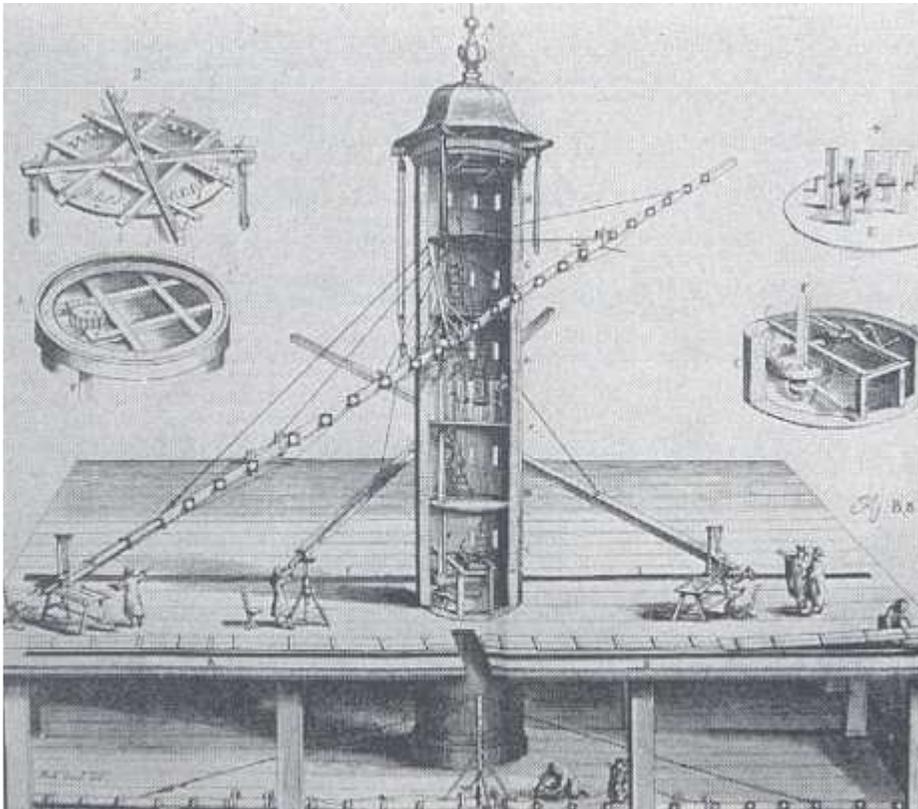
Bisognerà aspettare circa un secolo.



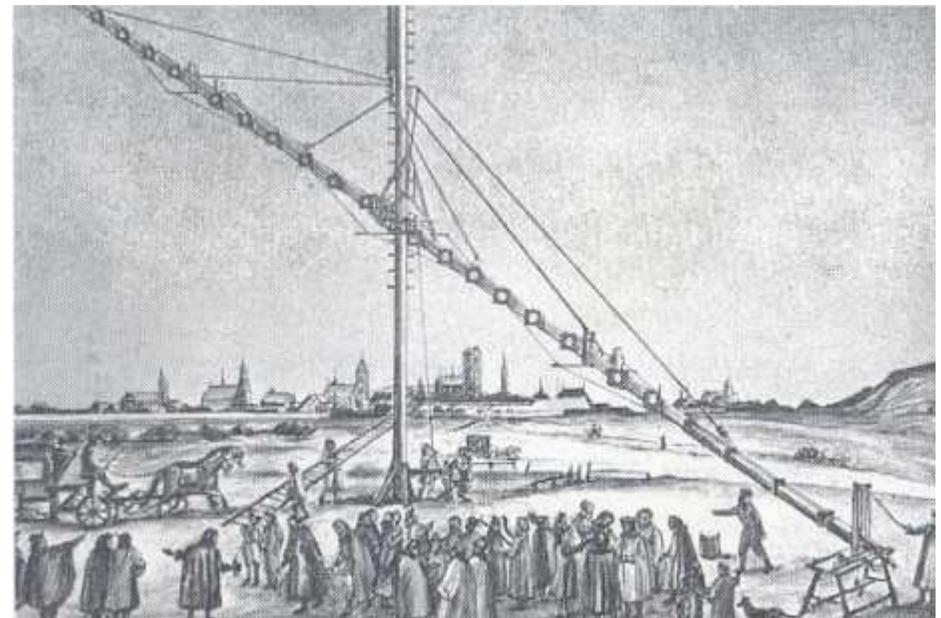
Il telescopio

Hevelius (1611 – 1687) costruisce un telescopio con un obiettivo a due lenti (l'idea è però di De Rheita (1597 – 1660)) e i suoi telescopi, visti i risultati che ottiene, sono senz'altro migliori dei precedenti.

Generalmente utilizzò strumenti di 5 cm di diametro e di 2 m di lunghezza focale, ma ne costruì di 10 e 20 m arrivando fino a 50 m di focale.



I cannocchiali di Hevelius, in basso quello da 50 m.



Il telescopio



Mappa della Luna disegnata da Hevelius tra il 1643 e il 1644

Huygens

Negli anni tra il 1650 e il 1660 i migliore telescopi furono costruiti da Christian Huygens (1629 – 1695) .

Con un telescopio di 7 m di focale e 6 cm di apertura scoprì la natura gli anelli di Saturno .

Con lo stesso strumento che consentiva fino a 100 ingrandimenti, misurò anche la rotazione di Marte.

Insieme al fratello costruivano telescopi utilizzando la regola della radice quadrata della focale:

$$\frac{d}{d_0} = \sqrt{\frac{f}{f_0}}$$

Se con una focale di 2 m usavano un diametro di 3 cm, con una focale di 8m utilizzavano un obiettivo da 6 cm.

Riuscirono a realizzare lenti fino a 68m di focale (diametro di 22 cm).

Eustachio Divini

Nato a San Severino Marche (MC) il (4.10.1610 – 22.2.1685) si trasferì a Roma dove studiò con Benedetto Castelli (discepolo di Galileo) e divenne amico di Evangelista Torricelli. Divenne famoso come costruttore di orologi e di lenti. I suoi telescopi erano concorrenziali con quelli di Huygens.



Cannocchiale ottagonale 1664
Legno, cartone, carta fiorentina
Lunghezza 2980 mm

Giuseppe Campani

Nato a Castel San Felice (in Umbria, presso Spoleto) nel 1635 si trasferì a Roma dove divenne famoso per aver costruito, con i fratelli un orologio silenzioso che fu regalato al papa Alessandro VII. Successivamente si dedicò a tempo pieno alla costruzione di lenti, e per circa 50 anni costruì telescopi e lenti per persone e istituzioni importanti, fra cui l'Osservatorio Reale di Parigi, diretto a quell'epoca da Cassini.

Inventò, tra l'altro, della prima smerigliatrice e lucidatrice per lenti.

Morì a Roma il 28 luglio 1715.

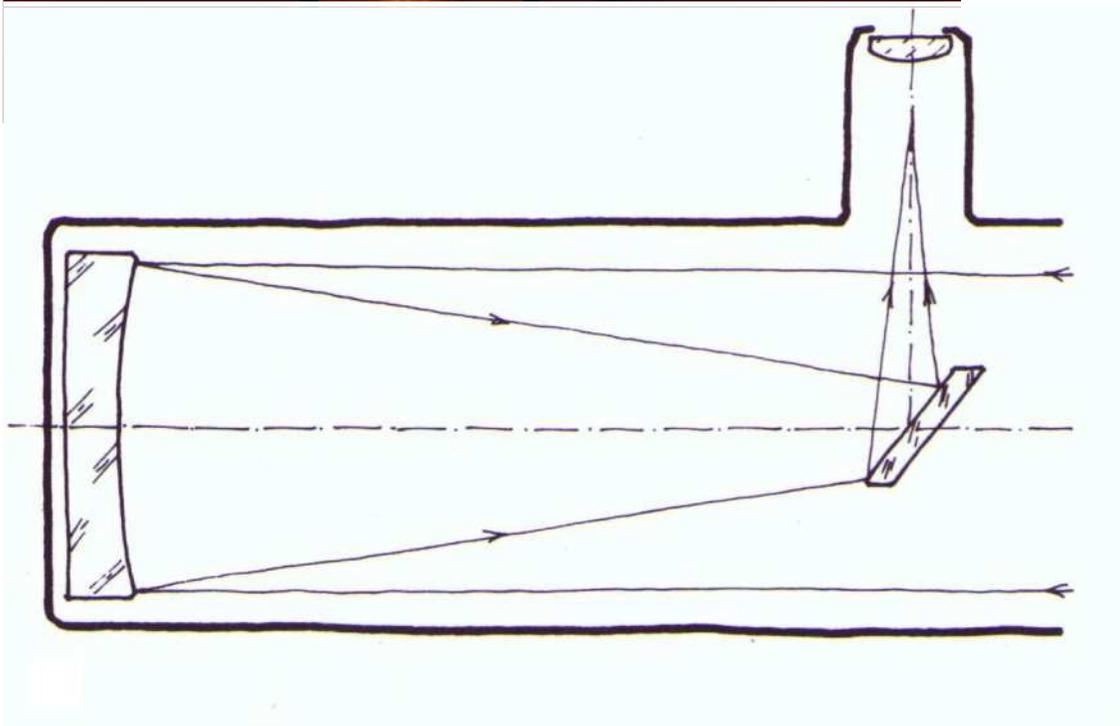
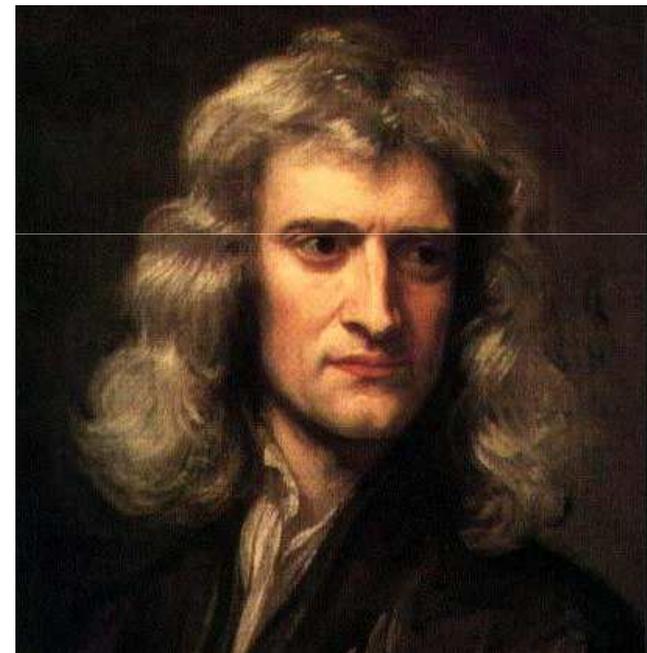


Cannocchiale c. 1664
Cartone, pelle
Lunghezza 2250 mm

Telescopio newtoniano

Costruito nel 1668, fu presentato alla riunione dell'11 gennaio 1672 della Royal Society riscuotendo un enorme successo.

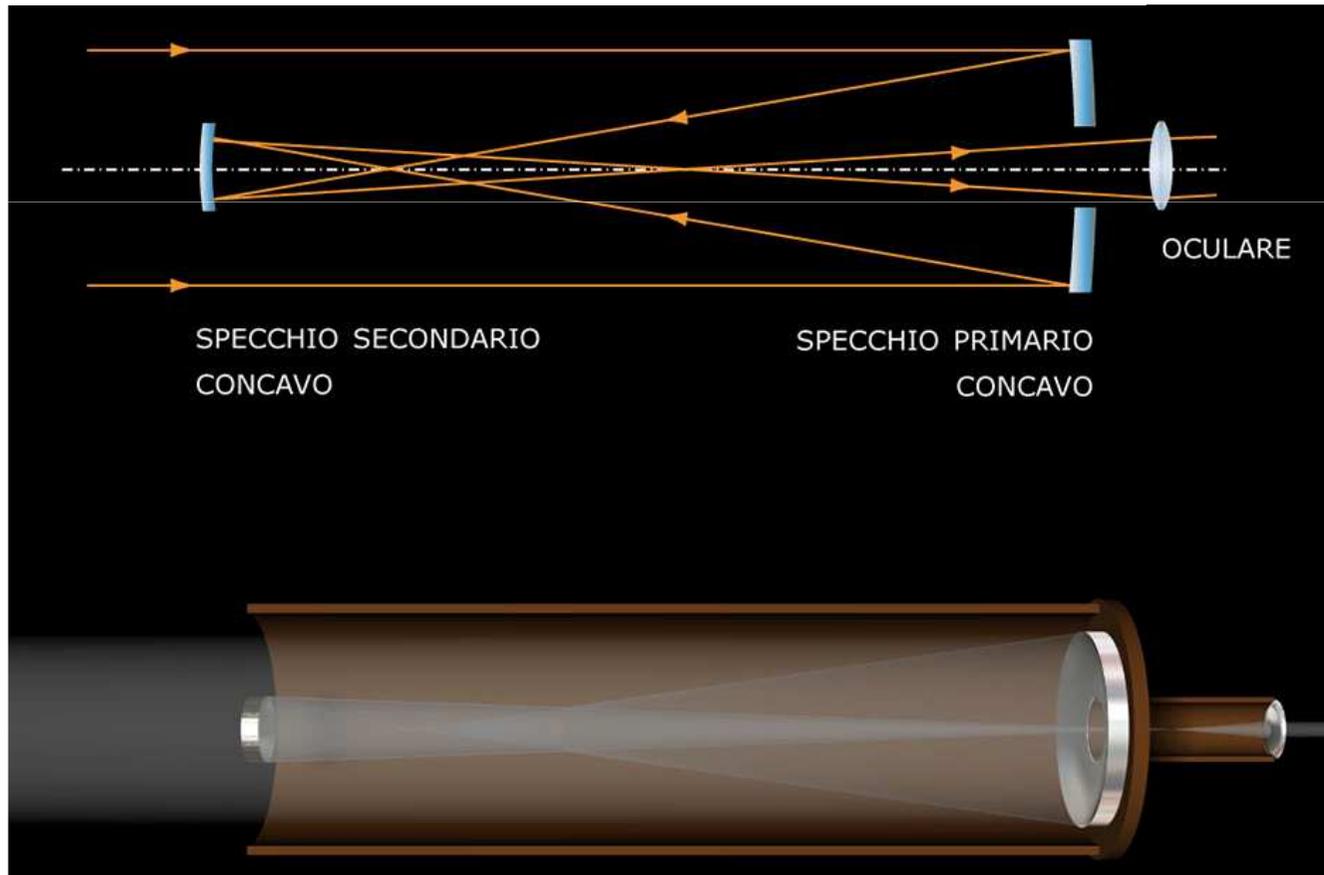
$d = 37 \text{ mm}$; $f = 16 \text{ cm}$



Telescopio gregoriano

Proposto da James Gregory (1639 – 1675) nel 1663 doveva avere entrambi gli specchi concavi: il primario parabolico e il secondario ellittico.

Non realizzò mai il suo telescopio.

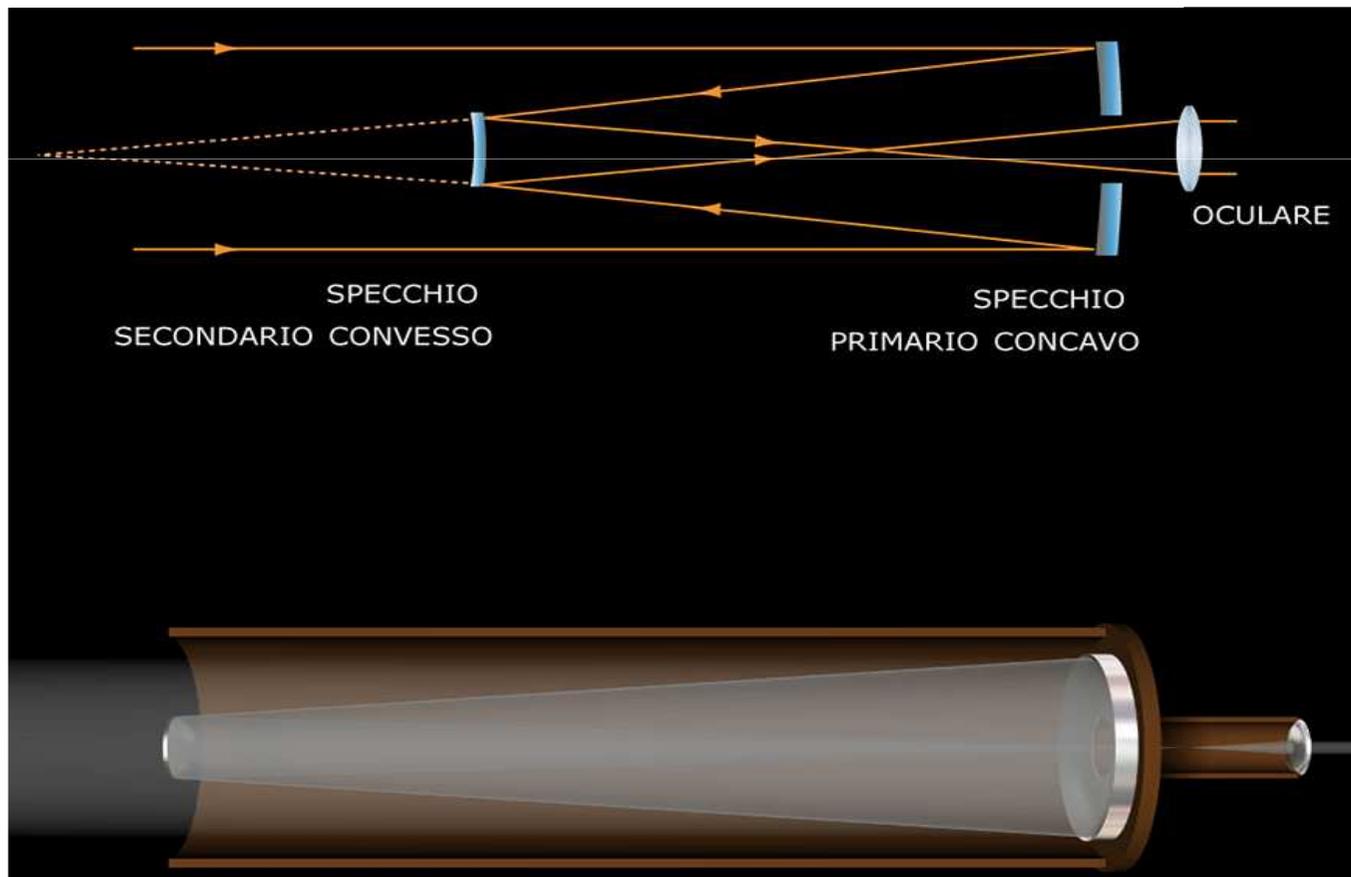


Telescopio gregoriano costruito da John Dollond (1706 – 1761) e conservato al Museo della Storia dell'Università di Pavia

Il telescopio Cassegrain

Attribuito al prete cattolico francese Laurent Cassegrain (1629–1693) dopo l'apparizione di disegni da lui fatti sul *Journal des sçavans* il 25 aprile 1672.

E' un riflettore con un primario concavo e il secondario convesso.



Disegni simili furono pubblicati nel 1632 da Bonaventura Cavalieri e da Marin Mersenne nel 1636.

Risulta che lo stesso Gregory, nel 1662 fece esperimenti con secondari convessi

Il telescopio

Il riflettore però non ebbe grande successo in quanto la tecnologia per la costruzione degli specchi non era molto sviluppata.

Newton utilizzò metallo di campana reso lucido da una soluzione di arsenico.

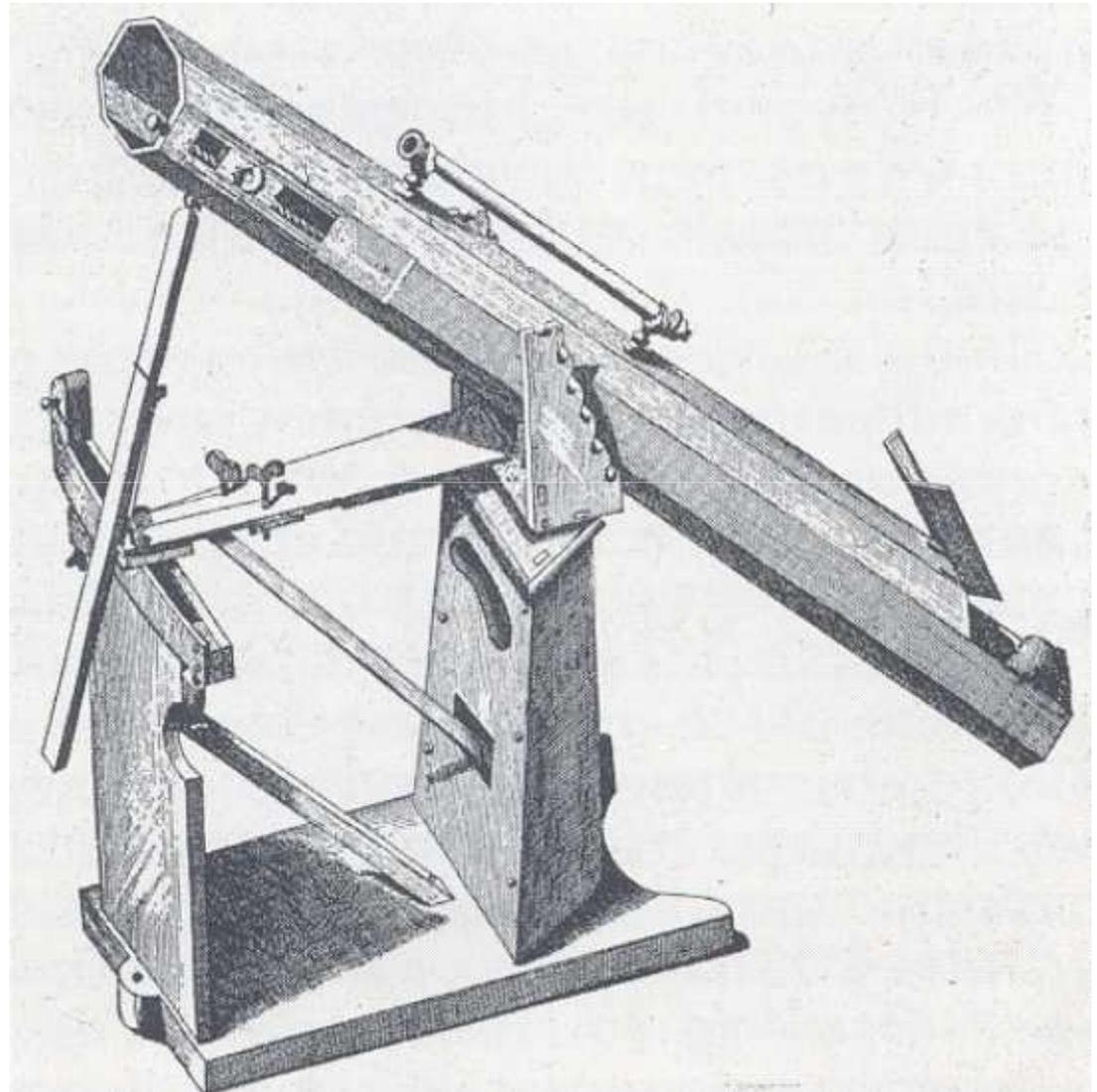
Tentativi contemporanei con una lega di rame e arsenico non ebbero risultati migliori.

Solo in seguito, con lo “speculum” (SnCu_4), una lega composta al 68% di rame e al 32% di stagno, si ebbero risultati migliori.

Il telescopio di Hadley

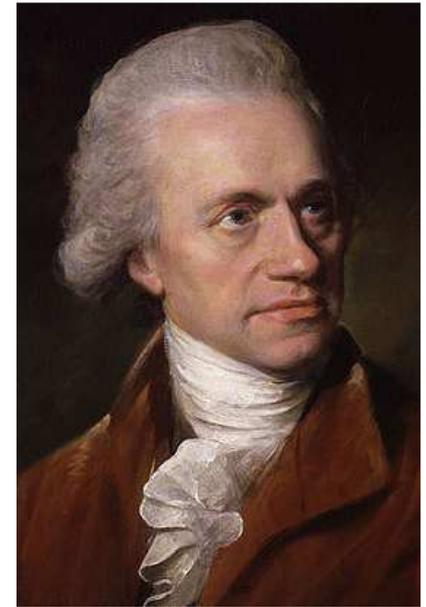
Il primo riflettore in grado di competere con i rifrattori dell'epoca fu il telescopio di John Hadley (1682 – 1744) presentato alla Royal Society di Londra nel 1722.

La qualità dello specchio parabolico da 15 cm, in Speculum, con una focale di 1,6 m e la montatura altazimutale con moti micrometrici ne fecero il primo vero strumento di questo tipo tanto che in molti ritengono che il vero inventore dei telescopi riflettori si appunta Hadley.



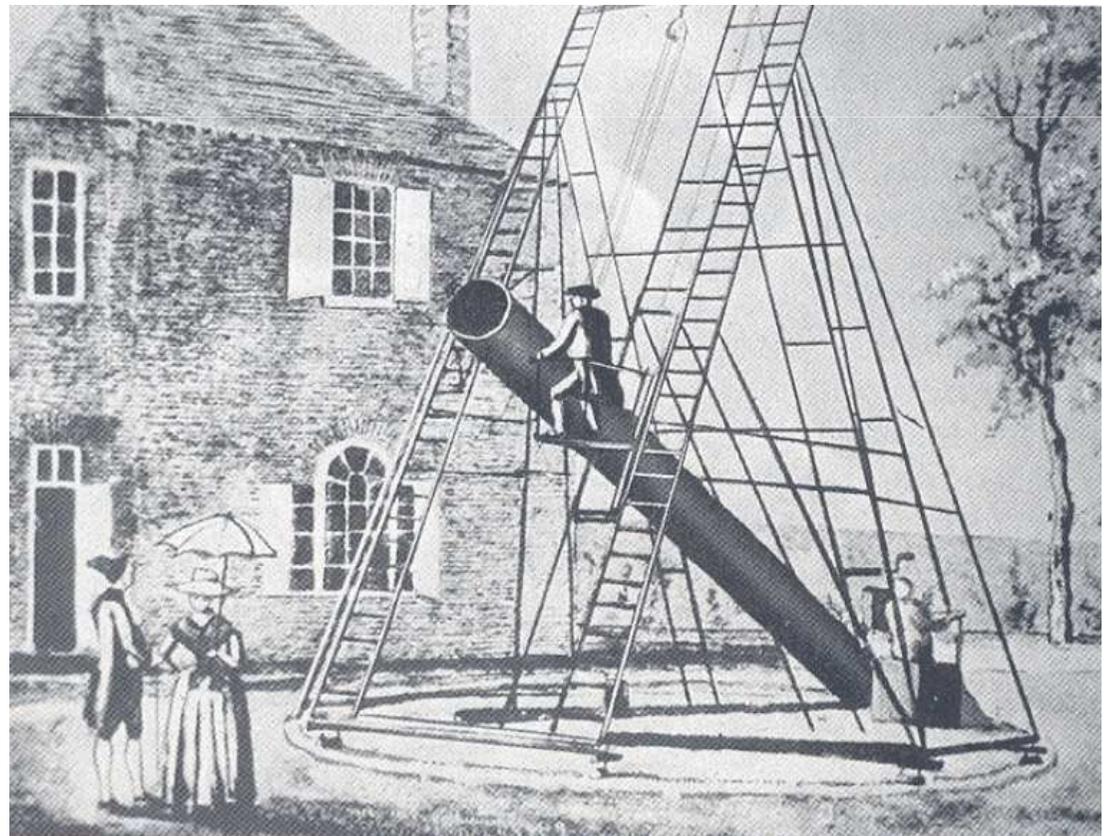
Il telescopio di Herschel

Un impulso ancora maggiore allo sviluppo dei riflettori si ebbe con William Herschel, lo scopritore di Urano nel 1781. Il suo telescopio da 16 cm di diametro e 2 m di focale fu messo a confronto con uno dei migliori dell'epoca (un telescopio di di Short di 24 cm) risultando nettamente migliore.



Nel 1782 completò con successo un 30 cm da 6,1 m di focale e nel 1788 un 46 cm con la stessa focale.

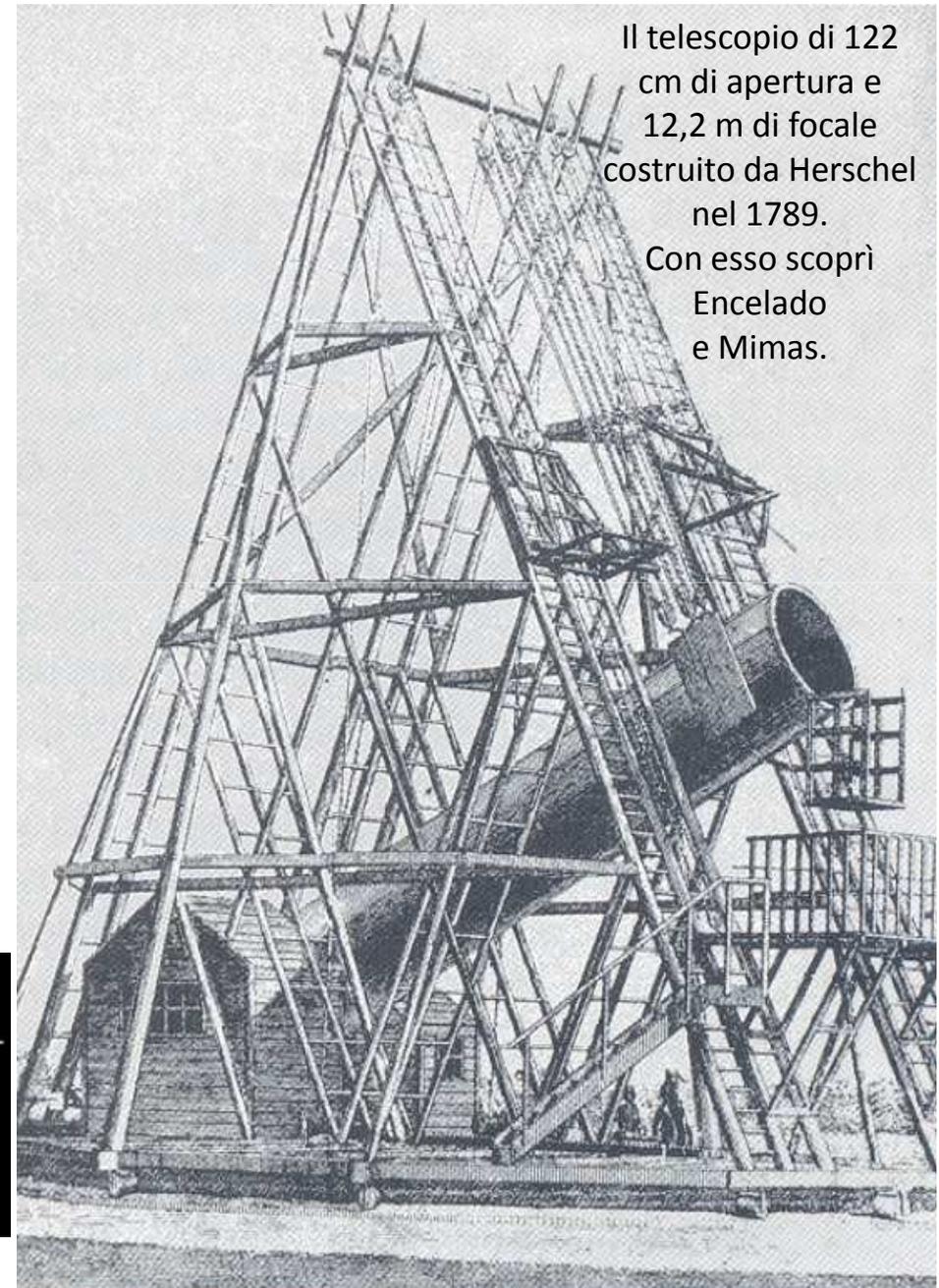
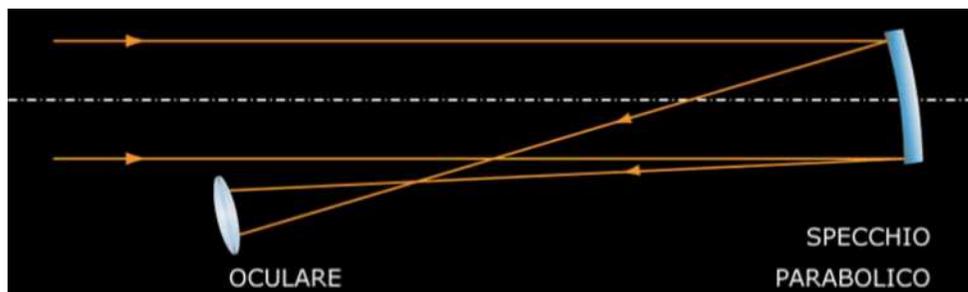
Tranne in un caso di gragoriano, costruì sempre newtoniani



Il telescopio di Herschel

Nonostante il miglioramento nella levigatura degli specchi, questi assorbivano ancora circa il 40% della luce e se si aggiunge l'ostruzione del secondario, ce comportava un altro 40% di perdita di luminosità, questi strumenti erano abbastanza bui.

Herschel inclinò lo specchio primario in modo che l'immagine si formasse dal bordo del tubo. Questa configurazione è nota come configurazione herscheliana.

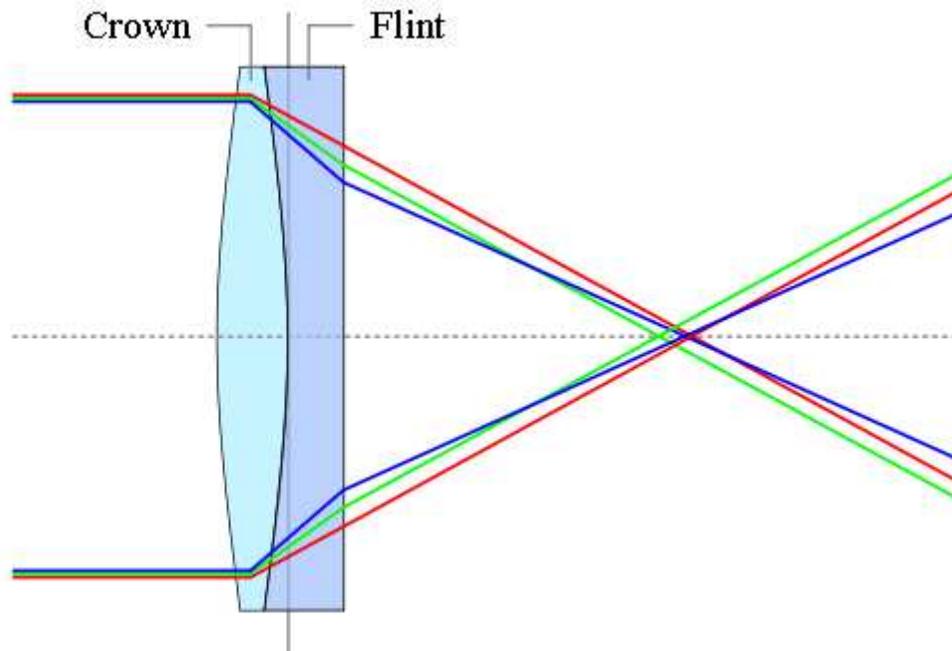


Il doppietto acromatico

Nello stesso secolo che vide i giganti di Herschel, anche i rifrattori ebbero un nuovo impulso.

Nel 1733 il londinese Chester Moor Hall (1703 – 1771) costruì il primo doppietto acromatico con una lente convergente di vetro crown e una divergente di vetro flint (verso l'oculare).

Le lenti tipiche erano di 5 cm di diametro e 50 cm di focale.



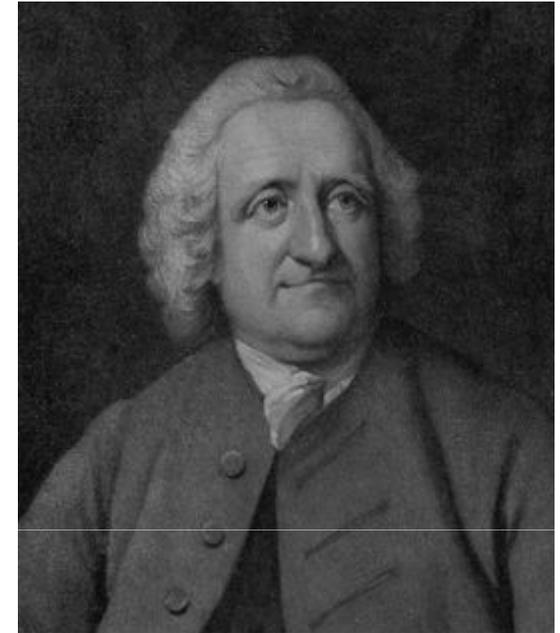
Il doppietto acromatico

Un notevole miglioramento si ebbe solo nel 1758 con John Dollond (1706 – 1761) che brevettò il modello e per diversi anni si credette che fosse stato lui l'inventore.

I suoi primi obiettivi erano di 1,5 m di focale e aperture di 6-7 cm.

Ma le prestazioni non erano ancora eccezionali.

I problemi maggiori erano legati alla lente convessa in flint, vetro difficile da reperire e da fondere in modo che fosse adeguatamente omogeneo.



Comunque i doppietti dell'epoca offrivano ottime prestazioni rispetto agli obiettivi a singola lente. Il francese Lalande riteneva che un obiettivo acromatico da 76 mm e 2,37 m di focale offriva prestazioni migliori di una lente semplice di Campani da 10,85 m di focale.

La difficoltà di avere grosse fusioni di vetro flint, all'inizio del 1800, faceva ritenere un obiettivo di 15 cm di diametro, “grande”.

Guinand e Fraunhofer

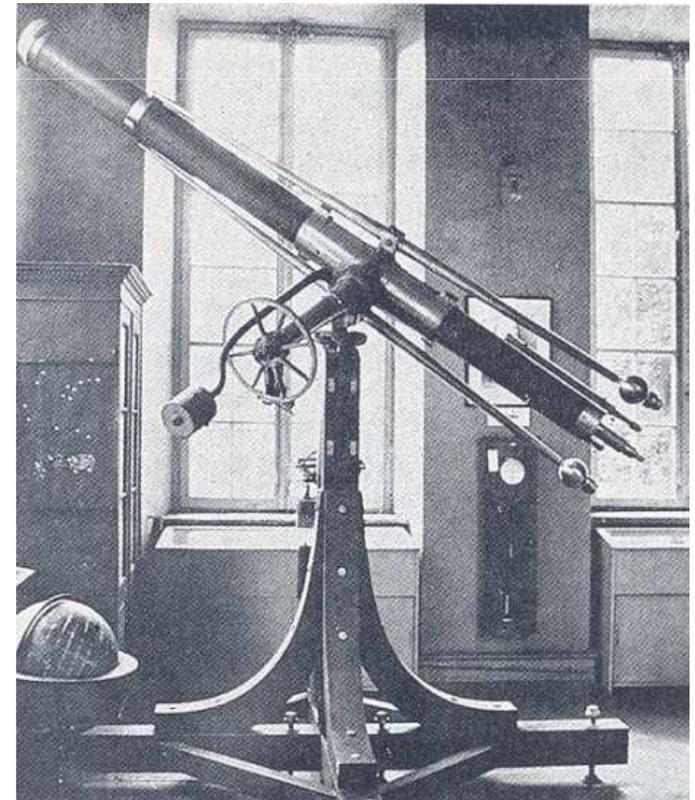


Un considerevole salto di qualità si ebbe agli inizi dell'800 quando Pierre Louis Guinand (1758 – 1824) e Joseph Fraunhofer (1787 – 1826) riuscirono ad ottenere la fusione regolare di grossi dischi di vetro flint.



Il punto di riferimento per l'epoca è il rifrattore di Dorpat che Fraunhofer costruì nel 1824 per Wilhelm. Un acromatico da 24 cm di diametro e 4,3 m di focale.

Anche il telescopio con cui Galle nel 1831 riconobbe Nettuno era un 23 cm di Fraunhofer.

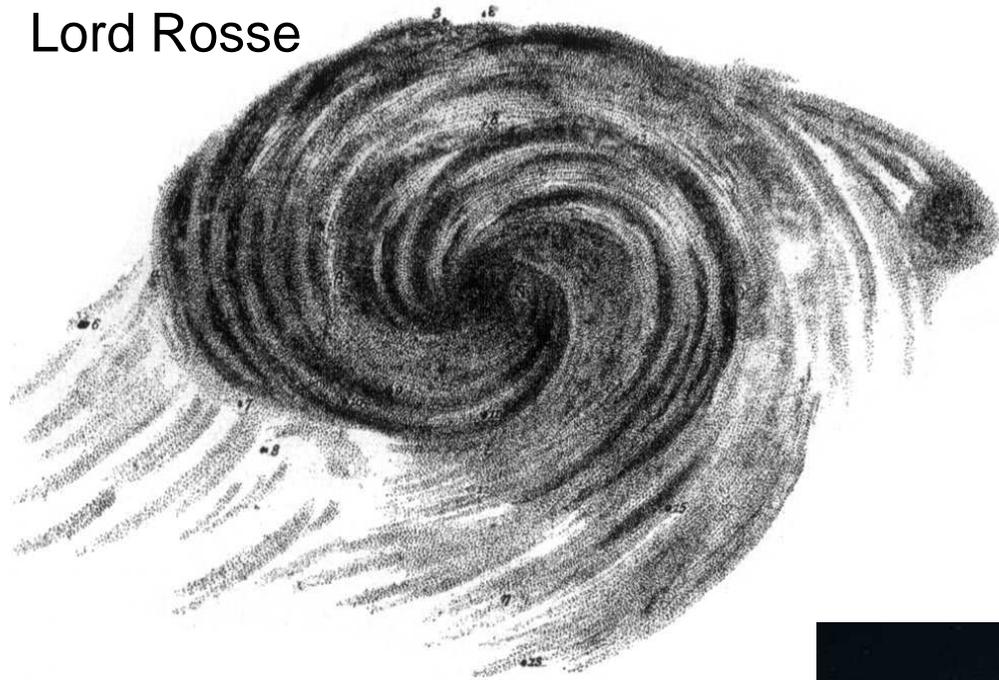


Nel 1840, a Birr nella contea di Offaly, Lord Rosse costruì il suo "Leviathan of Parsonstown", un telescopio da 182 centimetri di diametro, che fu per molti decenni il più grande telescopio del mondo.



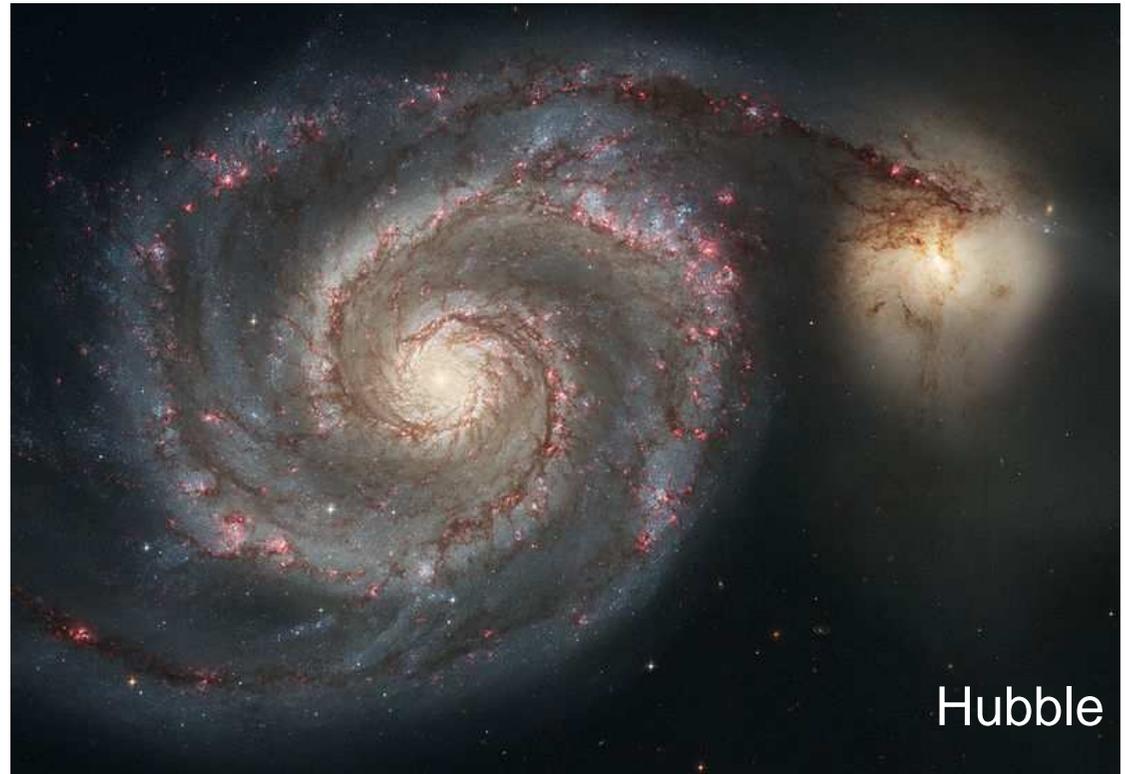
Lord Rosse

Lord Rosse



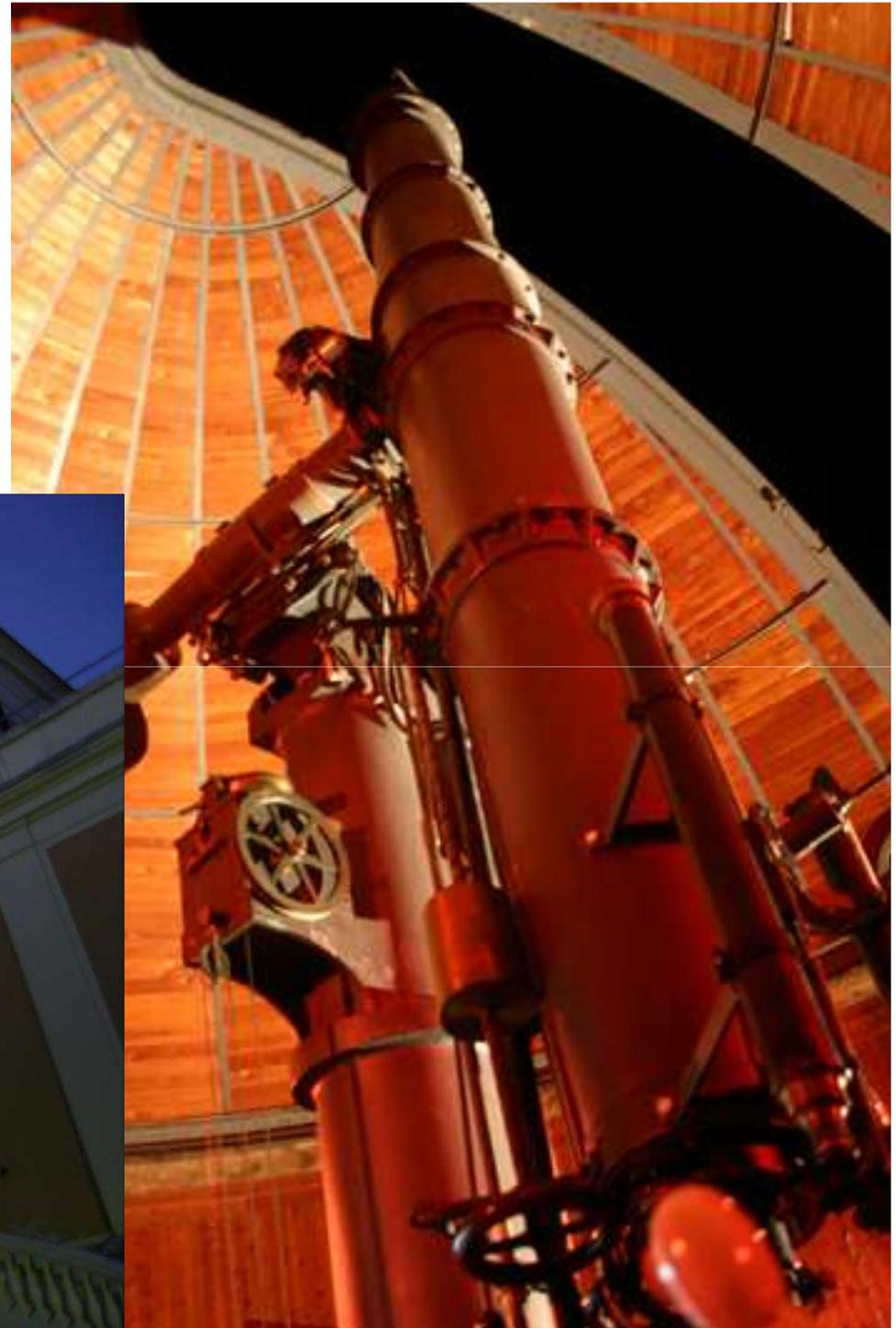
Lord Rosse eseguì pionieristici studi astronomici e scoprì la natura a spirale di alcuni oggetti nebulosi, che oggi sappiamo trattarsi di galassie a spirale.

La prima galassia a spirale che scoprì fu M51, ed i suoi disegni della galassia assomigliano molto alle fotografie moderne (oggi M51 è nota come Galassia vortice).



Hubble

Il telescopio Cooke dell'Osservatorio INAF di Collurania a Teramo. Fu con questo telescopio che Vincenzo Cerulli (1859-1927) capì che i cosiddetti "canali" di Marte, scoperti da Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910) nel 1877, erano illusioni ottiche dell'osservatore.



I record dell'800

I maggiori rifrattori del mondo dal XIX secolo

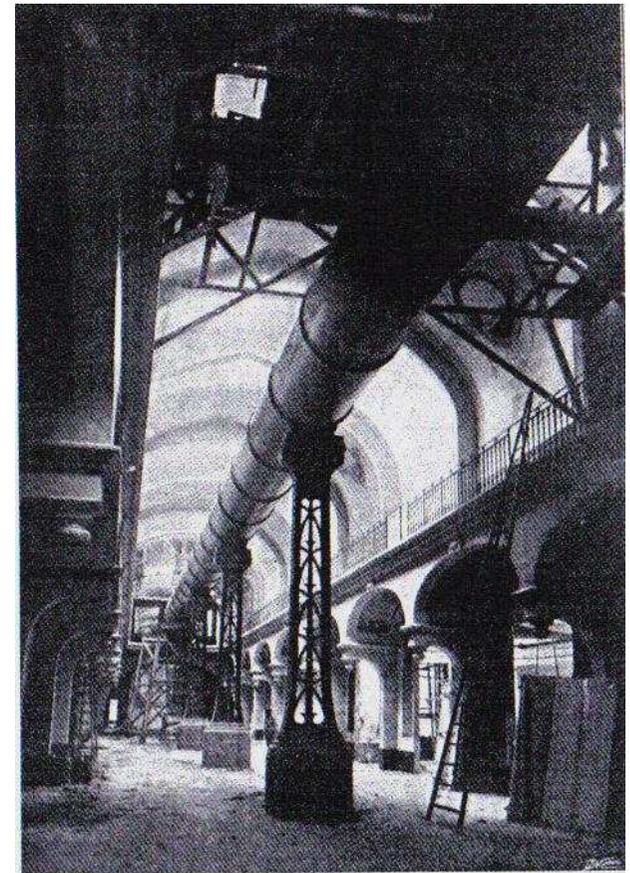
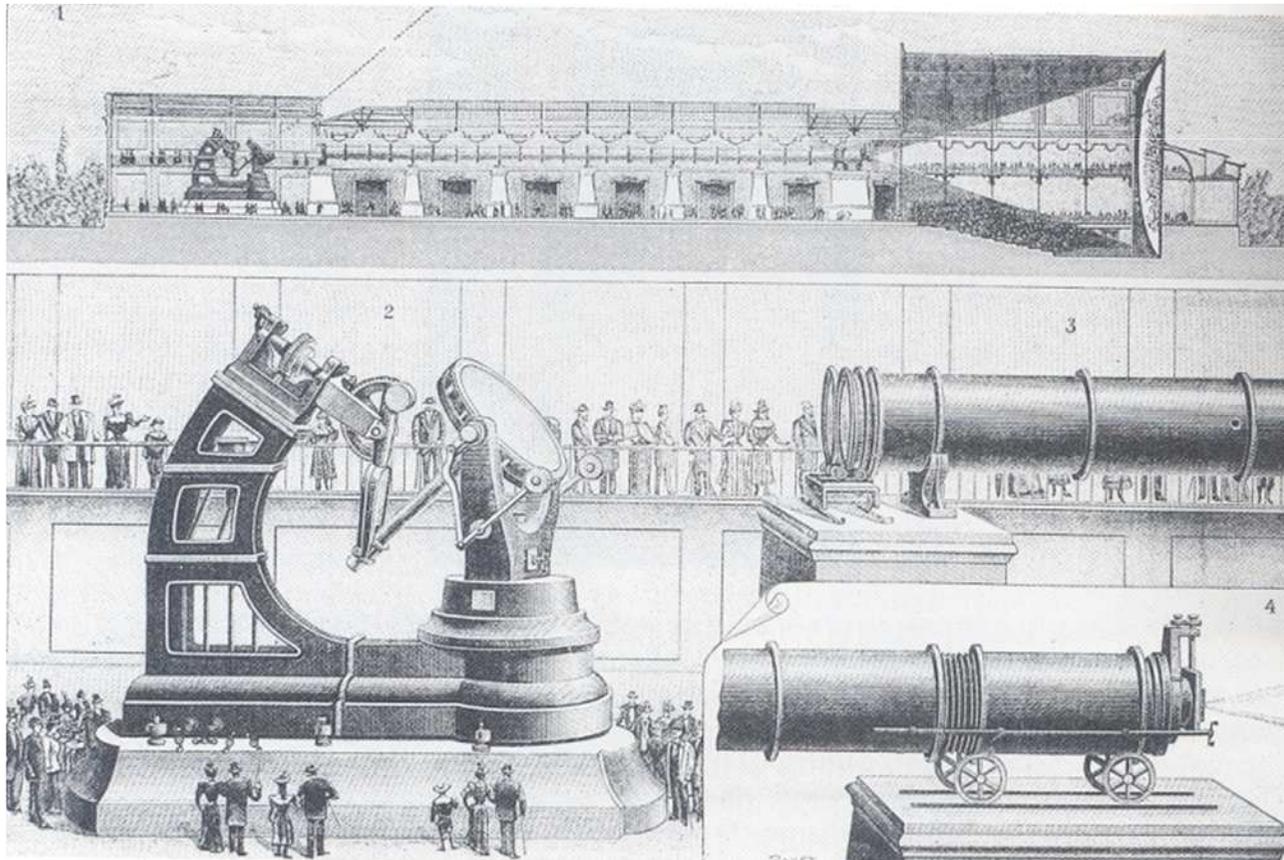
Anno	apertura utile cm	costruttore	località
1824	24	Fraunhofer	Dorpat (URSS)
1835	30	Cauchois	Cambridge (Inghilterra)
1839	38	Merz & Mahler	Pulkovo (URSS)
1852*	60	Slater	Wandsworth (Inghilterra)
1862	47	Alvan Clark	Dearborn (USA)
1871	63,5	Cooke	Newcastle (Inghilterra)
1873	66	Alvan Clark	Washington (USA)
1878	68	Grubb	Vienna (Austria)
1885	76	Alvan Clark	Pulkovo (URSS)
1888	91	Alvan Clark	Mount Hamilton (USA)
1897	102	Alvan Clark	Williams Bay (USA)
1900	125	Gautier	Parigi (Francia)
(in Italia) 1886	49	Merz & Repsold	Milano

* Di cattiva qualità; smantellato sei anni dopo.

I telescopi del XX secolo

Il nuovo secolo si apre con la costruzione del più grande rifrattore mai realizzato.

Costruito per la l'Esposizione Universale di Parigi del 1900 aveva un obiettivo di 1,25 m e focale di 57 m. Non era adatto per uso scientifico e terminata l'esposizione, i suoi costruttori non sono riusciti a venderlo a nessun osservatorio. È stato rottamato, ma le lenti sono ancora conservate all'Osservatorio di Parigi .



I telescopi del XX secolo

A causa delle dimensioni il telescopio fu montato in posizione fissa orizzontale. La luce degli oggetti astronomici veniva inviata al tubo ottico attraverso un siderostato di Foucault: uno specchio piano mobile da 2 m di diametro, montato in un telaio in ghisa di grandi dimensioni, posto davanti all'obiettivo del cannocchiale.

L'oculare era montato su rotaie, per la messa a fuoco.
L'ingrandimento minimo era di 500 x con un campo di 3'.

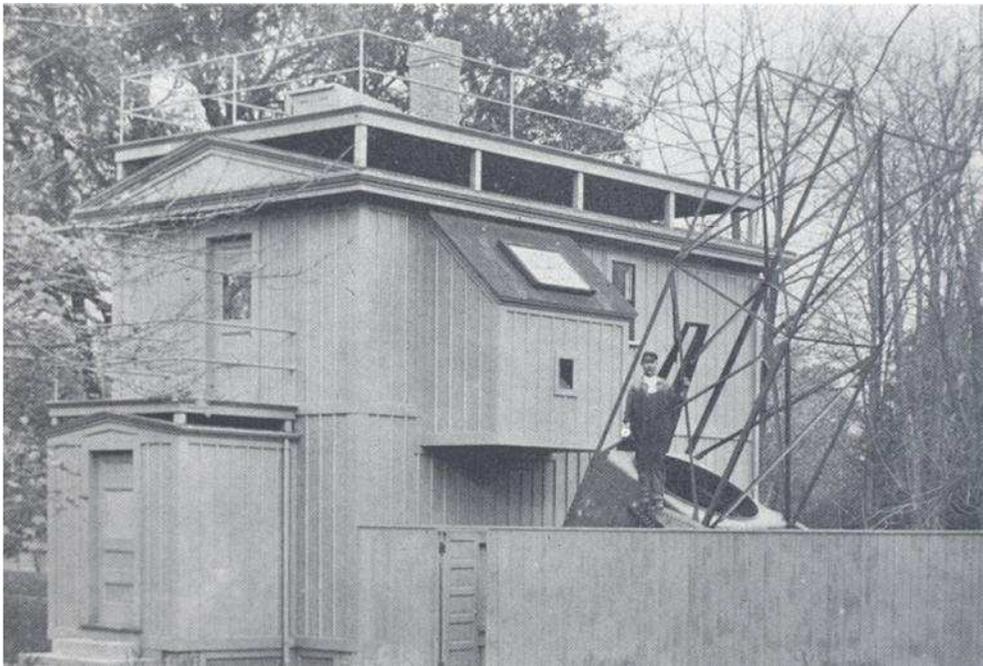


Il riflettore Common

Le dimensioni necessarie per avere sempre strumenti più potenti fece riprendere la costruzione di riflettori.

Il prototipo dei grandi riflettori del XX secolo si deve all'inglese Andrew Ainslie Common (1841 – 1903) che nel 1888 costruì un riflettore da 152 cm (60 pollici) di diametro e 8,7 m di focale. Questo strumento aveva una montatura a forcina e l'asse polare galleggiava in un grosso volume d'acqua.

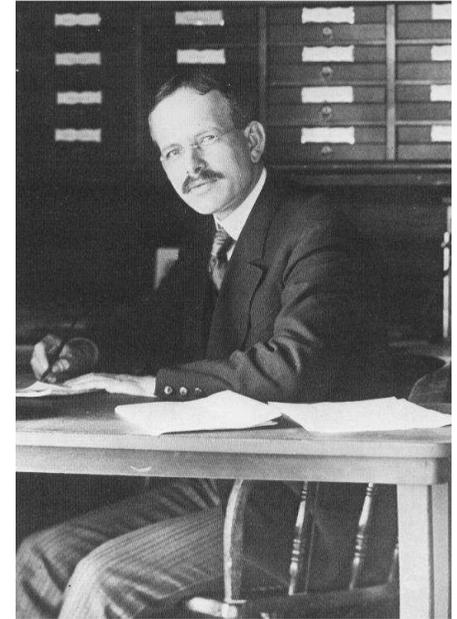
Era stato costruito come strumento per la fotografia ed ottenne notevoli successi.



Monte Wilson

L'osservatorio di Monte Wilson (MWO) si trova nella Contea di Los Angeles, in California, sul Monte Wilson, vicino a Pasadena, a 1742 metri di quota.

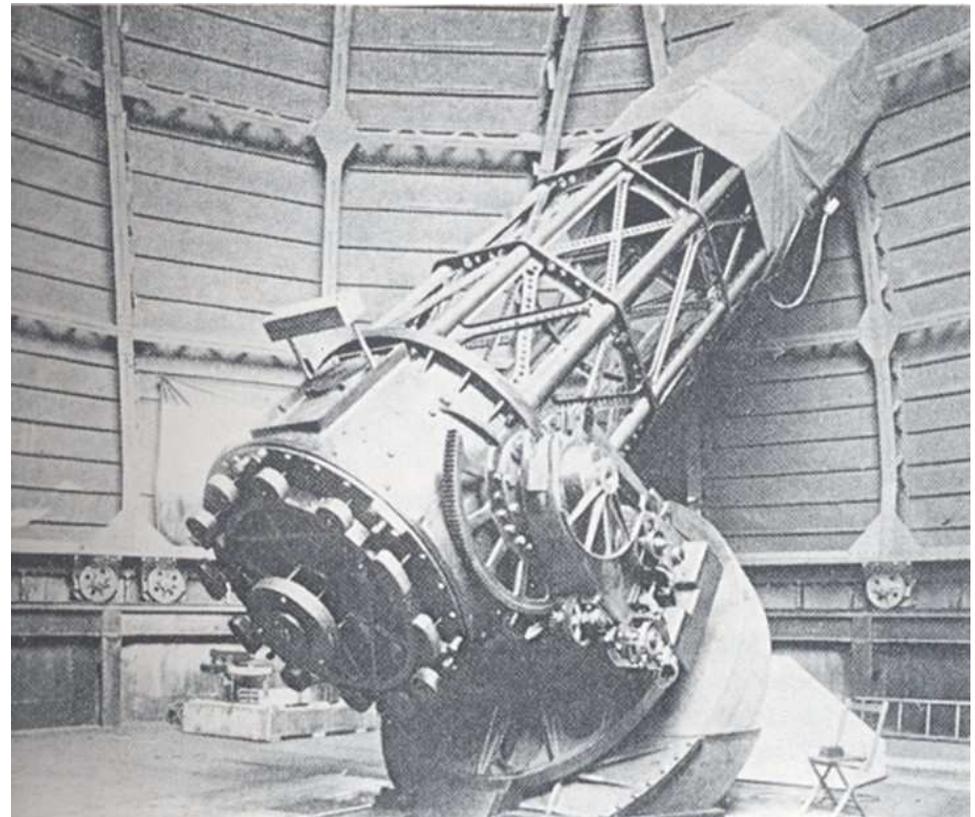
Il primo direttore fu George Ellery Hale (1868 – 1938), che fece costruire un telescopio riflettore da 152 cm di diametro e 7,6 m di focale.



Realizzato da George Willis Ritchey (1864 – 1945) nel 1905, è tuttora esistente.

Ha una montatura a forcella il cui asse polare galleggia su mercurio.

Con un sistema di specchi si può mandare la luce verso uno spettrografo, attraverso l'asse polare.



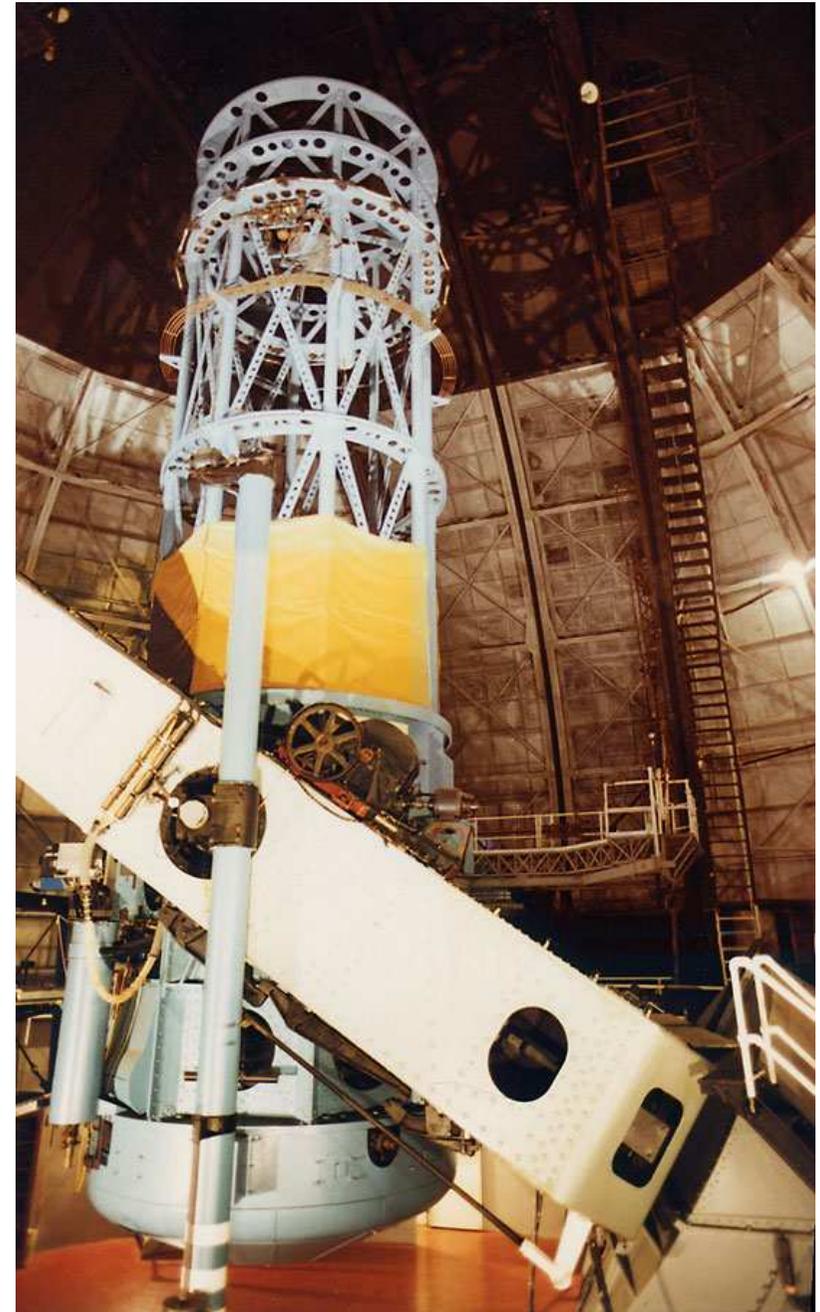
Monte Wilson

Il più famoso telescopio di Monte Wilson è il telescopio Hooker, un riflettore di 2,5 m.

Lo specchio, lavorato ancora da Ritchey, ha una focale di 12,9 m e pesa 4,5 tonnellate.

É posto su una montatura a culla che però pregiudica l'osservazione in prossimità del polo.

Entrato in funzione nel 1917, rimarrà, fino al 1948 il più grande telescopio al mondo.



Monte Wilson

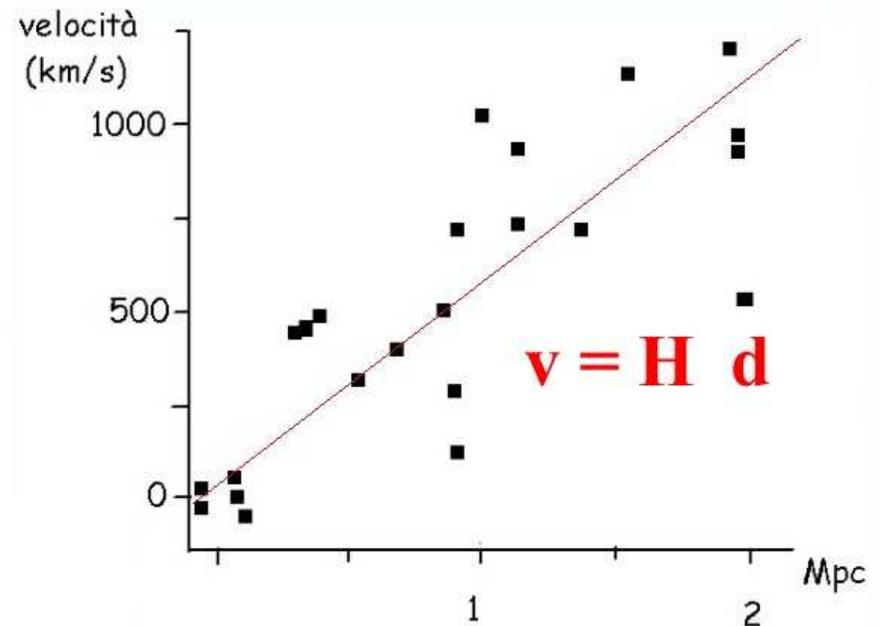
Con questo strumento, per la prima volta, si sono risolte le stelle della galassia di Andromeda.

Nel 1929, con esso, Edwin Hubble (1889 – 1953) scoprì l'espansione dell'universo.



È stato utilizzato proficuamente fino agli anni '60.

Ristrutturato, è ancora in uso.



Il telescopio di Monte Palomar

L'Osservatorio di Monte Palomar è uno dei più celebri ed è stato uno dei più importanti al mondo.

Ospita il famoso telescopio Hale di 5,08 m di diametro.

Fu completato nel 1949 e gestito dal California Institute of Technology.

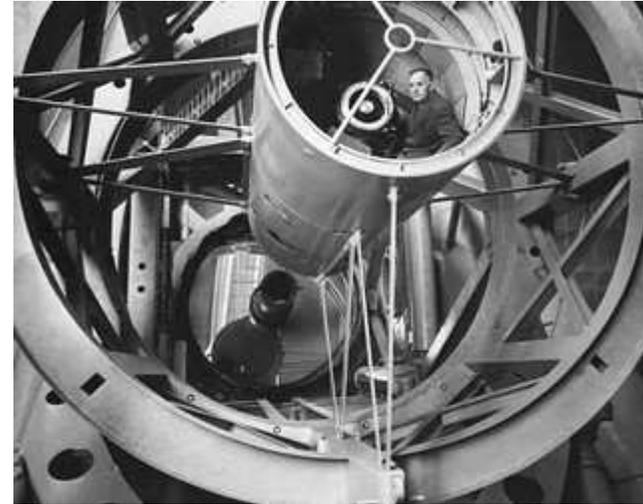
È situato nella Contea di San Diego, circa 150 km a sud-est di Los Angeles, ad un'altitudine di 1710 metri.



Il telescopio Hale

Nel 1928 Hale ottenne dalla Rockefeller Foundation un finanziamento di 6 milioni di dollari per "la costruzione di un osservatorio, dotato di un telescopio riflettore di 200 pollici" che sarebbe stato gestito dal Caltech.

Il progetto fu supervisionato da Hale, la costruzione dello specchio fu affidata alla Corning Glass Works, che utilizzò un nuovo tipo di vetro, il Pyrex.



La costruzione dell'osservatorio iniziò nel 1936, ma a causa della Seconda guerra mondiale, il telescopio fu completato nel 1948.

Il Telescopio Hale è rimasto il telescopio più grande al mondo fino al 1976.

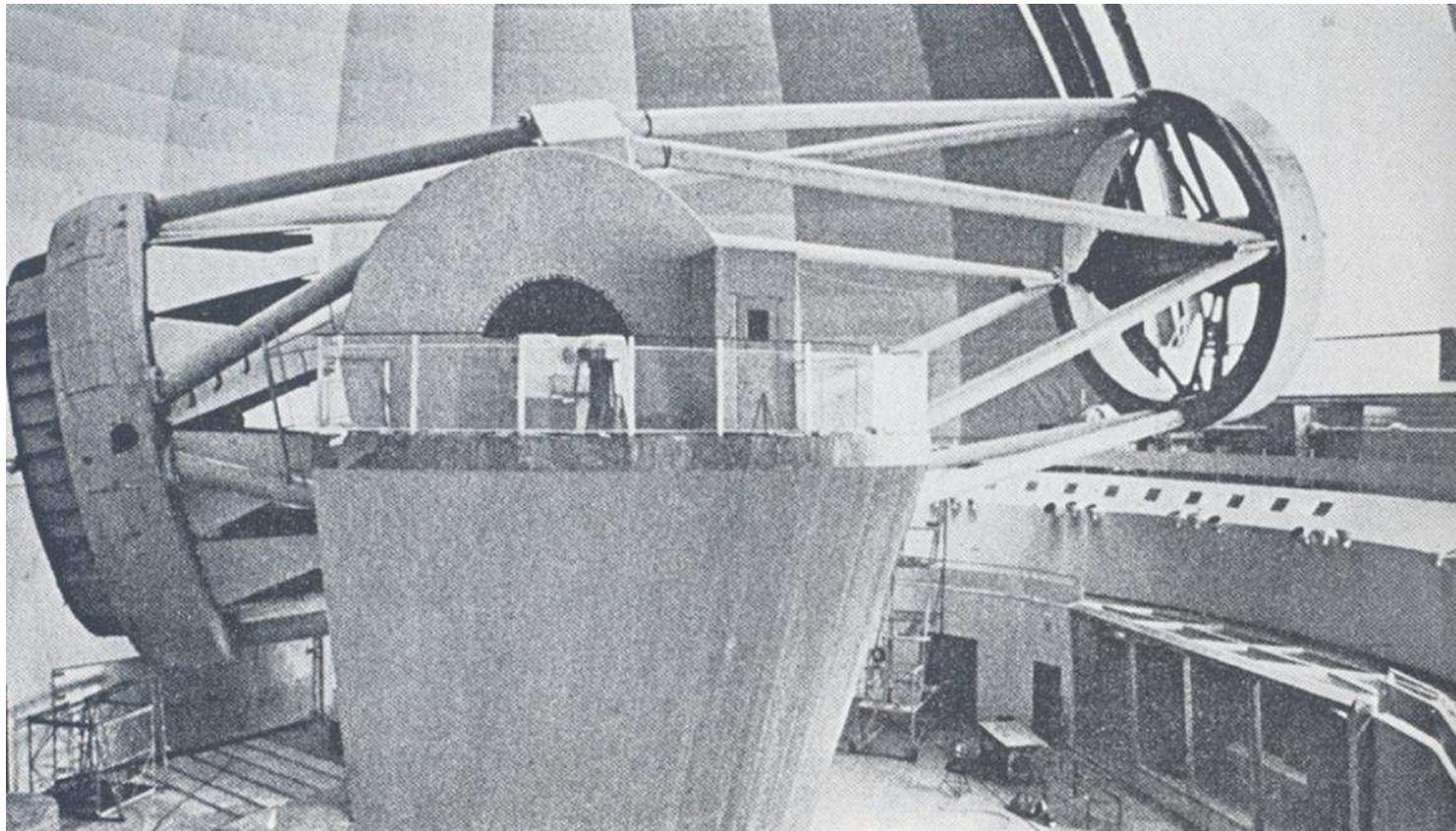
Ancora oggi è utilizzato dagli astronomi per attività scientifiche ed è equipaggiato con sensori nell'ottico e nell'infrarosso.

Il telescopio BTA-6

Bolshoi Teleskop Azimutalnyi (Grande Telescopio Azimutale)

Nel novembre del 1976 venne inaugurato nella regione del Caucaso, in Unione Sovietica, un telescopio con lo specchio principale da 6 m.

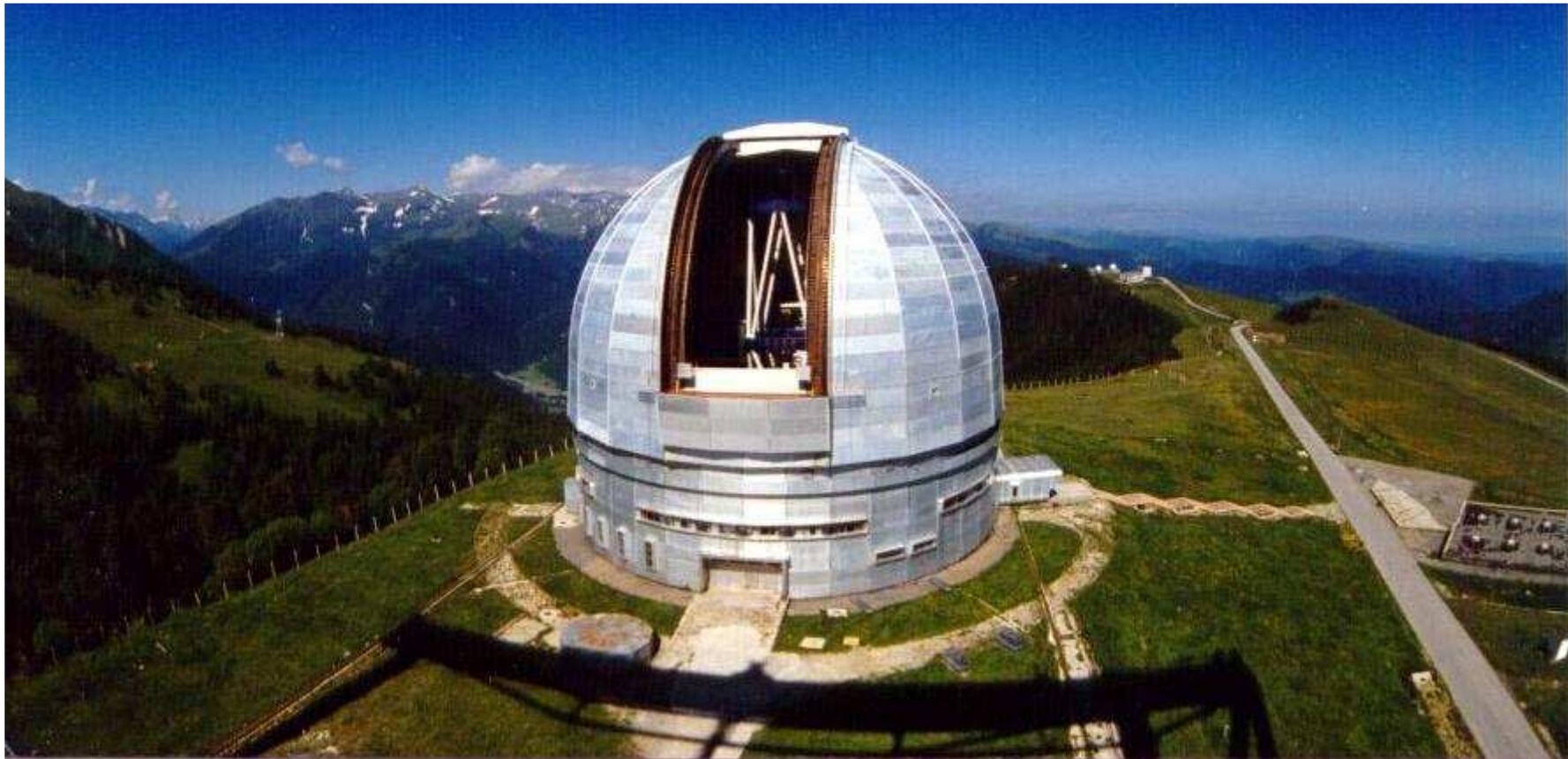
Costruito dalle officine LOMO di Leningrado è alto 27 m e pesa 840 tonnellate.



Il telescopio BTA-6

Può lavorare al fuoco primario con una focale di 24 m e nei due fuochi laterali con focale di 182 m (f/30).

Un altro elemento che lo contraddistingue è la montatura altazimutale.



L'MMT

Un altro telescopio innovativo è il Multi Mirror Telescope.

Installato nel MMT Observatory (MMTO), situato negli Stati Uniti, sul Monte Hopkins in Arizona, 55 km a sud di Tucson, è gestito dall'University of Arizona e dallo Smithsonian Institution.

L'MMT operò fra il 1979 e il 1998 con un design allora innovativo: fu il primo telescopio il cui obiettivo era formato da specchi multipli, il primo con edificio co-rotante e il primo con una montatura altazimutale controllata da un computer.

L'obiettivo era formato da 6 specchi di 1,8 metri di diametro ognuno, per un obiettivo equivalente a quello di un telescopio di 4,5 metri di diametro.



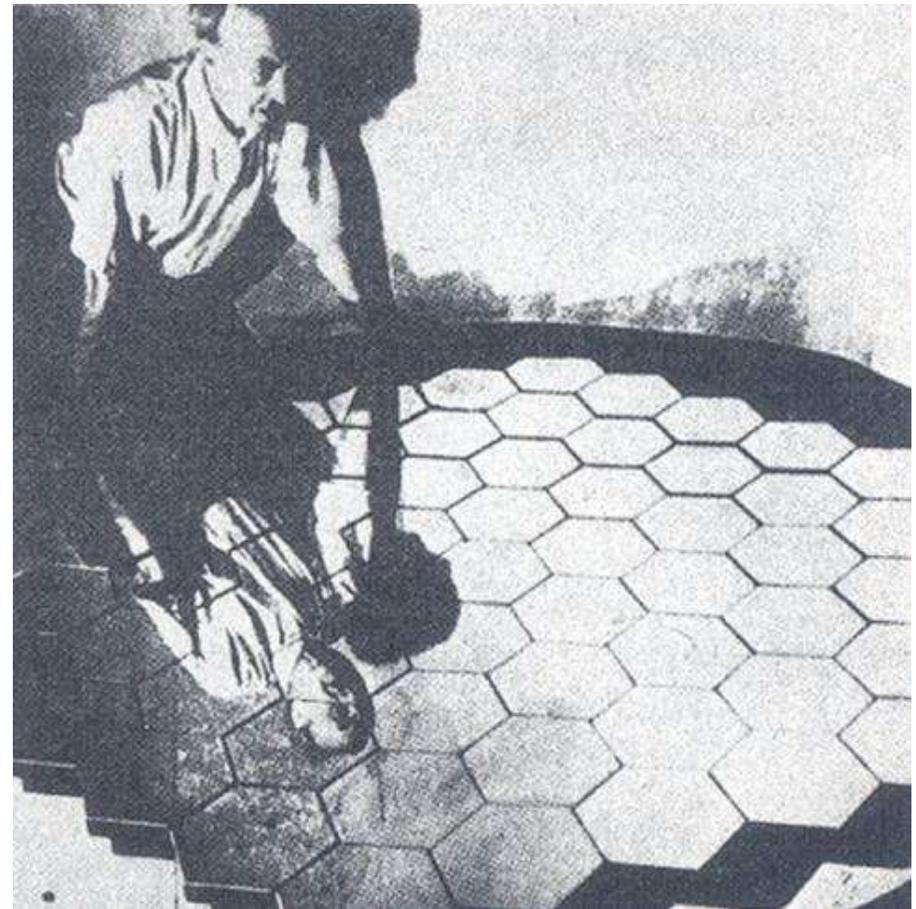
L'MMT

Nel 2000 venne convertito sostituendo gli specchi con un singolo specchio di 6,5 m.

L'idea di un telescopio a molti specchi risale all'italiano Guido Horn d'Arturo (1879 – 1967), direttore dell'Osservatorio di Bologna che costruì la stazione osservativa di Loiano, oggi dotata, tra l'altro, di un riflettore da 152 cm.

La sua idea era quella di costruire una grande superficie riflettente mediante un mosaico di elementi esagonali.

Dal 1932, per oltre 30 anni, si dedicò a tale progetto e diede vita ad un primo strumento, poi successivamente potenziato e migliorato fino a raggiungere 180 cm di diametro e 10,40 m di lunghezza focale, posizionato nella Torre della Specola di Bologna.



HUBBLE SPACE TELESCOPE

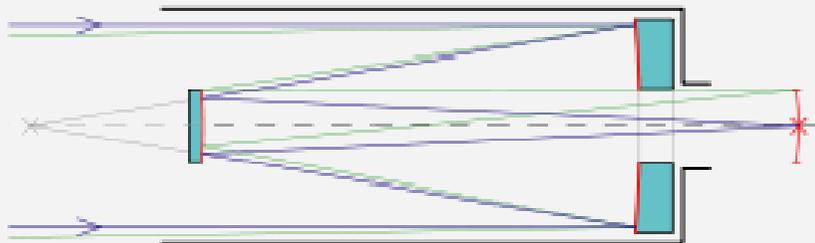
Lancio il 24 aprile 1990 – fine missione prevista per il 2014

Orbita in circa 96 minuti a 600 km di altezza.

È un riflettore Ritchey-Chrétien da 2,4 m di diametro.



Ritchey-Chrétien-Cassegrain-Teleskop



HUBBLE SPACE TELESCOPE

La missione STS-125 dello Space Shuttle del maggio 2009, ha effettuato importanti riparazioni di HST, migliorandone sensibilmente le prestazioni.



L'importanza di Hubble non è dovuta solo alle spettacolari immagini, ma soprattutto alle ricerche che hanno permesso una media di 14 articoli scientifici alla settimana basati sui dati raccolti.

HUBBLE SPACE TELESCOPE

Hubble Ultra Deep Field

Almeno 10 000 galassie distanti fra 12,7 e 13 miliardi di anni luce.
Il campo inquadrato equivale a quello di 1 eurocent a circa 20 m di distanza nella
costellazione della Fornace.



HUBBLE SPACE TELESCOPE

Il telescopio è attualmente operativo (2017), e potrà funzionare fino al 2030-2040. Il suo successore scientifico, il James Webb Space Telescope (JWST), il cui lancio, ripetutamente rinviato, è attualmente pianificato per l'ottobre del 2018.

Il JWST è dotato di specchi di diametro equivalente a 6,5 metri e opererà nell'infrarosso, con l'obiettivo principale di osservare le galassie dell'Universo primordiale.

Sarà posizionato in L2, a circa 1,5 milioni di chilometri dalla Terra, in direzione opposta al Sole.

HUBBLE SPACE TELESCOPE

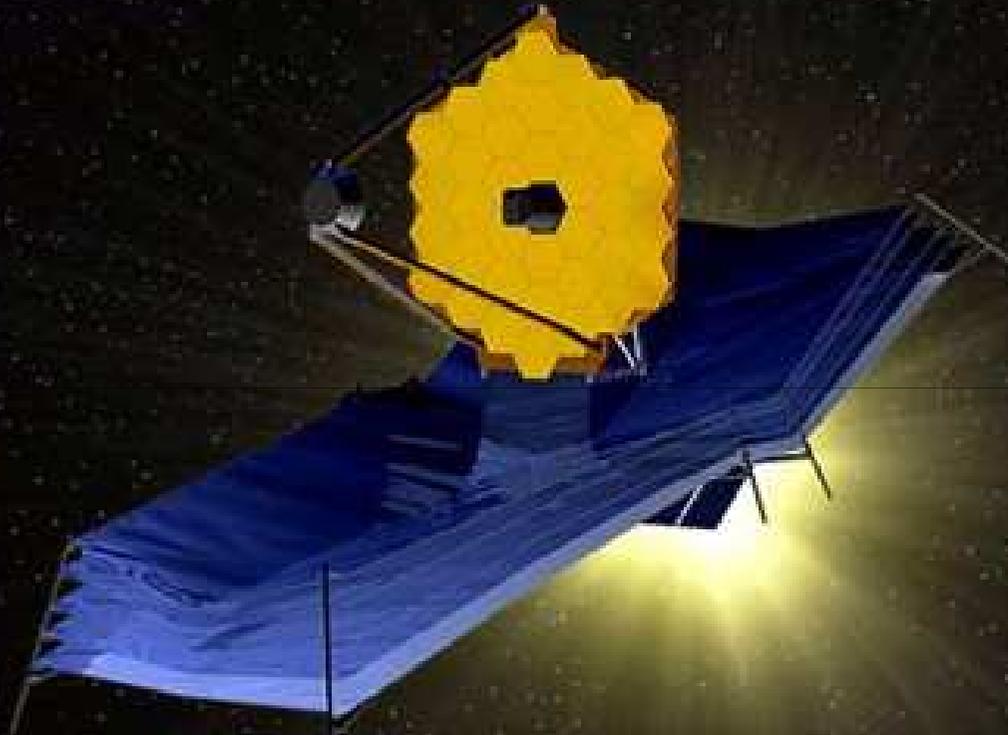
Questa posizione offre il minimo segnale di fondo termico e quindi la massima sensibilità alla radiazione infrarossa.



Tuttavia il telescopio James Webb rileva solo lo spettro infrarosso quindi Hubble, che possiede sensori che operano nelle bande dell'ultravioletto, del visibile e dell'infrarosso-vicino, può continuare ad essere di grande beneficio alla comunità scientifica.

JAMES WEBB SPACE TELESCOPE

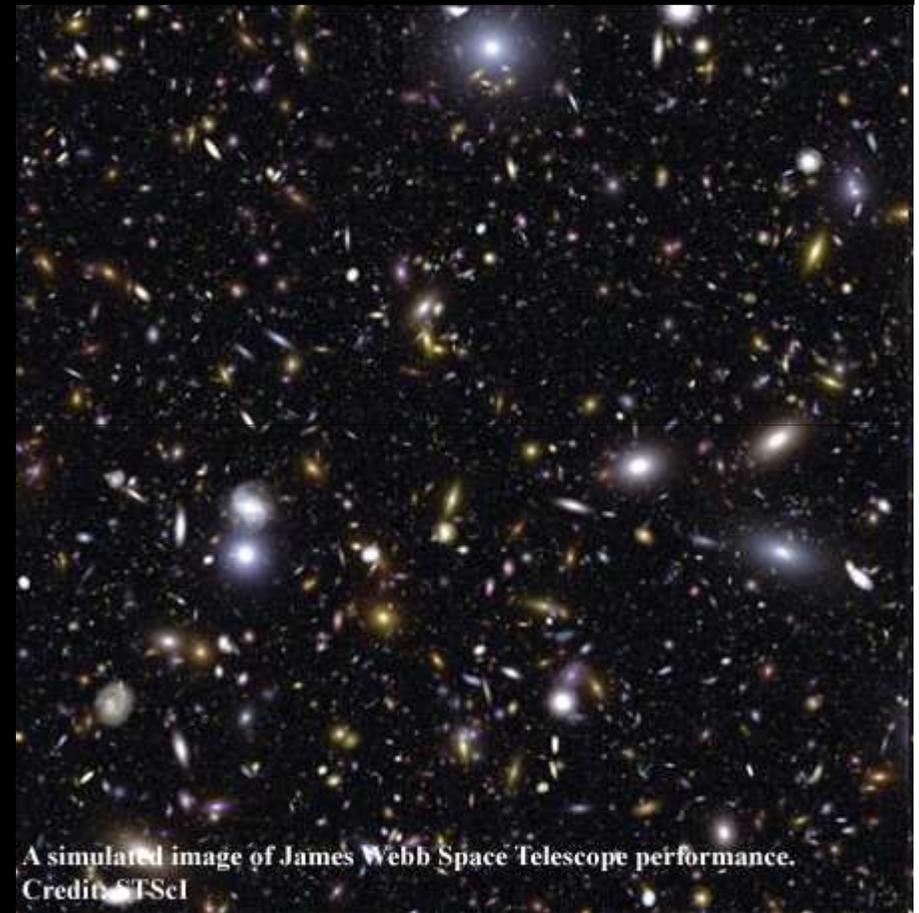
Il Telescopio Spaziale Webb è costruito e gestito in cooperazione dalla NASA e dall'ESA.



Il JWST peserà la metà dell'HST e avrà lo specchio principale in berillio. Questo sarà diviso in 18 sezioni che una volta in orbita si dispiegheranno attraverso dei sensibili micromotori che posizioneranno correttamente i segmenti.

HUBBLE SPACE TELESCOPE

Confronto tra HST e JWST



LARGE BINOCULAR TELESCOPE

LBT è un telescopio a doppia pupilla in montatura altazimutale in configurazione gregoriana, ottimizzato per interferometria e osservazione a grande campo. È collocato sul monte Graham, nel sud-est dell'Arizona, a più di 3000 metri di altezza.



LBT è costituito da due specchi parabolici primari composti da un unico blocco di vetro ricoperto da un sottile strato di alluminio.

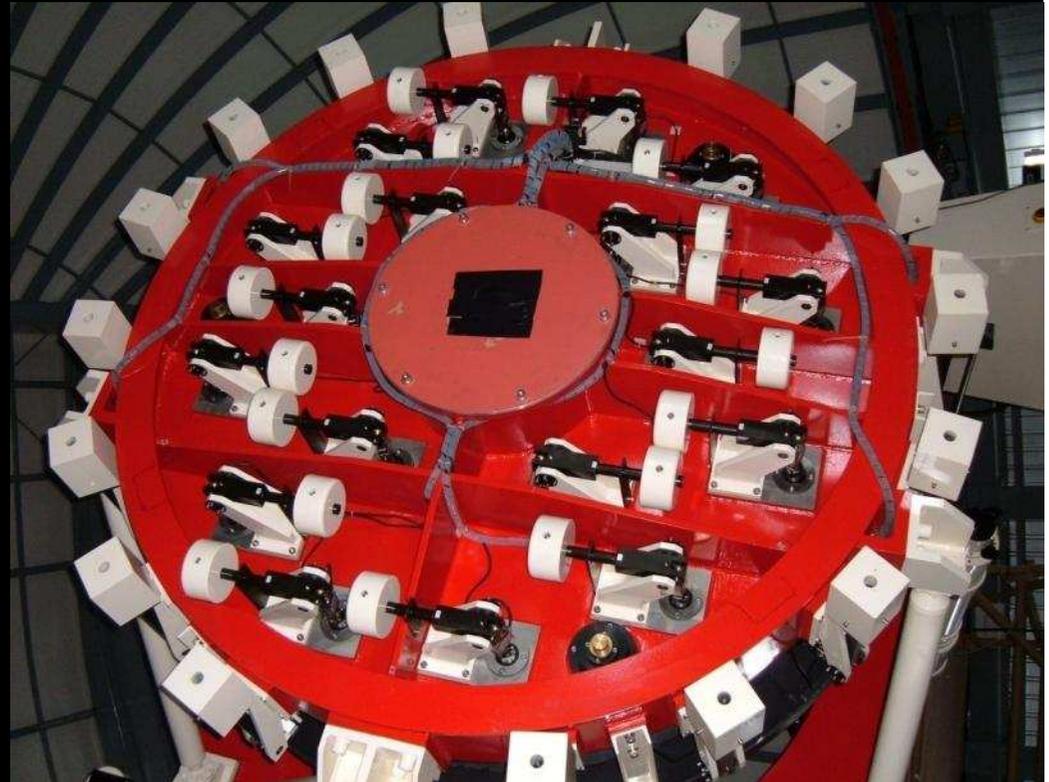
Questi specchi, del diametro di 8,4 metri ciascuno, sono provvisti di un sistema di *ottica attiva* per correggere gli effetti di deformazione dovuti al loro stesso peso.

Il telescopio vede la partecipazione degli Stati Uniti tramite enti governativi e diverse università (50%); della Germania (25%) e dell'Italia (25%).

LARGE BINOCULAR TELESCOPE

L'ottica attiva è una tecnologia relativamente recente utilizzata nei moderni telescopi e in strumenti simili per avere superfici ottiche di grande precisione.

Essa lavora aggiustando "attivamente" la forma degli specchi dei telescopi.



Gli specchi primari dei moderni telescopi riflettori, che hanno diametri dai 3 agli 8 metri o più, non sono in grado di reggere il proprio peso senza deformarsi.

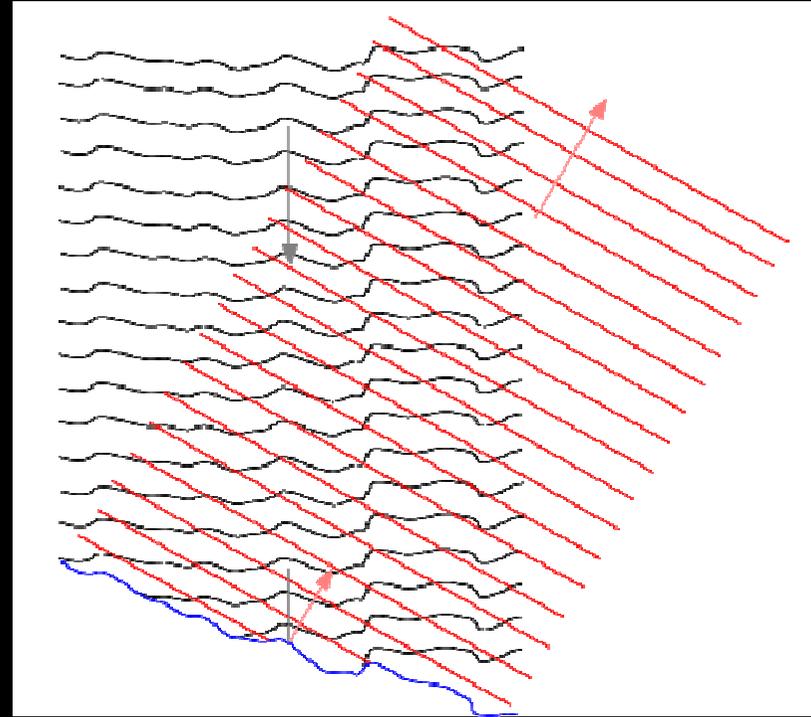
Un sistema di attuatori a controllo computerizzato posti sotto lo specchio può mantenerlo costantemente nella forma ideale, compensando gli effetti della gravità.

Ciò assicura sempre una qualità ottimale delle immagini astronomiche.

LARGE BINOCULARE TELESCOPE

I due specchi secondari, sviluppati presso i laboratori dell'Osservatorio di Arcetri, sono specchi concavi di 911 mm adattivi.

Le **ottiche adattive** rappresentano una delle moderne tecniche utilizzate dai telescopi basati a terra per contrastare l'effetto di degradazione delle immagini dovuto alla turbolenza atmosferica, che riduce di fatto il potere risolutivo del telescopio a valori molto inferiori al limite teorico.



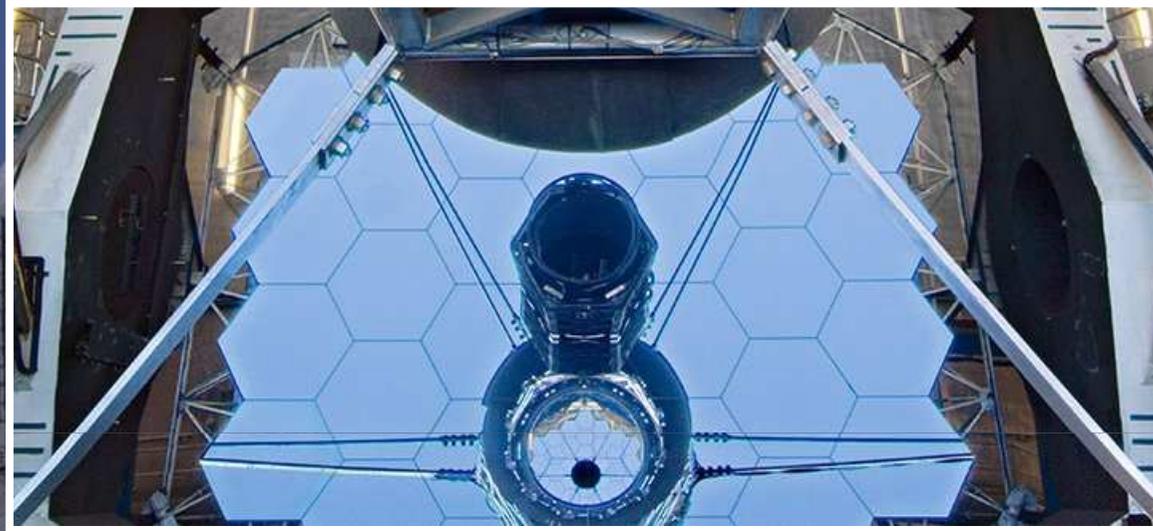
Il fronte d'onda proveniente dalla sorgente viene distorto dalle turbolenze atmosferiche, la conoscenza della forma effettiva del fronte d'onda permetterebbe, tramite un sistema di specchi a deformazione controllabile, di recuperare una forma più simile a quella piana, precedente l'interazione con l'atmosfera, migliorando drasticamente la qualità dell'immagine.

Questa è l'idea che sta alla base del principio di funzionamento delle ottiche adattive, la cui implementazione richiede accorgimenti tecnici complessi e una o più sorgenti guida.

La tecnologia delle ottiche adattive si sta diffondendo e perfezionando sempre più, permettendo di ottenere risultati di notevole qualità.

W. M. KECK OBSERVATORY

È costituito dai due telescopi riflettori gemelli situati a 4145 metri di altezza sulla sommità del vulcano Mauna Kea, nelle isole Hawaii.



I due telescopi sono di tipo Ritchey-Chrétien, con montatura altazimutale e sistemi di ottica attiva e adattiva. Lo specchio primario di ciascuno dei due telescopi è costituito da un insieme di specchi esagonali assemblati in modo da formare uno specchio equivalente ad uno di 10,2 m di diametro,

Sono i secondi telescopi ottici più grandi al mondo, dopo il Gran Telescopio Canarias.

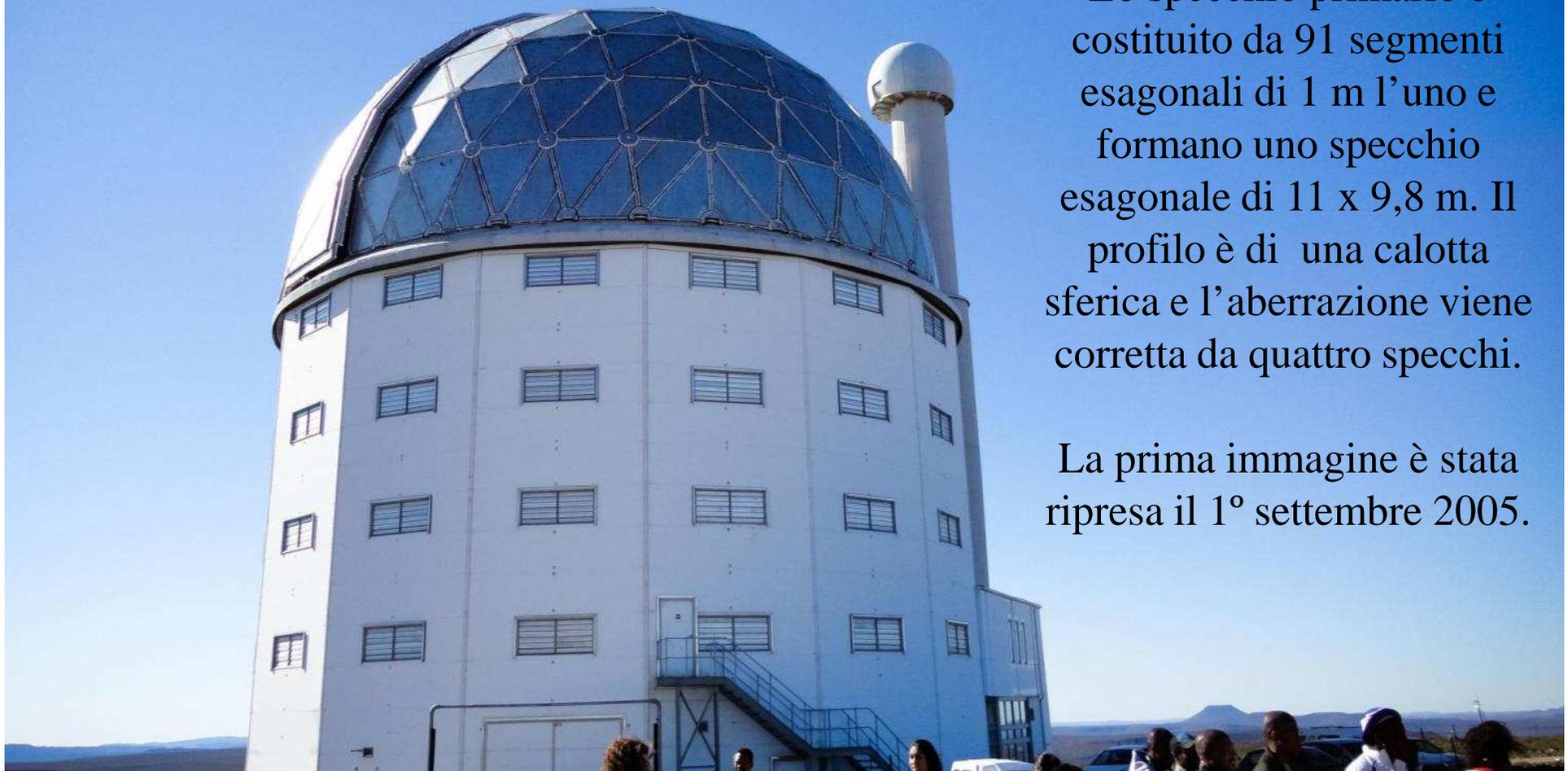
I due strumenti operano in modalità singola ma anche insieme, formando un interferometro lungo 85 metri.

SOUTERN AFRICAN LARGE TELESCOPE

È il più grande telescopio ottico dell'emisfero sud. Si trova nei pressi della cittadina di Sutherland in Sudafrica.

Lo specchio primario è costituito da 91 segmenti esagonali di 1 m l'uno e formano uno specchio esagonale di 11 x 9,8 m. Il profilo è di una calotta sferica e l'aberrazione viene corretta da quattro specchi.

La prima immagine è stata ripresa il 1° settembre 2005.

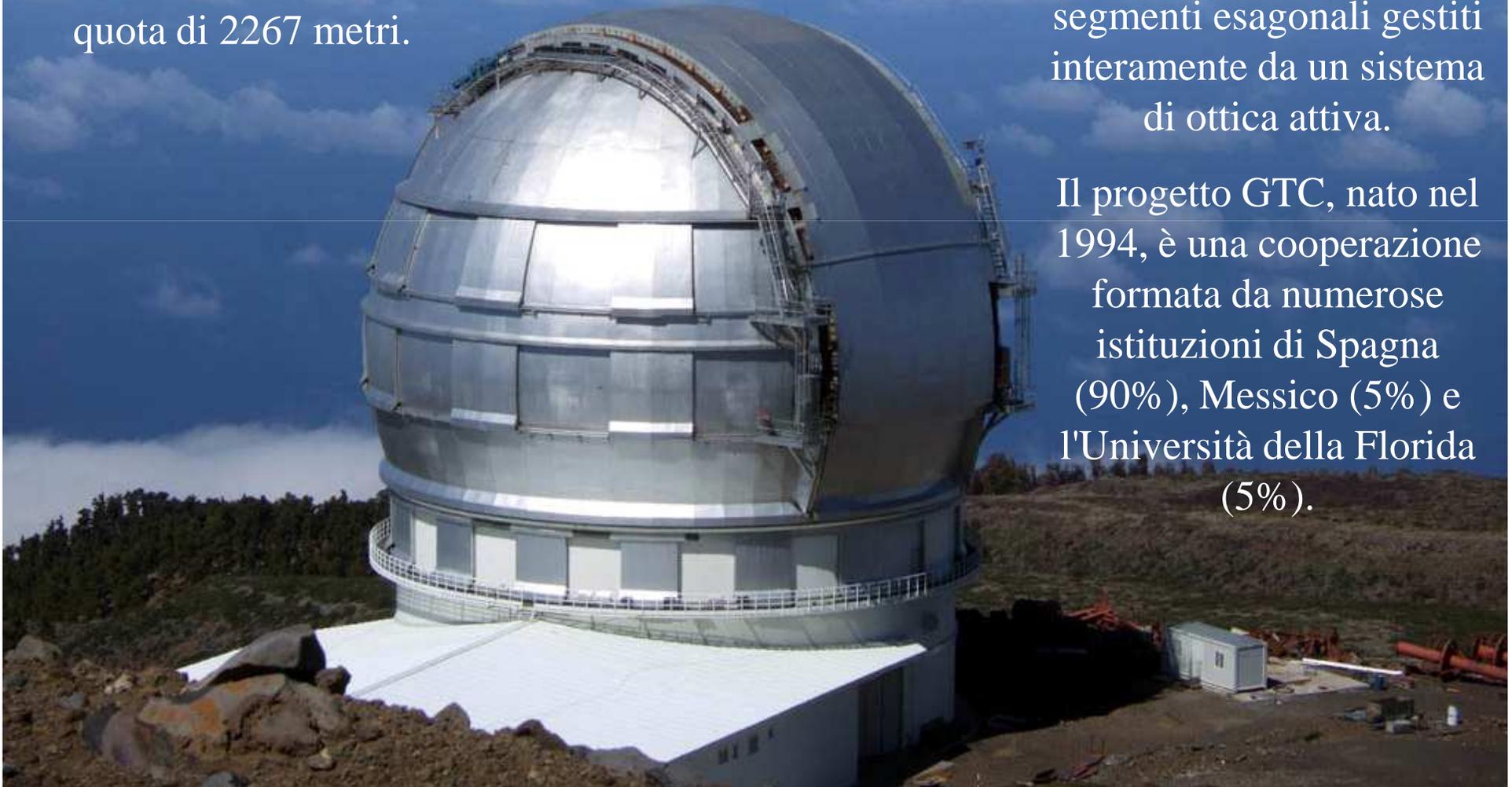


GRAN TELESCOPIO CANARIAS

GTC è un telescopio riflettore con uno specchio primario di 10,4 metri posto sull'isola di La Palma, nelle Canarie, alla quota di 2267 metri.

E' stato inaugurato ufficialmente il 16 luglio 2007. Lo specchio primario è composto da 36 segmenti esagonali gestiti interamente da un sistema di ottica attiva.

Il progetto GTC, nato nel 1994, è una cooperazione formata da numerose istituzioni di Spagna (90%), Messico (5%) e l'Università della Florida (5%).



TELESCOPIO NAZIONALE GALILEO

Il TNG è un telescopio di 3,58 metri di diametro situato sulla sommità dell'isola de La Palma alle Isole Canarie ed è il più importante strumento ottico della comunità astronomica italiana.

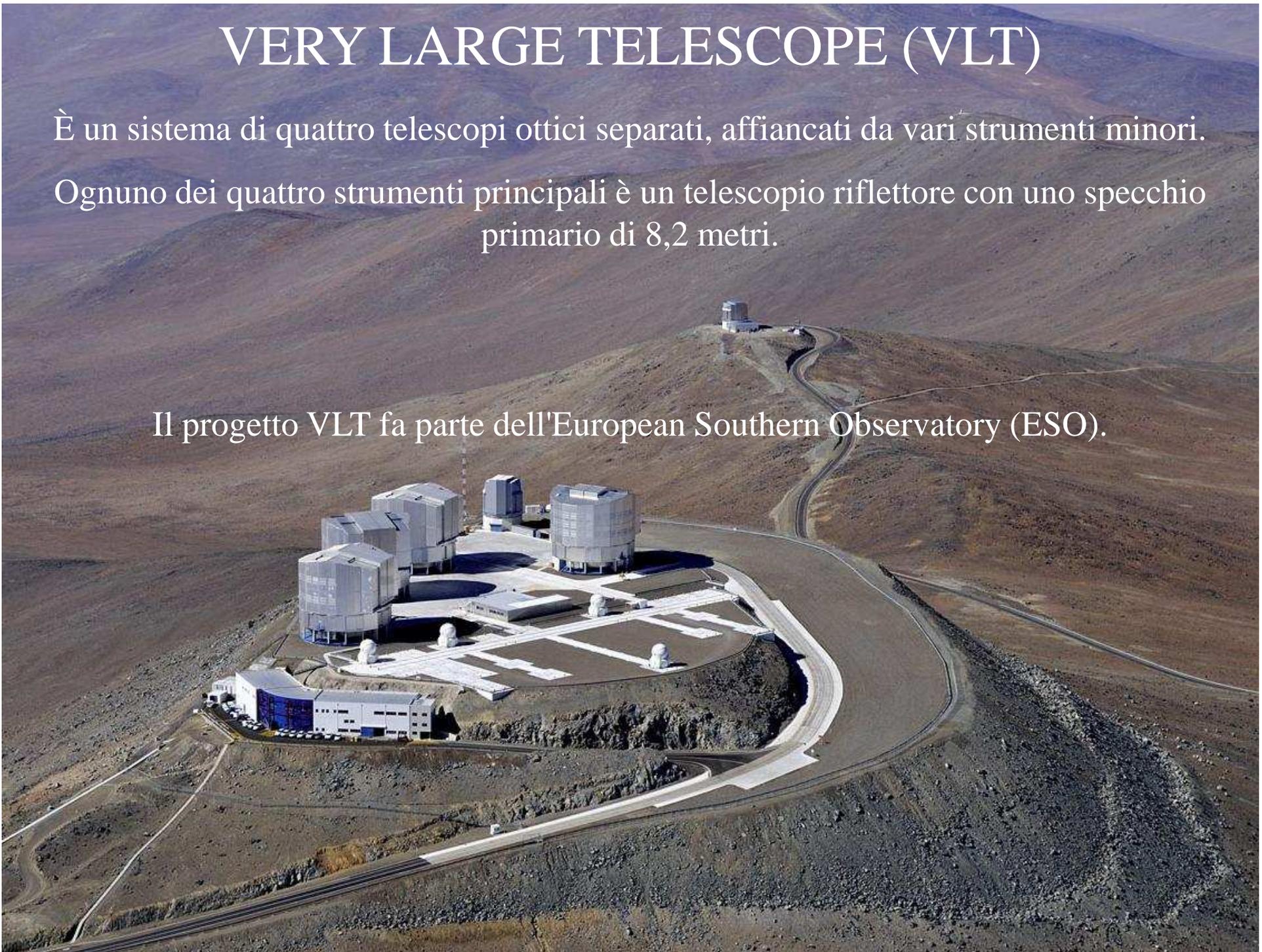
Dal 2005 la "Fundación Galileo Galilei, Fundación Canaria" (FGG) gestisce il telescopio per conto dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF).



VERY LARGE TELESCOPE (VLT)

È un sistema di quattro telescopi ottici separati, affiancati da vari strumenti minori.
Ognuno dei quattro strumenti principali è un telescopio riflettore con uno specchio
primario di 8,2 metri.

Il progetto VLT fa parte dell'European Southern Observatory (ESO).



VERY LARGE TELESCOPE (VLT)

Si trova sul Cerro Paranal, una montagna di 2635 metri di altezza, nel Cile

Il primo dei quattro telescopi

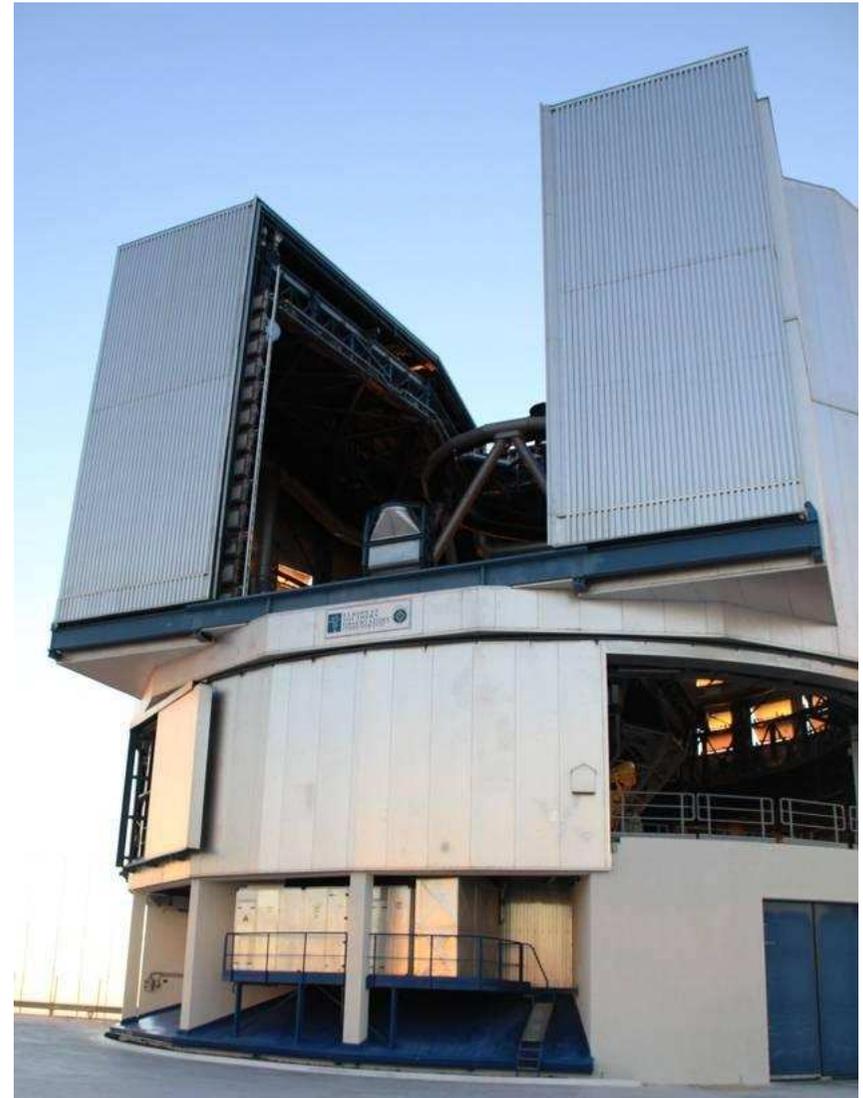
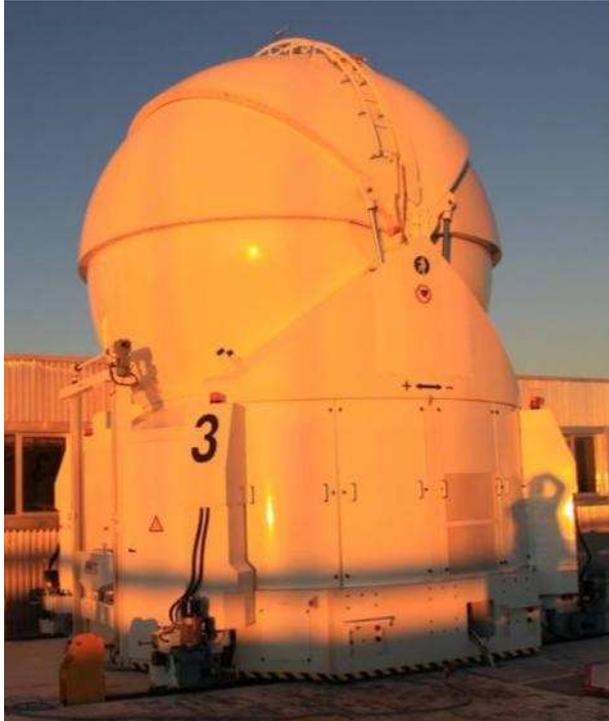


VERY LARGE TELESCOPE (VLT)

I telescopi sono stati chiamati con i nomi di alcuni oggetti astronomici nella lingua Mapuche locale: Antu (il Sole), Kueyen (la Luna), Melipal (la Croce del Sud), e Yepun (Venere).

Il VLT può operare in tre modi:

- come quattro telescopi indipendenti
- come un unico strumento non-coerente
- come un unico strumento coerente in modo interferometrico (VLTI).



VERY LARGE TELESCOPE (VLT)

Gli specchi principali sono spessi solo 18 cm e la loro forma è controllata da 150 pistoncini che la aggiustano ogni volta che il telescopio viene mosso.



VERY LARGE TELESCOPE (VLT)

Per eliminare l'aberrazione introdotta dall'atmosfera sopra il Cerro Paranal, viene utilizzato anche un sistema di ottica adattiva con uno specchio che aggiusta l'immagine 100 volte al secondo.



VERY LARGE TELESCOPE (VLT)

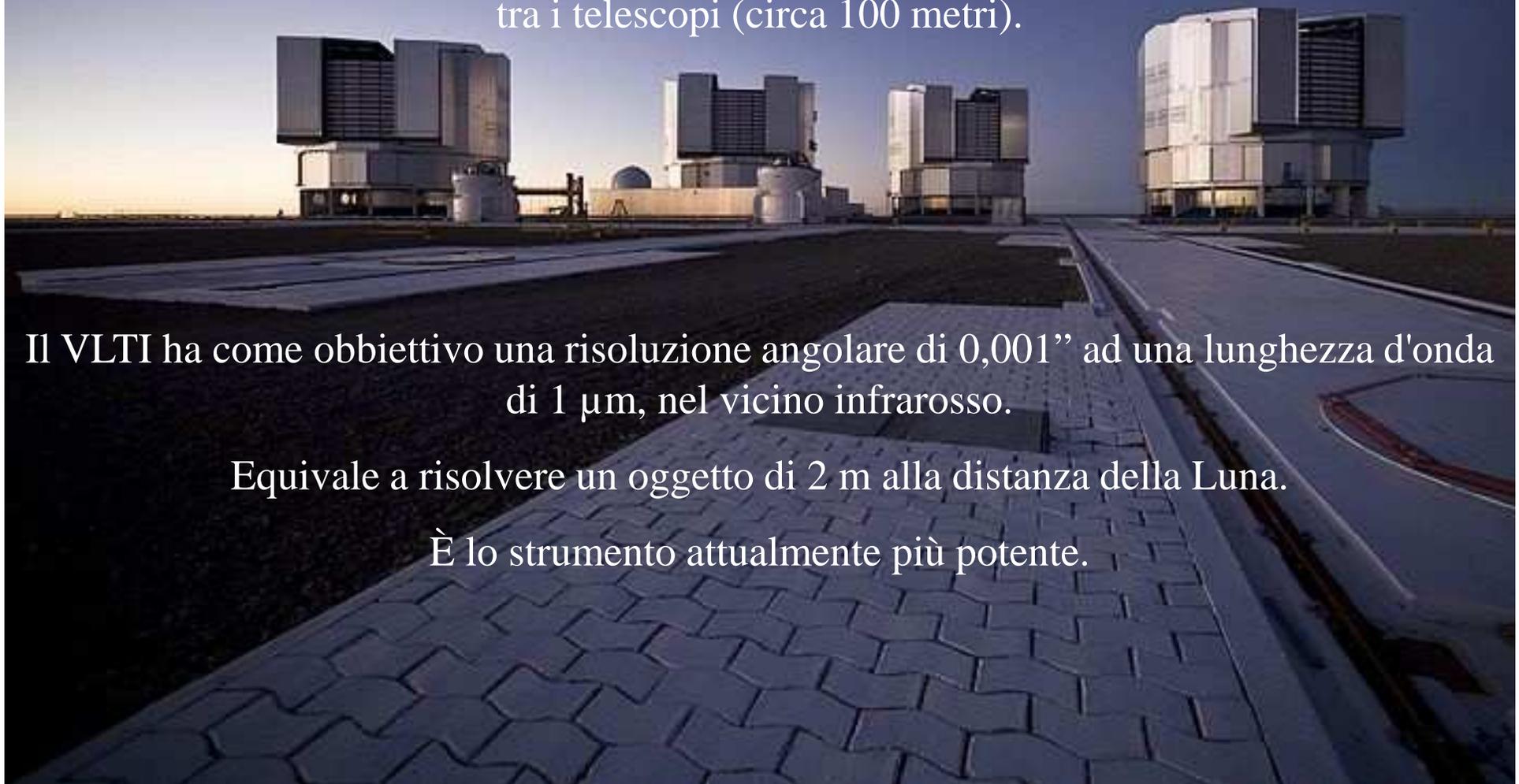
In modalità interferometrica (VLTI), la luce raccolta viene inviata in un laboratorio e fusa insieme. In questo modo i quattro telescopi forniscono la stessa capacità di raccolta di luce di un singolo specchio di 16 metri di diametro.

La risoluzione è equivalente ad uno specchio che abbia un diametro pari alla distanza tra i telescopi (circa 100 metri).

Il VLTI ha come obiettivo una risoluzione angolare di $0,001''$ ad una lunghezza d'onda di $1 \mu\text{m}$, nel vicino infrarosso.

Equivale a risolvere un oggetto di 2 m alla distanza della Luna.

È lo strumento attualmente più potente.



ATACAMA LARGE MILLIMETER ARRAY

L'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) è un radiointerferometro situato a 5000 metri d'altitudine nel deserto di Atacama in Cile. L'inaugurazione ufficiale è avvenuta il 13 marzo 2013, mentre l'ultima antenna è stata consegnata il 1° ottobre 2013 e le 66 antenne (con diametro di 12 e 7 metri) sono pienamente operative dalla fine di quell'anno: Osserva alle lunghezze d'onda millimetriche e sub-millimetriche . Il costo del progetto è stato di circa un miliardo di dollari



ATACAMA LARGE MILLIMETER ARRAY

Con ALMA è possibile studiare la nascita delle stelle nell'universo primordiale e ottenere immagini dettagliate della formazione delle stelle e dei pianeti nell'universo locale. Le antenne possono muoversi all'interno dell'altopiano per distanze da 150 m a 16 km, il che darà ad ALMA un potente zoom variabile.



TELESCOPI > 8 m

Nome	Diametro	Tipo di specchio	Nazionalità	Osservatorio	Anno di costruzione
Large Binocular Telescope (LBT)	2×8,4 = 11,8 m	2 singoli	USA, Italia, Germania	Osservatorio internazionale del monte Graham, Arizona	2007
Gran Telescopio Canarias (GTC)	10,4 m	Mosaico	Spagna, Messico, USA	Osservatorio del Roque de Los Muchachos, Isole Canarie	2006
Keck 1	10 m	Mosaico	USA	Osservatorio di Mauna Kea, Hawaii	1993
Keck 2	10 m	Mosaico	USA	Osservatorio di Mauna Kea, Hawaii	1996
Southern African Large Telescope (SALT)	9,5 m	Mosaico	Sudafrica, USA, UK, Germania, Polonia, Nuova Zelanda	Osservatorio Astronomico del Sudafrica, Sudafrica	2005
Hobby-Eberly Telescope (HET)	9,2 m	Mosaico	USA, Germania	Osservatorio McDonald, Texas	1997
Subaru (NLT)	8,3 m	Singolo	Giappone	Osservatorio di Mauna Kea, Hawaii	1999
VLT 1 (Antu)	8,2 m	Singolo	Paesi ESO + Cile	Osservatorio del Paranal, Cile	1998
VLT 2 (Kueyen)	8,2 m	Singolo	Paesi ESO + Cile	Osservatorio del Paranal, Cile	1999
VLT 3 (Melipal)	8,2 m	Singolo	Paesi ESO + Cile	Osservatorio del Paranal, Cile	2000
VLT 4 (Yepun)	8,2 m	Singolo	Paesi ESO + Cile	Osservatorio del Paranal, Cile	2001
Gemini North	8,1 m	Singolo	USA, UK, Canada, Cile, Australia, Argentina, Brasile	Osservatorio di Mauna Kea, Hawaii	1999
Gemini South	8,1 m	Singolo	USA, UK, Canada, Cile, Australia, Argentina, Brasile	Cerro Pachón, Cile	2001

EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE

Il 26 aprile 2010 l'ESO annunciò la costruzione in Cile, sul Cerro Armazones, nella Regione di Antofagasta, di un telescopio da 39 m (798 specchi esagonali da 1.4 m). Attualmente sono iniziati i lavori di costruzione e si stima in oltre 1 G€ il costo di realizzazione; il completamento è previsto per il 2024. Si tratta del più grande telescopio mai realizzato; opererà nell'ottico/infrarosso; le principali aree scientifiche in cui verrà applicato sono: le galassie ad alto redshift, la formazione stellare, gli esopianeti e i sistemi protoplanetari.



E - ELT

