



Tutto quello che avreste sempre
voluto sapere... sui telescopi dell'ESO

Anna Wolter

INAF – Osservatorio Astronomico di Brera
ESO Science Outreach Network
Milano – 1 febbraio 2017

L'ESO in uno sguardo

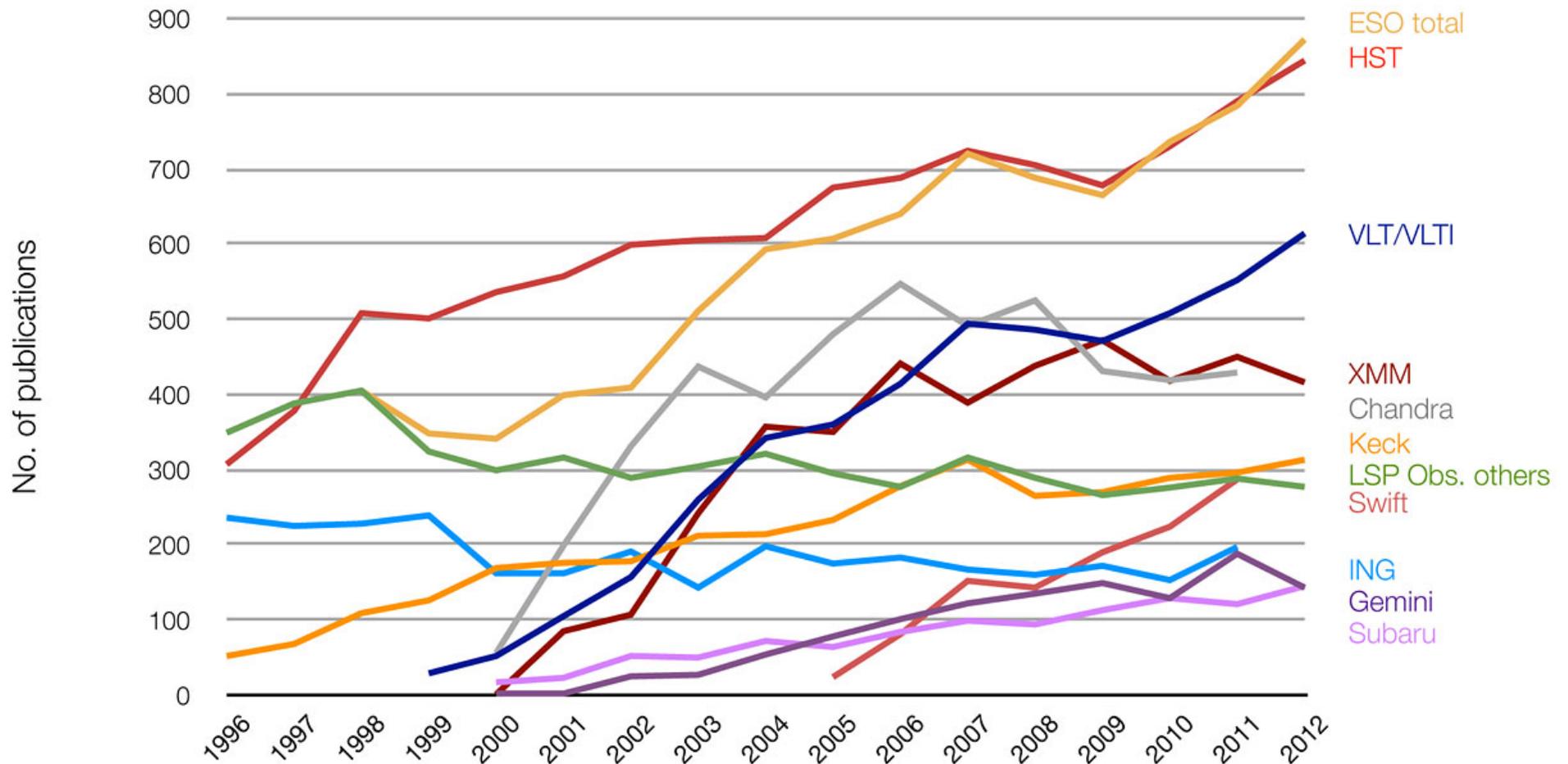
Austria, Belgio, Brasile,
Danimarca, Finlandia,
Francia, Germania, Gran
Bretagna, Italia, Olanda,
Polonia, Portogallo,
Repubblica Ceca, Spagna,
Svezia e Svizzera.

Cile: paese ospite

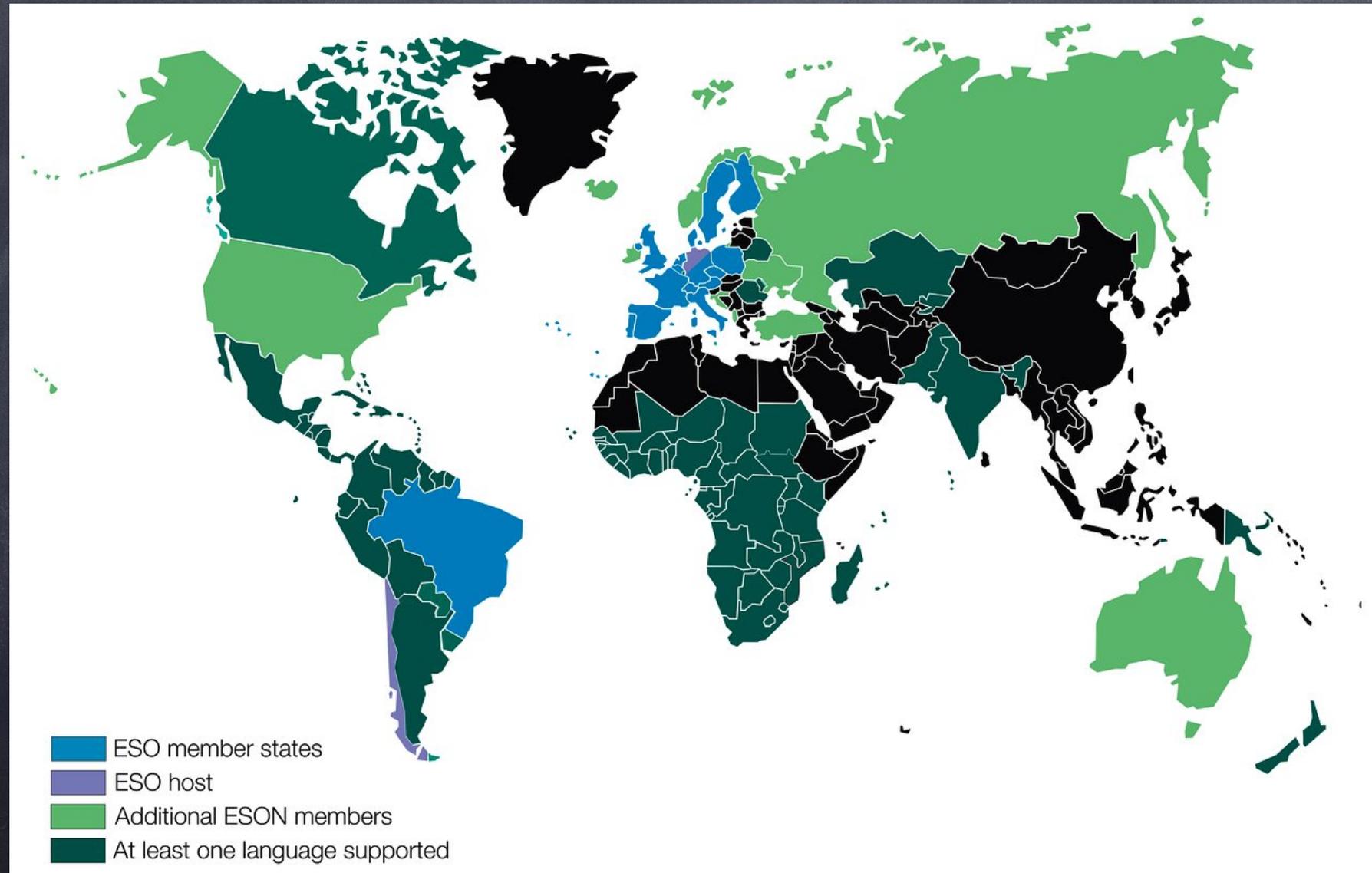


L'osservatorio più produttivo al mondo

Publications of major observatories by year



Il mondo ESON



5 ottobre 1962 — La fondazione: gli stati membri sono Belgio, Francia, Germania, I Paesi Bassi e la Svezia. Viene firmata la Convenzione dell'ESO.



7 novembre 1963

Il Cile viene scelto come sito osservativo dell'ESO e viene firmato il *Convenio* (noto anche come *Acuerdo*), l'accordo tra Cile e ESO, che dà il via all'avventura

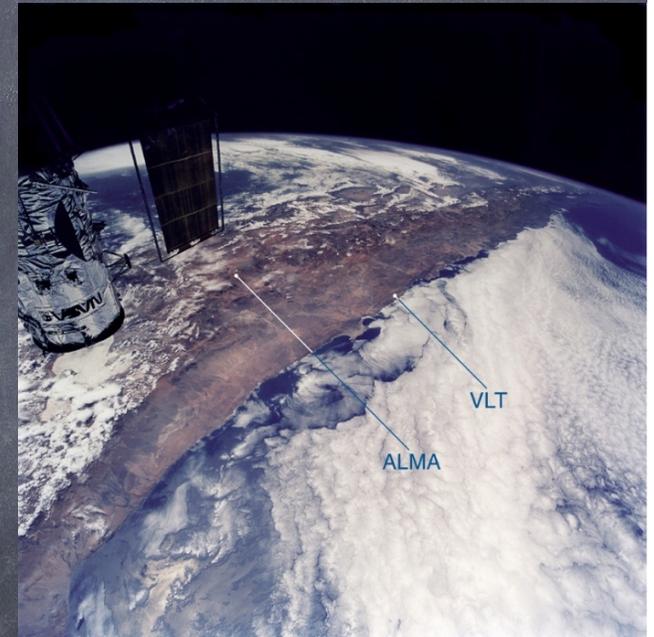


26 maggio 1964

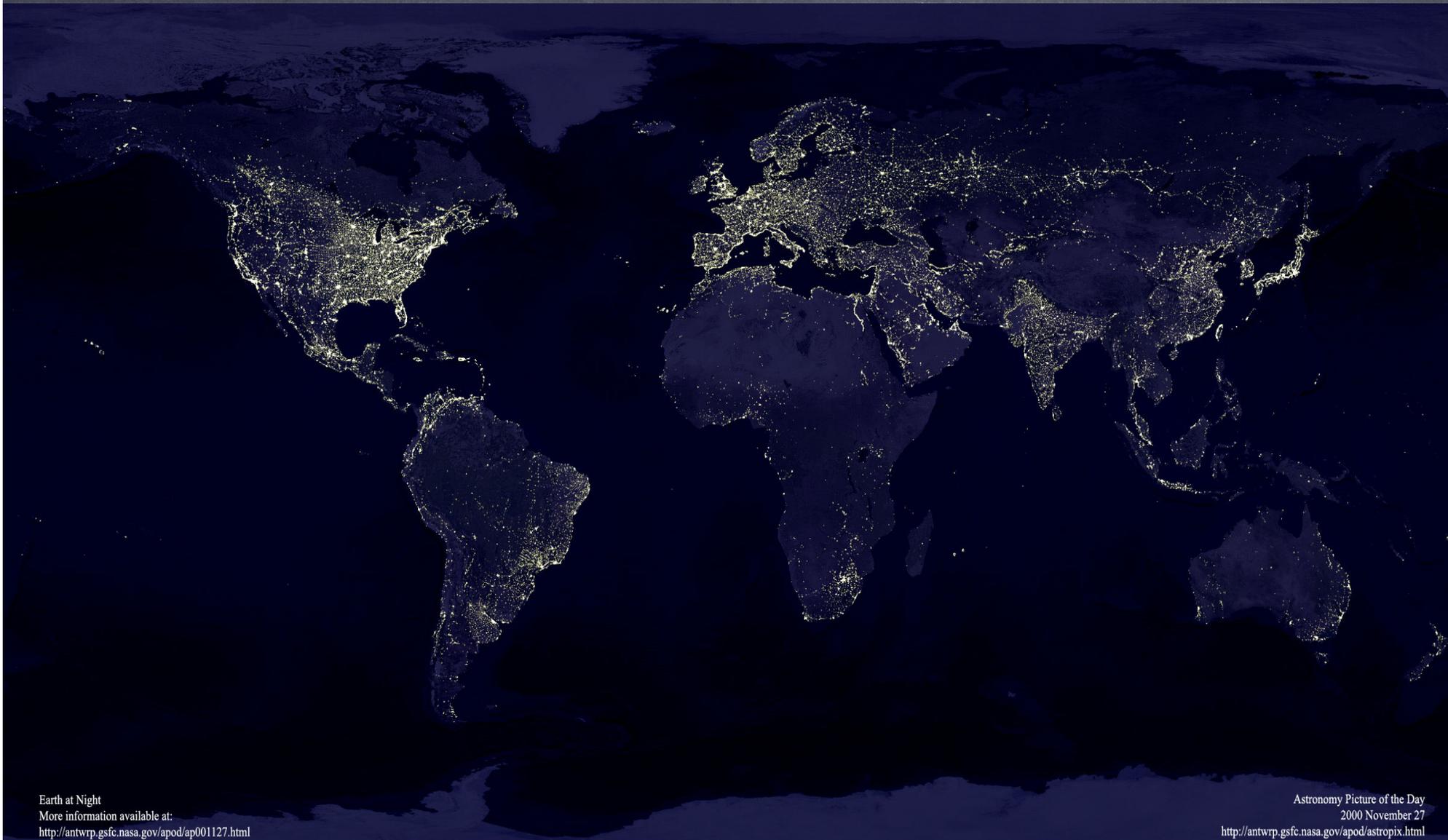
Il Consiglio dell'ESO sceglie la montagna che ospiterà il primo sito: è il Cinchado Nord — che diverrà poi noto come La Silla.

Sito per telescopi: un luogo alto e asciutto

- Le osservazioni sono limitate dalla turbolenza dell'atmosfera
- È la stessa causa del “brillio” delle stelle che, su lunghe esposizioni, distorce l'immagine delle stelle da punti a macchie offuscate
- La scelta del sito è fondamentale per un telescopio tanto più quanto più è grande lo specchio primario
- Tipicamente un sito elevato e secco con condizioni atmosferiche (buone e) stabili



e buio...

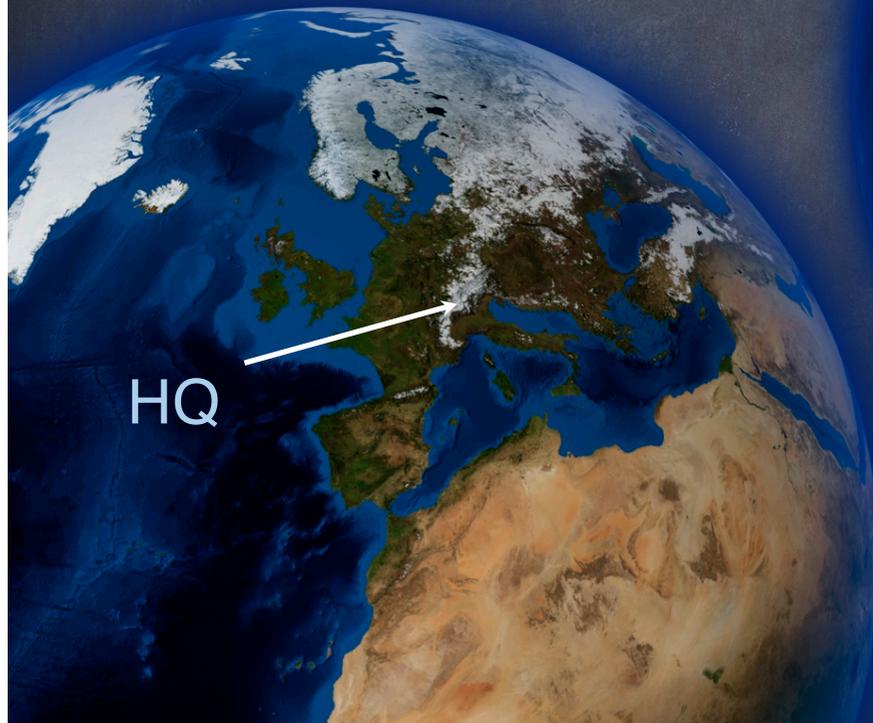


Earth at Night
More information available at:
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>

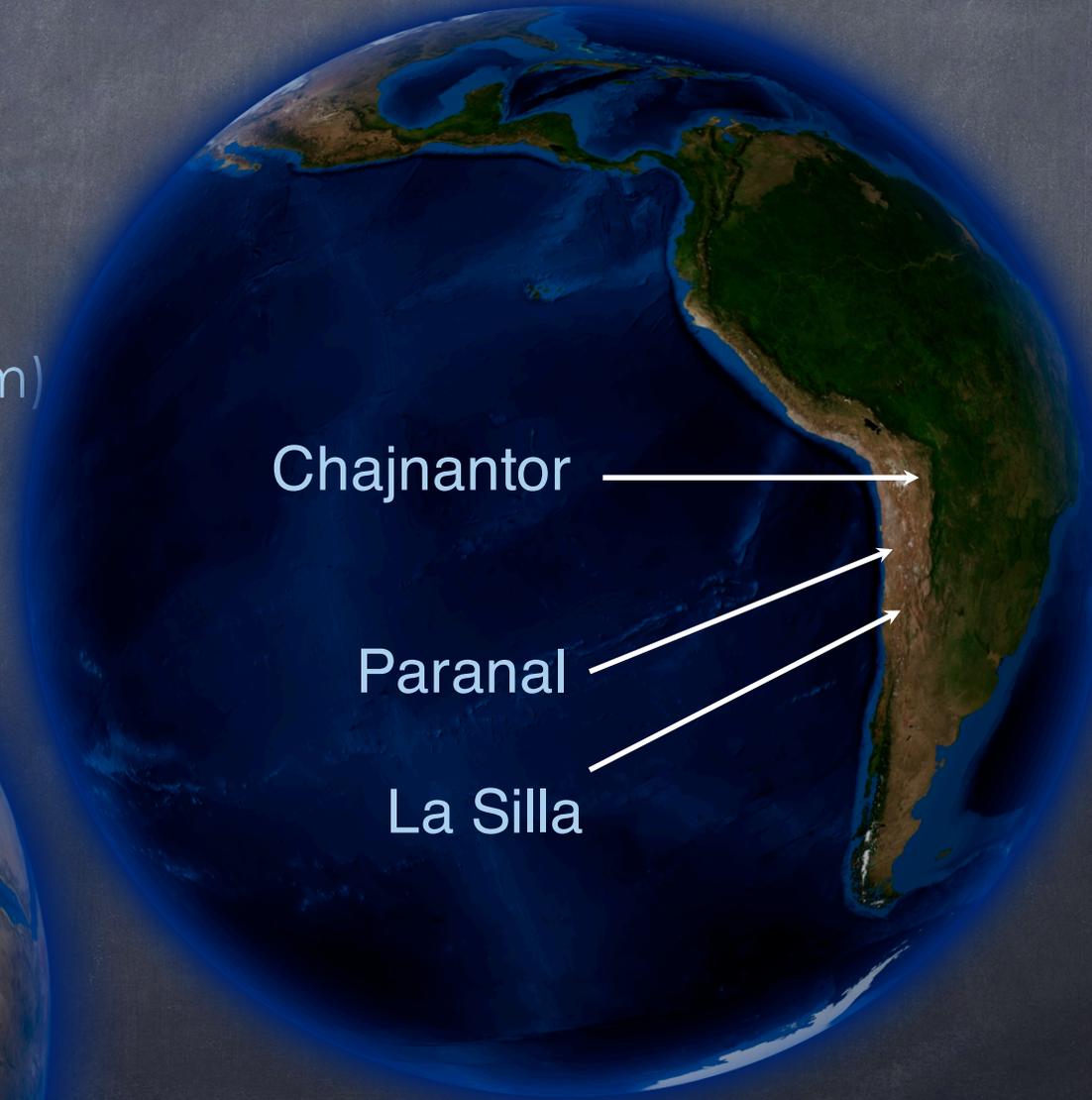
Astronomy Picture of the Day
2000 November 27
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

Siti osservativi dell'ESO in Cile

- Paranal (2600 m)
- La Silla (2400 m)
- Chajnantor (5000 m)



HQ



Chajnantor

Paranal

La Silla



Supernova



La Silla, il primo sito dell'ESO





<http://www.eso.org/public/italy/videos/lasillatrailer2009/>



ESO's La Silla Observatory

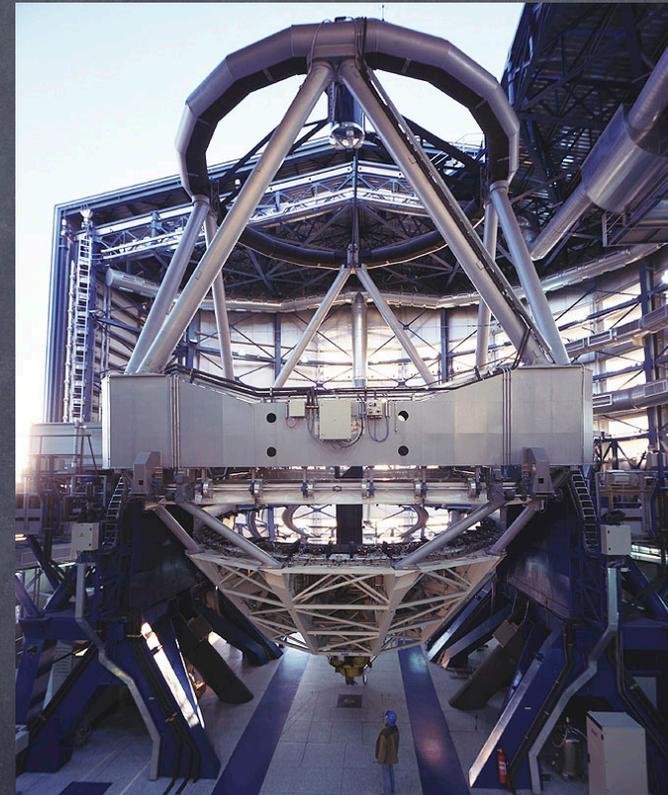


Paranal e il VLT

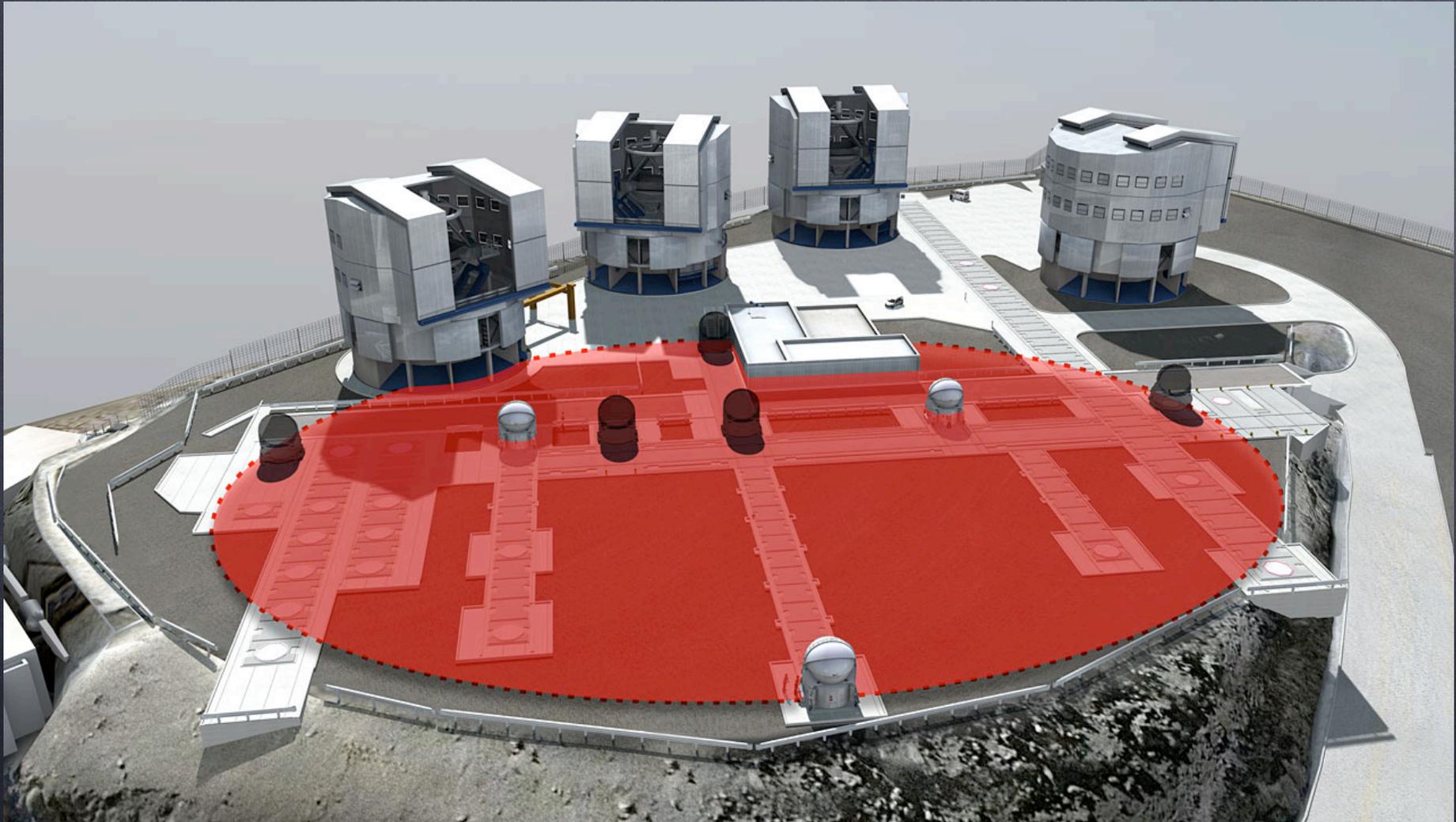


Il Very Large Telescope

- Quattro “Unit Telescopes” da 8,2-m: [Antu, Kueyen, Melipal, and Yepun](#)
- Quattro “Auxiliary Telescopes” mobili da 1,8-m
- Gli specchi primari da 8,2-m pesano 23 tonn e sono spessi 175 mm
- Il VLT usa ottica attiva, ottica adattiva e interferometria per migliorare la qualità dell’immagine



VLT-I funziona come un telescopio
virtuale di 130-metri di diametro



Mantenere efficiente un osservatorio sul Cerro Paranal a 2600slm è una vera sfida.

Il deserto di Atacama è uno dei luoghi più asciutti della terra: è molto difficile viverci...

Il VLT al Paranal e la Residencia sono oasi nel deserto.

Ogni giorno qui si consumano 60 000 litri d'acqua.





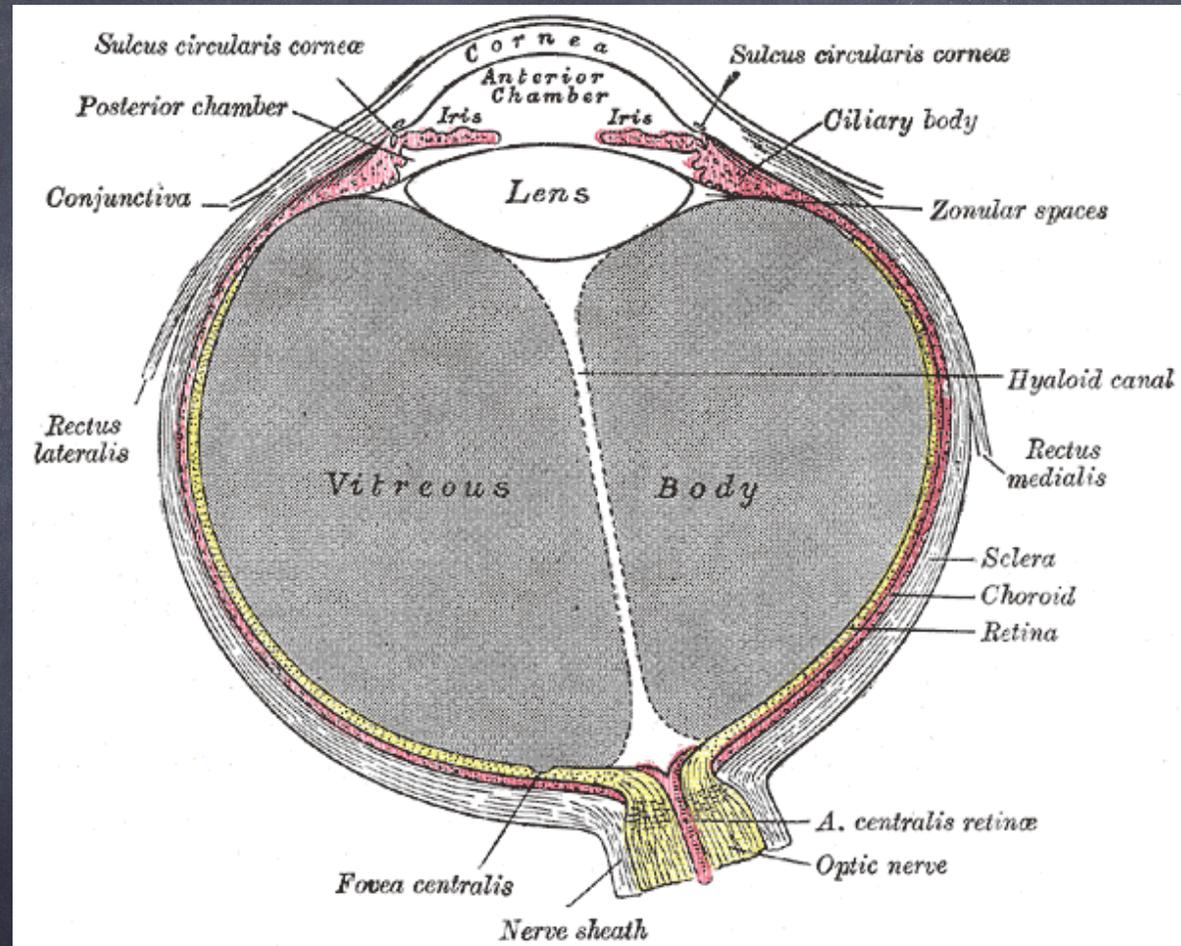


<http://www.eso.org/public/italy/videos/pao-trailer2017-eng/>

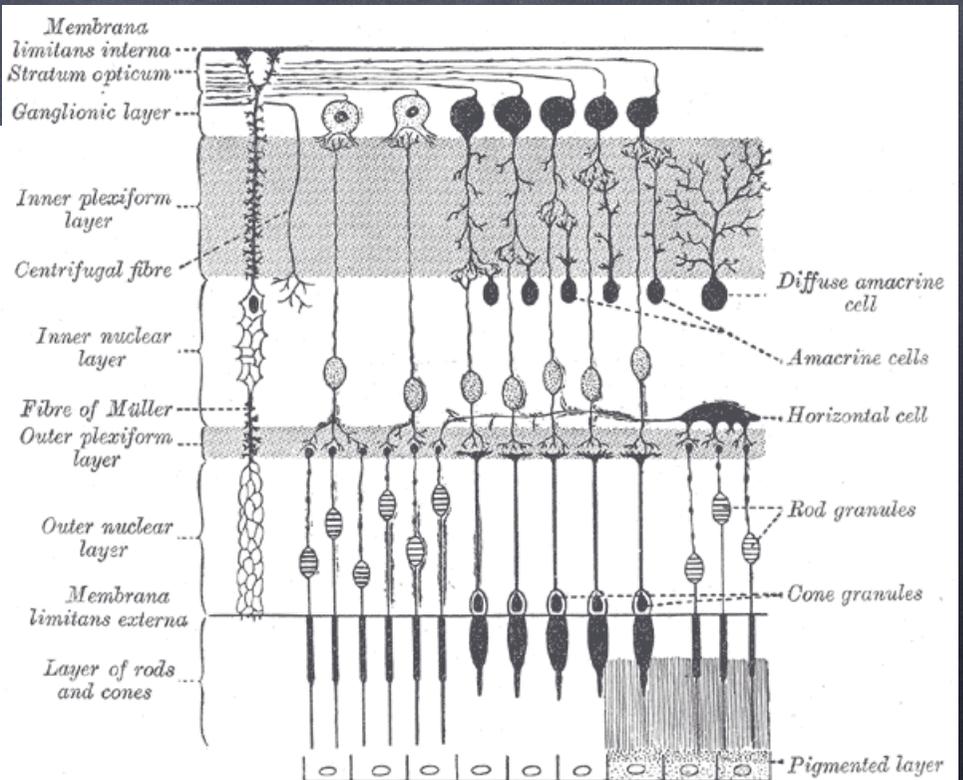
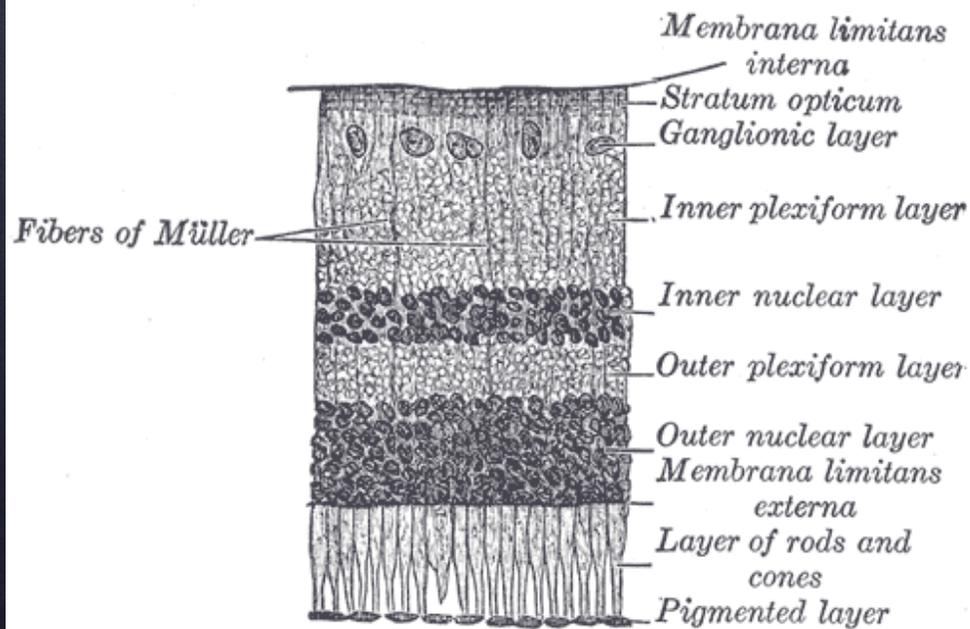
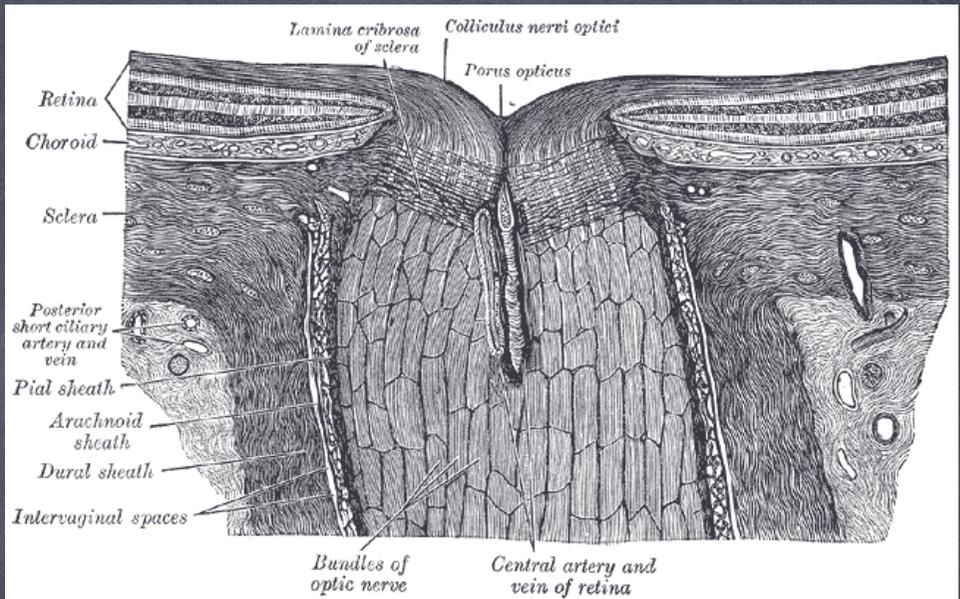
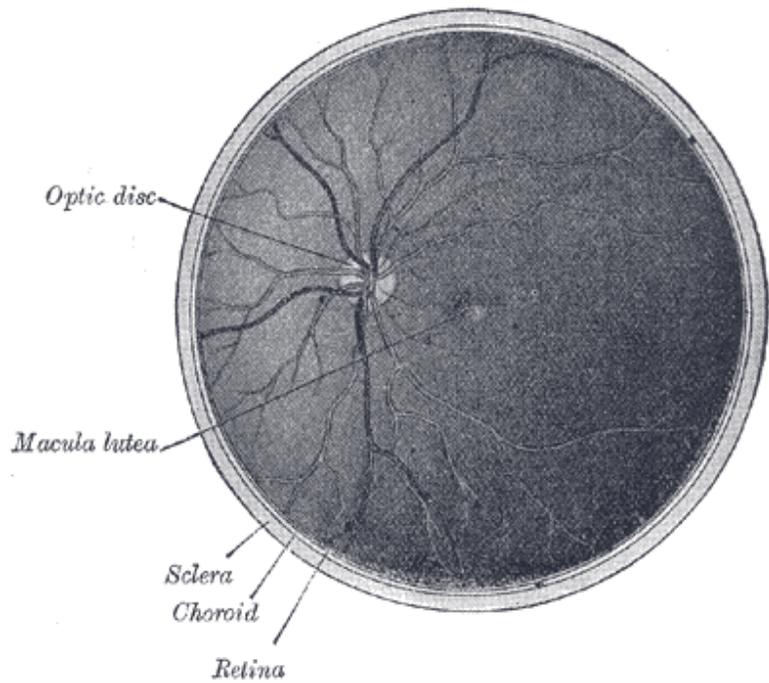


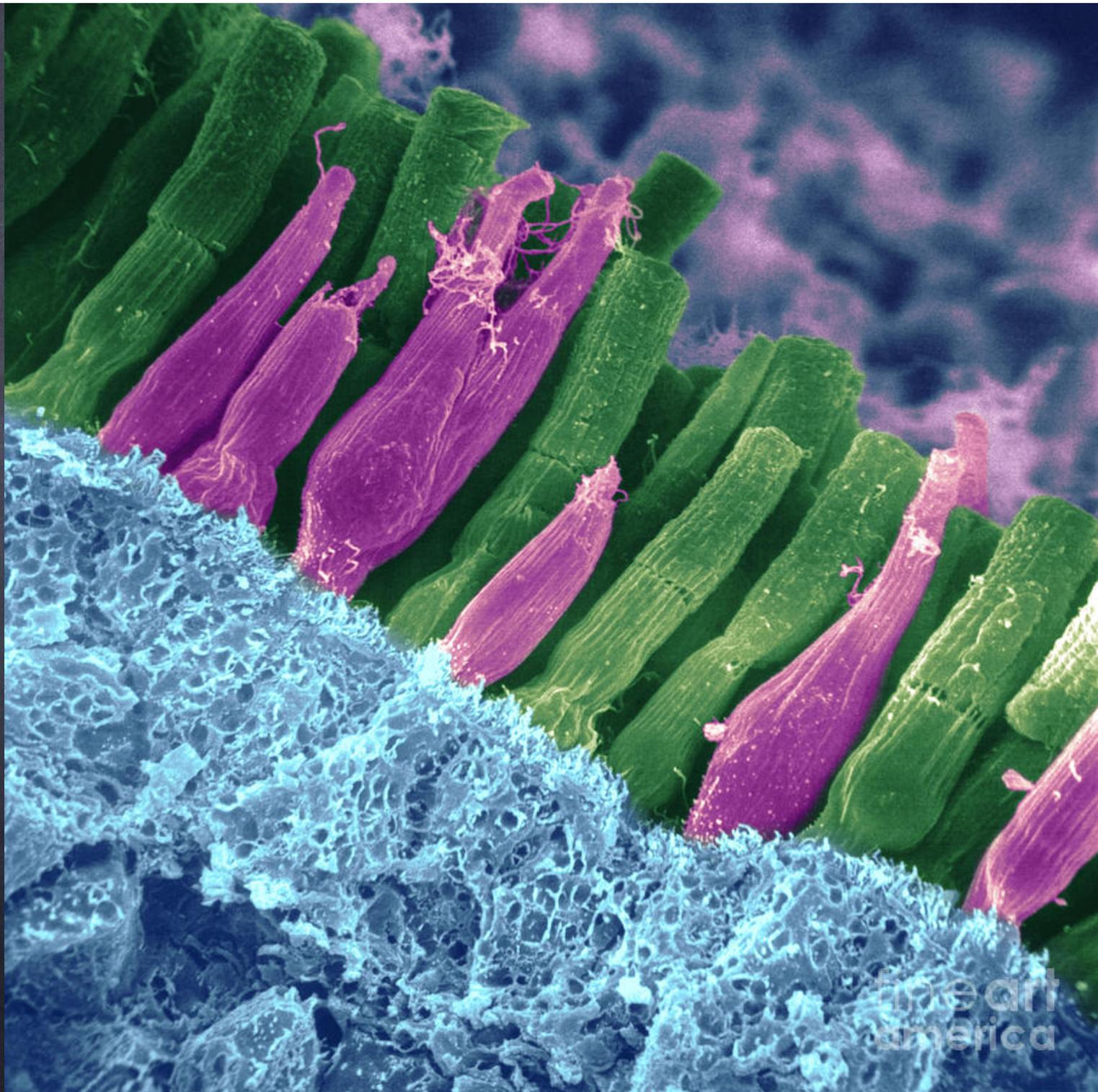
ESO Very Large Telescope

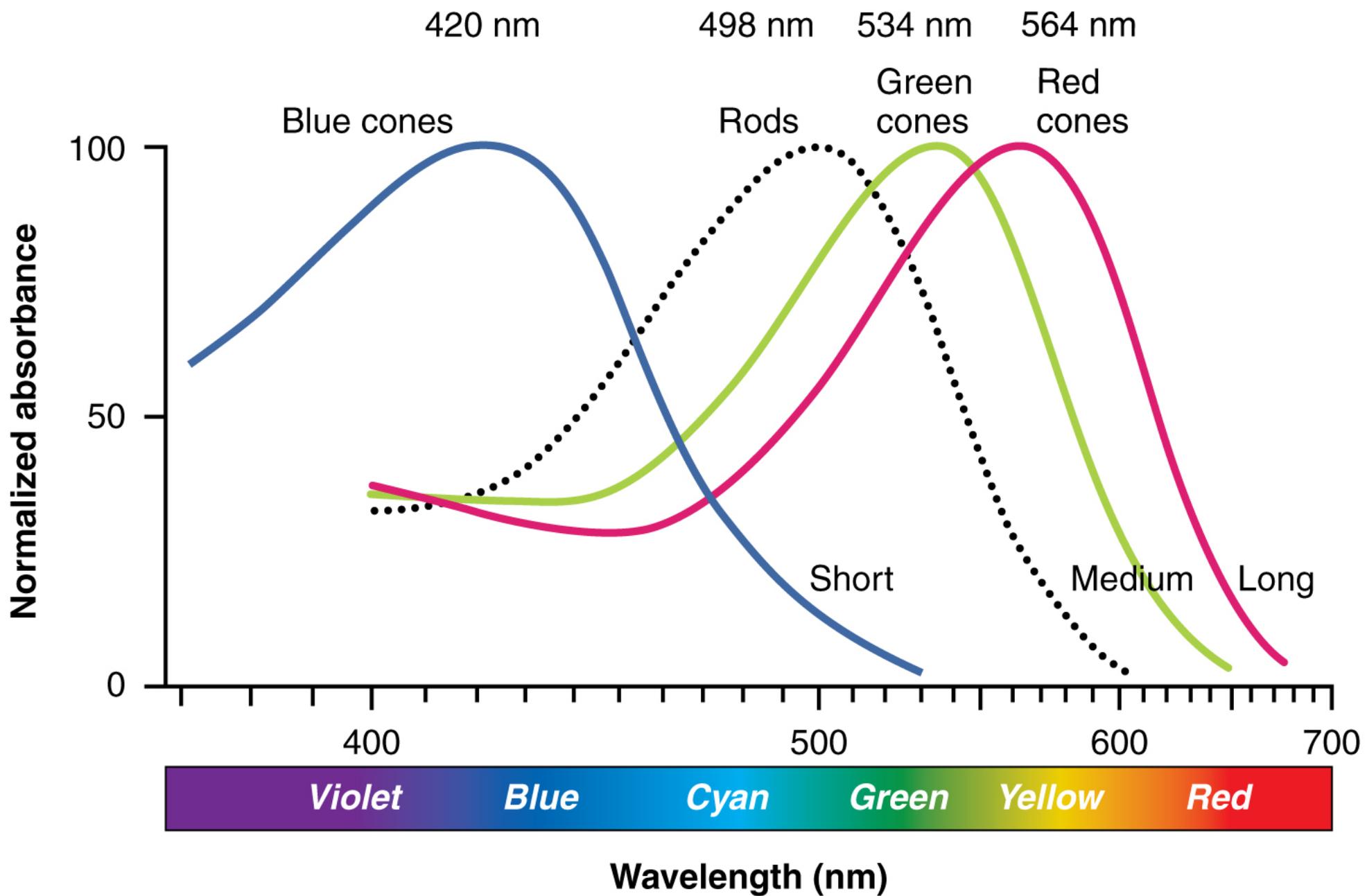
Il primo strumento



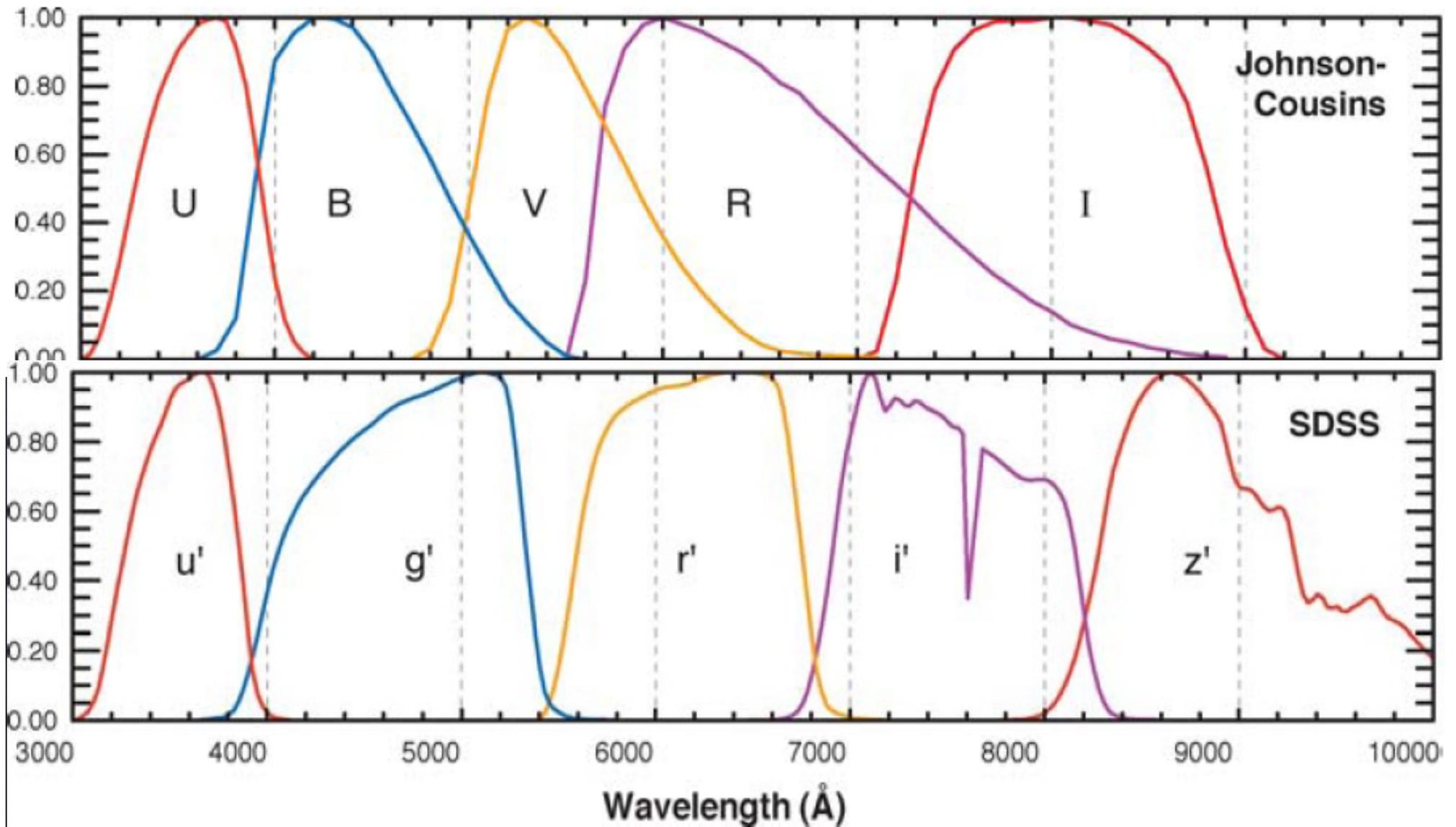
Da Gray's Anatomy

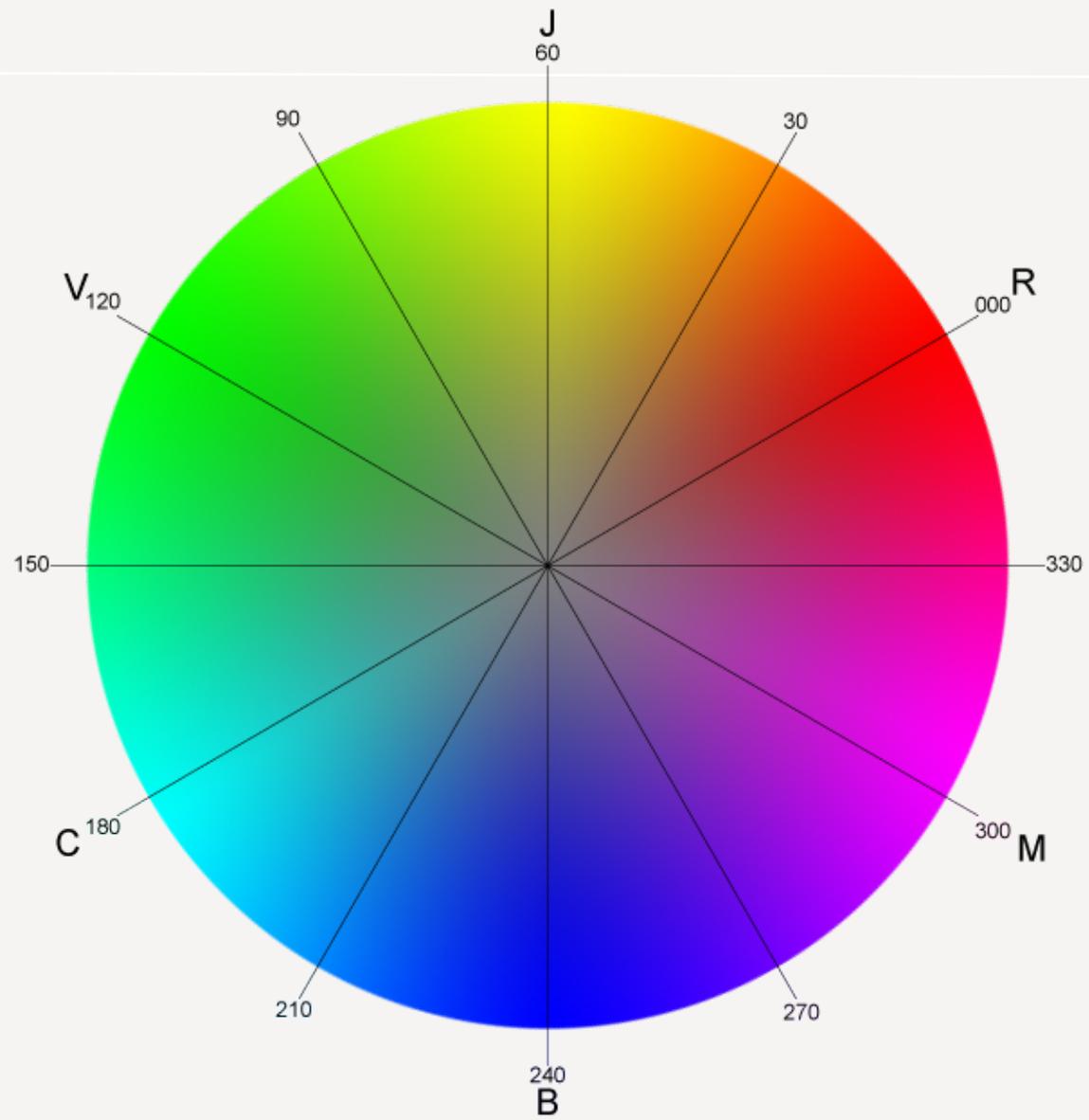


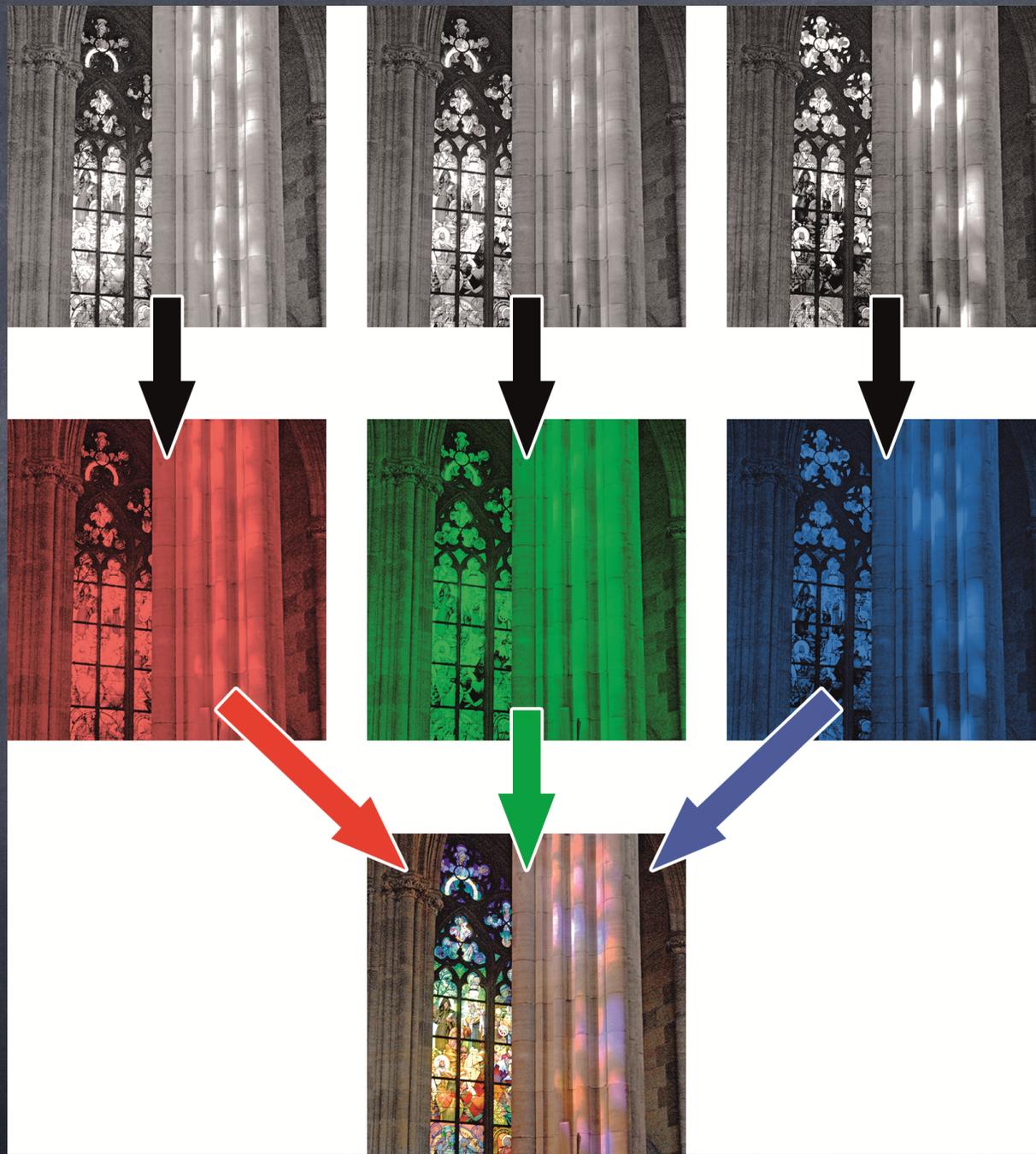




Tipici filtri per telescopi







Lente I



Diaframma



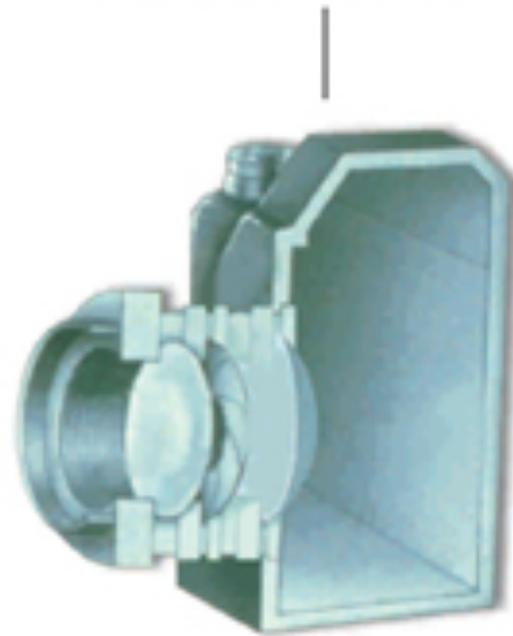
Lente II



Pellicola



Macchina fotografica



Cornea



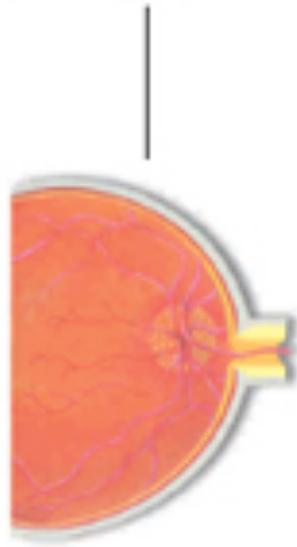
Iride



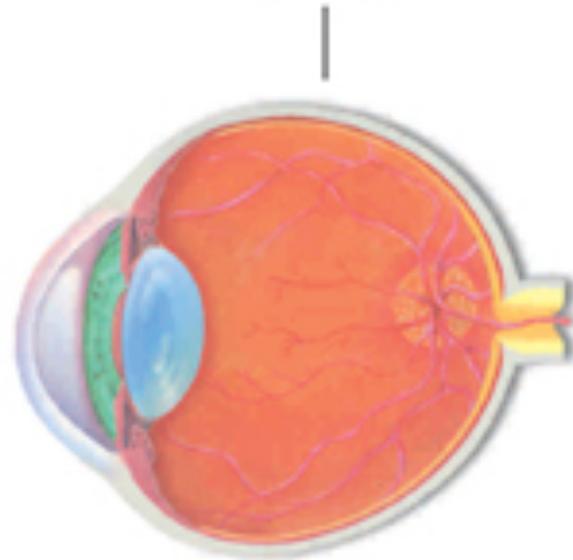
Cristallino



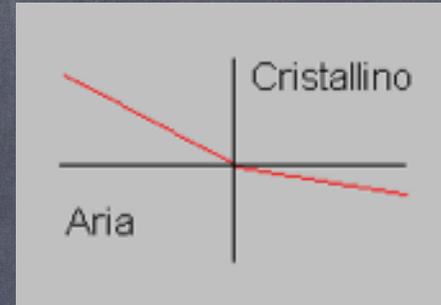
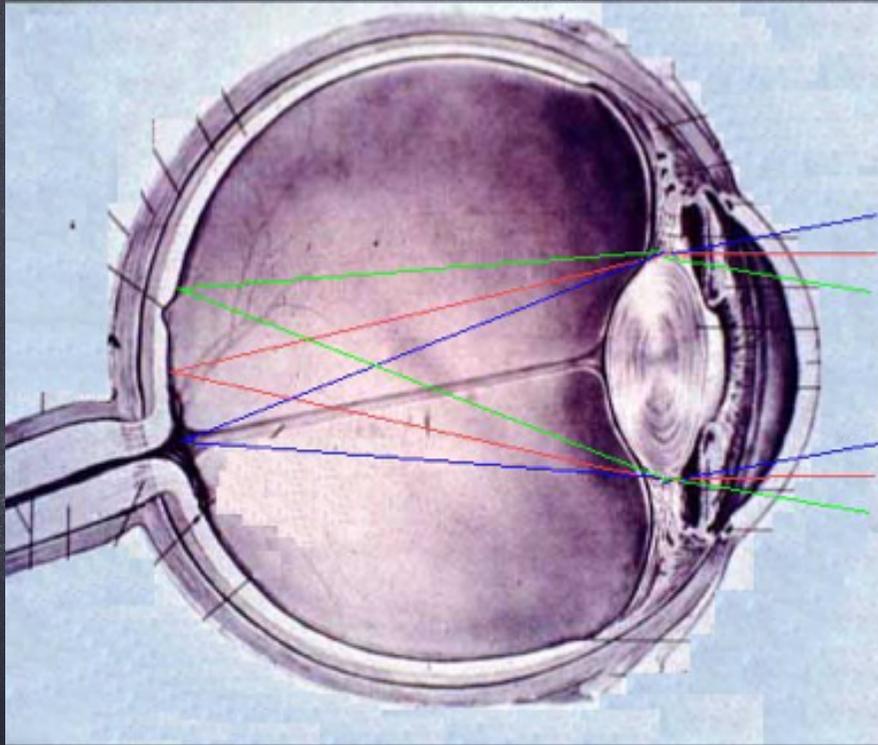
Retina



Occhio

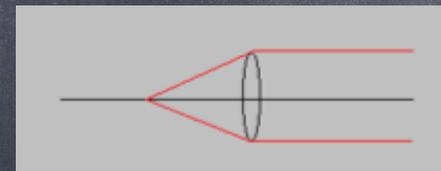


Come funziona l'occhio umano



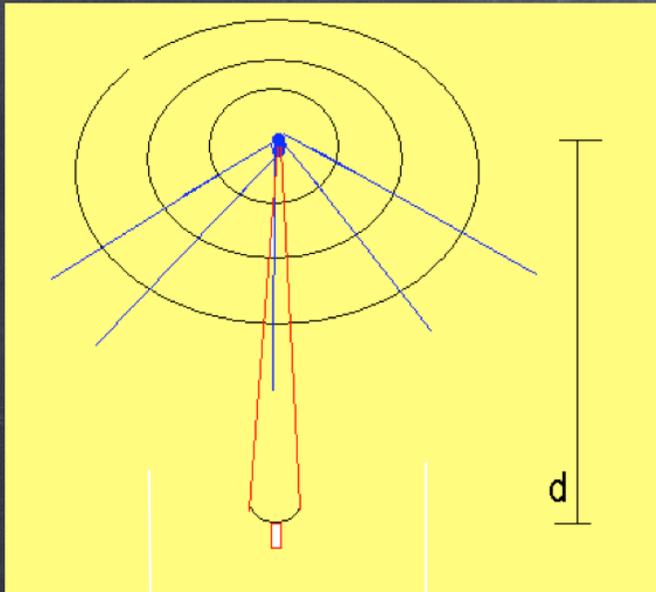
Legge di Snell

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

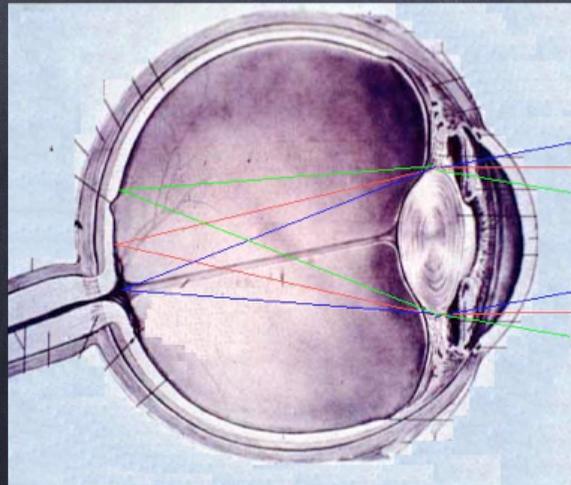
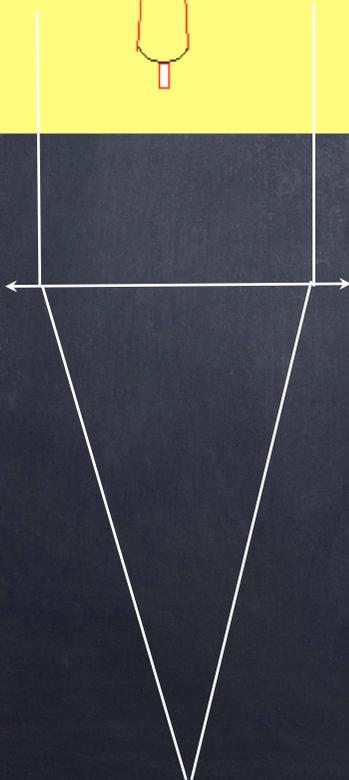


- L'Umore del Cristallino ha un indice di rifrazione superiore all'aria. Il controllo della curvatura determina il fuoco.

Quanta luce raccoglie ?

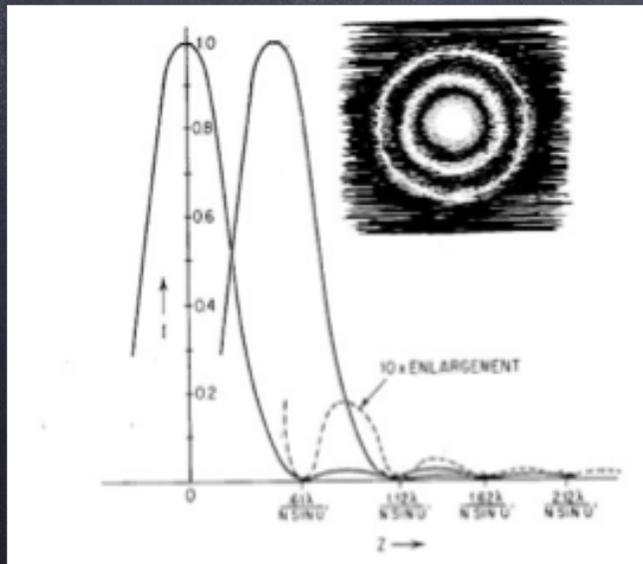
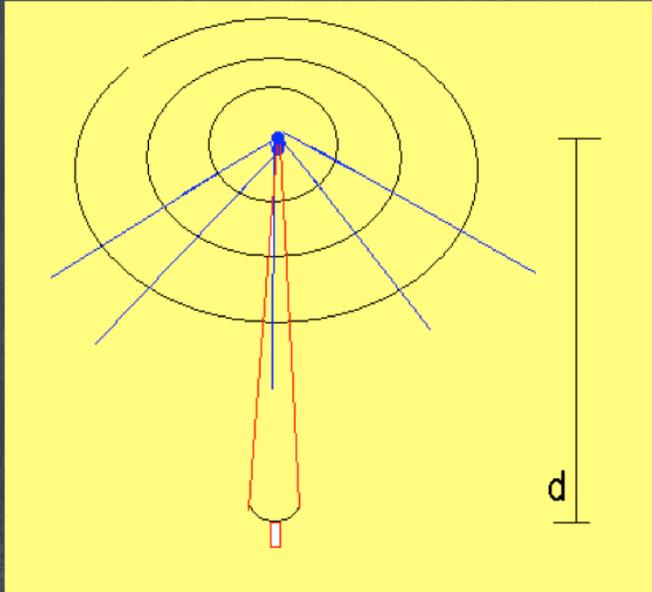


- Le sorgenti astronomiche emettono fotoni in modo isotropo (in tutte le direzioni).
- Il flusso decresce con il quadrato della distanza d tra la sorgente e l'Osservatore.
- Noi riceviamo un fronte d'onda "piano e parallelo" e ne raccogliamo una "quota parte" proporzionale all'Area Efficace del nostro sistema ottico.



- La pupilla umana (alla massima dilatazione) ha un diametro di circa 8 mm e un'area efficace di circa 50 mm^2

Risoluzione Spaziale



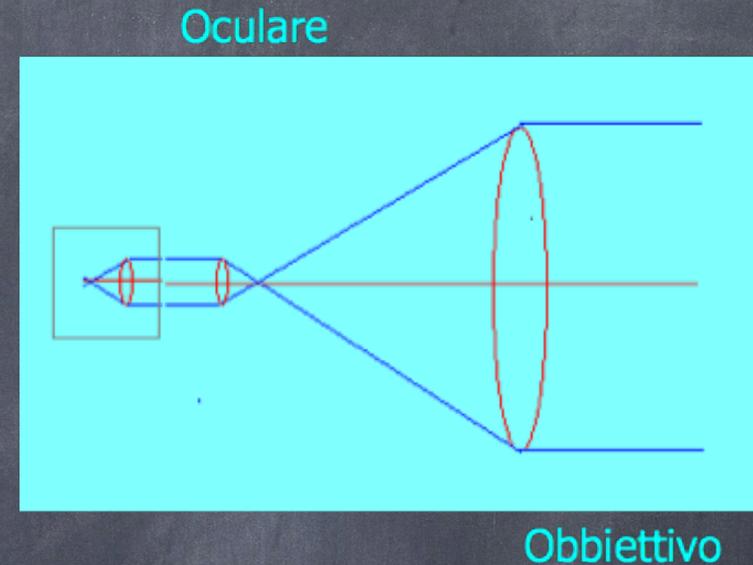
- Quanta “informazione” viene raccolta?
- Una sorgente puntiforme non viene rivelata come tale ma con una dimensione (in assenza di altri fattori) determinata dalla diffrazione

$$\varepsilon = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

- Energia Raccolta e Risoluzione Spaziale determinano la “bontà” di un sistema ottico per Astronomia.

Sistemi Ottici

- La quantità di energia raccolta e la risoluzione spaziale dipendono dalla dimensione della **pupilla**.. Come possiamo aumentarla ?
- Usando **il Vetro...** che ha un indice di rifrazione superiore a quello dell'aria (come l'umore del cristallino)
- Controllando le curvature possiamo ricreare un fascio piano e parallelo con energia concentrata (sistema obbiettivo-oculare). La pupilla del sistema ha ora le dimensioni del nostro obbiettivo



Il Telescopio di Galileo

- **Olanda, Ottobre 1608**. Hans Lipperhey di Middelburg e Jacob Metius di Alkmaar richiedono di brevettare un dispositivo “per vedere cose lontane come se fossero vicine”. **Brevetto negato (troppo semplice)**
- Galileo costruisce un telescopio a tre ingrandimenti nel **giugno del 1609**, presenta un 8 ingrandimenti al Senato Veneziano in **Agosto** e punta a cielo un 20 ingrandimenti nell'**Ottobre** scoprendo i **Satelliti di Giove**.

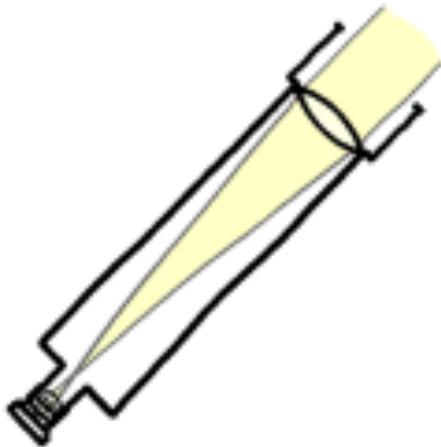


Il Telescopio di Newton

- Newton costruisce il primo Telescopio Riflettore
- Specchio sferico da 9 Cm (rame e stagno) al fondo di un "tubo" con specchio secondario piano a 45° per estrazione del fascio.

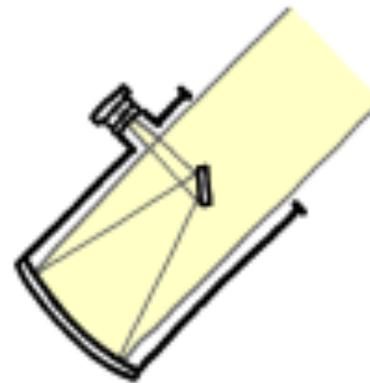


REFRACTOR



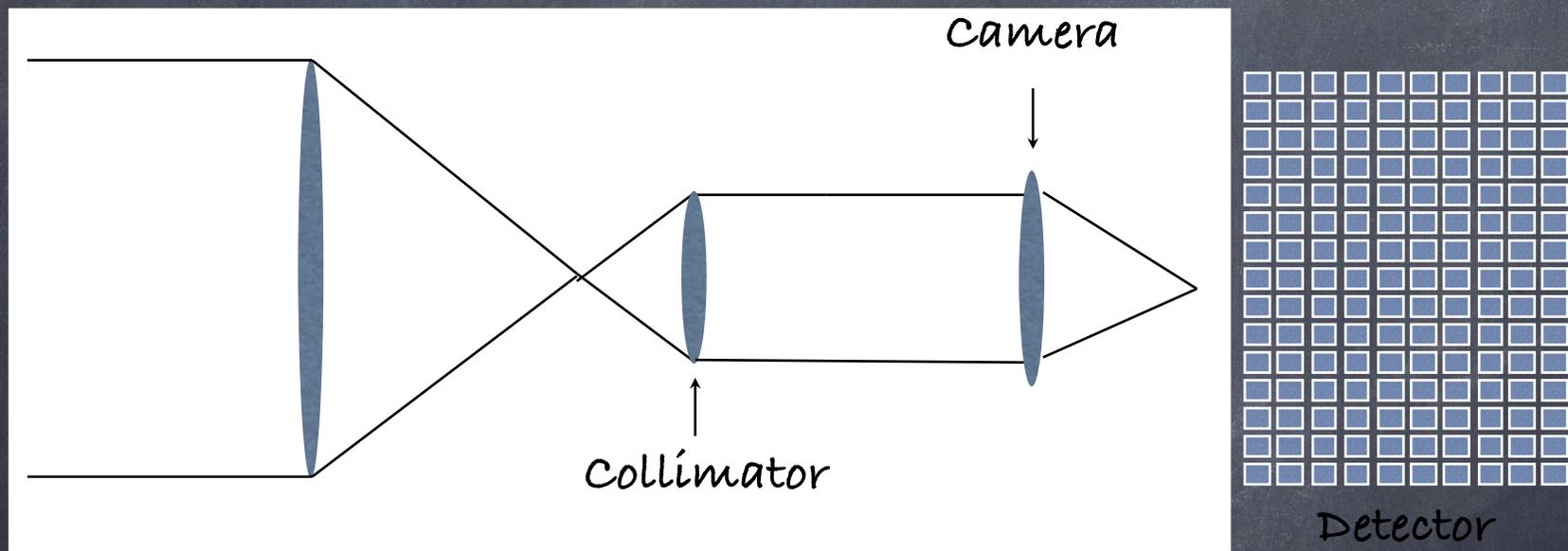
- MORE EXPENSIVE
- LESS COMPACT
- CHROMATIC ABERRATION
- REDUCED LIGHT-GATHERING

REFLECTOR

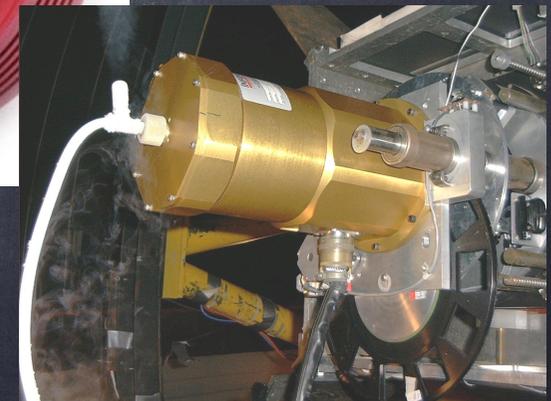
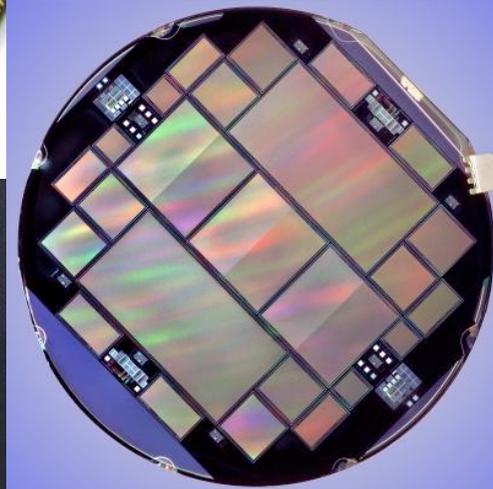
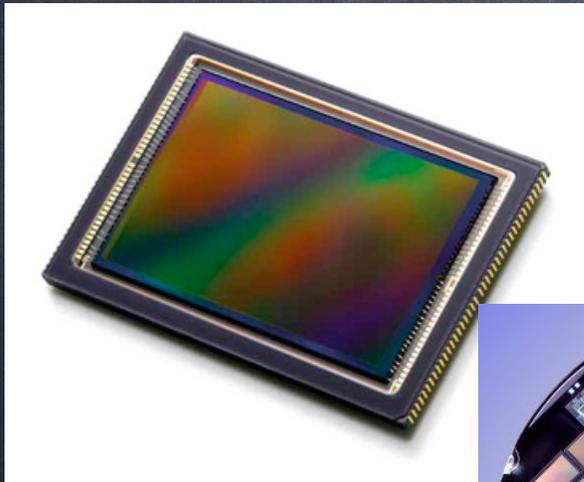
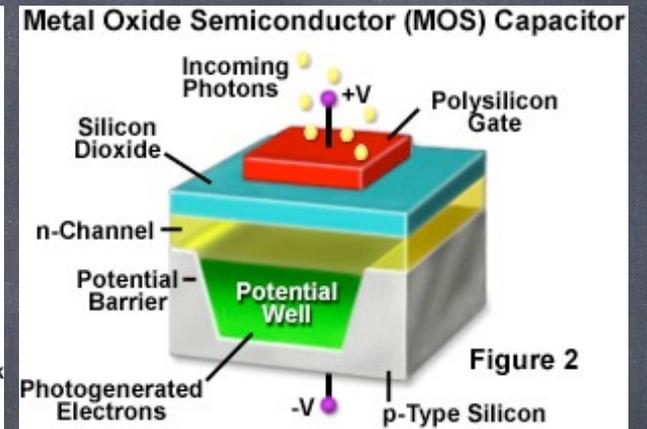
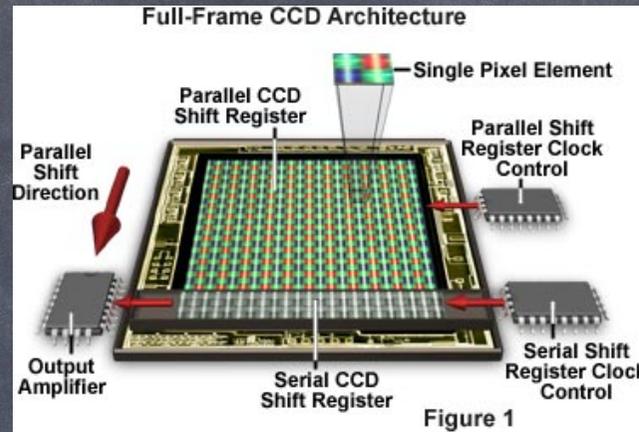
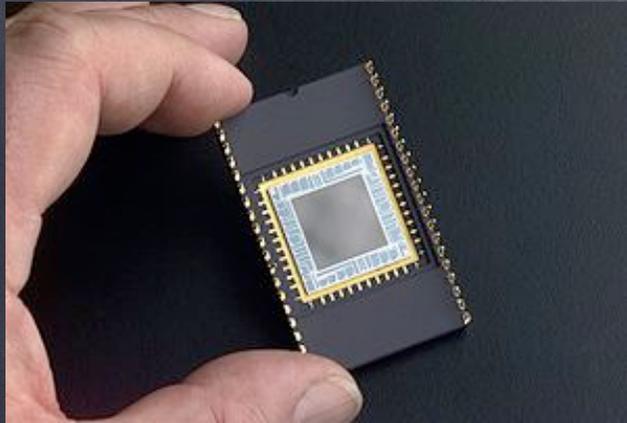


- CAN'T SEE SPACE VAMPIRES

Schema del telescopio e sensore

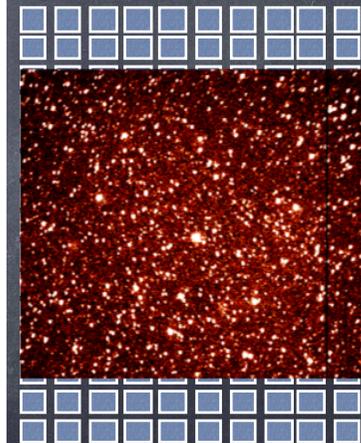
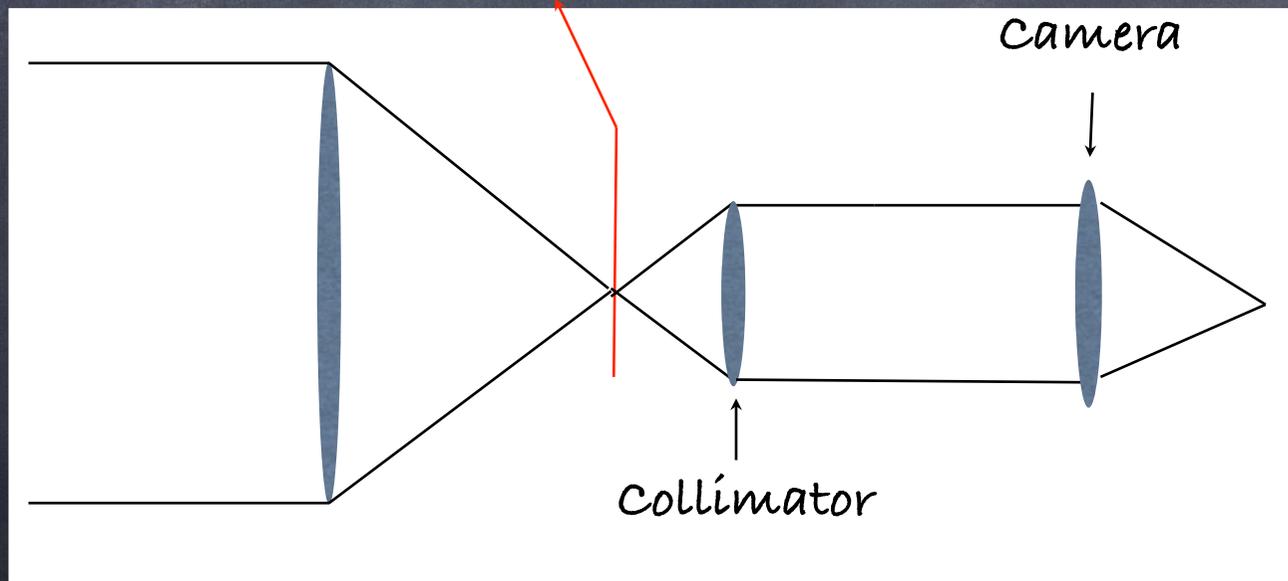
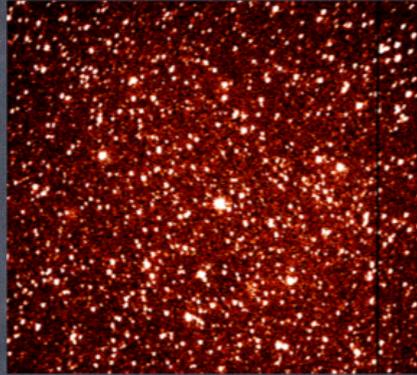


Rivelatori (CCDs-CMOS)



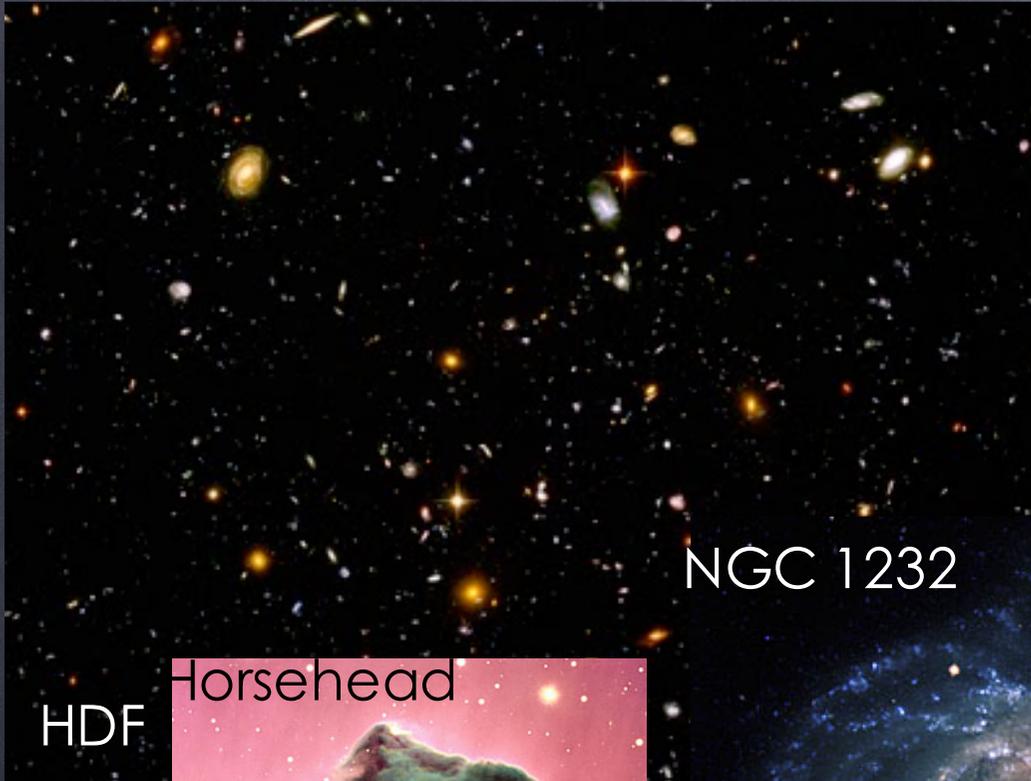
Immagini

Field



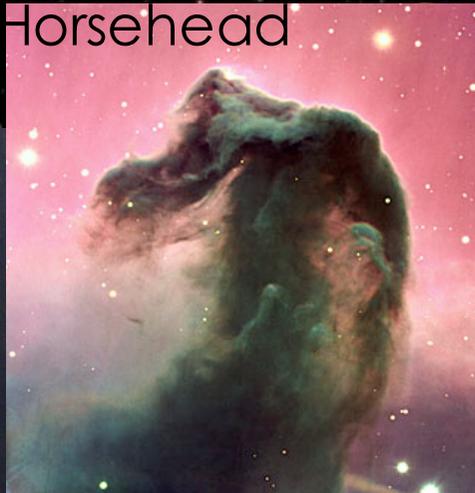
Detector

Immagini Astronomiche



HDF

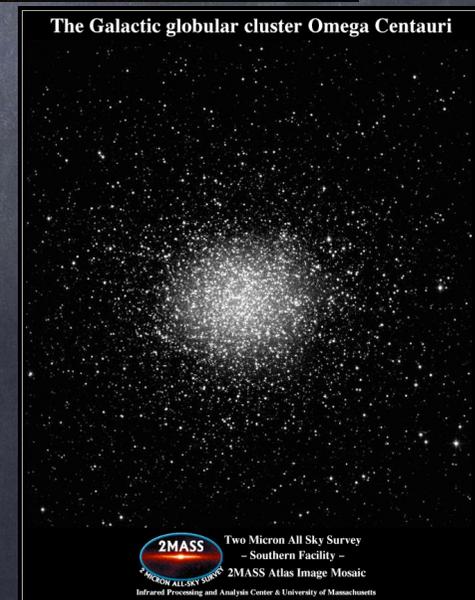
Horsehead



NGC 1232



Helix

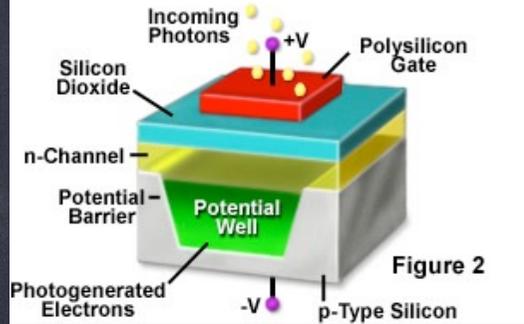


The Galactic globular cluster Omega Centauri

2MASS Two Micron All Sky Survey
- Southern Facility -
2MASS Atlas Image Mosaic
Infrared Processing and Analysis Center & University of Massachusetts

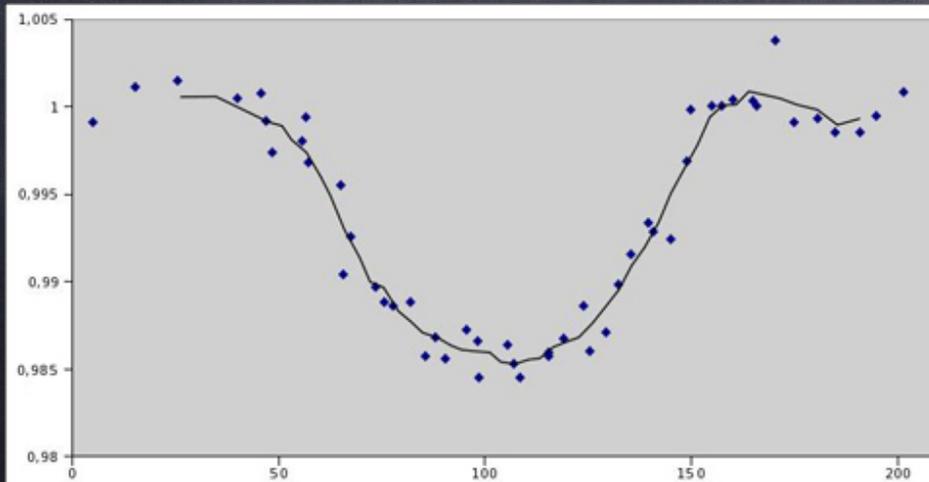
Fotometria

Metal Oxide Semiconductor (MOS) Capacitor

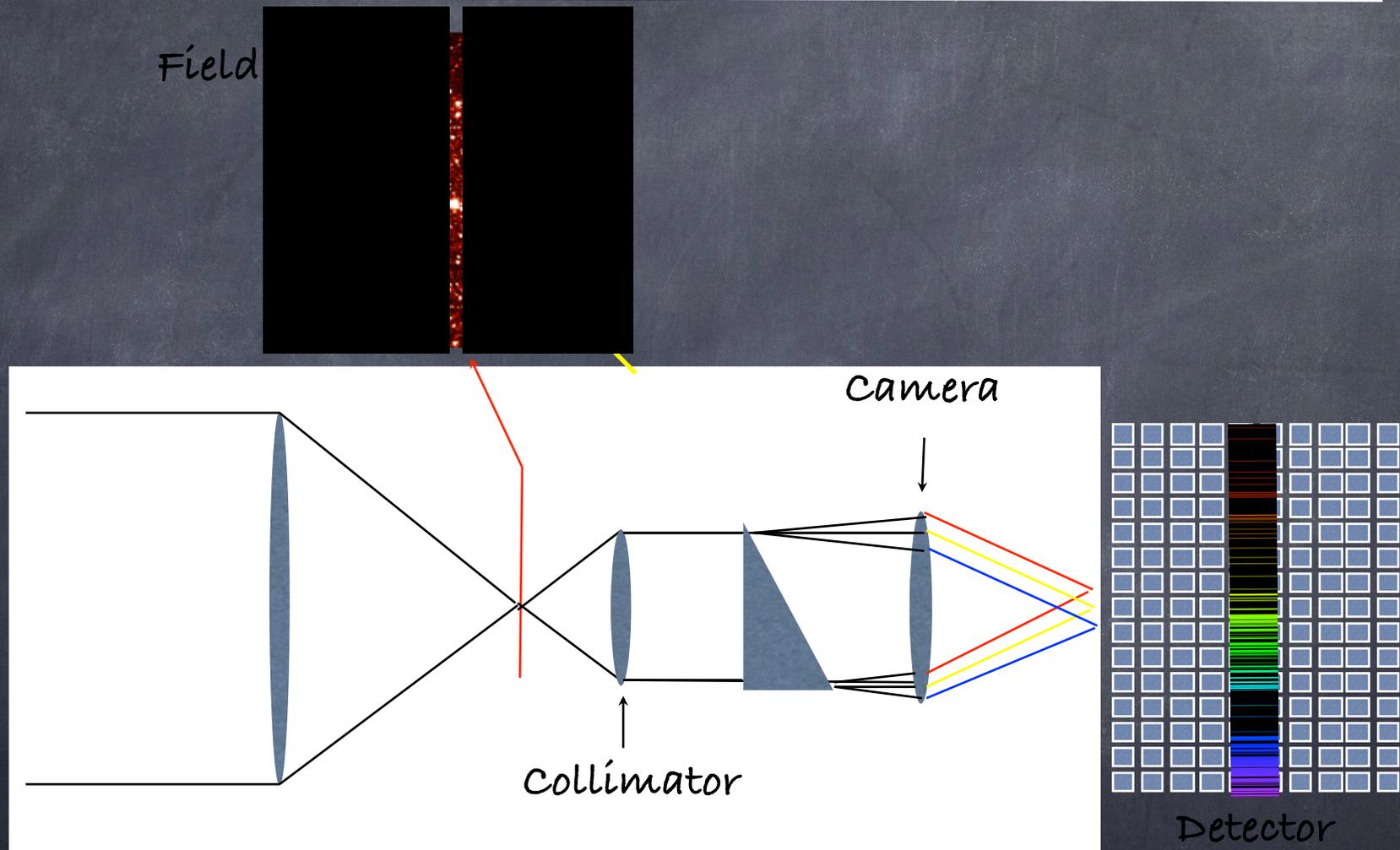


The screenshot shows the Photometry software interface. The main window displays a star field with several stars circled in green. The stars are labeled: Ref2 (GSC 4321-1462), Ref1 (SAO 4732), HD 17156, and Obj1. The software interface includes a "Photometry" window with the following details:

- Image list:** dangas0201-00XX (multiple entries)
- Tagged objects:** Obj1 (638,244), Ref1 (575,41), Ref2 (473,50)
- Time/identification field:** Date/time from FITS
- Mouse click tags as:** New Reference S
- Ref Mag:** [input field]
- Time of Image (Mid-exp.):** 2007-09-10 00:38:59.9, JD 2454353.527083
- Options:** Act on all images, Use star matching, Snap to centroid
- Buttons:** Exclude, Untag, View Plot..., Close



Spettrografo

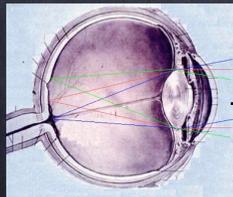
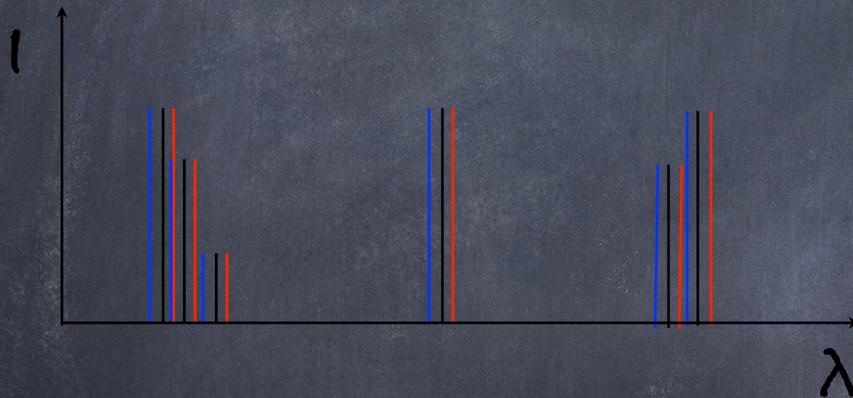


Spettroscopia - Dinamica

• Effetto Doppler

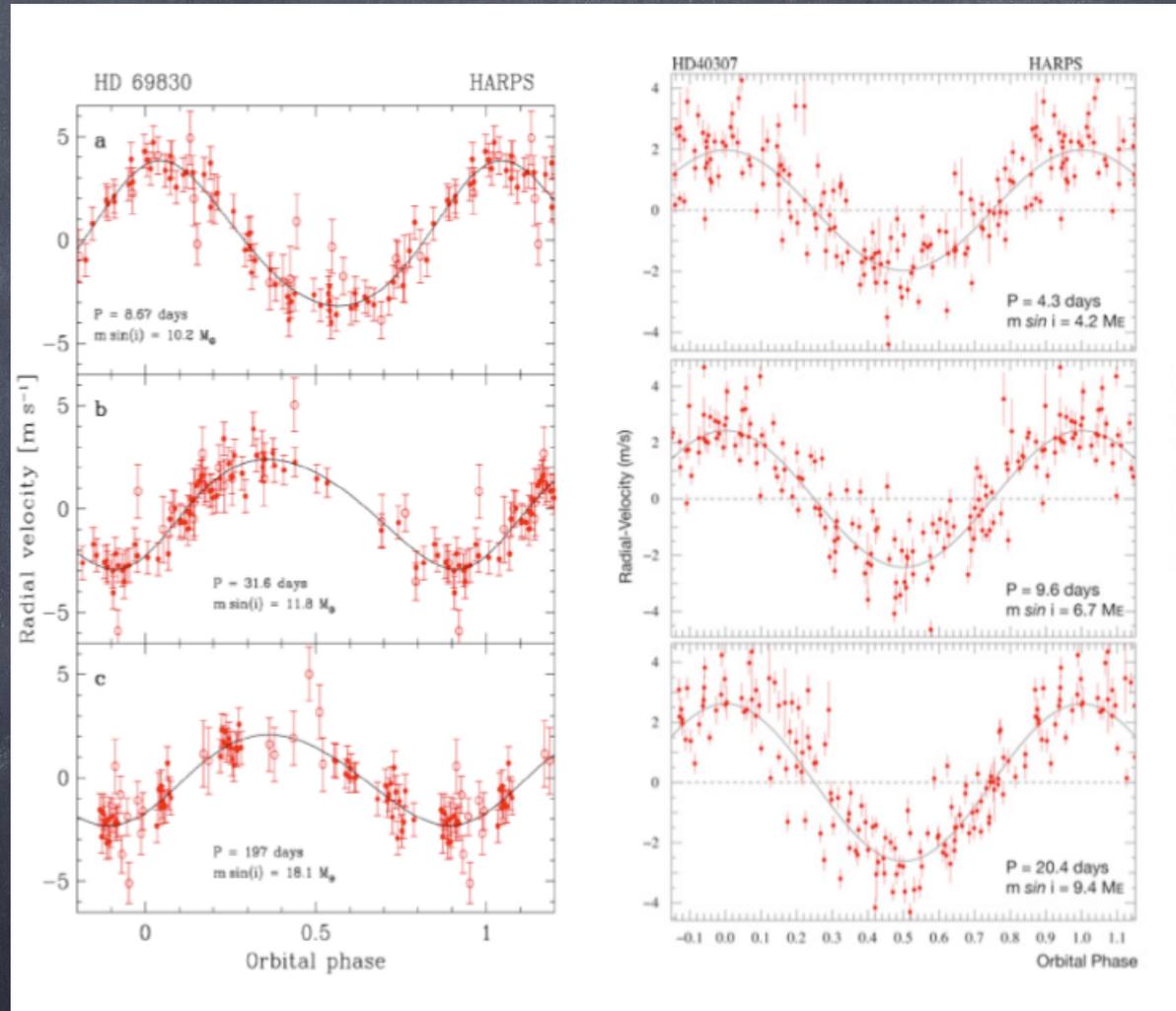
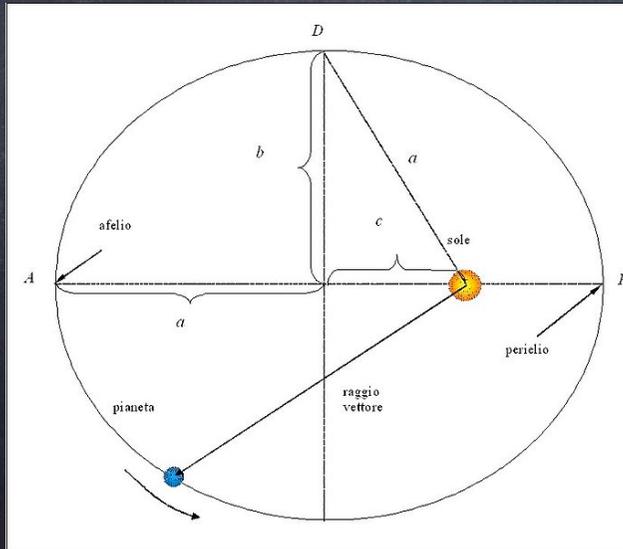
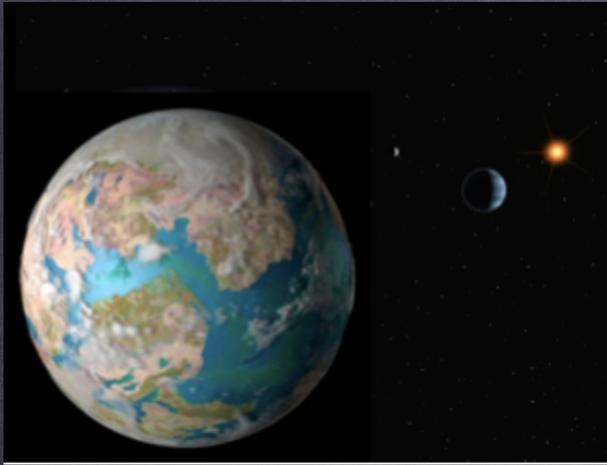
velocità radiale

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$



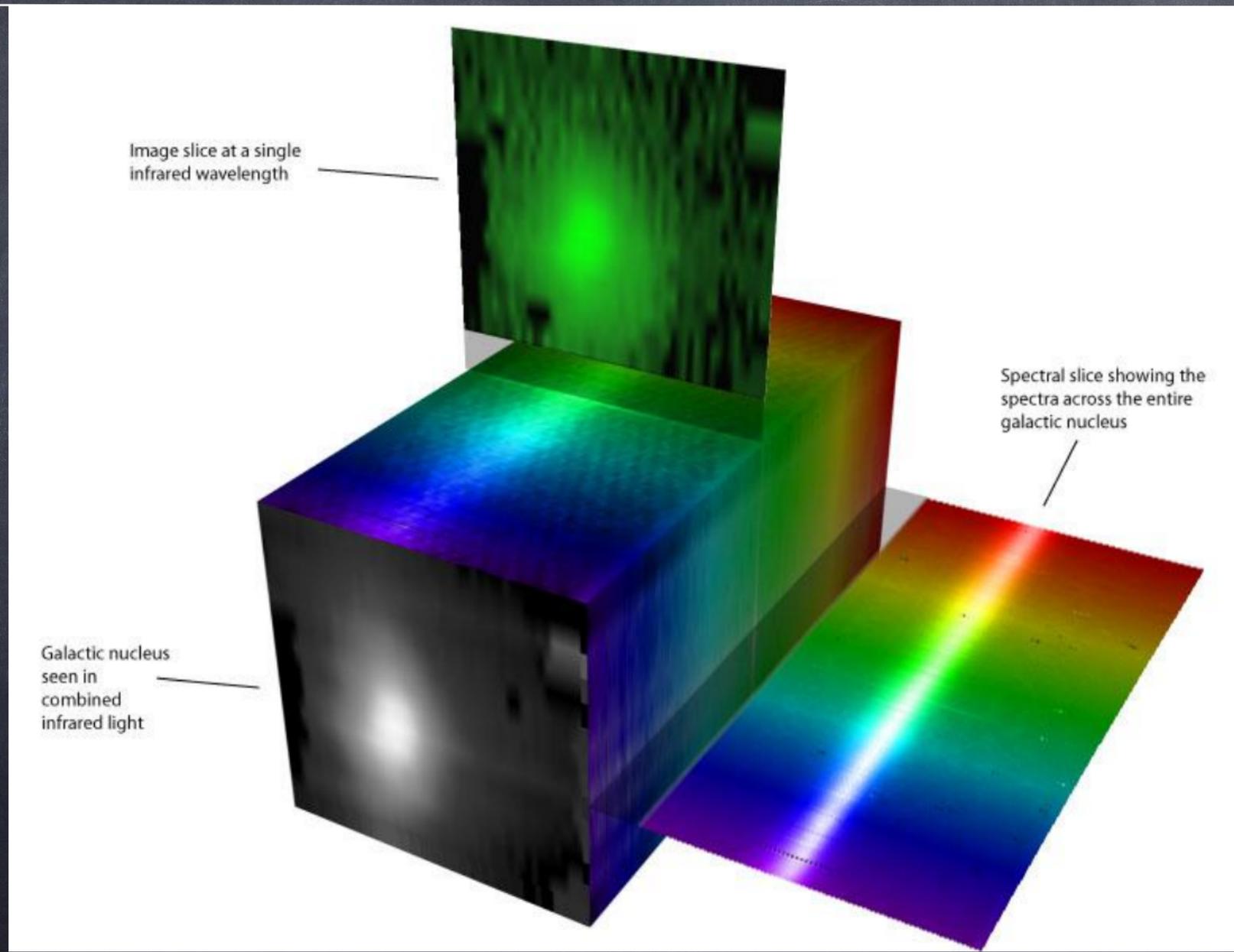
- Rotazione
- Rivoluzione
- Moto "da" e "verso"
- Recessione

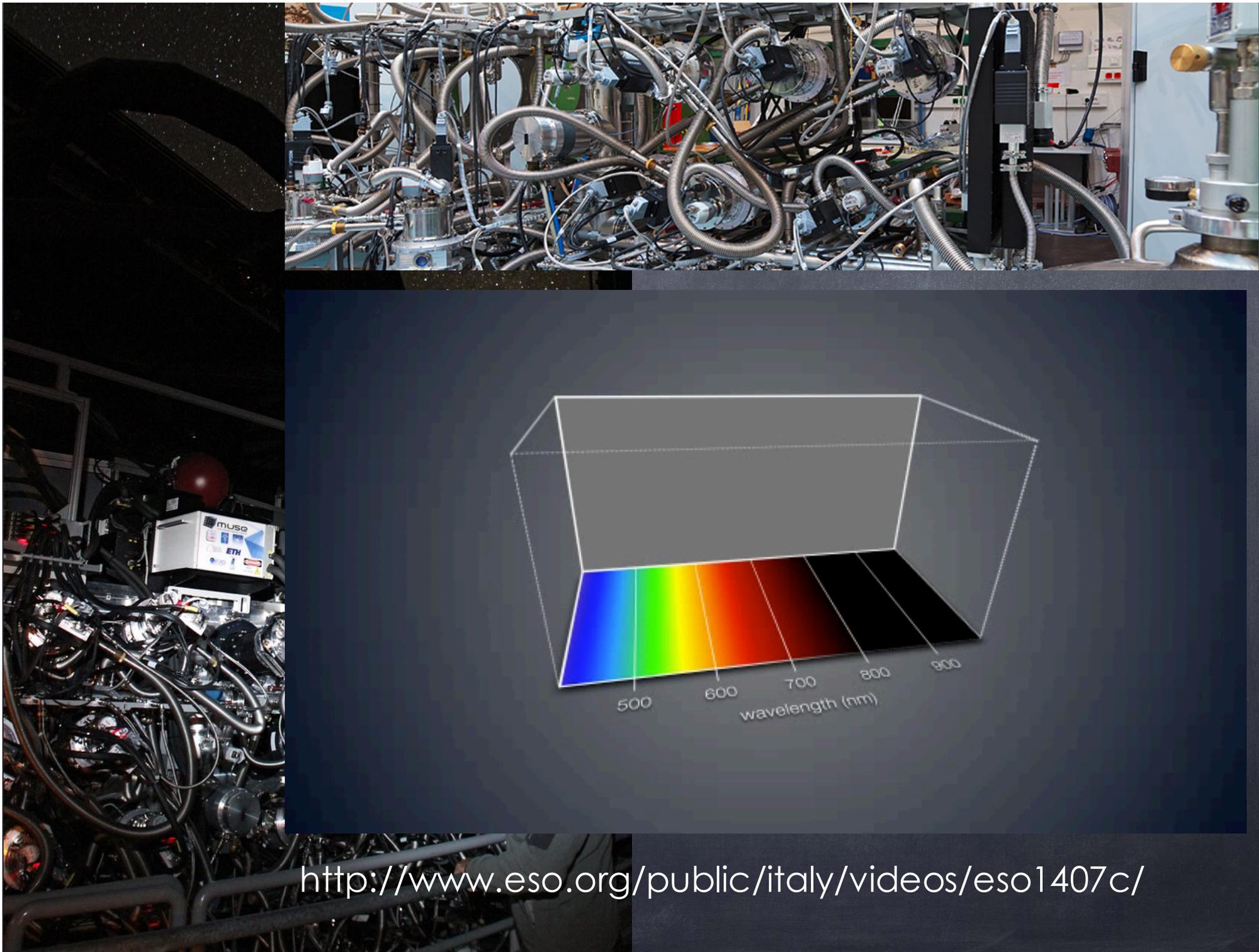
Dinamica - Velocità Radiali



I pianeti Extrasolari sono stati scoperti così

Integral field unit

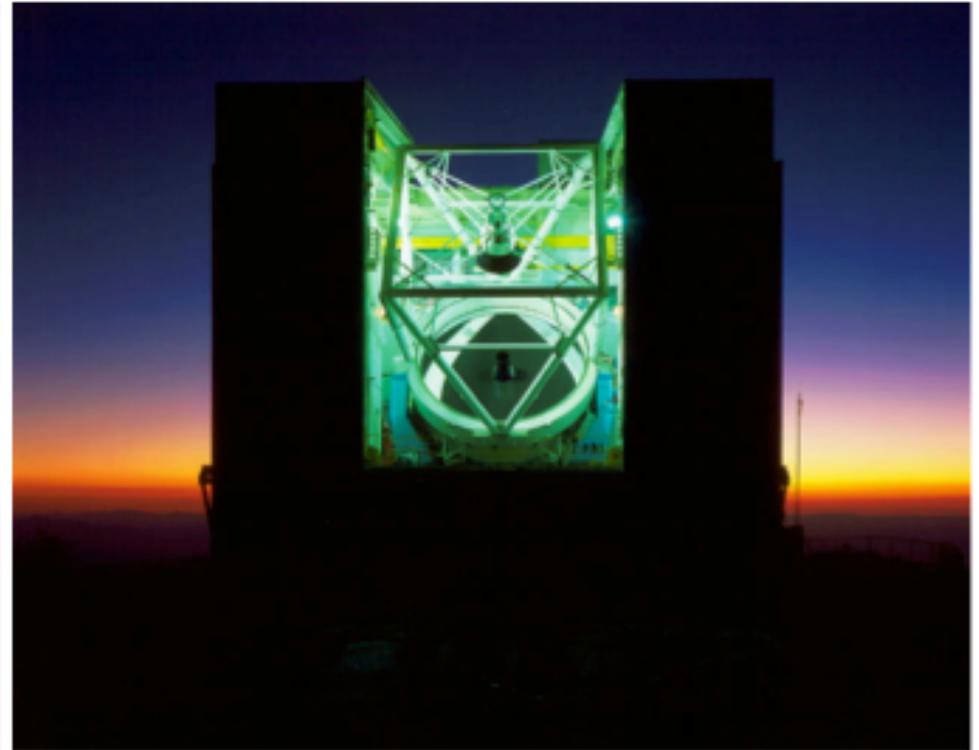




<http://www.eso.org/public/italy/videos/eso1407c/>



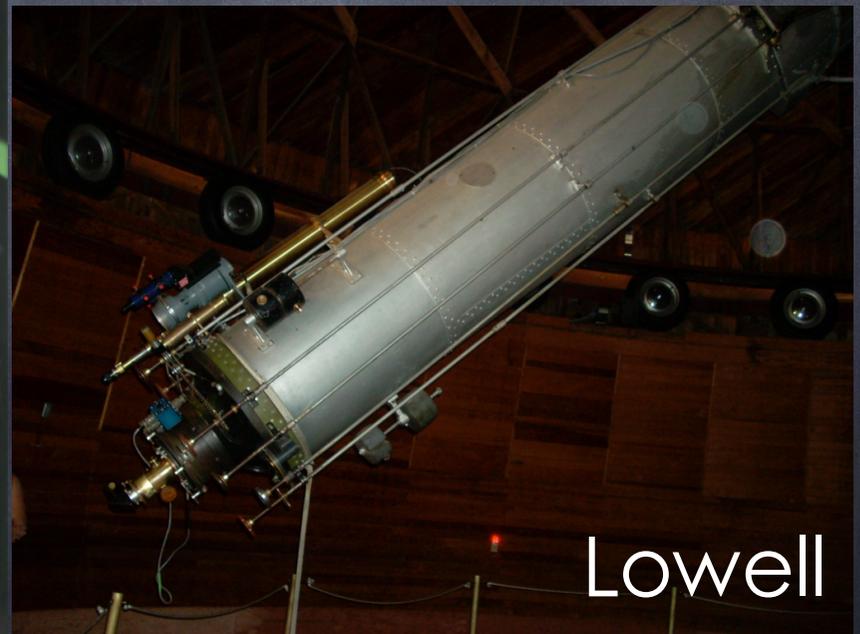
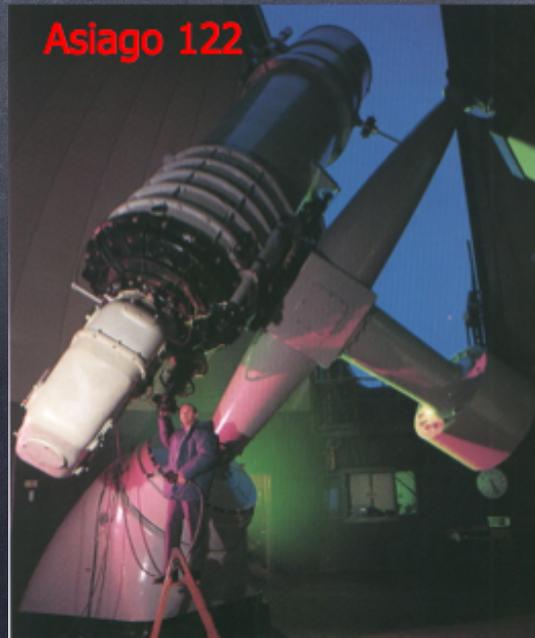
Il telescopio MMT

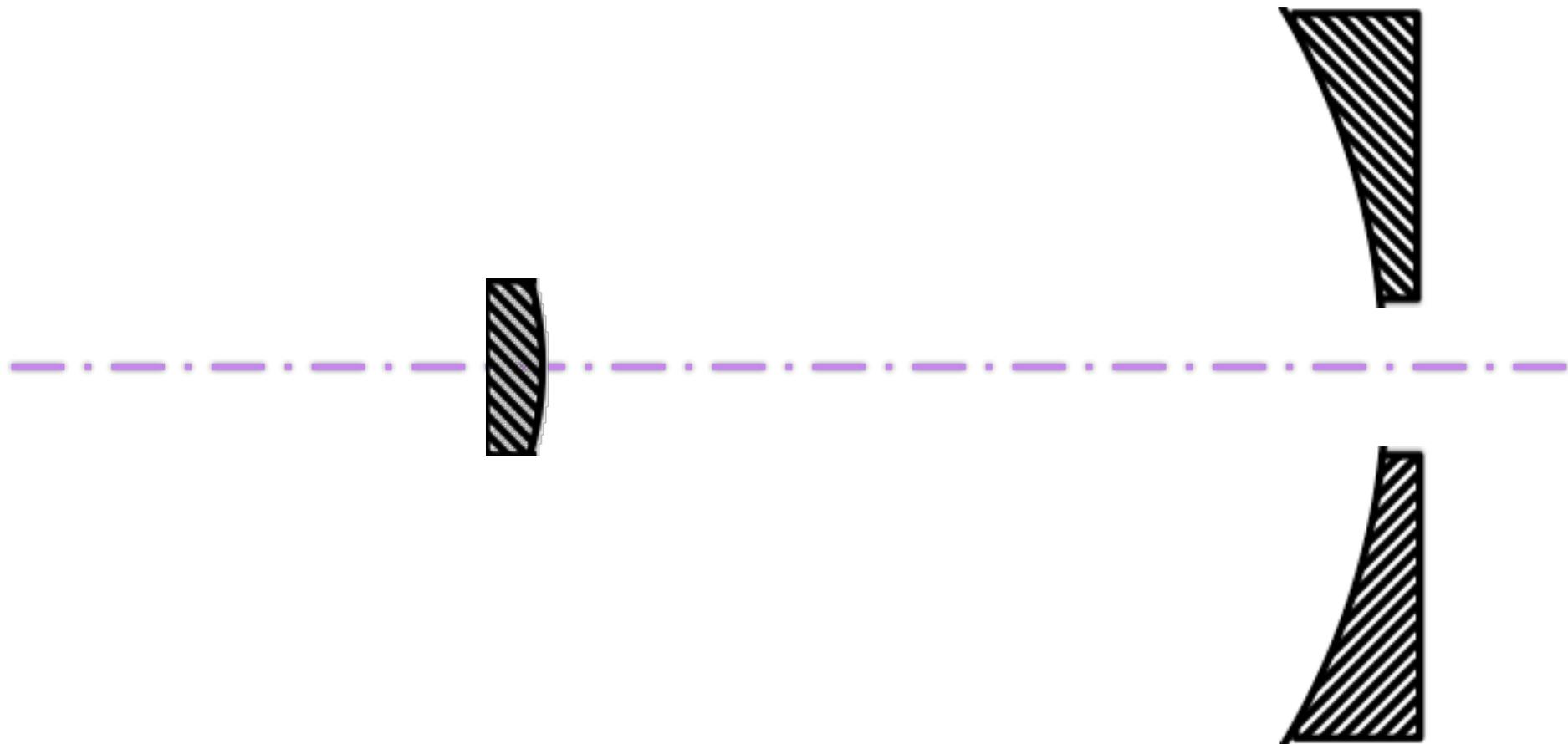


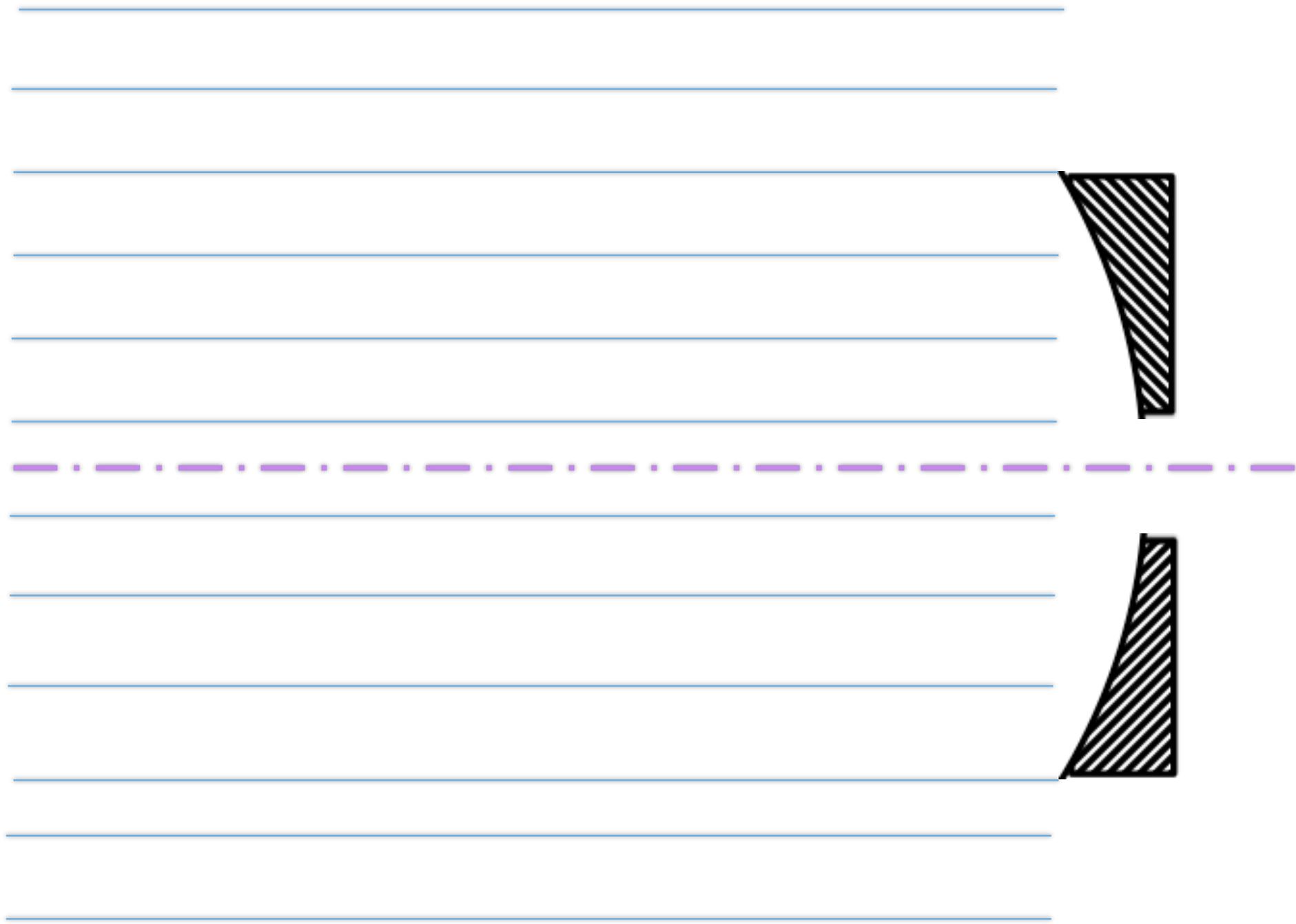
Originariamente: Multi-Mirror Telescope
Ora un singolo specchio da 6,5 m

La corsa alla grande pupilla...

- Una volta garantita la qualità di immagine, per aumentare Energia e Risoluzione si ricorre alla “pupilla più grande”
- I limiti sono la lavorazione ottica degli specchi ed il peso delle strutture.

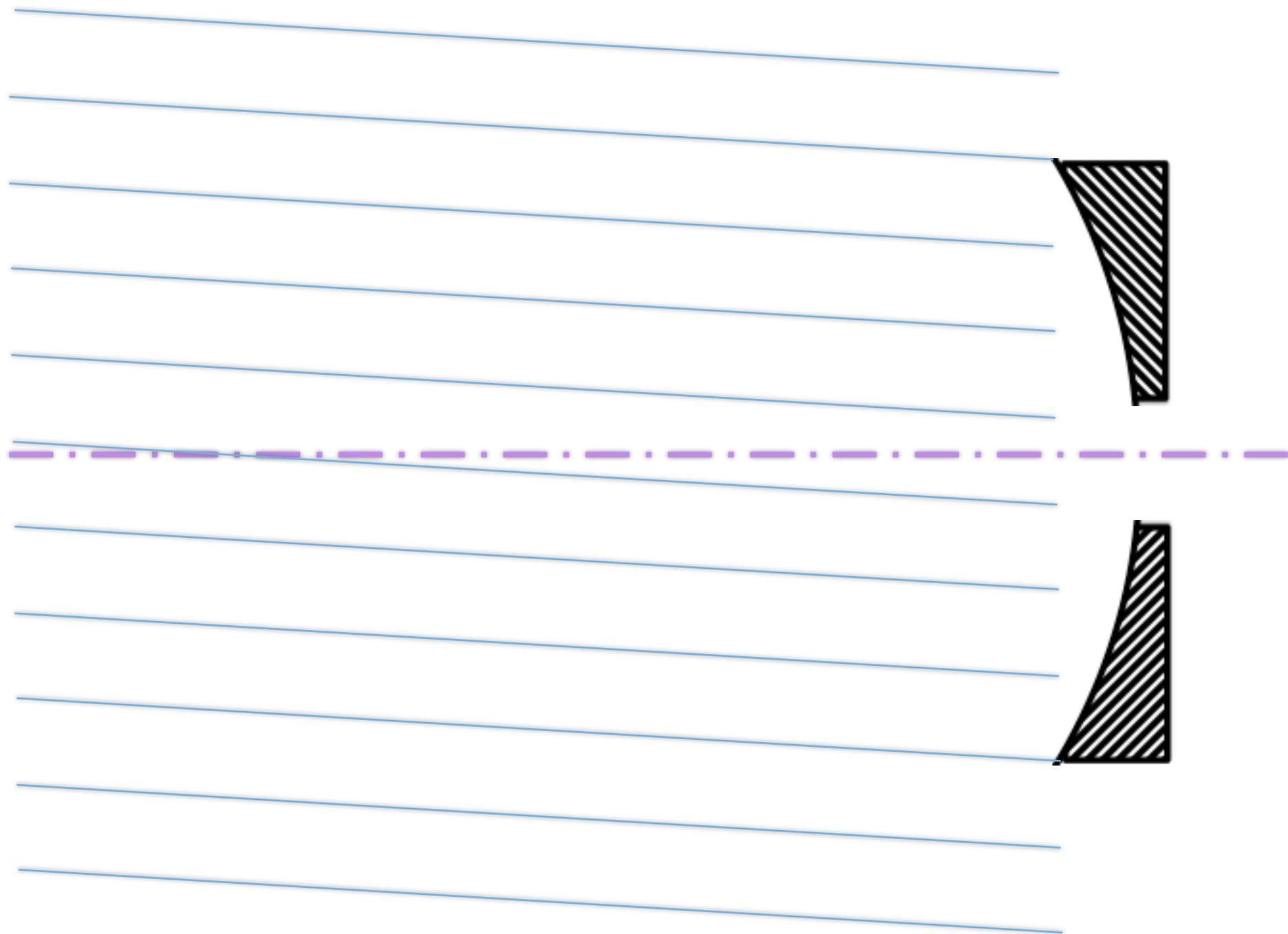


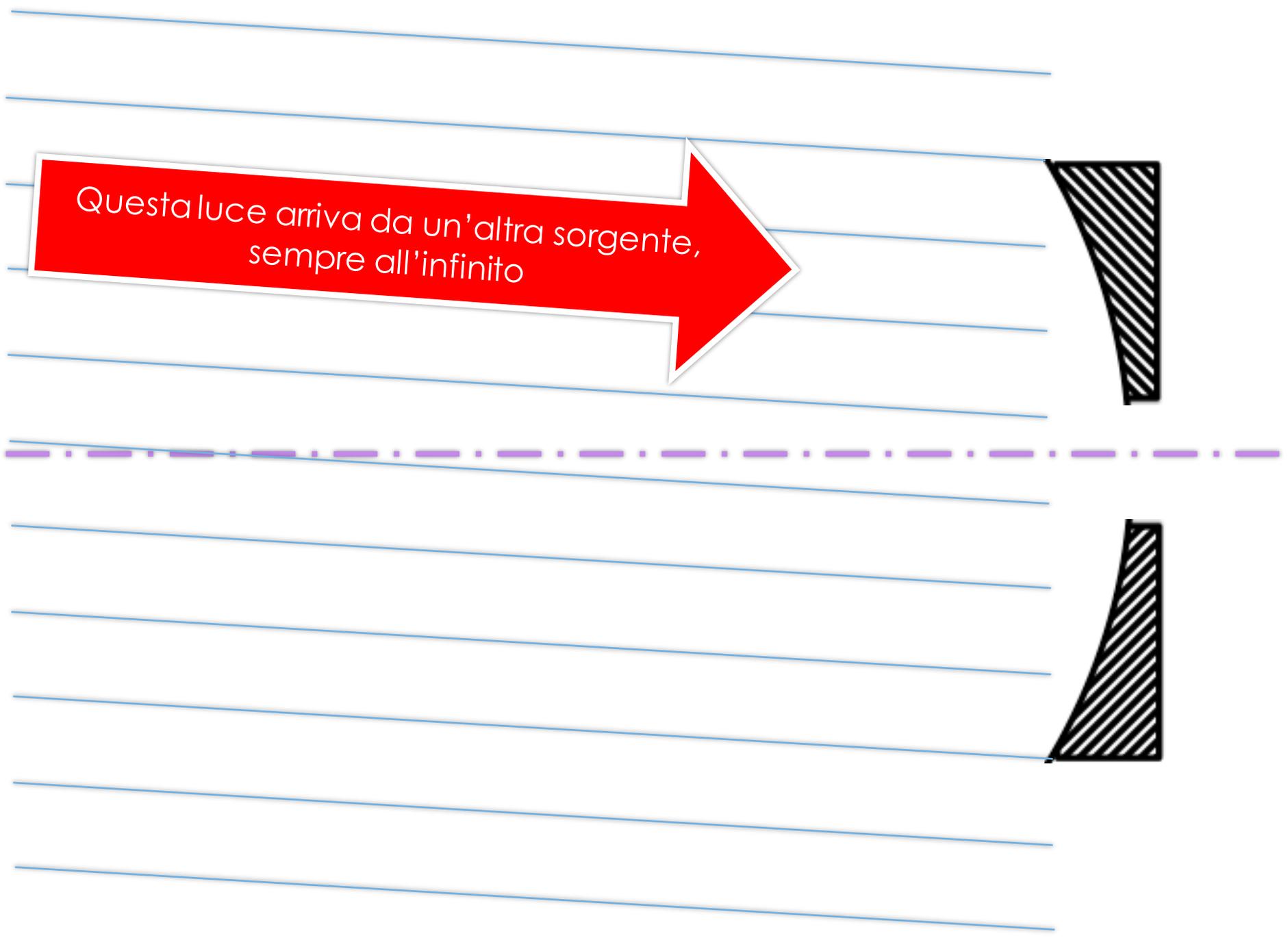




Questa luce arriva da una sorgente puntiforme non risolta ubicata all'infinito....

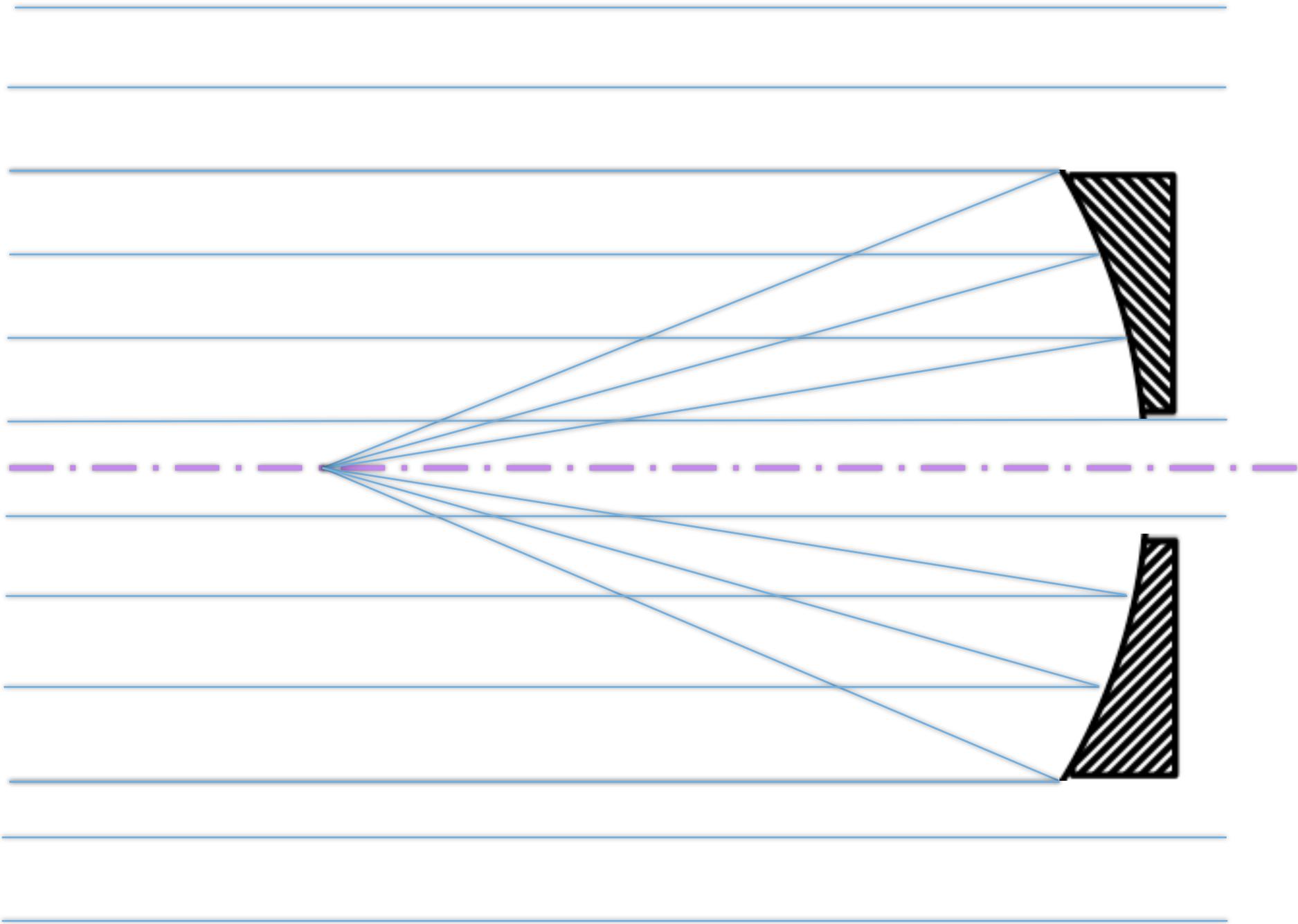


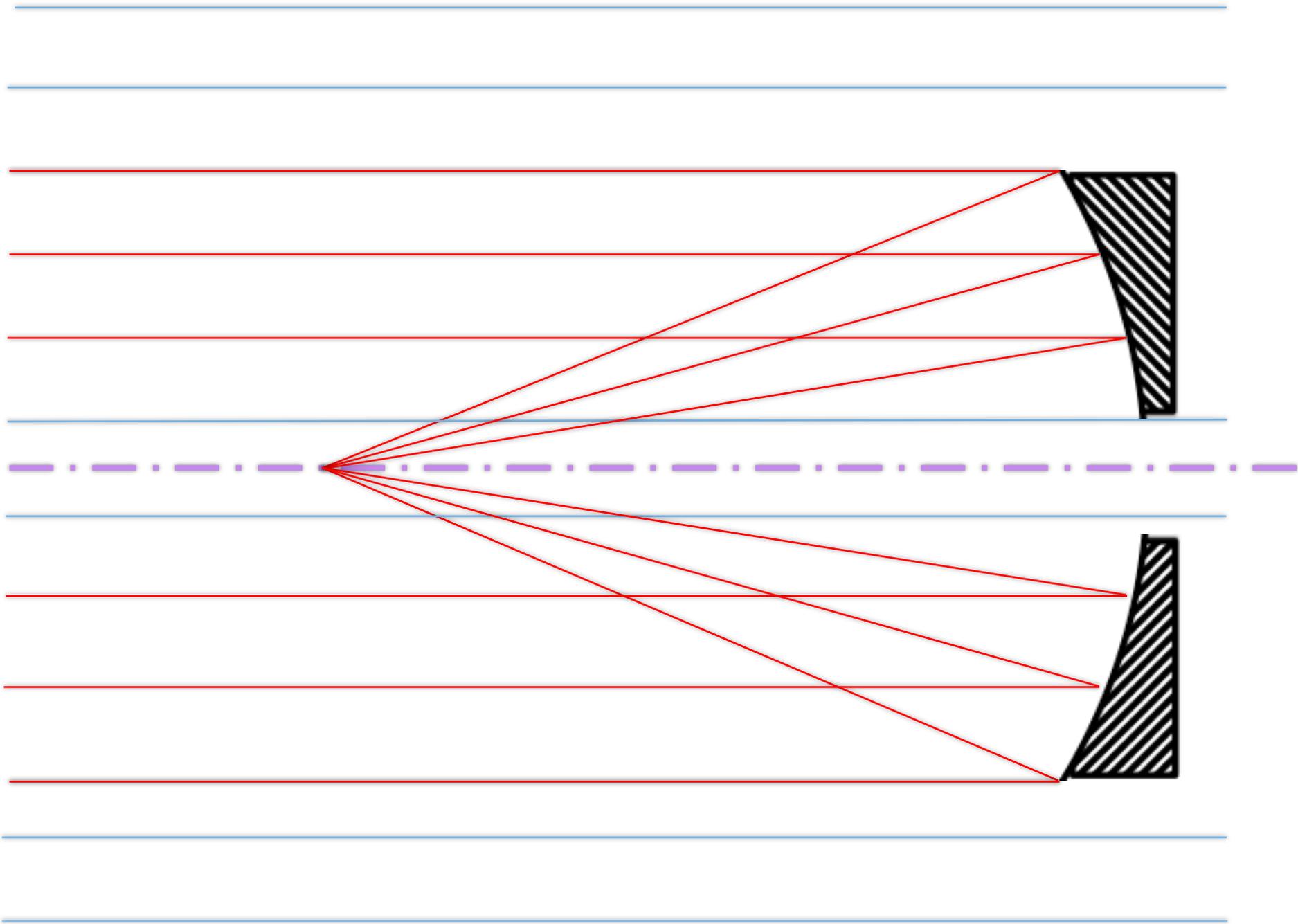


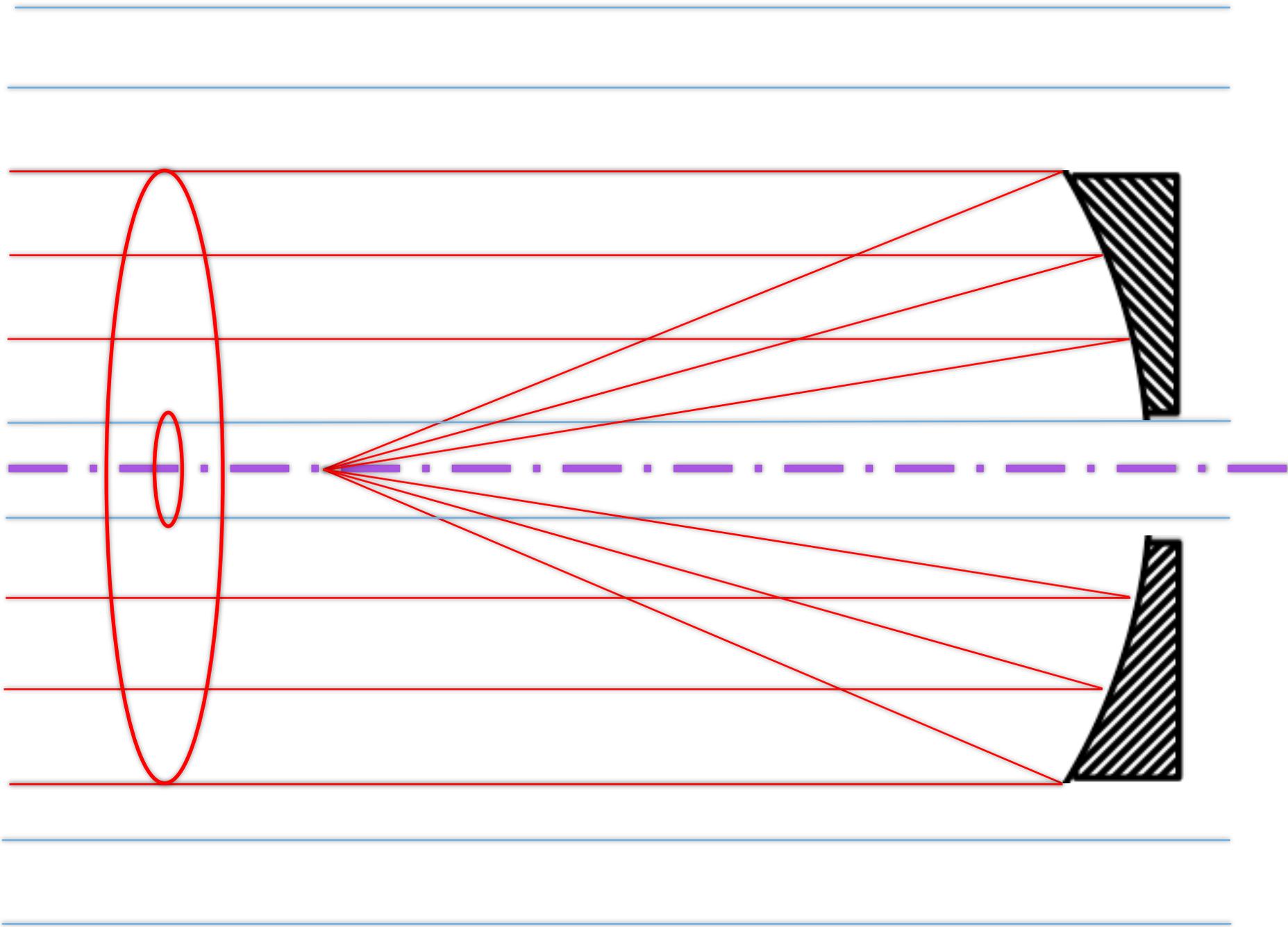


Questa luce arriva da un'altra sorgente,
sempre all'infinito

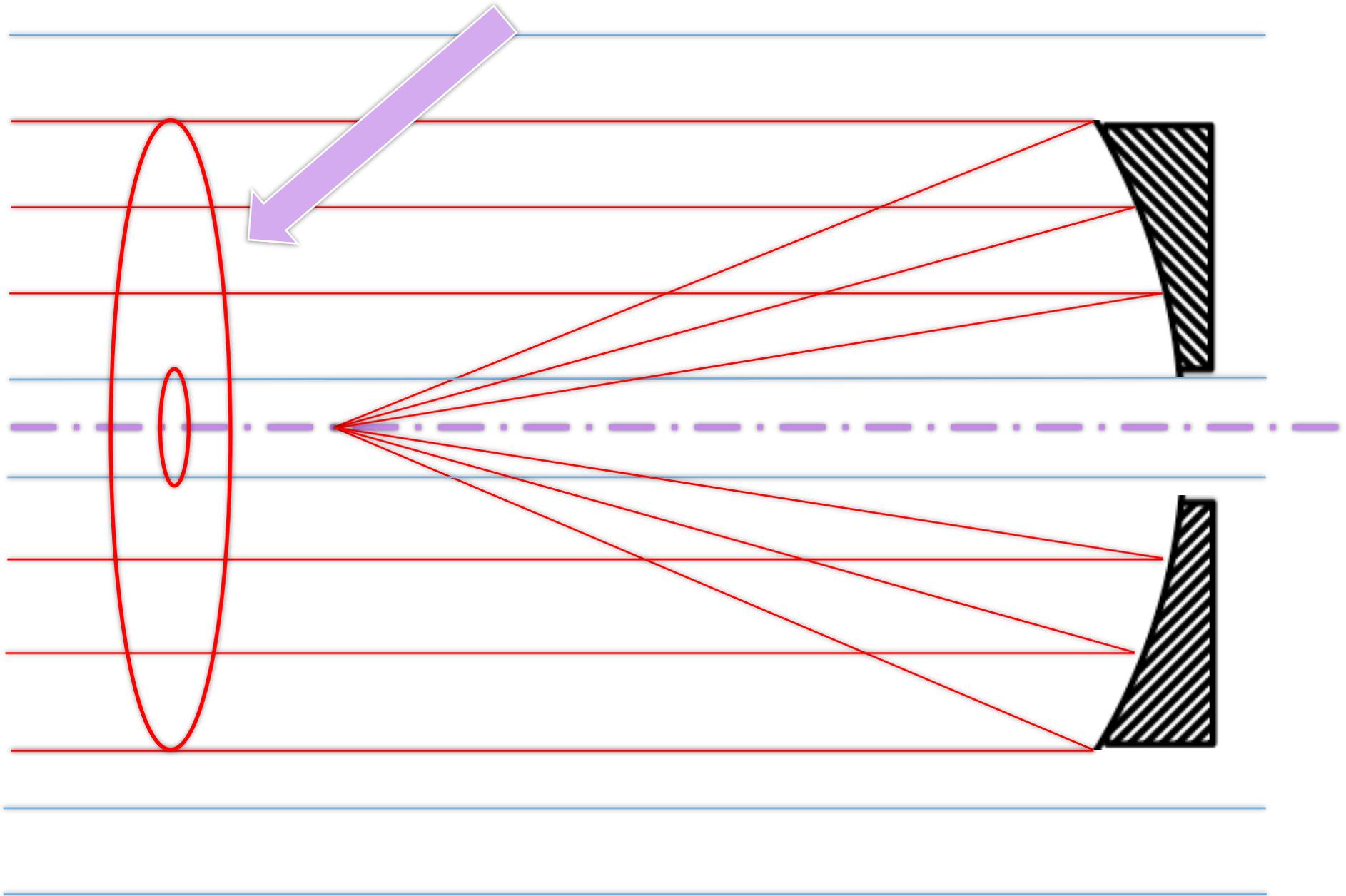
The diagram illustrates the focusing of light rays from a distant source. A horizontal dashed purple line represents the optical axis. Above it, a series of parallel blue lines represent light rays traveling from left to right. These rays pass through a vertical slit, represented by a black hatched rectangle. Below the slit, a convex lens is positioned. The blue rays, after passing through the lens, converge and focus at a point on the optical axis to the right of the lens. A red arrow points from the text box towards the lens.



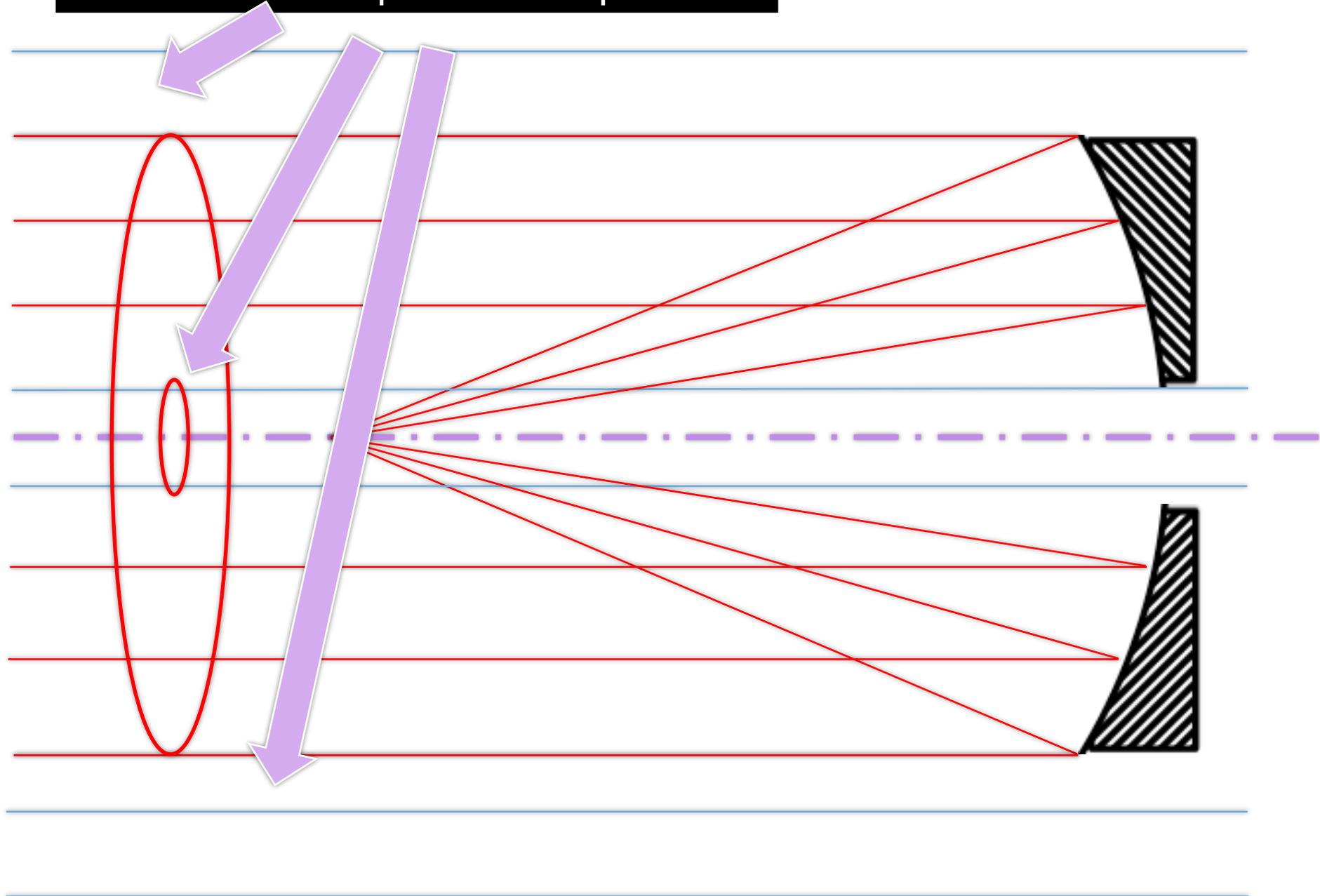


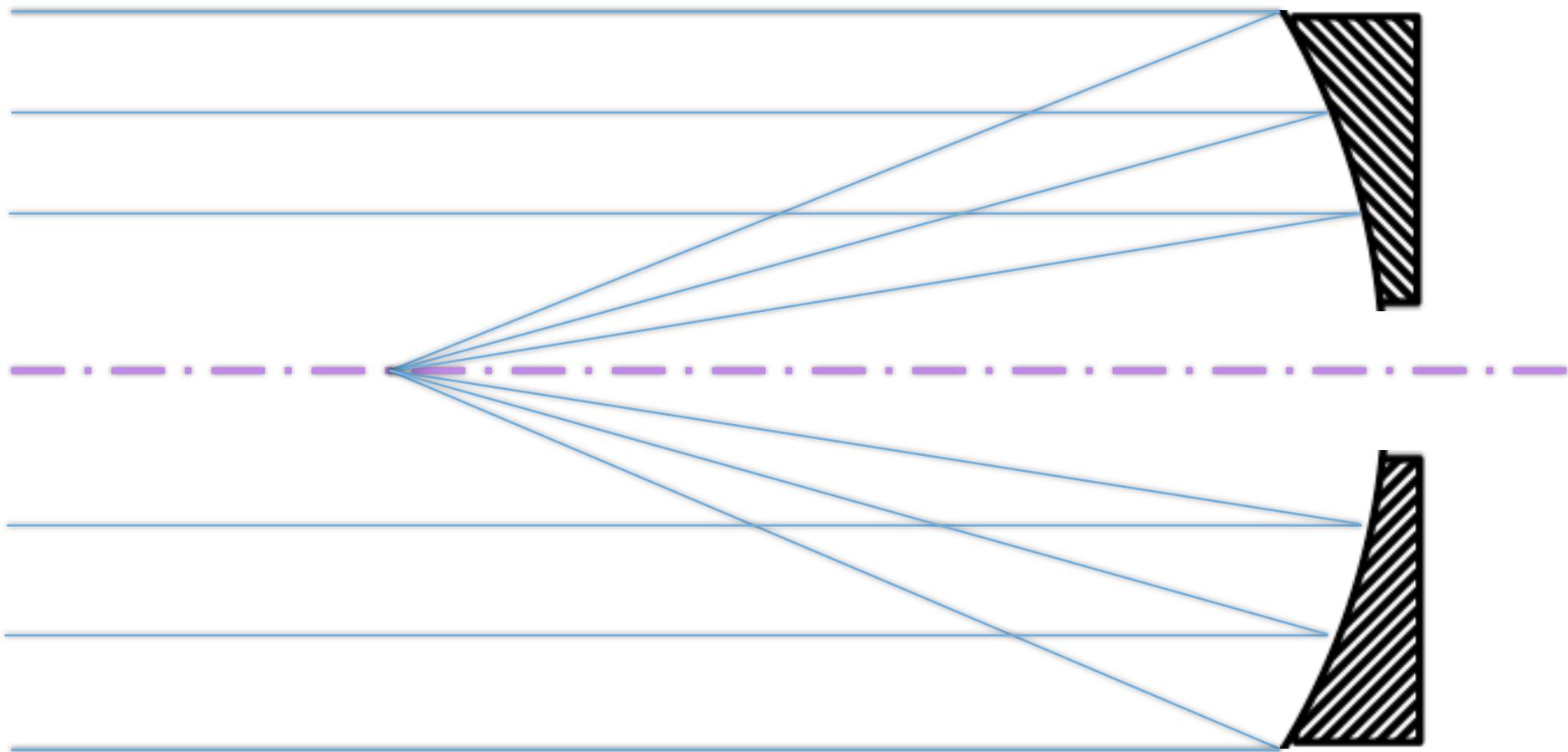


Questa è la luce raccolta dal telescopio

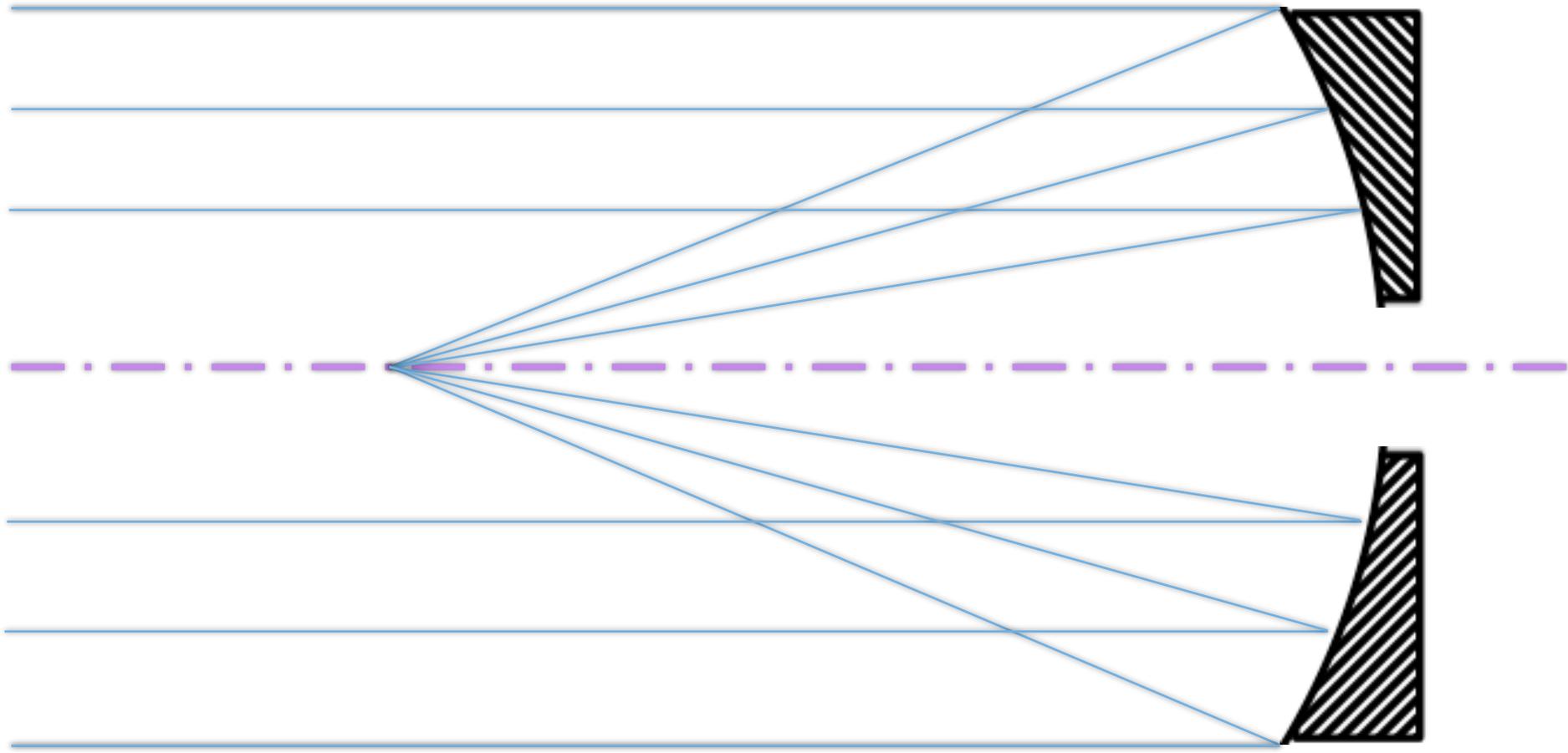


... mentre questa si perde

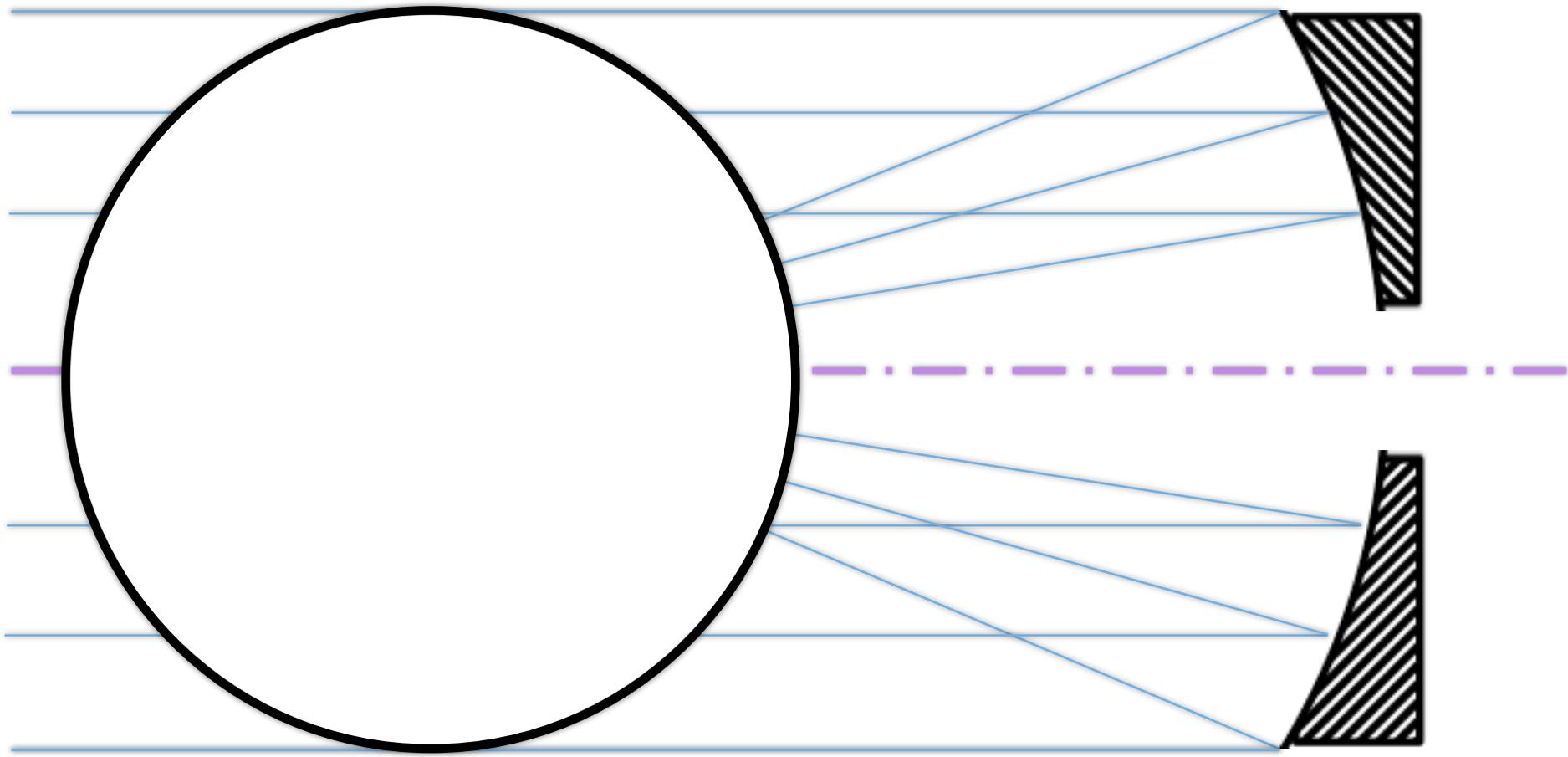




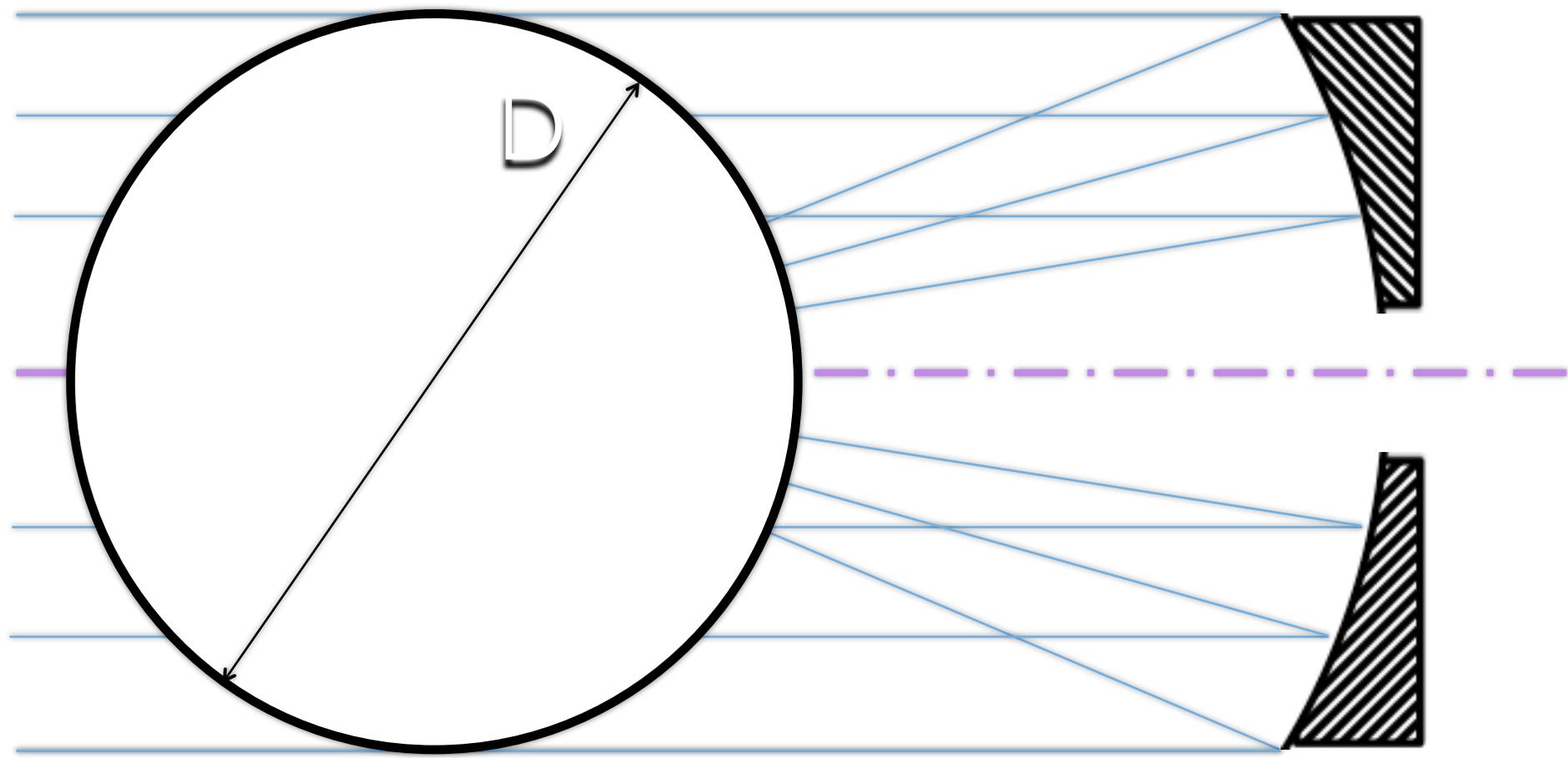
Questo bordo definisce la pupilla



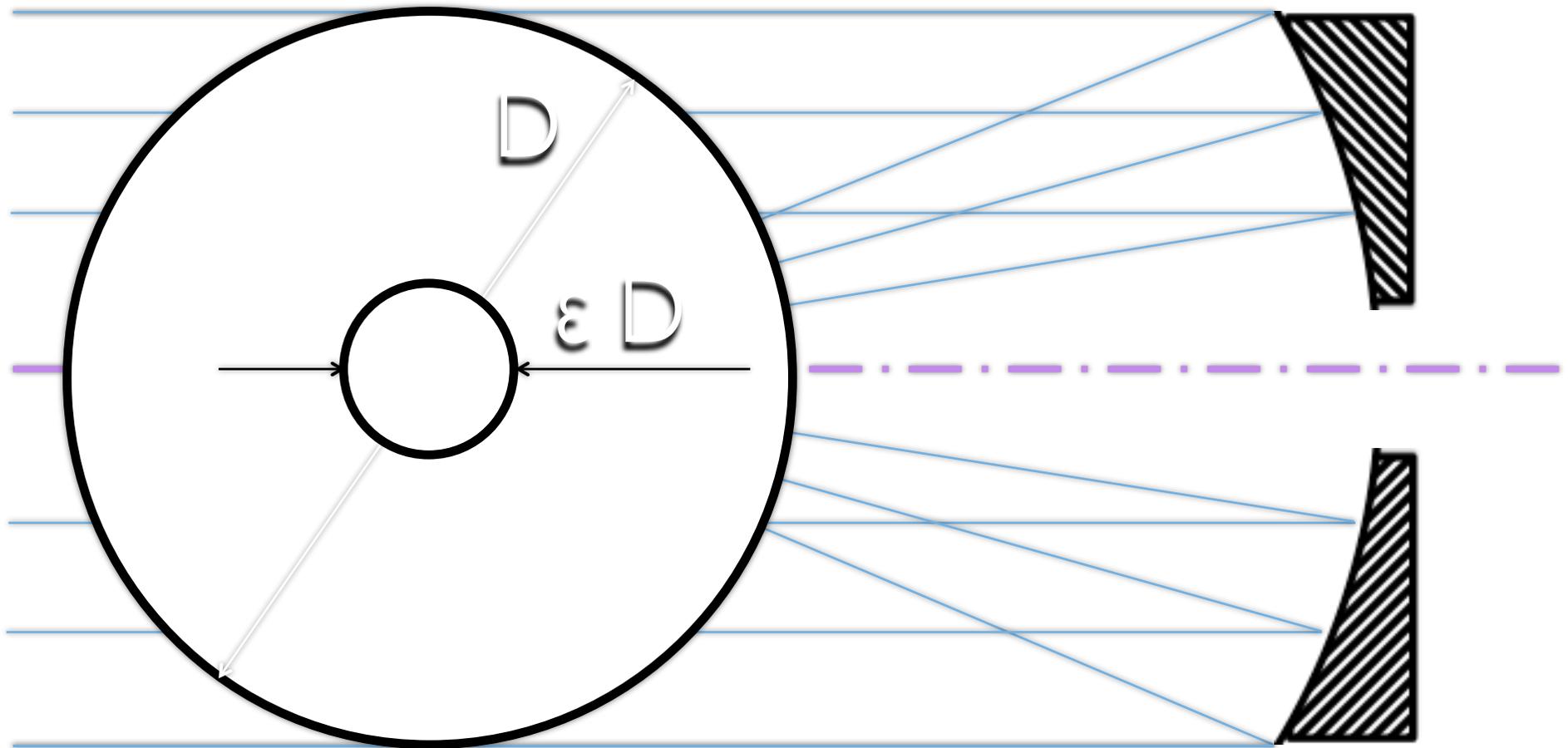
Questo bordo definisce la pupilla



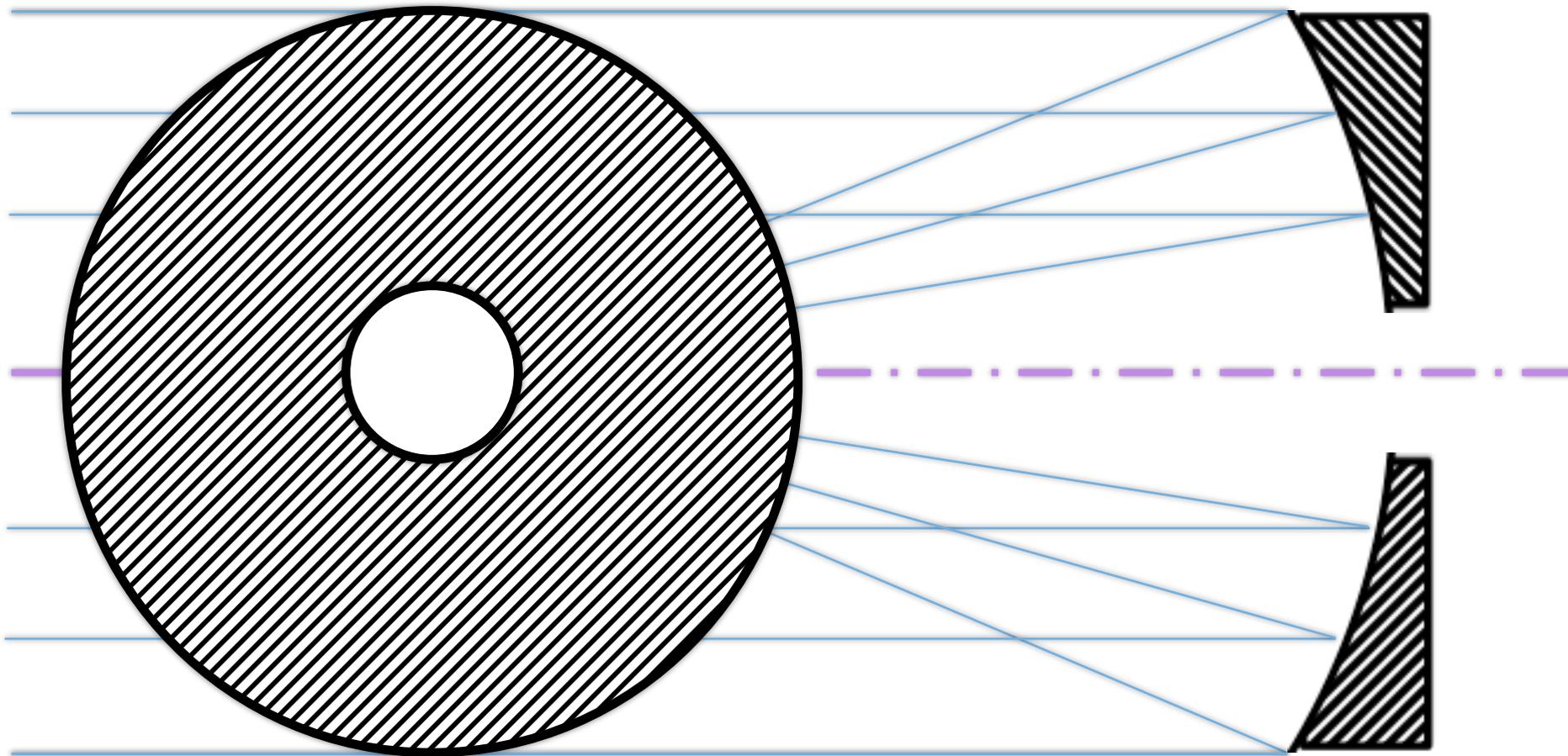
Questo bordo definisce la pupilla



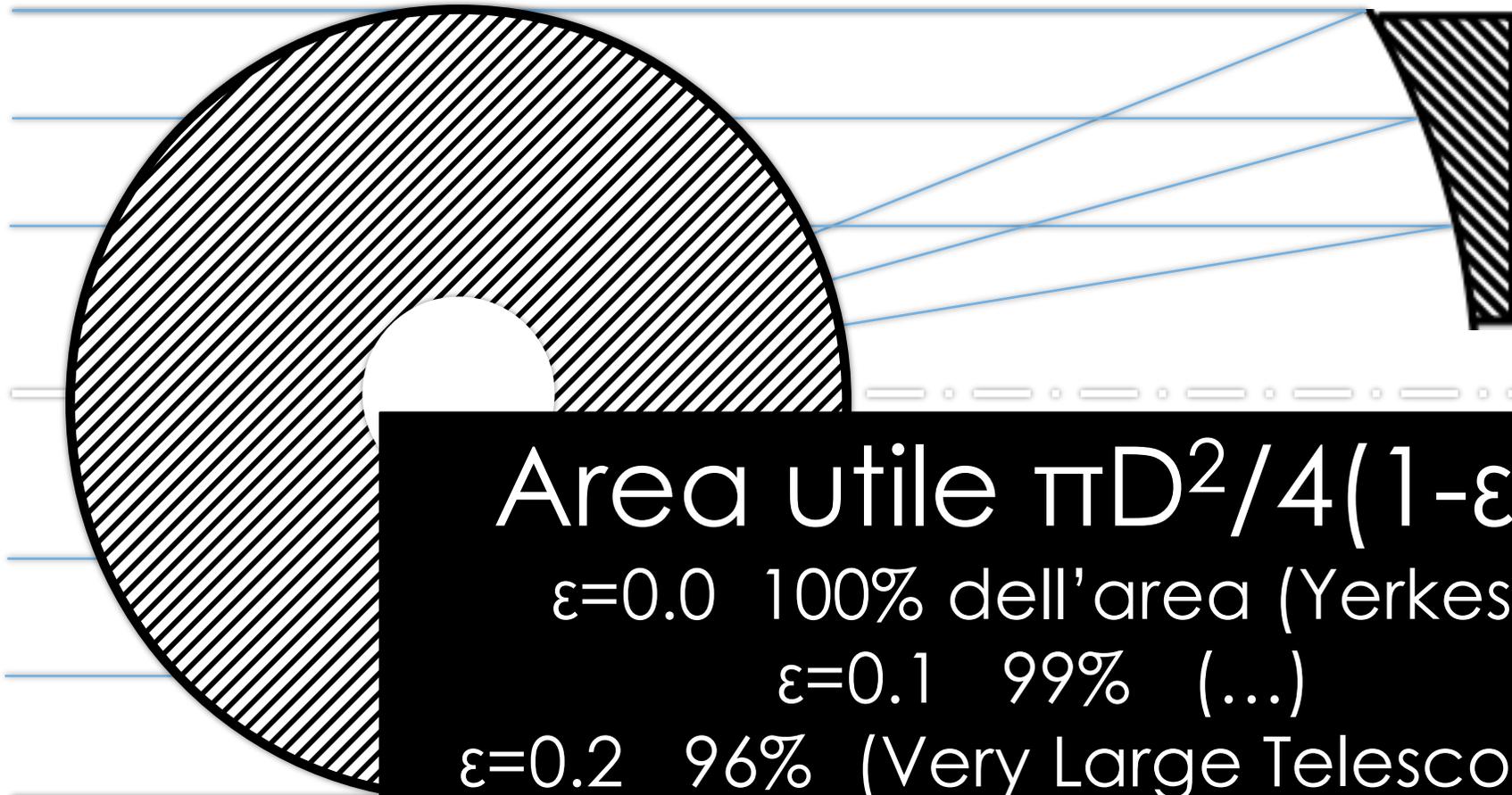
ε è il coefficiente lineare di ostruzione



L'area utile è quella tratteggiata



L'area utile è quella tratteggiata



Area utile $\pi D^2/4(1-\varepsilon^2)$

$\varepsilon=0.0$ 100% dell'area (Yerkes)

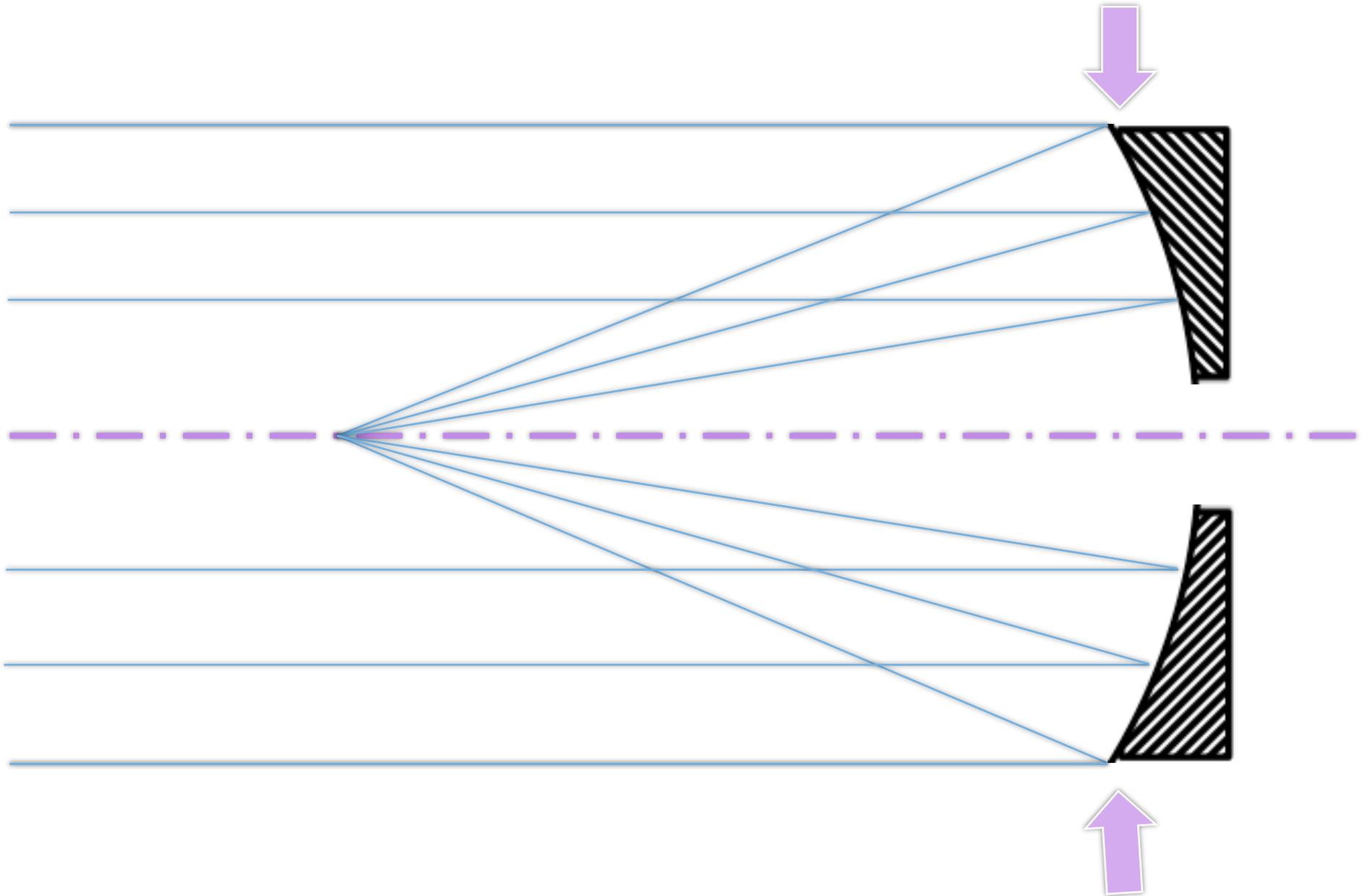
$\varepsilon=0.1$ 99% (...)

$\varepsilon=0.2$ 96% (Very Large Telescope)

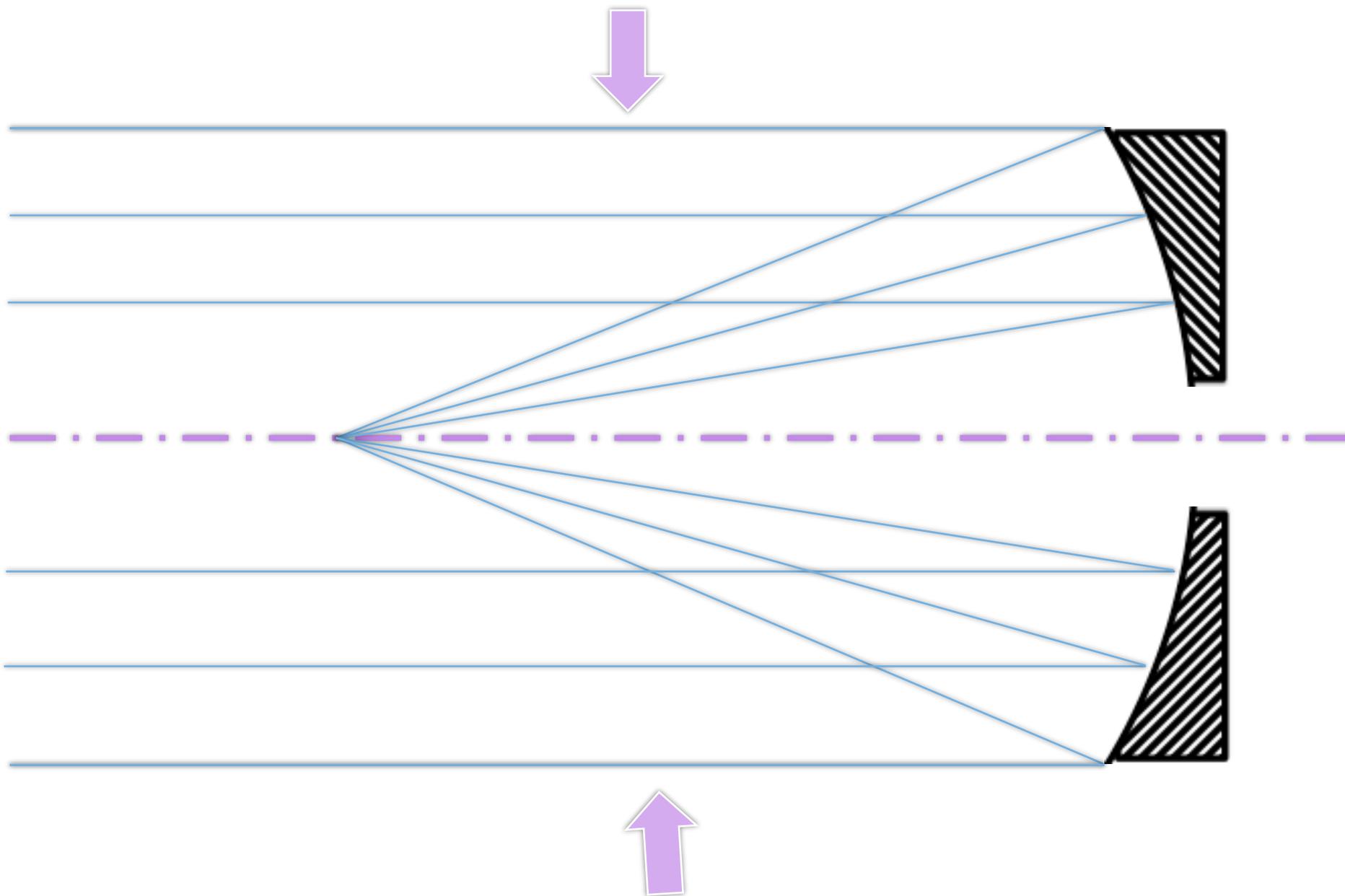
$\varepsilon=0.3$ 91% (Hubble Space Telescope)

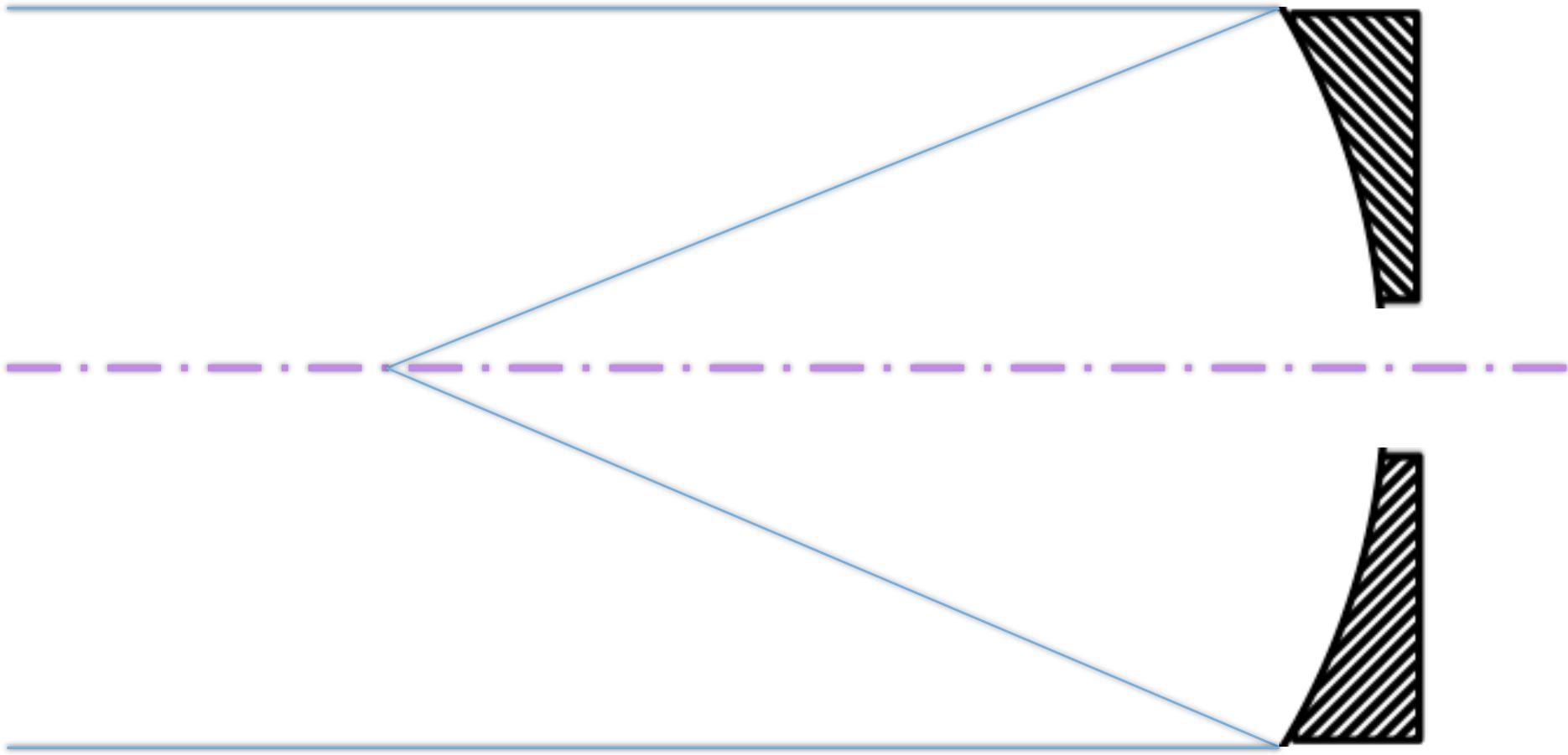
$\varepsilon=0.5$ 75% (Pino Torinese)

Questi sono i bordi della pupilla

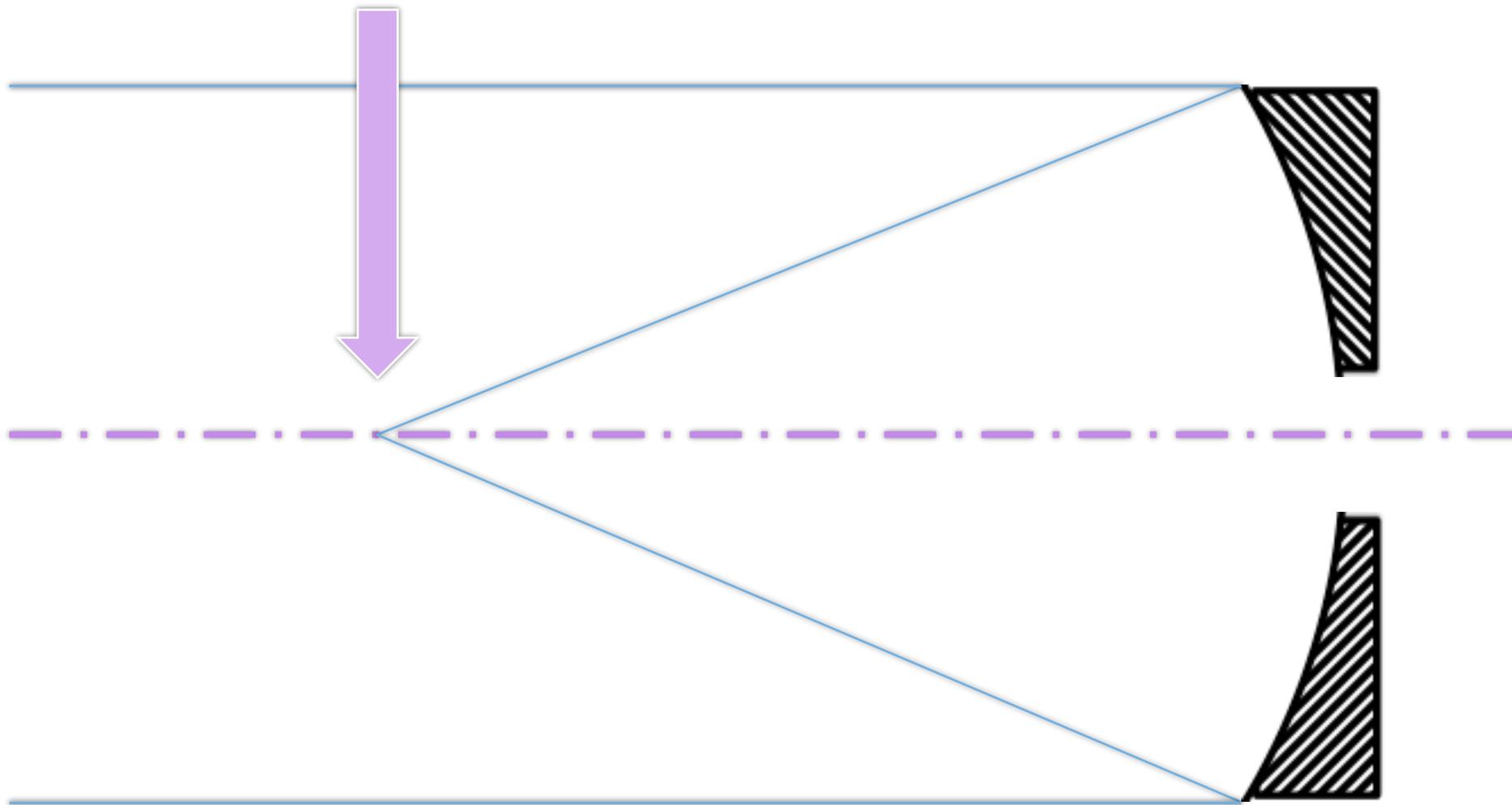


Questi raggi sono detti *marginali*

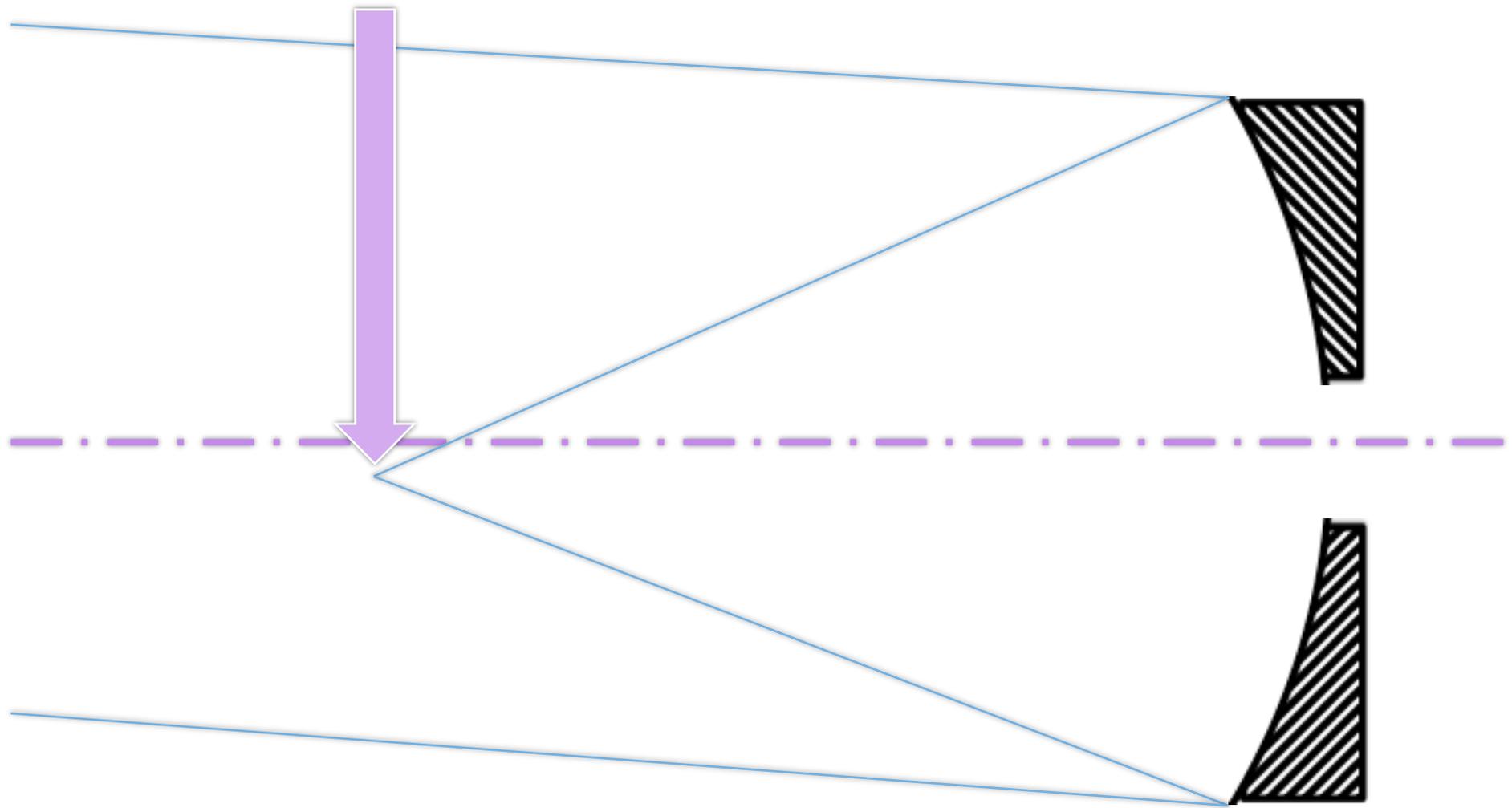


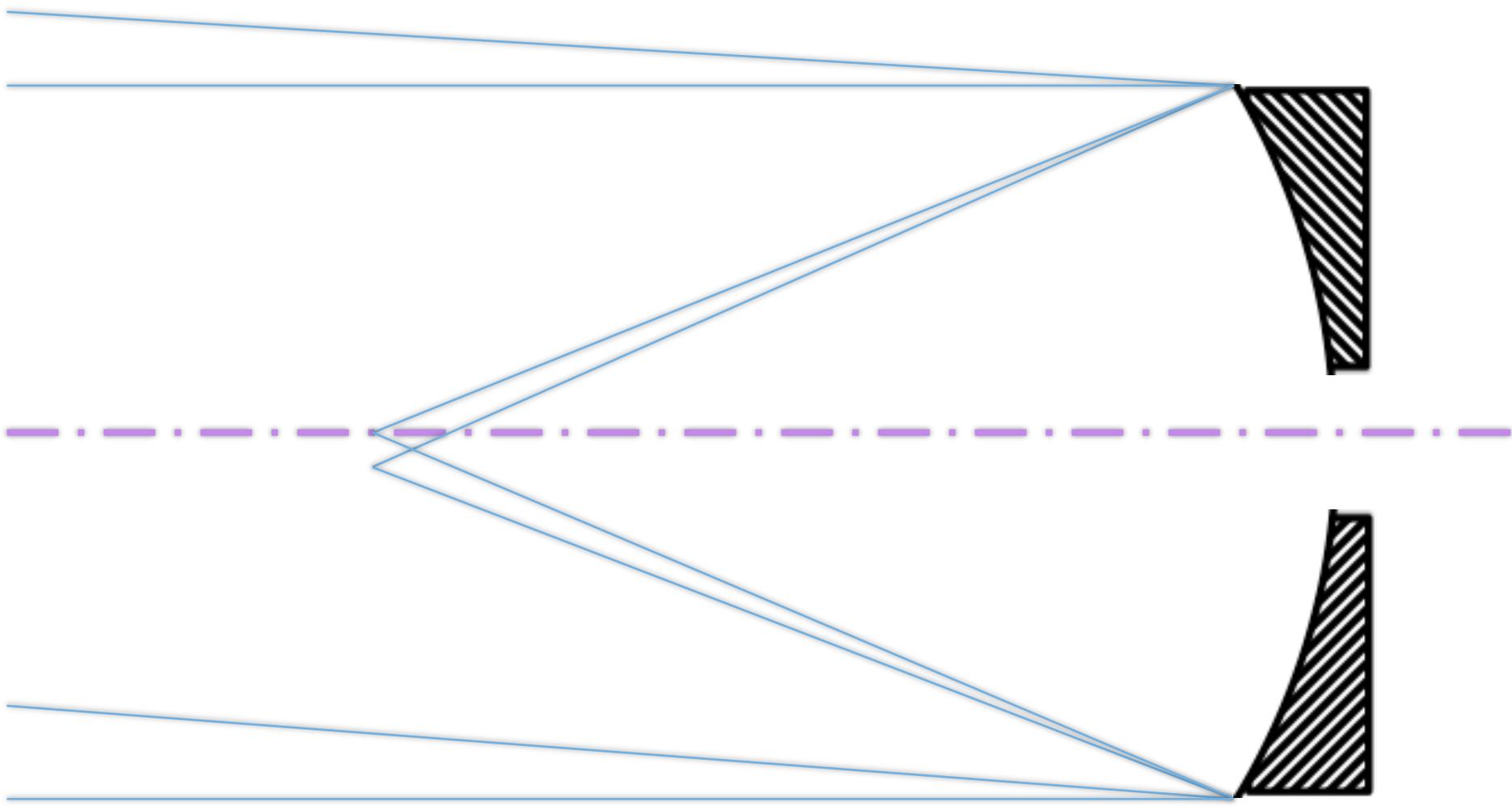


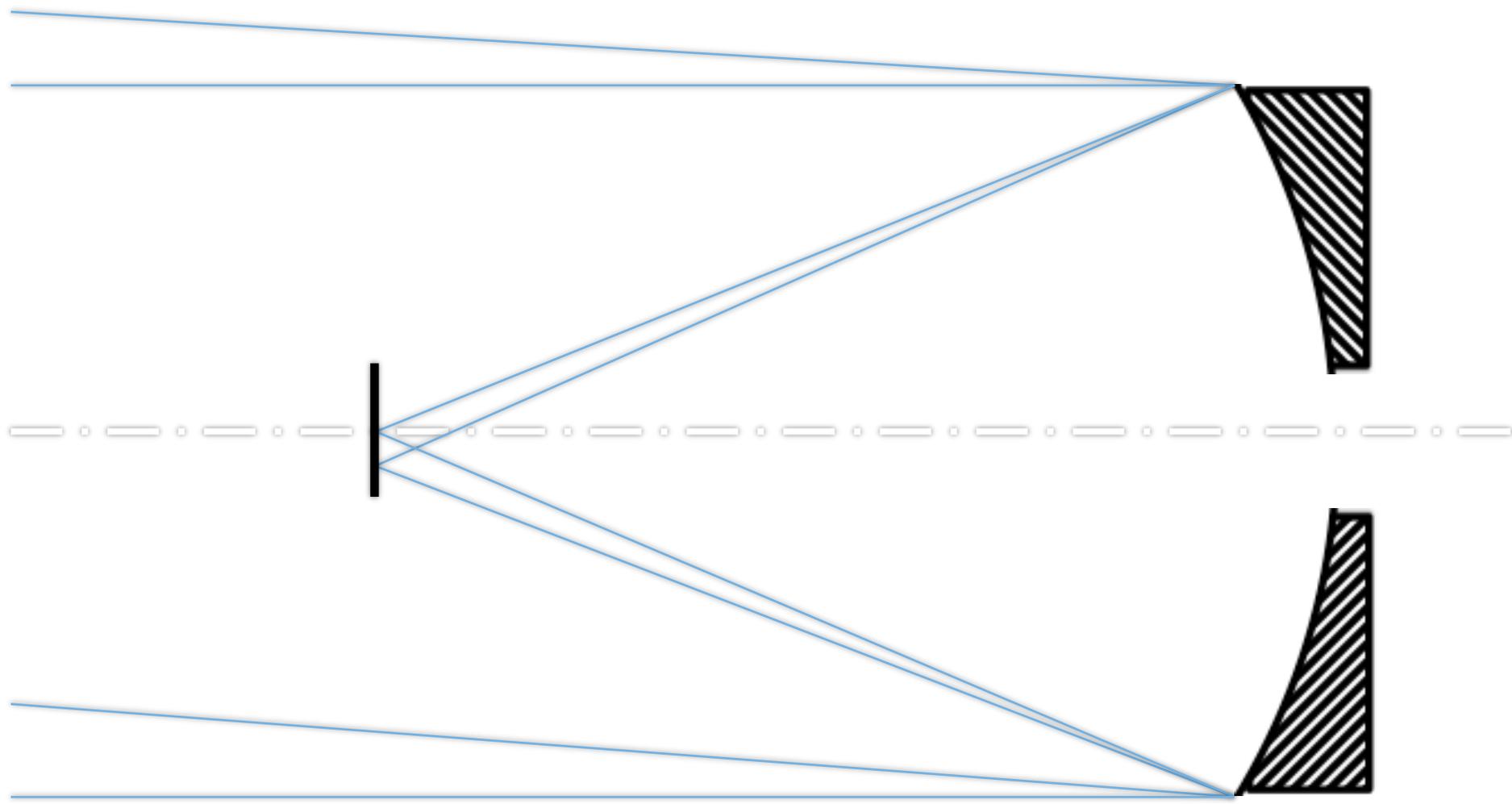
E questo è il fuoco primario



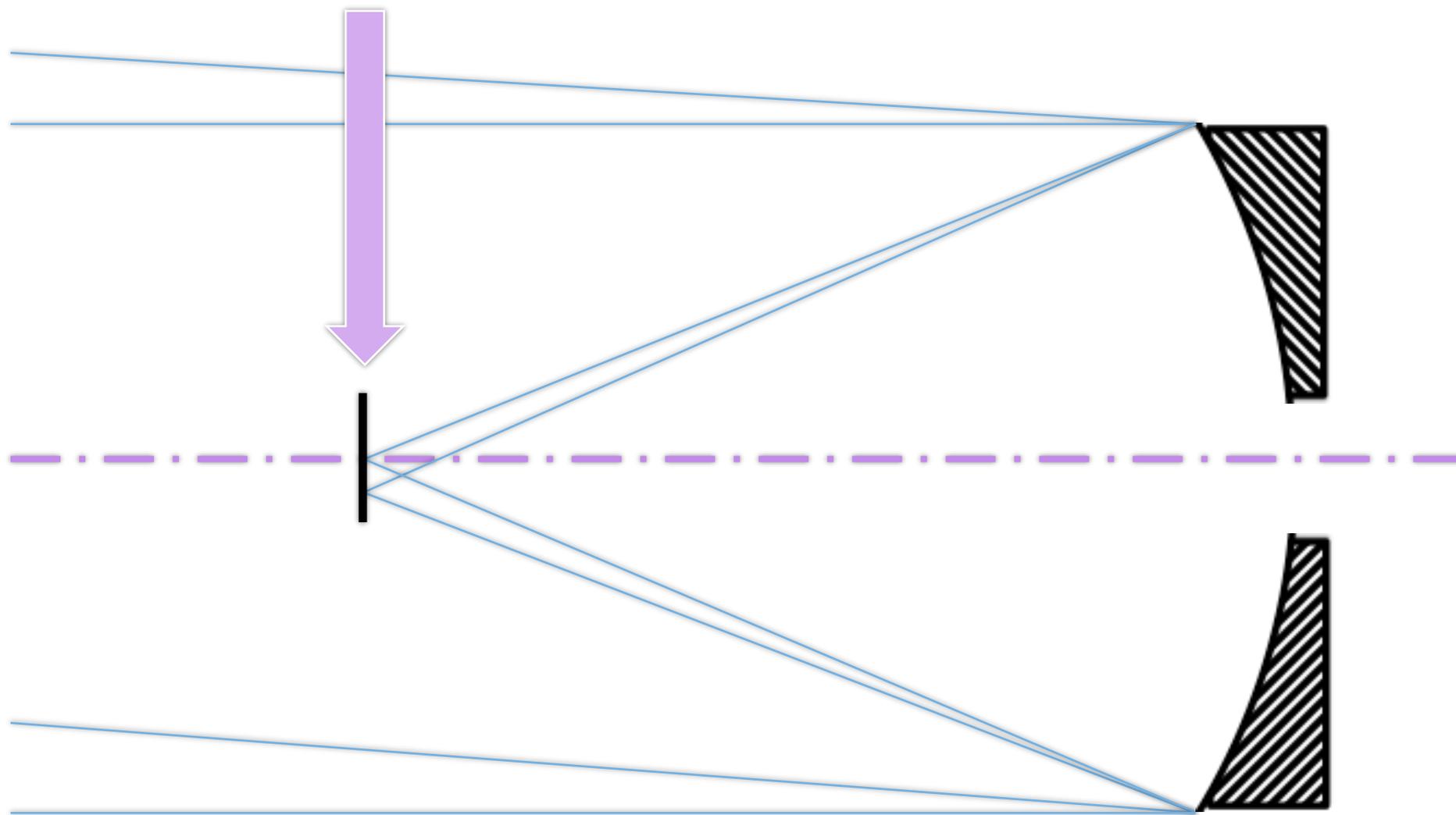
E questo è il fuoco di una sorgente fuori asse



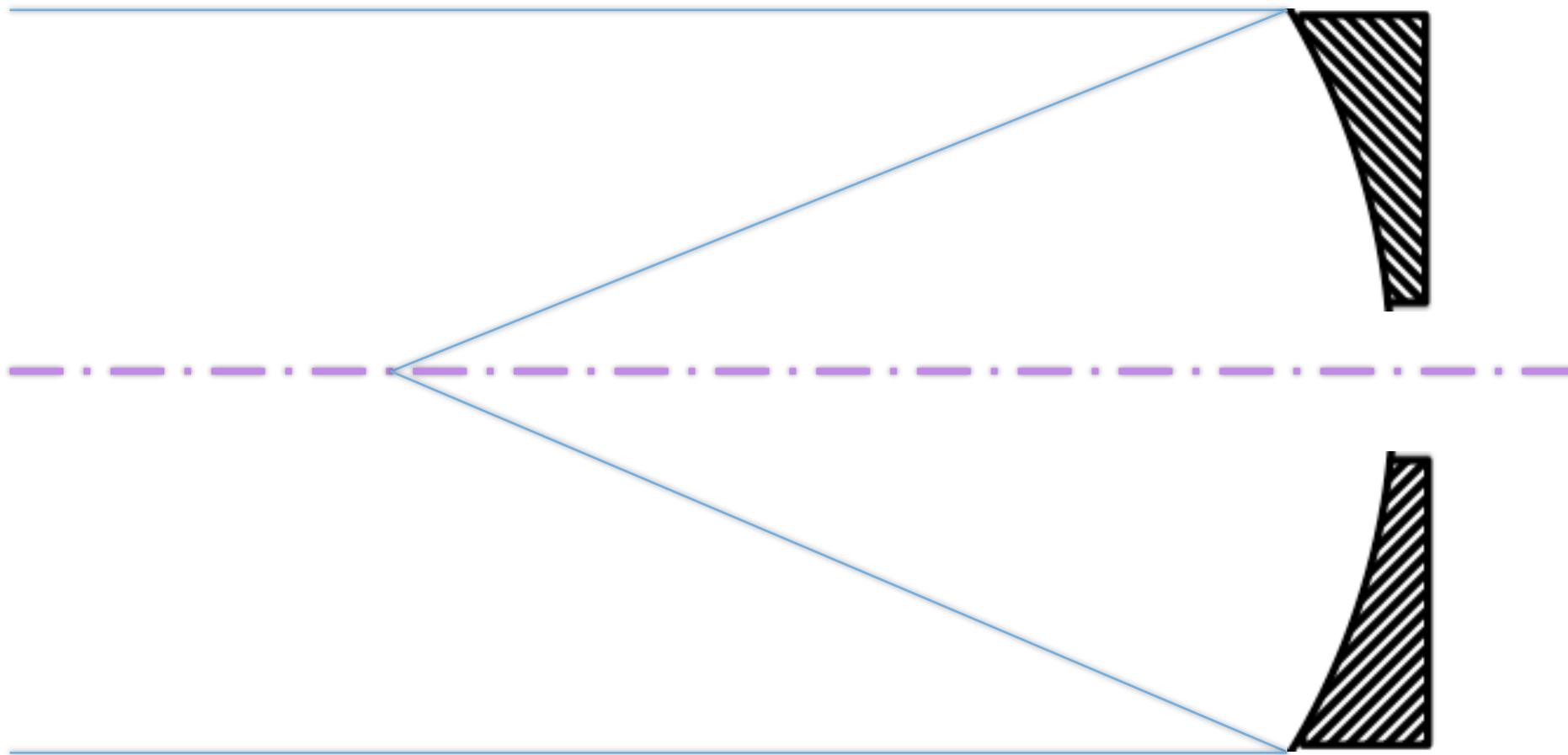




Piano focale dello specchio primario



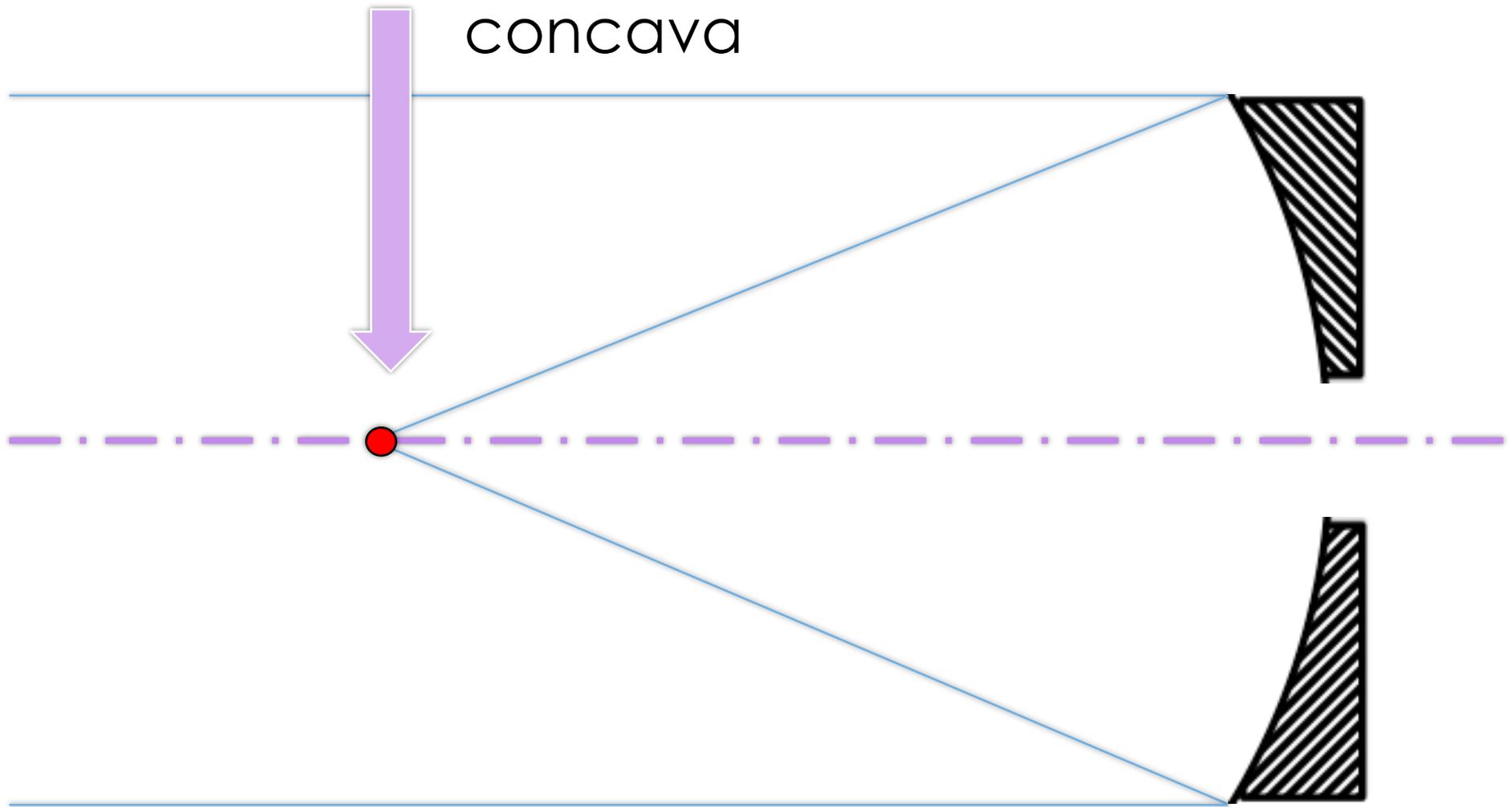
Lo specchio coniuga due punti ...



Uno all'infinito (o distanza molto elevata) giacente sull'asse di simmetria...

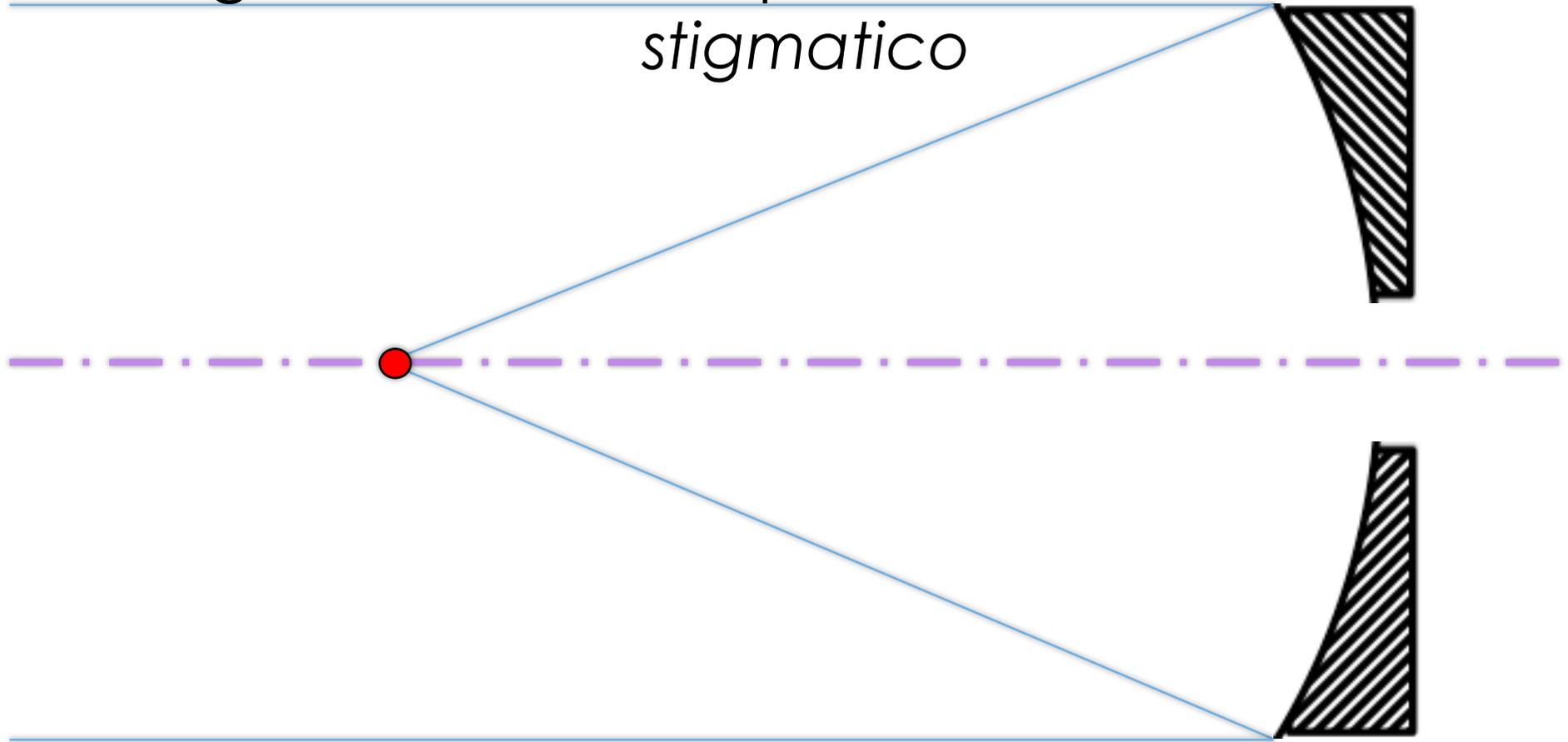


E uno nel fuoco della superficie
concava



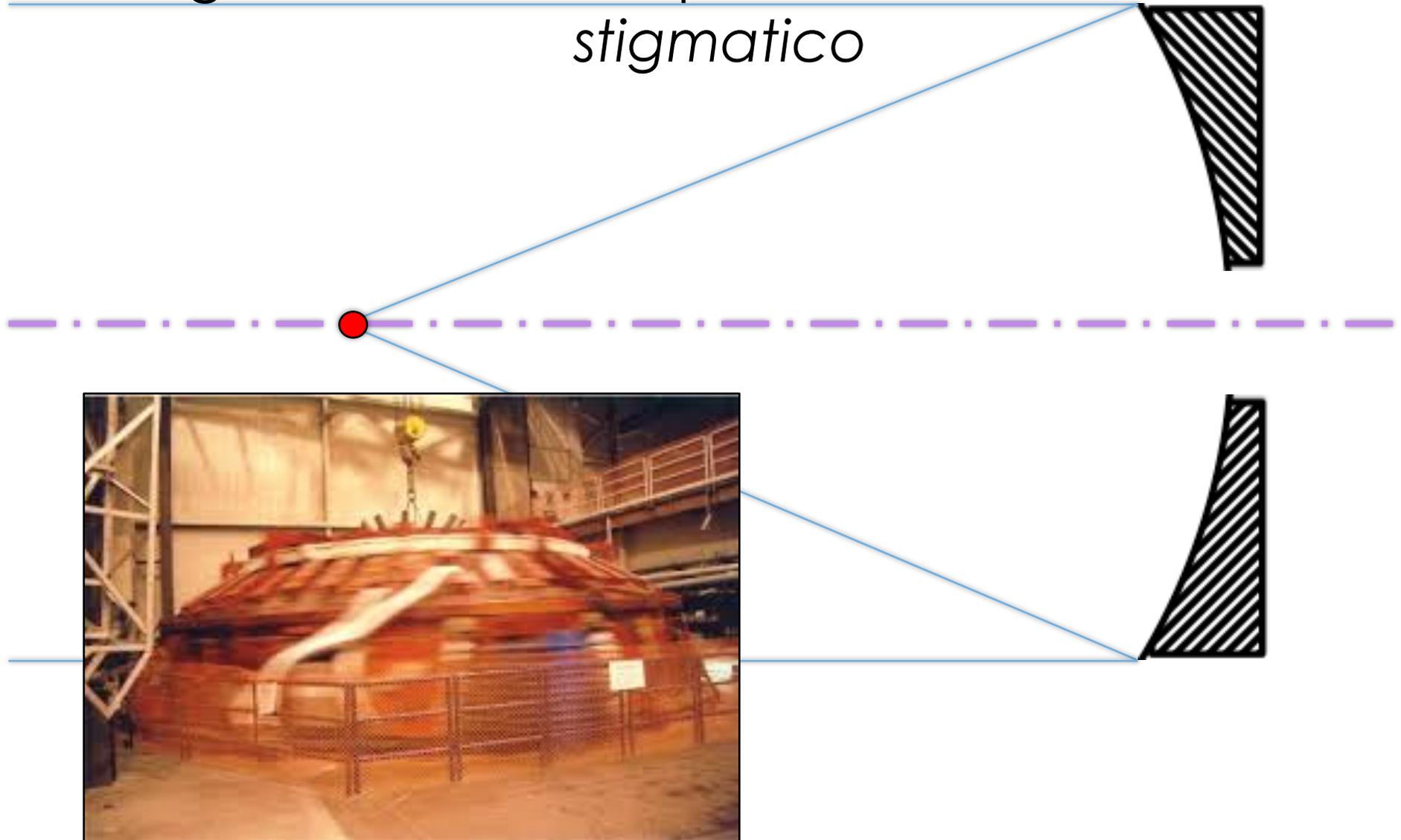
Se lo specchio primario è un paraboloide la
coniugazione è perfetta in approssimazione
geometrica e lo specchio viene detto

stigmatico

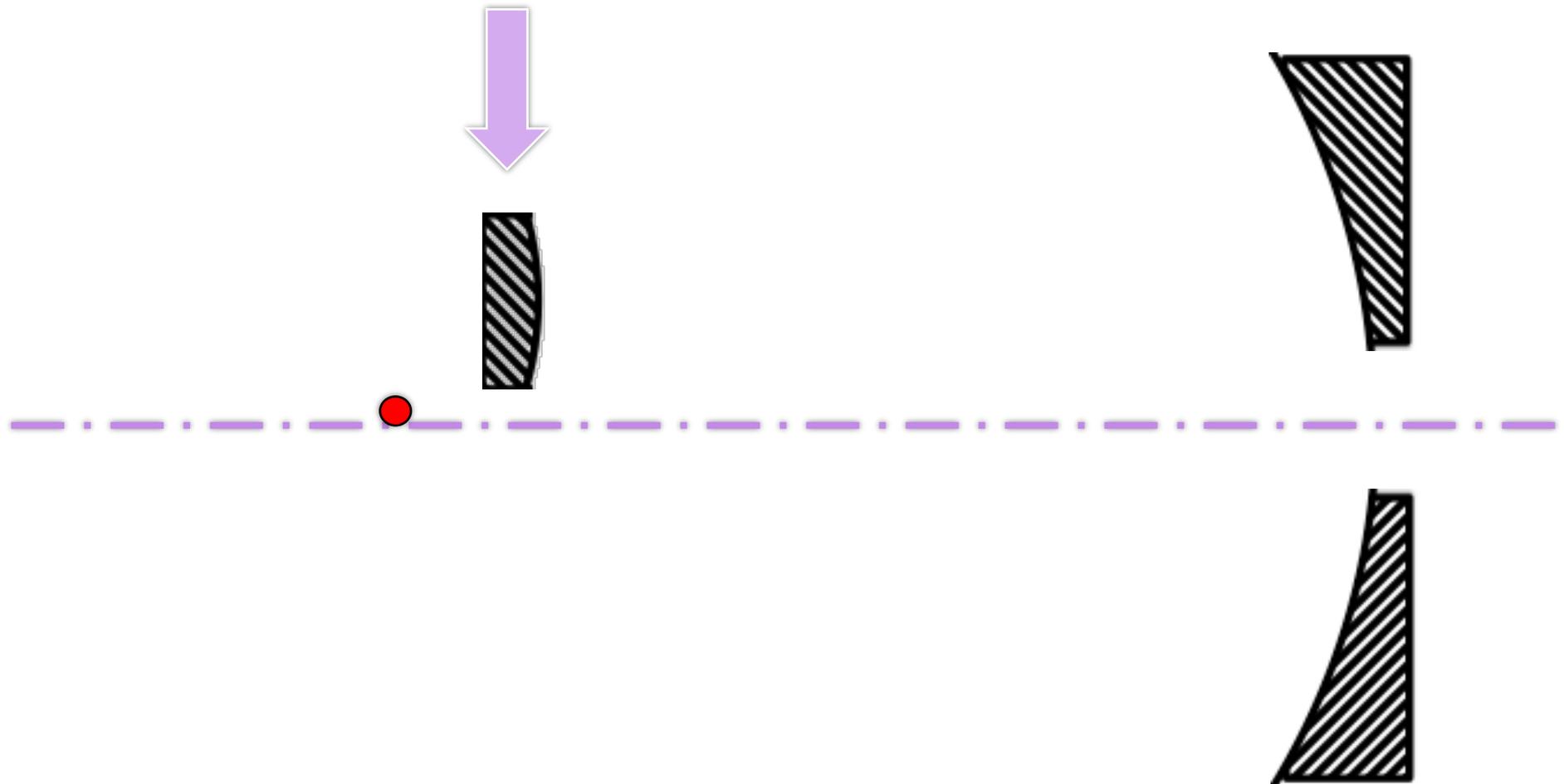


Se lo specchio primario è un paraboloide la
coniugazione è perfetta in approssimazione
geometrica e lo specchio viene detto

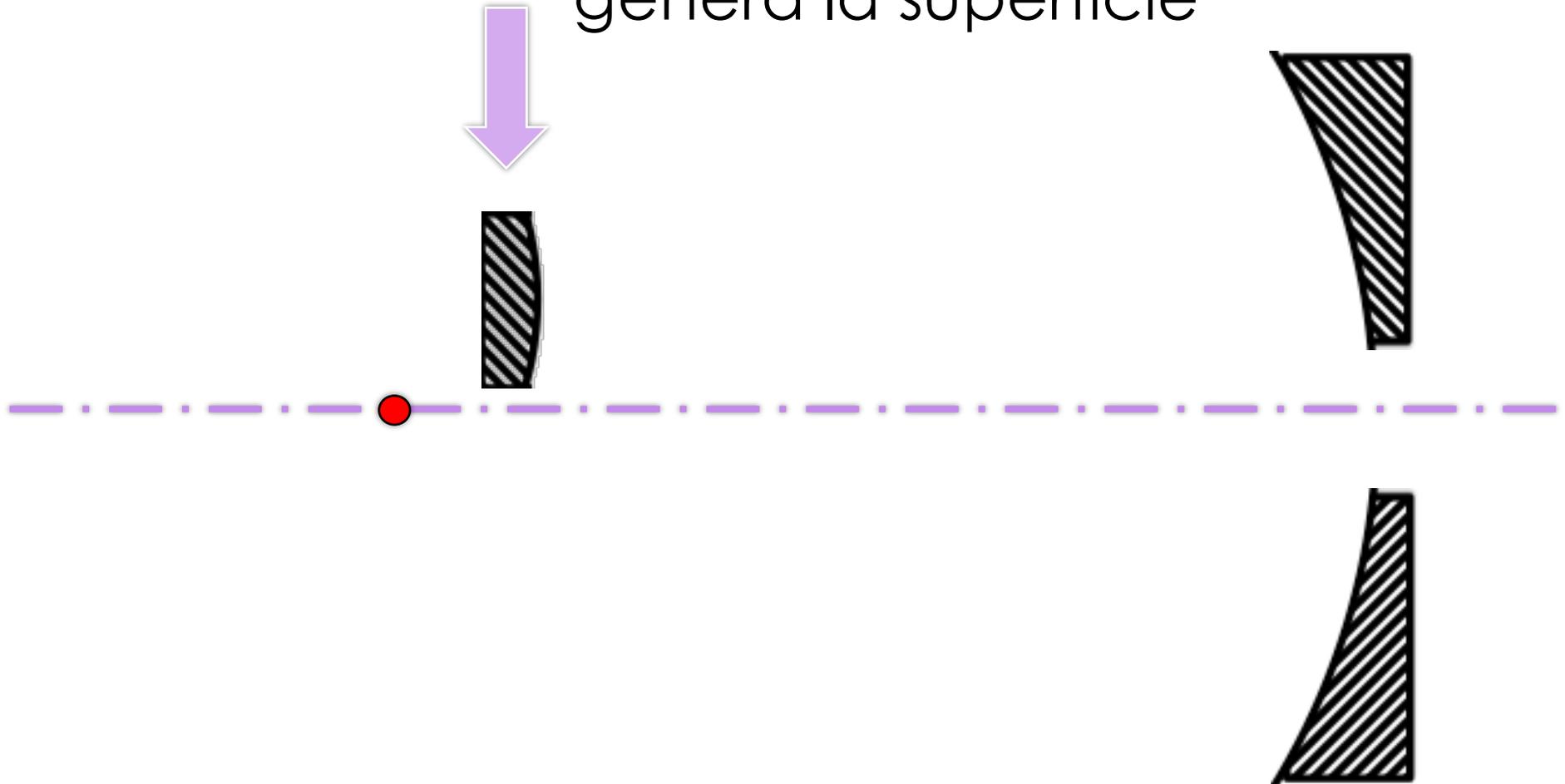
stigmatico



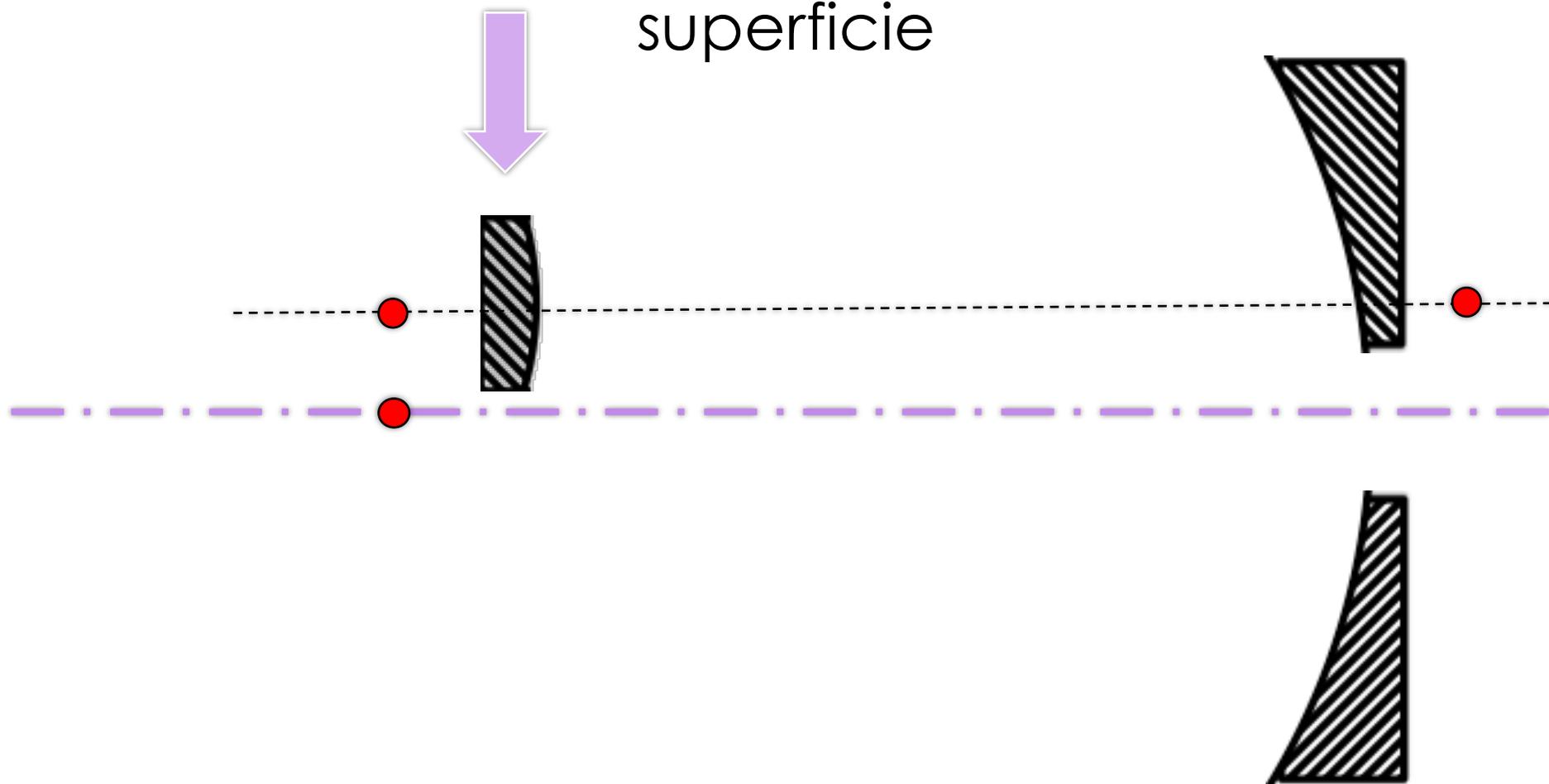
Montiamo ora uno specchio
convesso iperboloidale



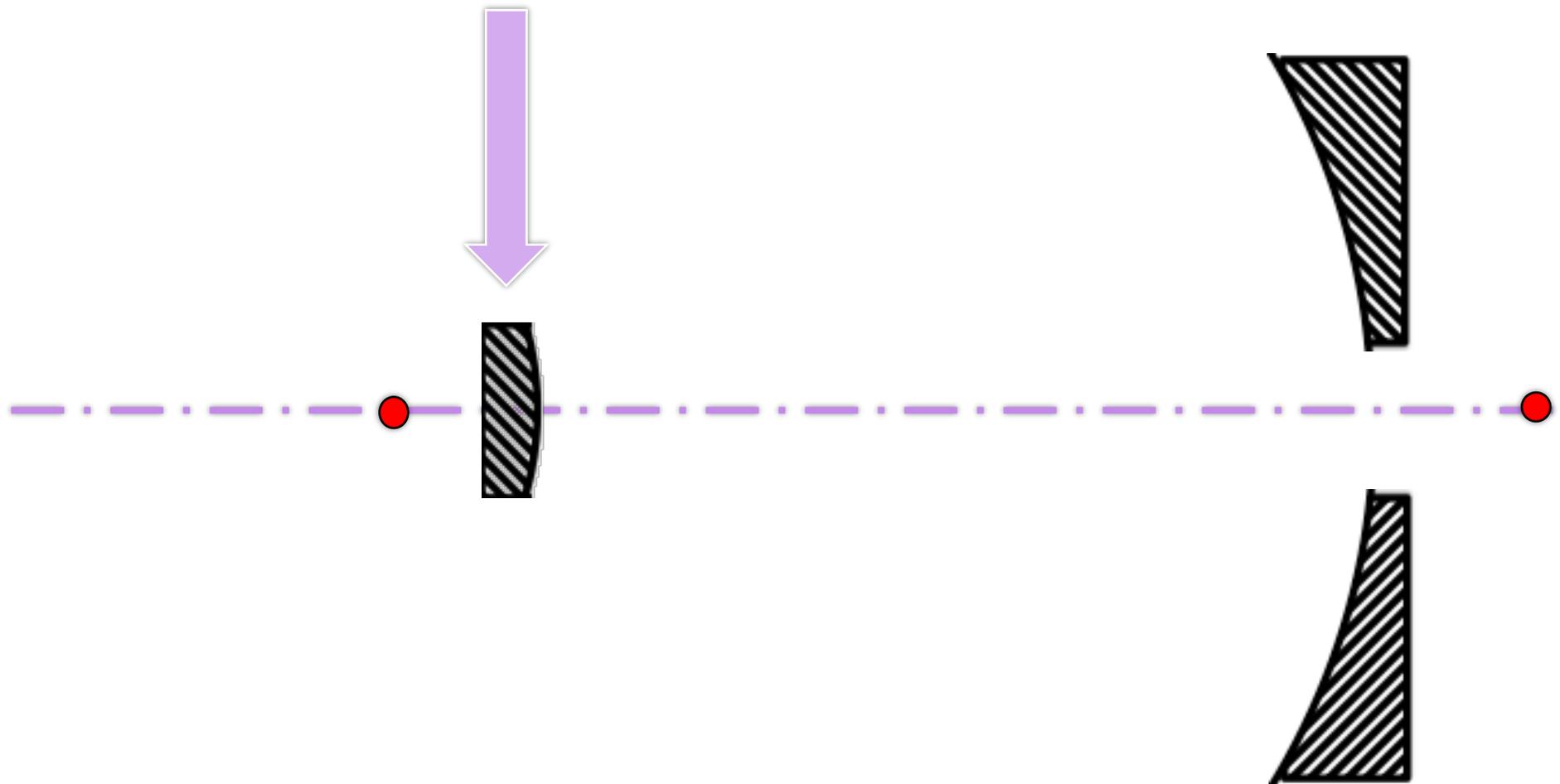
Questa superficie è caratterizzata da due punti coniugati: i fuochi dell'iperbola che genera la superficie



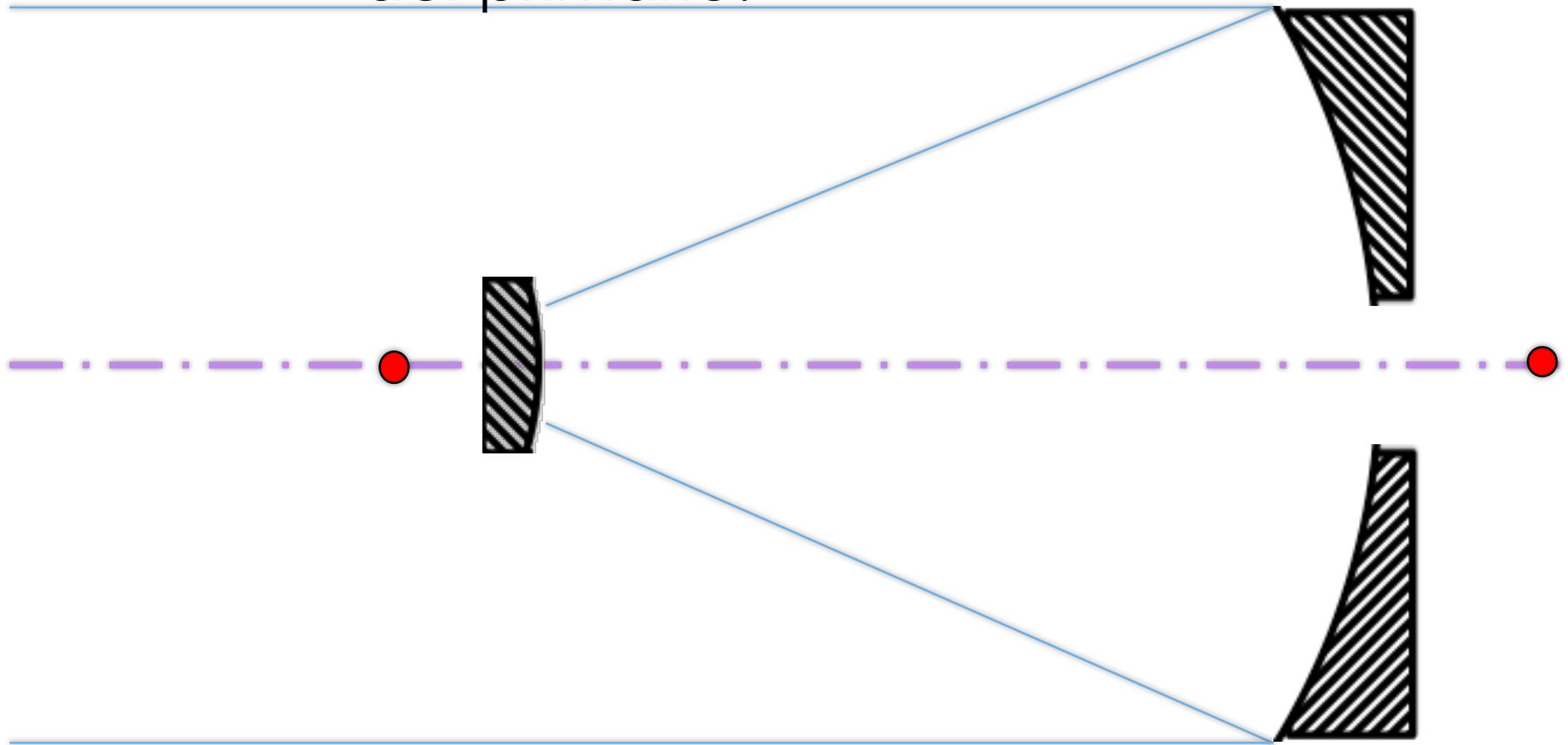
Questa superficie è caratterizzata da due punti coniugati: i fuochi dell'iperbole che genera la superficie



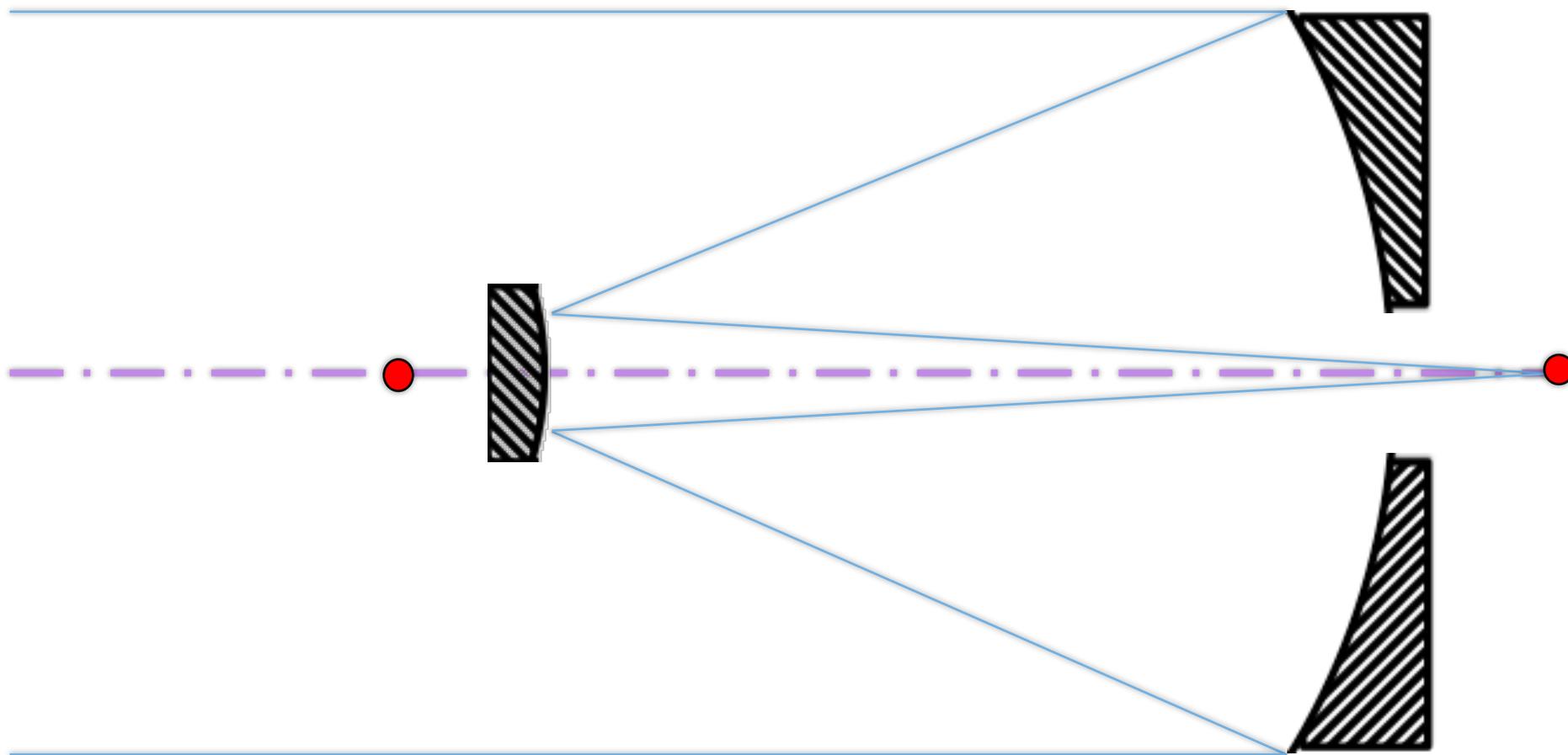
... coallineati con i fuochi dello specchio
concavo . . .



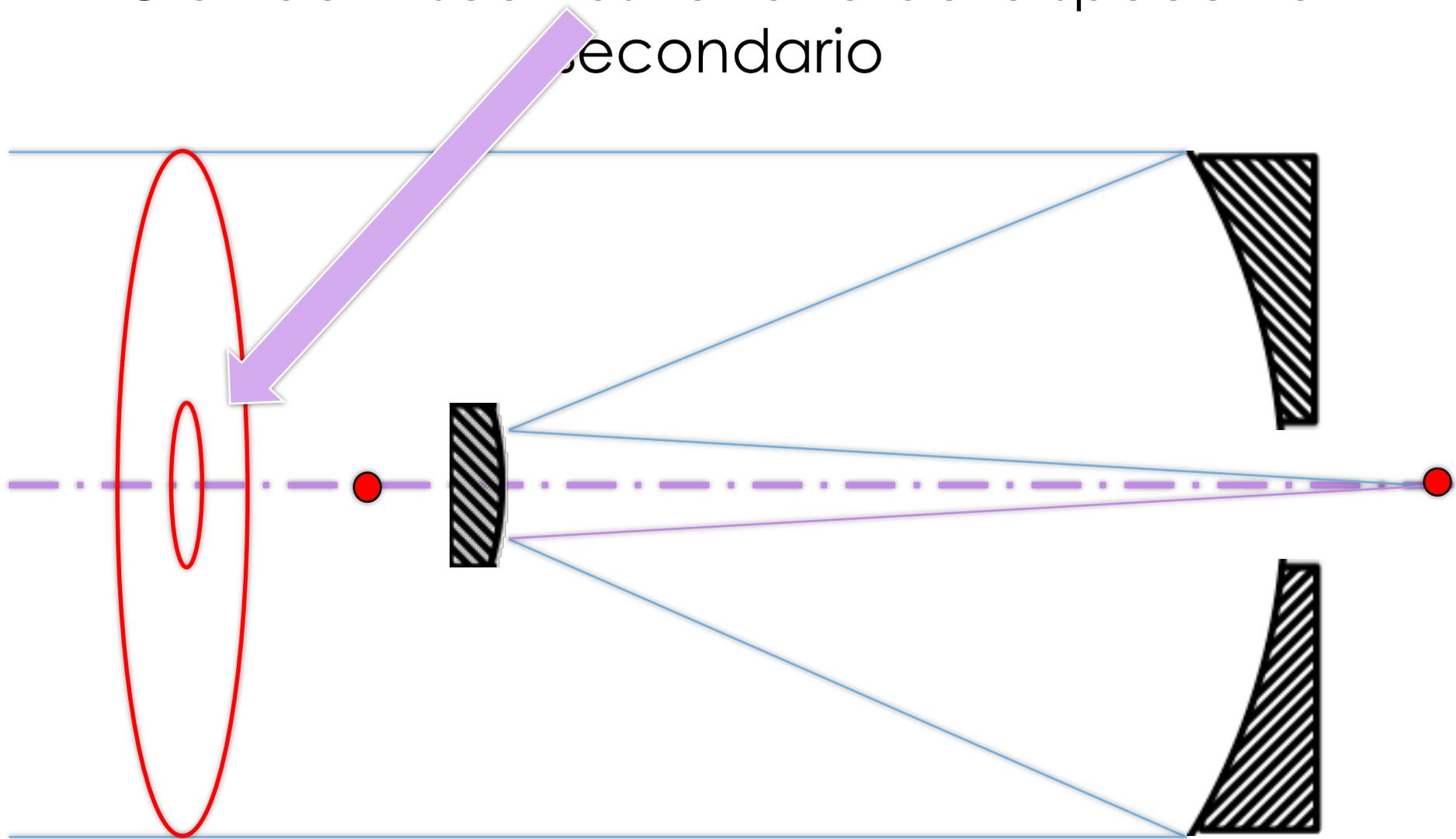
I raggi marginali non raggiungono più il piano focale del primario.

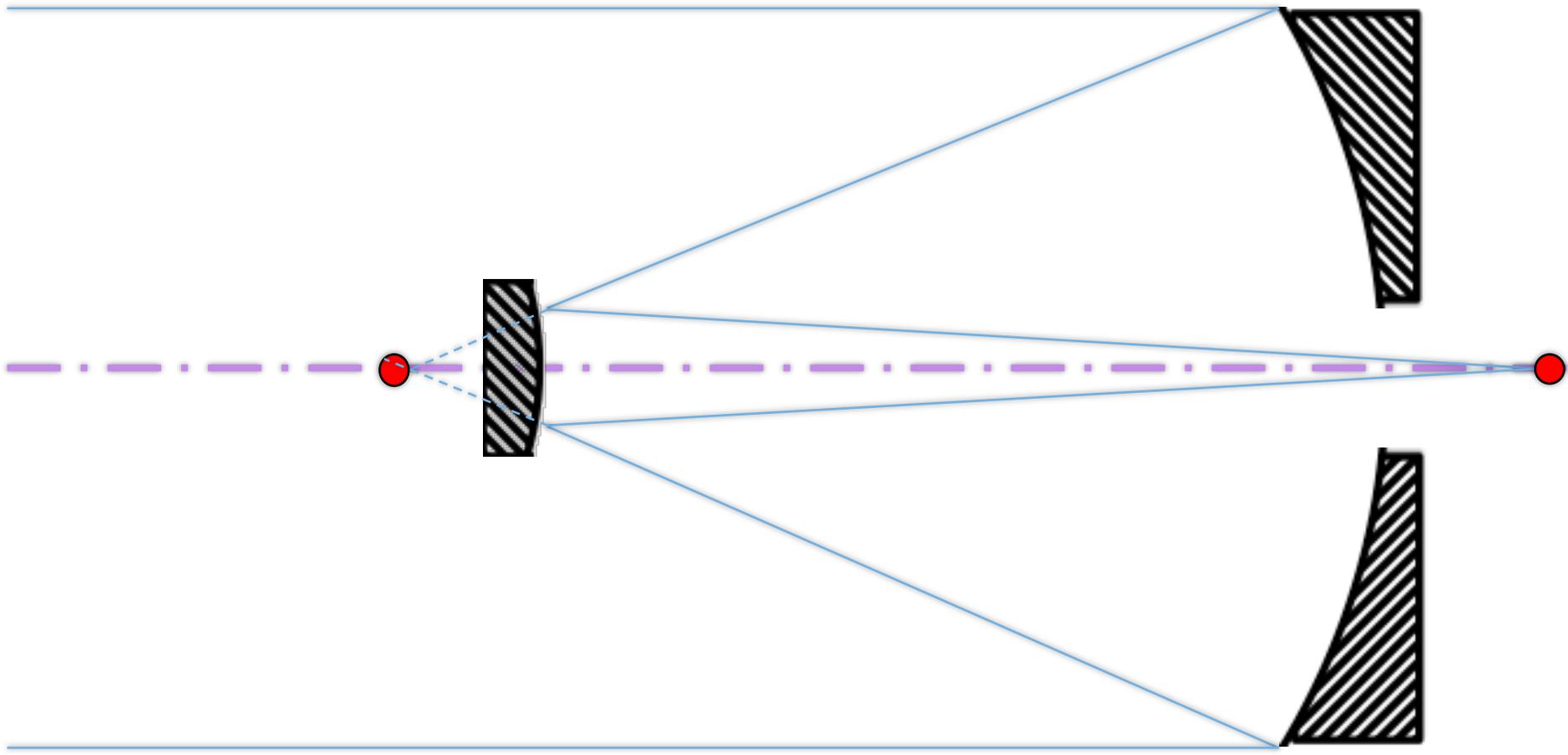


Ma quello che viene chiamato fuoco Cassegrain

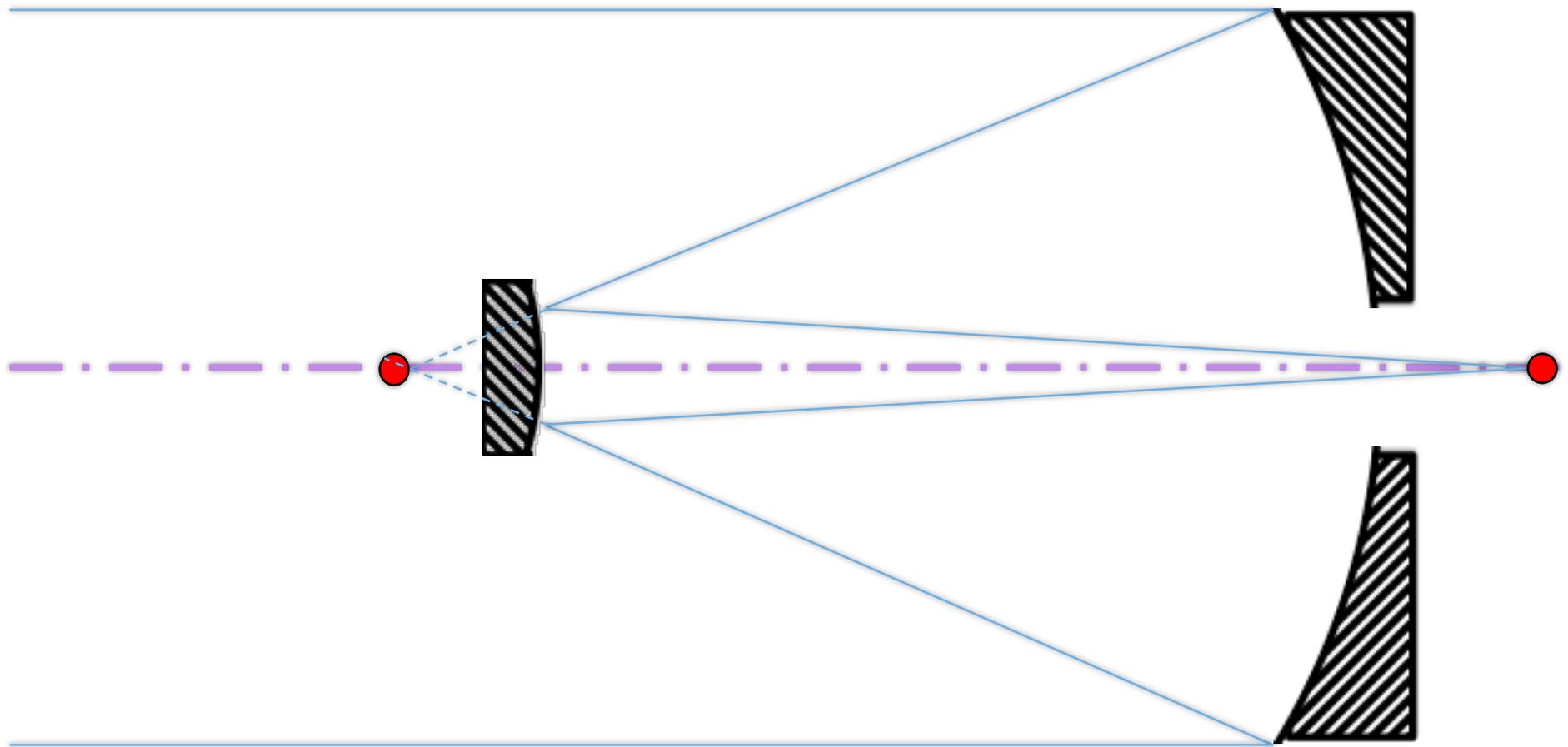


Ciò ridefinisce l'ostruzione dello specchio secondario

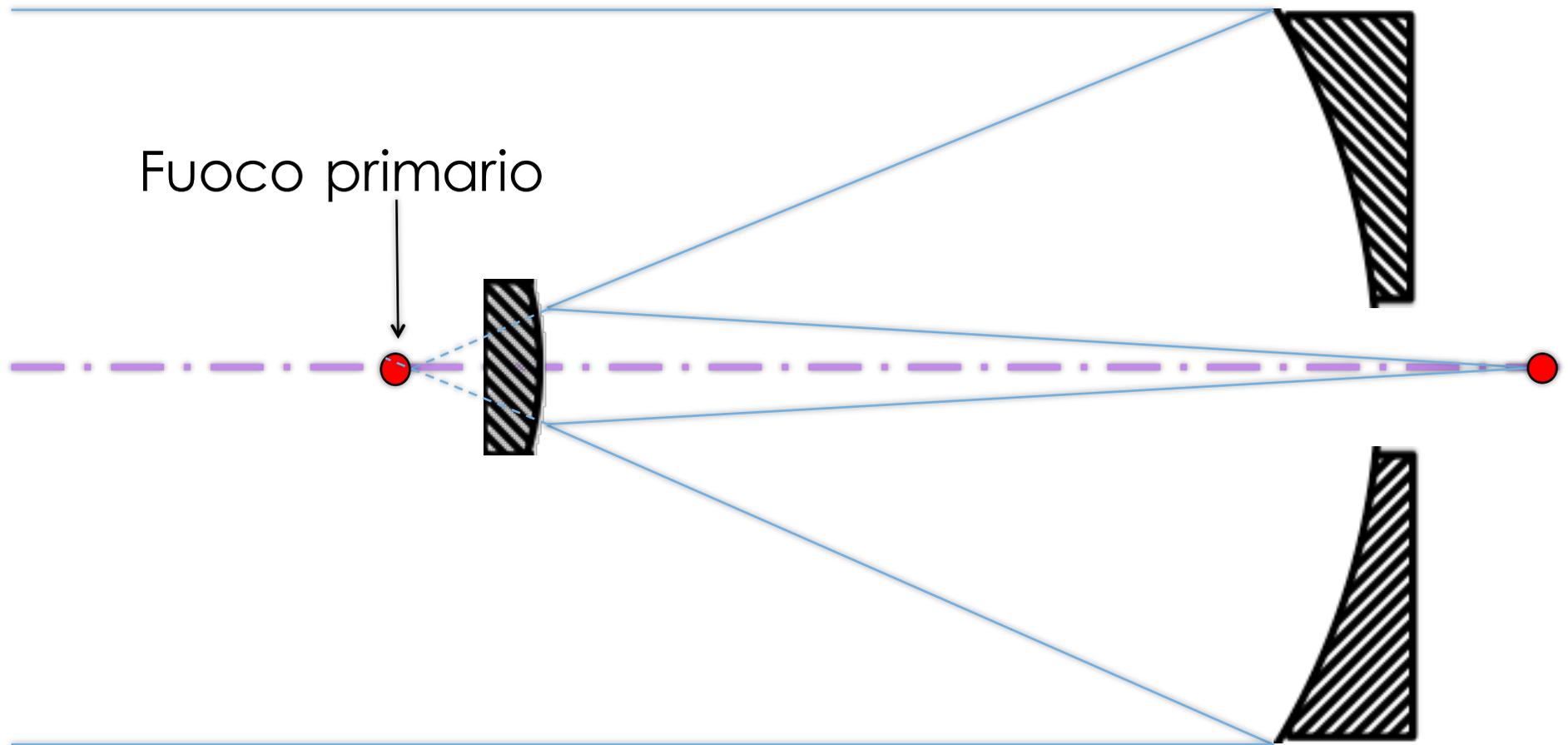




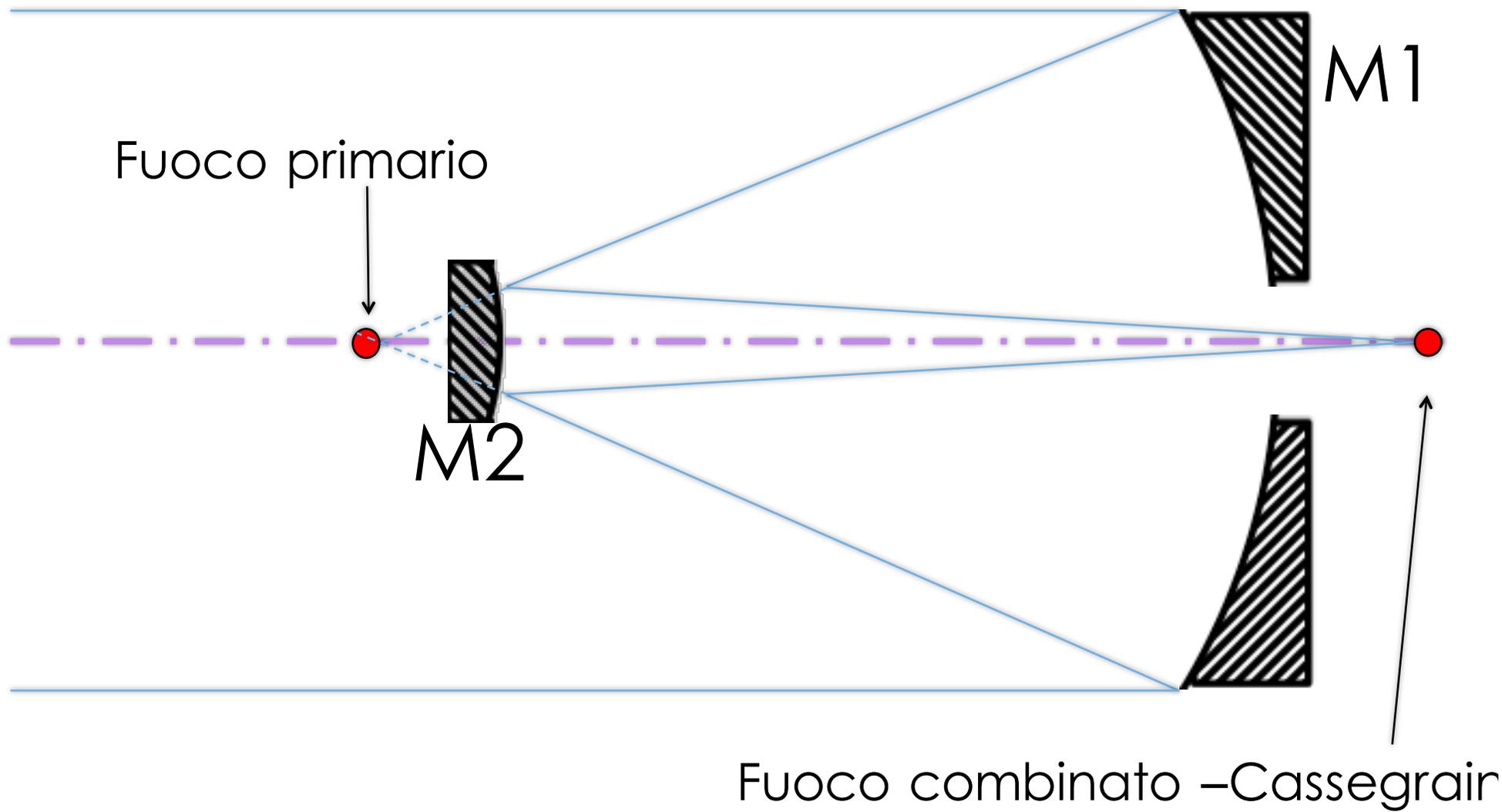
Nomenclatura...



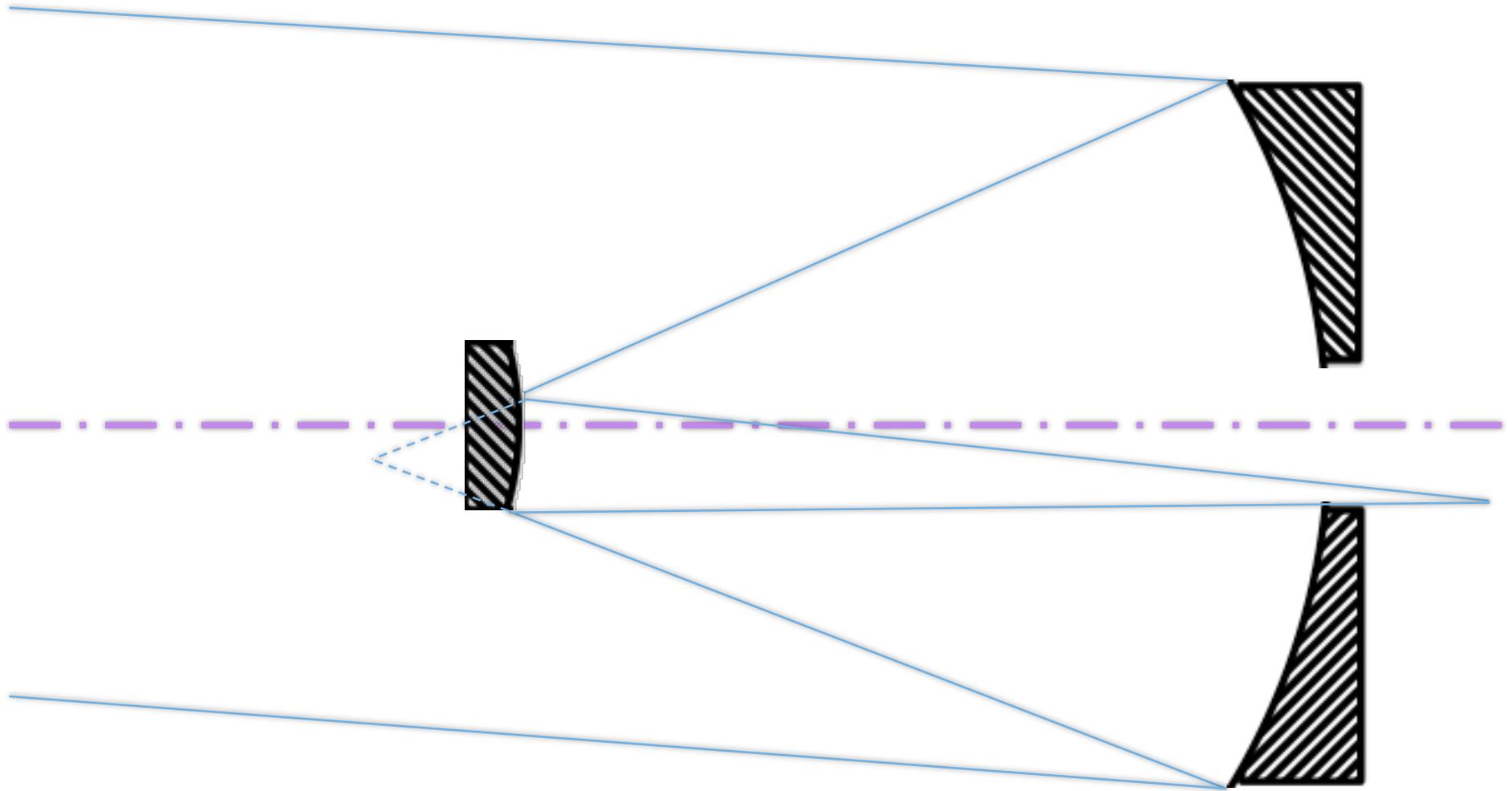
Nomenclatura...

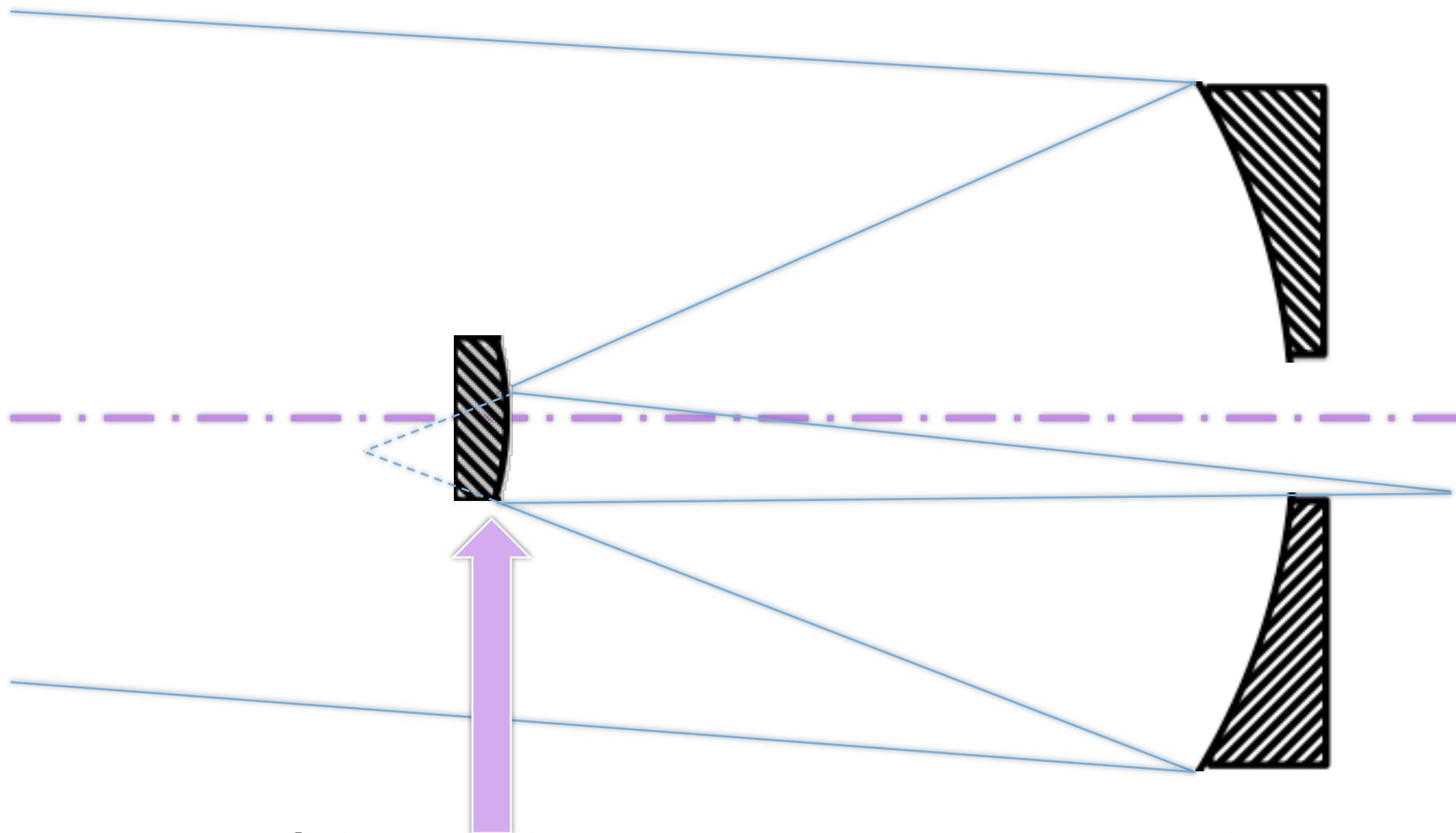


Nomenclatura...



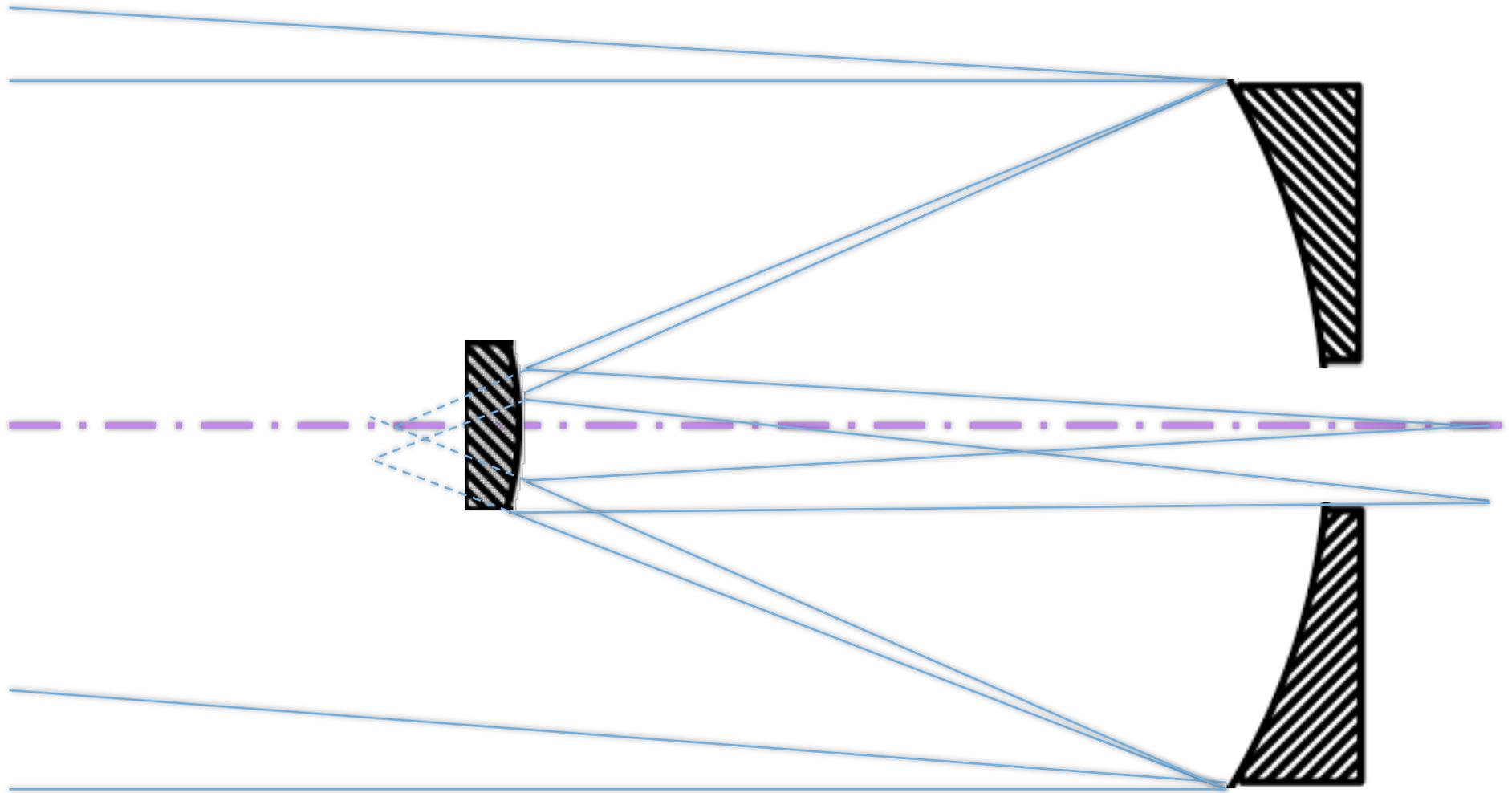
Raggi marginali fuori asse...



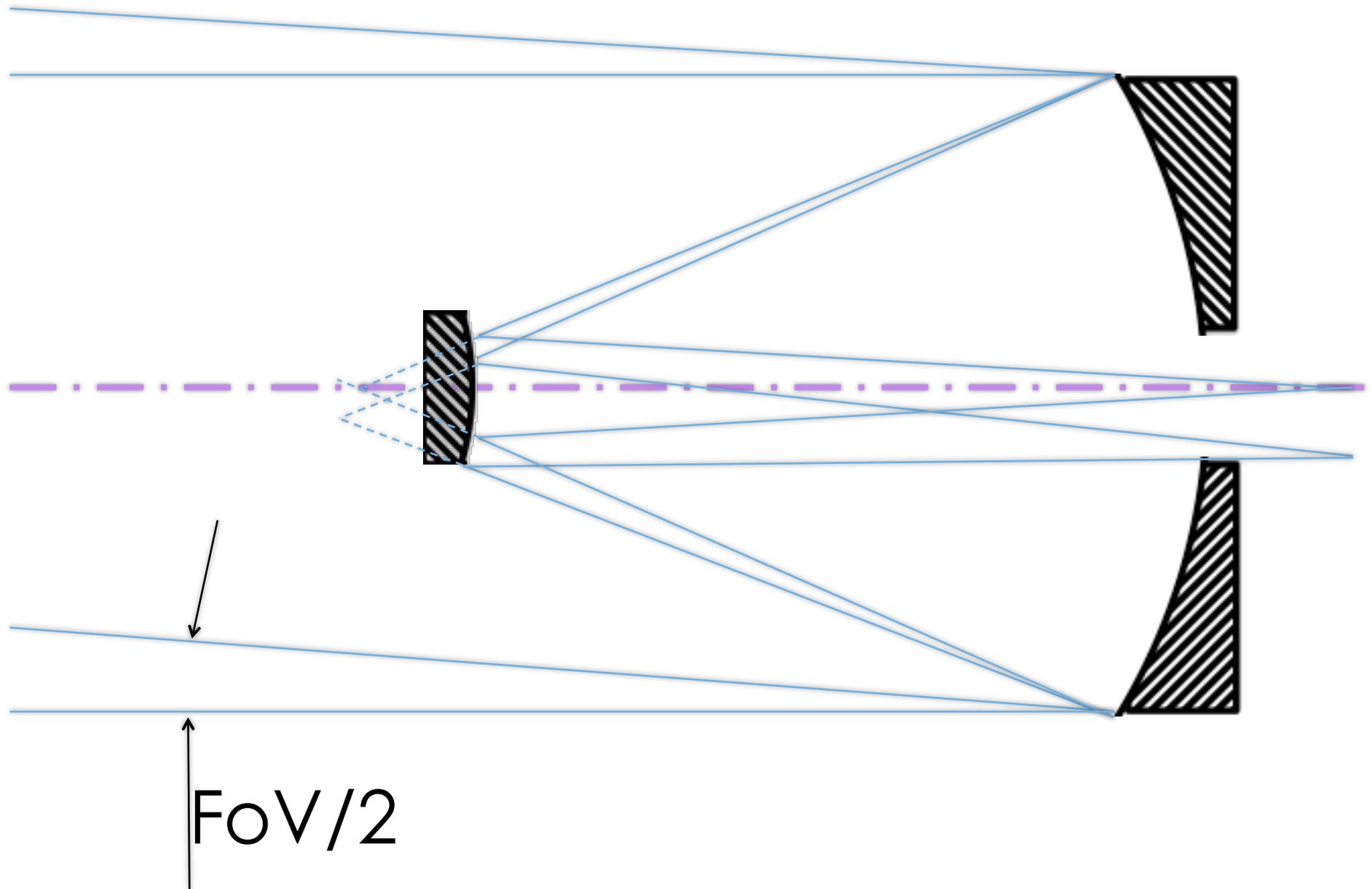


Questo è il raggio che passa al bordo di $M2$

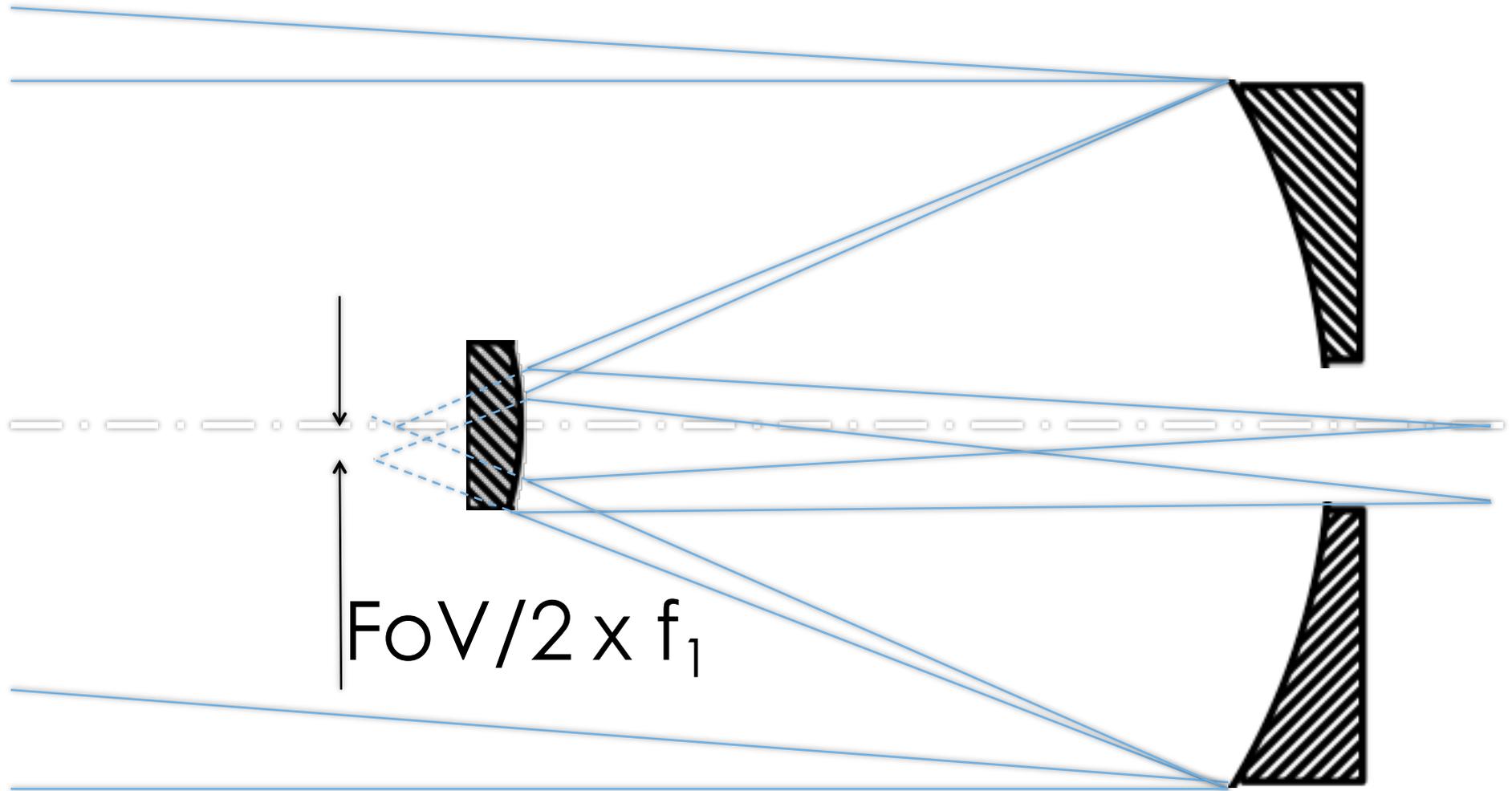
Ora tutto insieme...



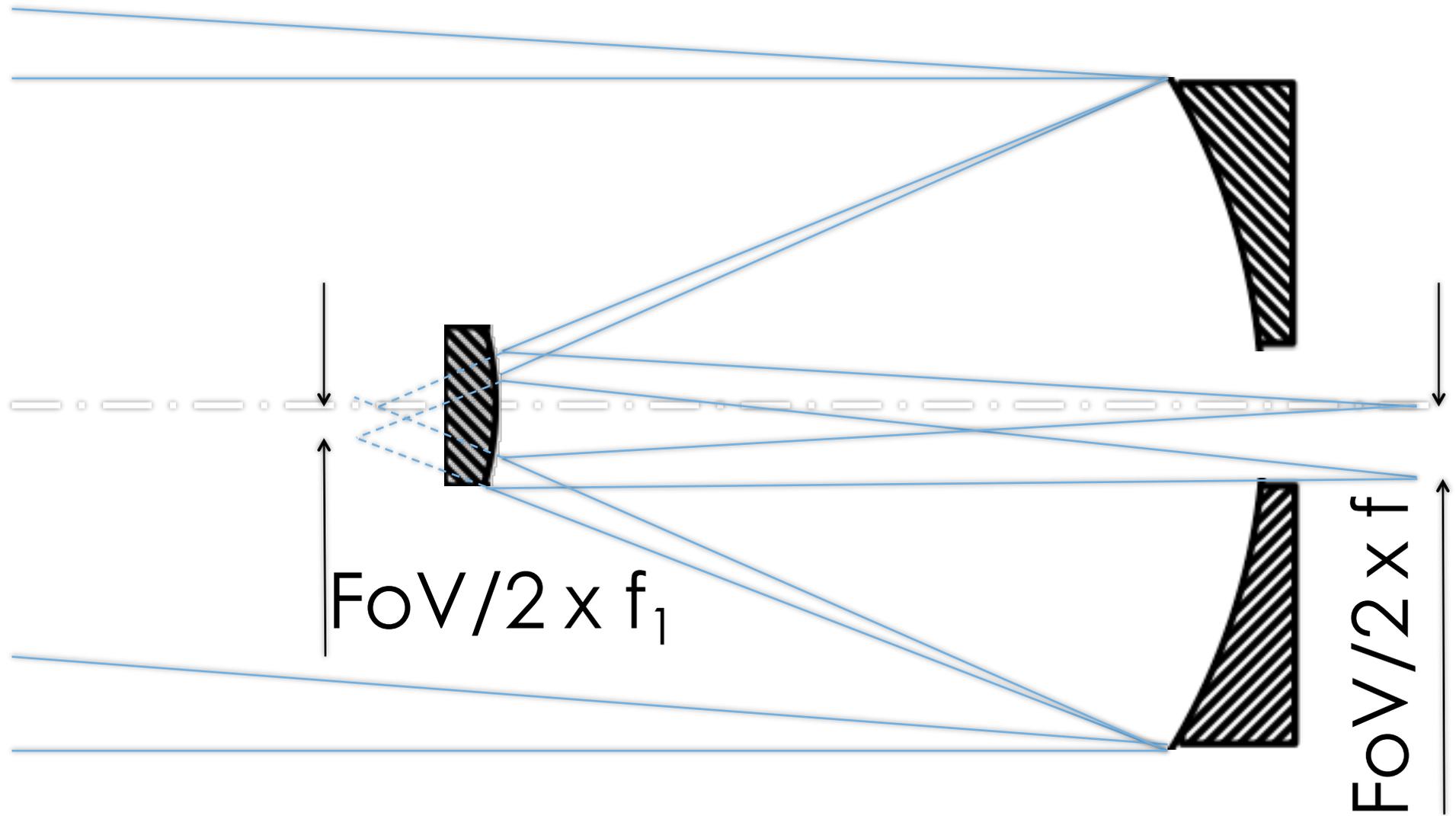
Definiamo così il Campo di Vista (FoV)...



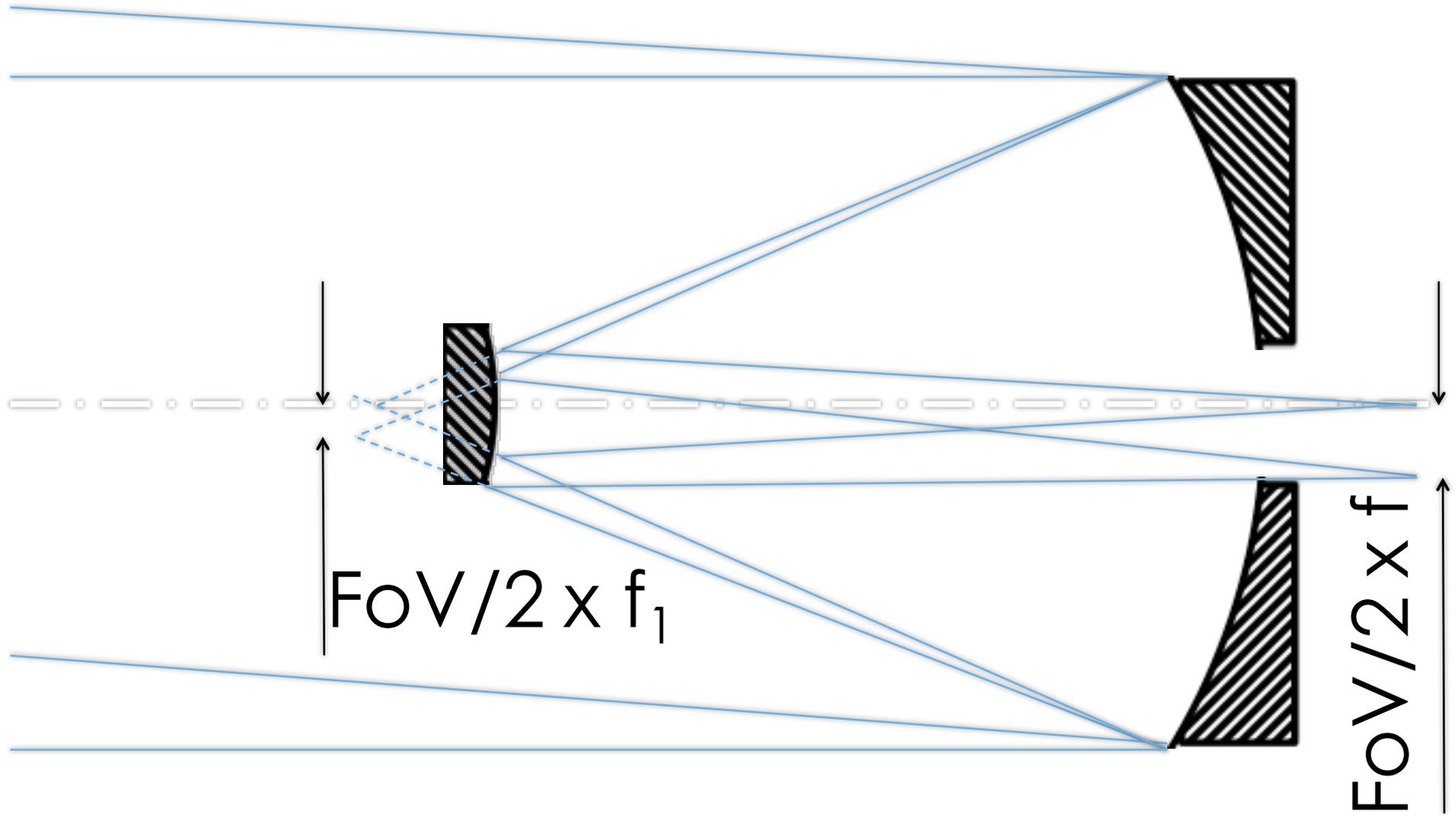
.. e un fattore di ingrandimento m



.. e un fattore di ingrandimento m



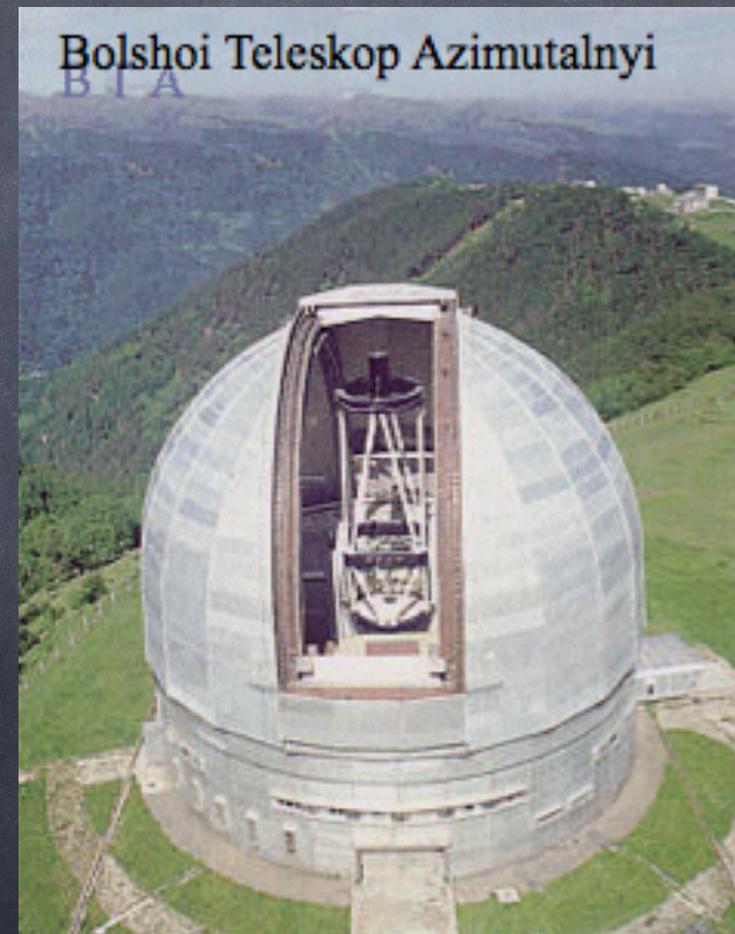
.. e un fattore di ingrandimento m $m = f / f_1$



Limiti delle Strutture Monolitiche

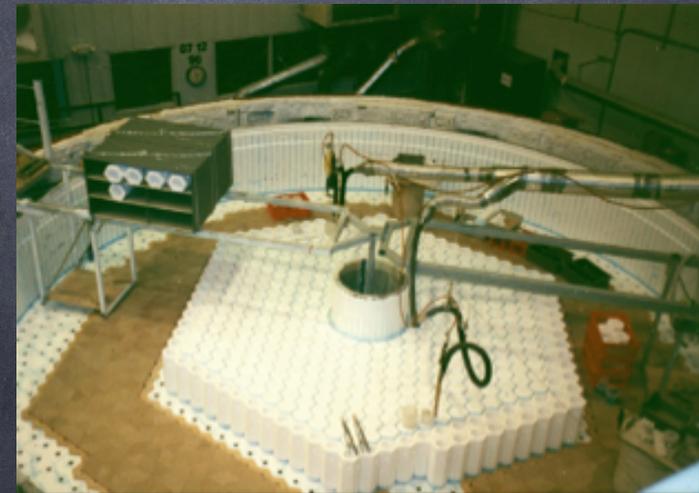


- Lavorazione **Ottica** dello specchio primario: a) centinaia di tonnellate di vetro, b) lavorazione fine: richiesta precisione di micron su diametri di metri.
- Struttura **Meccanica**: a) Reggere strutture, b) muoverle per l'inseguimento, c) mantenere allineate le componenti in regime di **gravità** e **temperatura** variabili.



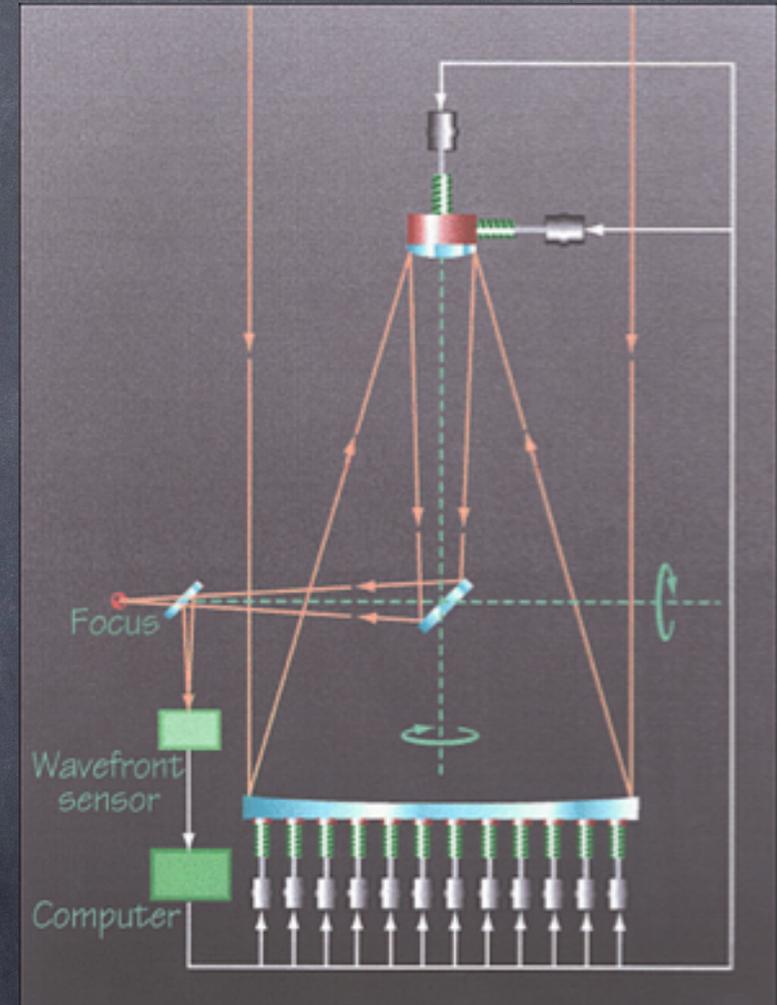
Una soluzione: ottiche “alleggerite”

- Un liquido posto in rotazione a velocità costante assume una conformazione superficiale a sezione parabolica. Il vetro a 600 gradi è liquido.
- La tecnologia Mirror-Lab (UniA) prevede l'alloggiamento di supporti esagonali impregnanti che sostituiscono il “vetro pieno” con la stesse proprietà di rigidità.
- Ottiche attive



Come si reggono gli specchi sottili?

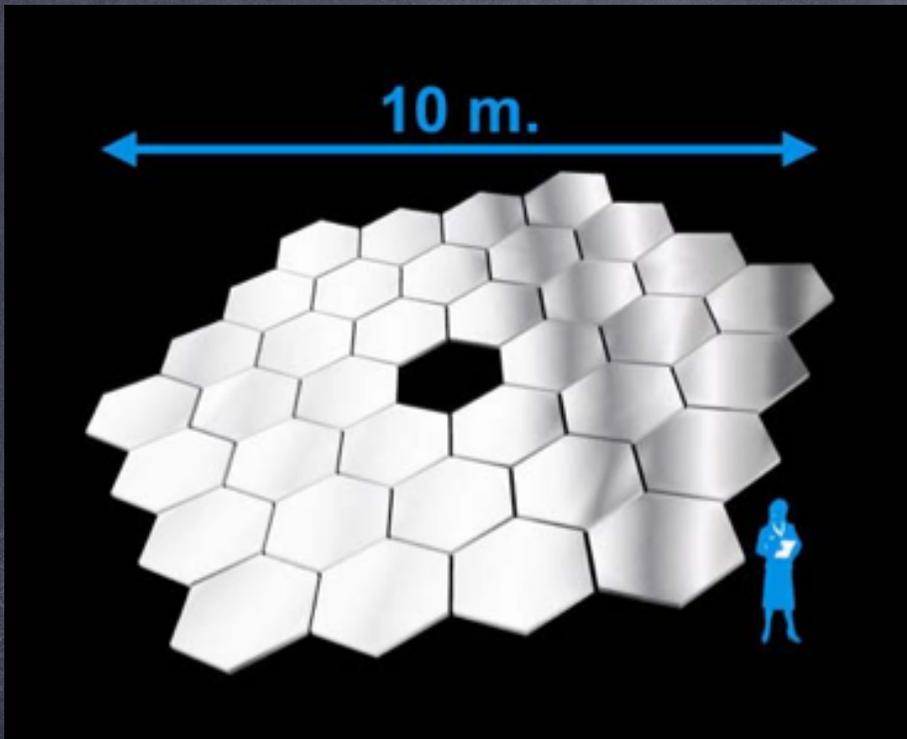
- Rigidità necessaria ottenuta in modo “attivo”
- Le aberrazioni causate da gravità e temperatura sono “lette” da un sensore di fronte d'onda.
- Un computer determina la reazione da imprimere agli attuatori (primario e secondario) per compensare le flessioni e ripristinare la qualità ottica ottimale
- L'elasticità degli specchi alleggeriti (o segmentati) consente di modificarne la forma





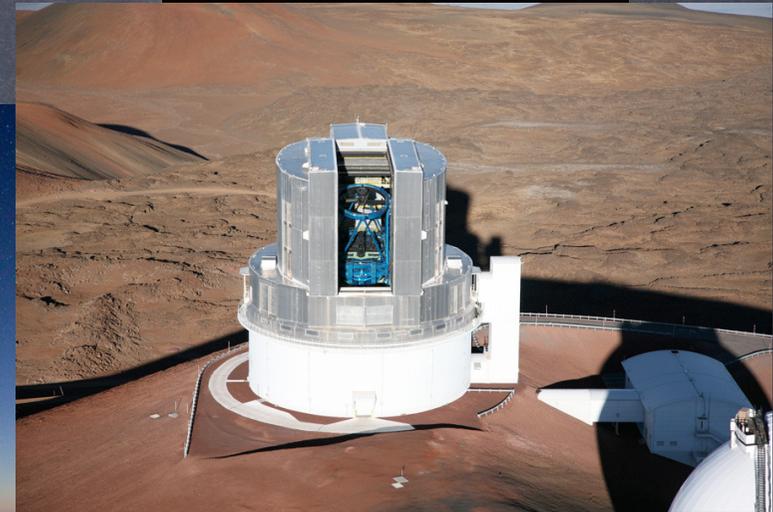
NTT primo esempio di ottica attiva

Ancora più grande: ottiche “segmentate”



- Al posto di uno specchio monolitico (anche alleggerito) un insieme di specchi a curvatura controllata
- Qualità leggermente inferiore ma costi decisamente ridotti e possibilità di realizzare pupille molto grandi (non serve un forno enorme).

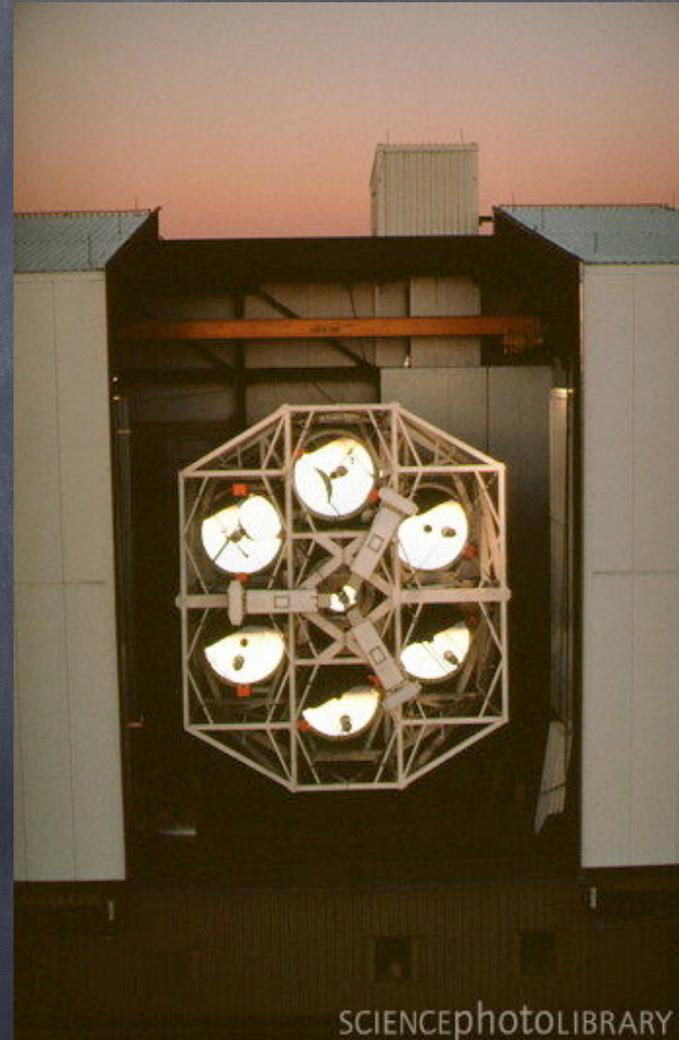
Telescopio a specchio leggero



Telescopi A specchio Segmentato



Telescopio a Specchio Multiplo



Limite di diffrazione

Dimensione del “punto”:

- $d = \lambda / 2n \sin\theta$

PSF (Airy disk):

$$d/2 = 1.22 \lambda N$$

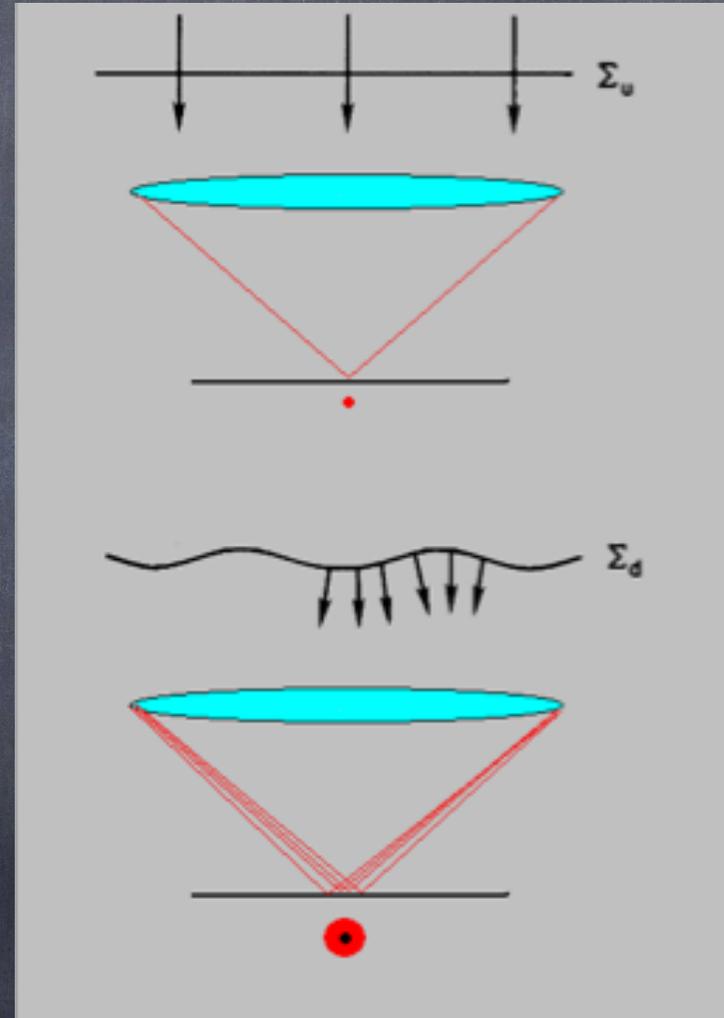
N è il rapporto focale

$$f = F/D \text{ (lunghezza focale/diametro)}$$



L'Atmosfera

- La atmosfera altera la direzione dei raggi luminosi che la attraversano
- L'immagine è diffusa su un'area più grande del limite di diffrazione (disco di seeing)
- La risoluzione è governata dall'atmosfera indipendentemente dalla dimensione del telescopio (!)
- Seeing tipico (Paranal) 0.65 as. Limite di diffrazione del VLT 0.015 as (!!)



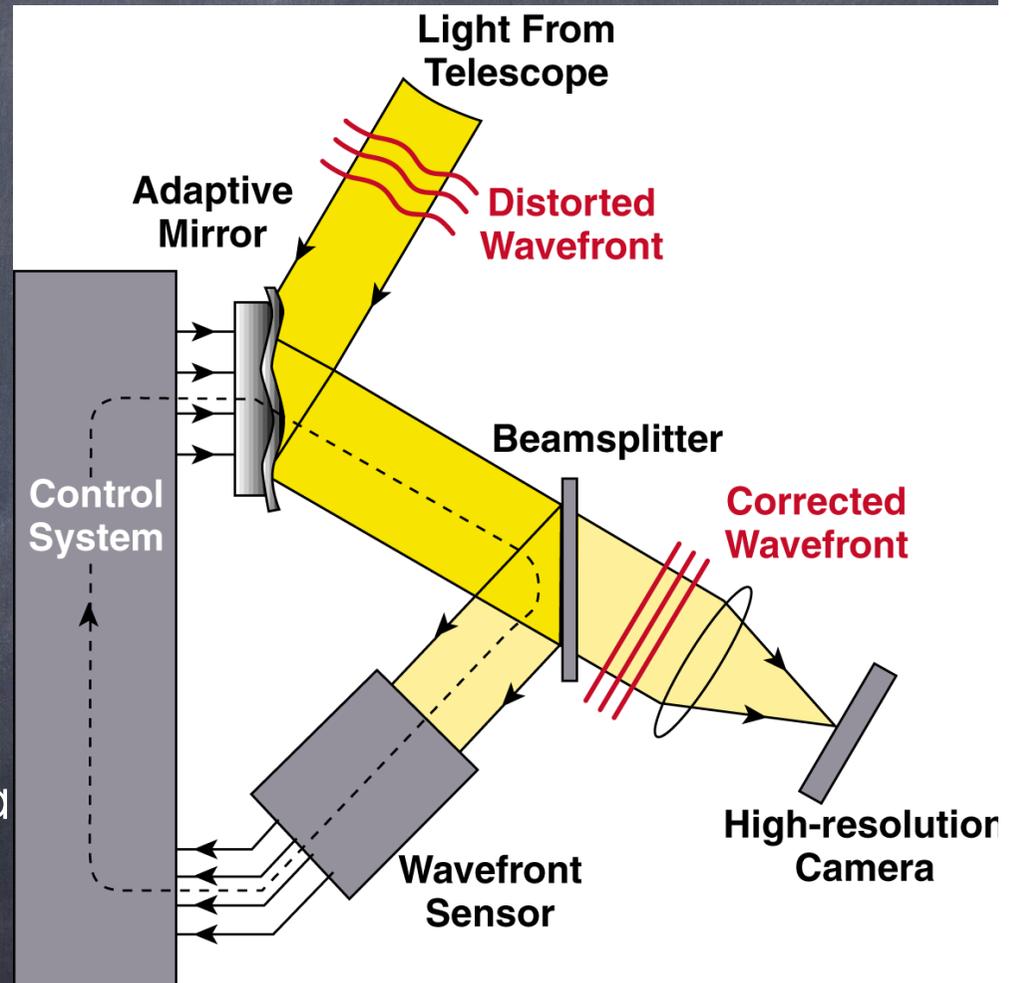
Soluzione “da terra”: Ottica adattiva

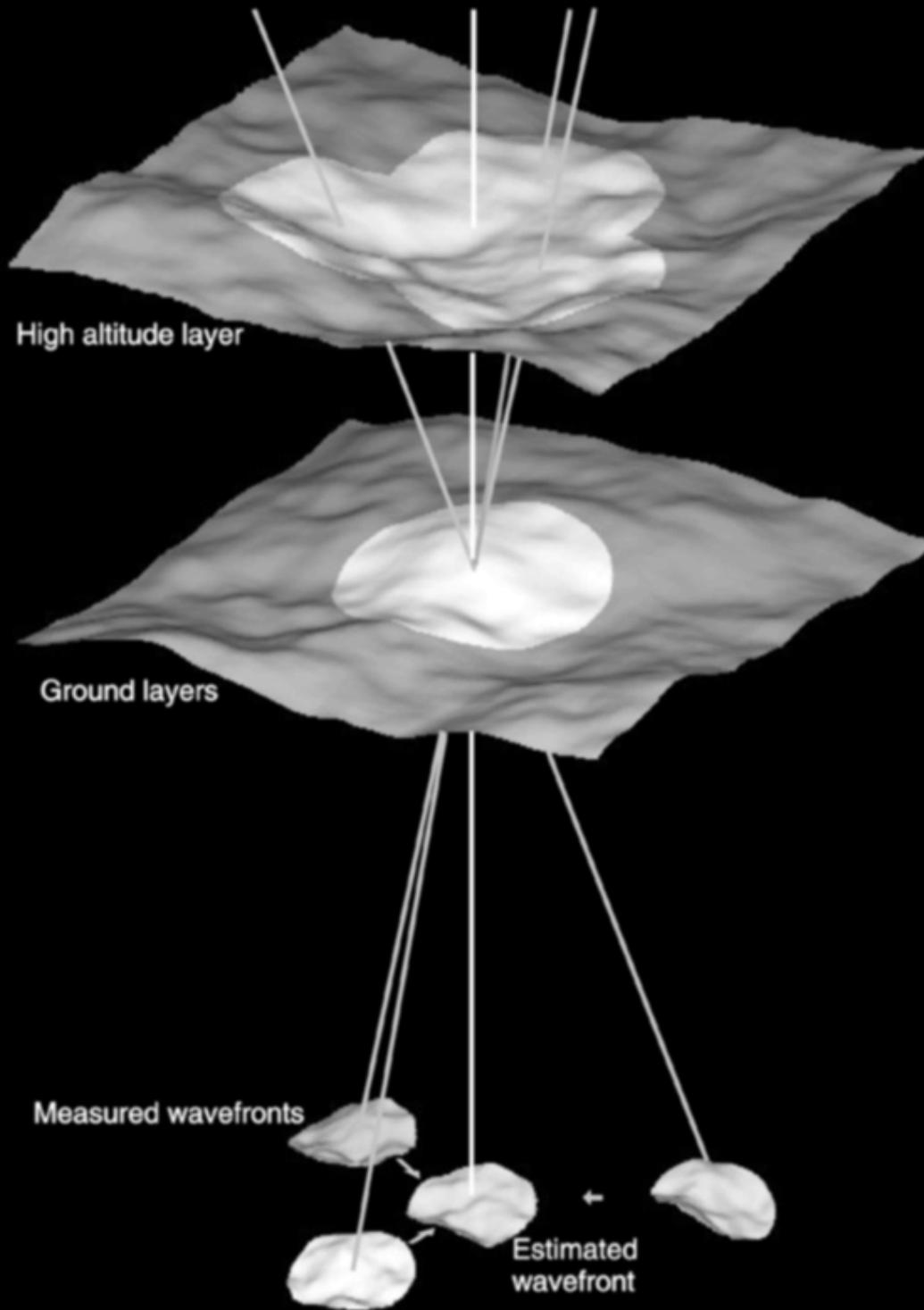
Il fronte d'onda distorto dall'atmosfera può essere corretto con uno specchio deformabile (adattivo).

Il sensore di fronte d'onda misura il fronte d'onda di una stella di riferimento.

La misura è usata per indurre nello specchio una deformazione opposta a quella del fronte d'onda.

Una nuova misura di fronte d'onda serve per continuare ad applicare la correzione differenziale con un loop chiuso.

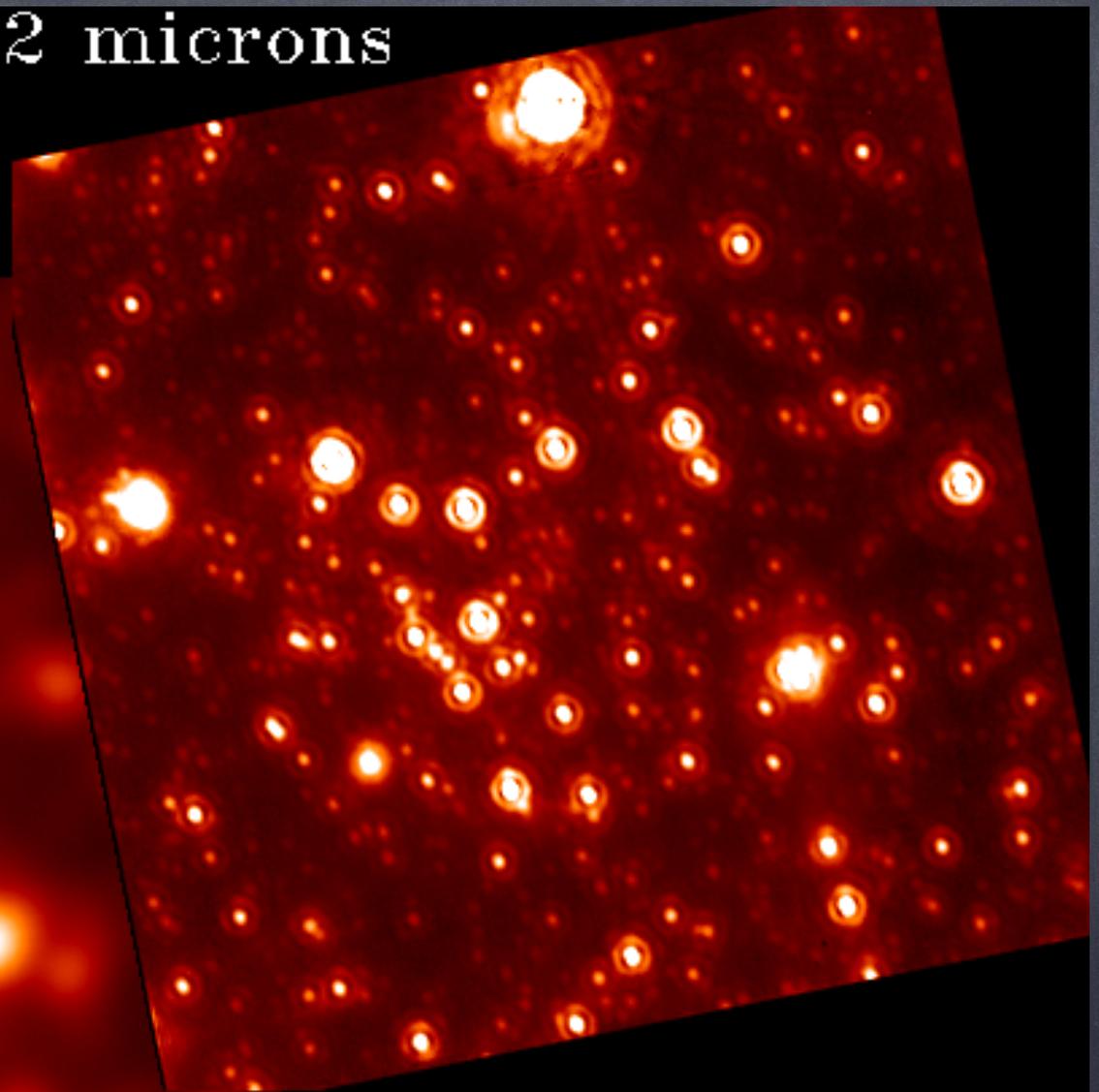
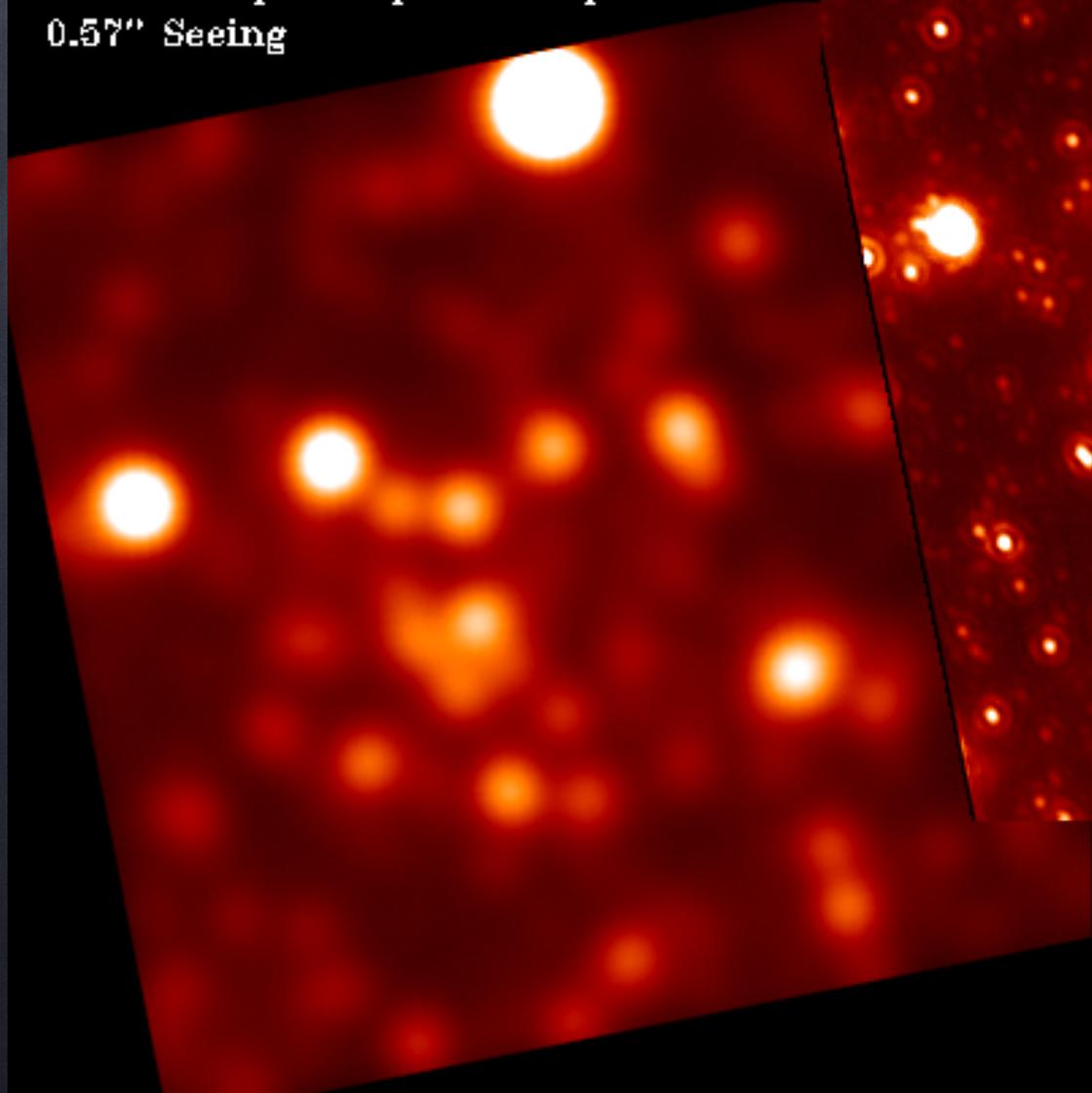




Galactic Center / 2.2 microns

13"x13" Field. 15 minutes exposure.

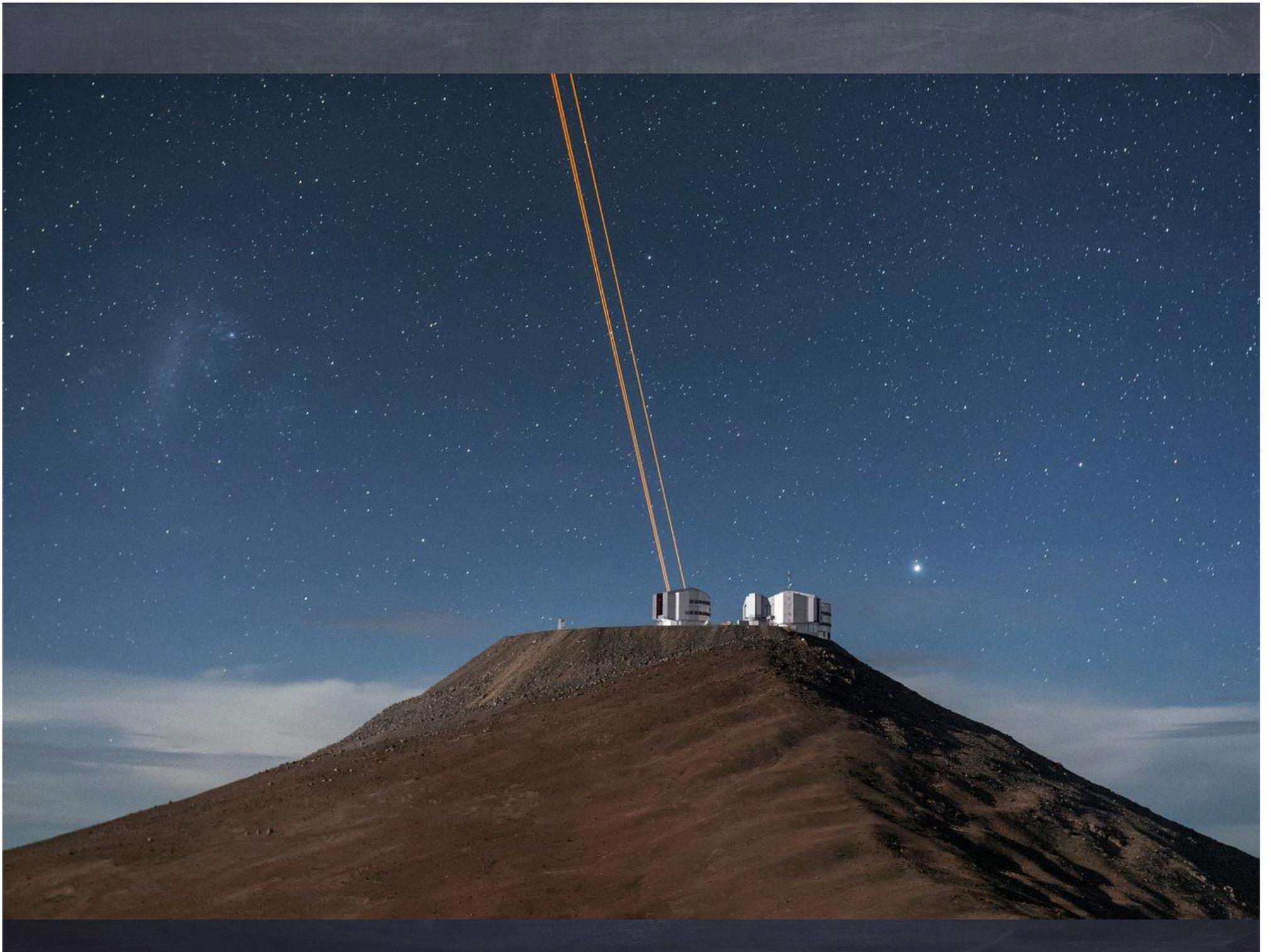
Without Adaptive Optics compensation
0.57" Seeing



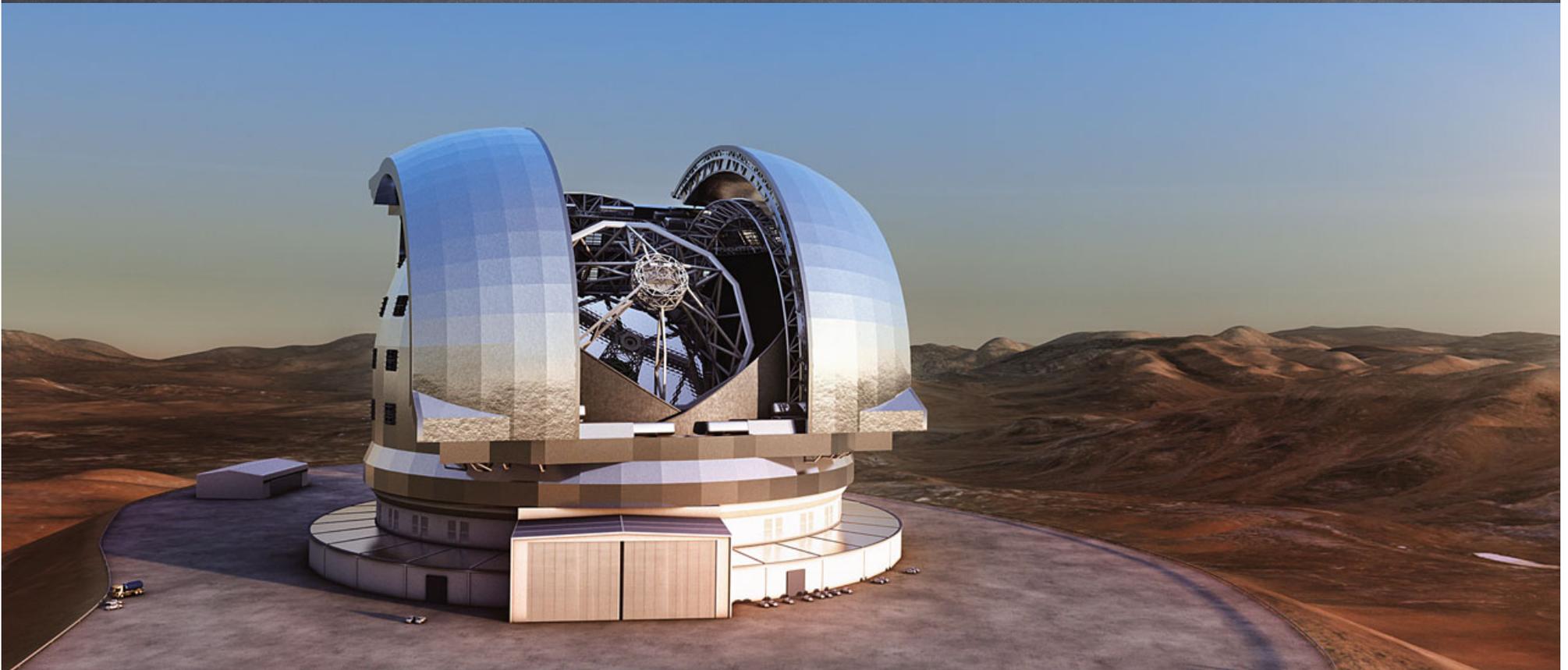
With Adaptive Optics compensation
0.13" Full Width at Half Maximum

Quando non ci sono le stelle vere...





11 June 2012: inizia il futuro



- The ESO Council approves the European Extremely Large Telescope (E-ELT) Programme, pending confirmation of four *ad referendum* votes.

Il sito

Dopo una vasta campagna di studio per caratterizzare vari siti, quali Cile, Marocco, Isole Canarie, Argentina, Messico, etc, il Council dell'ESO ha selezionato Cerro Armazones come sito per l'E-ELT.

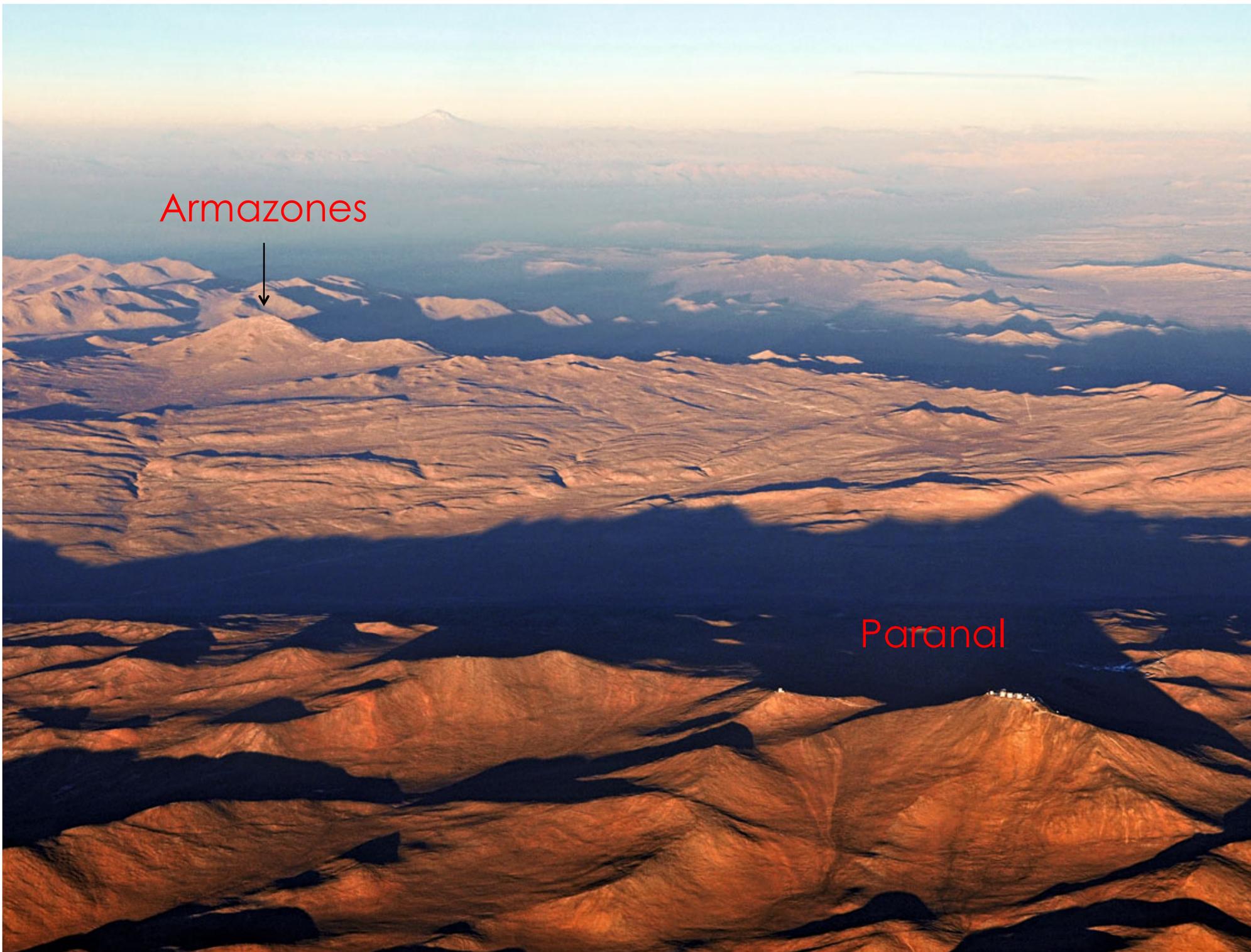
Criteri di selezione: impatto scientifico, Atmosfera, Costruzione e logistica di operazioni (strade, acqua, elettricità, ...).



Armazones



Paranal





L'incredibile ELT

- Extremely Large Telescope: un telescopio ottico/vicino-infrarosso da 39 metri che diventerà *"il più grande occhio del mondo rivolto al cielo"*.
- Raccoglierà 15 volte più luce di ogni altro telescopio odierno.
- La scienza che si potrà studiare è entusiasmante: pianeti e dischi extrasolari, formazione delle galassie, energia oscura e materia oscura, le frontiere della fisica.
- Grazie al suo telescopio M4, fin dall'inizio potrà correggere le distorsioni atmosferiche.

European Extremely Large Telescope

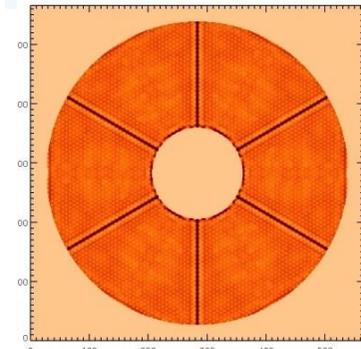
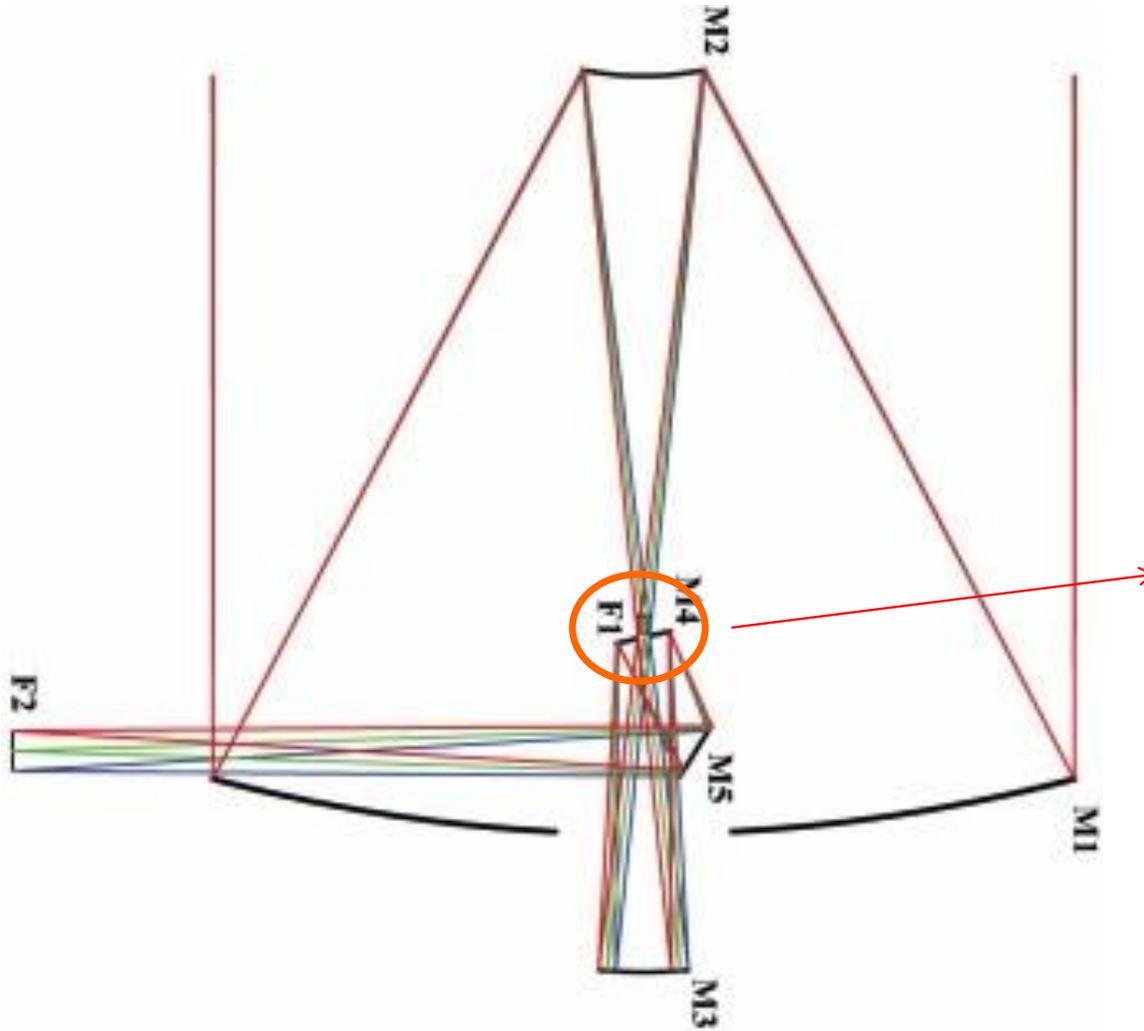


<http://www.eso.org/public/videos/elttrailer/>



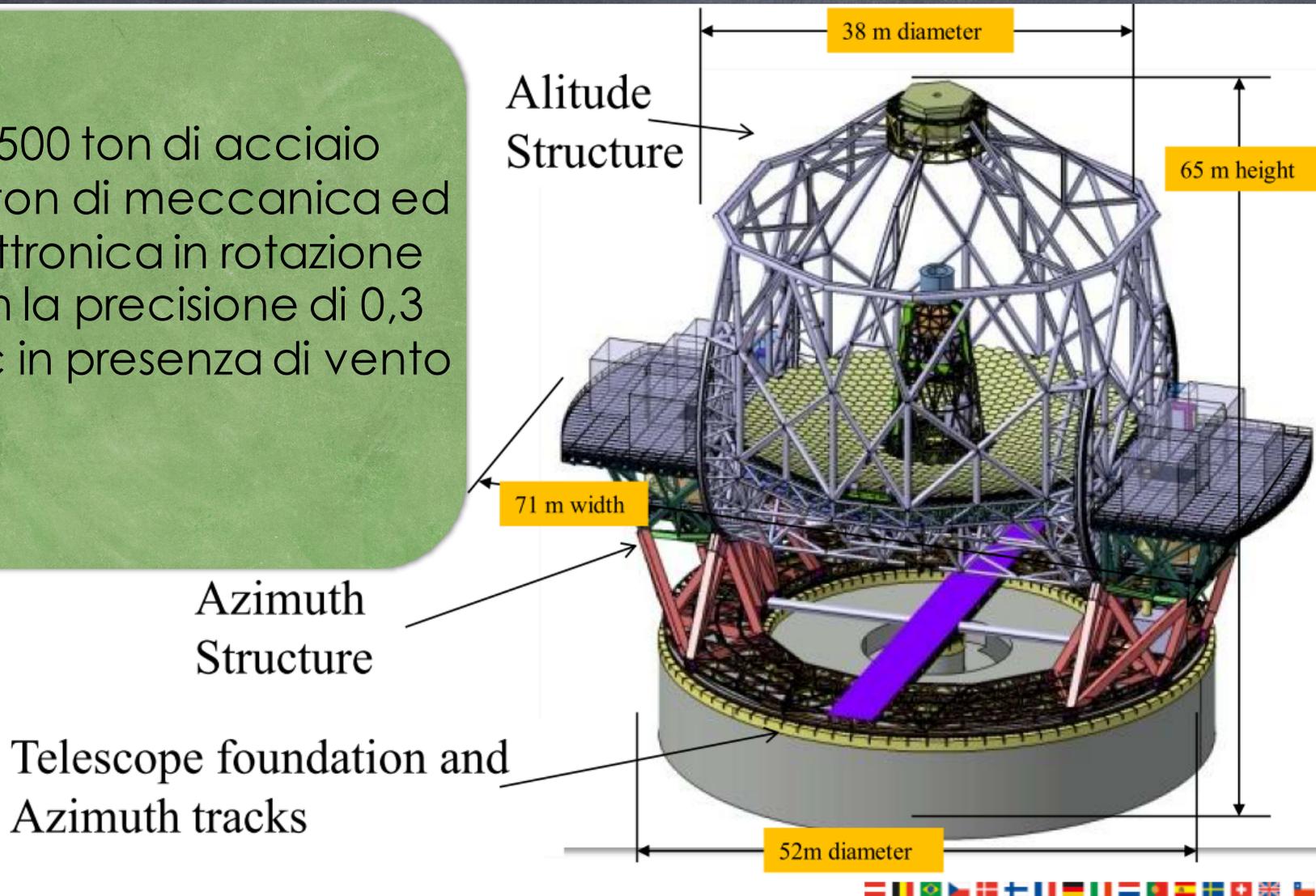
The E-ELT will have a novel five-mirror design used by no other telescope

E-ELT & M4



Schema

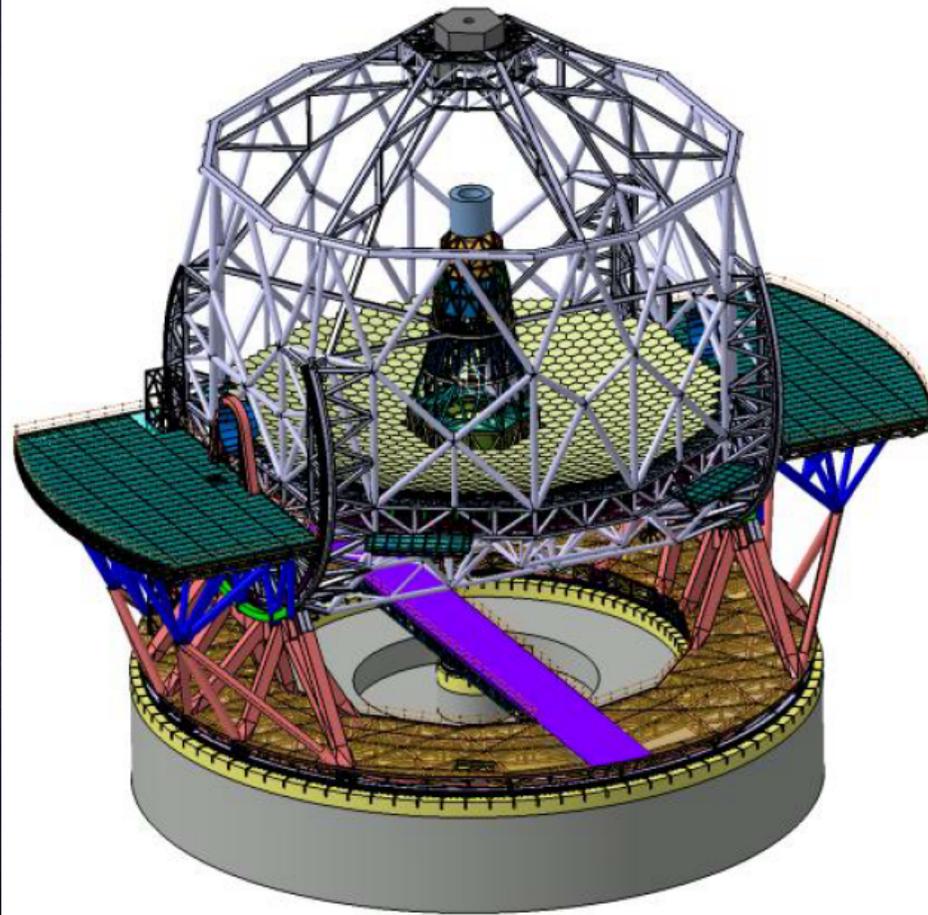
2500 ton di acciaio
700 ton di meccanica ed elettronica in rotazione
con la precisione di 0,3 asec in presenza di vento



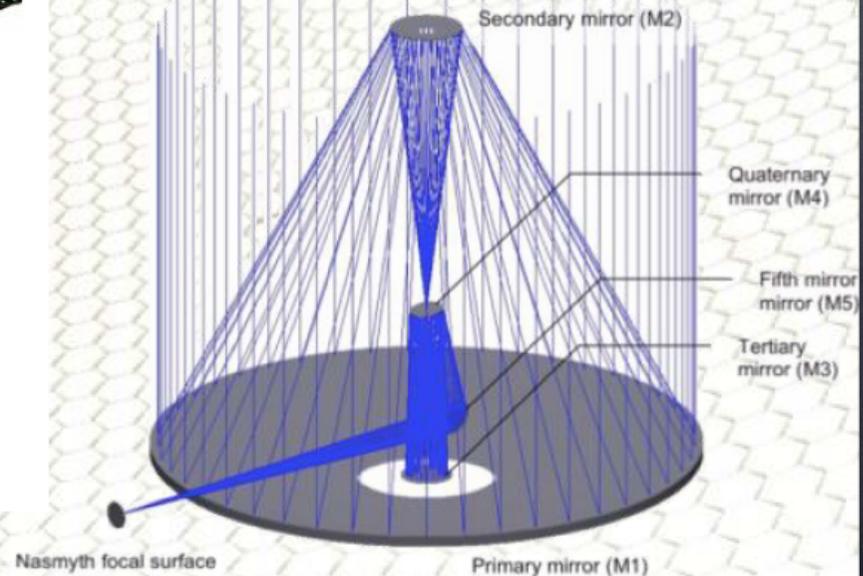
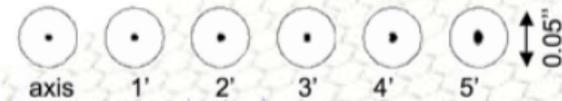
Azimuth
Structure

Telescope foundation and
Azimuth tracks

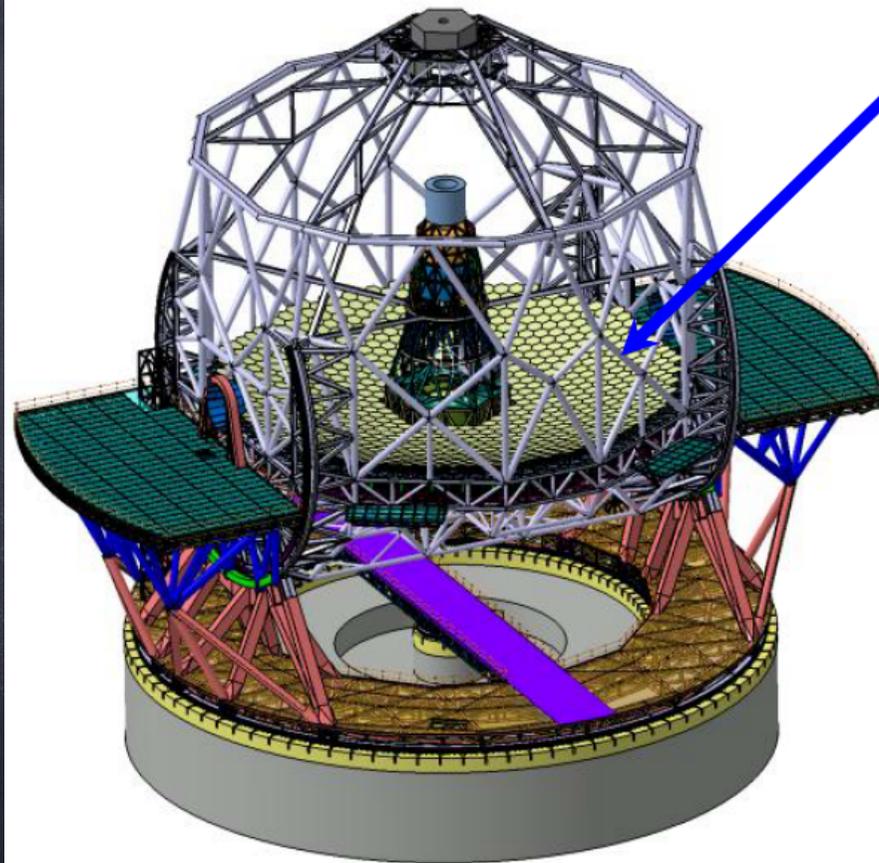
Disegno ottico



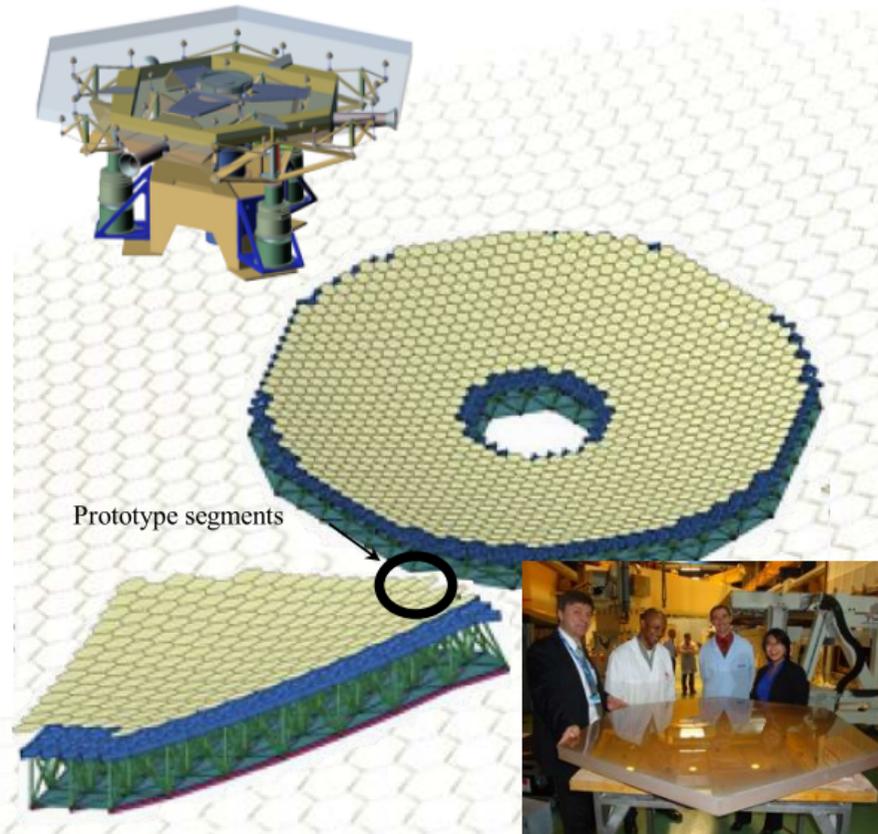
3 specchi anastigmatici
+ 2 piani
Diff. Limited su 10' FoV



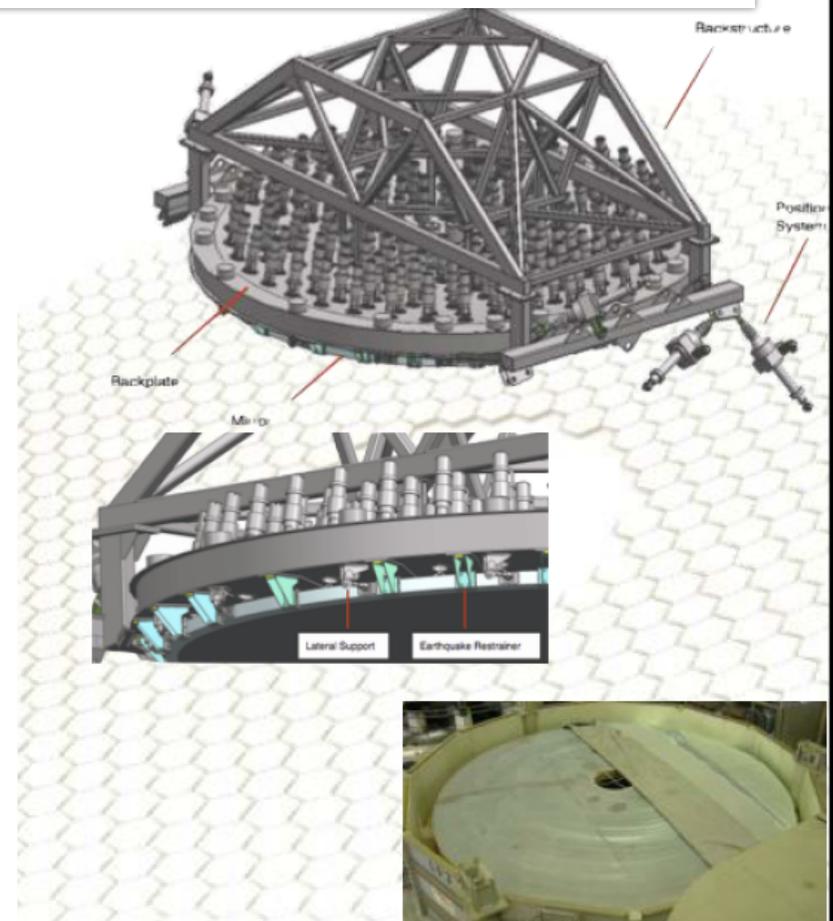
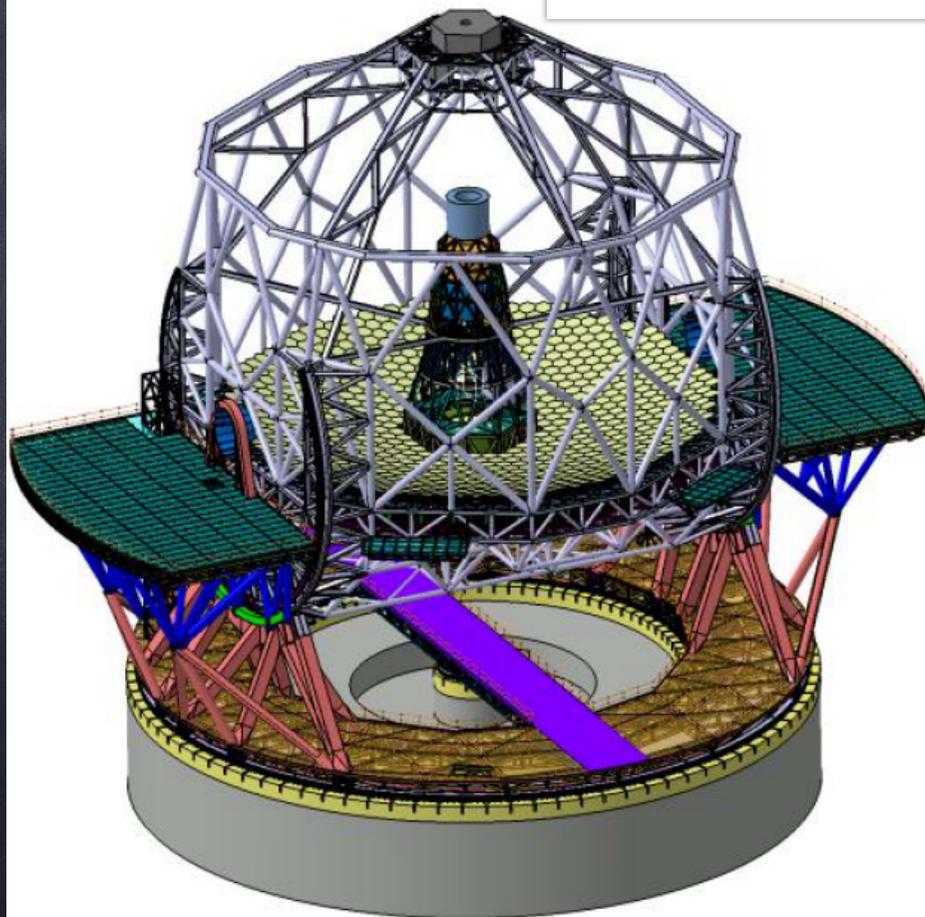
Specchio primario 39m



- 798 segmenti

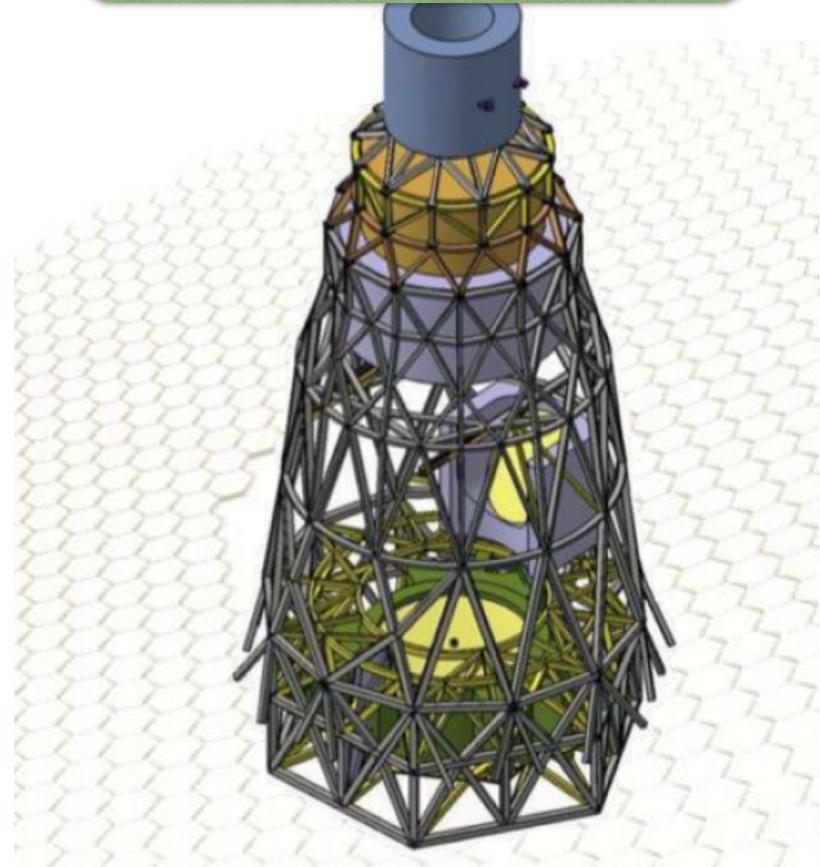
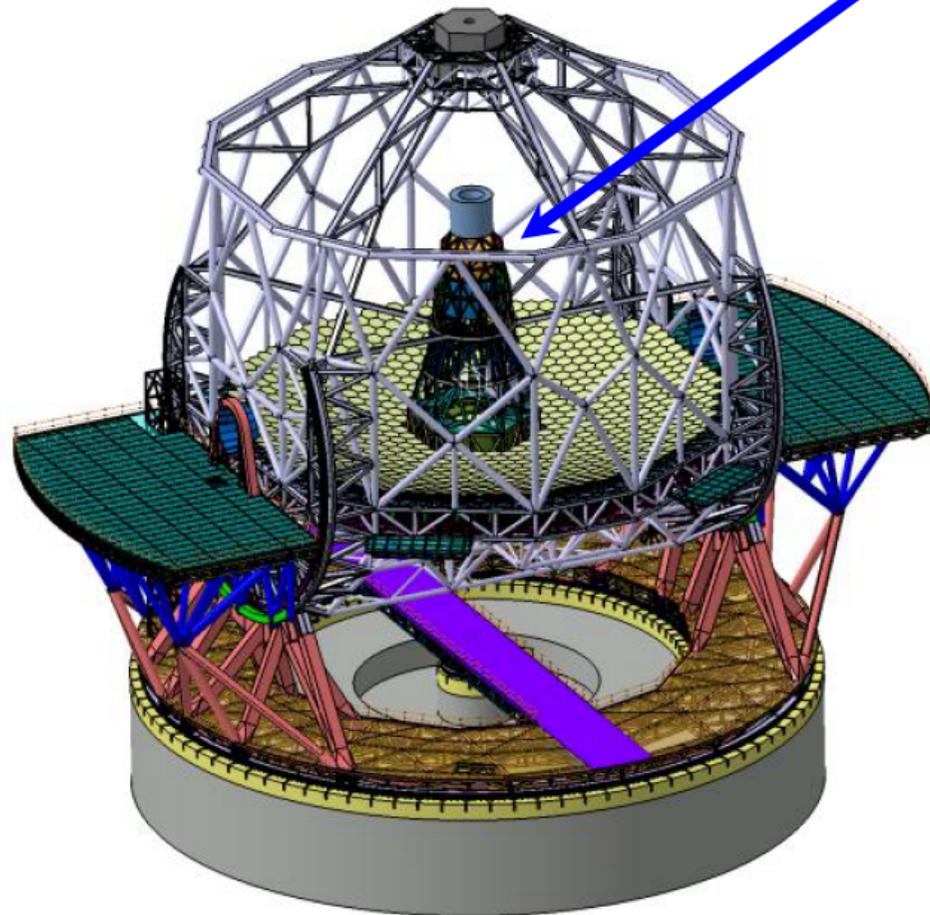


Specchio secondario 4m

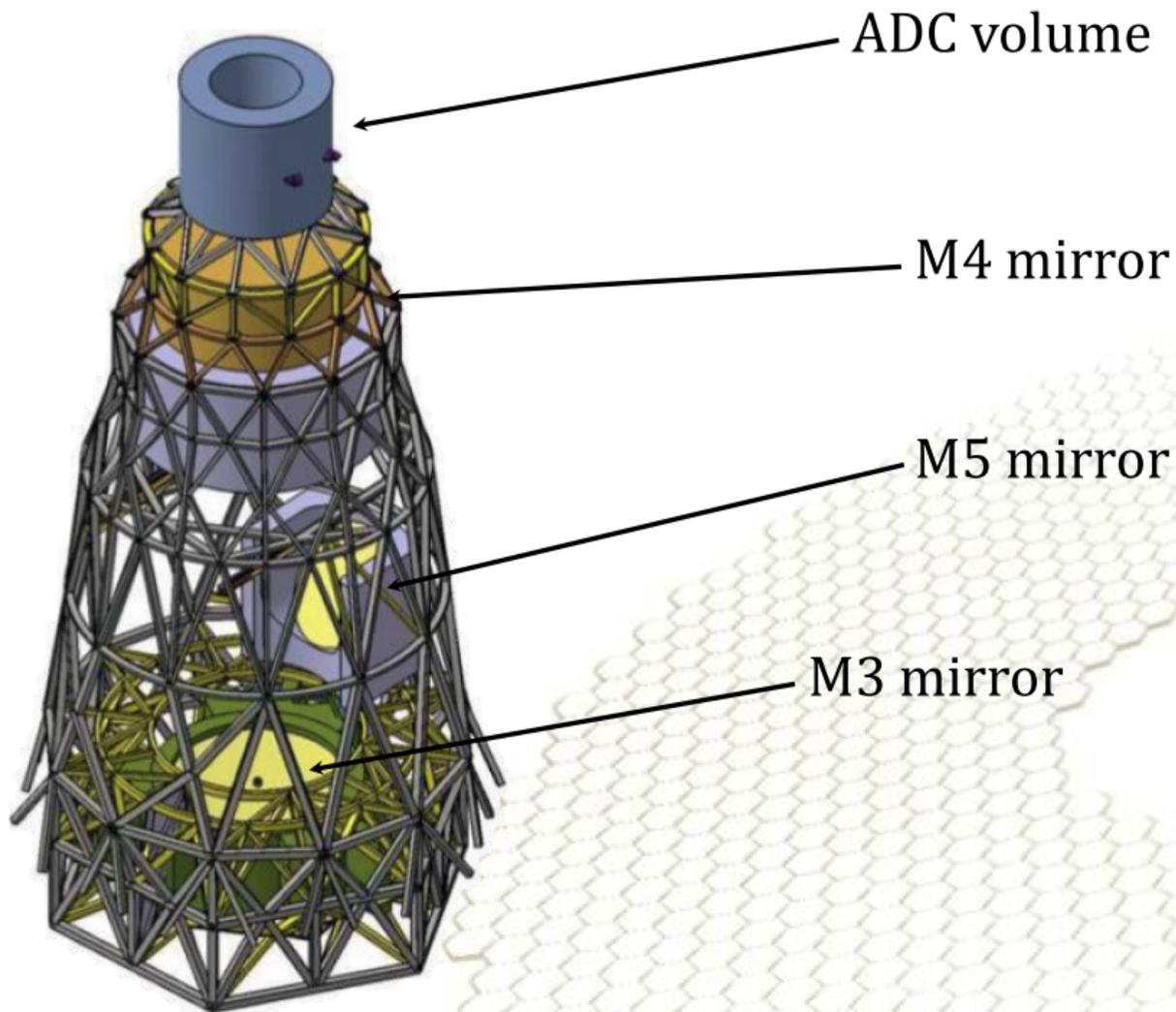


Torre Centrale

- ADC
- Specchio M4
- Specchio M3
- Specchio M5

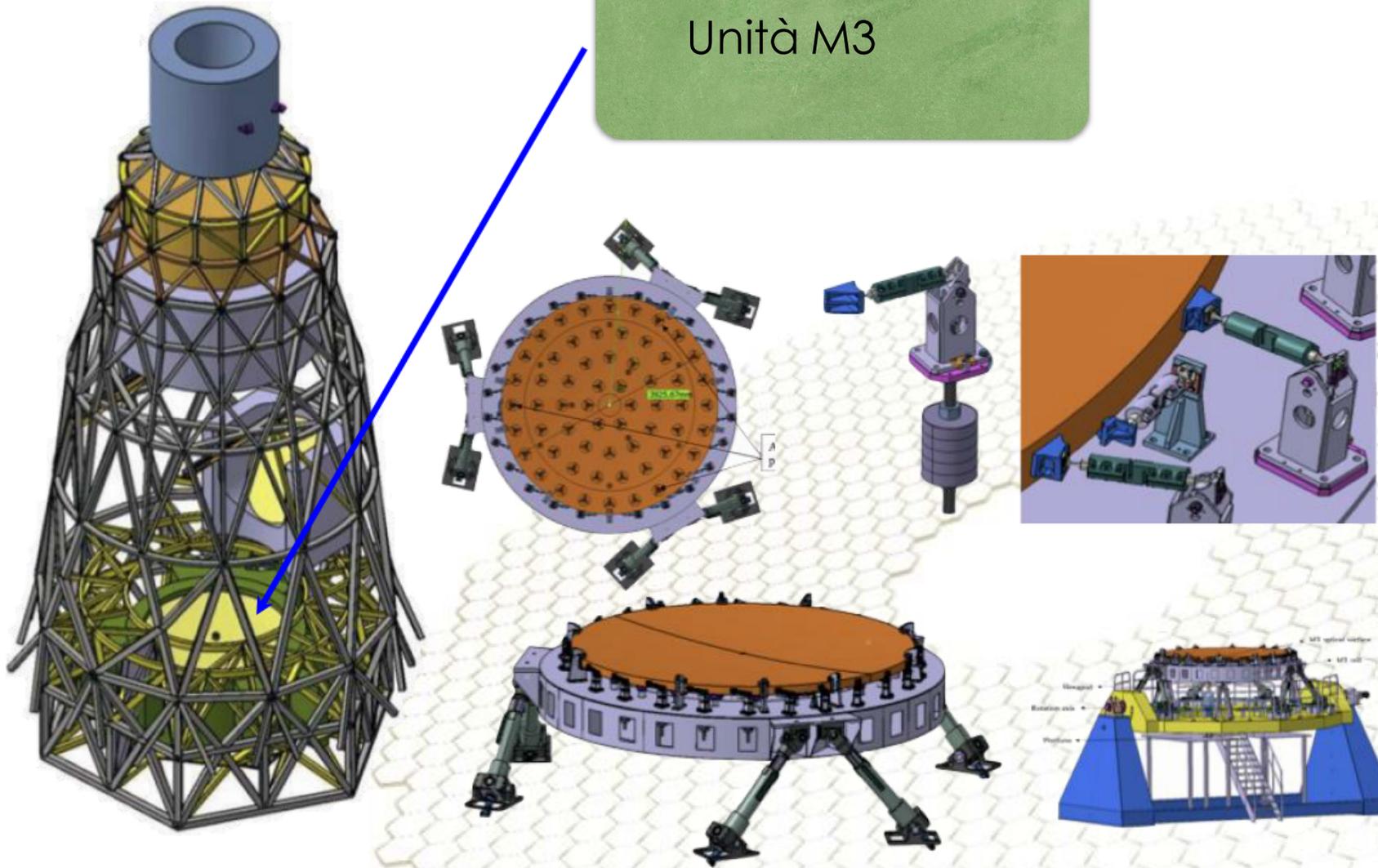


Torre Centrale

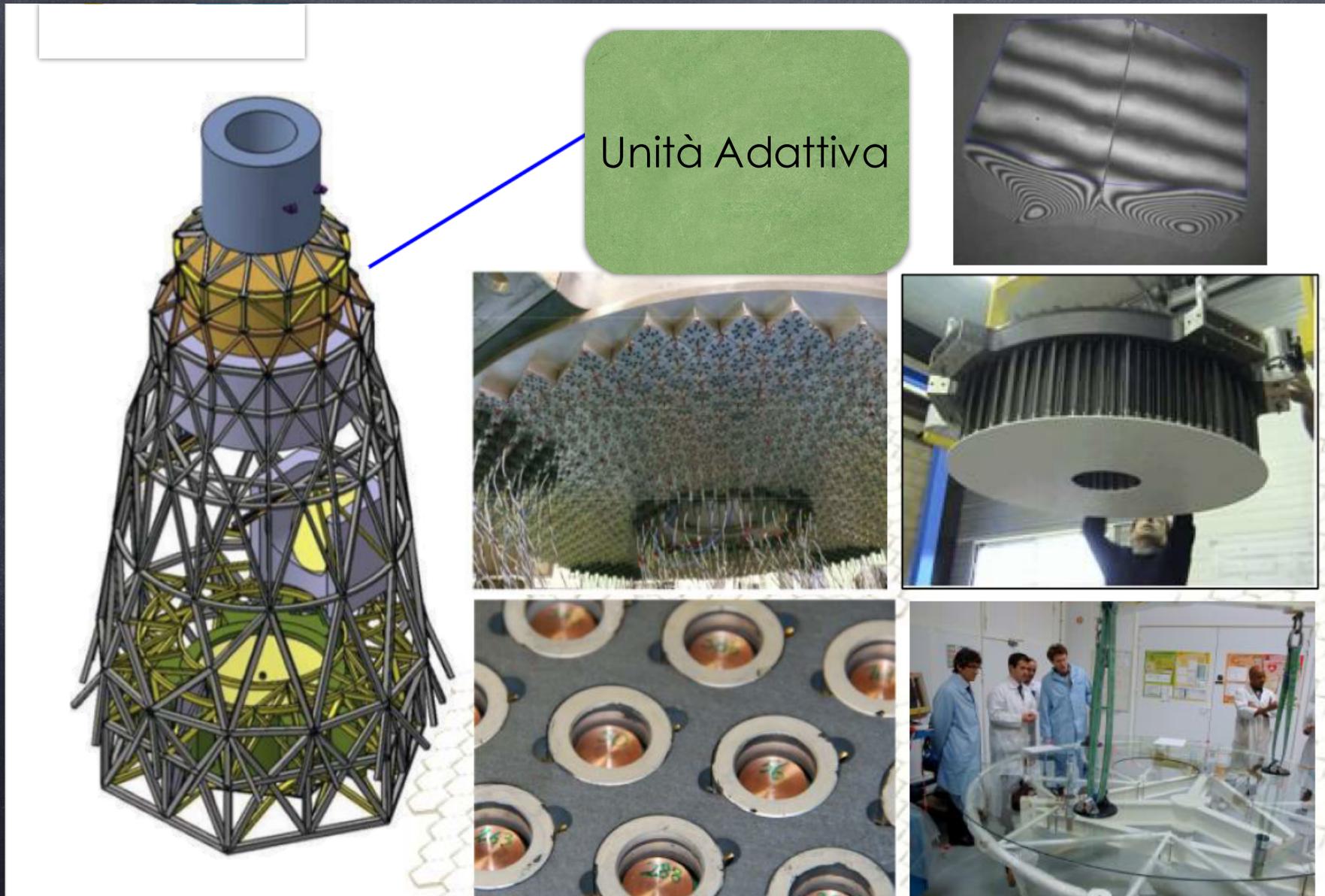


Specchio M3 da 4,2m

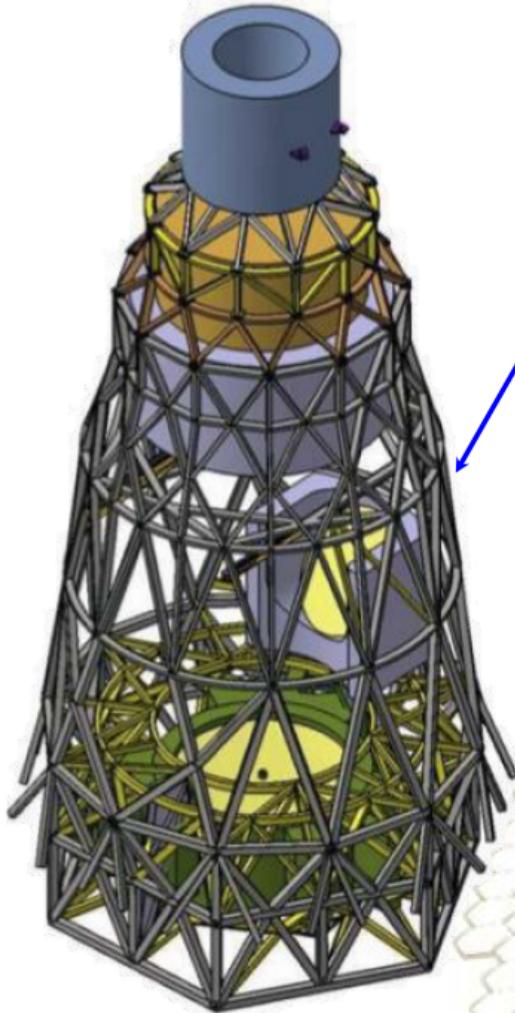
Unità M3



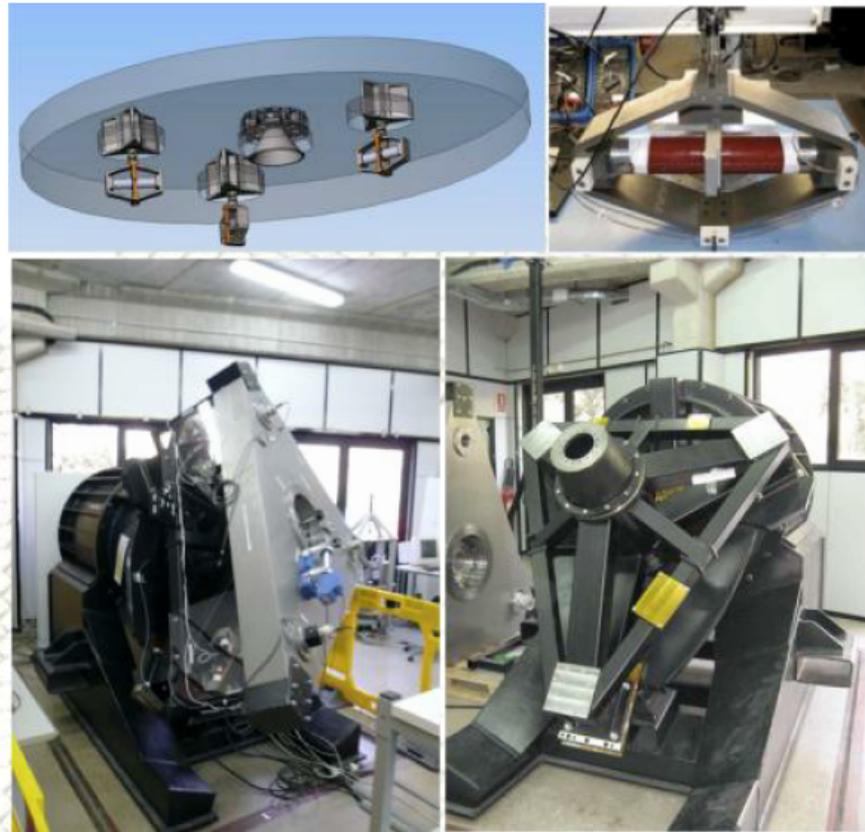
Specchio M4 2,4m



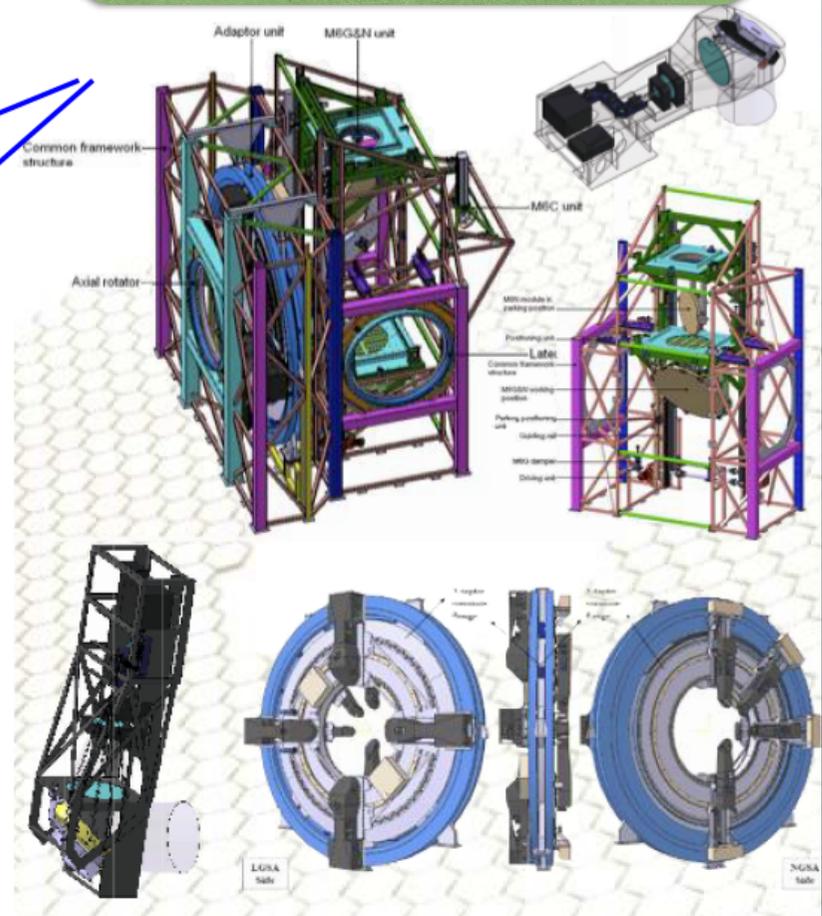
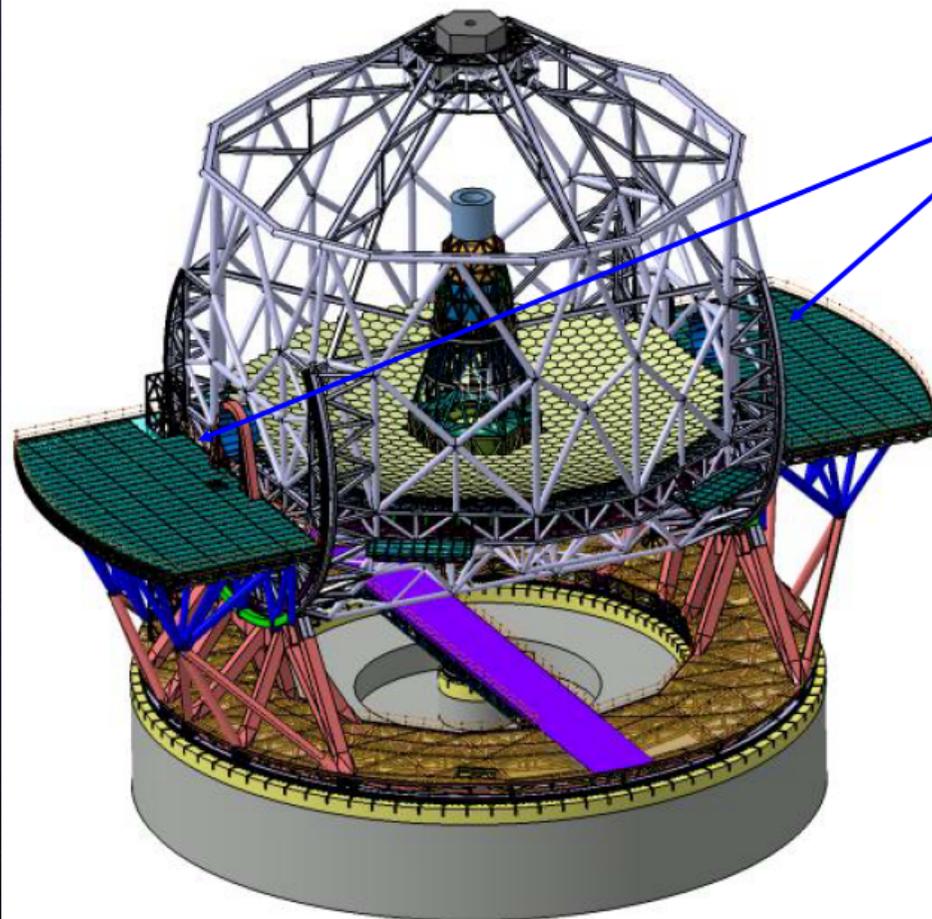
M5 2,4m x 3m



Correzione tip tilt

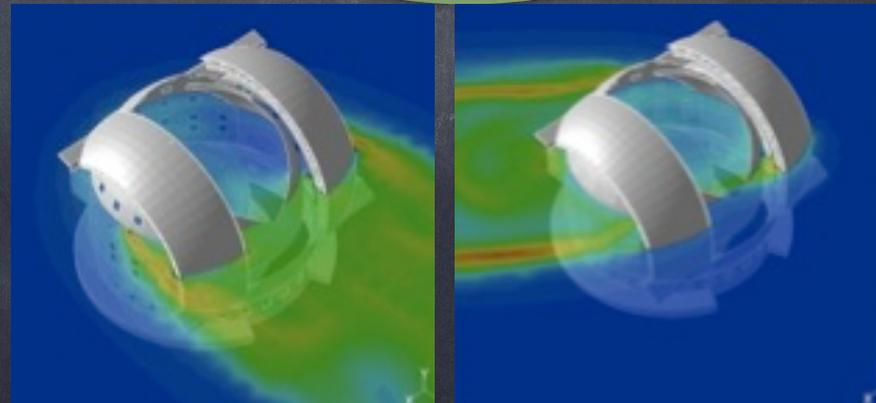
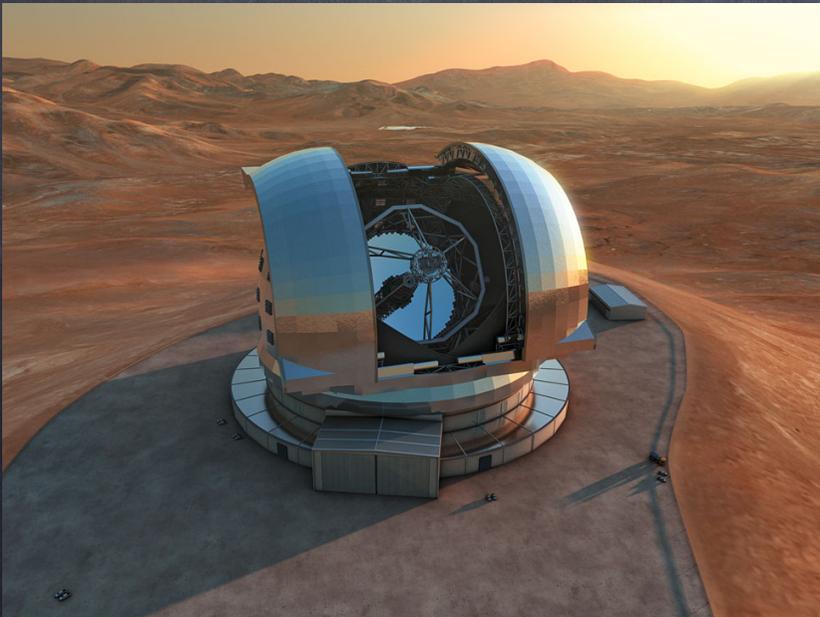
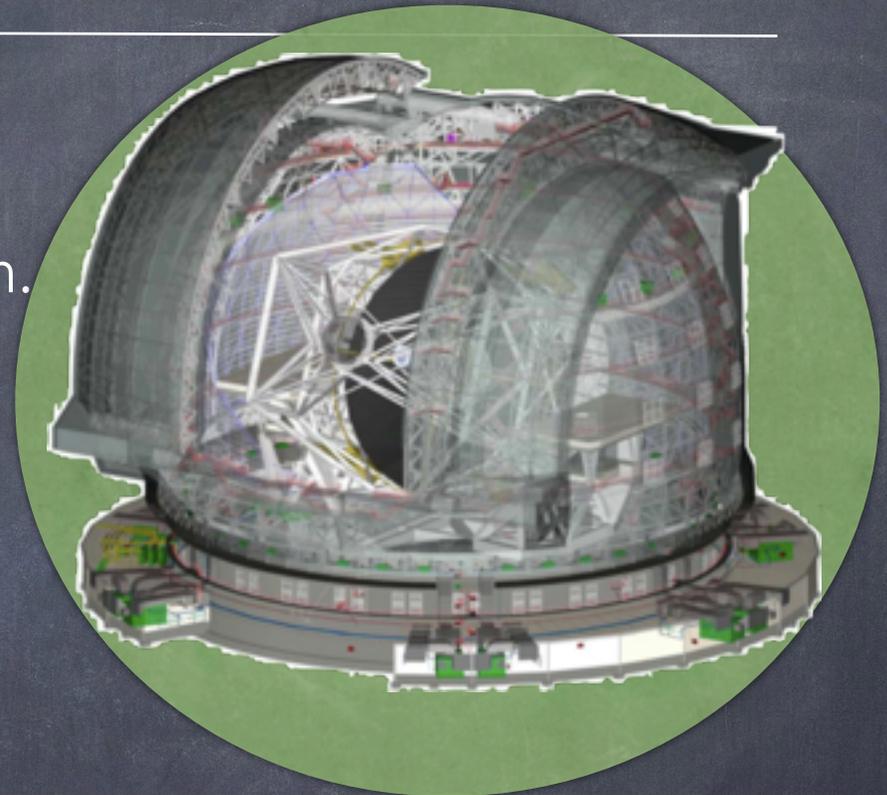


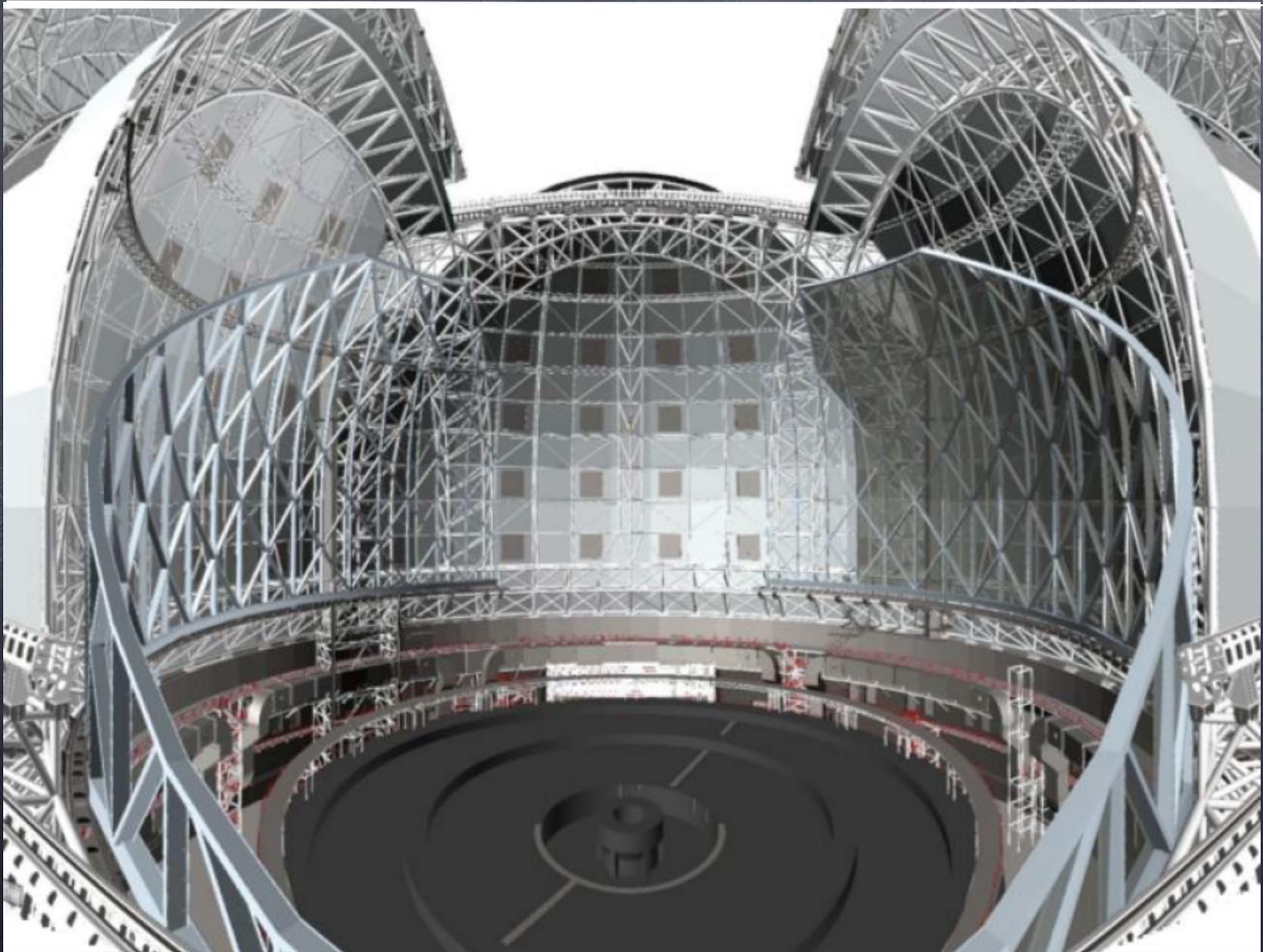
Derotazione (optional) Guida



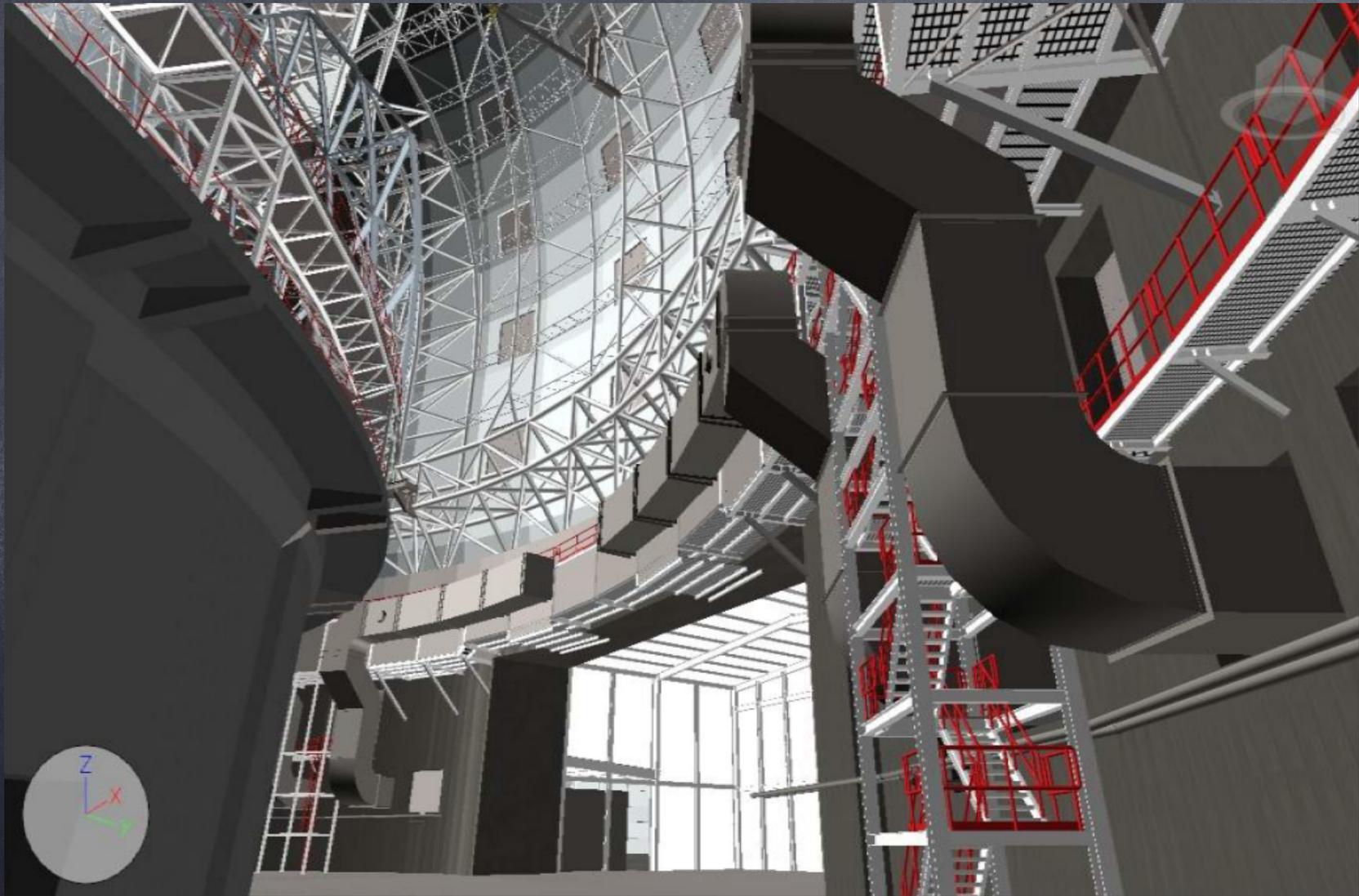
La cupola

- Disegno tipico – accorgimenti particolari.
- Diametro = 86 m, Altezza = 74 m.
- ~3000 t di acciaio.
- Completamente climatizzata e schermata (vento).









Contratti italiani

- Maggio 2016: - ACe (Astaldi Cimolai EIE) per la cupola e la struttura del telescopio
- Giugno 2015 – AdOptica: contratto per la costruzione dell'ottica adattiva su M4 (2,4m)





E al Cerro Chajnantor,
a 5000 m di altezza nel deserto di Atacama?

<http://www.eso.org/public/italy/videos/almatrailer2016a/>



The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

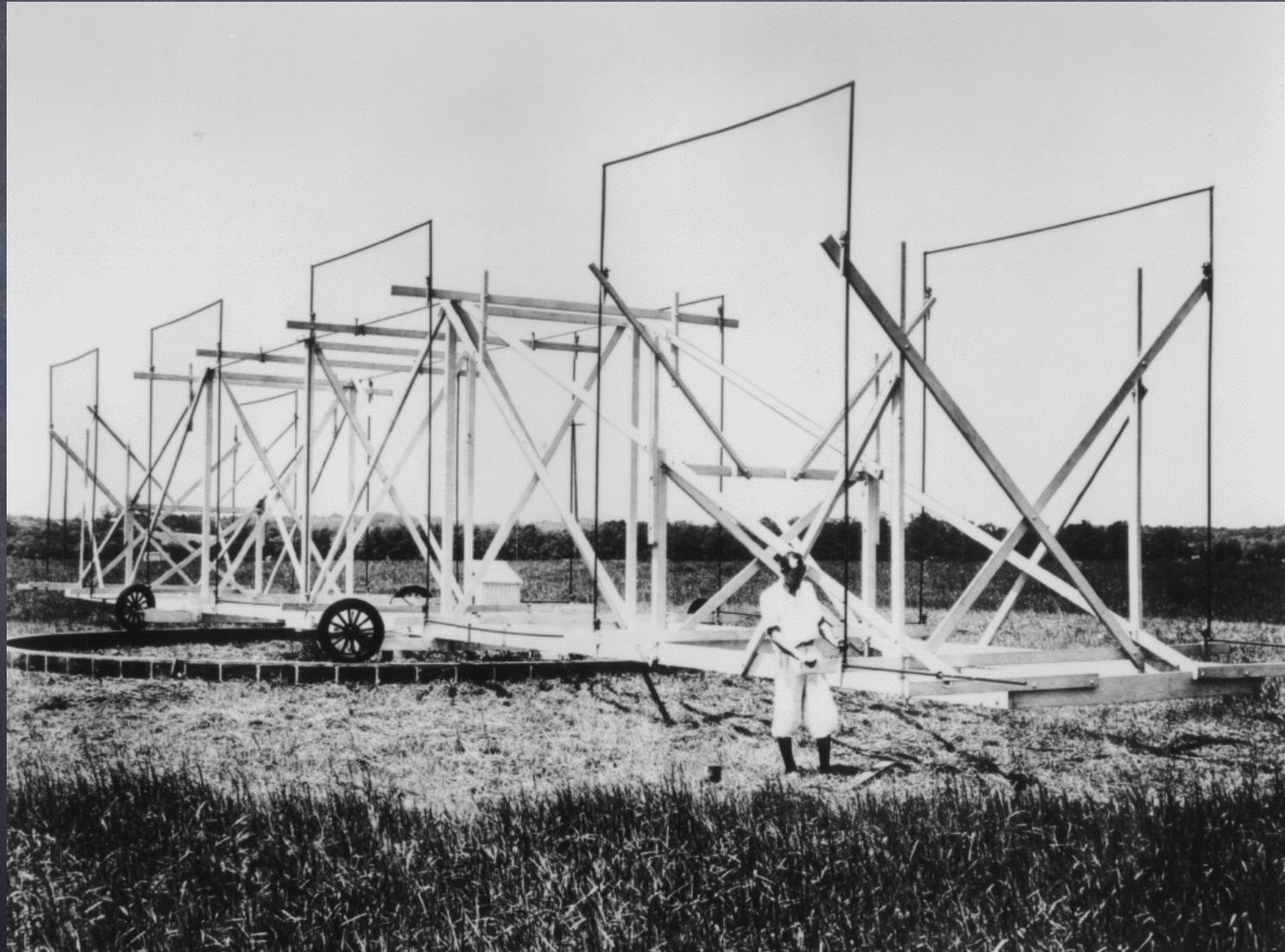
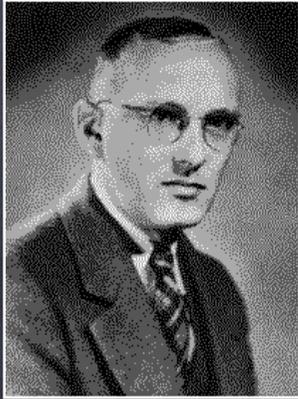


Pulizie





Onde radio dal cielo





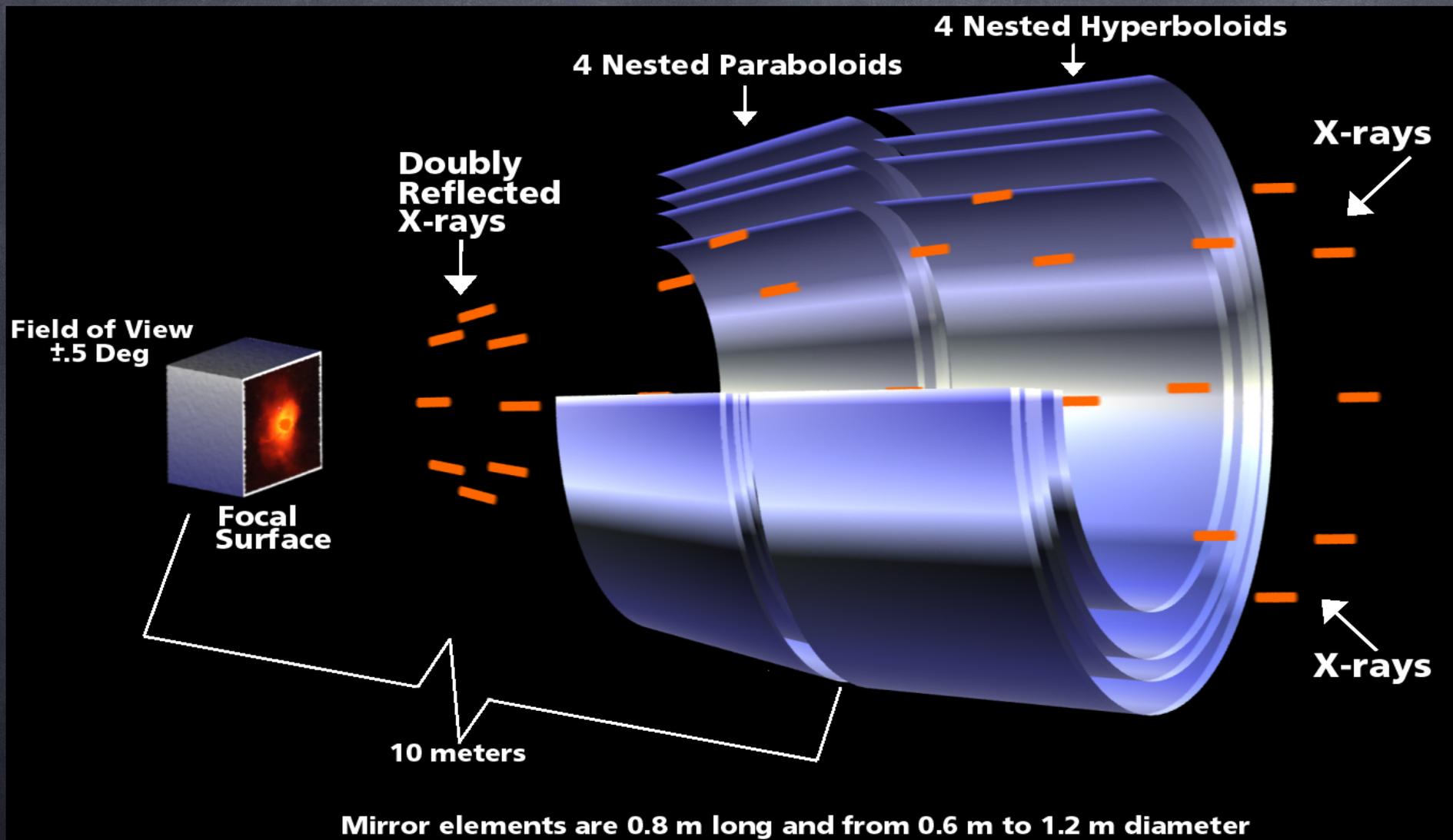
Il radiotelescopio di Arecibo



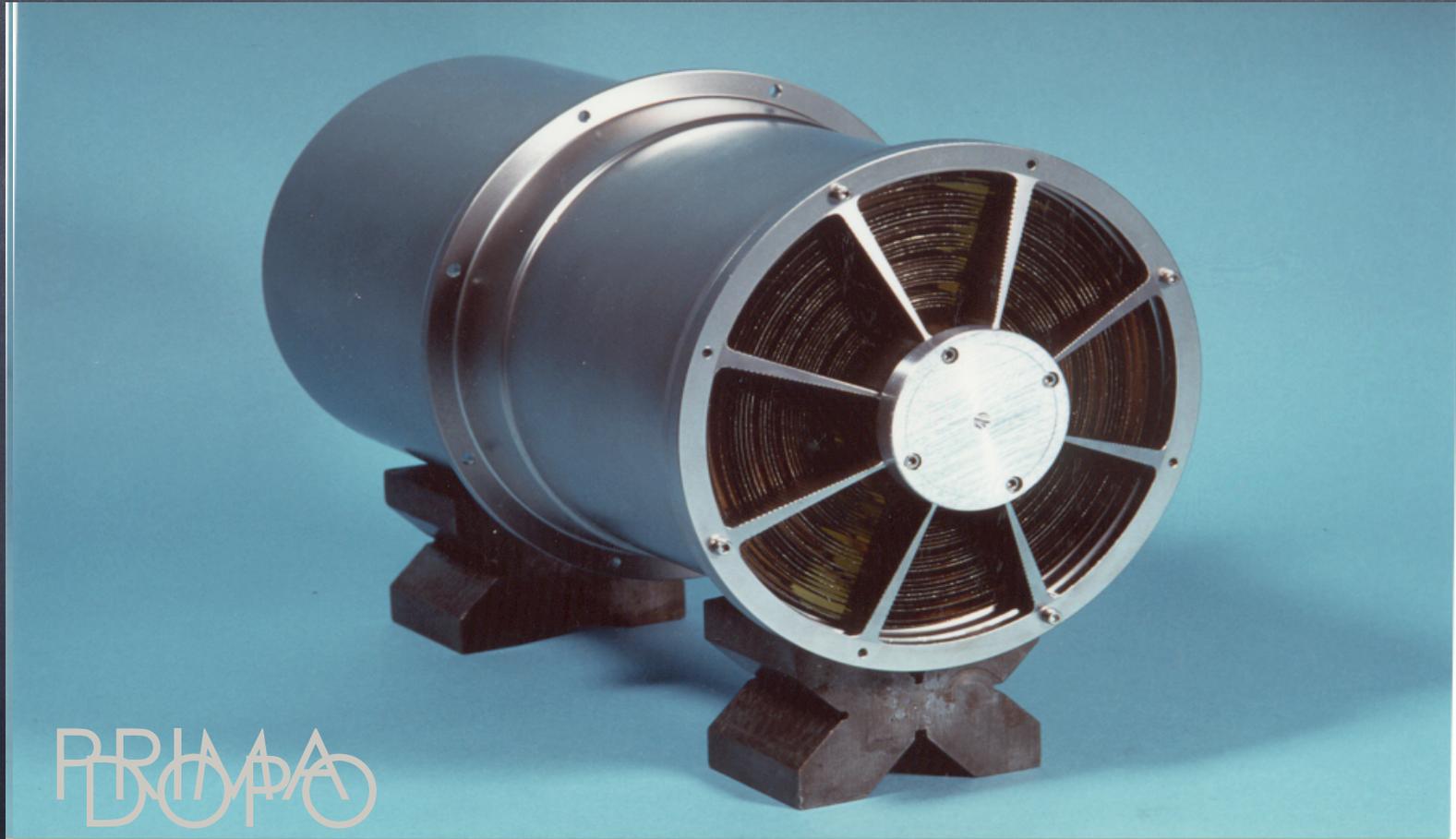


+ The Square Kilometre Array
Exploring the Universe with the world's largest radio telescope

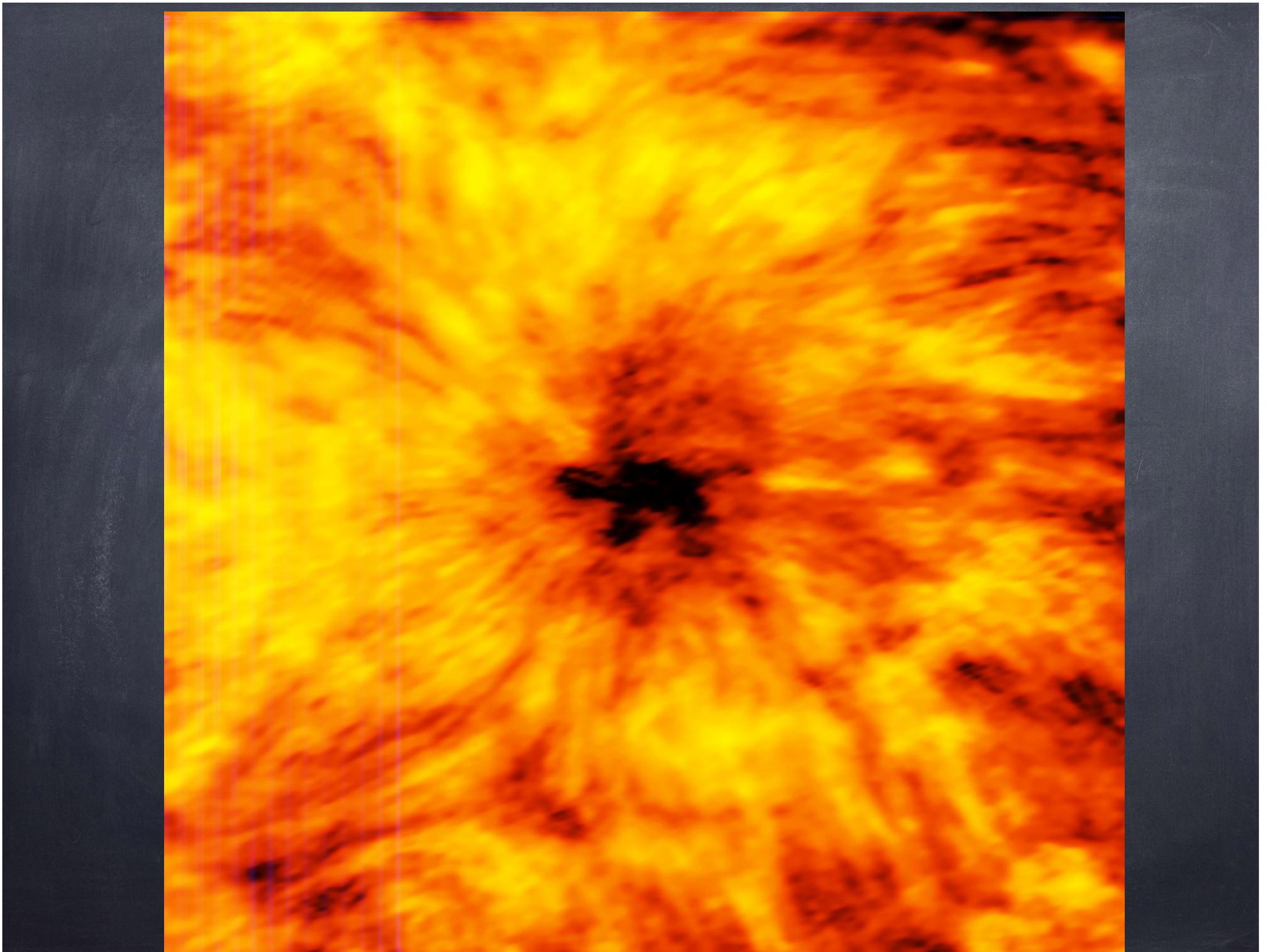
Specchi per raggi X



Specchi per raggi X









Festival della Scienza Genova 2012



Il cielo è di tutti gli occhi ed ogni occhio, se vuole, si prende la Luna intera, le stelle comete, il Sole.

Gianni Rodari
"il cielo è di tutti"



Campo Astronomia ESO

[Un campo di astronomia per gli studenti della scuola secondaria](#)

Vinci un viaggio per le Alpi

13 maggio 2013



[Clicca per Ingrandire](#)

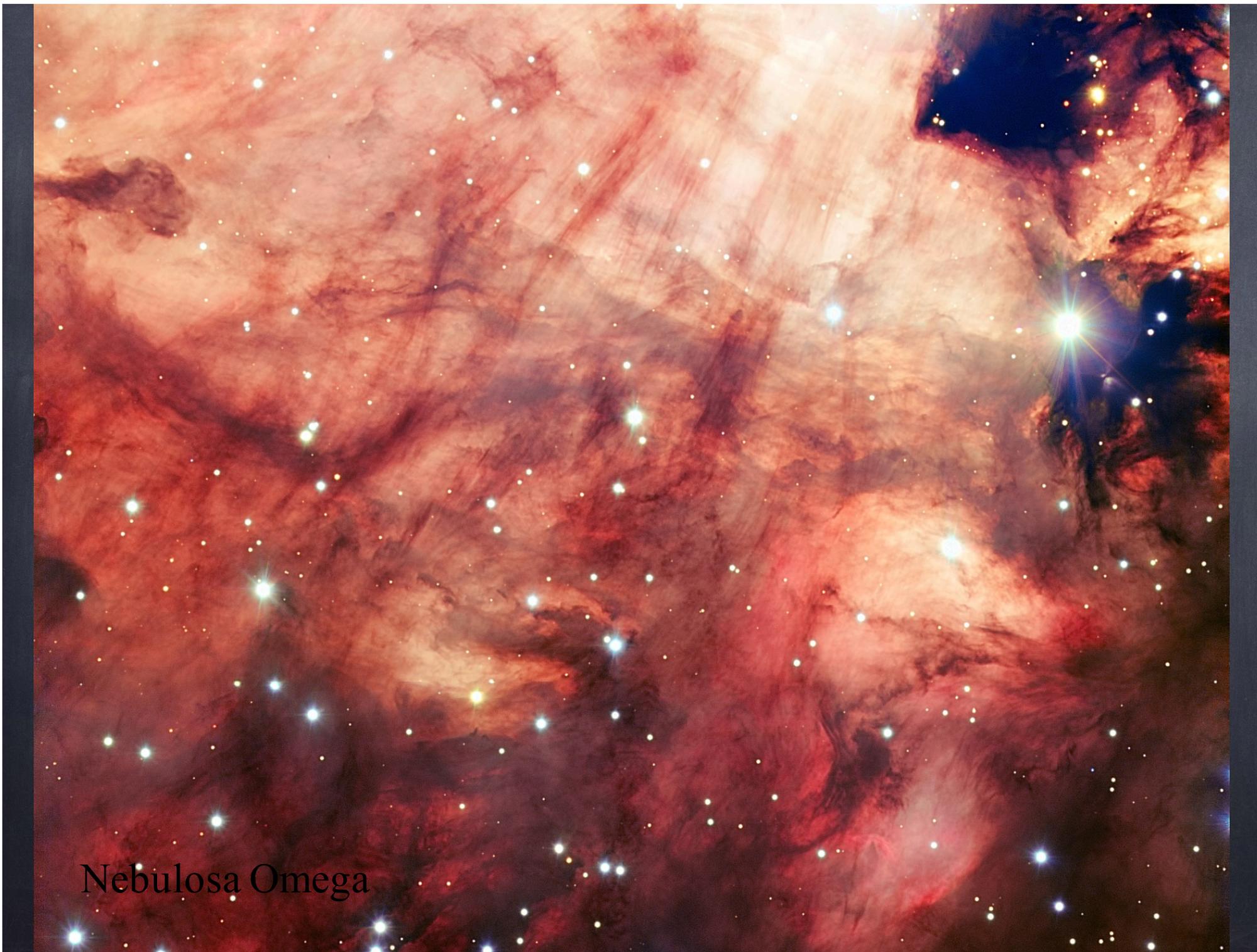
L'Osservatorio Europeo Australe (ESO) e la sua [rete di Divulgazione Scientifica \(ESON\)](#) collaborano con [E-Sterrenlab](#), un'organizzazione che si occupa di eventi di comunicazione, per istituire il primo Campo di Astronomia dell'ESO. Il campo si svolgerà dal 26 al 31 dicembre 2013 presso l'[E-Osservatorio Astronomico della Valle d'Aosta](#), a Saint-Bartelemy, Nus (Italia). Diversi partner, tra cui l'ESO, forniranno un totale di, finora, cinque borse che verranno assegnate ai migliori tra i candidati.

Il programma Gemme cosmiche dell'ESO

 Cosmic
Gem**m**s



IC2944 – gallina in fuga



Nebulosa Omega



Ringrazio:

Marco Riva (INAF-OAB) e Roberto Ragazzoni (INAF-OAPD)
per avermi lasciato usare molte delle loro diapositive tecniche



Informazioni sulle visite ai siti cileni:

<https://www.eso.org/public/italy/about-eso/visitors>

Iscrizione alla rivista Messenger:

<https://www.eso.org/sci/publications/messenger/messenger-subscription-form.html>