Catturare il cielo con il TNG

dai telescopi all'osservazione astronomica



INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
NATIONAL INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS

Giovani Astronomi al TNG

IV edizione

28 ottobre 2026

Gloria Andreuzzi


Conosciamo l'Universo
attraverso la luce che ci arriva dalle stelle

Con i telescopi possiamo studiarla



© 2013 Giovanni Tessicini

Con i telescopi possiamo studiarla



Dalle stelle ci arriva pochissima luce

Le galassie più lontane che si possono vedere con i telescopi dell'Osservatorio del Roque de Los Muchachos brillano come una lampadina da 100 W posta a 5 milioni di km di distanza: 13 volte più lontana della Luna.

Siti adatti

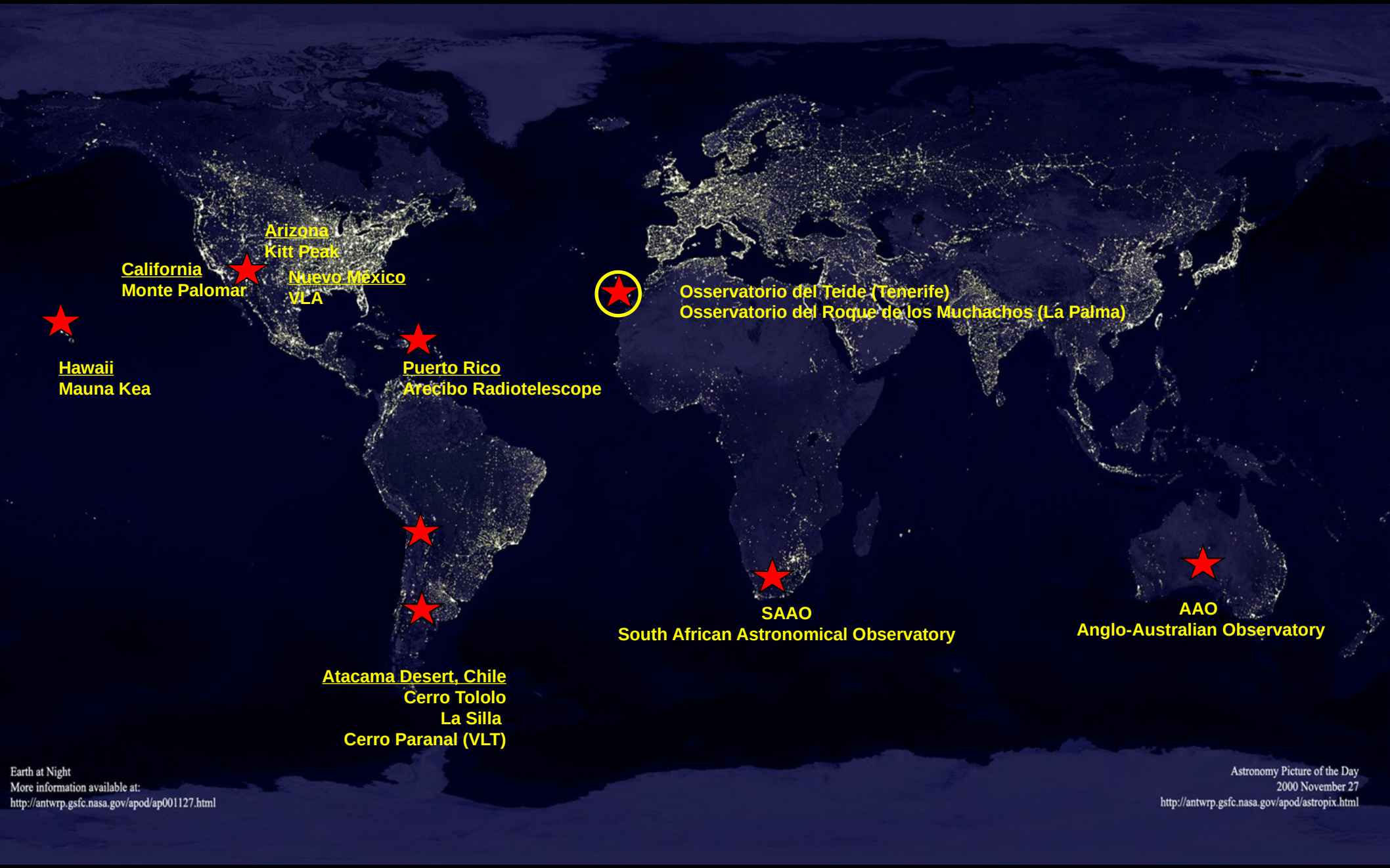
Cieli limpidi e sopra le nuvole

Poco inquinamento luminoso

Grandi telescopi

© 2013 Giovanni Tessicini

Dove si trovano i maggiori osservatori del pianeta?





L'Osservatorio del Roque de los Muchachos

Posizione: Isola di La Palma (Canarie, Spagna)

Area: 189 ettari

Altitudine: 2.396 metri

Coordinate TNG:

Longitudine: 17º 53' 20.6" W

Latitudine: 28º 45' 14.4" N

L'Osservatorio del Roque de los Muchachos

1 - Residencia

2 - MAGIC

3 - Gran Telescopio Canarias

4 - TNG

5 - NOT

8 - William Herschel

9 - Liverpool

14 - Mercator

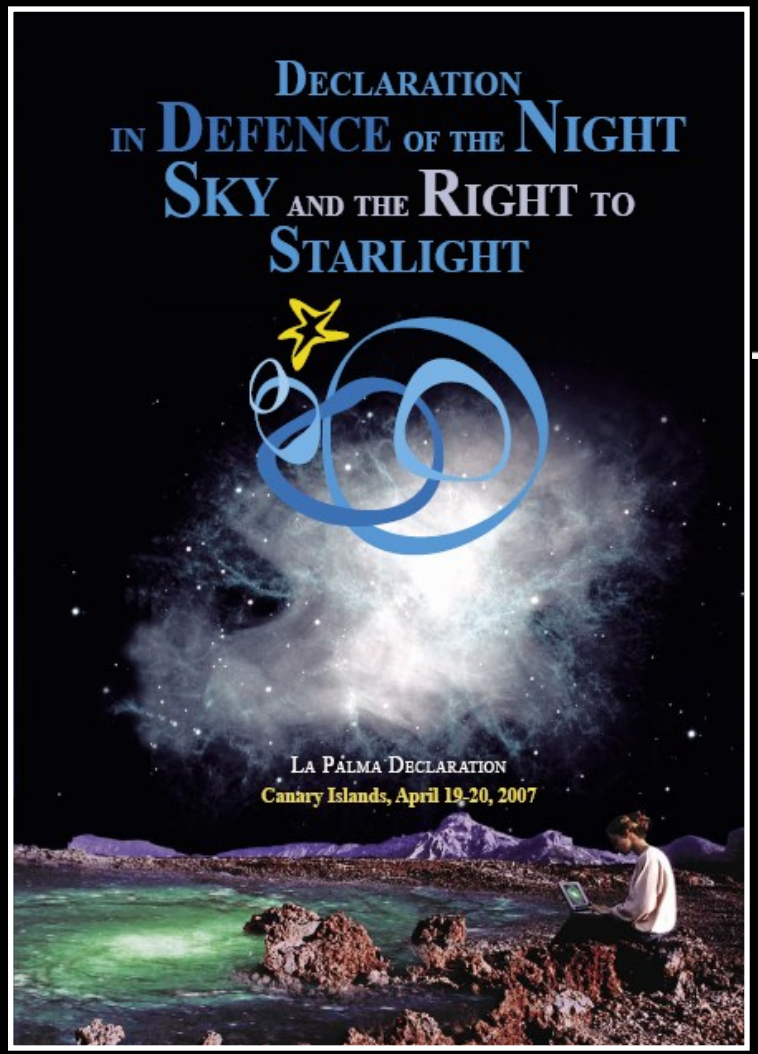
15 - INT



La Palma: Un cielo protetto per legge







LA PALMA
RESERVA
DE BIOSFERA

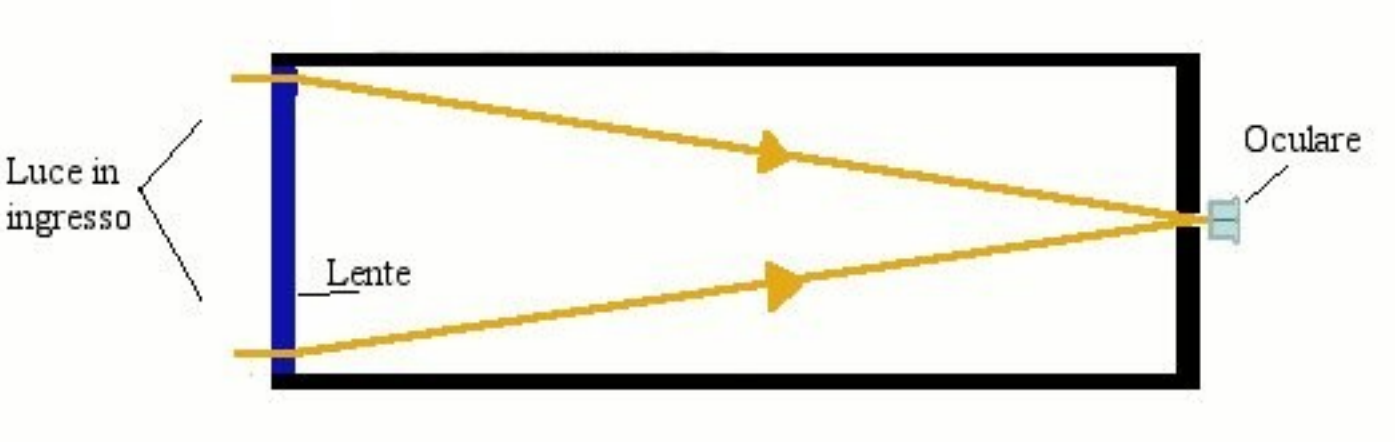
Gobierno
de Canarias

UNESCO

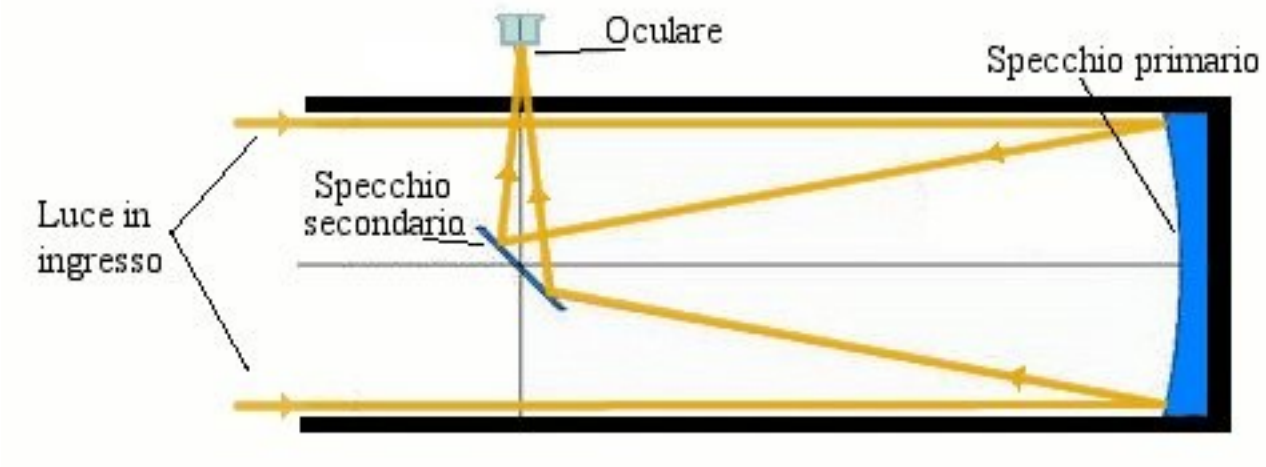
MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

Come funzionano i telescopi ottici?

Telescopi Rifrattori: Utilizzano lenti per raccogliere la luce



Telescopi Riflettori: Sfruttano gli specchi per concentrare la luce



Come funzionano i telescopi ottici



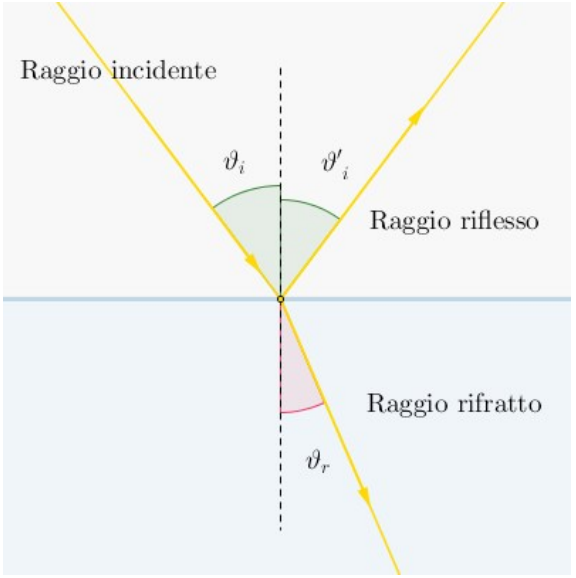
Telescopi Rifrattori

Utilizzano lenti per raccogliere la luce – Legge di Snell

La legge di Snell descrive come un raggio luminoso si rifrange quando passa da un mezzo a un altro con diverso indice di rifrazione.

Per una lente convessa, i raggi vengono deviati fino a convergere in un punto, il **fuoco**.

n ~ 1 per l'aria ; n ~ 1.5 per il vetro



$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_r$$

Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Rifrattori

Utilizzano lenti per raccogliere la luce – Le lenti sottili

Il raggio di luce si rifrange due volte: quando entra e quando esce dalla lente.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2}\right)$$

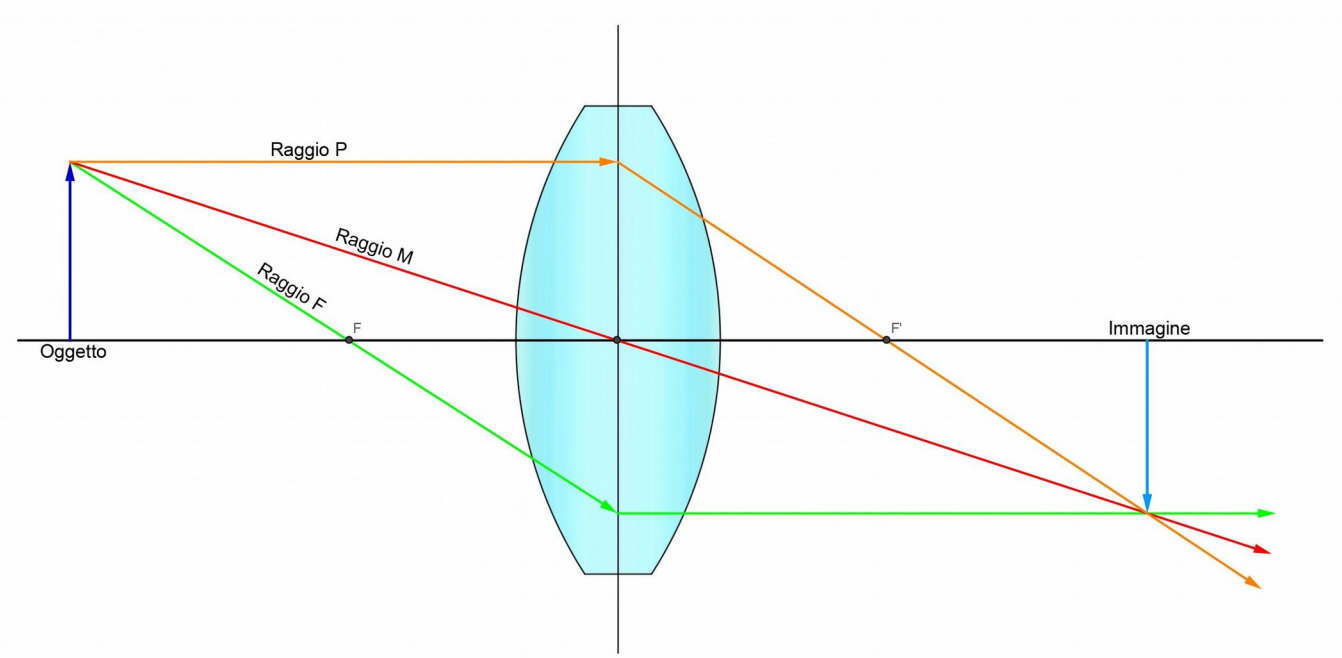
n indice di rifrazione del materiale della lente (rispetto all'aria)

R1 ed R2 raggi di curvatura delle due superfici che formano la lente

f distanza focale della lente

p distanza dell'oggetto dalla lente

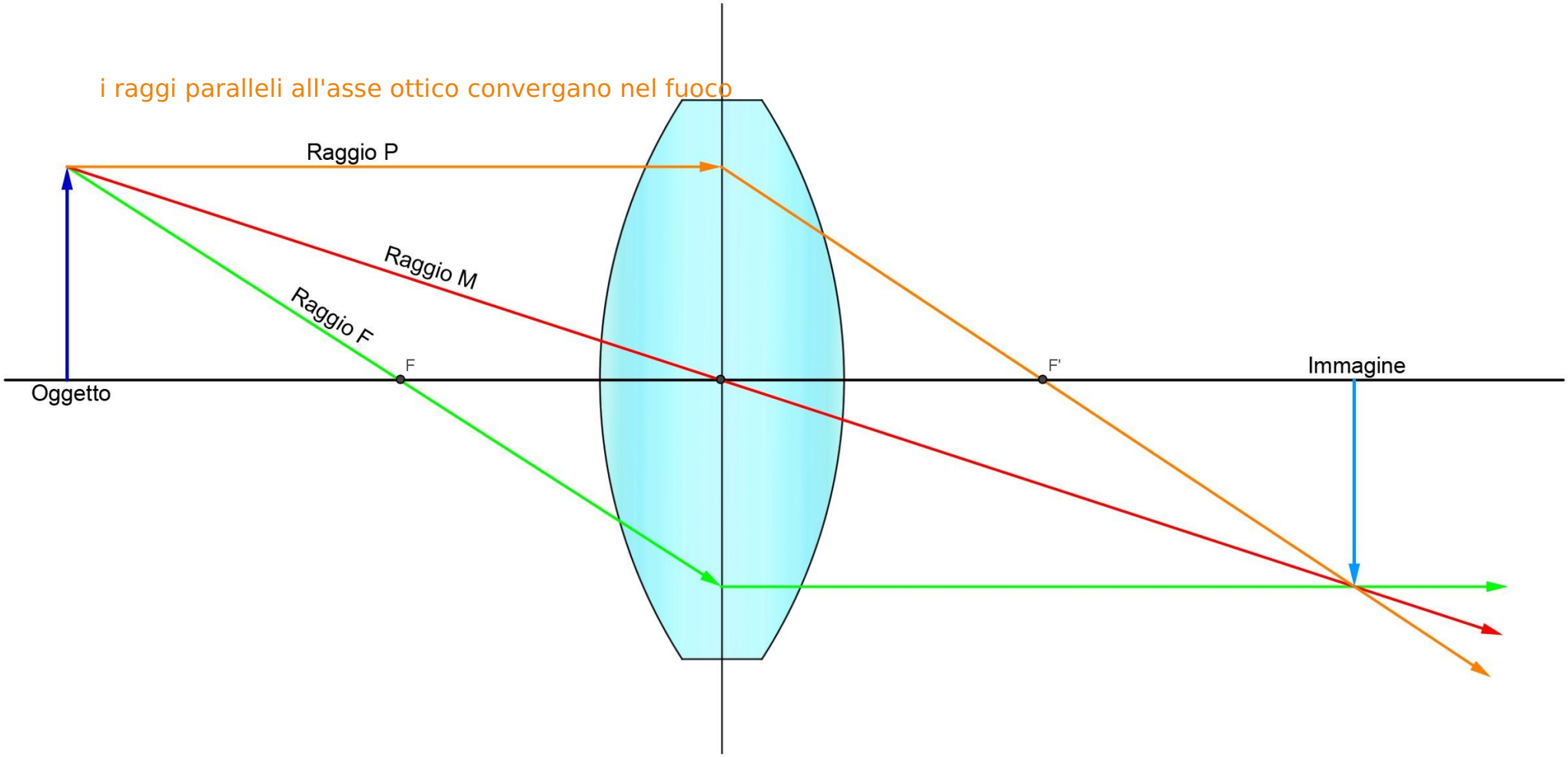
q distanza dell'immagine dalla lente.



Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Rifrattori

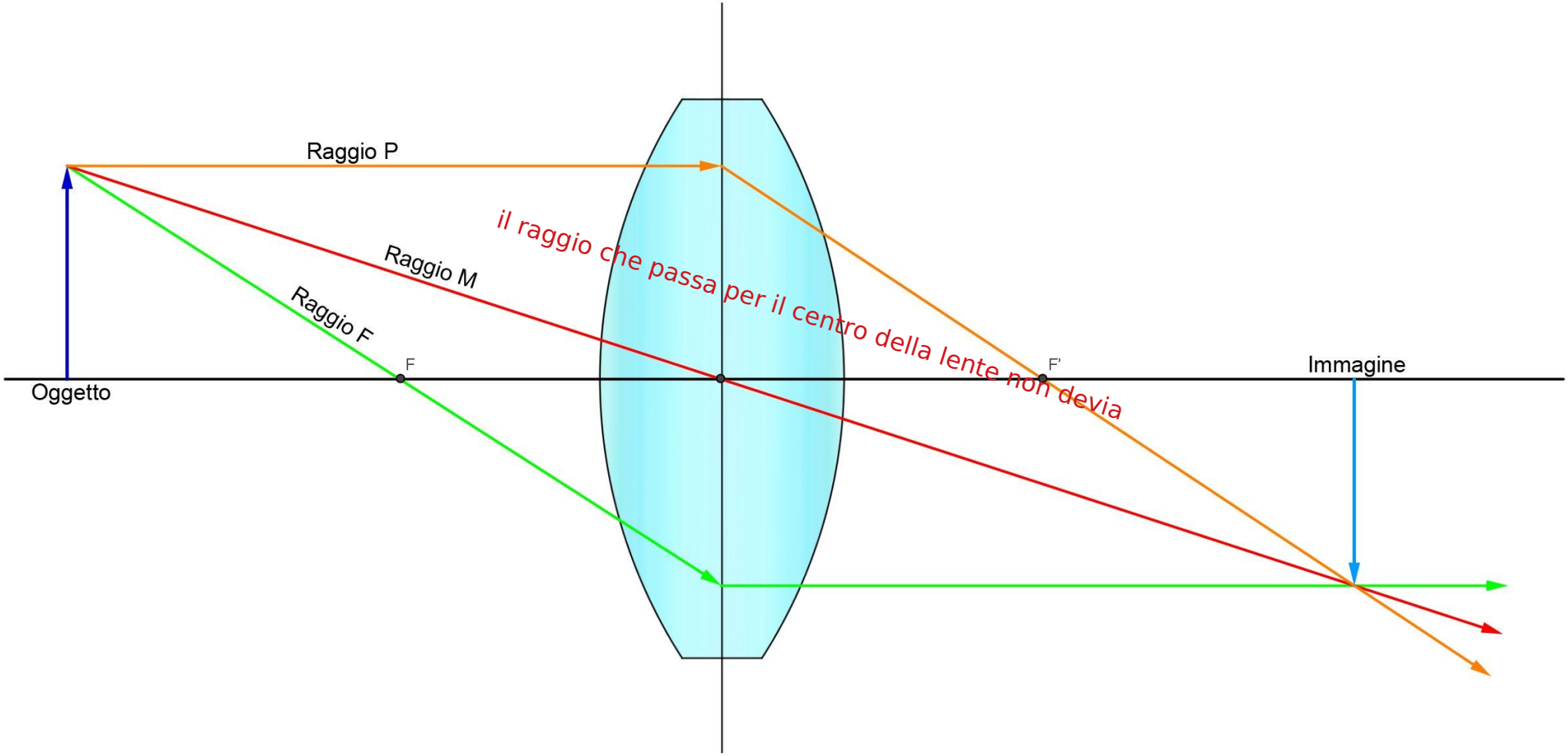
Utilizzano lenti per raccogliere la luce – Le lenti sottili



Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Rifrattori

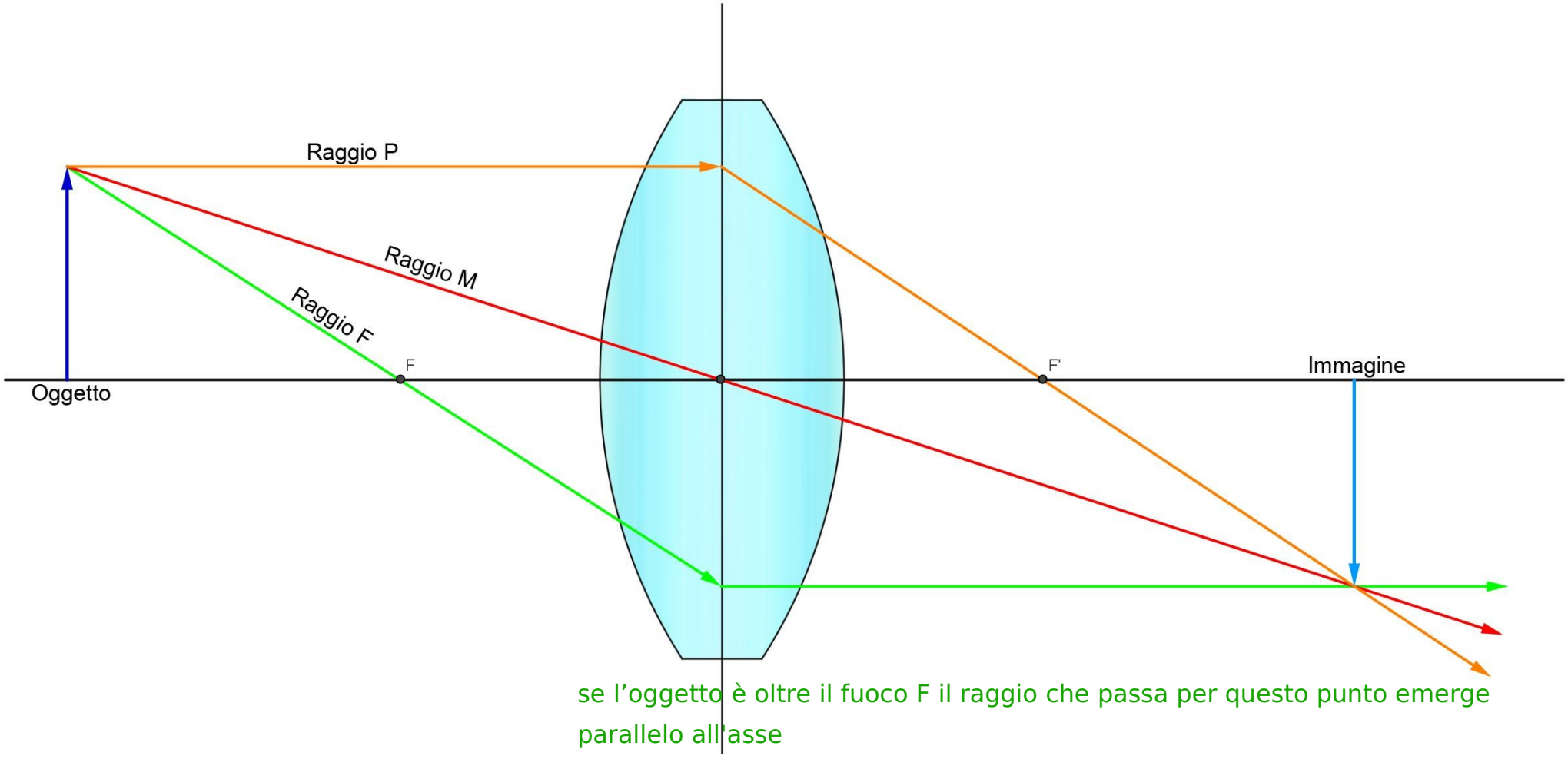
Utilizzano lenti per raccogliere la luce – Le lenti sottili



Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Rifrattori

Utilizzano lenti per raccogliere la luce – Le lenti sottili

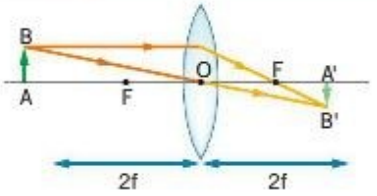
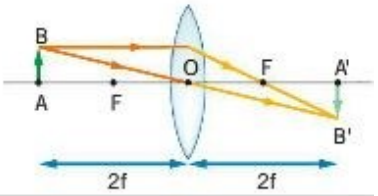
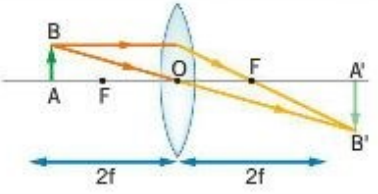
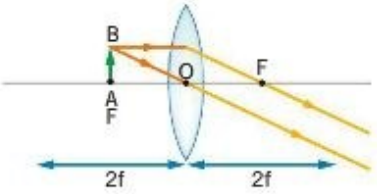
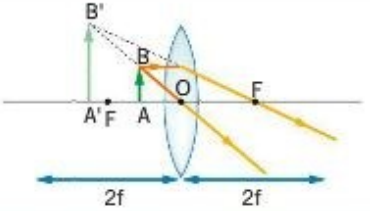


se l’oggetto è oltre il fuoco F il raggio che passa per questo punto emerge parallelo all'asse

Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Rifrattori

Utilizzano lenti per raccogliere la luce

Posizione dell'oggetto	Immagine	Schema
Oltre il doppio della distanza focale	Reale, capovolta, rimpicciolita	
Doppio della distanza focale	Reale, capovolta, della stessa dimensione	
Tra il fuoco e il doppio della distanza focale	Reale, capovolta, ingrandita	
Nel fuoco	Nessuna immagine	
Tra la lente e il fuoco	Virtuale, diritta, ingrandita	

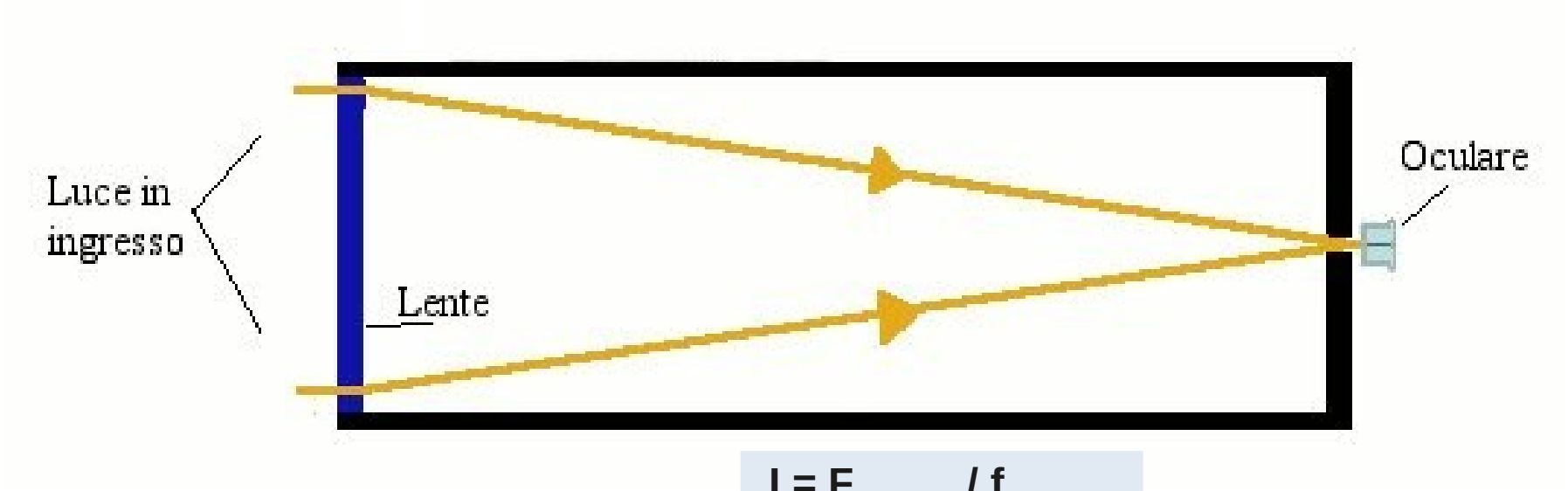
Come funzionano i telescopi ottici



Telescopi Rifrattori

Utilizzano lenti per raccogliere la luce

L'oggetto si trova tanto distante che i raggi arrivano paralleli



$$I = F_{obiettivo} / f_{oculare}$$

- La luce proveniente da un oggetto lontano entra nell'obiettivo (lente convergente)
- L'obiettivo fa convergere i raggi luminosi nel suo fuoco
- Nel piano focale si forma un'immagine capovolta e rimpicciolita dell'oggetto
- L'oculare, (posizionato in modo tale che l'immagine creata dall'obiettivo cada tra $f_{oculare}$ e la lente), trasforma l'immagine precedentemente creata dall'obiettivo in una nuova immagine virtuale ingrandita

Come funzionano i telescopi ottici

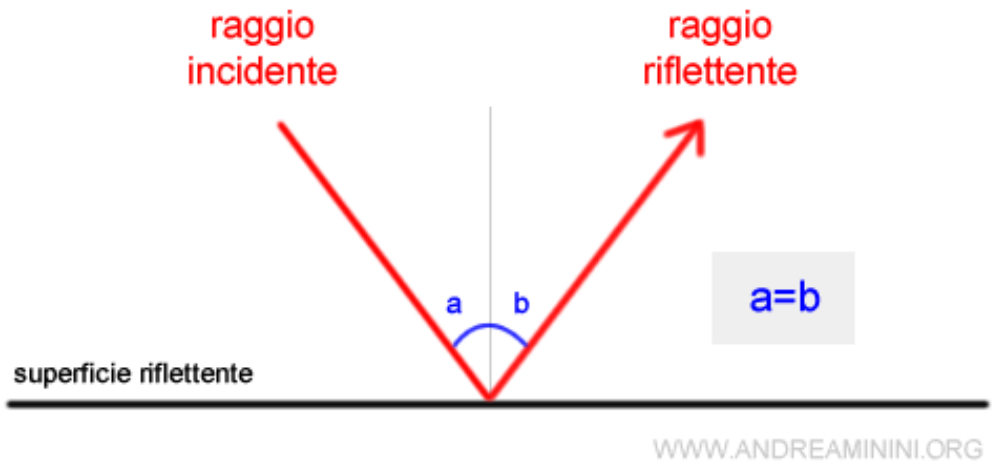
Telescopi Riflettori

Utilizzano specchi per raccogliere la luce – la riflessione della luce

Avviene quando il raggio di luce incontra una superficie riflettente

Specchio piano: il raggio viene riflesso e forma un'immagine virtuale

Gli angoli formati dal raggio incidente e quello riflesso e la verticale allo specchio sono uguali.

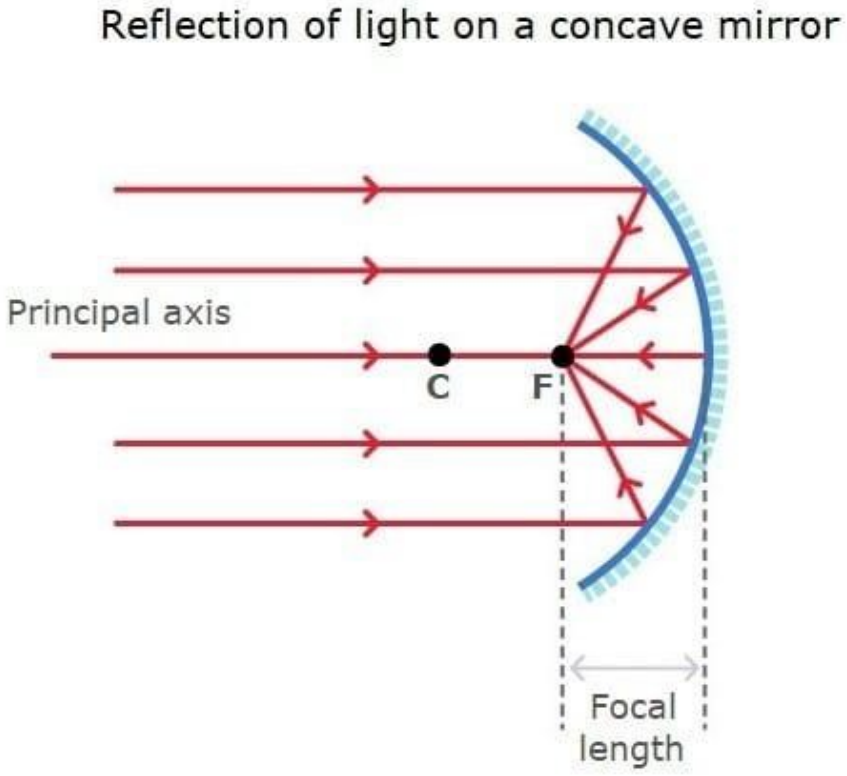


Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Riflettori

Utilizzano specchi per raccogliere la luce – la riflessione della luce

Specchio concavo: ogni raggio si riflette con lo stesso angolo rispetto alla perpendicolare. Poiché questa cambia lungo la superficie curva, i raggi vengono riflessi in direzioni diverse fino ad incontrarsi nel fuoco F.

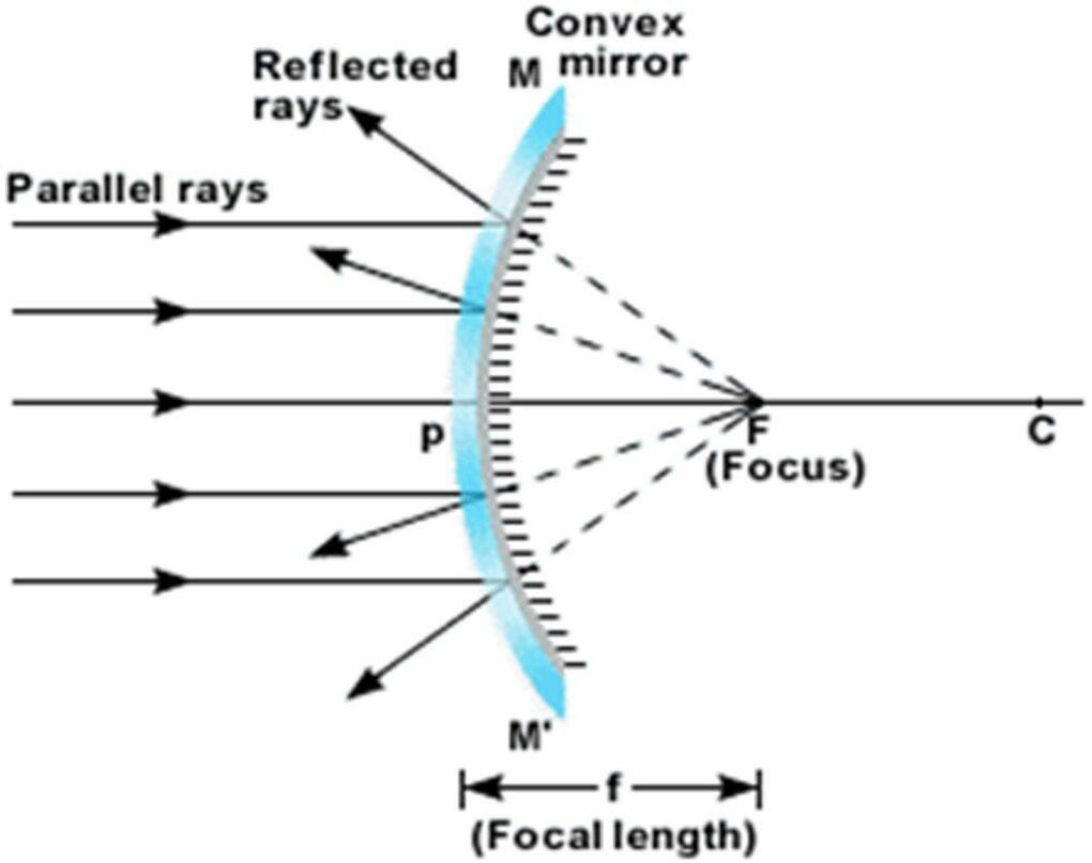


Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Riflettori

Utilizzano specchi per raccogliere la luce – la riflessione della luce

Specchio convesso: I raggi paralleli arrivano sullo specchio e vengono riflessi in modo da divergere. Se prolunghiamo all'indietro i raggi riflessi, sembrano provenire da un punto dietro lo specchio: si parla di fuoco virtuale.

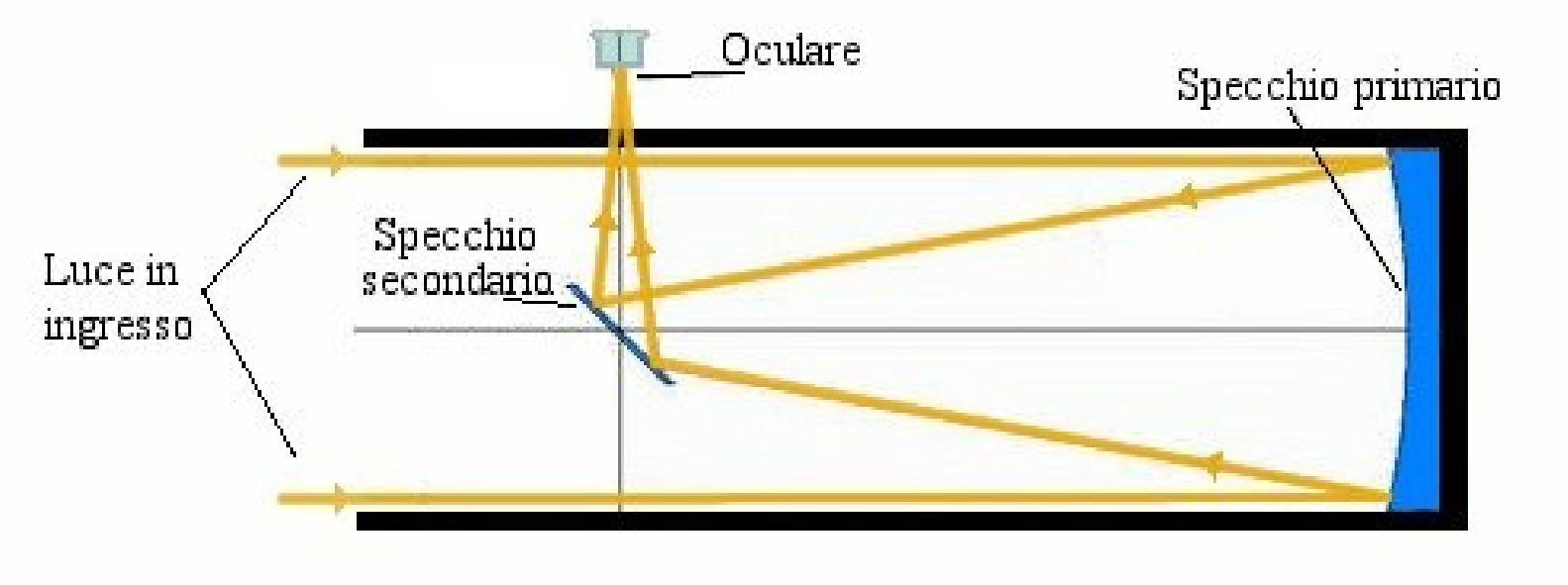


Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Riflettori – telescopio Newtoniano

Utilizzano specchi per raccogliere la luce

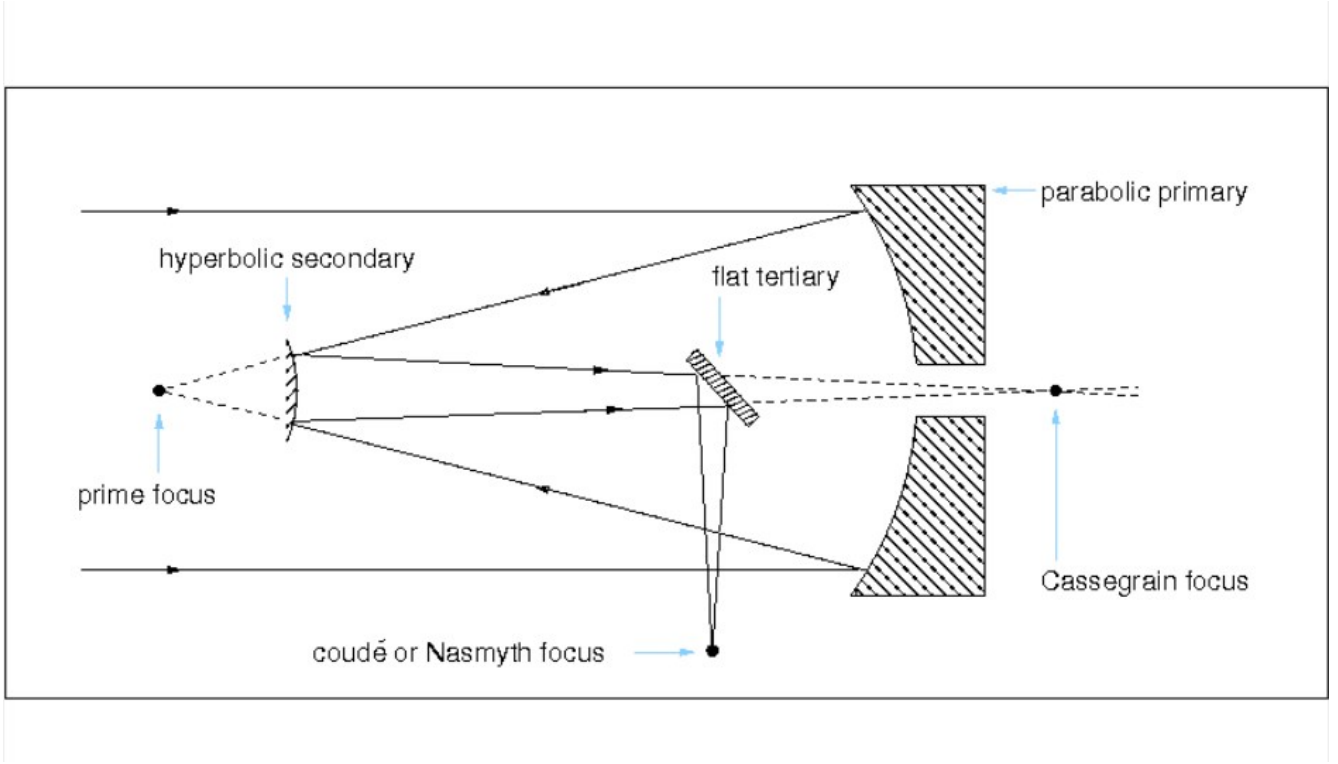
L’oggetto si trova tanto distante che i raggi arrivano paralleli



- **Specchio Primario concavo parabolico:** immagine reale capovolta nel piano focale
- **Specchio Secondario piano inclinato di 45°:** non ingrandisce e non modifica l'immagine. Devia il fascio di 90° verso l’oculare che funge da lente d'ingrandimento
- **Oculare:** sistema ottico composto da una o più lenti che permette all’occhio di osservare l’immagine formata dal telescopio, ingrandendola

Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Riflettori – telescopi Cassegrain



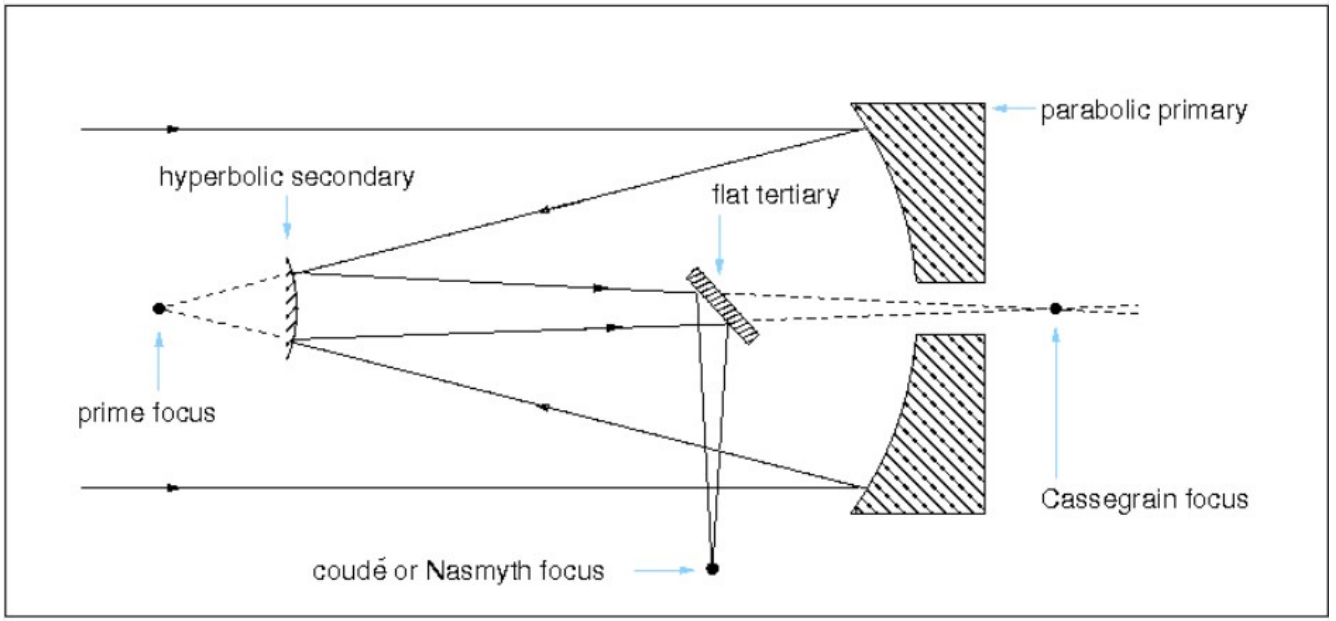
- **Specchio Primario:** specchio concavo parabolico raccoglie la luce e la fa convergere sul suo fuoco.
- **Specchio Secondario:** specchio convesso iperbolico, situato prima del fuoco del primario aumentando la lunghezza focale effettiva del telescopio (fuoco Cassegrain)
- **Specchio Terziario:** specchio piano inserito prima del fuoco Cassegrain e si usa per poter deviare la luce verso gli strumenti che prendono le immagini.

Il telescopio si comporta come se avesse uno specchio primario con una lunghezza focale effettiva molto maggiore di quella dello specchio reale, pur mantenendo dimensioni complessive relativamente compatte

Come funzionano i telescopi ottici

Telescopi Riflettori – telescopi Cassegrain

Utilizzano specchi per raccogliere la luce



$$F_{equ} = f_{prim} \, x \;\; m$$

m = p' / p ingrandimento specchio secondario

p distanza tra ***specchio secondario e fuoco dello specchio primario***

p' distanza tra lo **specchio secondario e il fuoco finale del telescopio**, dove si forma l'immagine e può essere collocato il sensore.

Il Telescopio Nazionale Galileo



Come funziona il TNG?

Telescopio Cassegrain

Ritchey-Chretien

+ 2 Nasmyth

Specchio primario iperbolico:

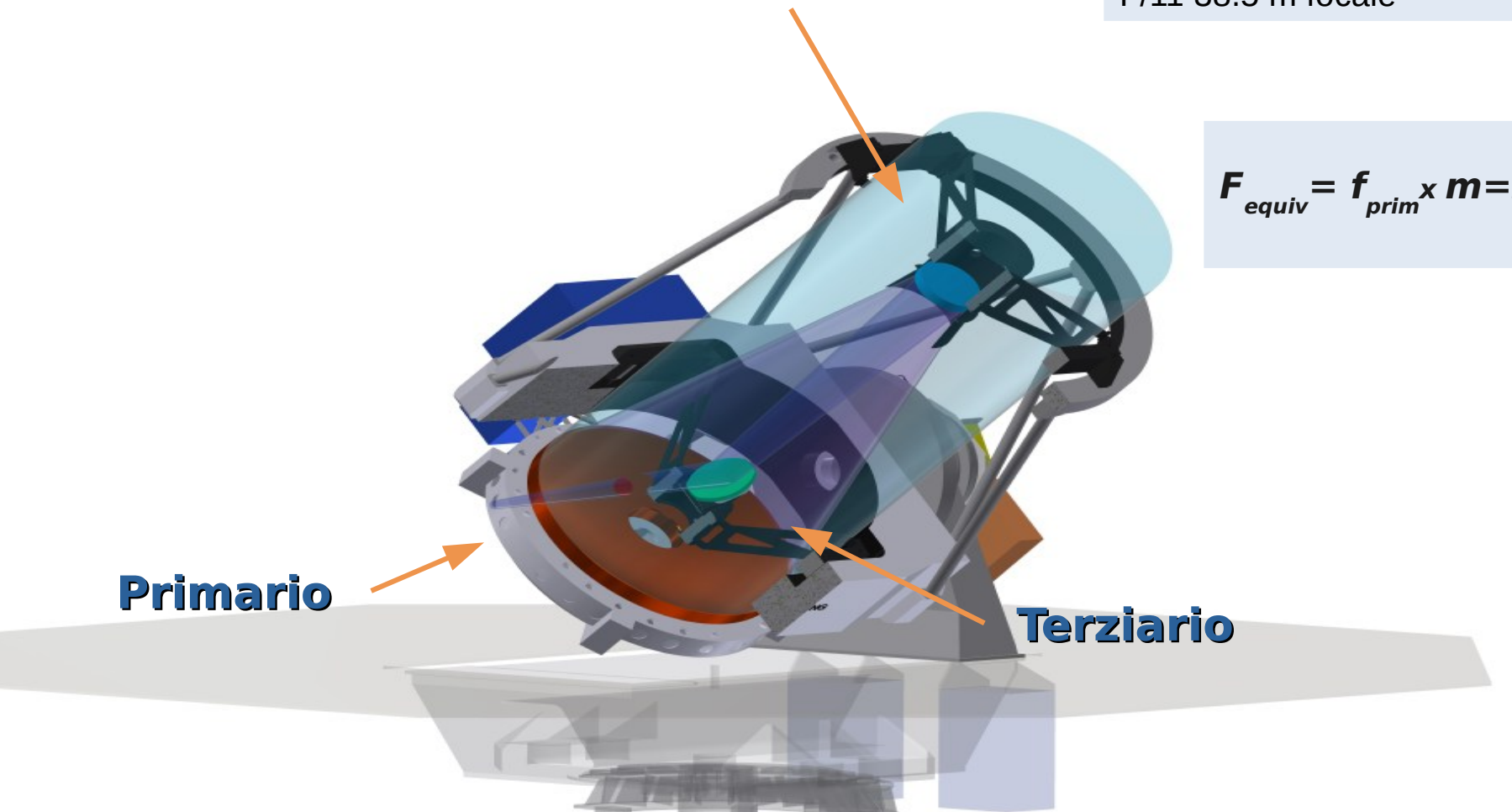
3,58 m; 24 cm; 6 tonnellate; f_{prim} = 7.87m

Specchio secondario iperbolico:

0.85 m; 300kg; m=5

Specchio terziario piano

F/11 38.5 m focale



$$F_{equiv} = f_{prim} \times m = 38.5m$$

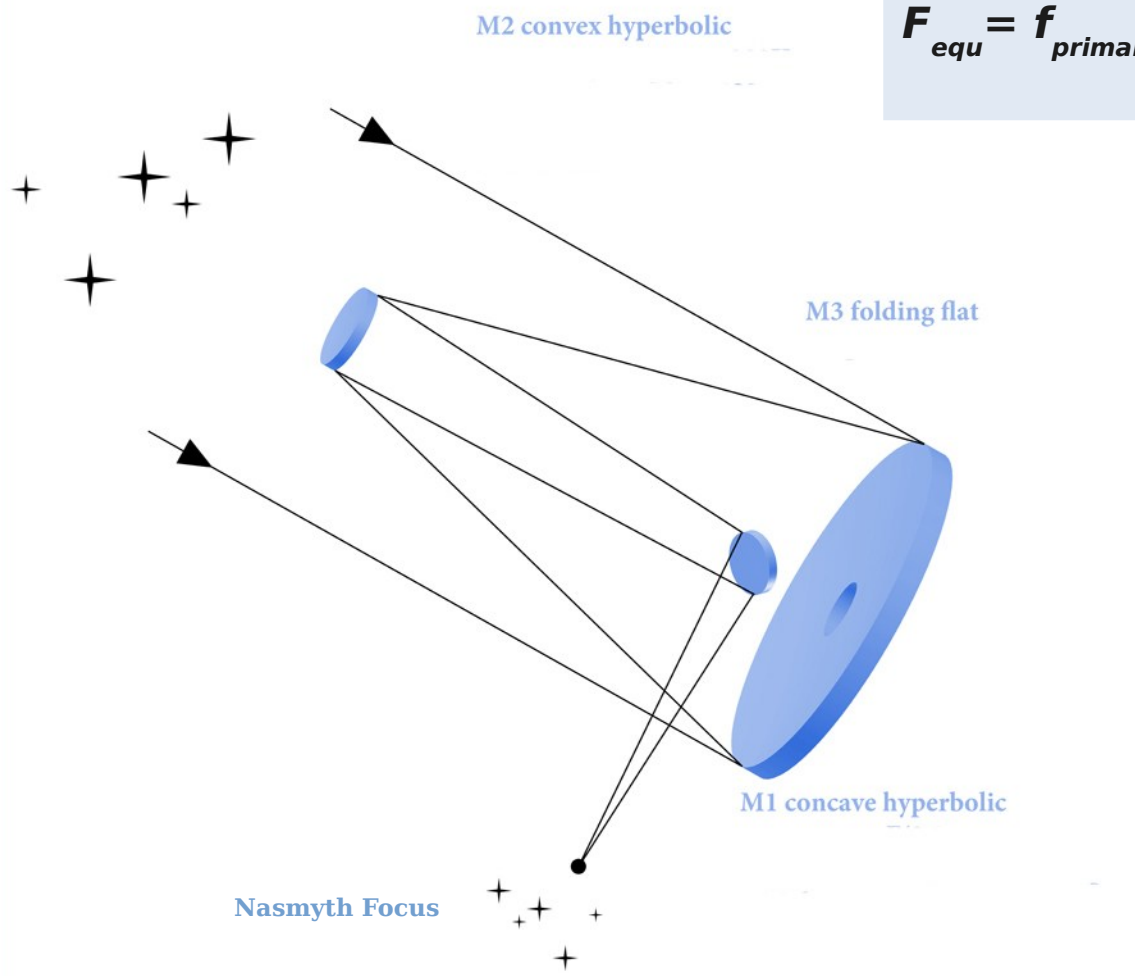
Come funziona il TNG?

Telescopio Cassegrain

Ritchey-Chretien

+ 2 Nasmyth

$F_{equ} = f_{primario} \times m = 38.5m$



$d = F_{equ} \times \tan\theta$ *d = diametro oggetto sul piano focale ; θ = dimensione angolare oggetto (rad)*

Tanto maggiore è la focale tanto più grande è l'immagine che si forma sul piano focale

Come funziona il TNG?

Scala di un telescopio

Quanti **secondi d'arco di cielo** cadono **su 1 mm** del piano focale del telescopio

5,36 arcsec/mm **Scala al fuoco Nasmyth del TNG**

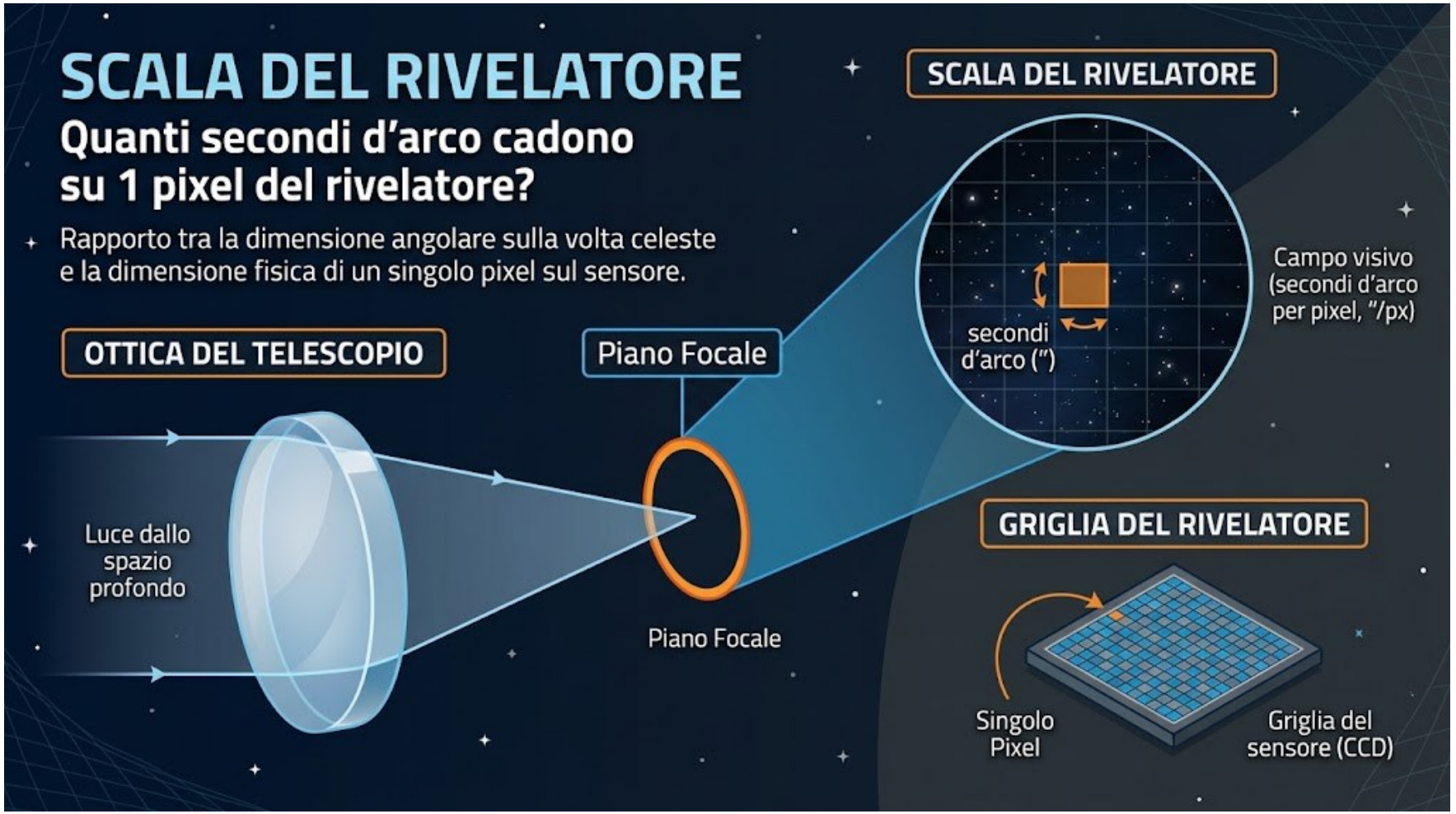


Scala = 206265 / F_{equiv} (mm)= 5.36 arcsec/mm

Come funziona il TNG?

Scala di un rivelatore

Quanti **secondi d'arco di cielo** cadono **su 1 pixel** del rivelatore

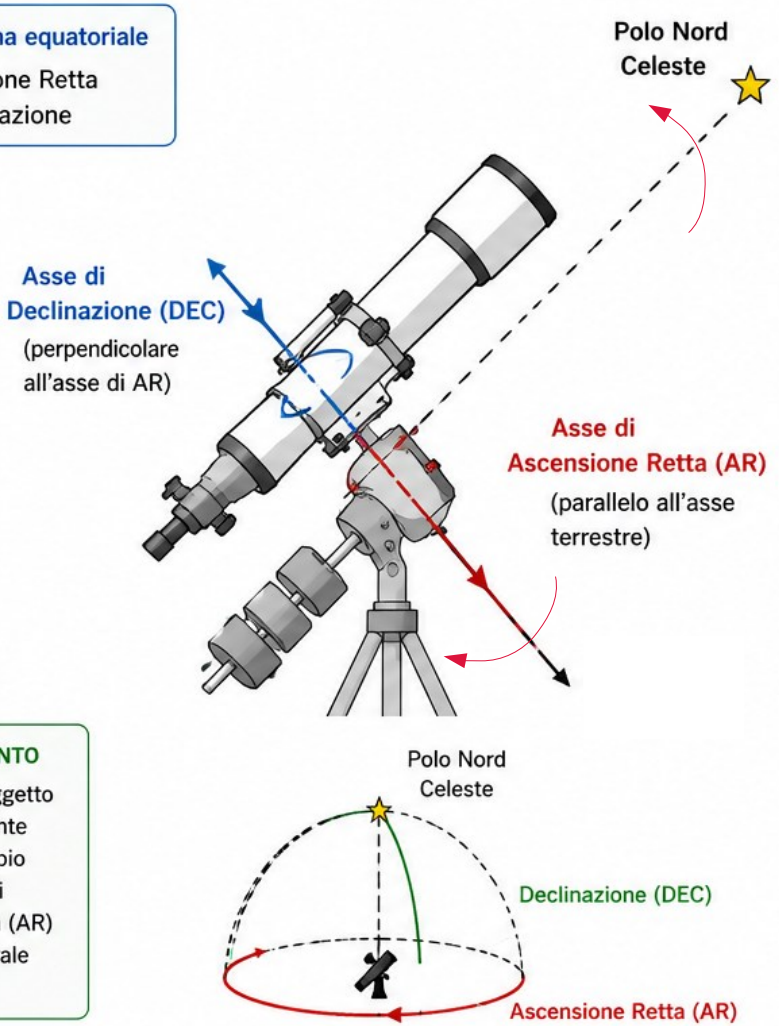


Scala rivelatore = Scala telescopio (arcsec/mm) x dimensione pixel (mm) → arcsec/pix

Come si muovono i telescopi?

TELESCOPIO A MONTATURA EQUATORIALE

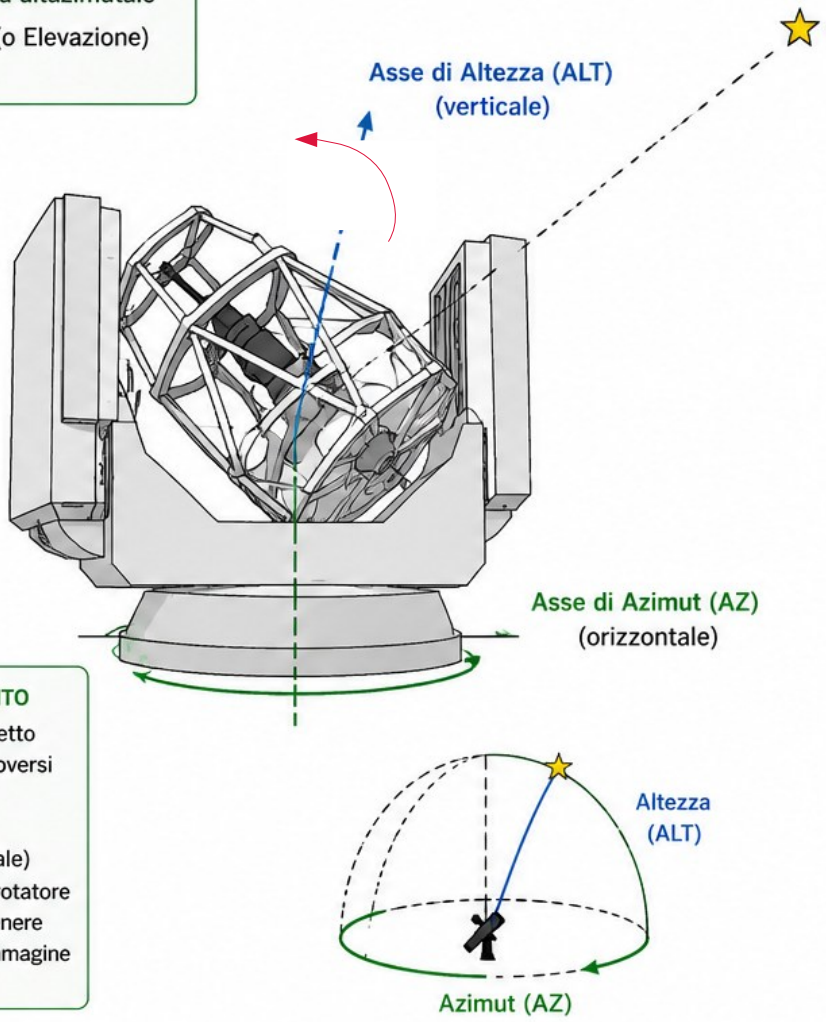
Assi del sistema equatoriale
AR = Ascensione Retta
DEC = Declinazione



FUNZIONAMENTO
Per seguire un oggetto celeste è sufficiente ruotare il telescopio attorno all'asse di Ascensione Retta (AR) alla velocità siderale (~15°/ora).

TELESCOPIO A MONTATURA ALTAZIMUTALE (es. TNG)

Assi del sistema altazimutale
ALT = Altezza (o Elevazione)
AZ = Azimut



FUNZIONAMENTO
Per seguire un oggetto celeste devono muoversi entrambi gli assi:
- Altezza (su/giù)
- Azimut (orizzontale)

È necessario un derotatore di campo per mantenere l'orientazione dell'immagine costante.

CONFRONTO

- Un asse (AR) è parallelo all'asse terrestre.
- Inseguimento con un solo asse (AR) alla velocità siderale.
- Nessuna rotazione di campo.
- Ideale per astrofotografia e lunghe esposizioni.

- Assi perpendicolari: Altezza (ALT) e Azimut (AZ).
- Inseguimento con movimento coordinato di entrambi gli assi.
- C'è rotazione di campo → serve derotatore.
- Struttura più compatta e rigida: ideale per grandi telescopi (es. TNG).

Sistemi di coordinate celesti

Il sistema equatoriale

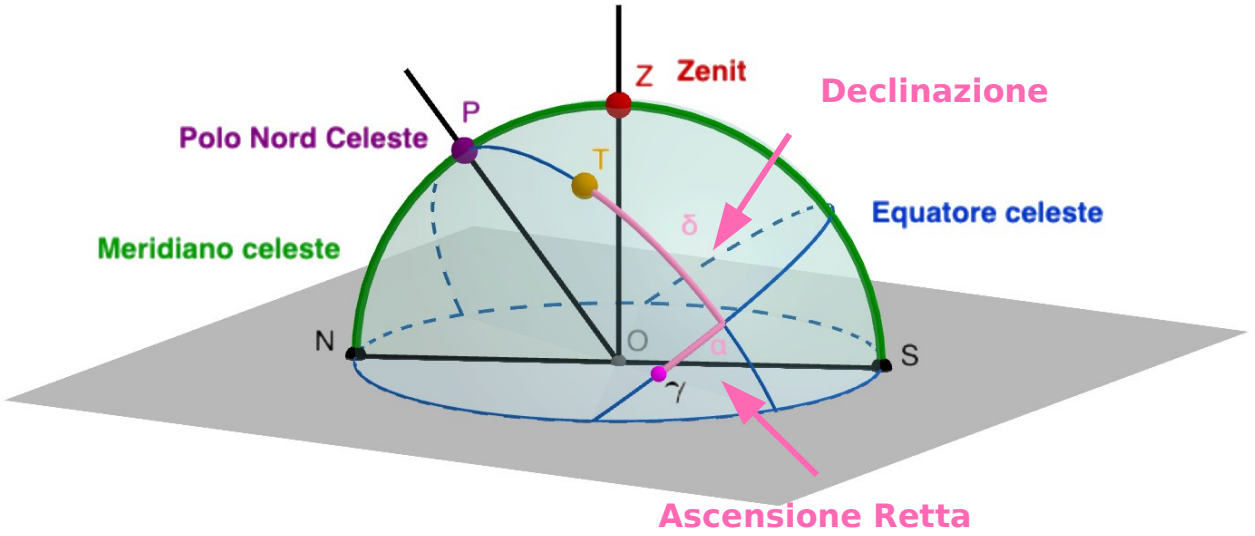
Direzione fondamentale = asse di rotazione della Terra

Piano fondamentale = equatore celeste

Ascensione Retta (α): è l'arco di equatore celeste tra il Punto γ e il cerchio orario (cerchio massimo passante per i poli) passante per l'astro; viene misurata in senso antiorario ed è compresa tra 0h e 24h;

Declinazione (δ): è l'arco di cerchio orario compreso fra l'equatore celeste e l'astro; si conta dall'equatore da 0 a 90° per l'emisfero boreale e da 0 a -90° per l'emisfero australe.

24 h = 360° → 1 h = 15° ; 4 m = 1° ; 1 m = 15' ; 4 s = 1' ; 1 s = 15"



α e δ sono indipendenti dalla posizione dell'osservatore, in quanto definite rispetto alla sfera celeste

Sistemi di coordinate celesti

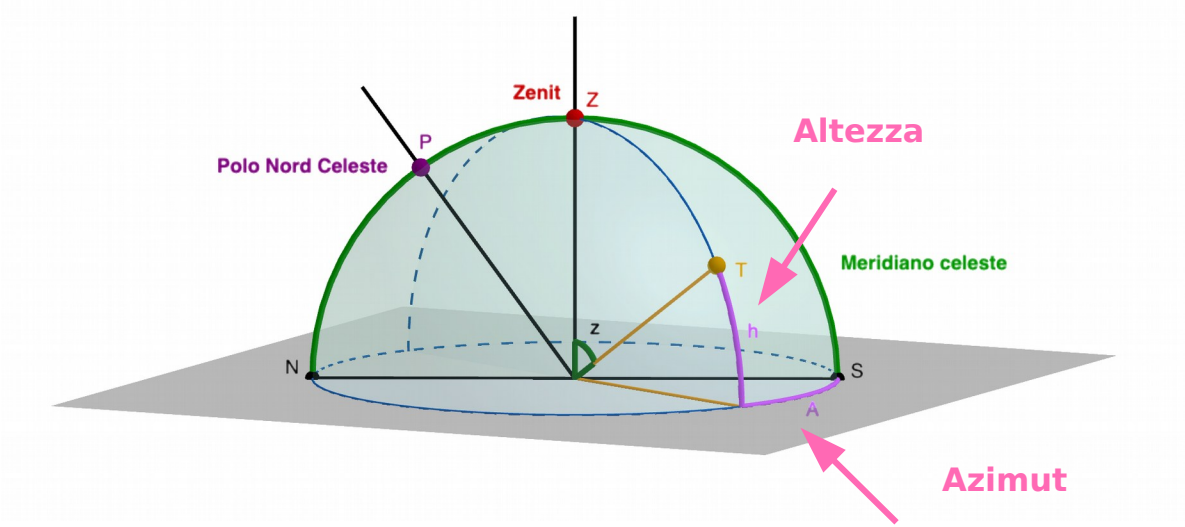
Il sistema altazimutale

Direzione fondamentale = verticale passante per l'osservatore

Piano fondamentale = l'orizzonte astronomico

Azimut: arco di Orizzonte tra il punto Sud e il cerchio verticale (cerchio massimo passante per lo Zenit e il Nadir) passante per l'astro; è misurato in senso orario ed è compreso tra 0° e 360°;

Altezza: arco di cerchio verticale compreso fra l'Orizzonte e l'astro; si conta da 0 a +90° verso lo Zenit e da 0 a -90° verso il Nadir



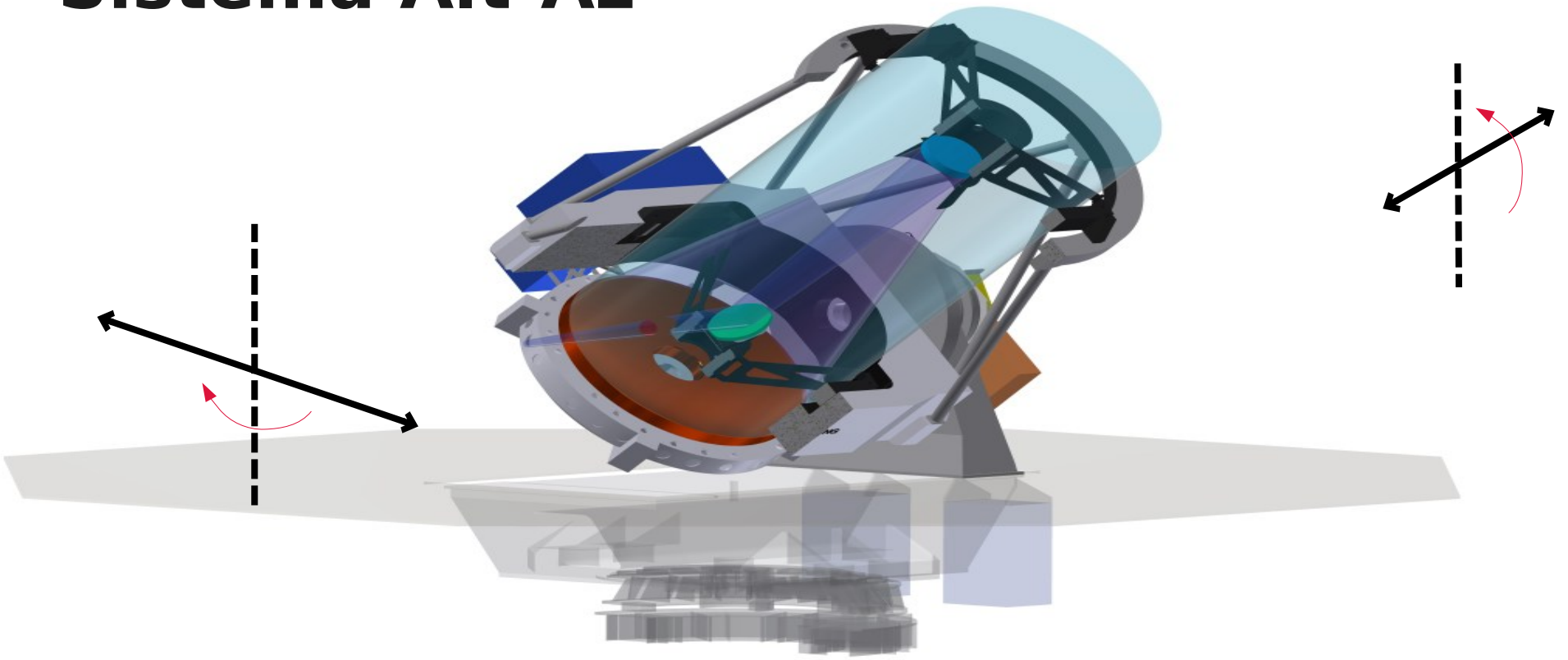
Azimut ed altezza sono dipendenti dall'osservatore dalla sua posizione e dall'istante dell'osservazione

A causa del moto della Terra, le stelle descrivono archi di cerchio che, in generale, non sono paralleli all'orizzonte → **derotatore**

Come si muove il TNG?

Sistema Alt-Az

Elevazione: movimenti perpendicolari all’orizzonte



Azimut: movimenti paralleli all’orizzonte

Derotatore: sistema meccanico posto davanti alla camera

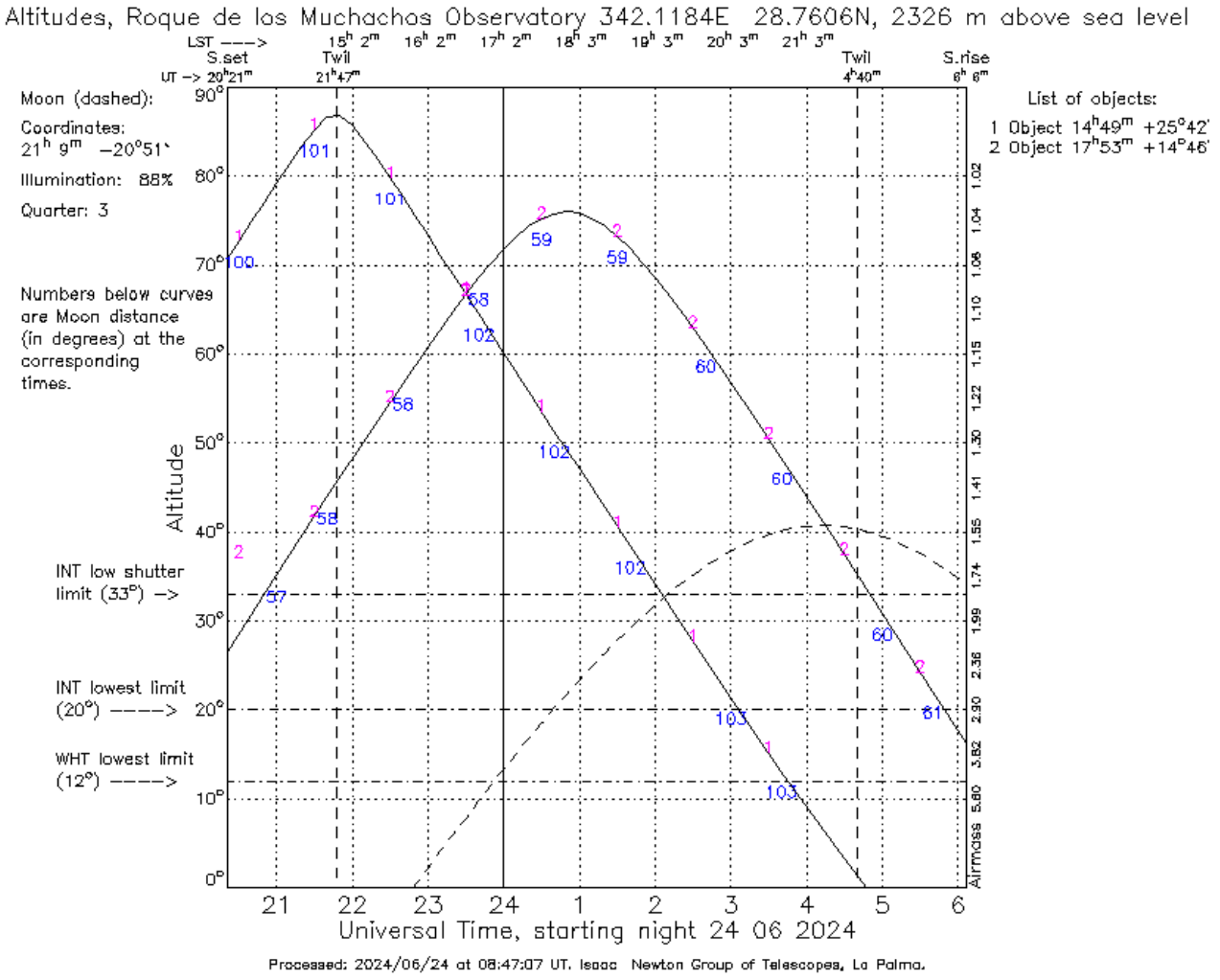
by

Vincenzo Guido

Sistemi di coordinate celesti

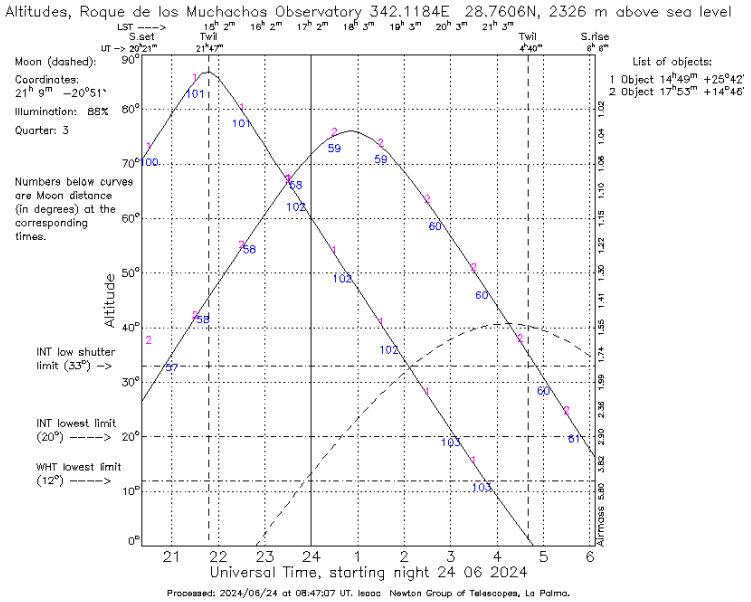
Visibilità di un oggetto celeste

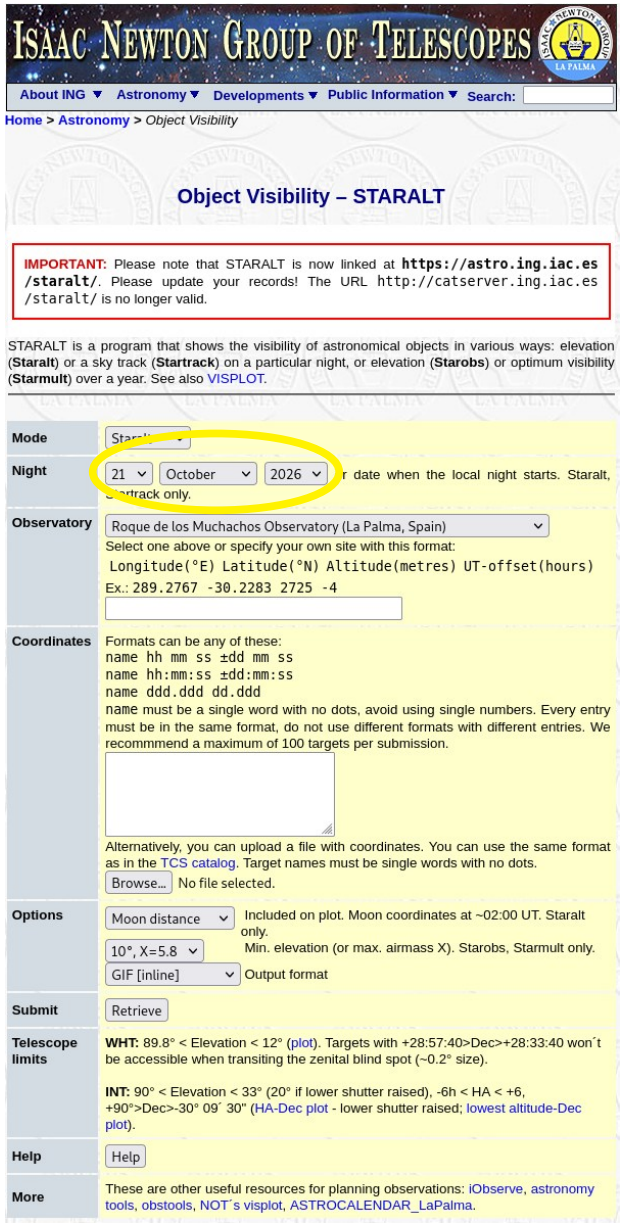
L'oggetto è sufficientemente alto nel cielo e puntabile dal telescopio da poter essere osservato



Sistemi di coordinate celesti

Visibilità di un oggetto celeste



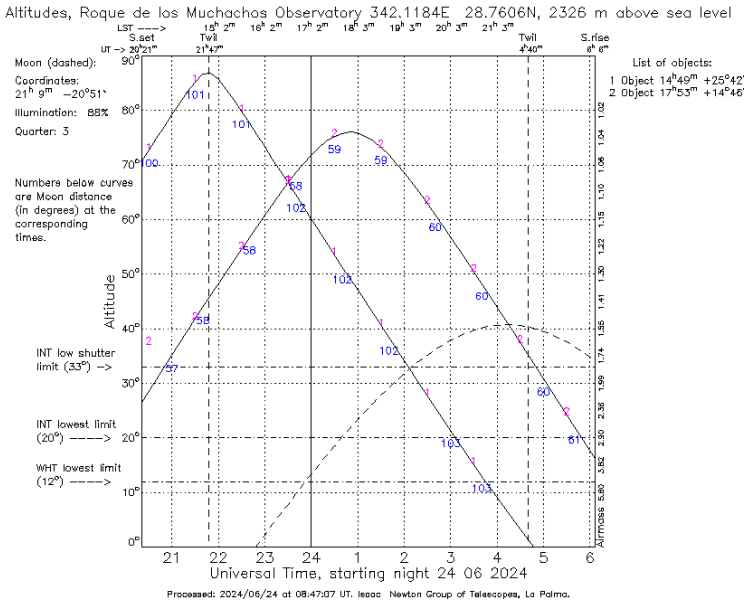


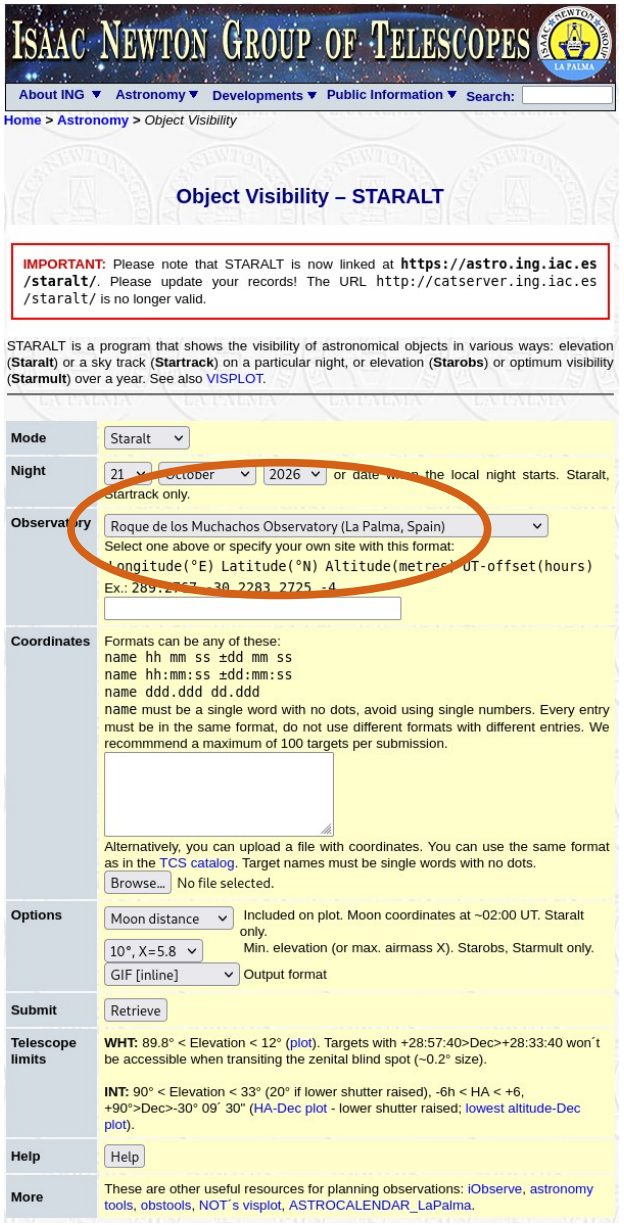


https://astro.ing.iac.es/staralt/

Sistemi di coordinate celesti

Visibilità di un oggetto celeste







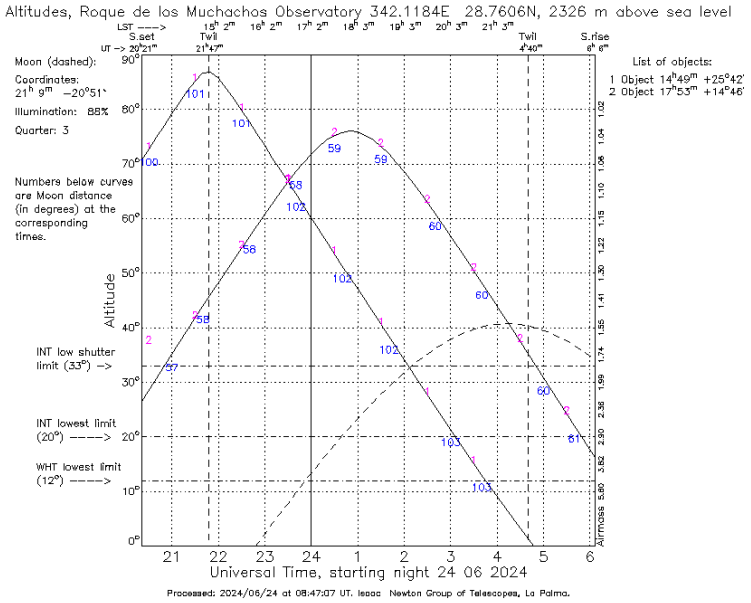
https://astro.ing.iac.es/staralt/

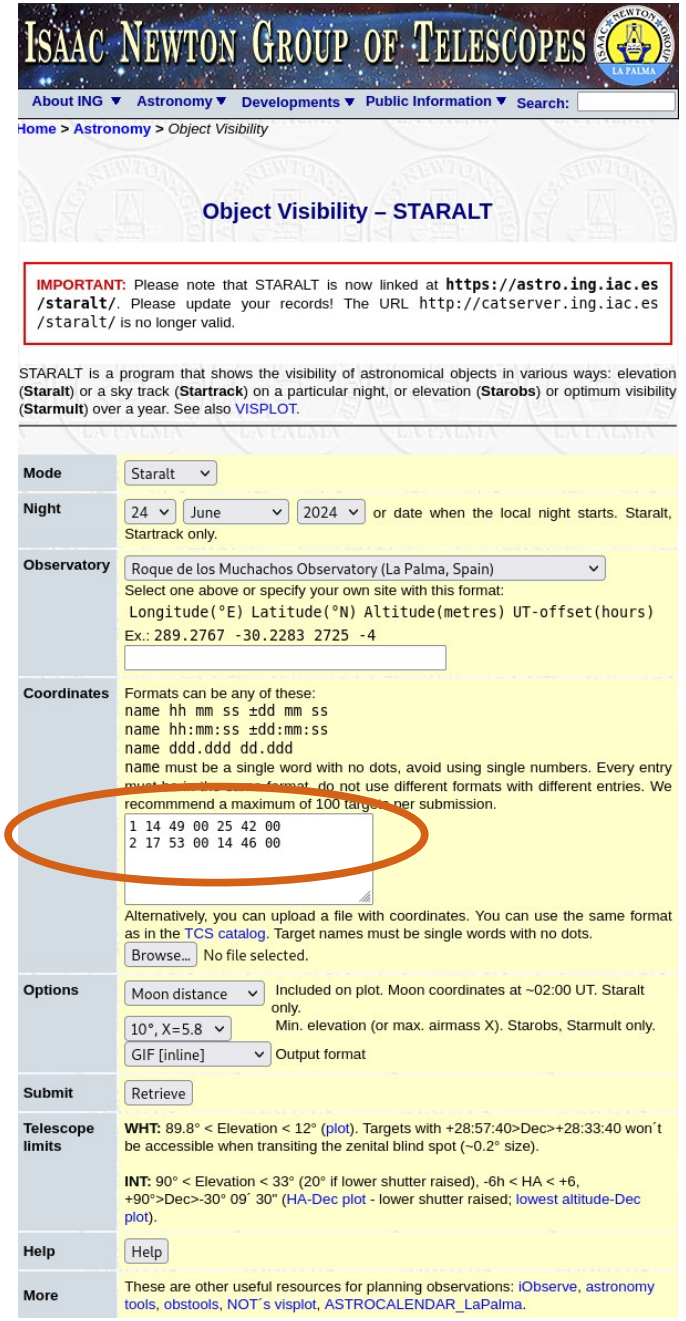
Sistemi di coordinate celesti

Visibilità di un oggetto celeste



https://astro.ing.iac.es/staralt/



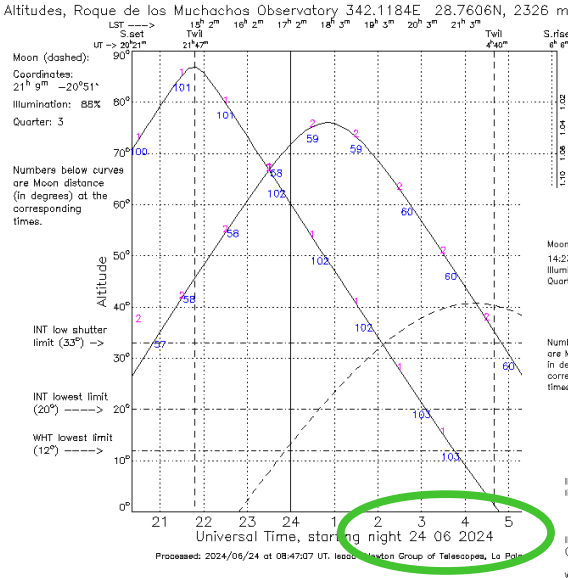


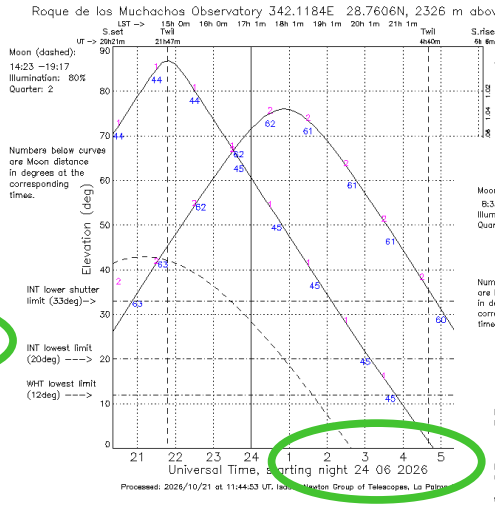
Sistemi di coordinate celesti

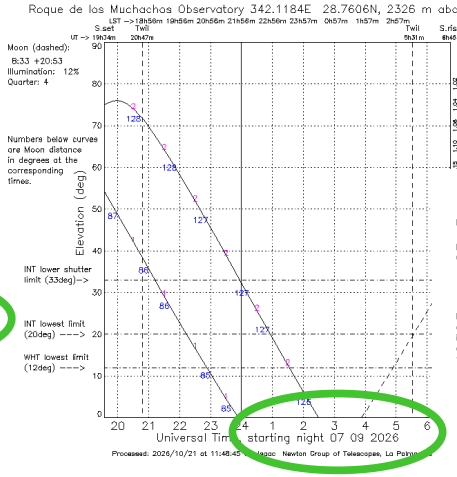
Visibilità di un oggetto celeste

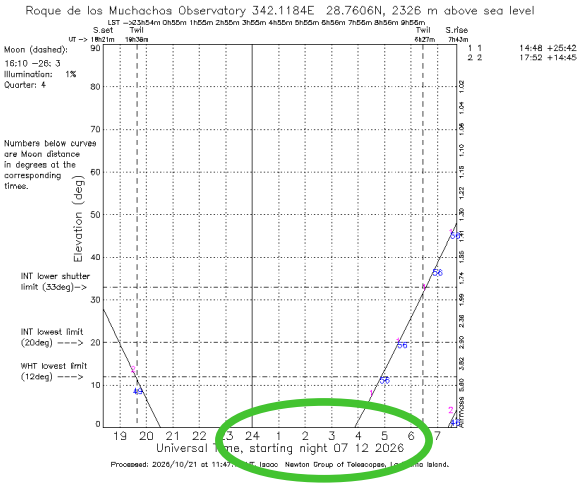


https://astro.ing.iac.es/staralt/









Sistemi di coordinate celesti

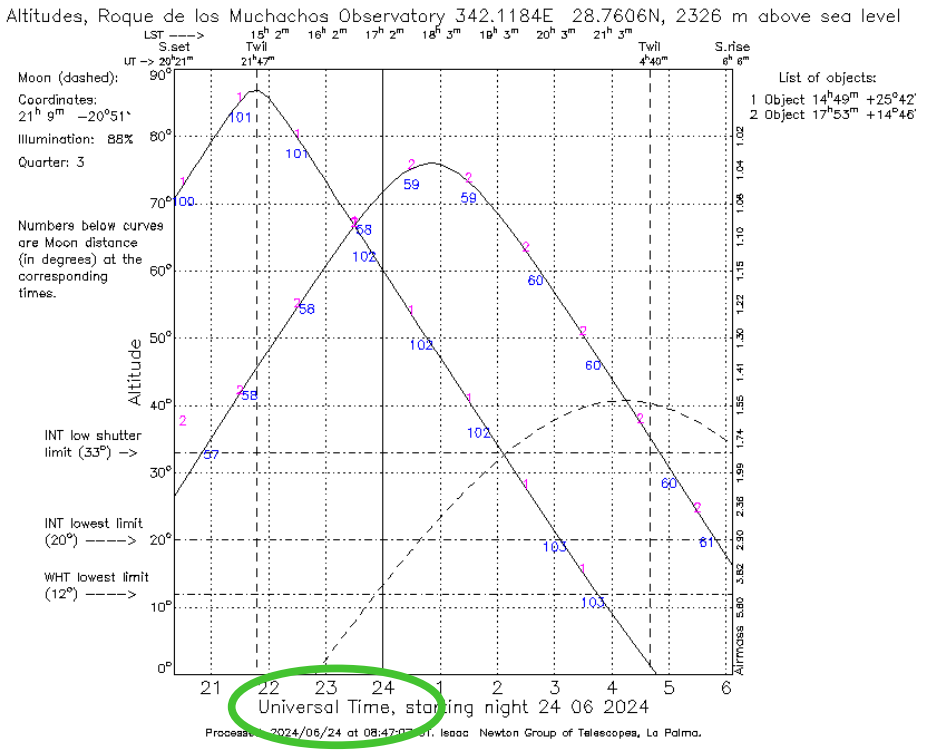
Visibilità di un oggetto celeste

Tempo Universale

Si basa sulla rotazione della Terra rispetto al Sole ed è riferito al meridiano di Greenwich (0° di longitudine)

UT = ora locale – fuso orario

È lo stesso in tutto il mondo e non dipende dalla posizione dell'osservatore



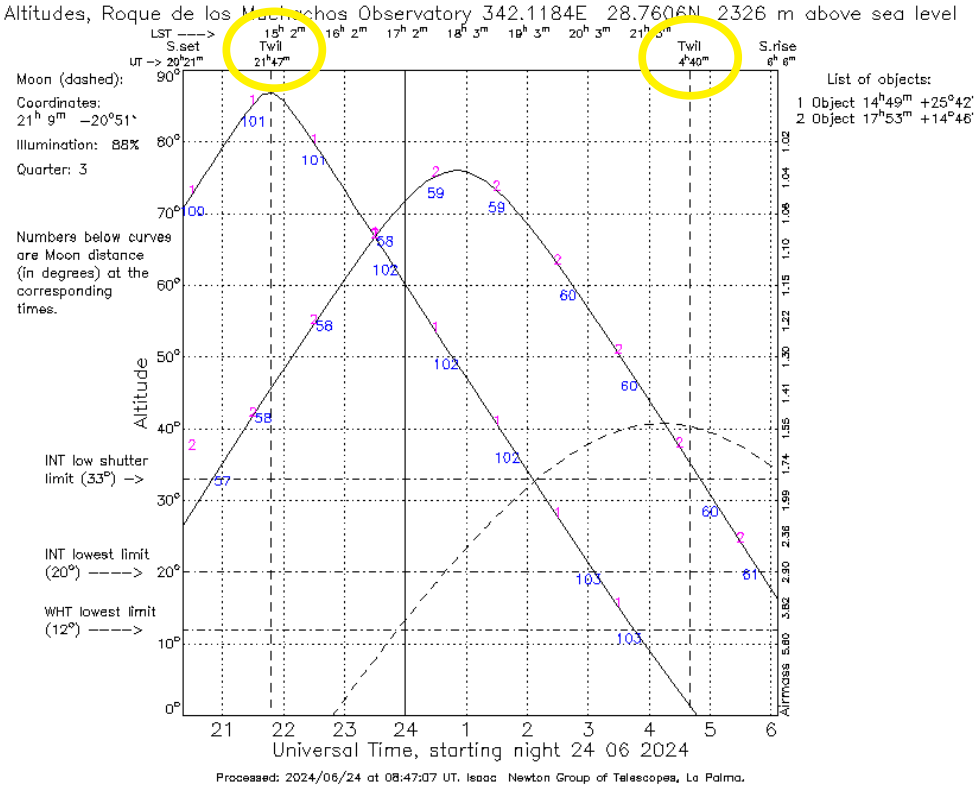
Sistemi di coordinate celesti

Visibilità di un oggetto celeste

Twilight astronomico

Delimitano il periodo in cui il cielo è completamente buio

La notte astronomica inizia quando l'altezza del Sole è sotto −18° e termina quando il Sole risale oltre −18°



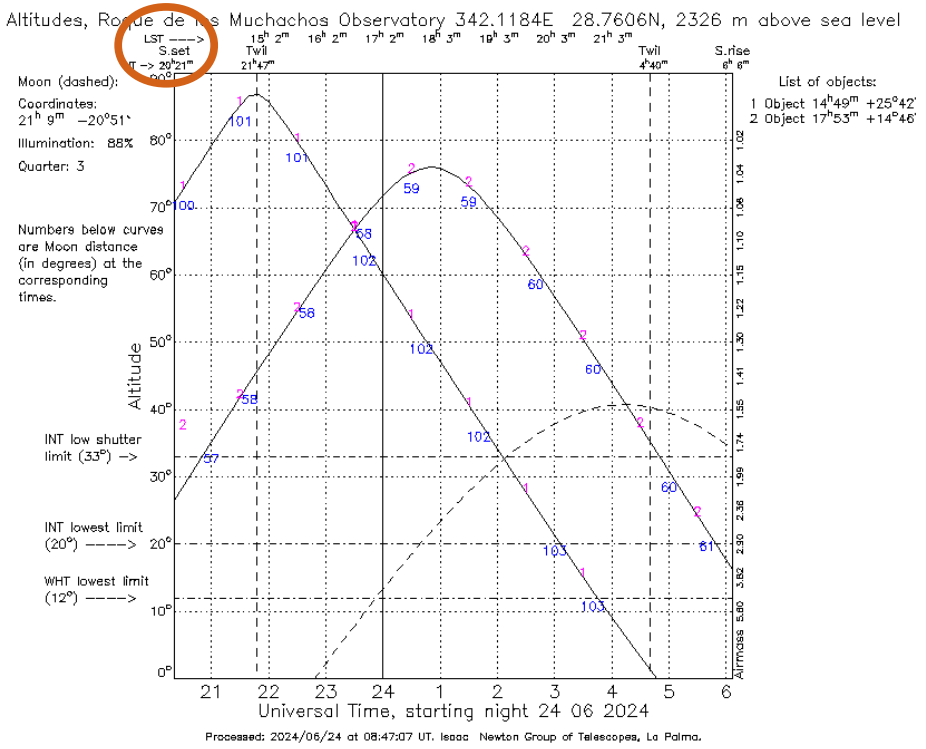
Sistemi di coordinate celesti

Visibilità di un oggetto celeste

Tempo Siderale Locale

Coincide con l'Ascensione Retta dell'oggetto che sta transitando sul meridiano dell'osservatore

Si basa sulla rotazione della Terra rispetto alle stelle anziché rispetto al Sole.



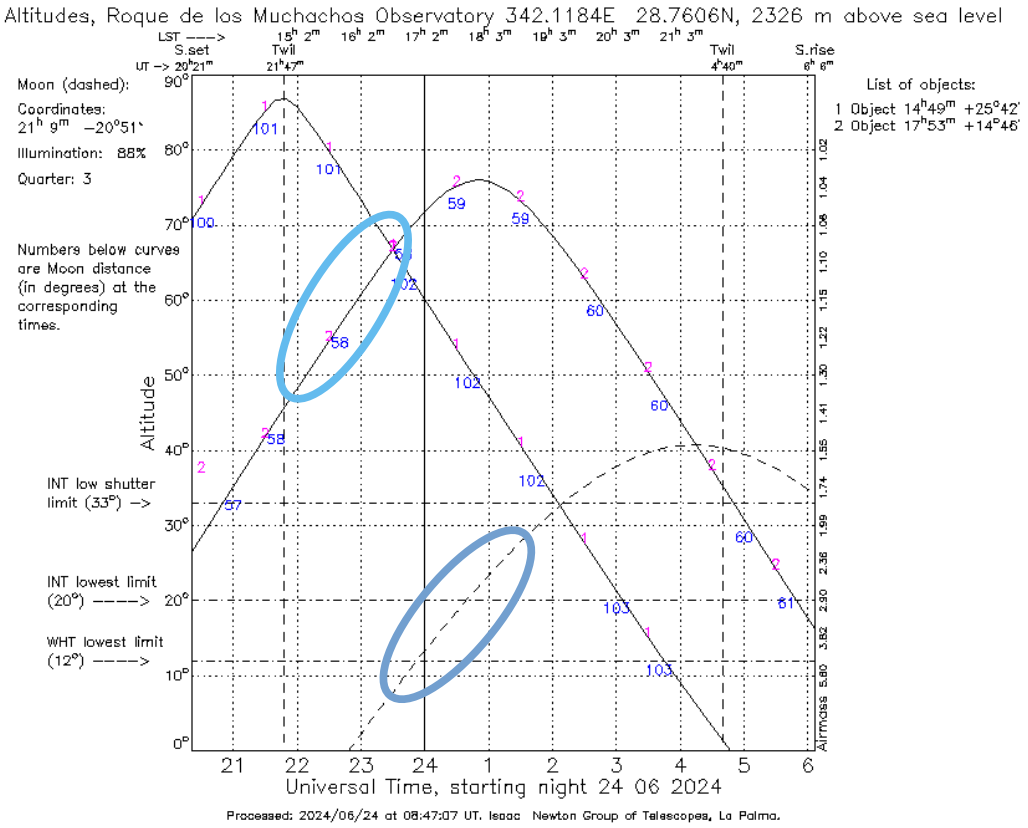
Sistemi di coordinate celesti

Visibilità di un oggetto celeste

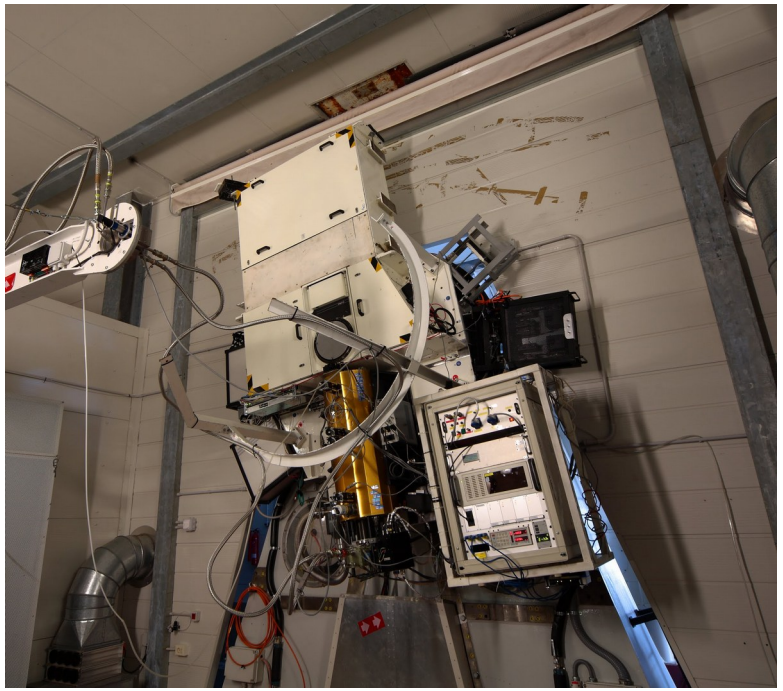
Curva di visibilità

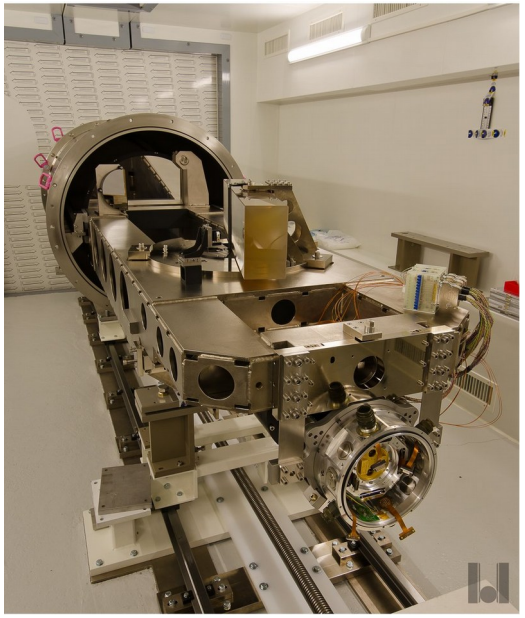
——————— Altezza oggetto astronomico sopra l'orizzonte

---------- Altezza Luna sopra l'orizzonte



Telescopio + Strumenti + Software = Scienza



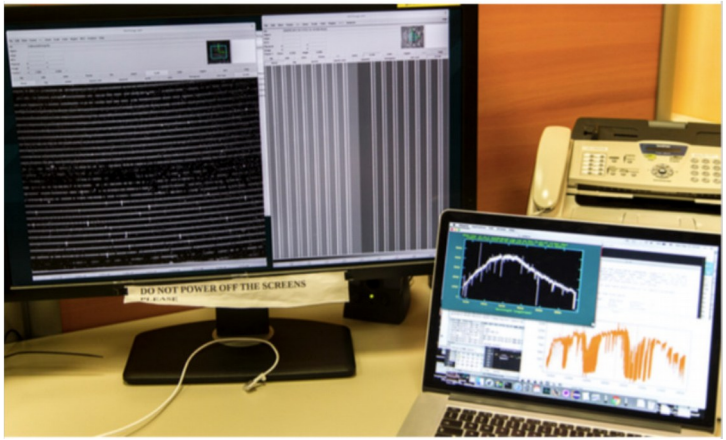




5 strumenti - 60 computers - 800 Gb /anno di dati

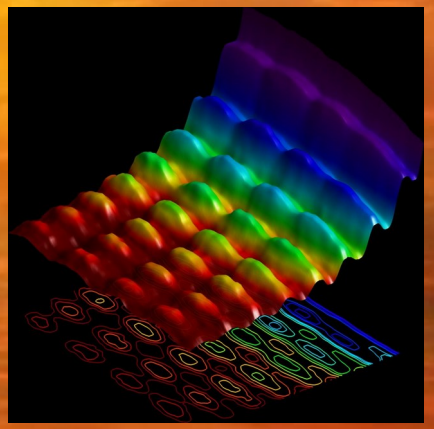




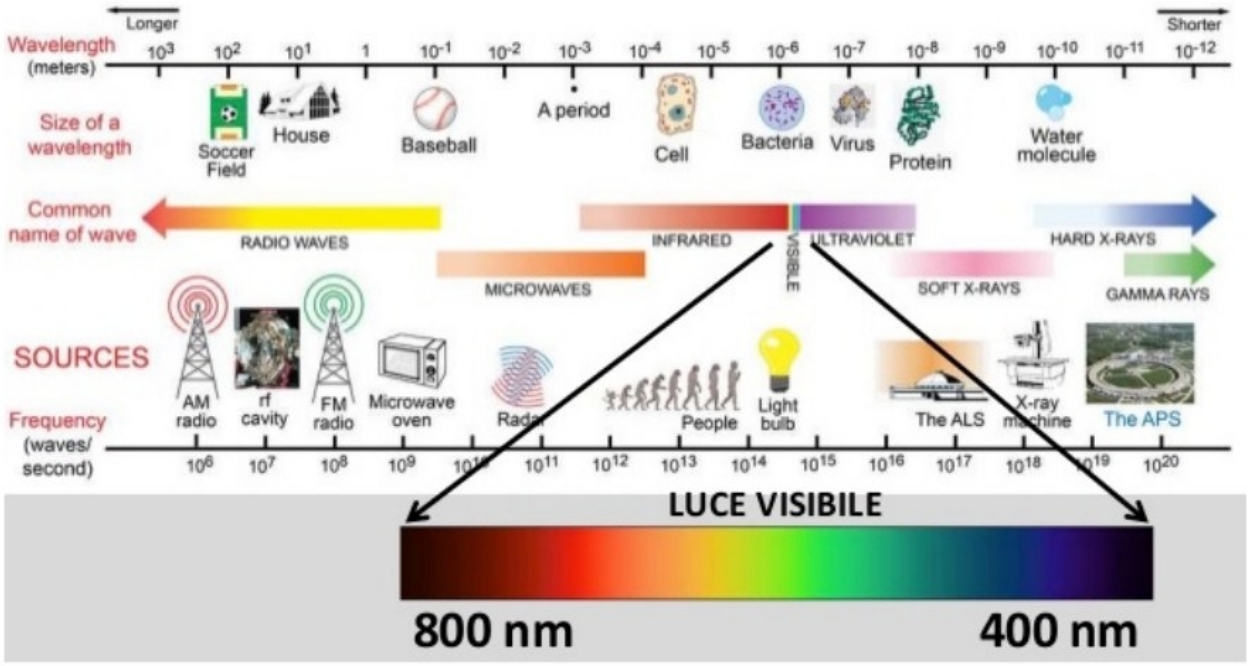


La luce come onda

Crediti: 2015 Fabrizio Carbone/EPFL



Spettro elettromagnetico e luce visibile



- La luce visibile è una piccola parte di tutta la radiazione elettromagnetica: quella che i nostri occhi riescono a percepire
- La luce è un'onda elettromagnetica

1 nm = un miliardesimo di m

- Un'onda elettromagnetica è caratterizzata da una **frequenza** υ e da una **lunghezza d'onda** λ

$$\upsilon = v/\lambda \qquad E = h\nu$$

dove v è la velocità della luce nel mezzo di propagazione

- Nel vuoto v = 300 000 km/s = 3 x 10^8 m/s



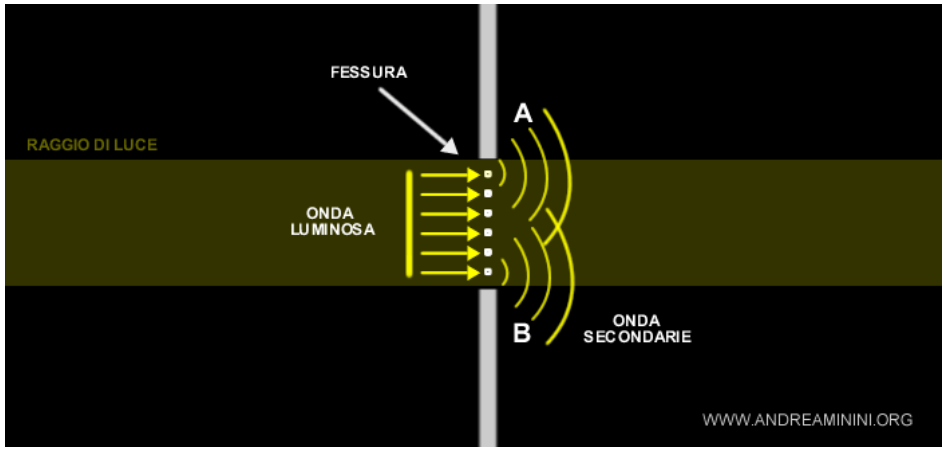
$h = 6{,}626\,070\,15 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$

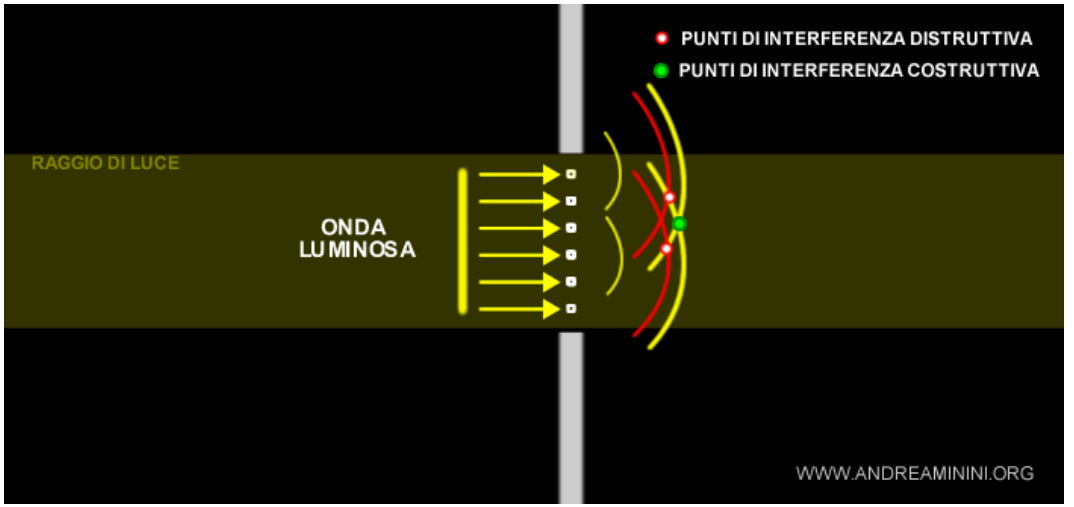
La diffrazione

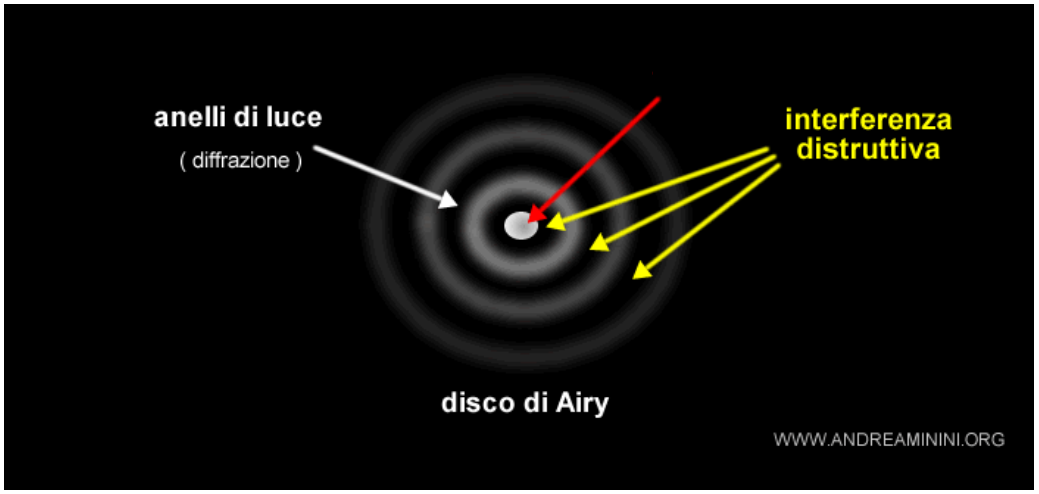
Quando la luce mette dei limiti ai telescopi

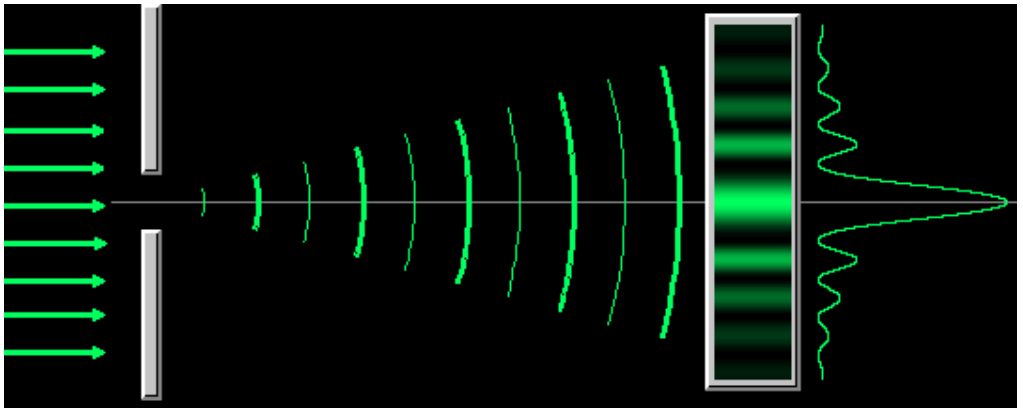
Si manifesta quando un raggio luminoso incontra un ostacolo o una fenditura le cui dimensioni sono comparabili alla sua lunghezza d'onda (10^{-7} m)

Principio di Huygens-Fresnel: ogni punto di un fronte d'onda si comporta come una sorgente secondaria di onde sferiche

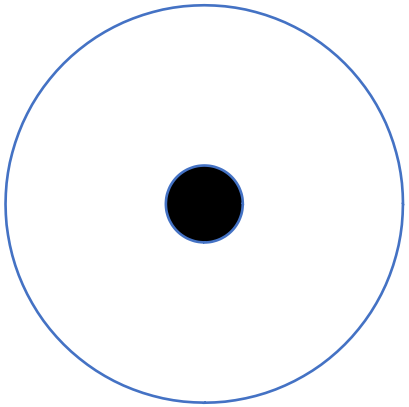


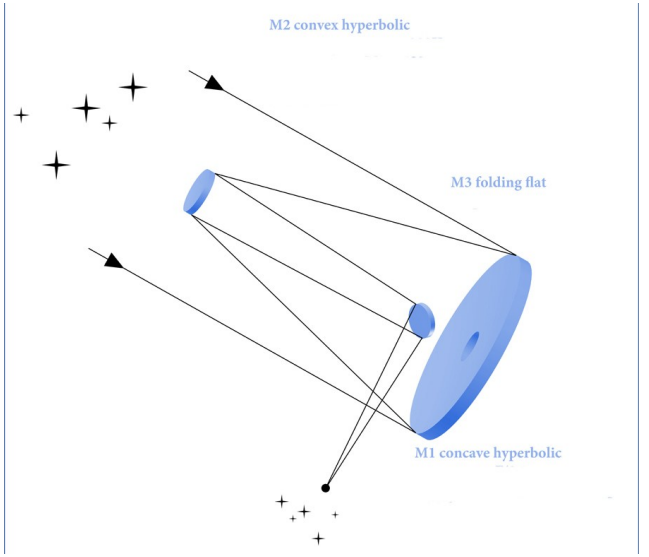




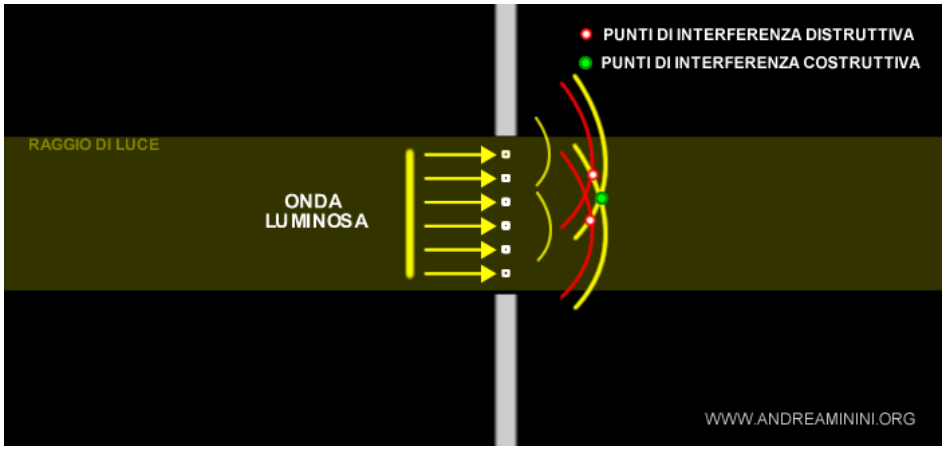


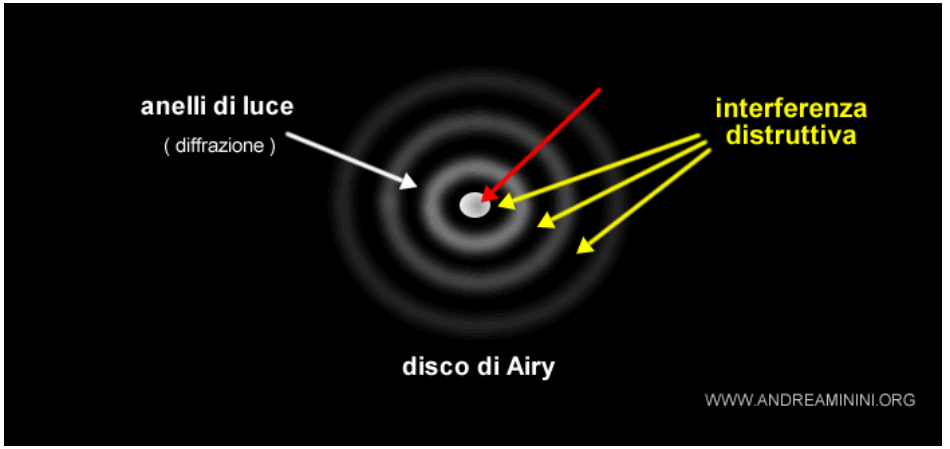
Per un'onda luminosa l'apertura di un telescopio riflettore ha la forma di una ciambella a causa dell'ostruzione dello specchio secondario





Nei telescopi la luce attraversa un'apertura di dimensioni finite. Per il **principio di Huygens-Fresnel**, il fronte d'onda genera onde secondarie che interferiscono tra loro, dando origine alla **figura di Airy:** *limite ottico ideale nel caso in cui il sistema telescopio+strumento+atmosfera fosse perfetto ...*

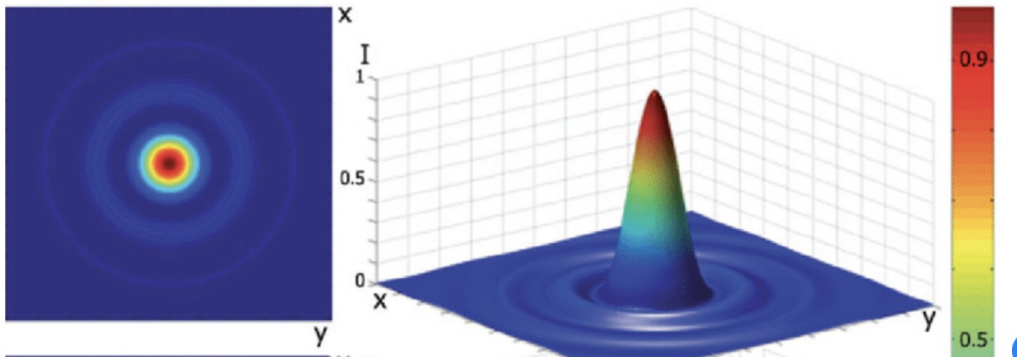


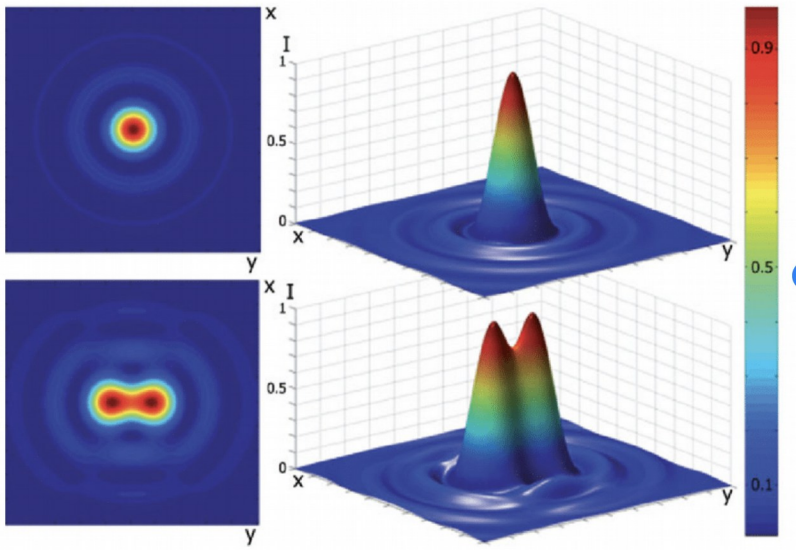


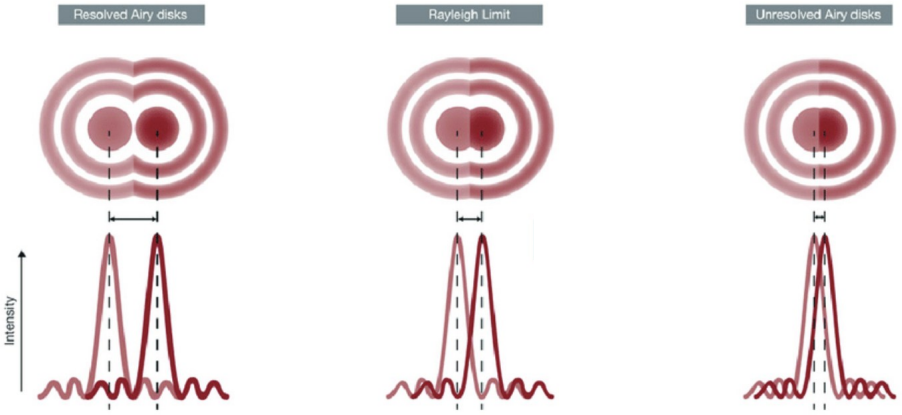
Nella realtà la luce attraversa molti elementi NON PERFETTI che allargano la **figura di Airy** determinata solo dalla diffrazione: la larghezza di questa figura determinata dalla risposta complessiva del sistema ottico si chiama **PSF**

PSF = Figura di Airy + turbolenza atmosferica + aberrazioni + strumento

Definisce la distanza minima per cui possiamo separare 2 oggetti puntiformi



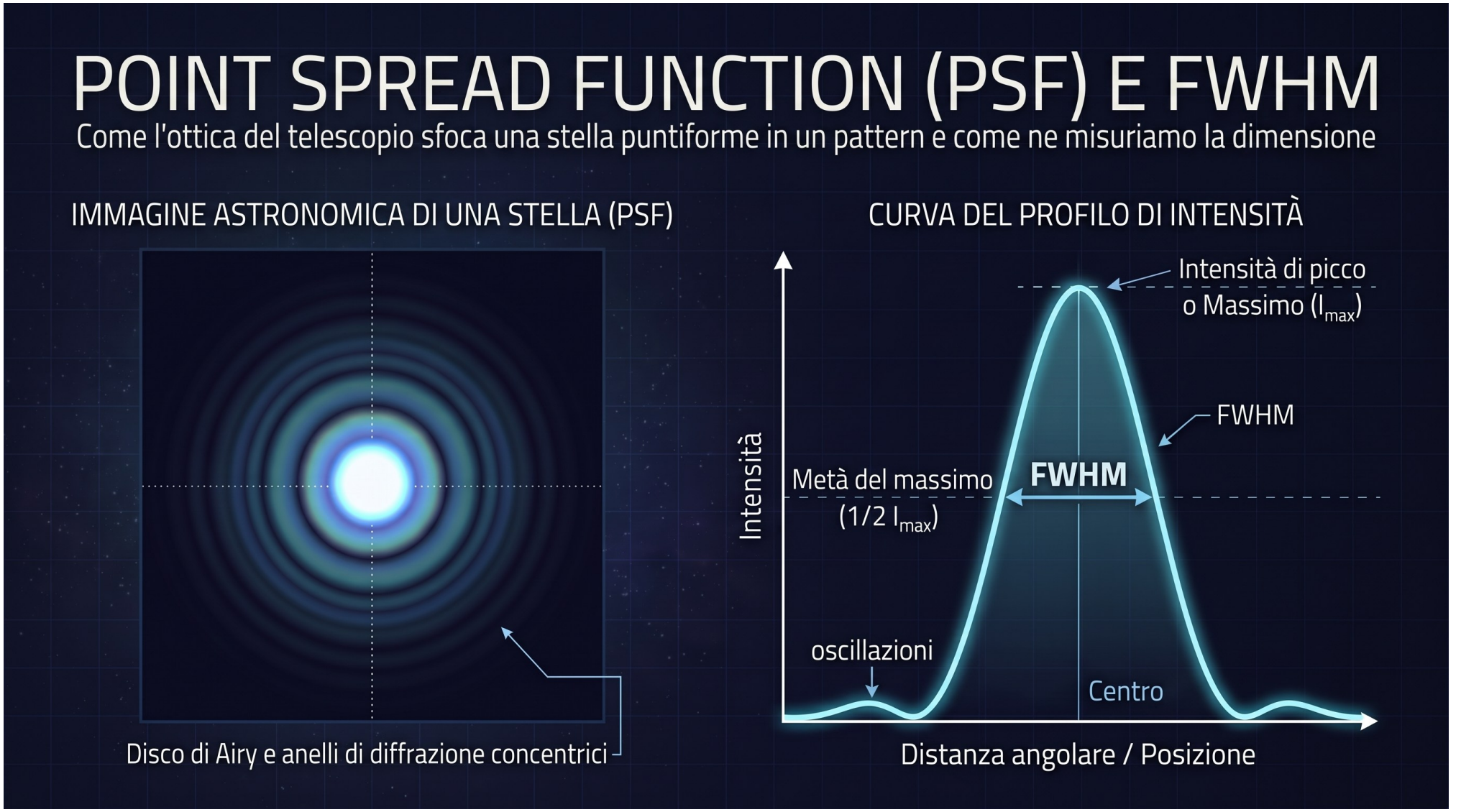




θ (rad) = 1.22 λ/D $\lambda = 10^{-7}$m e D diametro dello specchio

Limite di Rayleigh o limite di risoluzione: Quanto appare larga la PSF della stella dal picco luminoso della figura di Airy al primo minimo

Dalla PSF alla FWHM

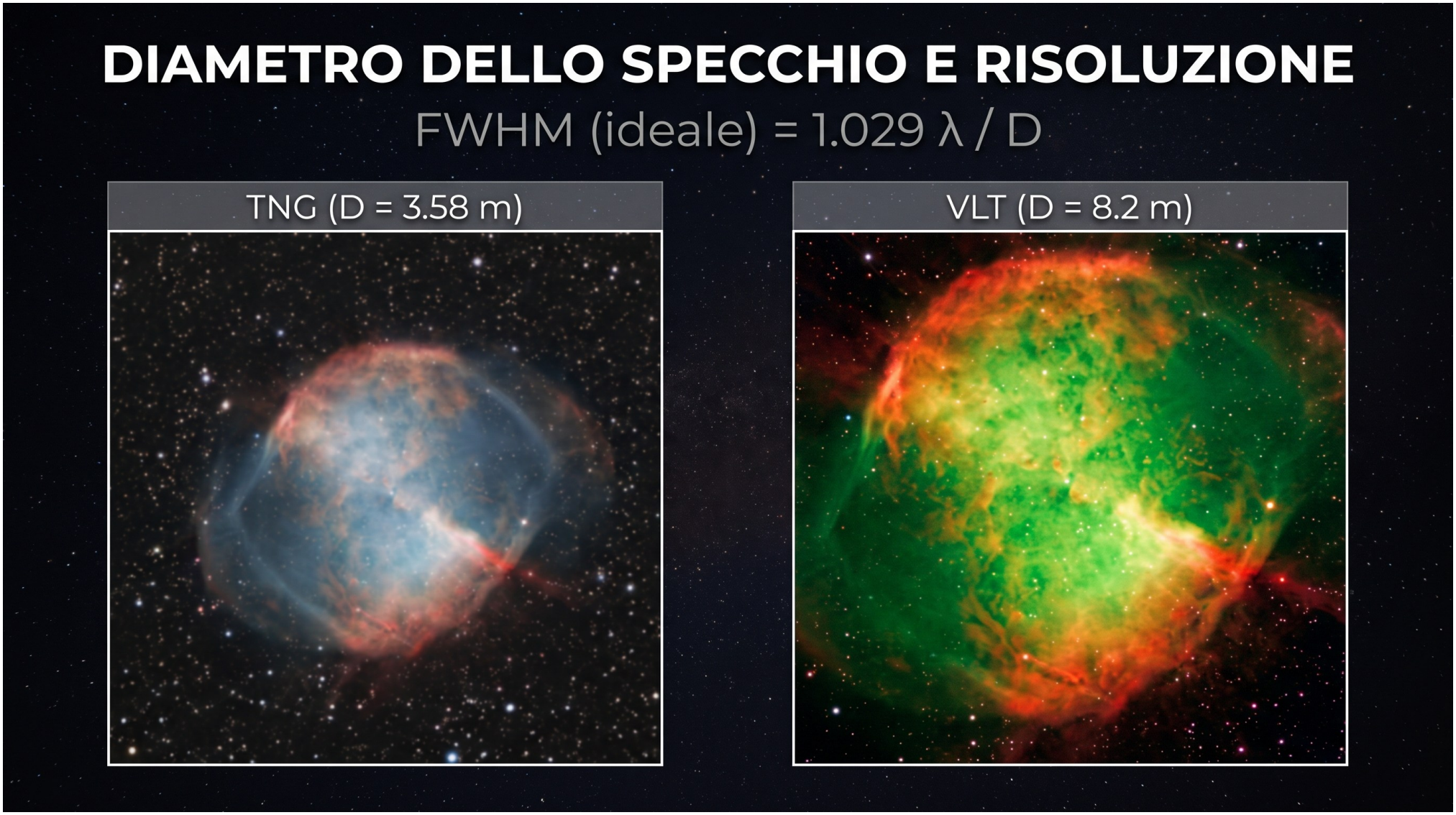


La FWHM si definisce come la larghezza a metà altezza della PSF di una stella

FWHM (ideale) $= 1.029\ \lambda/D \sim 10^{-7}$ rad $=$ 0.02 arcsec per un telescopio con D=10m e λ = 1µm

1 radiante ~ 206265 secondi d'arco

Dalla PSF alla FWHM



Dal caso ideale a quello reale

L'atmosfera ed il Seeing

Il Seeing indica il grado di degradazione dell'immagine ideale causato della turbolenza atmosferica

L'atmosfera non è omogenea: ha una struttura di turbolenza distribuita in "bolle" al cui interno cambiano: temperatura, densità ed indice di rifrazione *n.*

La dimensione delle bolle è in genere << della dimensione del telescopio.

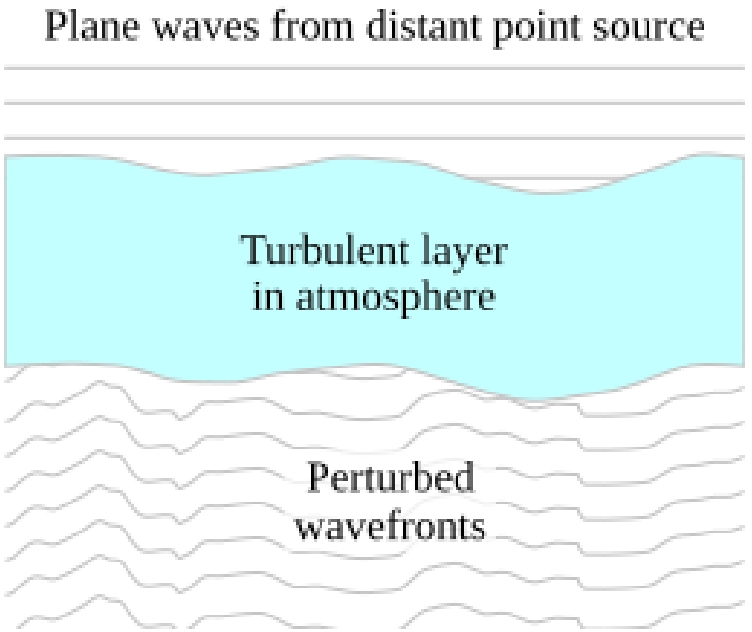
L'onda piana attraversa zone con *n* diverso in cui cambia la velocità della luce:

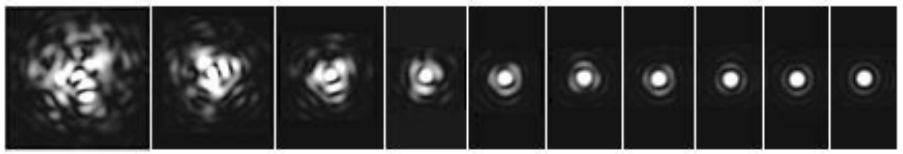
v=n/c

Il risultato è che l'onda piana viene distorta rapidissimamente portando ad una PSF molto allargata.

L'effetto è maggiore per λ minori.

Nei migliori telescopi la PSF risultante è 0.5 arcsec





Molti telescopi usano l'Ottica adattiva che corregge il fronte d'onda deformato dall'atmosfera

Dal caso ideale a quello reale

Il Seeing di cupola

Il sistema telescopio+cupola *peggiora* ulteriormente il seeing per i gradienti di temperatura interni alla cupola → **cupole piccole e possibilmente aperte**





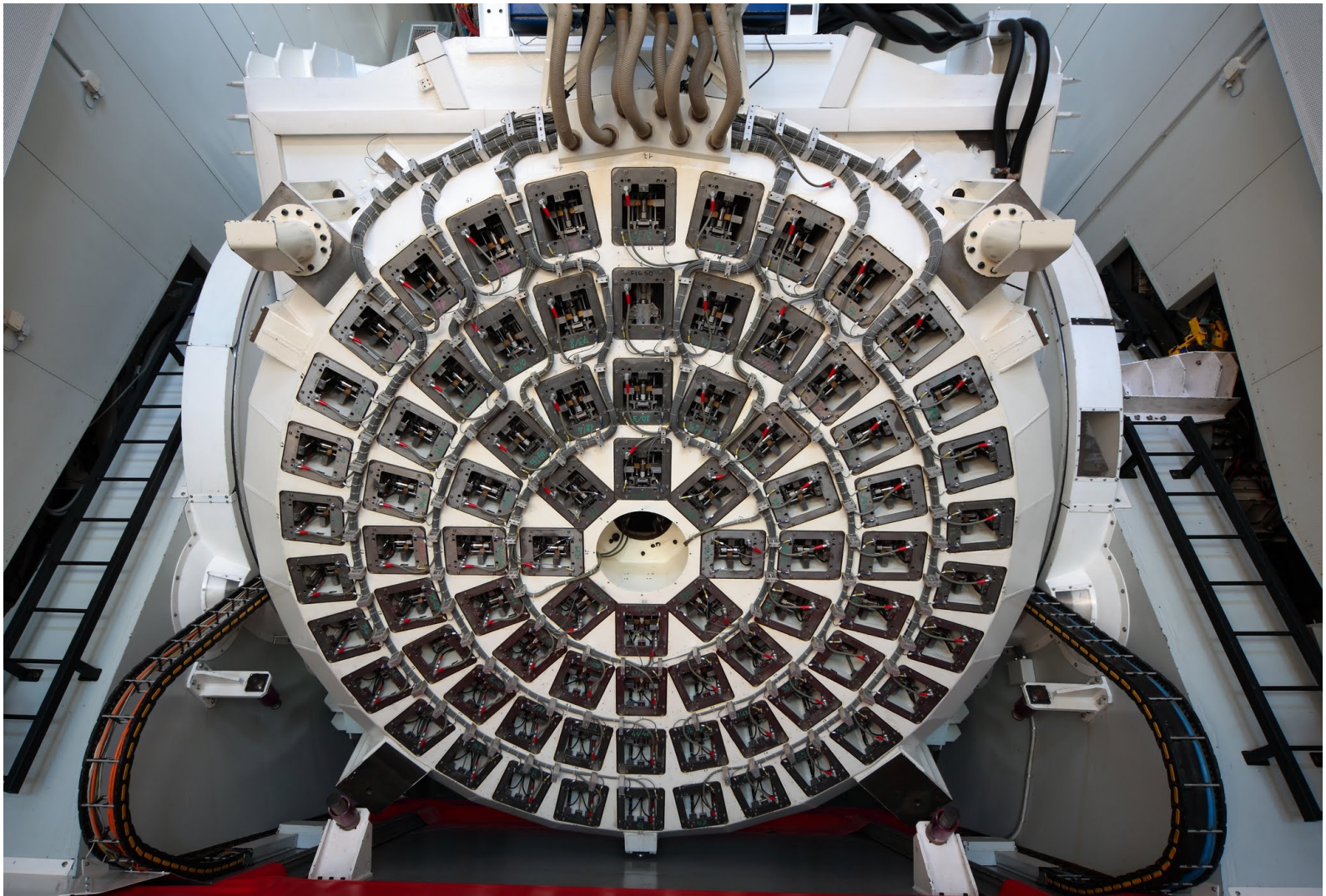
Dal caso ideale a quello reale



Dal caso ideale a quello reale

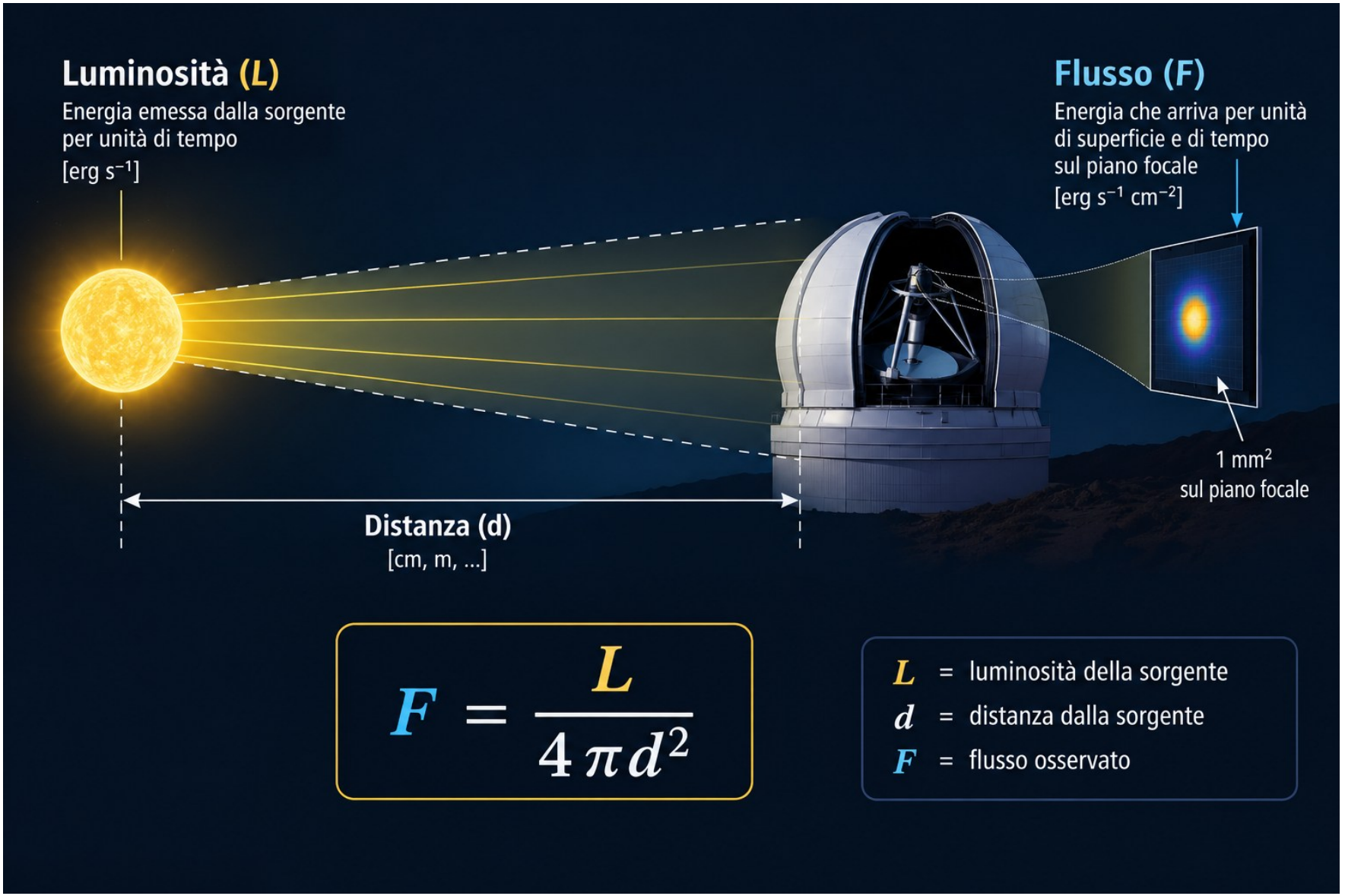
L'Ottica Attiva

Sistema che mantiene lo specchio primario nella forma ideale durante le osservazioni. Sensori e attuatori correggono continuamente le deformazioni causate dalla gravità, dalle variazioni di temperatura e dalle sollecitazioni meccaniche, preservando la migliore qualità dell'immagine.

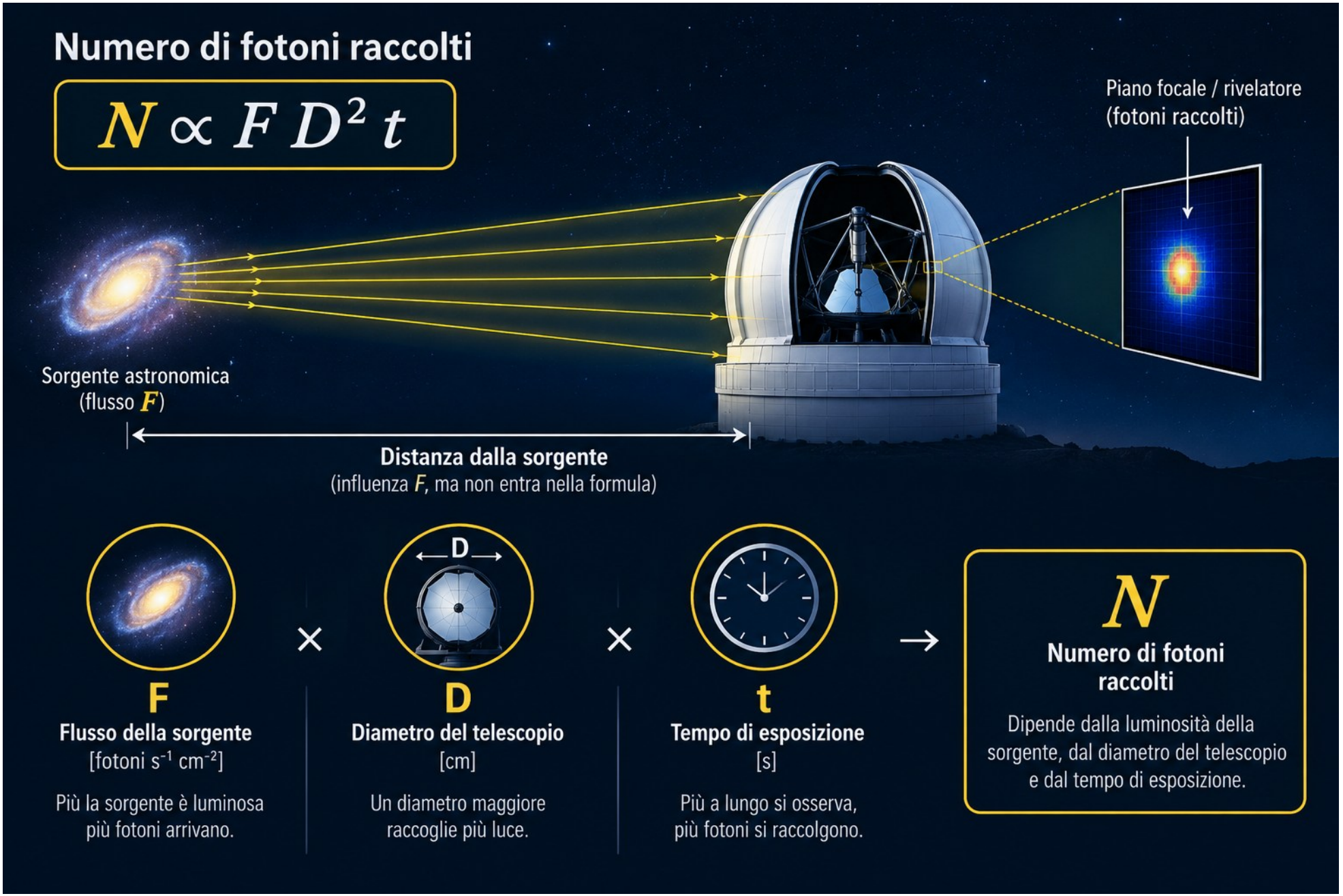


Cosa misurano i telescopi?

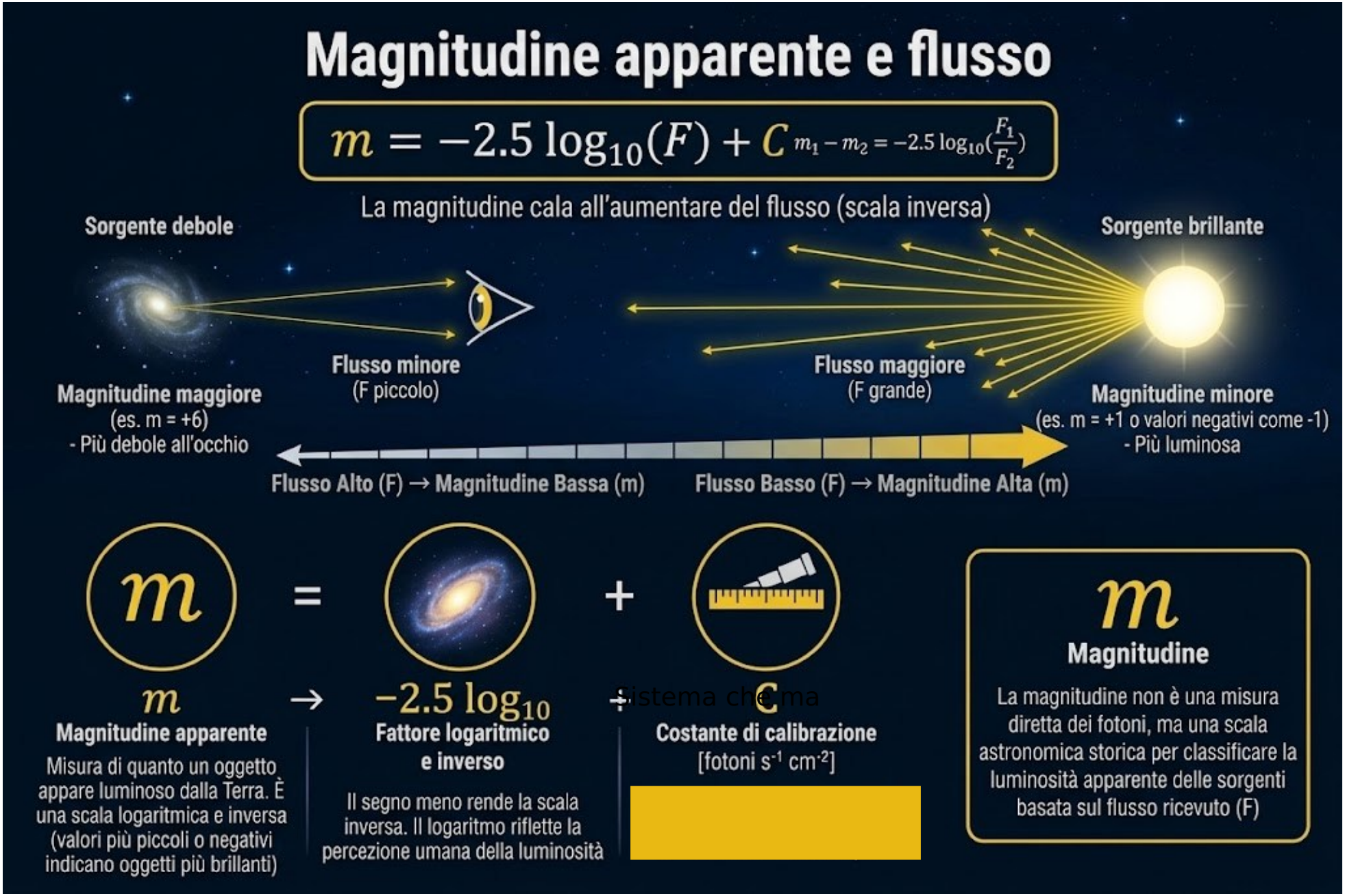
Dalla luminosità al flusso osservato



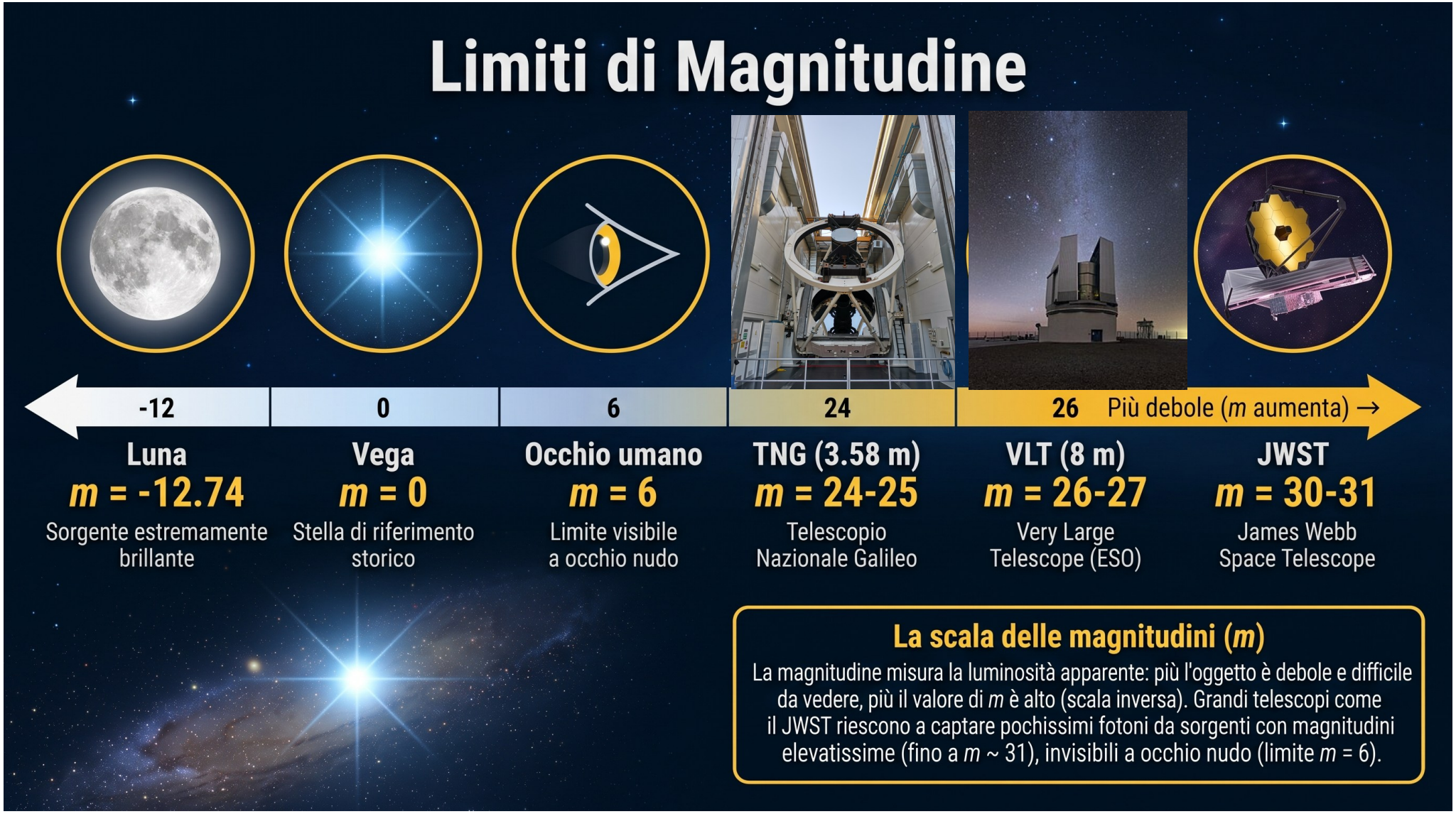
Cosa misurano i telescopi?



Cosa misurano i telescopi?



Cosa misurano i telescopi?

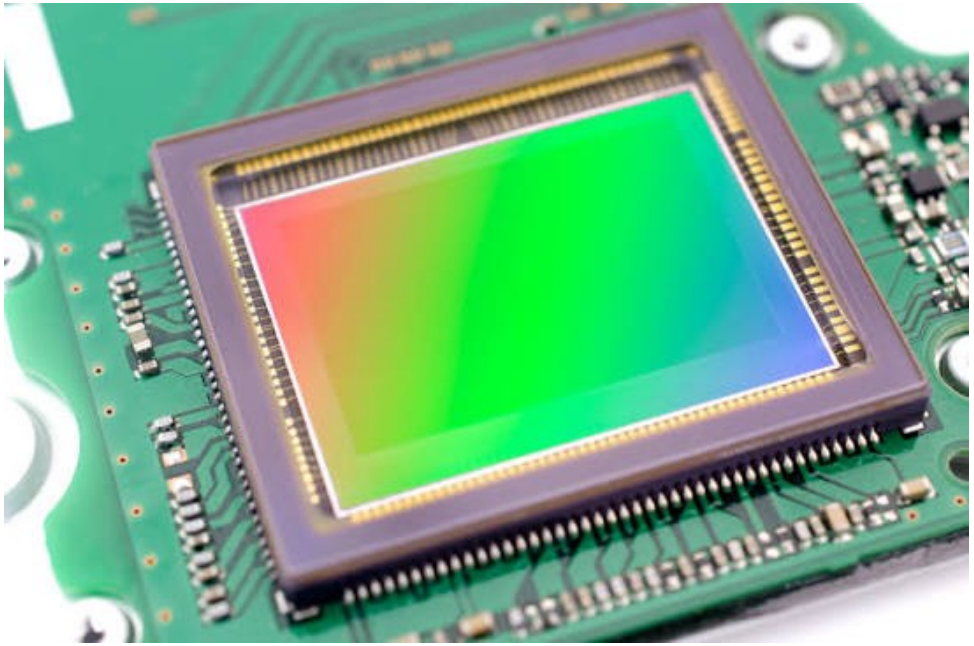


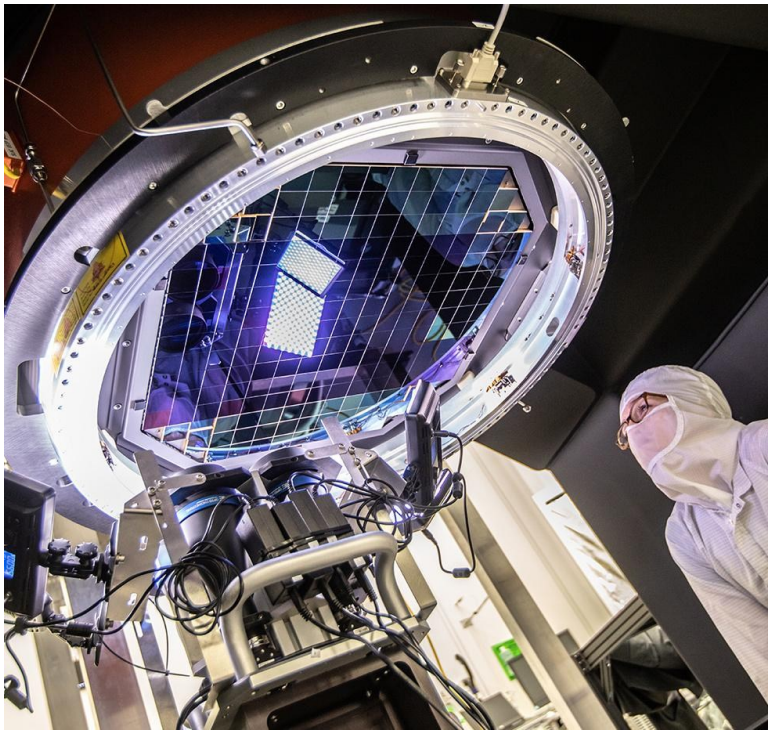
Dalla luce al dato

Telescopio -> strumento -> rivelatore

Le CCD sono matrici di pixel fotosensibili

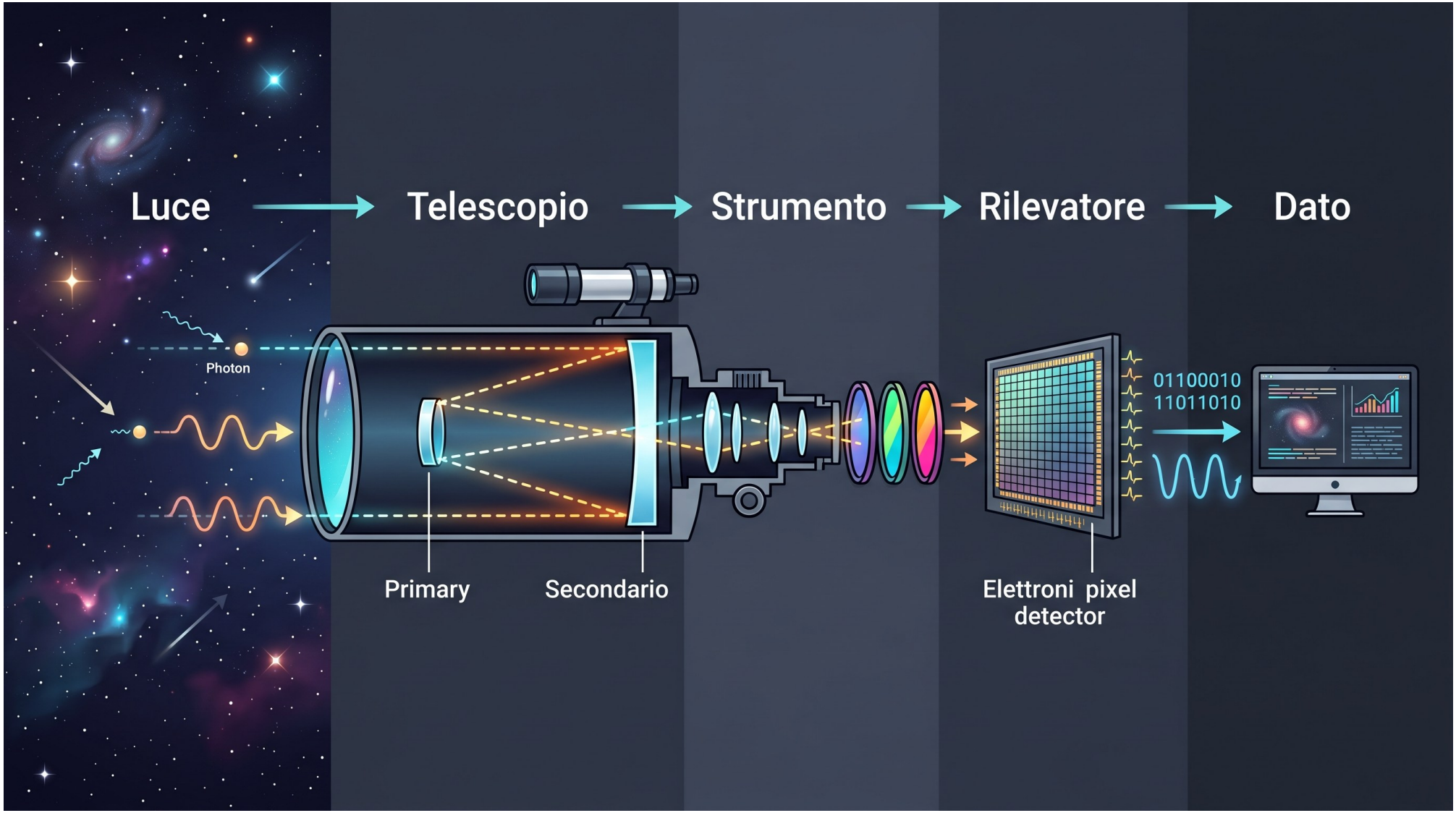
Sensori che rilevano la luce e la trasformano in segnali elettrici



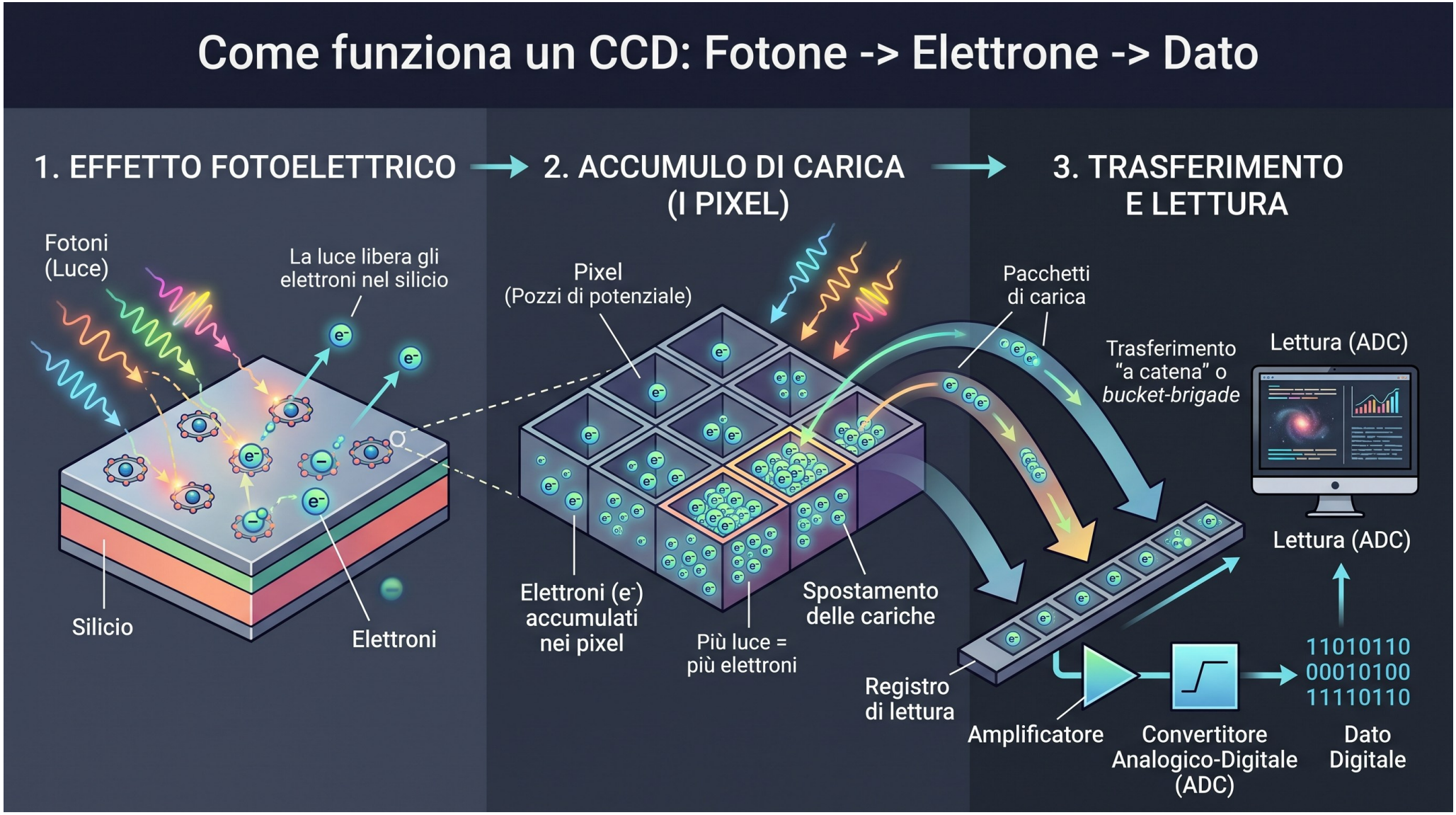


Dalla luce al dato

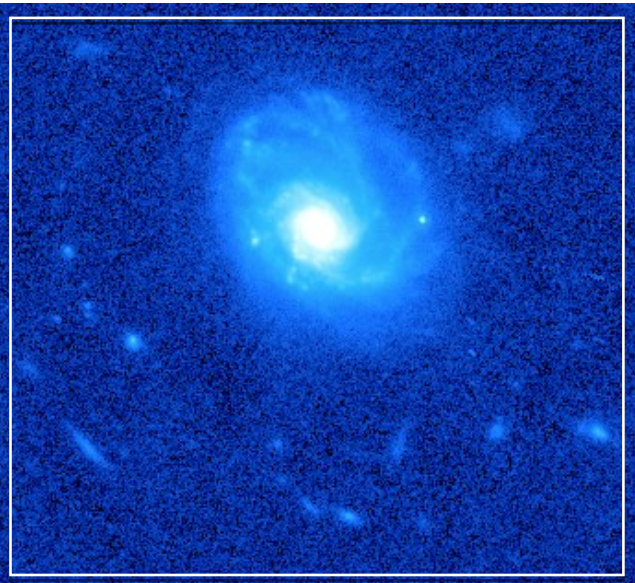
Telescopio -> strumento -> rivelatore



Dalla luce al dato

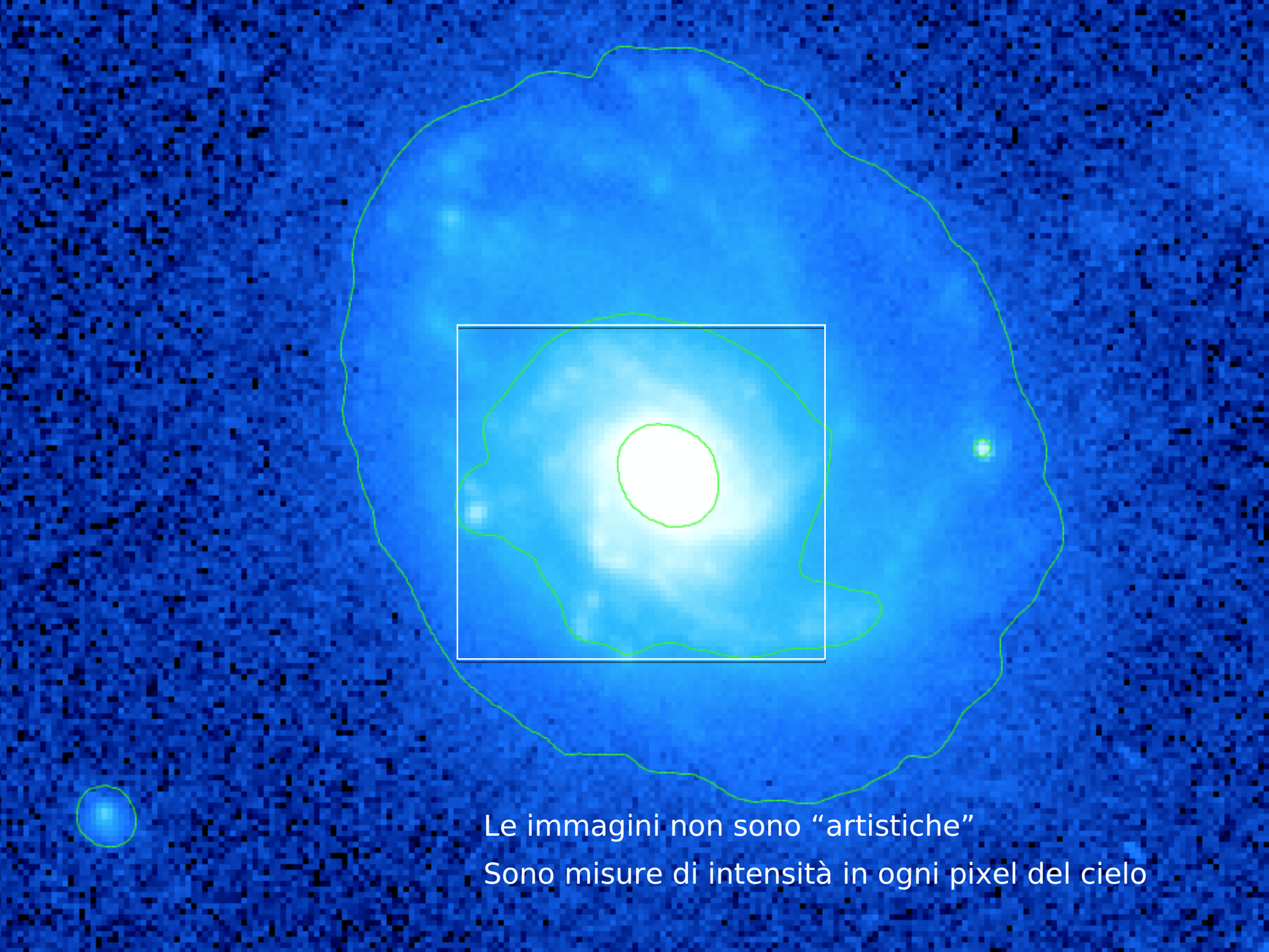


Ogni pixel misura la densità di flusso proveniente dalla zona di cielo sottesa



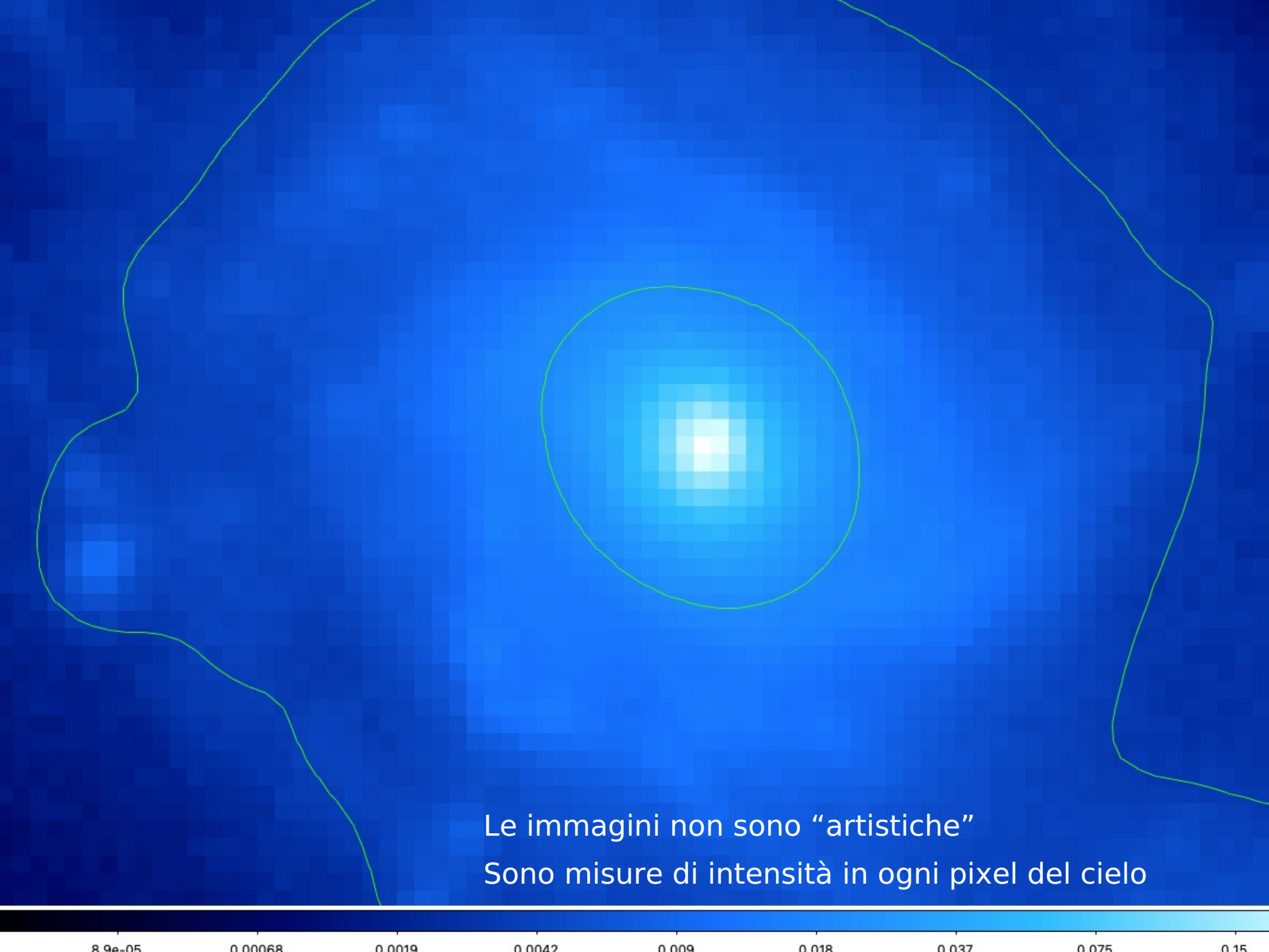
Le immagini non sono “artistiche”

Sono misure di intensità in ogni pixel del cielo



Le immagini non sono “artistiche”

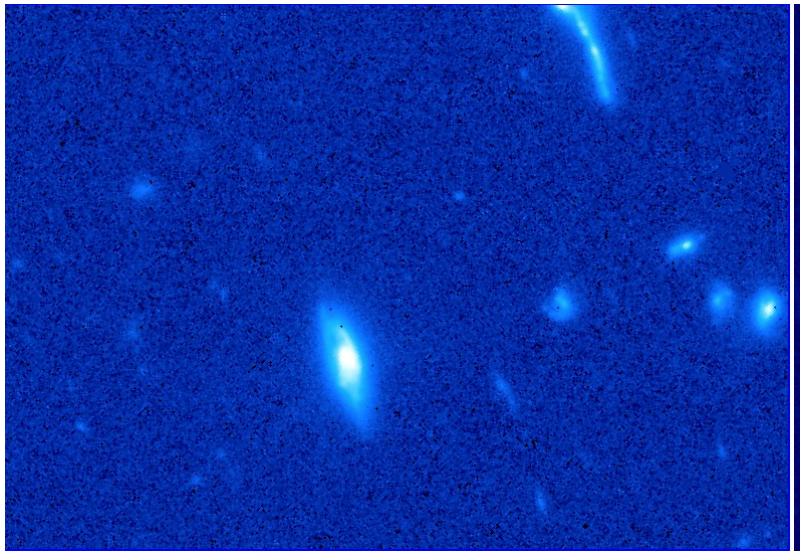
Sono misure di intensità in ogni pixel del cielo

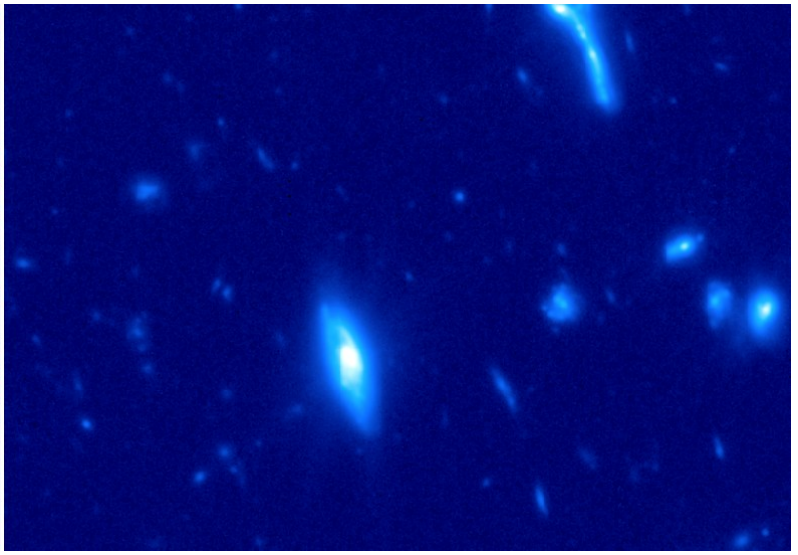

Le immagini non sono “artistiche”
Sono misure di intensità in ogni pixel del cielo
8.9e-05
0.00068
0.0019
0.0042
0.009
0.018
0.037
0.075
0.15

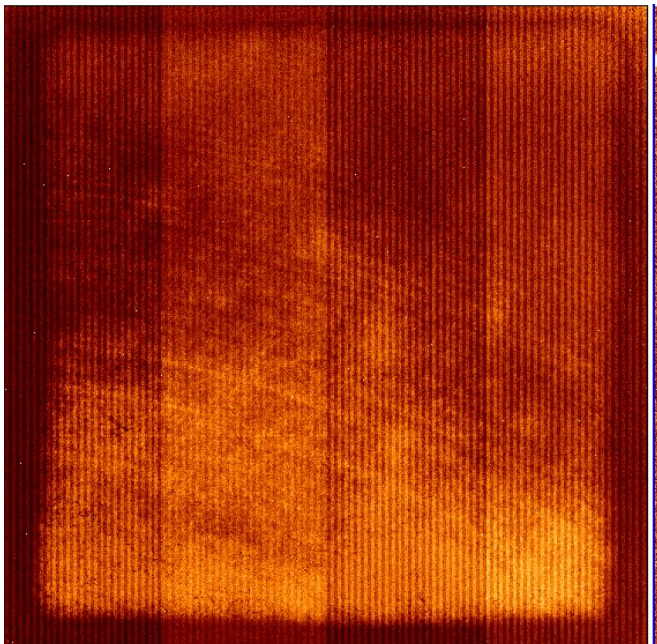
Dalla luce al dato

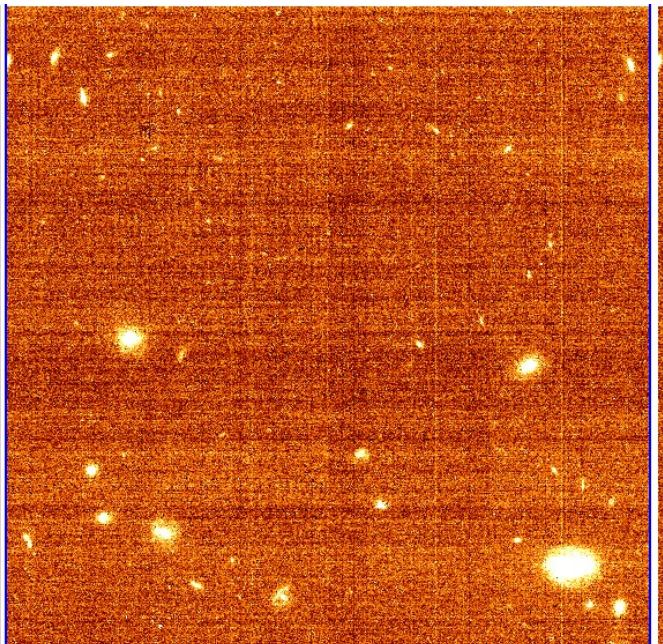
Le immagini prodotte dal sensore vanno **calibrate**

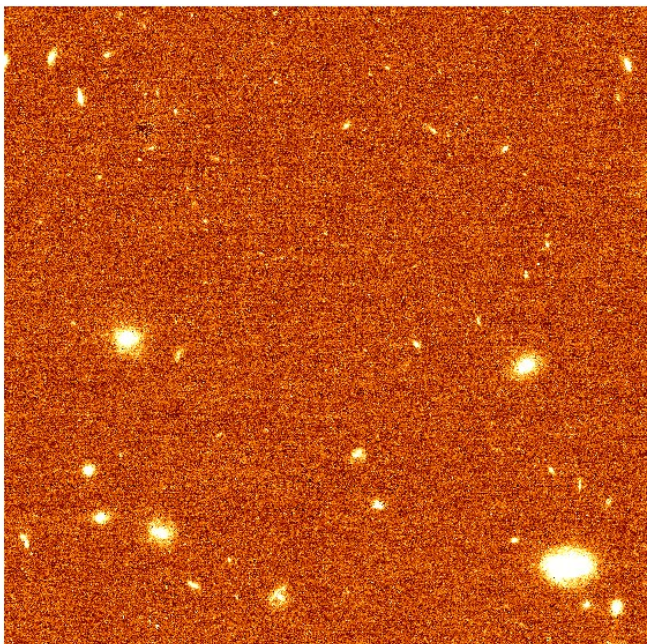
Non è una procedura “estetica” ma una procedura “fisica” di calibrazione + rimozione segnali elettronici

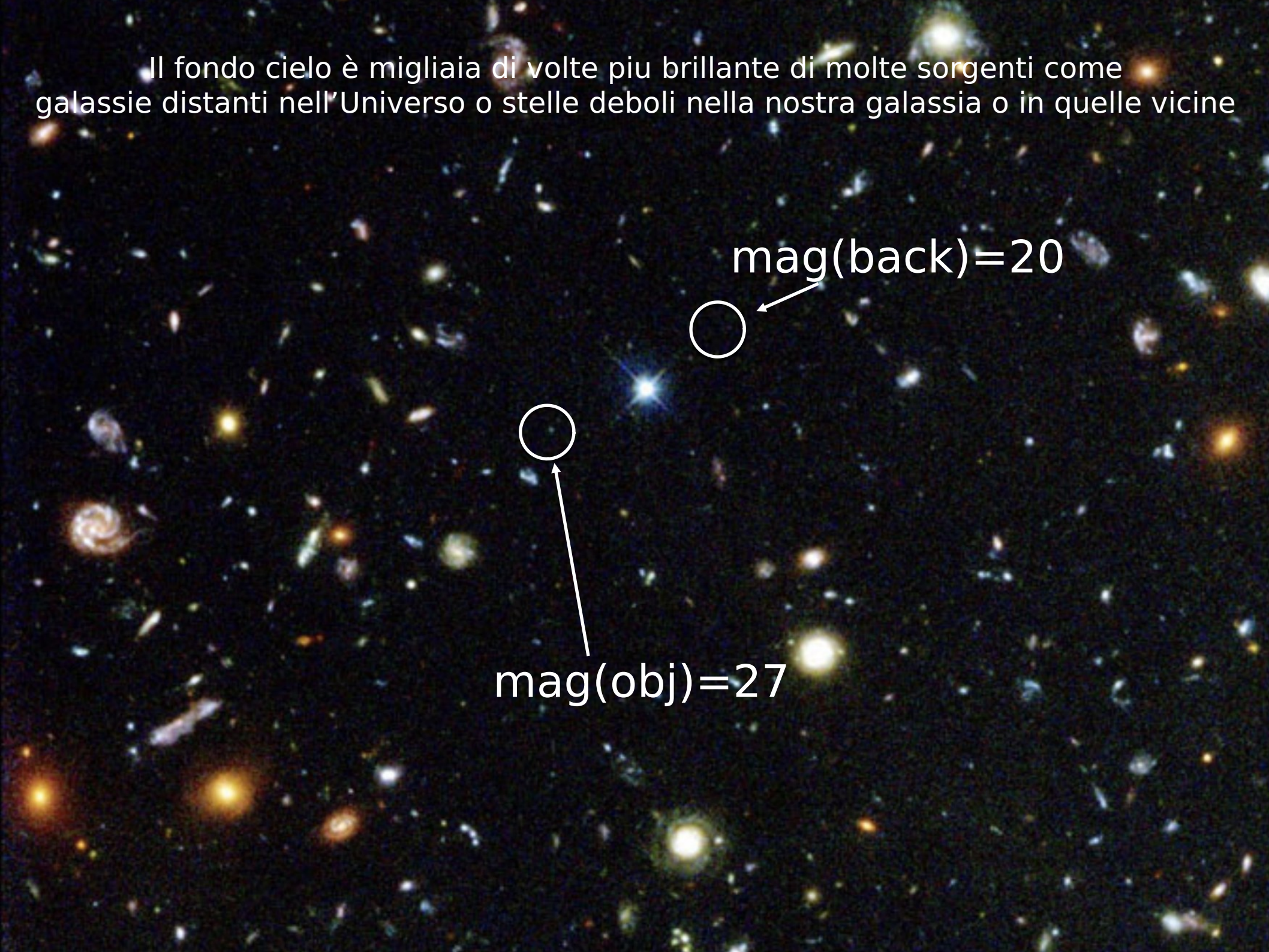











Il fondo cielo è migliaia di volte piu brillante di molte sorgenti come galassie distanti nell'Universo o stelle deboli nella nostra galassia o in quelle vicine
mag(back)=20
mag(obj)=27

Dalla luce al dato

Le immagini prodotte dal sensore vanno **calibrate**

Calibrazione CCD e Rapporto Segnale/Rumore

Calibrazione Immagine

Immagine Grezza (Raw)



Rumore e Fondo Cielo

Immagine Calibrata



Segnale Pulito

Calibrazione
(Sottrazione fondo e noise)

Modello Matematico

1. Segnale della sorgente (S)

$$S \sim F_{\text{sorgente}} \times A_{\text{telescopio}} \times T$$

Fotoni della sorgente × Area del telescopio × Tempo d'esposizione

2. Rumore Fondo Cielo (Poisson)

$$\sigma_B = \sqrt{B}$$

Fluttuazione statistica del rumore di fondo cielo (B)

3. Rapporto Segnale/Rumore (S/N)

$$S/N \sim \frac{S}{\sqrt{S + B + \sigma_{\text{elettronico}}{}^2}}$$

Dove S è il segnale, B è il fondo cielo, e $\sigma_{\text{elettronico}}$ è il rumore di lettura (Read Noise)

DALLA LUCE AI DATI, DAI DATI ALLA SCIENZA

Oggi abbiamo raccolto la luce. Domani la interrogheremo.

Oggi abbiamo scoperto come un telescopio raccoglie la luce e quali fattori determinano la qualità delle osservazioni. Ma come possiamo estrarre dalla luce le informazioni che cerchiamo?
Domani: fotometria, spettroscopia e strumenti del TNG per progettare un'osservazione scientifica.

Osservare non significa soltanto puntare un telescopio

I QUATTRO PILASTRI



Il telescopio
Raccogliere la luce e ottenere dati di qualità.



Lo strumento
Scegliere come analizzare la luce.



L'obiettivo scientifico
Decidere quali informazioni cercare.



Il tempo osservativo
Stabilire quanto osservare

Ci vediamo domani!

« …, Questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo) non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri ne' quali è scritto .. »

Galileo Galilei — Il Saggiatore, 1623

Buona fortuna!



Crediti

ESO
NASA
ESA
IAC
SAIT
Wikipedia
A. Fontana - INAF
A. Ghedina - TNG
V. Guido
G. Tessicini
TNG staff
IA chatgpt
IA Gemini
Campionati Italiani di Astronomia