

Il Telescopio Nazionale Galileo



Giovani Astronomi al TNG

9 Aprile 2025

Gloria Andreuzzi



INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
NATIONAL INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS



L'Osservatorio del Roque de los Muchachos

Posizione: Isola di La Palma (Canarie, Spagna)

Area: 189 ettari

Altitudine: 2.396 metri

Coordinate TNG:

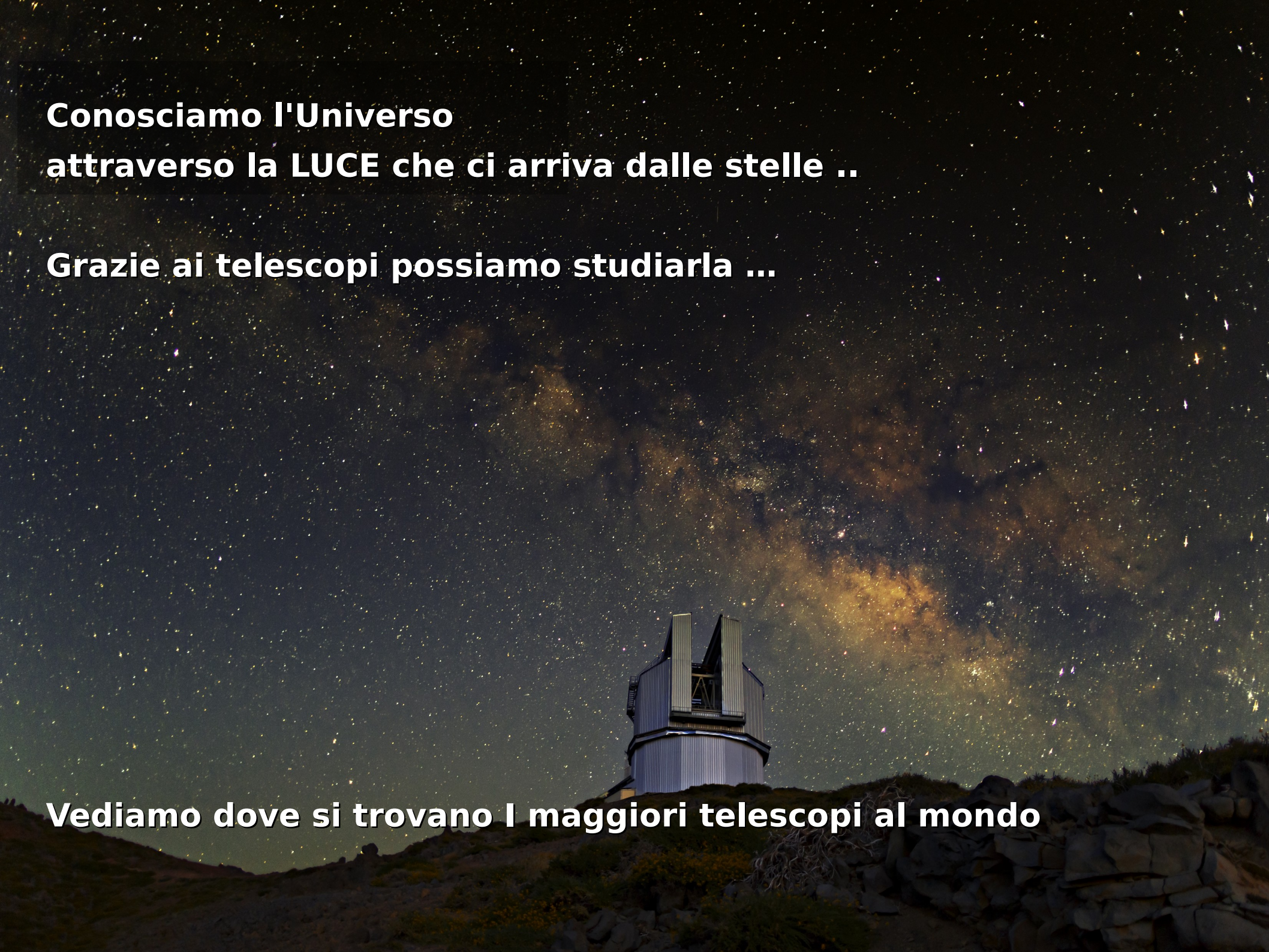
Longitudine: 17° 53' 20.6" W

Latitudine: 28° 45' 14.4" N

**Conosciamo l'Universo
attraverso la LUCE che ci arriva dalle stelle ..**

Grazie ai telescopi possiamo studiarla ...

Vediamo dove si trovano i maggiori telescopi al mondo



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



Perché un Osservatorio a La Palma?

Dalle stelle ci arriva pochissima luce

Le galassie più lontane che si possono vedere con i telescopi del Roque de Los Muchachos brillano come una lampadina da 100 W posta a 5 milioni di km di distanza: 10 volte più lontana della Luna.

Siti adatti

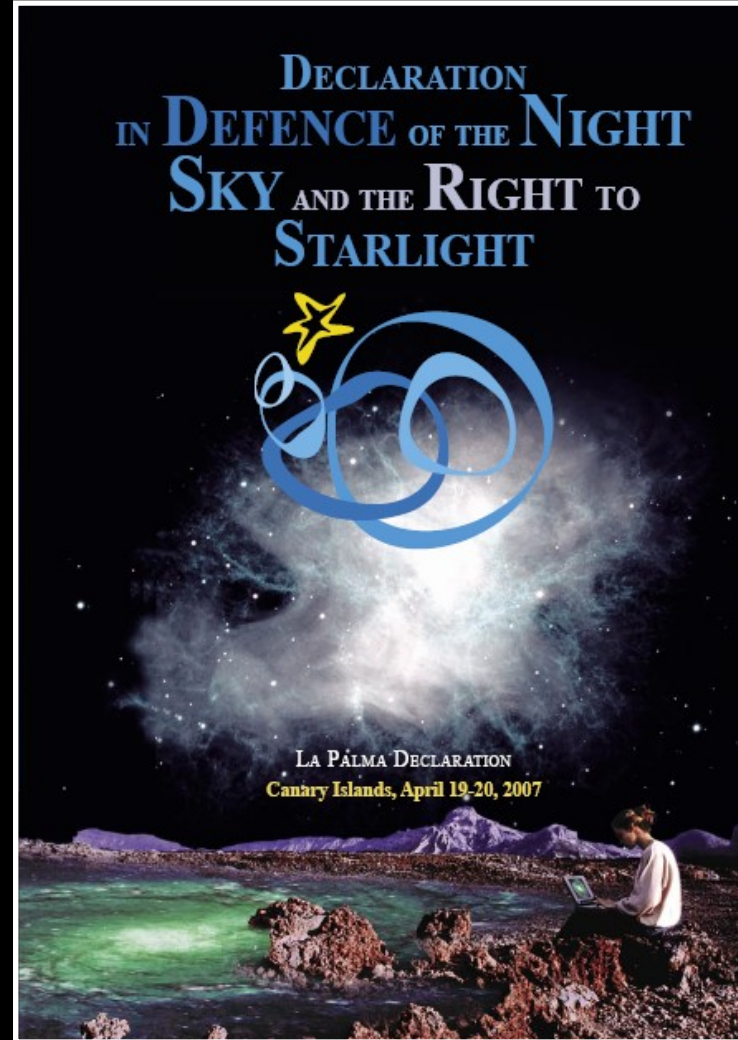
Cieli limpidi e sopra le nuvole

Poco inquinamento luminoso

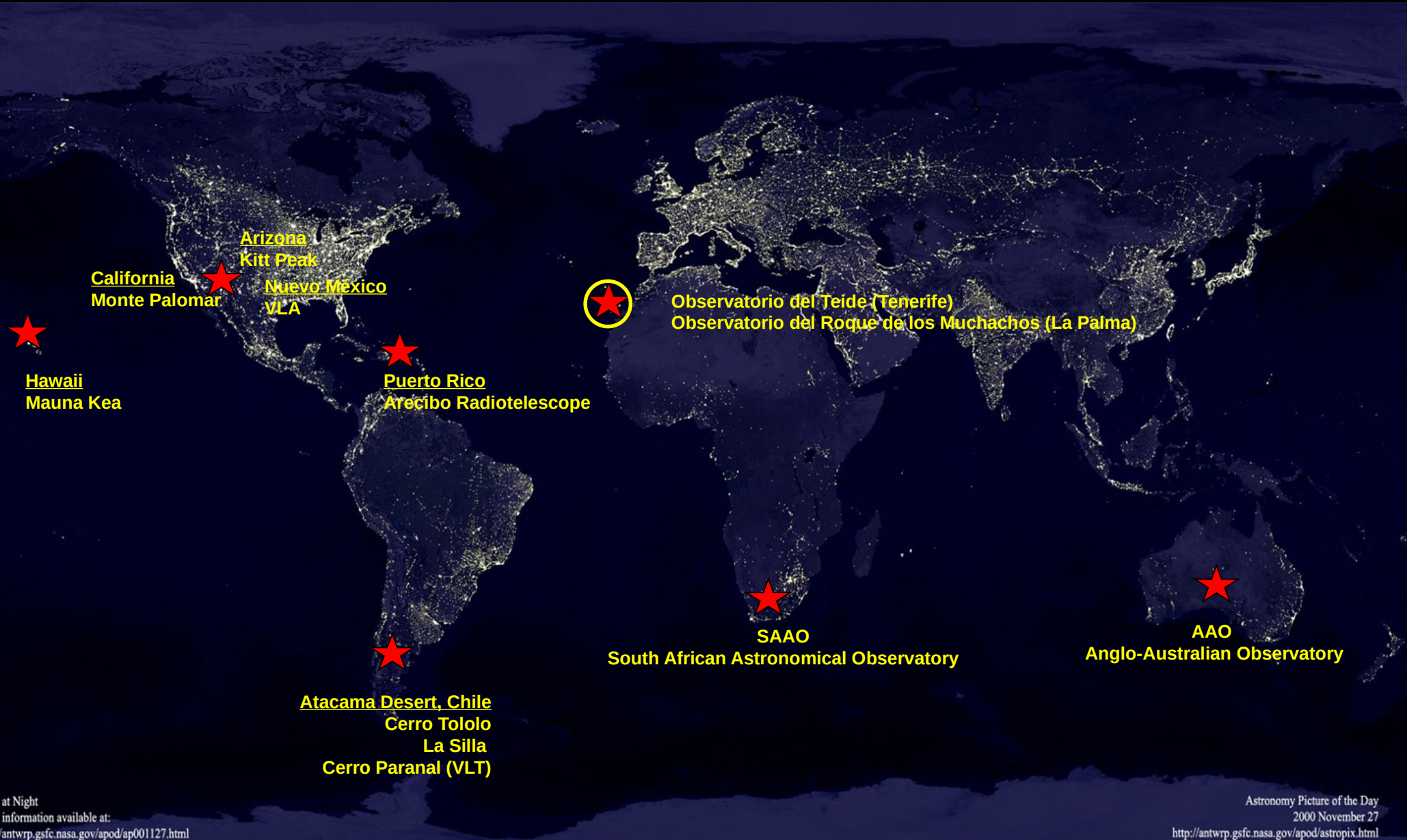
Grandi telescopi



La Palma: Un cielo protetto per legge

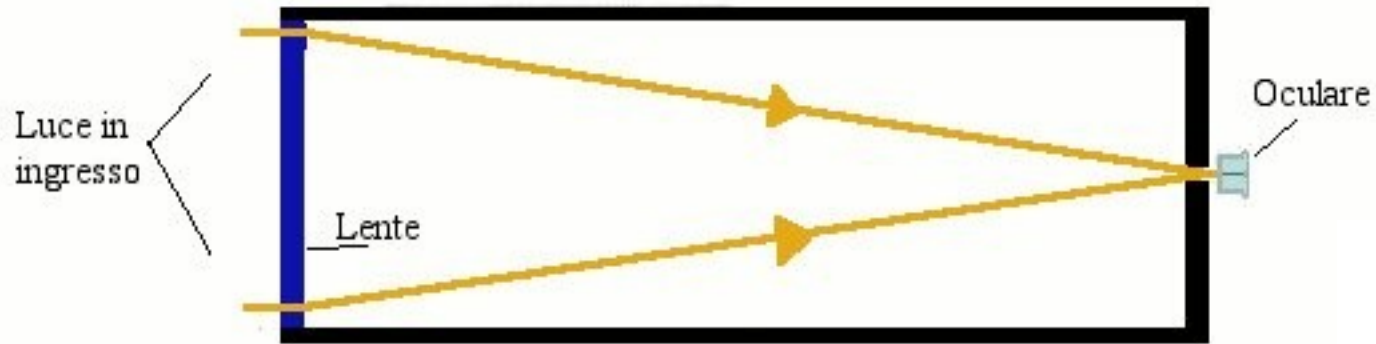


Dove si trovano i maggiori osservatori del pianeta?

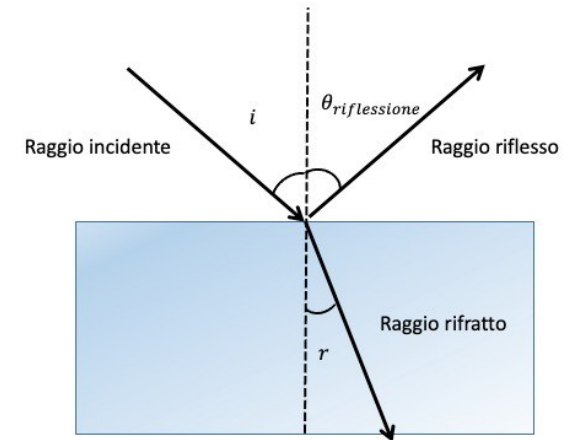
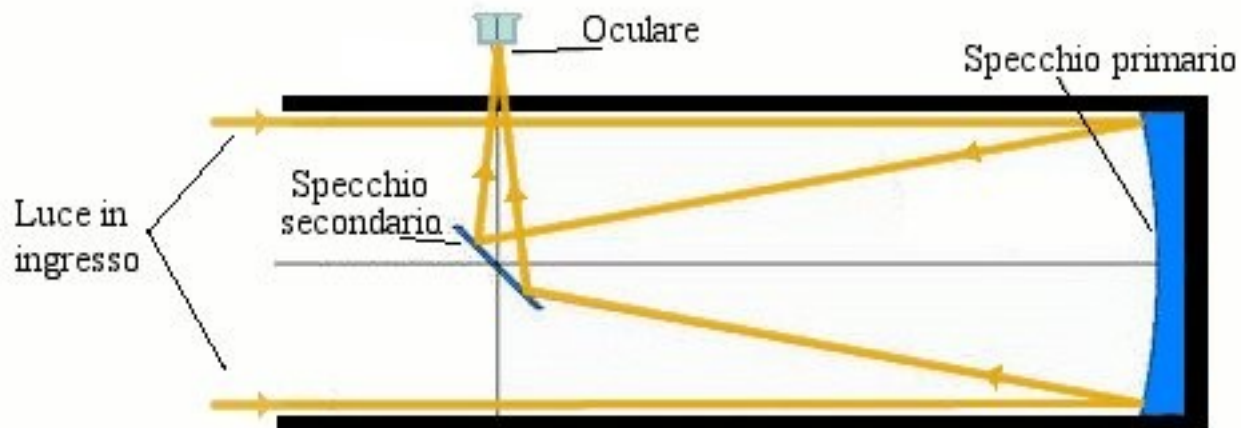


Come funzionano i telescopi?

Telescopi Rifrattori: Utilizzano lenti per raccogliere la luce.



Telescopi Riflettori: Sfruttano gli specchi per concentrare la luce.

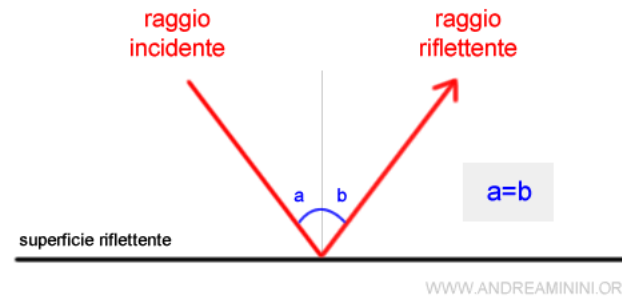


Il Telescopio Nazionale Galileo

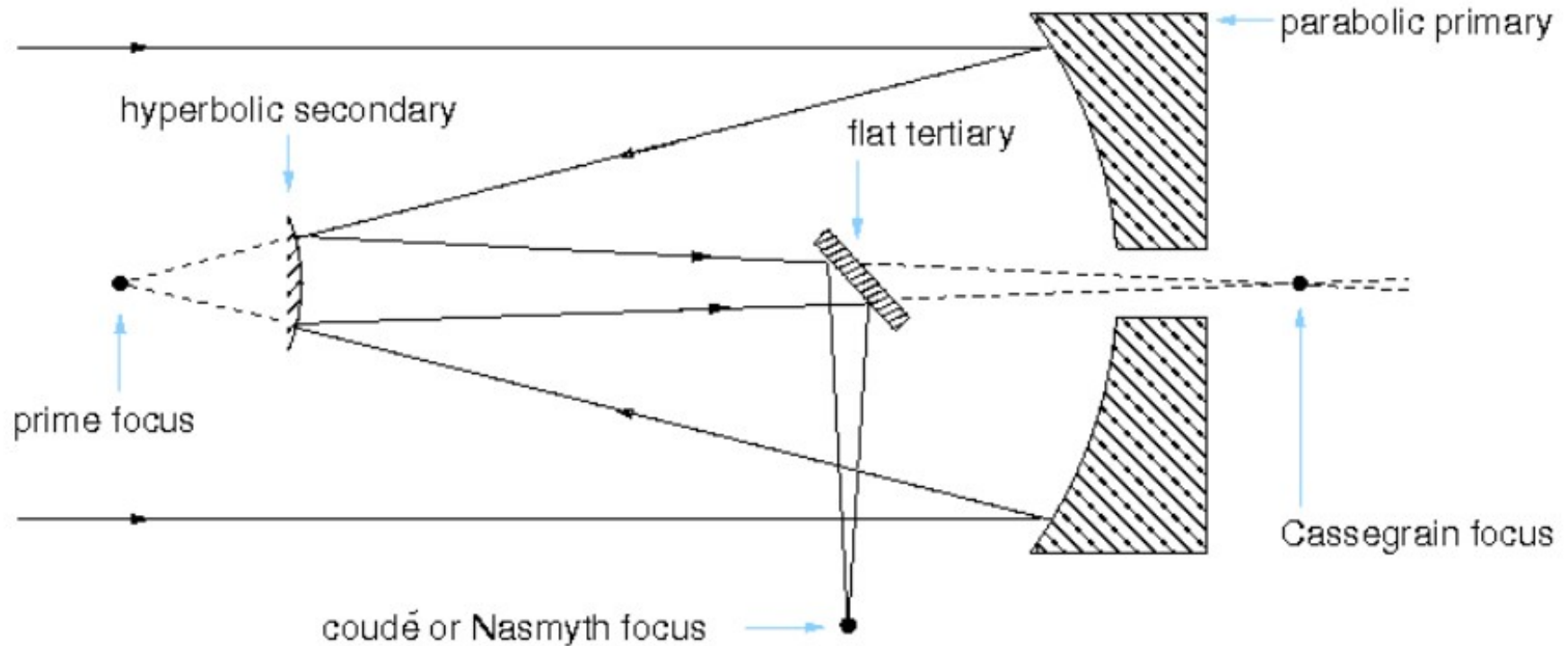


Come funziona il TNG?

Riflessione della luce: avviene quando un raggio di luce colpisce una superficie riflettente piana: questo viene riflesso a formare un'immagine virtuale. Gli angoli formati dal raggio incidente e quello riflesso e la verticale allo specchio sono uguali.



Partiamo da un telescopio Cassegrain



Come funziona il TNG?

RITCHIEY-CHRETIEN + 2 Nasmyth

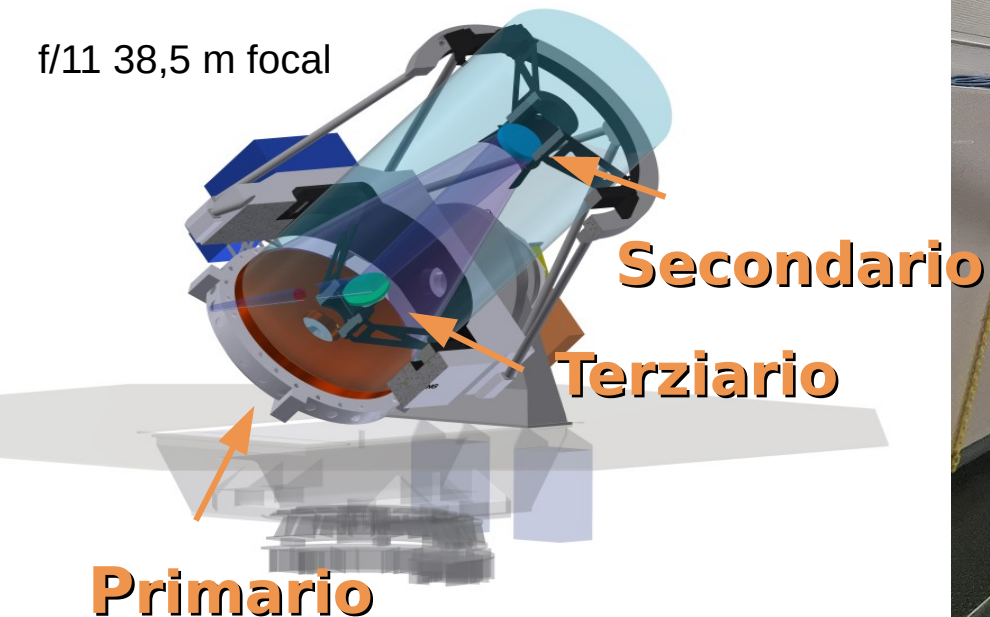
M1 specchio principale:

3,58 m; 24 cm; 6 tonnellate

M2 specchio secondario:

0,85 m; 300kg

f/11 38,5 m focal



Come funziona il TNG?

RITCHIEY-CHRETIEN

+ 2 Nasmyth

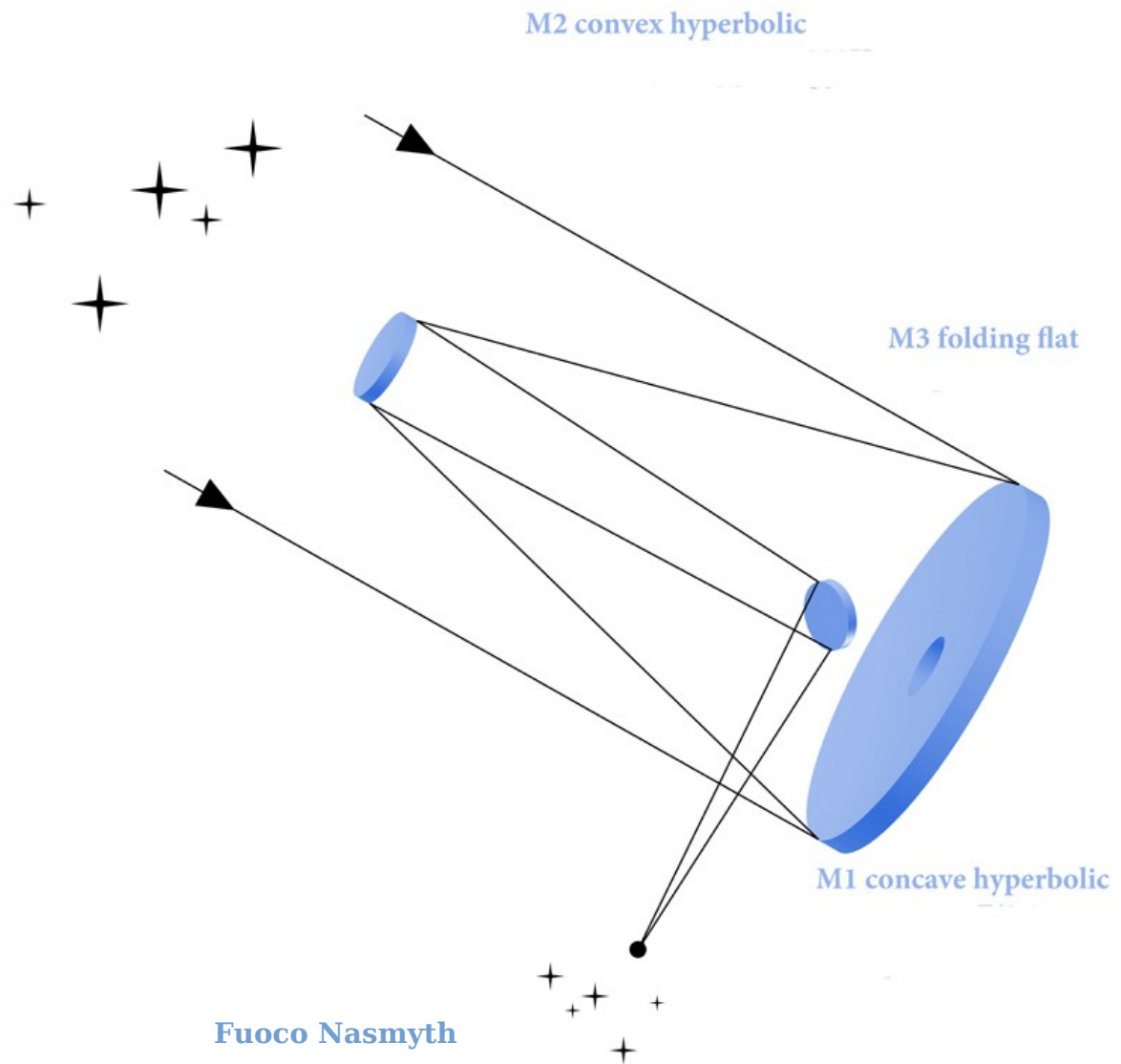
M1 specchio principale:

3,58 m; 24 cm; 6 tonnellate

M2 specchio secondario:

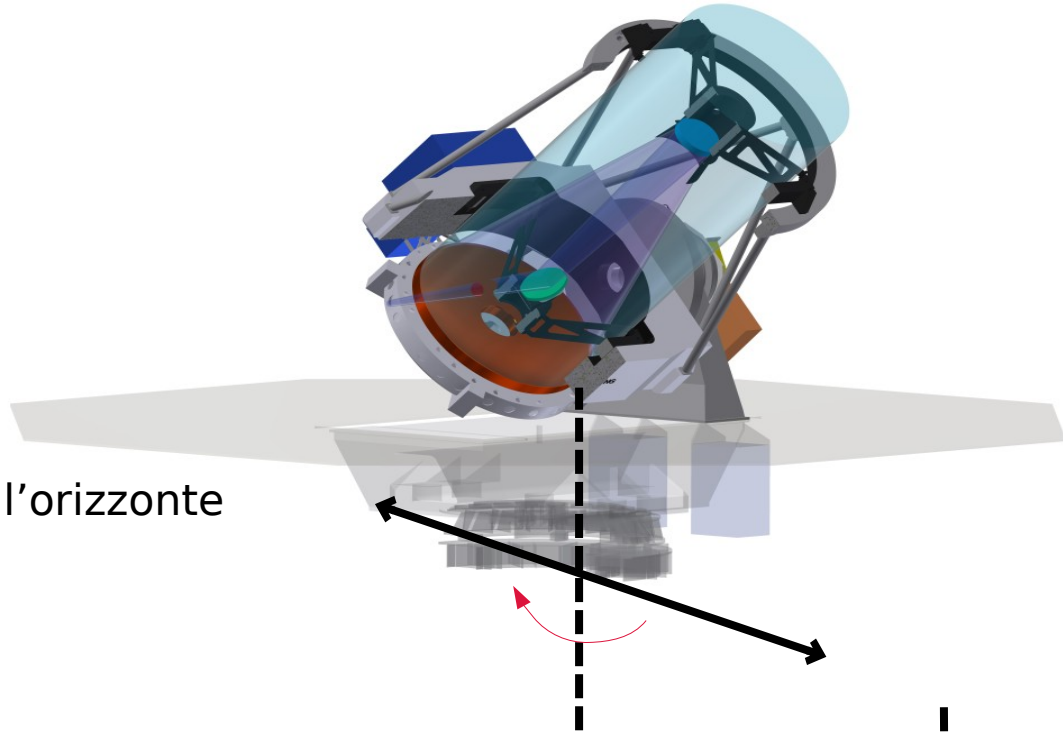
0,85 m; 300kg

f/11 38,5 m focal



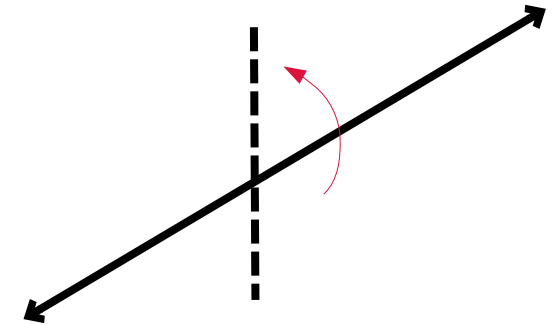
Come si muove il TNG?

Sistema Alt-Az



Azimut: movimenti paralleli all'orizzonte

Elevazione: movimenti perpendicolari all'orizzonte



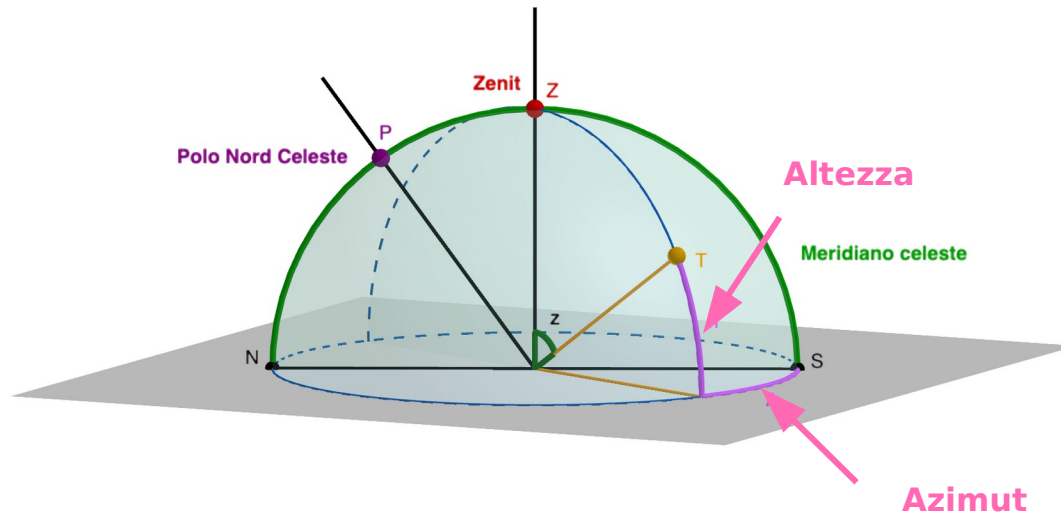
Sistemi di coordinate celesti

Il sistema altazimutale

La direzione fondamentale è la verticale passante per l'osservatore; il piano fondamentale è l'orizzonte astronomico.

Azimut: è l'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: è l'arco di cerchio verticale compreso fra l'Orizzonte e l'astro; si conta da 0 a $+90^\circ$ verso lo Zenit e da 0 a -90° verso il Nadir



Le coordinate Altazimutali sono relative all'osservatore, in quanto dipendono da parametri (Orizzonte, Zenit e Meridiano) tipici della località di osservazione.

A causa del moto diurno, le stelle descrivono archi di cerchio che, in generale, non sono paralleli all'orizzonte; quindi i valori delle due coordinate variano continuamente nel tempo e in modo non uniforme.

Sistemi di coordinate celesti

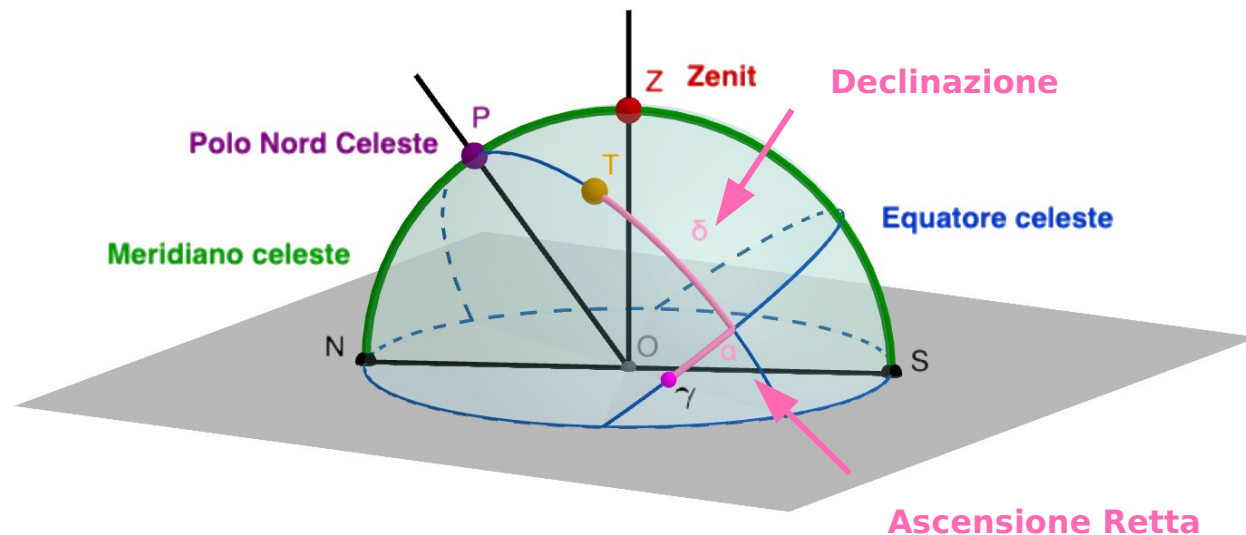
Il sistema equatoriale

La direzione fondamentale è l'asse di rotazione della Terra; il piano fondamentale è l'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° $\longrightarrow$ 1 h = 15° ; 4 m = 1° ; 1 m = 15' ; 4 s = 1' ; 1 s = 15''

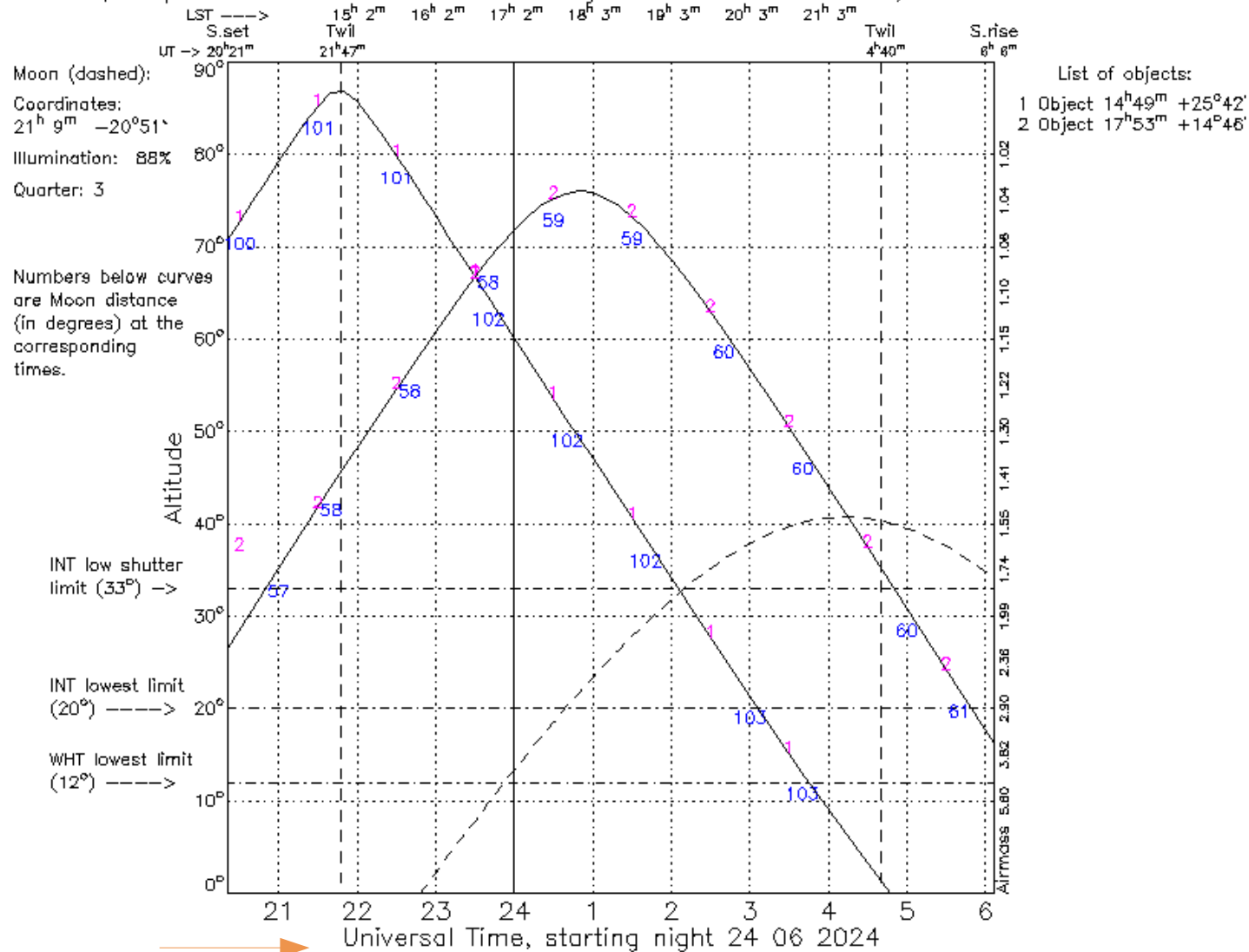


α e δ di un dato oggetto astronomico risultano indipendenti dalla posizione dell'osservatore e dovrebbero quindi rimanere costanti nel tempo. Le osservazioni mostrano invece numerosi effetti, che possono dipendere anche dall'oggetto osservato, che alterano in modo ciclico o continuo il valore di α e δ .

Sistemi di coordinate celesti

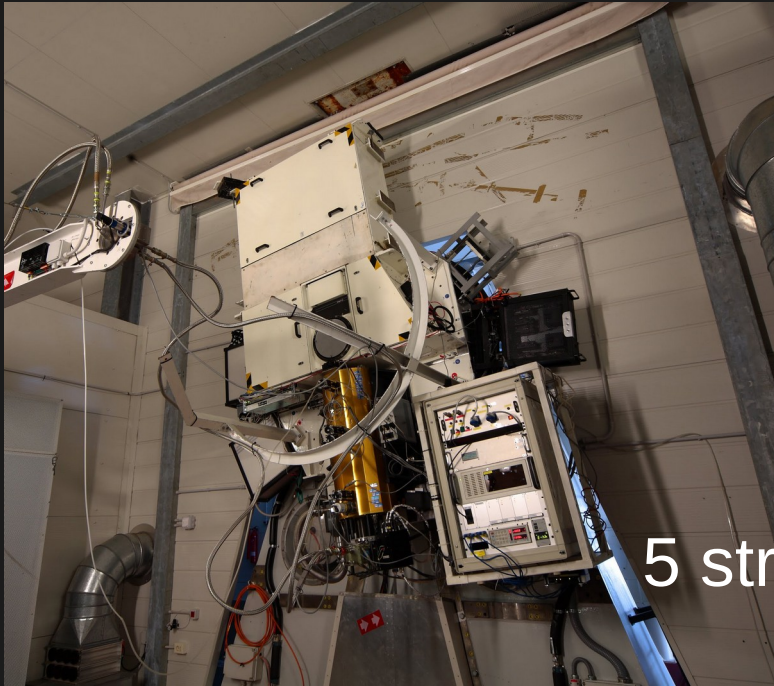
Grafico di visibilità

Altitudes, Roque de los Muchachos Observatory 342.1184E 28.7606N, 2326 m above sea level

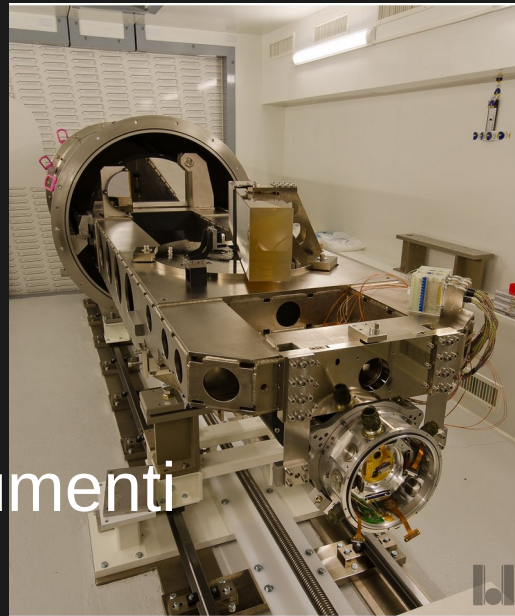


Processed: 2024/06/24 at 08:47:07 UT. Isaac Newton Group of Telescopes, La Palma.

Telescopio + strumenti + software = scienza



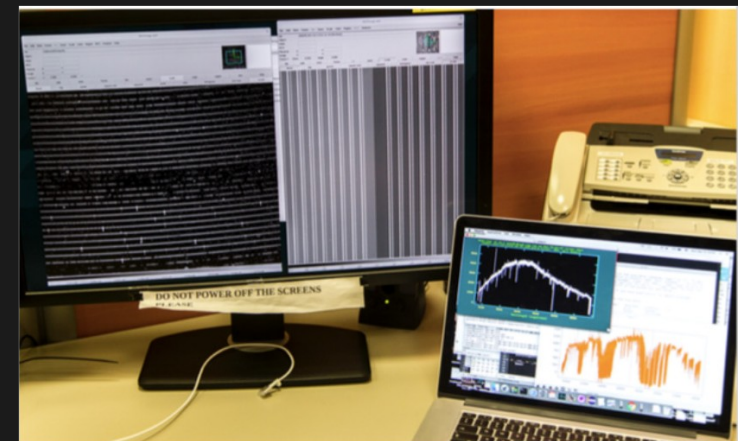
5 strumenti



60 computers

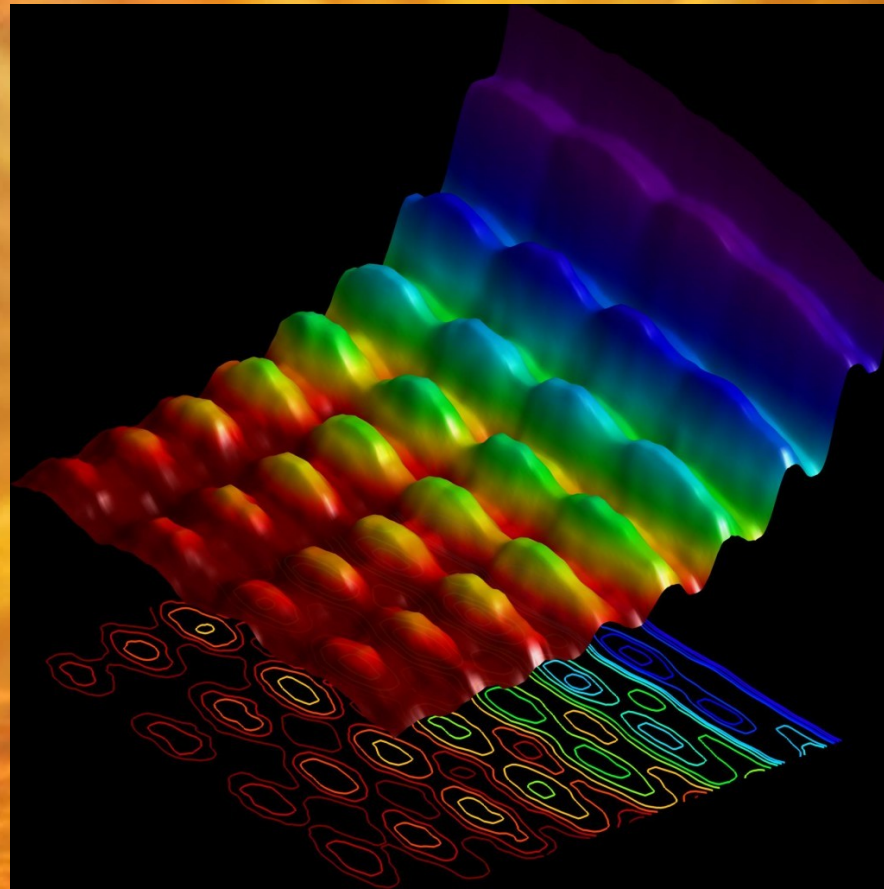


800 GB /anno di dati



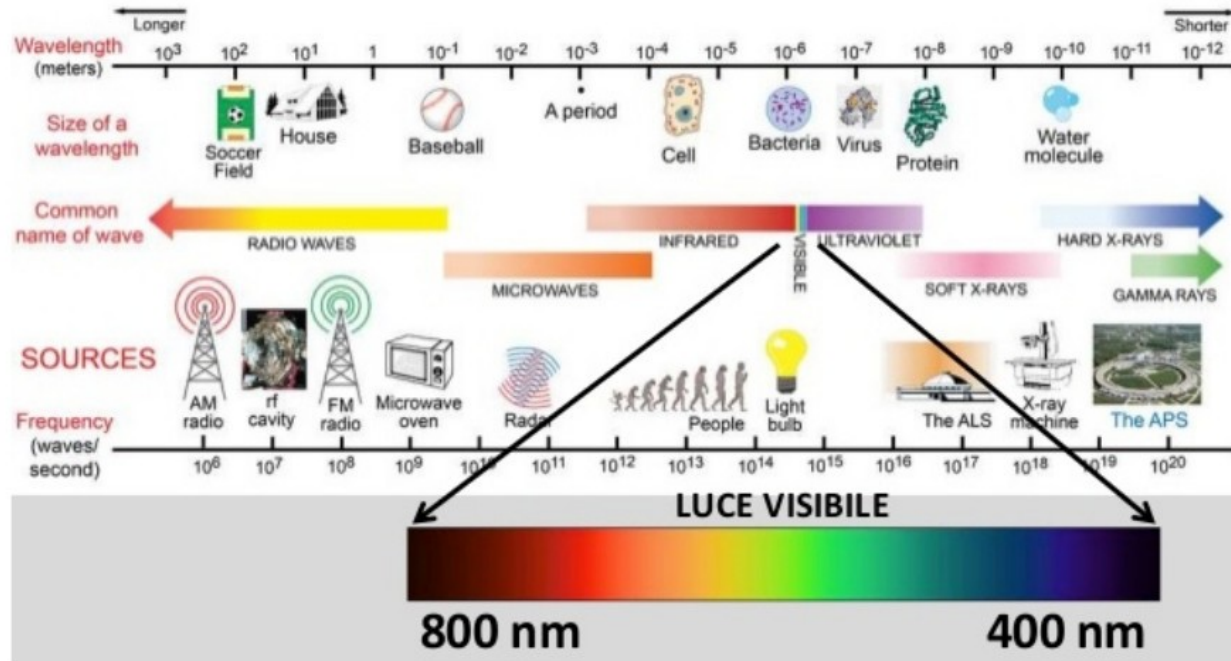
LA LUCE

Tante informazioni nascoste in un solo raggio



La foto è una diretta osservazione dell'interferenza spaziale e della quantizzazione dell'energia della luce.
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 milionesimo di m

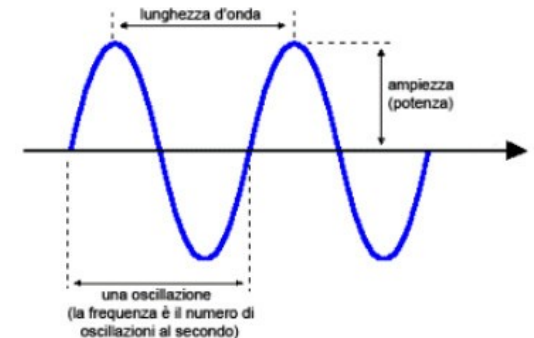
- Un'onda elettromagnetica è caratterizzata da una **frequenza ν** e da una **lunghezza d'onda λ**

$$\nu = v/\lambda \quad E = h\nu$$

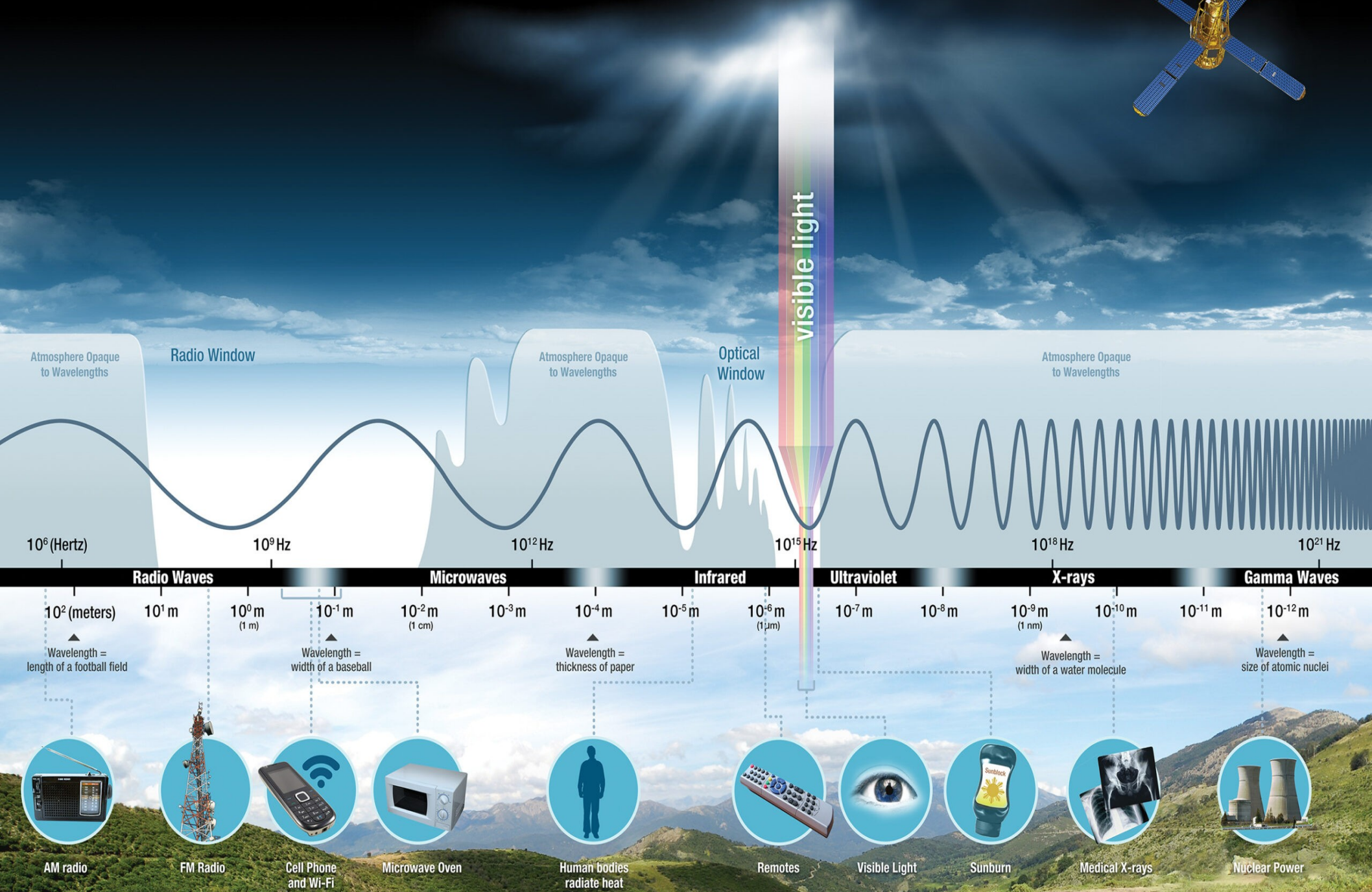
dove v è la velocità della luce nel mezzo di propagazione

- Nel vuoto $v = 300\,000\,000\text{ m/s} = 3 \times 10^8\text{ m/s}$

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



Le osservazioni da Terra sono possibili solo a certe frequenze perché la trasparenza dell'atmosfera alle onde elettromagnetiche varia con la frequenza di queste.



Visibile



Infrarosso



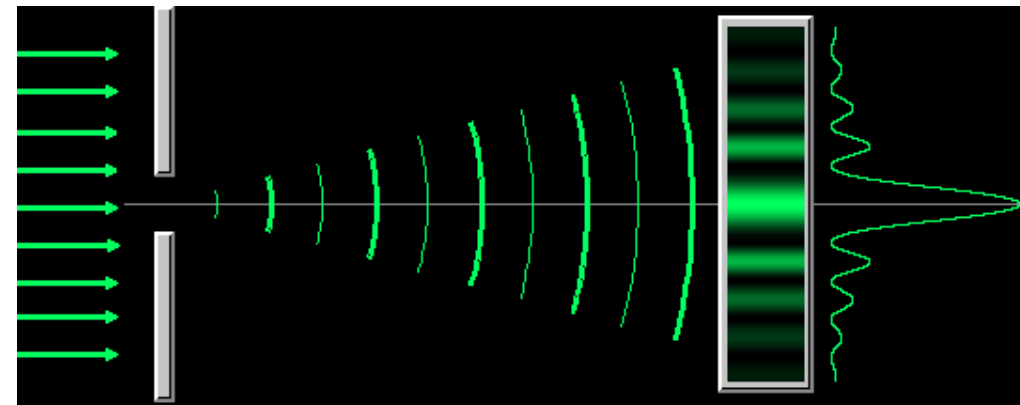
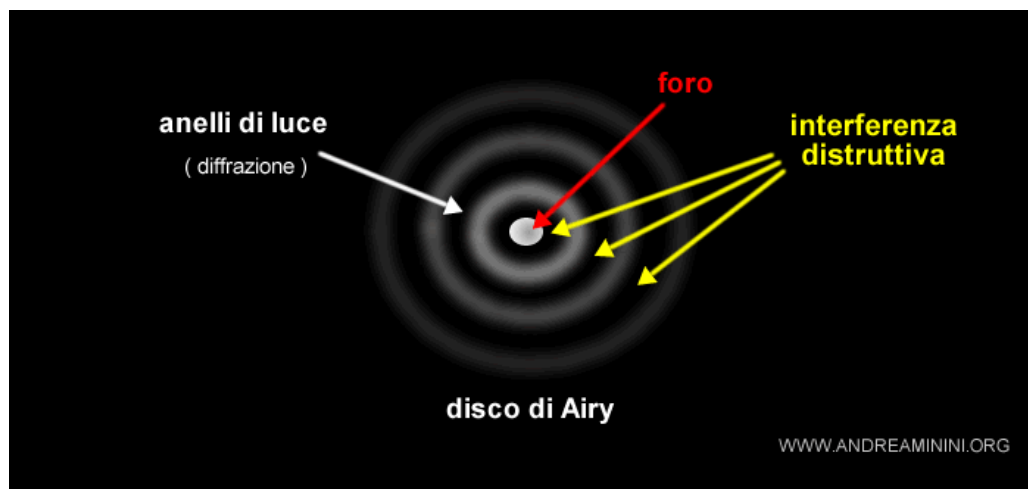
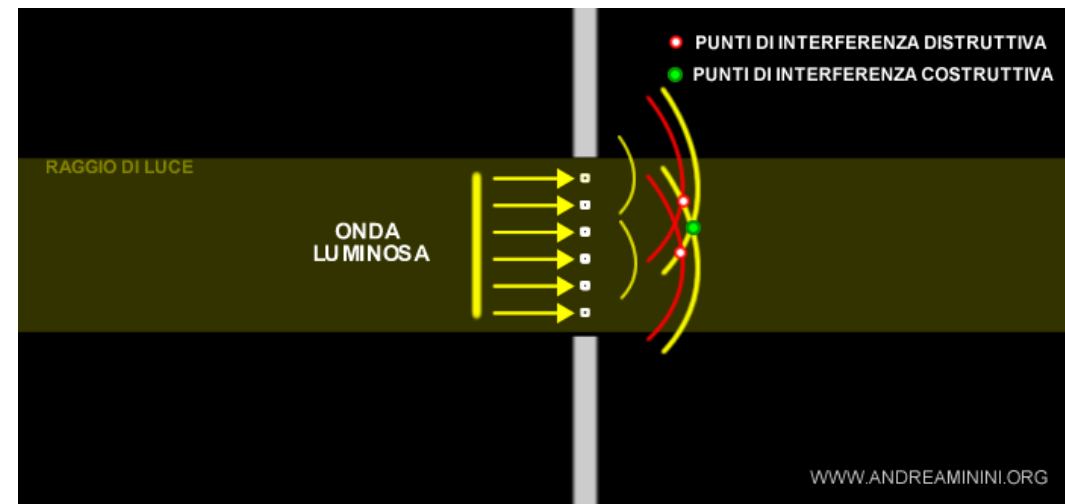
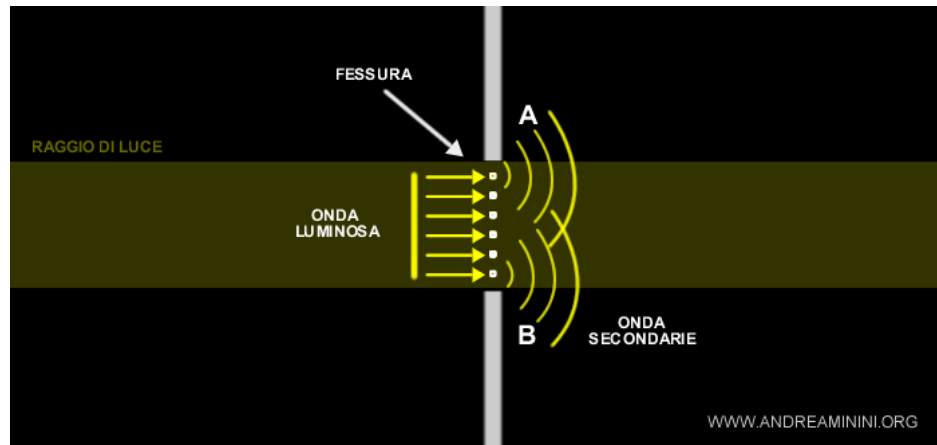
Oltre i nostri occhi



Luce e telescopi

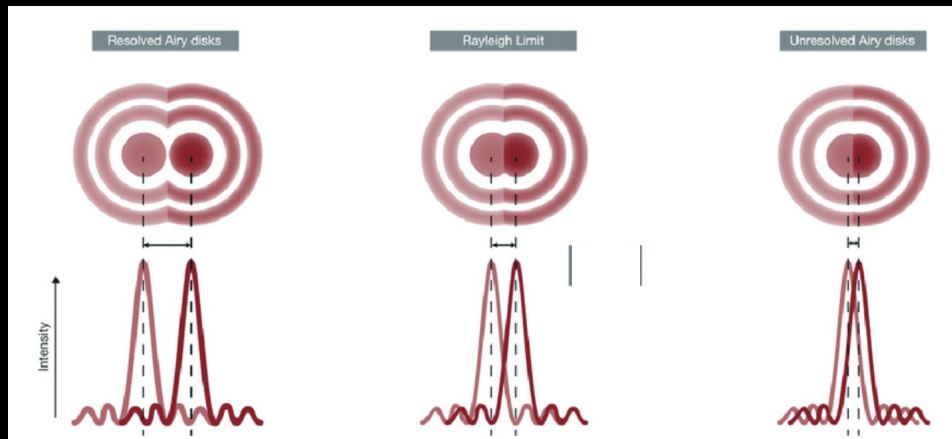
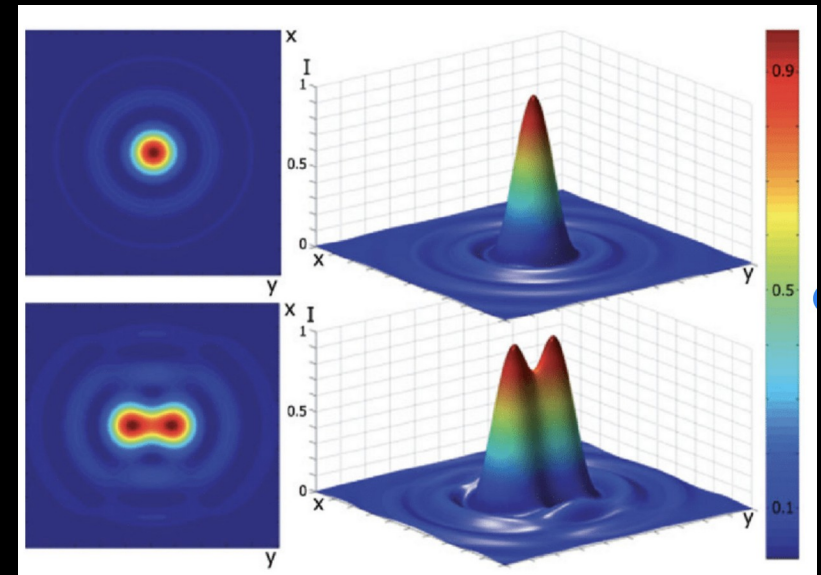
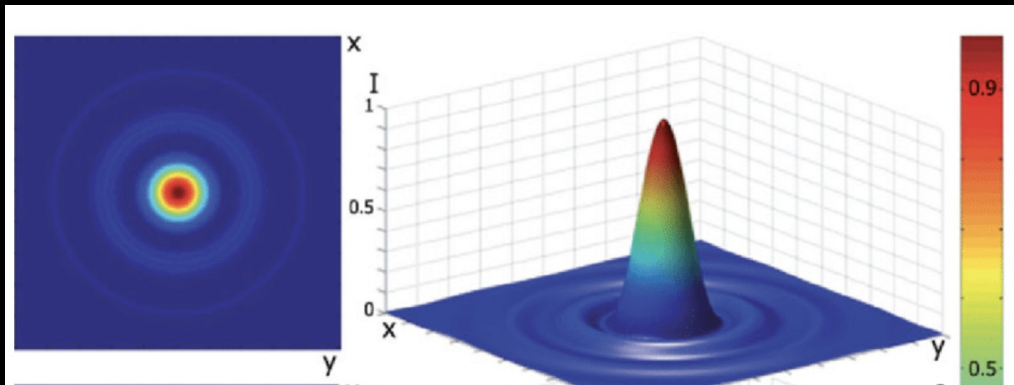
Diffrazione della luce

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).



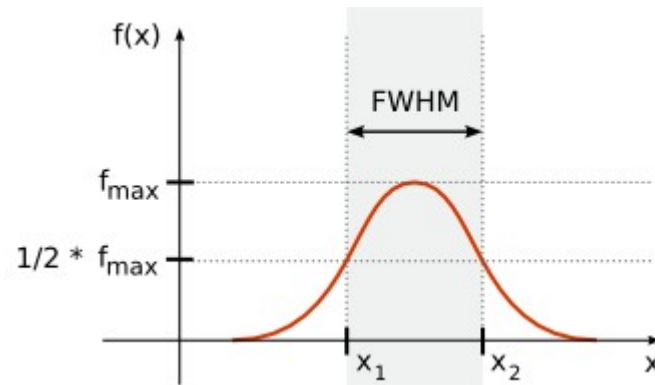
La larghezza di questa figura si chiama **Point Spread Function (PSF)**

È la distanza minima per cui possiamo separare due oggetti puntiformi



La PSF si misura in *secondi d'arco*

$$1 \text{ arcsec} = \pi / (180 \times 3600) \sim 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$$



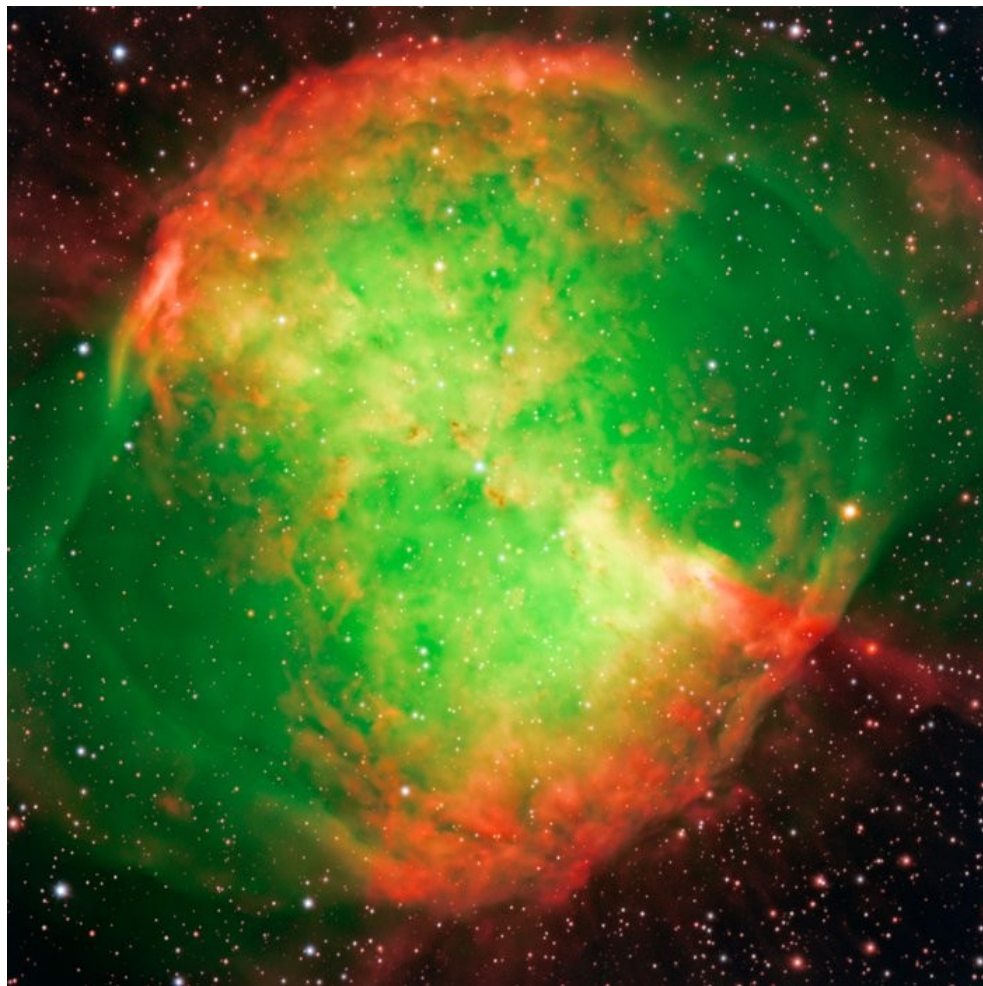
$$\text{FWHM (ideale)} = 1.029 \lambda/D \sim 10^{-7} \text{ rad} = 0.02 \text{ arcsec}$$

per un telescopio con $D=10\text{m}$ e $\lambda = 1\mu\text{m}$

Per il TNG la FWHM ideale è di 0.04 arcsec ... MA

1. prima di raggiungere il telescopio la luce passa attraverso l'atmosfera, l'aria dentro la cupola, etc..
2. prima di raggiungere il rivelatore passa attraverso uno strumento

➔ **FWHM (TNG) $\gg$ 0.04 arcsec**



VLT 8m



TNG 3.58m

L'atmosfera ed il Seeing

Il Seeing indica il grado di degradazione dell'immagine dovuta alla turbolenza atmosferica

L'atmosfera non è omogenea:
ha una struttura di turbolenza distribuita in
“bolle” al cui interno cambia l'indice di
rifrazione n .

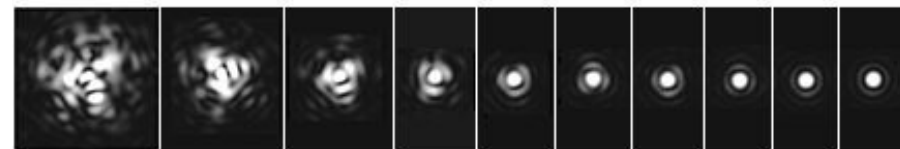
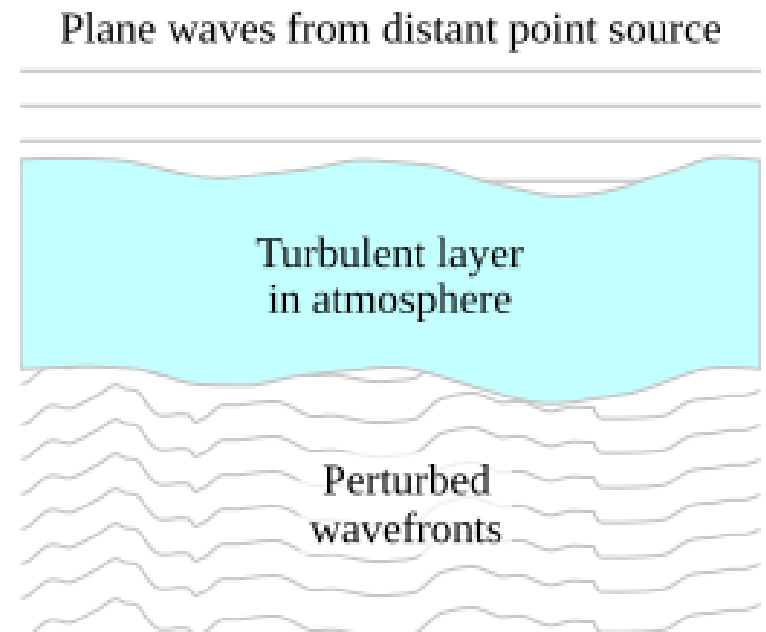
La dimensione delle bolle è in genere $\ll$
della dimensione del telescopio.

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

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

L'effetto è maggiore per λ minori.

Nei migliori telescopi la PSF risultante è
0.5arcsec



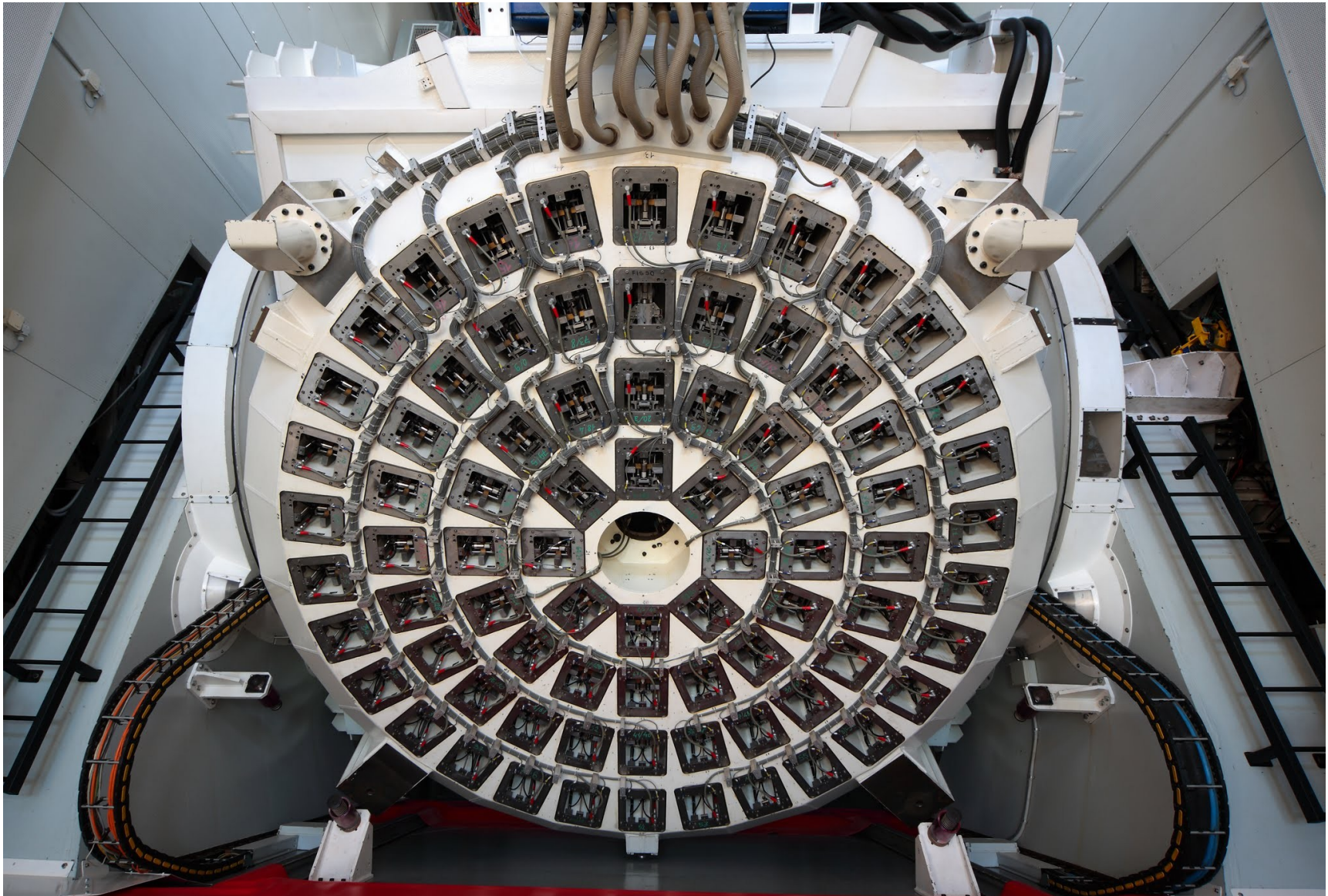
Alla ricerca di immagini perfette

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



Alla ricerca di immagini perfette

Lo specchio primario si può deformare a causa della gravità, cambi di temperatura etc → **Ottica Attiva**



Cosa misurano i telescopi?

Luminosità

La luminosità è un flusso di energia: si misura in $\text{erg/cm}^2/\text{s}$

Di solito non si prende mai tutto lo spettro $\rightarrow$ si misura il flusso per unità di frequenza o lunghezza d'onda

Densità di Flusso

$$f_\lambda \text{ [erg/cm}^2\text{/s/\AA]}$$

$$f_\nu \text{ [erg/cm}^2\text{/s/Hz]}$$

Magnitudine

$$M = -2.5 \log (f_\nu) + C$$

visibilità a occhio nudo: $0 < m < 6$

TNG: $m = 18\text{-}25$

VLT: $m = 20\text{-}27$

JWST: $m = 24\text{-}30$

Esempio: la stella Vega ha una magnitudine apparente uguale 0 ; la Luna di -12,74

Come misurano i telescopi?

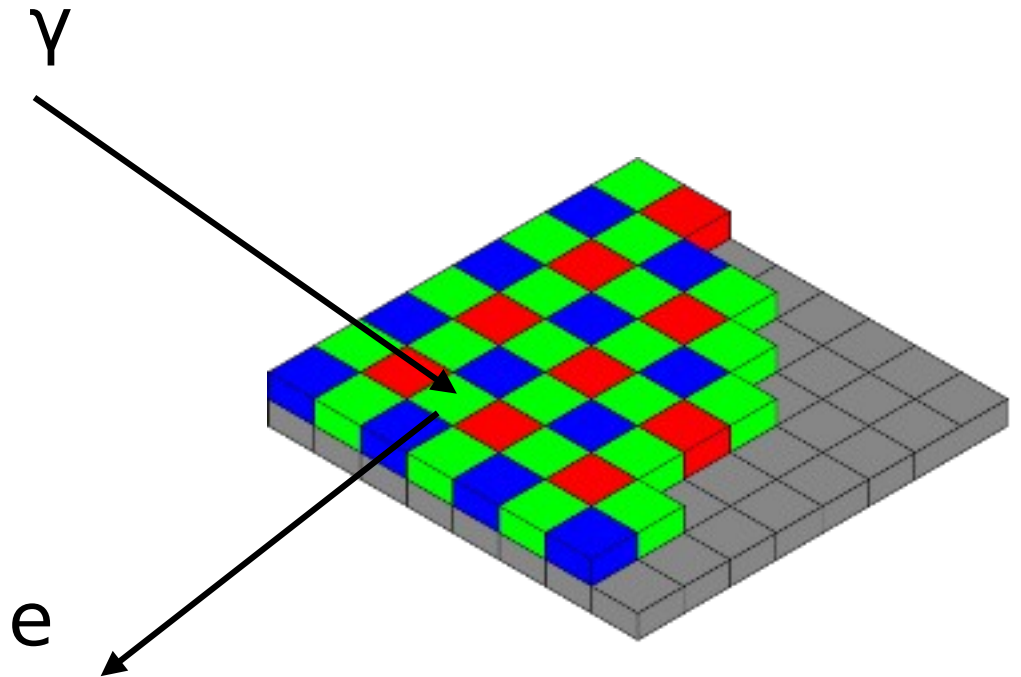
Con dei sensori: **CCD - CMOS**

Ogni pixel:

converte un fotone in un elettrone

accumula gli elettroni finché non vengono letti (CCD) o li legge in tempo reale (CMOS)

$$n_e \propto n_\gamma \propto f_\nu / h\nu$$



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

Il fondo cielo e' migliaia di volte piu brillante di molte sorgenti come galassie distanti nell'Unicerso o stelle deboli nella nostra galassie o in quelle vicine

$\text{mag}(\text{back})=20$



$\text{mag}(\text{obj})=27$

Tecniche per studiare l'Universo al TNG

Imaging - Fotometria

Posizione, luminosità, variazione della luminosità con il tempo, magnitudini

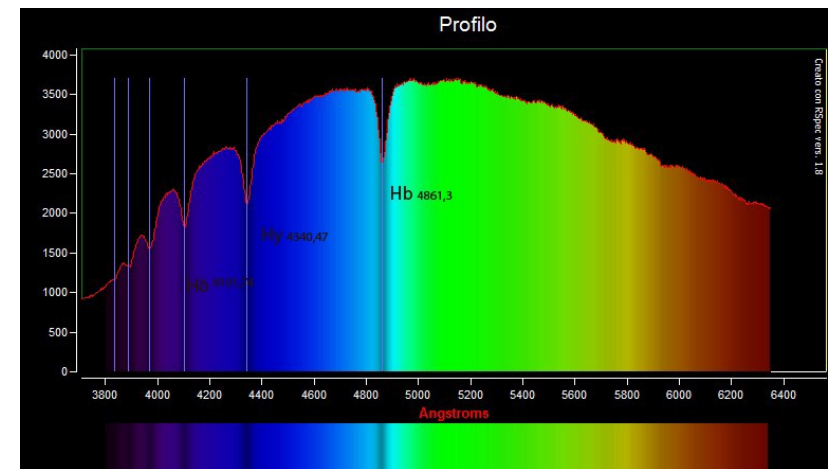


Informazioni che otteniamo

- Posizioni - coordinate
- Movimento - velocità tangenziali
- Luminosità- distanza
- Colori: Temperature -Tipi spettrali
- Età (Popolazioni stellari)

Spettroscopia

Studio delle linee spettrali:
le impronte digitali degli atomi

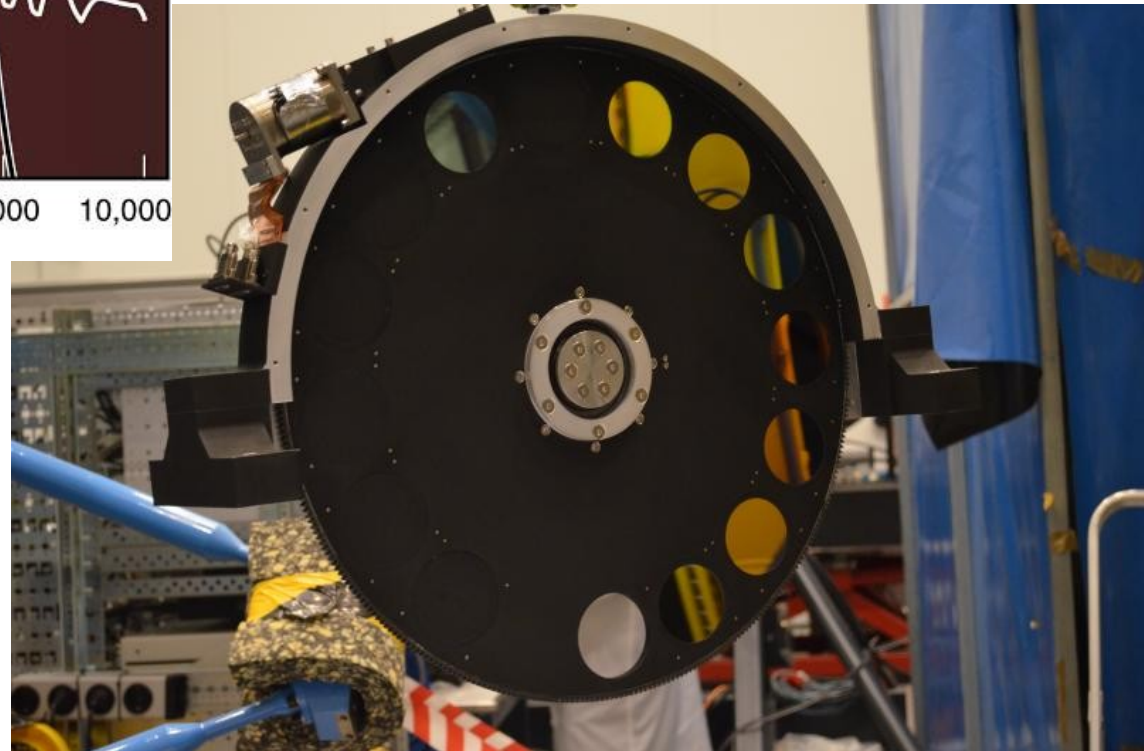
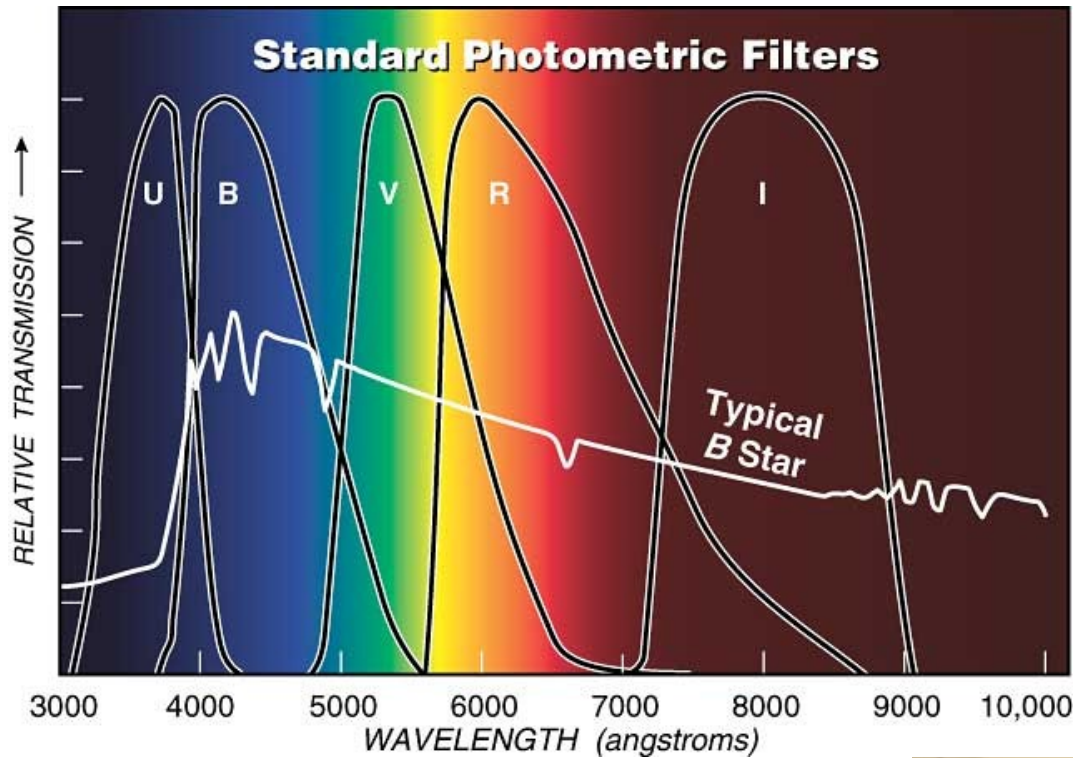


Informazioni che otteniamo

- Composizione chimica
- Temperatura
- Pressione
- Velocità radiale (effetto Doppler)

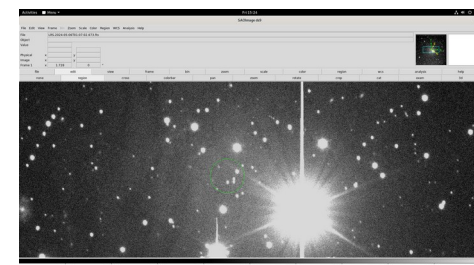
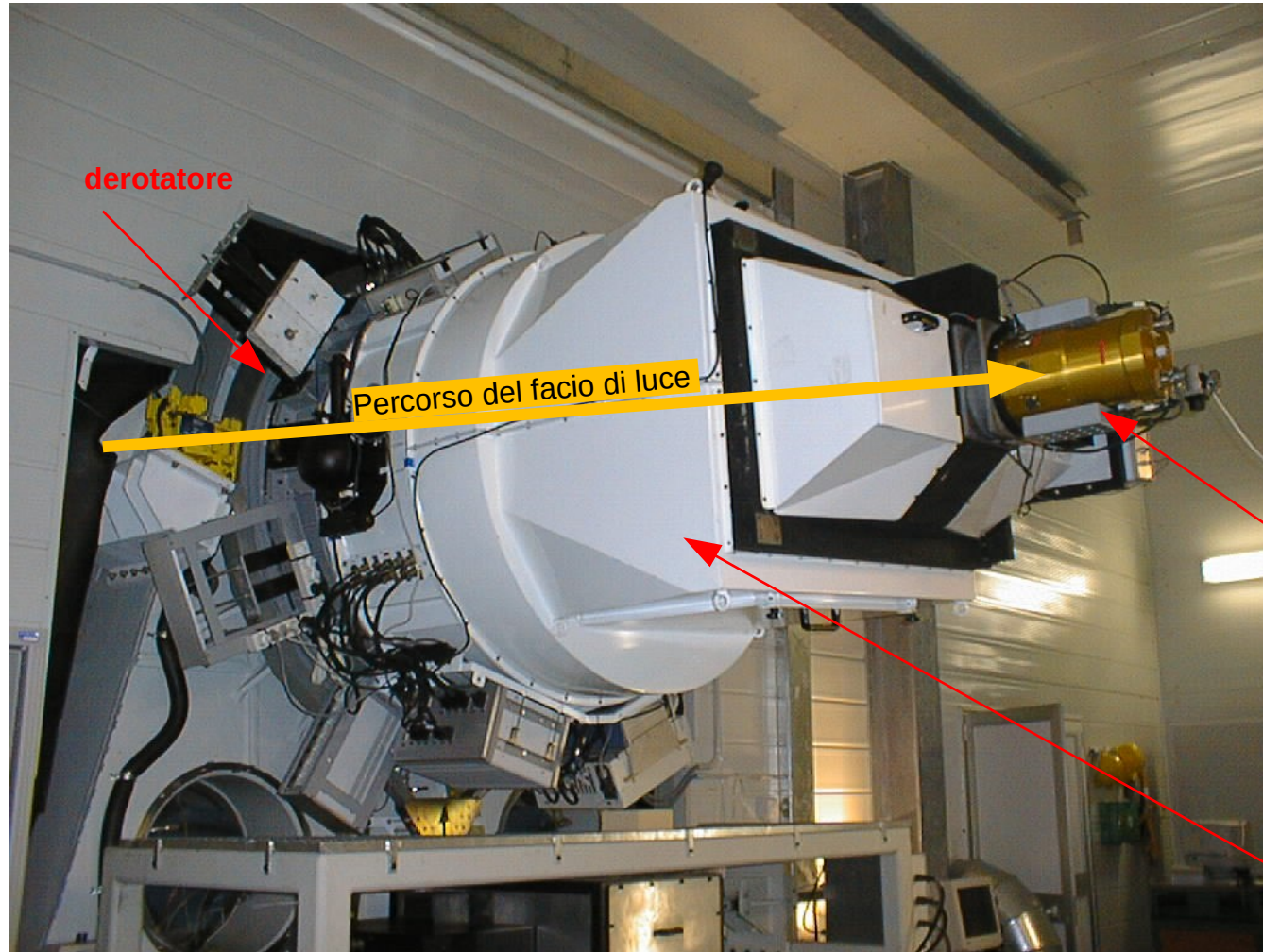
FOTOMETRIA

Il sistema fotometrico standard



FOTOMETRIA al TNG

Il visibile (0.3-0.9 μ m)



CCD: 2048 x 2048 pixel

FOV=8.6 x 8.6 arcmin

Risoluzione = 0.252 arcsec/pix

Calcoliamo i tempi di esposizione:

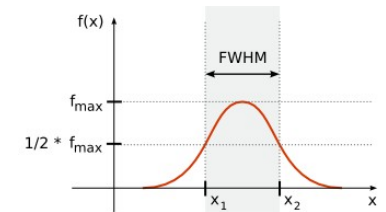
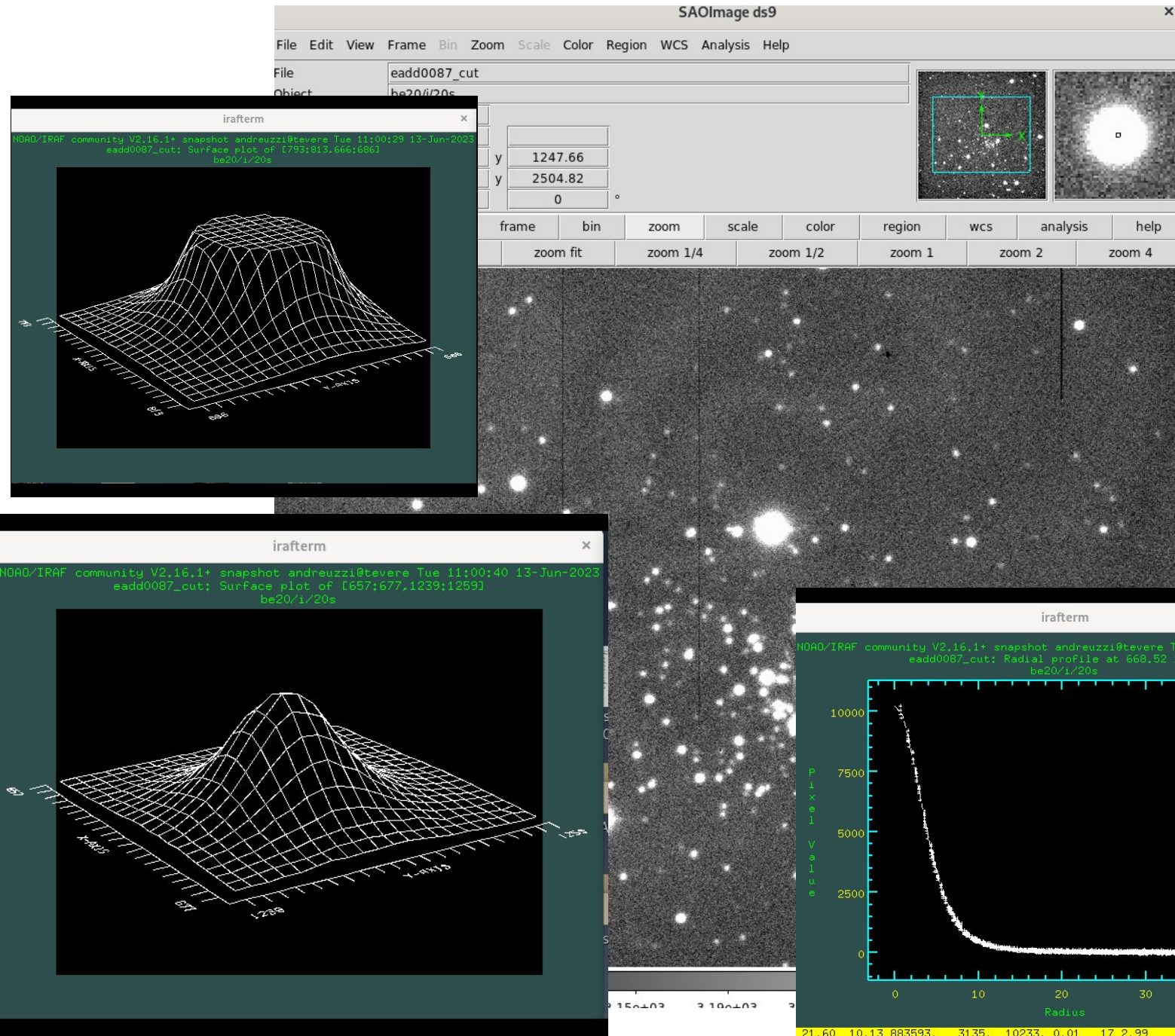
<https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/>

DOLORES: (Device Optimized for the LOw RESolution)

<https://www.tng.iac.es/instruments/lrs/#imaging>

FOTOMETRIA al TNG

le immagini di DOLORES



FOTOMETRIA al TNG

L'infrarosso (0.9-2.5 μ m)



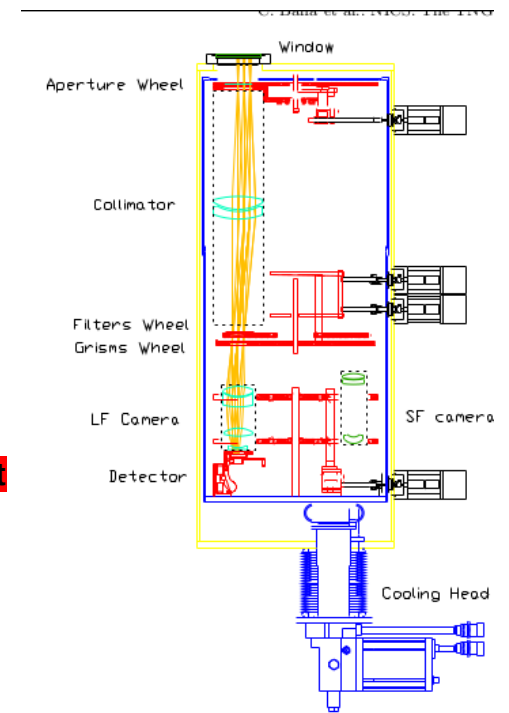
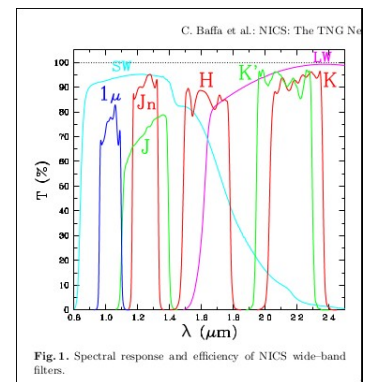
CCD: 1024x1024 pixel

FOV= 4.2 x 4.2 arcmin

Risoluzione = 0.25 arcsec/pix

Calciamo i tempi di esposizione:

<https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/>



Filtri, grism, slit

rivelatore

NICS (Near Infrared Camera Spectrometer)

<https://www.tng.iac.es/instruments/nics/imaging.html>

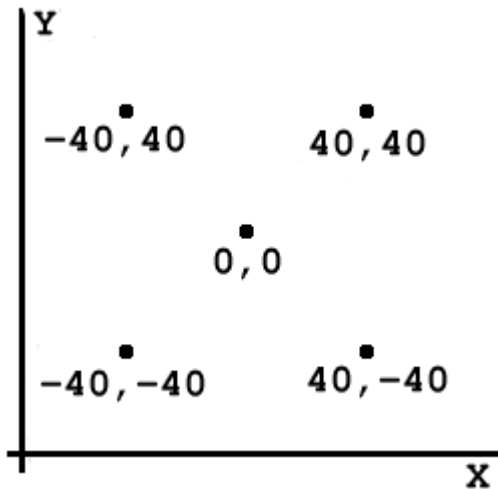
FOTOMETRIA al TNG

Osservare in infrarosso

Il fondo cielo e' molto luminoso quando osserviamo nell'IR per cui bisogna utilizzare tecniche adatte sia alle osservazioni che alla successiva riduzione dei dati ottenuti per poter sottrarre il contributo del fondo cielo dalle immagini astronomiche.

I mosaici

Puntiamo in differenti zone vicino al target coprendo una piccola area vicino al target per poter sottrarre il fondo cielo dall'immagine scientifica.



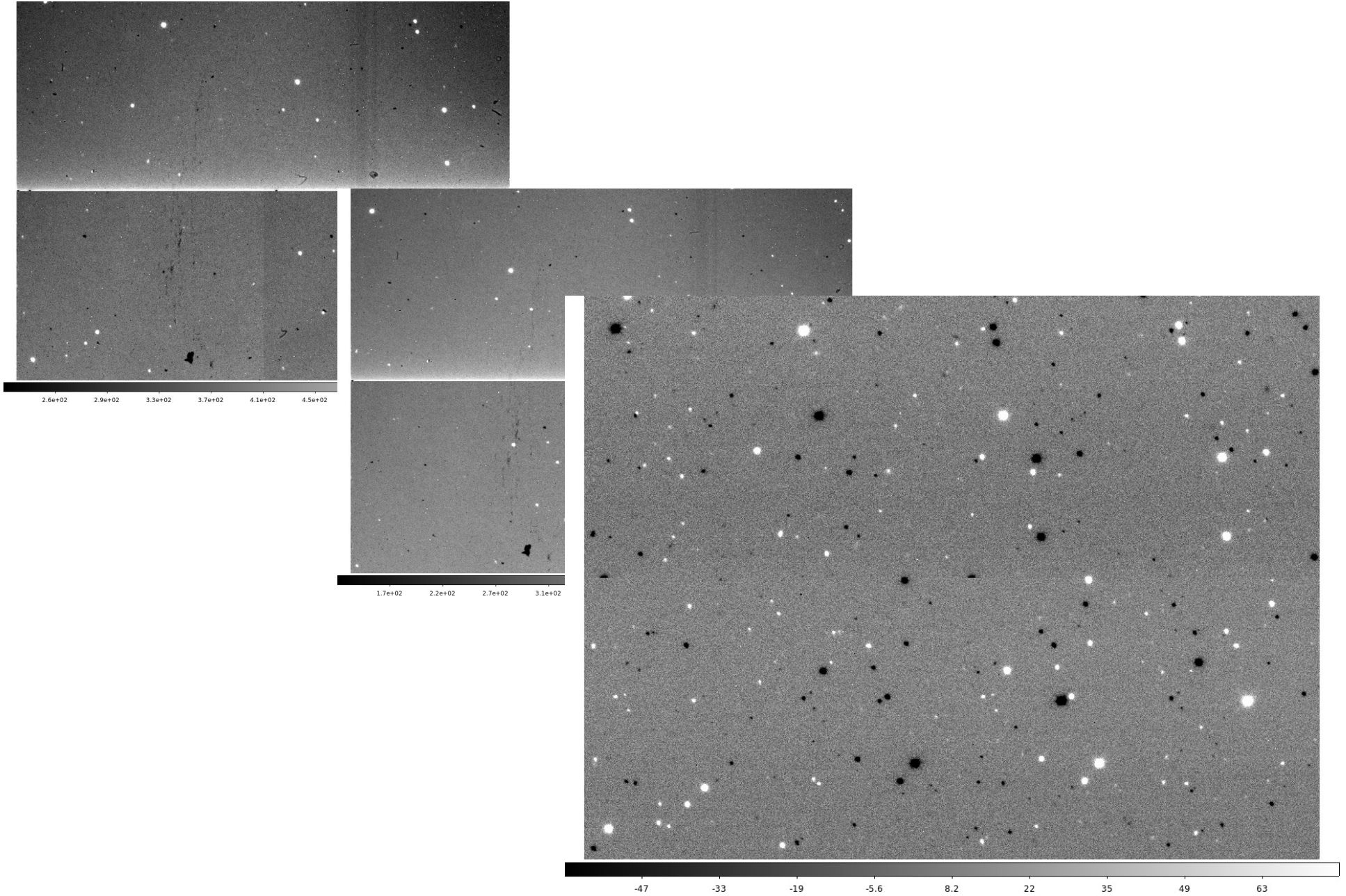
I tempi di esposizione

A differenza del visibile tempi di esposizione lunghi vengono spezzati in tempi piu' brevi per diminuire il contributo del fondo cielo sull'immagine finale:

Texp = dit x Ndit dit = tempo di esposizione su una singola immagine
Ndit = numero di immagini che vogliamo combinare

FOTOMETRIA al TNG

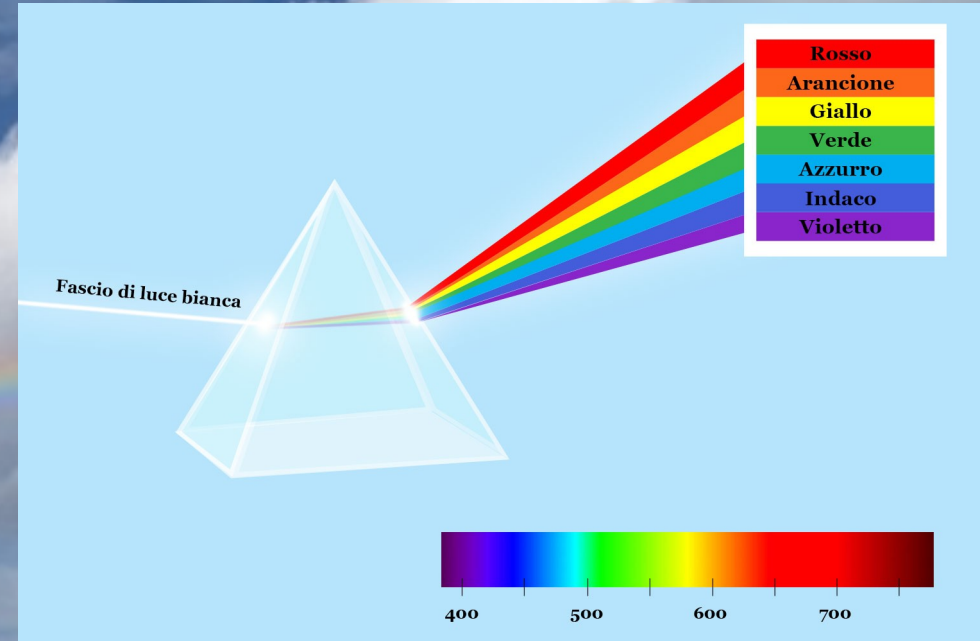
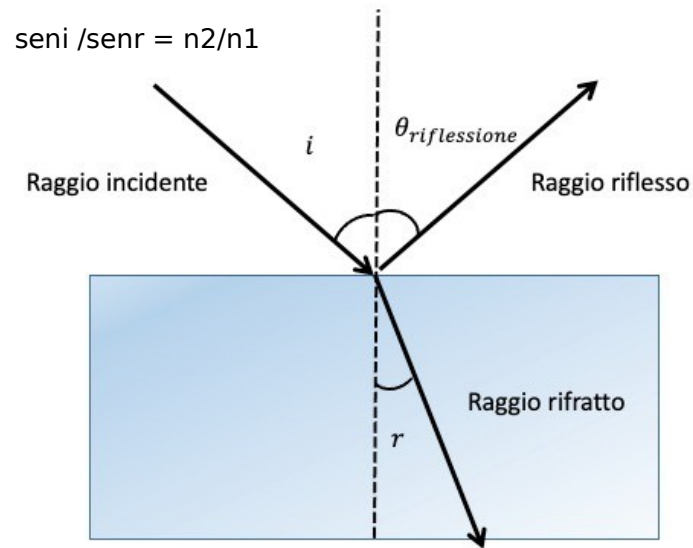
le immagini di NICS



SPETTROSCOPIA

Rifrazione della luce

Avviene quando un raggio di luce passa da un mezzo ad un altro. Il raggio viene deviato nel passaggio dal primo al secondo mezzo lungo cui sta propagando.



Dispersione della luce

Causa la separazione di un'onda in componenti spettrali con diverse lunghezze d'onda, a causa della dipendenza della velocità dell'onda dalla lunghezza d'onda nel mezzo attraversato.

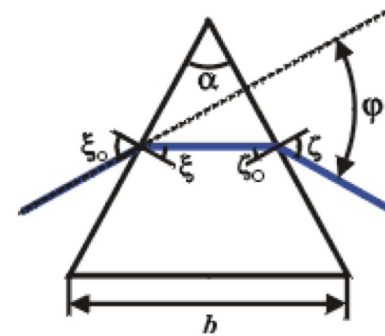
SPETTROSCOPIA



Gli spettrografi usano 'elementi' che separano la luce nelle sue diverse lunghezze d'onda

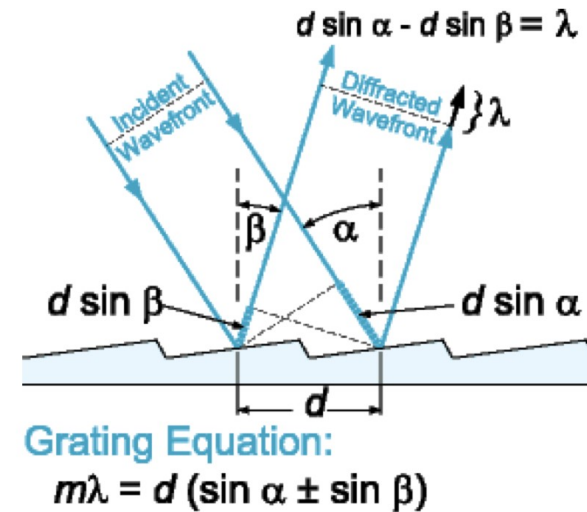
Prisma

(elemento rifrattivo)



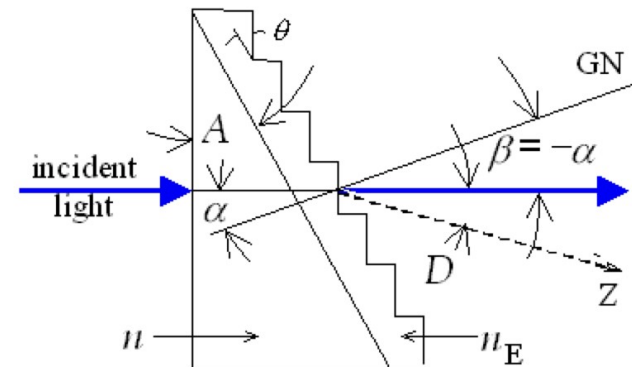
Reticolo

(elemento diffrattivo)



Grism

(prisma+reticolo)



SPETTROSCOPIA

Spettri e loro misura

Spettro continuo



Linee di emissione



Linee di assorbimento

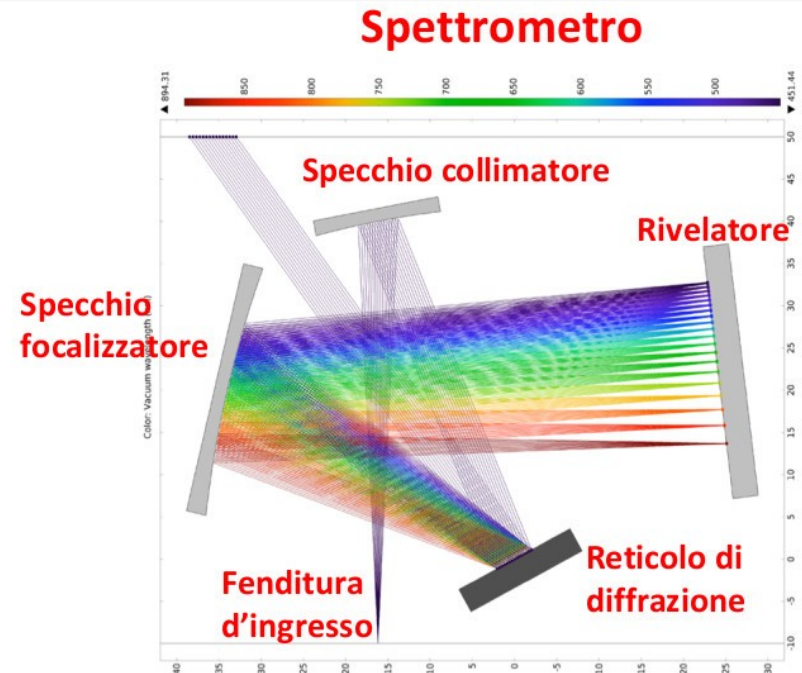


Spettro continuo

non dipende dalla struttura atomica del materiale

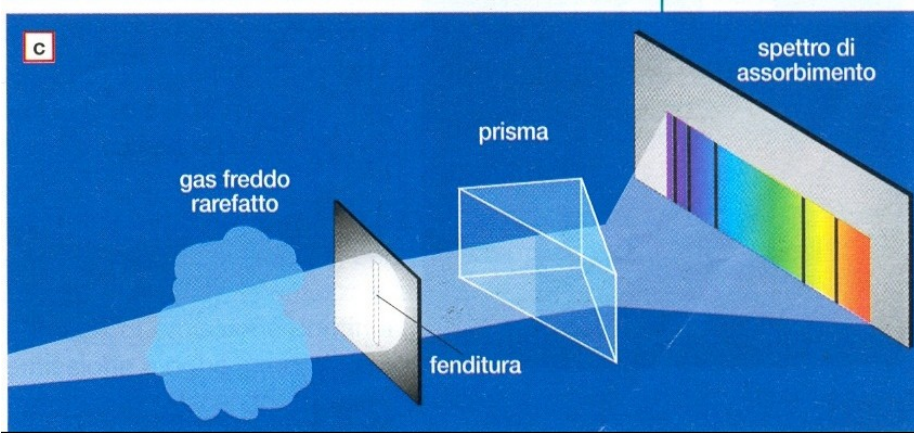
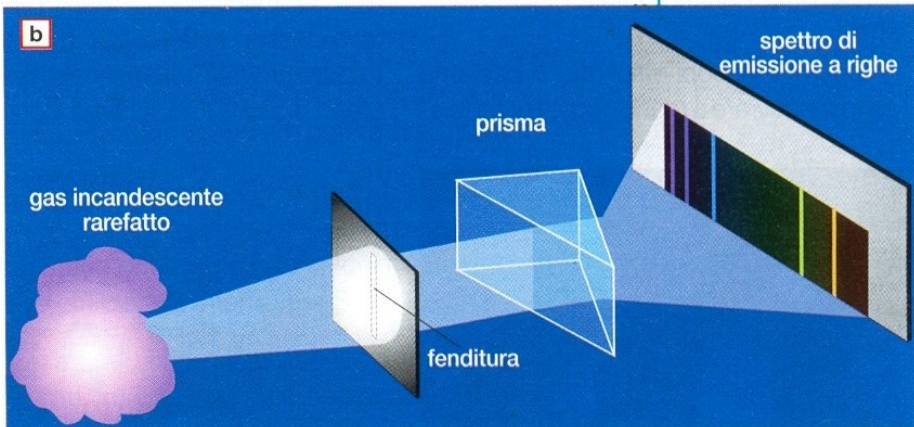
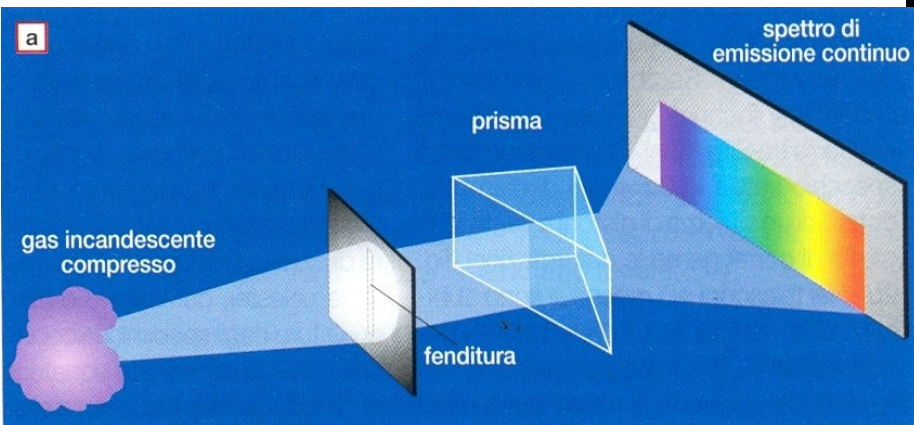
Spettro di emissione/assorbimento

spettro a righe dovuto alla struttura atomica del materiale

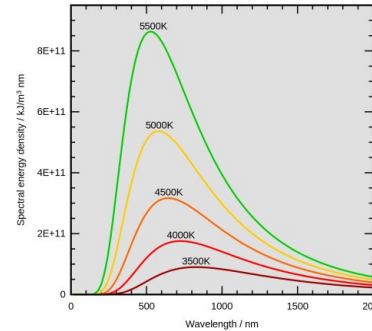


- Misura lo spettro della radiazione elettromagnetica ovvero le proprietà della luce in funzione della sua lunghezza d'onda
- Un fascio policromatico incide su un reticolo in grado di deviare le diverse radiazioni con diversi angoli
- Il **reticolo** svolge la stessa funzione del prisma, ma il suo funzionamento si basa sulla diffrazione e interferenza

SPETTROSCOPIA



Spettro di radiazione termica



$$E_{\text{emessa}} = \sigma T^4 \quad \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

- Radiazione emessa dalla superficie di un oggetto dovuta alla propria temperatura
- Per un corpo ideale la lunghezza d'onda corrispondente alla massima intensità di radiazione è data da

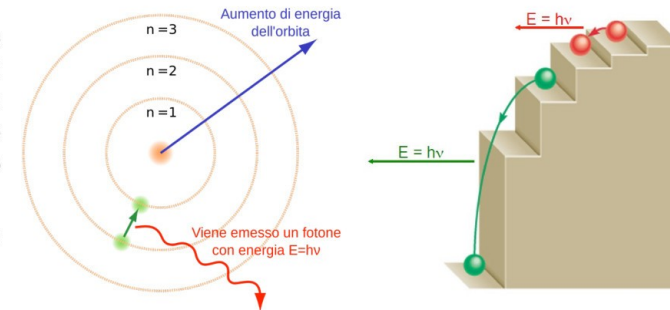
$$\lambda_{\text{max}} T = \text{costante} = 2898 \times 10^3 \text{ nm K (legge di Wien)}$$

Esempio: per un corpo a temperatura di 5000 K,
 $\lambda_{\text{max}} = 579.6 \text{ nm}$ (vedi curva gialla in Figura)

Emissione di riga

Lo spettro di emissione è dovuto alla radiazione elettromagnetica emessa dagli elettroni dell'atomo quando questi compiono una transizione da uno stato a energia maggiore verso uno a energia minore, emettendo uno o più fotoni

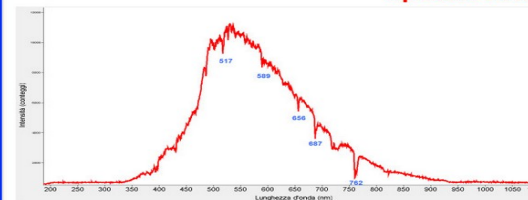
I fotoni emessi hanno un'energia pari alla differenza di energia tra i livelli



Energia dei fotoni: $\Delta E = h\nu$, h costante di Planck $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Spettro luce solare

Spettro continuo con righe di assorbimento



Elemento	Lunghezza d'onda (nm)
Magnesio	517
Sodio	589
Idrogeno	656
Ossigeno	687
Ossigeno	762

- Radiazione proveniente da uno strato superficiale del sole detto **fotosfera** che attraversa la sovrastante **cromosfera** (sottile strato dell'atmosfera del sole, 2000 Km)
- Nell'attraversamento della cromosfera e dell'**atmosfera terrestre** una frazione dei raggi solari viene assorbita, dando origine nello spettro a numerose righe di assorbimento (dette cromosferiche e telluriche).

Spettroscopia al TNG

DOLORES E NICS

Visibile (0.3-0.9) μm

CCD: 2048 x 2048 pixel

FOV=8.6 x 8.6 arcmin

Infrarosso (0.9-2.5) μm

CCD: 1024x1024 pixel

FOV= 4.2 x 4.2 arcmin

https://www.tng.iac.es/instruments/lrs/#long_slit_spectro

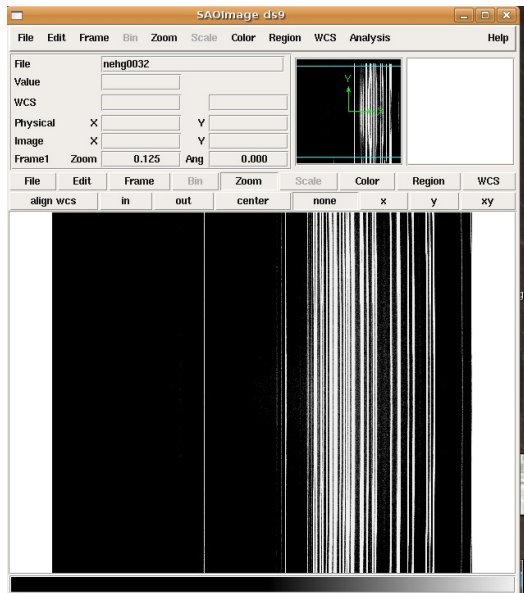
<https://www.tng.iac.es/instruments/nics/spectroscopy.html>

Calcoliamo I tempi di esposizione

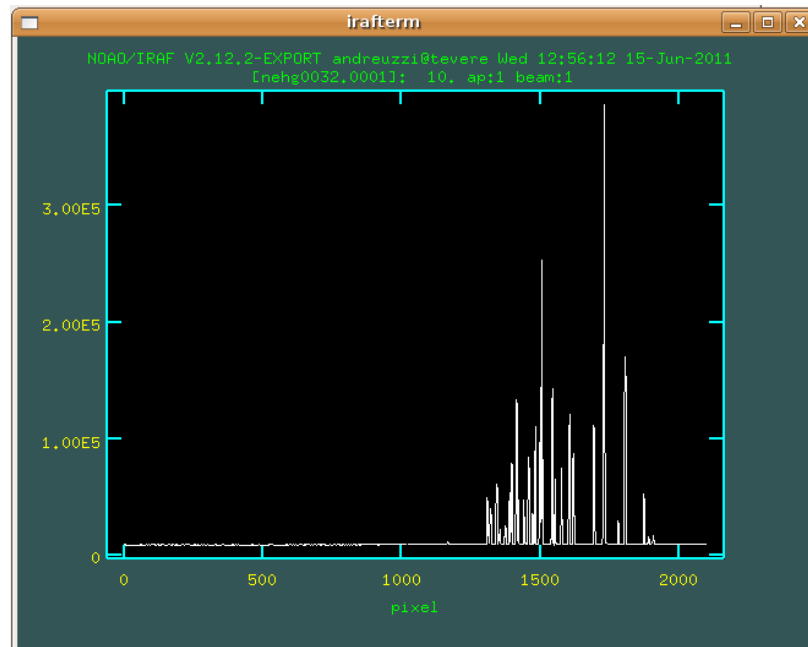
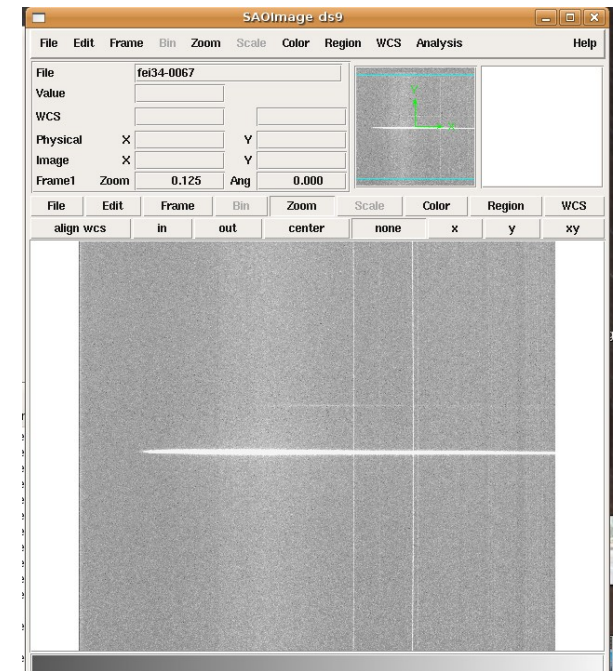
<https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/spectro/>

Spettroscopia al TNG

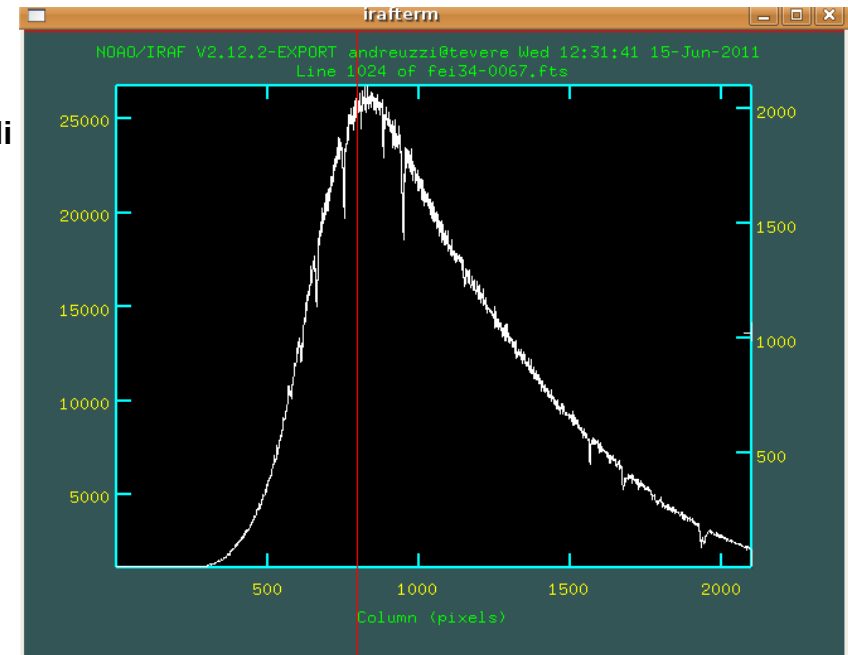
Il caso di DOLORES



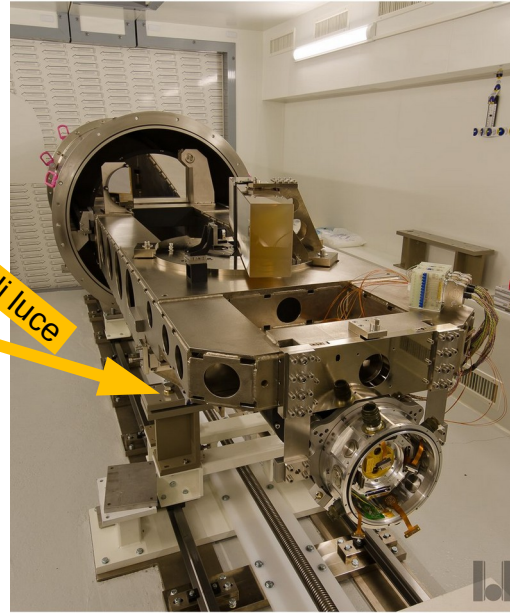
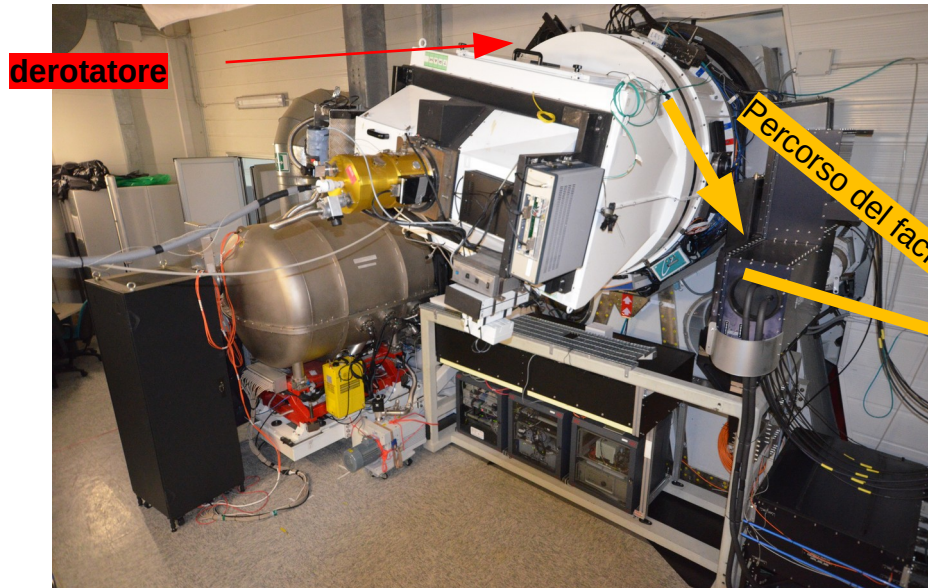
Spettri bidimensionali di una lampada di calibrazione ed una stella



Spettri unidimensionali di una lampada di calibrazione ed una stella



Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG visibile (0.4-0.7 μ m)



Lo strumento è situato 4 piani al di sotto della cupola in una stanza dedicata solo a lui. La luce delle stelle lo raggiunge grazie a 2 fibre ottiche collegate al telescopio.

HARPS-N: High Accuracy Radial velocity Planet Searcher in North hemisphere

2 CCD: 4096 x 4096 pixel
FOV fibra = 1 arcsec
Risoluzione spettrale = 115.000

Il potere risolutivo di uno spettrografo è la sua capacità di separare le righe presenti in uno spettro $\Delta\lambda$ ad una determinata λ :

Spettrografo echelle:
forte stabilità meccanica e termica

Sotto vuoto
 $T = \text{costante} = 17.000 \pm 0.001 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$R = \lambda / \Delta\lambda$$

Spettroscopia di alta risoluzione al TNG visibile (0.4-0.7 μ m)

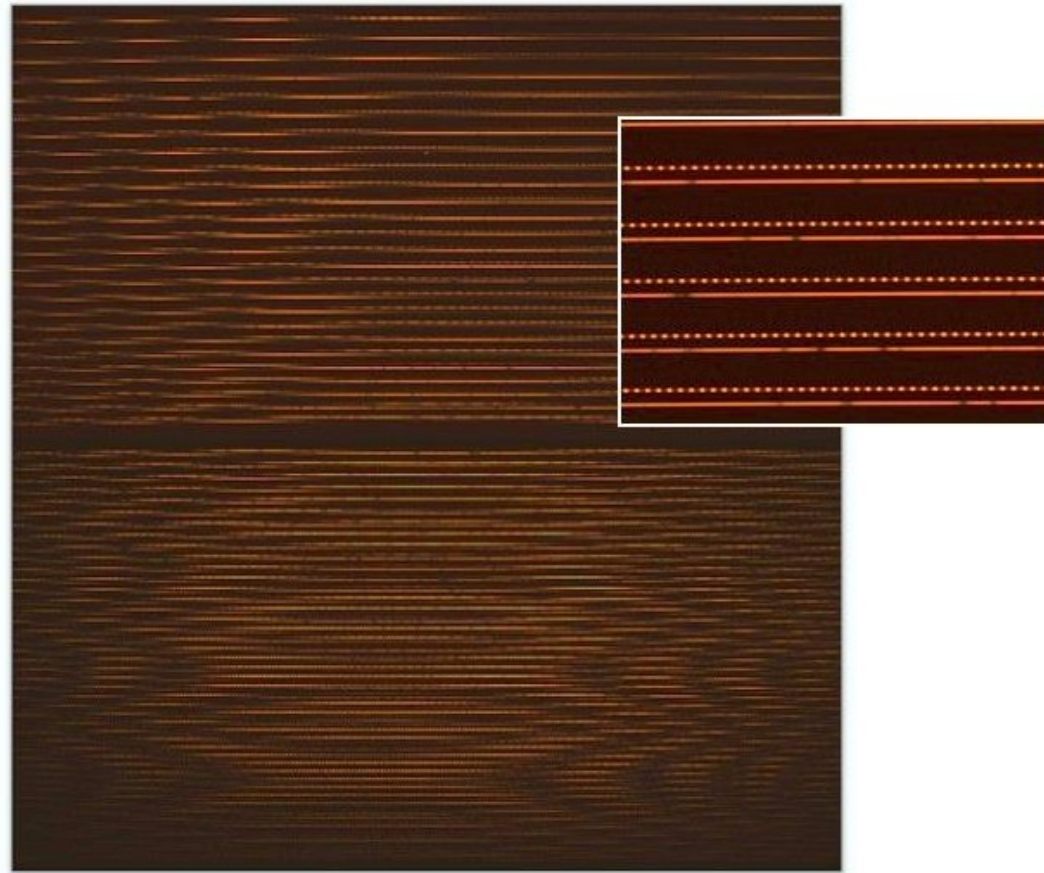
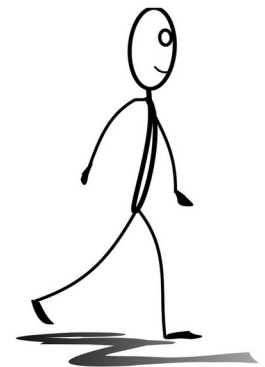


Figure 19 - Raw of a spectrum recorded by HARPS in the 'wave' mode. Two spectra can be distinguished, each one corresponding to one spectrograph fiber illuminated by A) the star (lower fiber) and B) the simultaneous FP (upper fiber).

Può rilevare i movimenti (velocità radiali) di stelle lontane centinaia di anni luce con un'accuratezza dell'ordine di 1m/s, in pratica la velocità di una persona quando cammina.

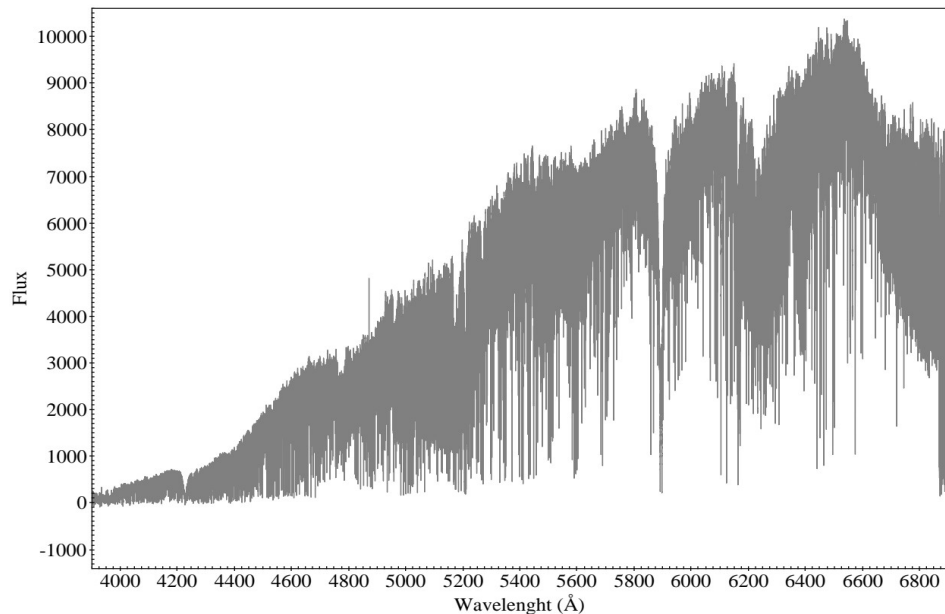
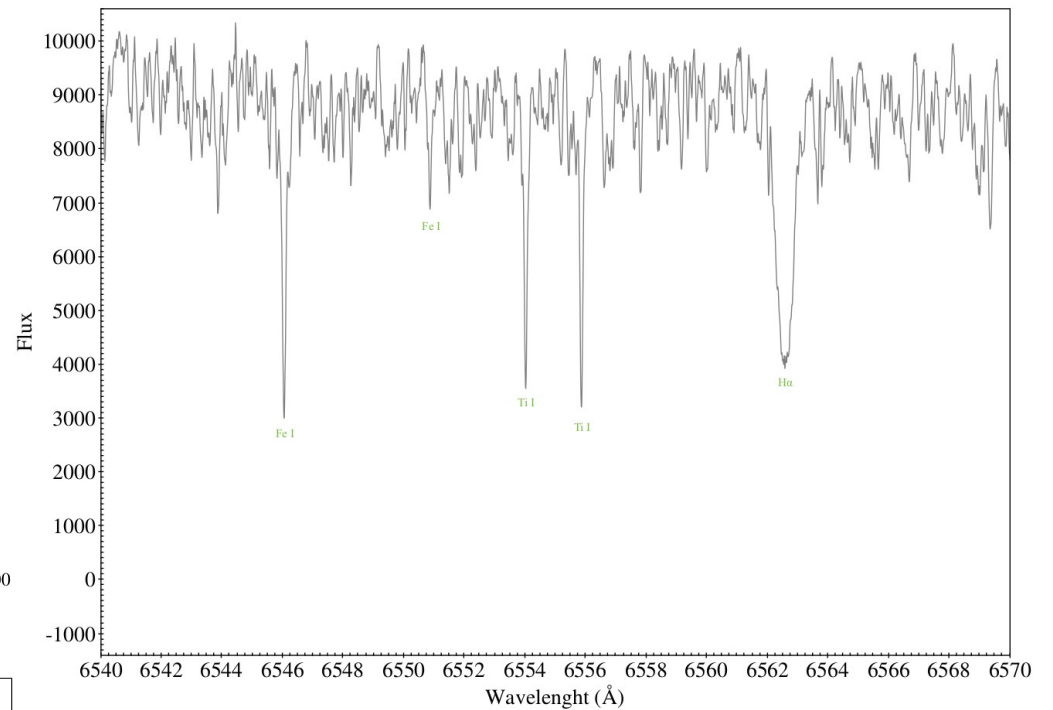
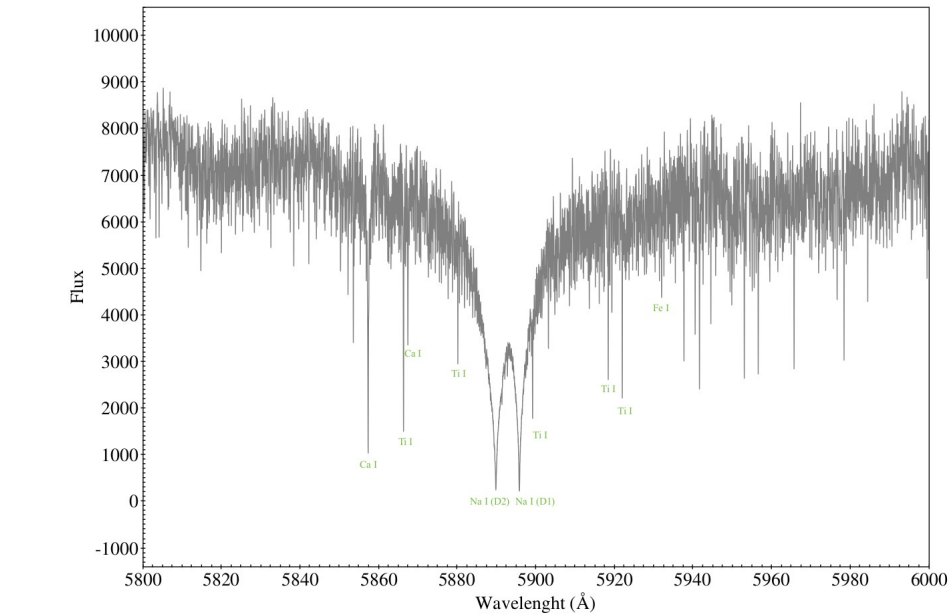
Per la stima dei tempi di esposizione accedere al link della pagina web e scaricare il software adibito a questo.

<https://www.tng.iac.es/instruments/harps/>



Spettroscopia di alta risoluzione al TNG

Spettri con HARPS-N



GJ686 stella M, è fredda ed ha uno spettro con un andamento caratteristico di queste stelle, con molto titanio e presenza di bande molecolari

Crediti

ESO
NASA
ESA
IAC
SAIT

Wikipedia

Campionati Italiani di
Astronomia

A. Fontana - INAF

A. Ghedina - TNG

L. - INAF

M. Sandri - INAF

G. Tessicini

V. Guido

L. Bucchave

TNG staff

Scriveteci

concorso-tng@inaf.it
andreuzzi@tng.iac.es

