Leggere la luce con la strumentazione del TNG

Fotometria e spettroscopia



INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
NATIONAL INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS

Giovani Astronomi al TNG

Gloria Andreuzzi

IV edizione

29 ottobre 2026

DOVE ERAVAMO RIMASTI?

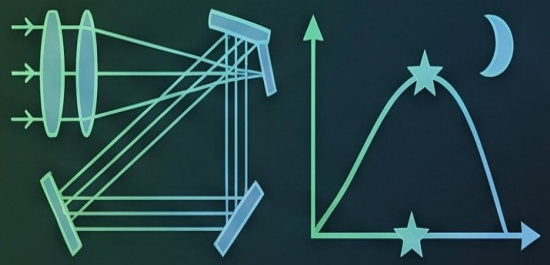
Siti, telescopi e movimento



Siti, telescopi e movimento

- Siti e telescopi astronomici (TNG)
- Sistemi di coordinate celesti
- Montature equatoriale e altazimutale

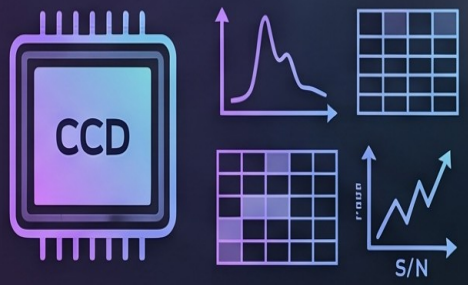
Ottica e visibilità



Ottica e visibilità

- Ottica attiva e sistemi di focalizzazione
- Qualità dell'immagine (PSF, FWHM, seeing)
- Visibilità e puntamento degli oggetti astronomici

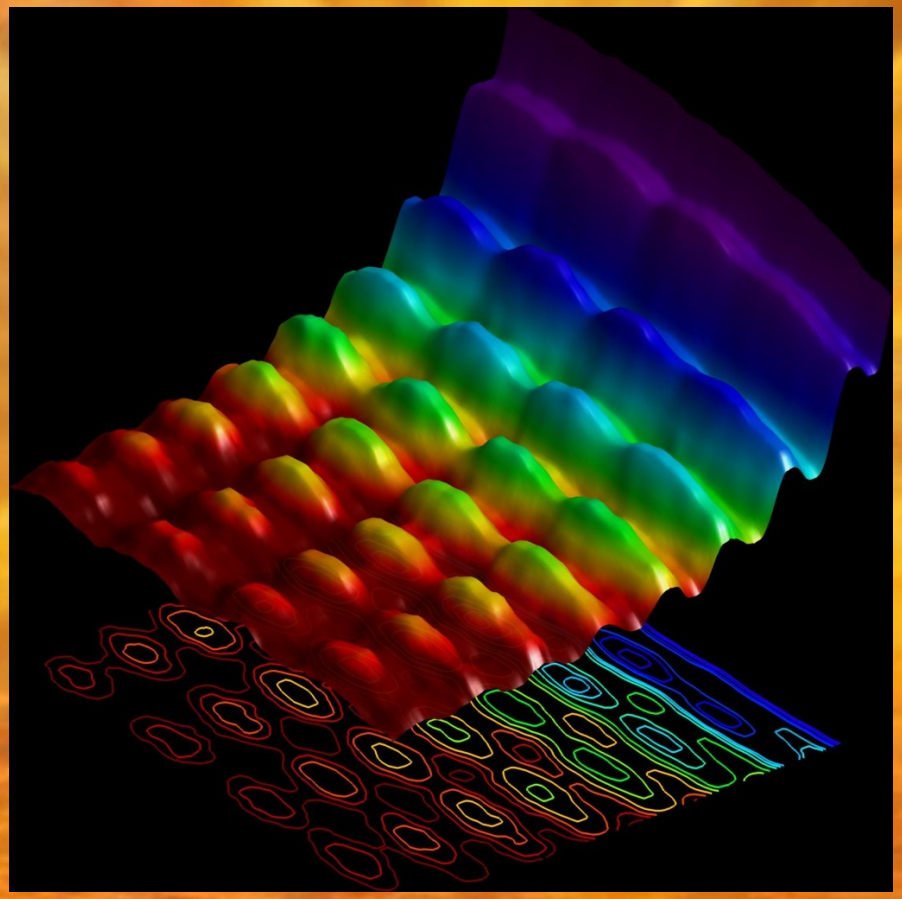
Analisi della luce e dati



- Studio e comportamento della luce
- Valutazione del flusso luminoso e del rumore
- CCD, calibrazione dei dati e rapporto S/N

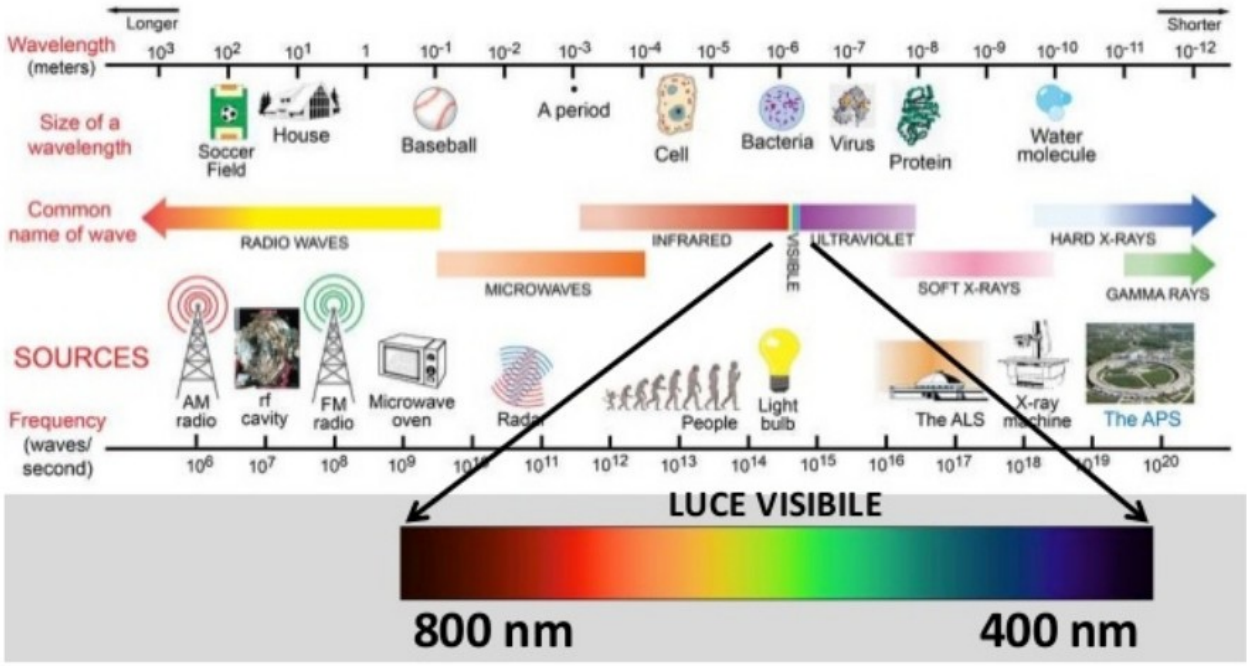
LA LUCE

Tante informazioni nascoste in un solo raggio



Osservazione dell'interferenza spaziale e della quantizzazione dell'energia della luce. 2015 F. 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

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

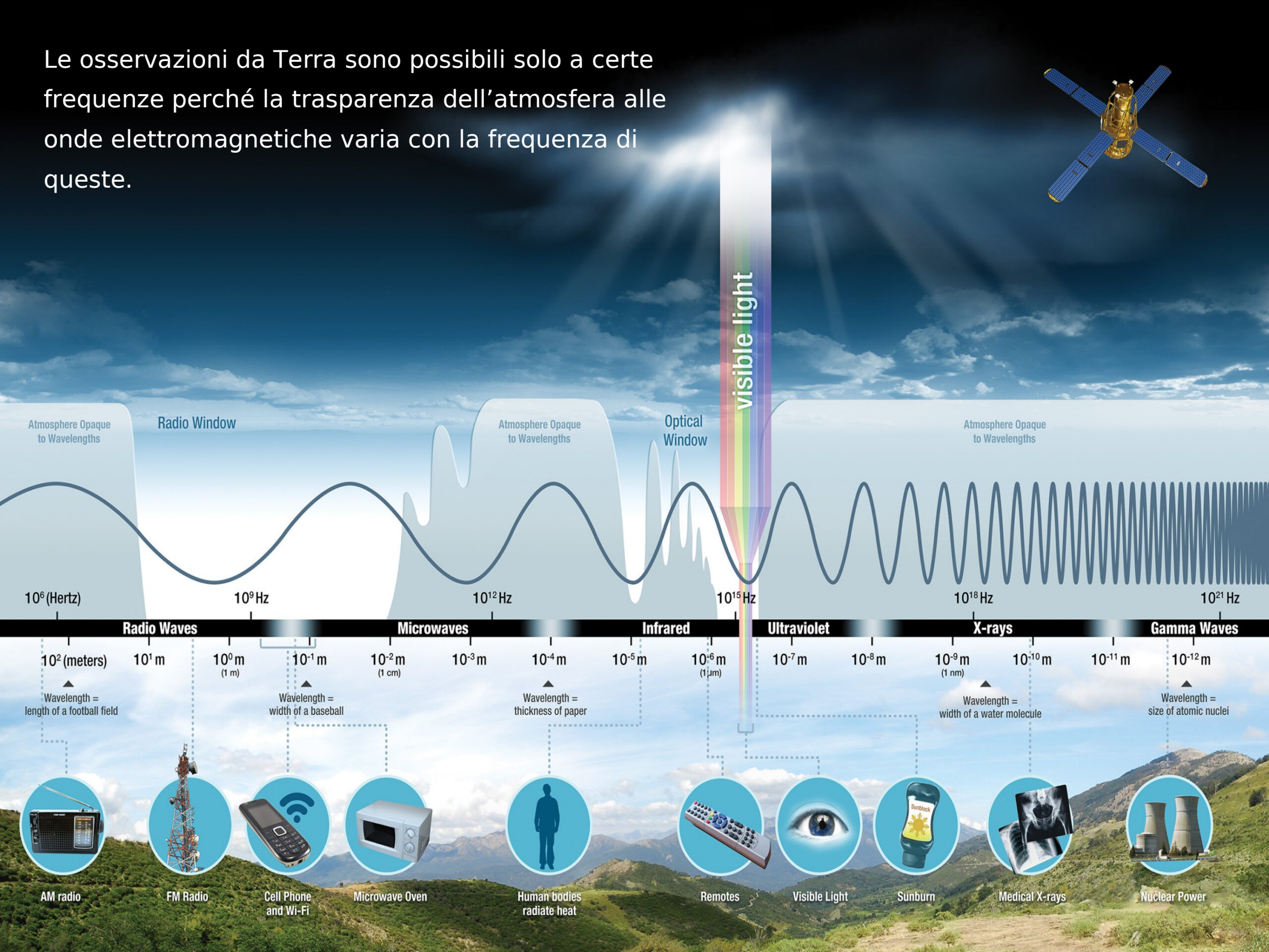
dove v è la velocità della luce nel mezzo di propagazione

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



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

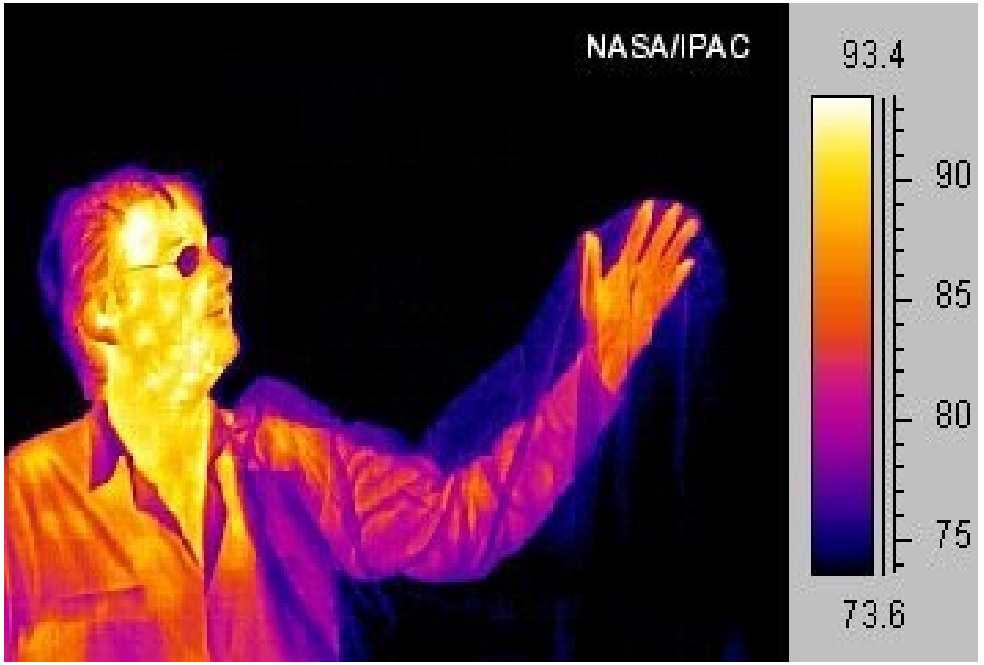
Le osservazioni da Terra sono possibili solo a certe frequenze perché la trasparenza dell'atmosfera alle onde elettromagnetiche varia con la frequenza di queste.



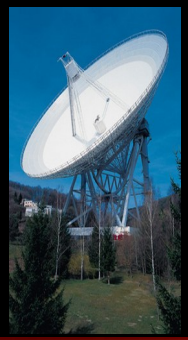
Visibile



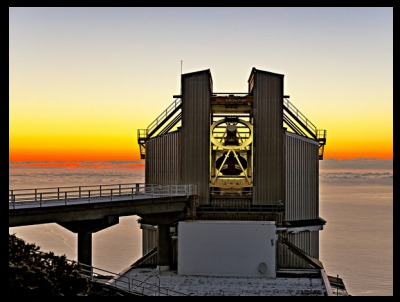
Infrarosso

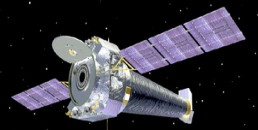




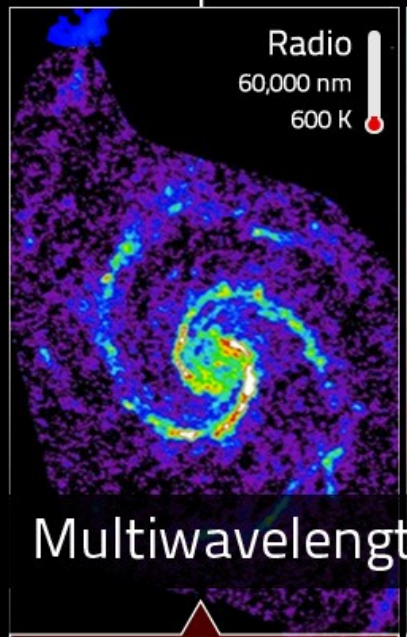








Radio | Microwave | Infrared | UV | X-Ray | Gamma Ray











Multiwavelength Whirlpool Galaxy

COLD GAS: Radio waves reveal regions of gas cool enough for CO_2 molecules to exist.

COOL STARS: Infrared shows smaller cool red stars that make up most of the galaxy.

SOLAR STARS: Optical light comes from stars around the size of the Sun.

HOT STARS: Ultraviolet shows the larger hot blue stars that are less frequent in galaxies.

HOT GAS: X-rays are emitted from the hottest regions of gas where atoms are ionized.

← COOL LOW ENERGY RADIATION — VISIBLE LIGHT — HOT HIGH ENERGY RADIATION →

Tecniche per studiare l'Universo

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)

Tecniche per studiare l'Universo

Imaging – Fotometria

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

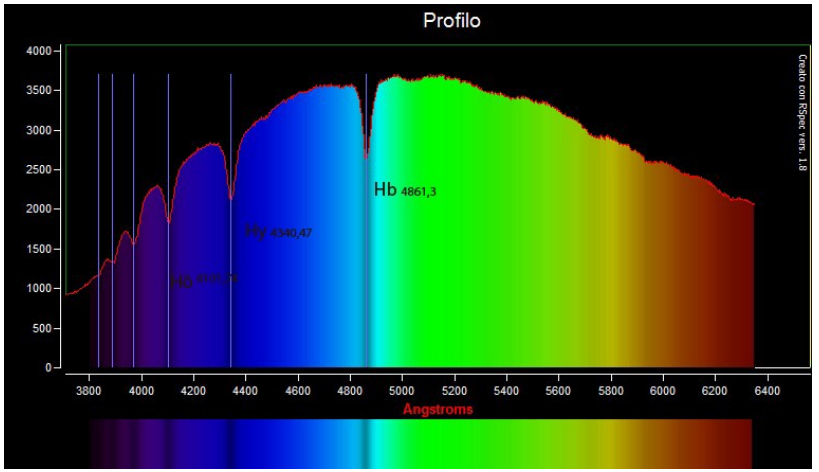


Informazioni che otteniamo

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

Spettroscopia

Studio delle linee spettrali:
le impronte digitali degli atomi

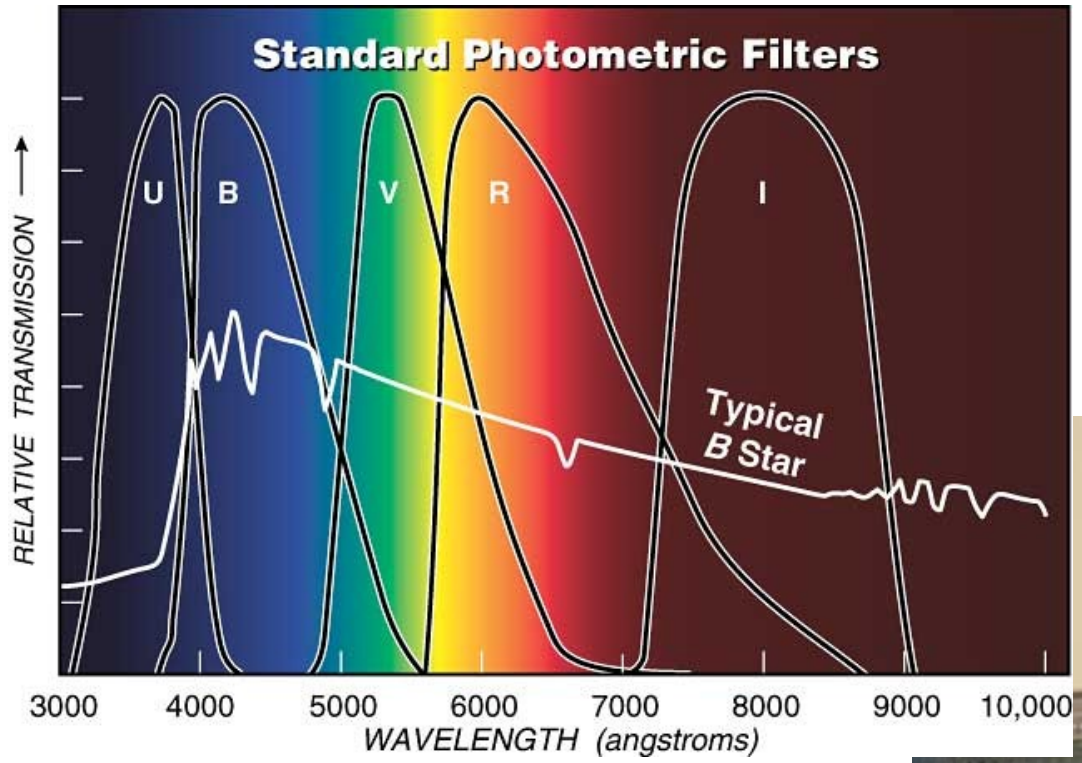


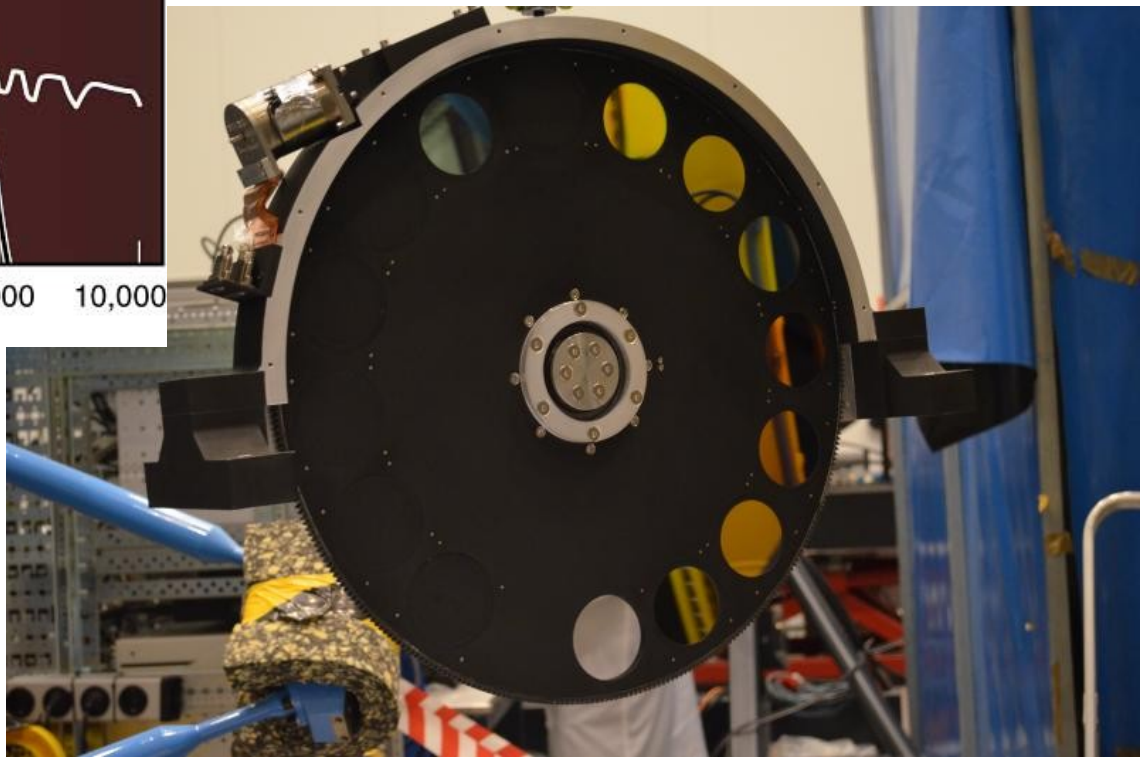
Informazioni che otteniamo

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

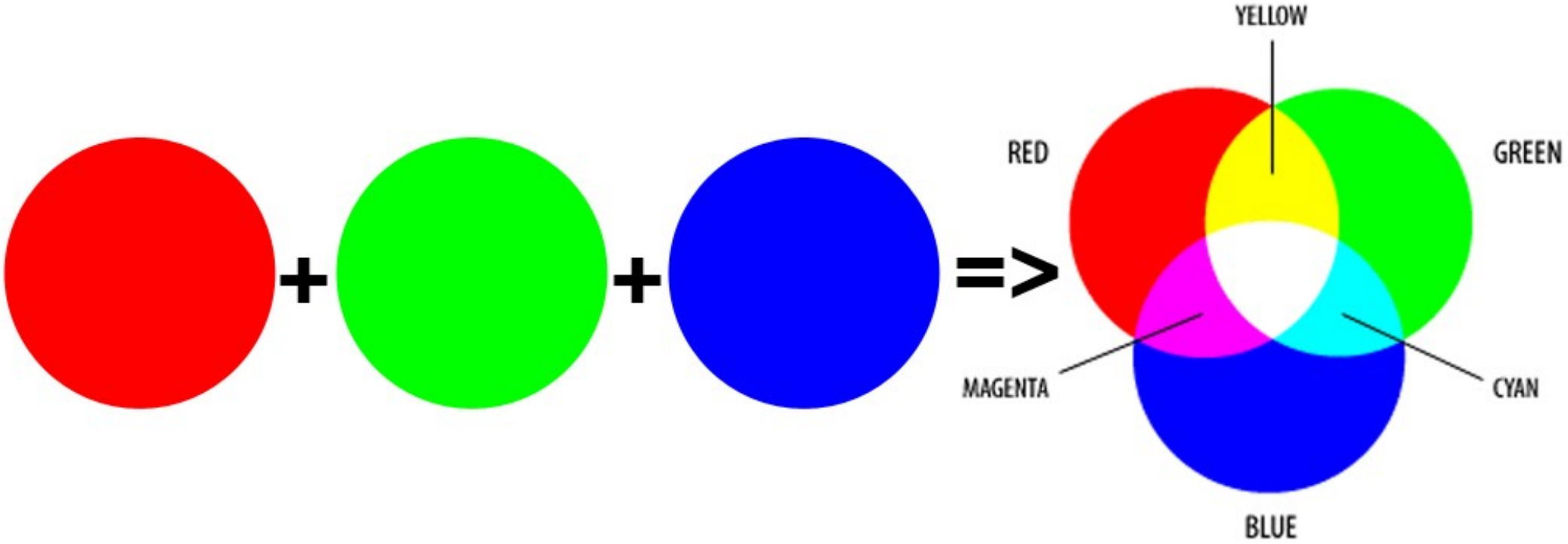
Fotometria

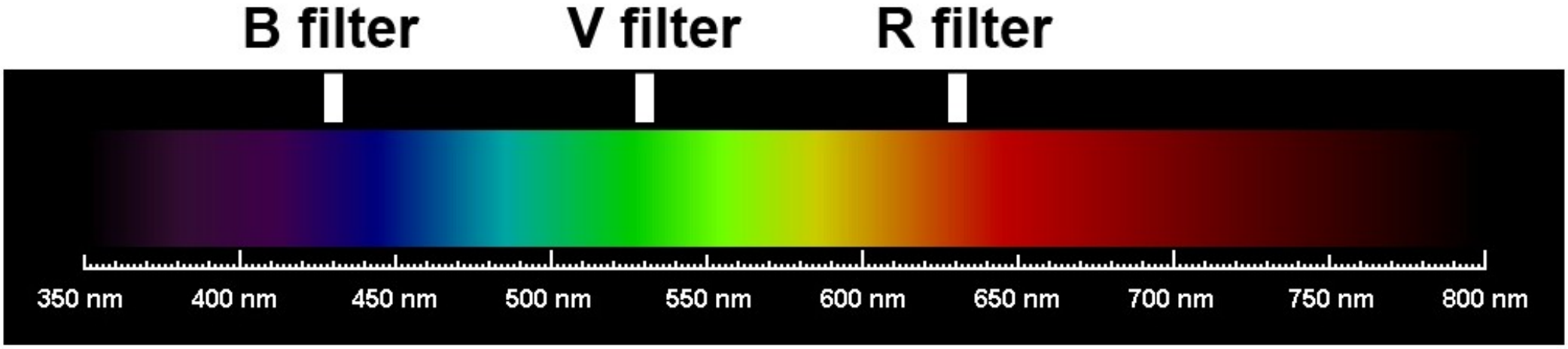
Il Sistema Fotometrico Standard

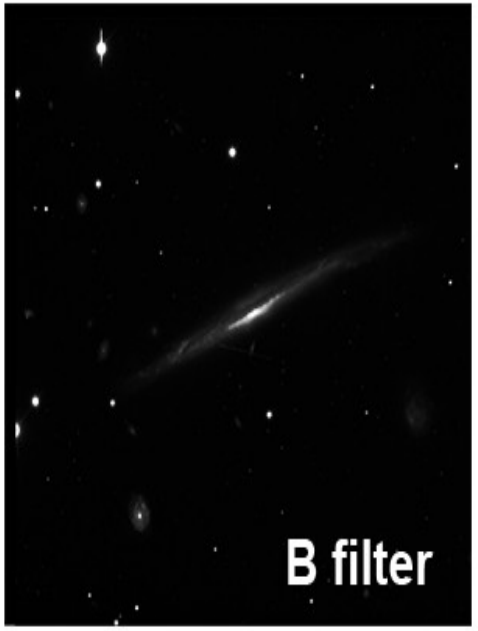




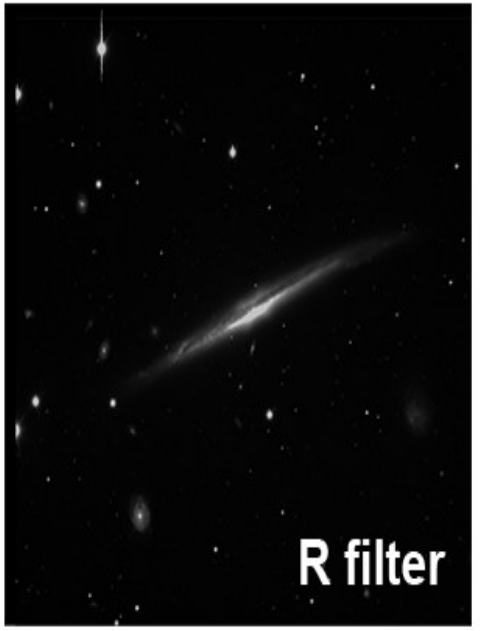


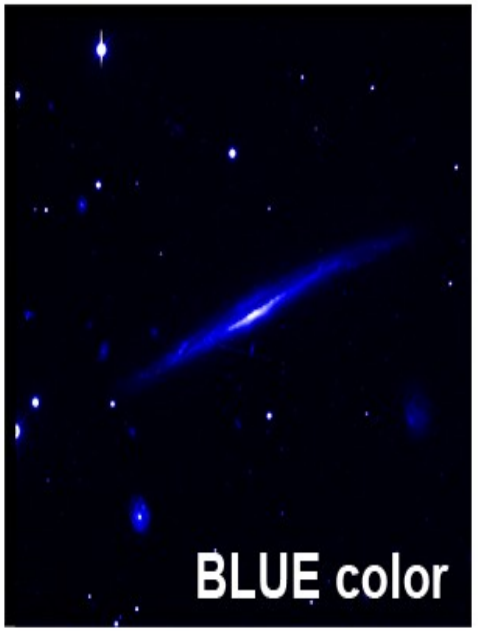

YELLOW
RED
GREEN
MAGENTA
CYAN
BLUE


B filter
V filter
R filter
350 nm
400 nm
450 nm
500 nm
550 nm
600 nm
650 nm
700 nm
750 nm
800 nm


B filter

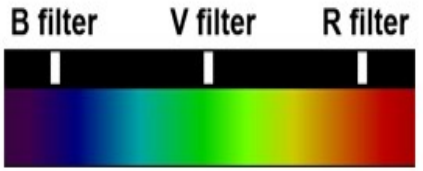

V filter

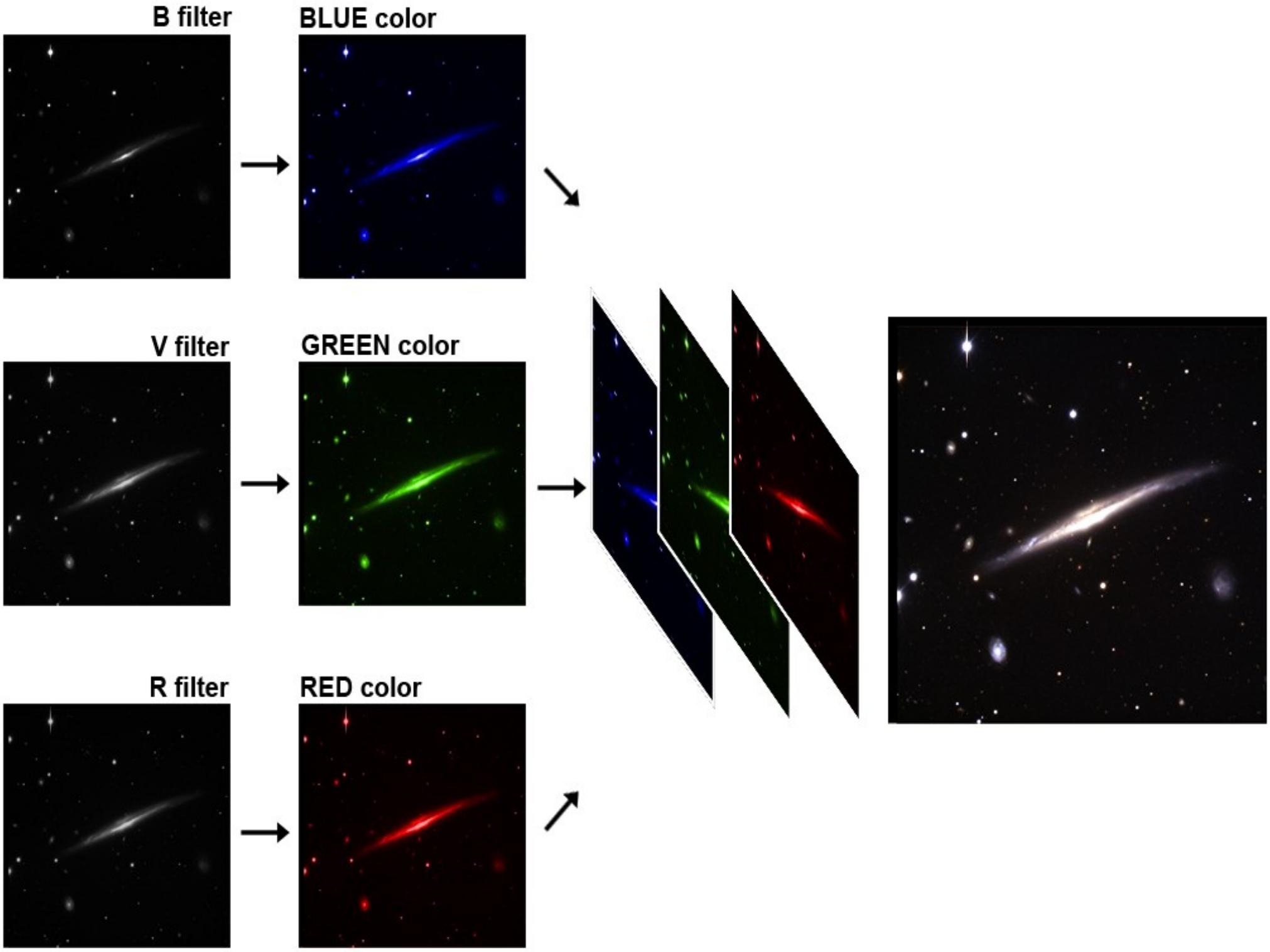

R filter


BLUE color


GREEN color

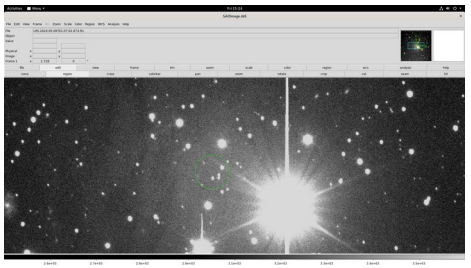

RED color


B filter
V filter
R filter


B filter
BLUE color
V filter
GREEN color
R filter
RED color

Fotometria al TNG

Il visibile 0.3-0.9µm



DOLORES: (Device Optimized for the LOw RESolution)

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





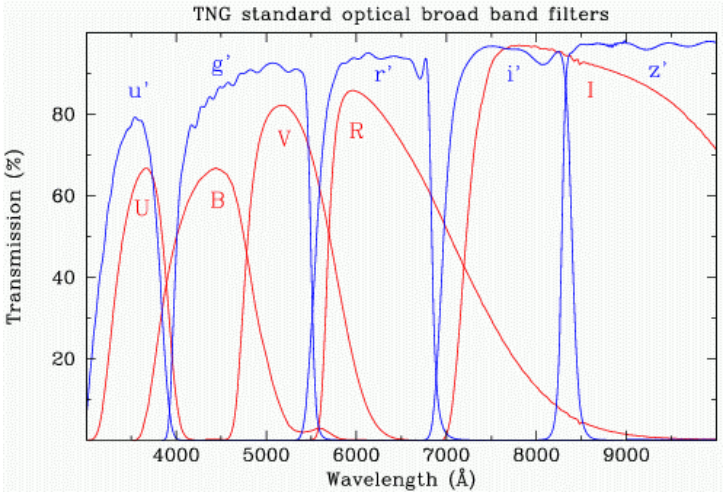
Caratteristiche strumento

CCD: 2048 x 2048 pixel

Saturazione ~ 65000 ADU

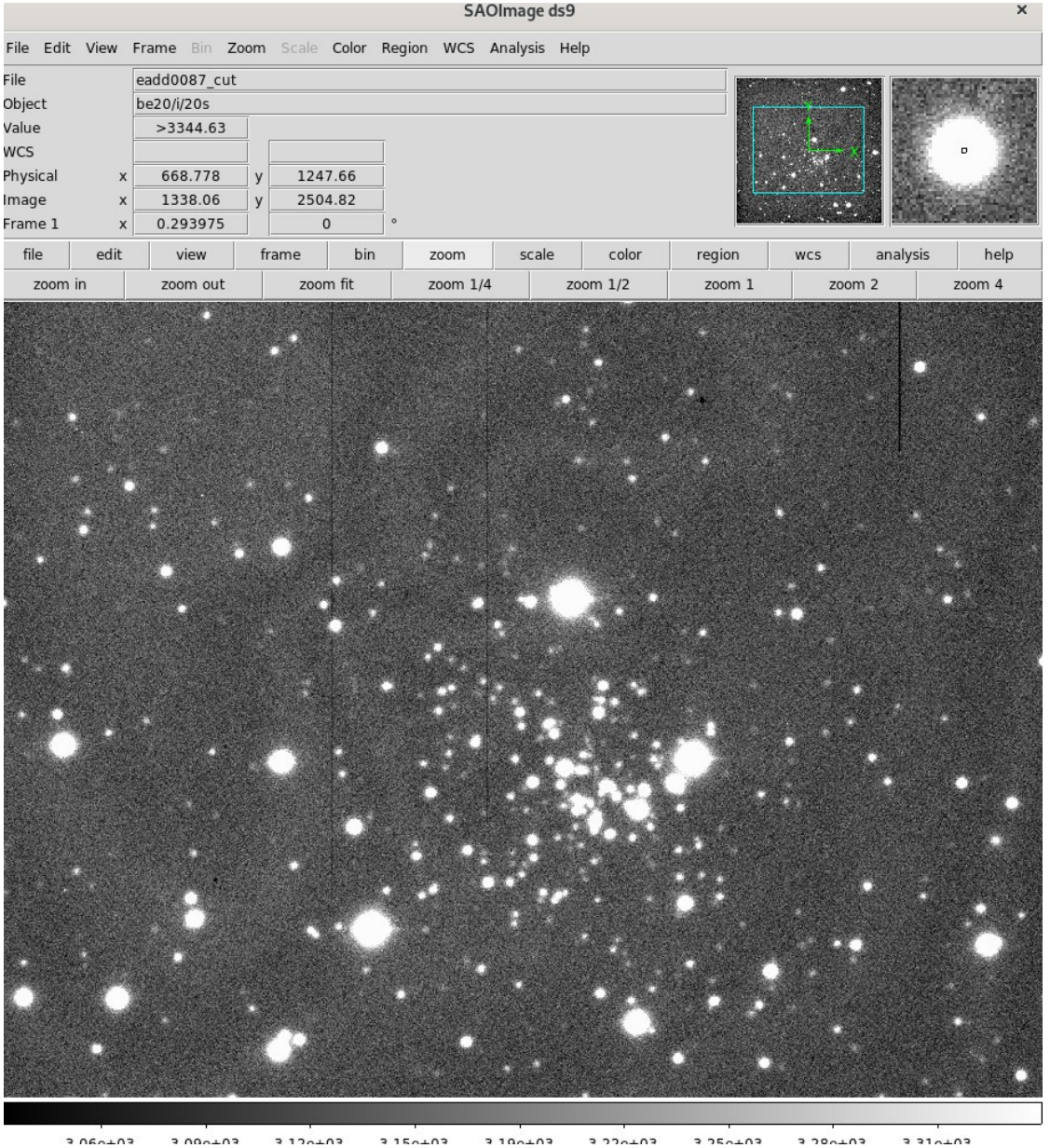
FOV=8.6 x 8.6 arcmin

Risoluzione = 0.252 arcsec/pix



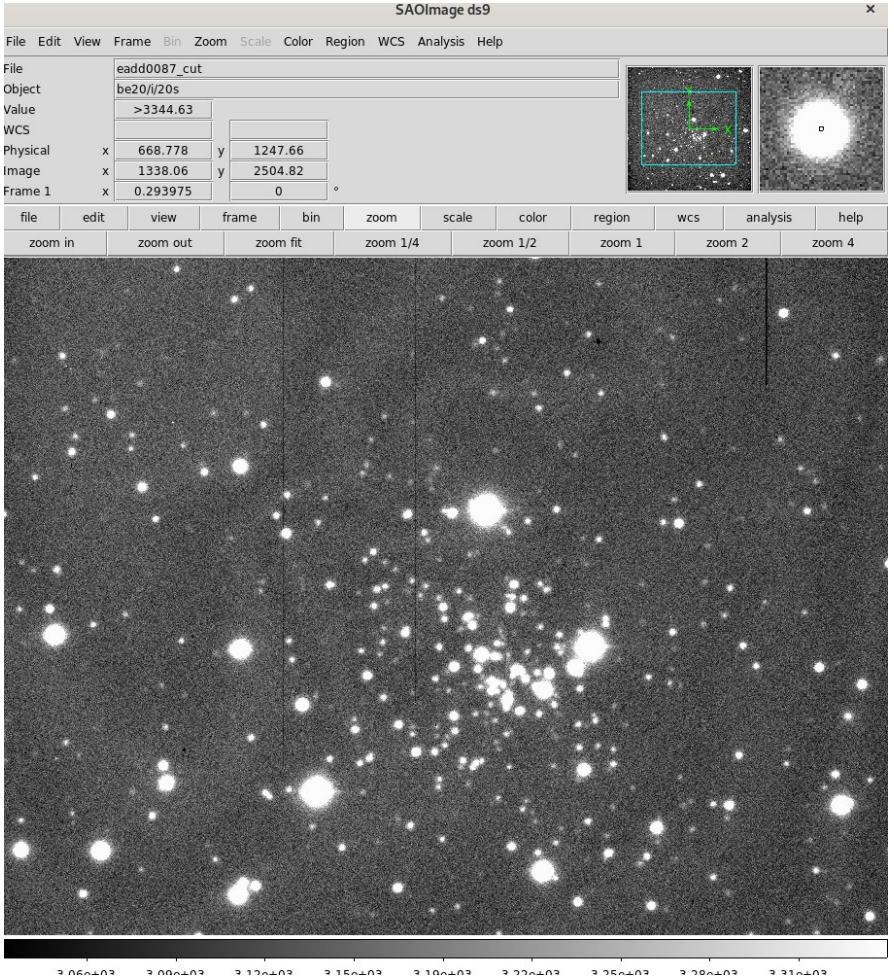
Fotometria al TNG

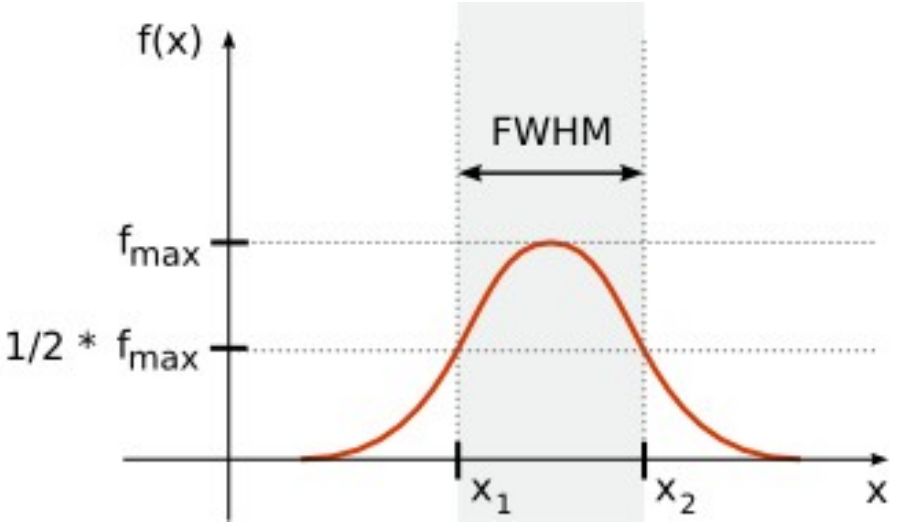
Le immagini di LRS

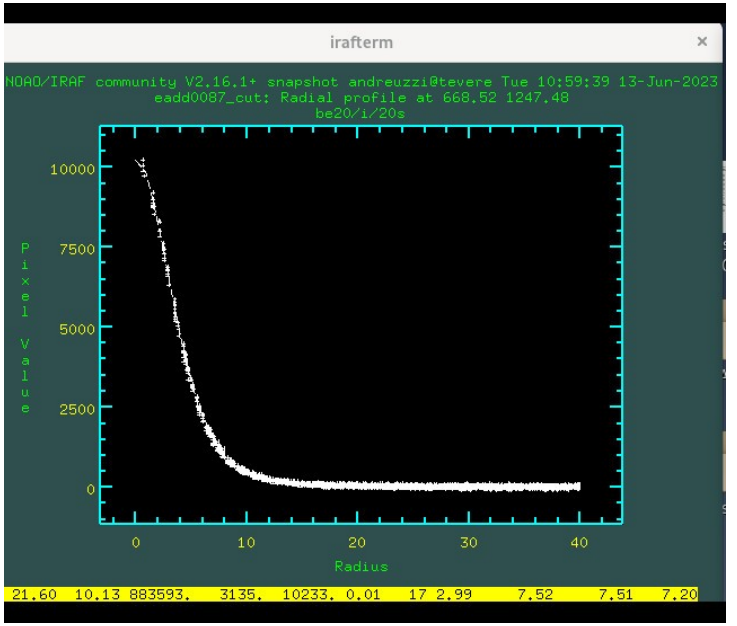


Fotometria al TNG

Le immagini di LRS

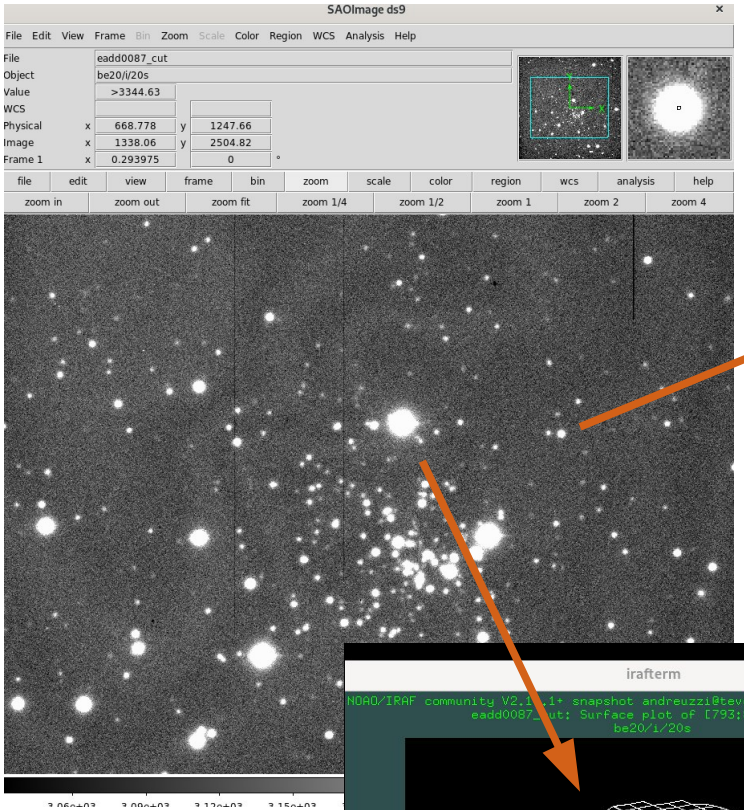


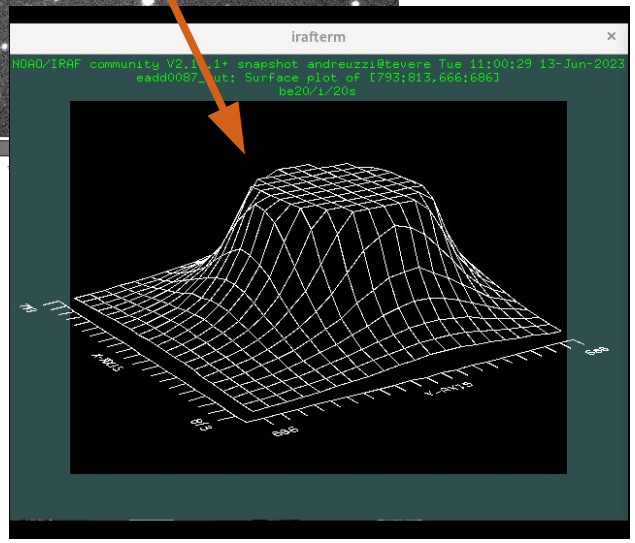


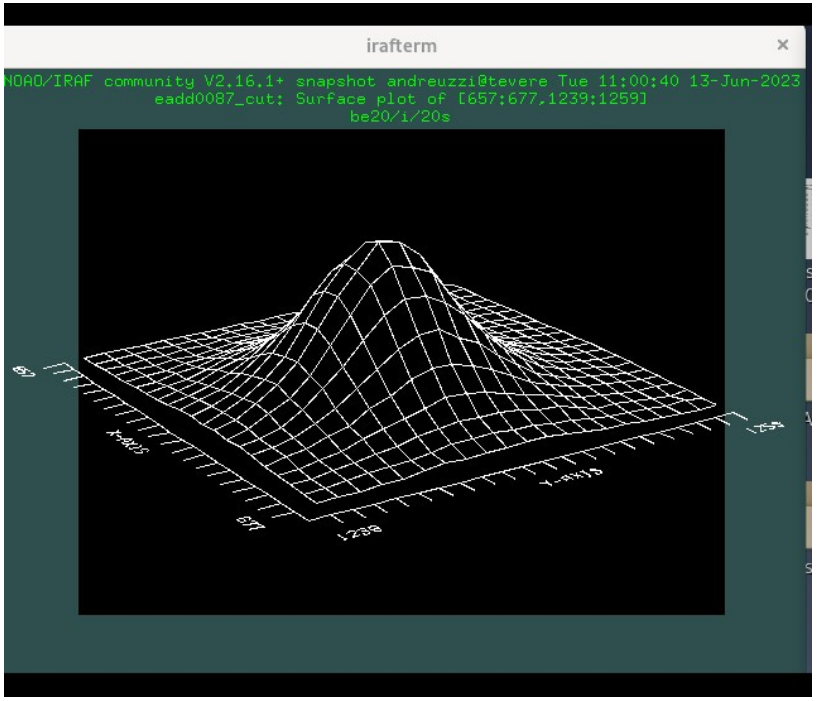


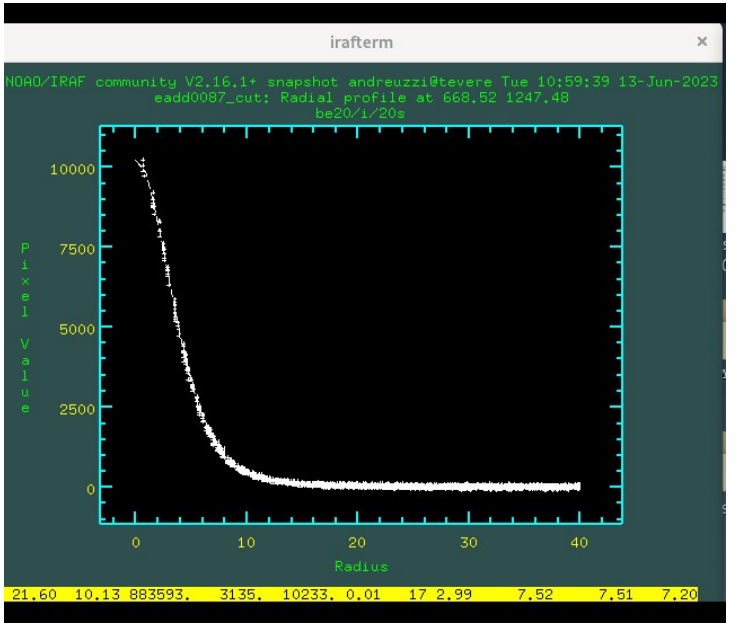
Fotometria al TNG

Le immagini di LRS









Fotometria al TNG

Osservare nel visibile - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/

Exposition Time Calculator for Imaging

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with OIG, DOLORES, NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for OIG and DOLORES).

To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa."

Instrument	DOLORES Imaging		
Band	V	NICS FOV	Large
Source Type	Point	Binning	1 x 1
Fwhm	1.0 arcsec	Air Mass	1.0
Apparent Magnitude	19 mag (mag/arcsec² if extended)	Sky Brightness	Days from New Moon 7
Exposure Time	600.0 seconds	Signal To Noise	10

SUBMIT CLEAR

Fotometria al TNG

Osservare nel visibile - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/

Exposition Time Calculator for Imaging

Results

INPUT

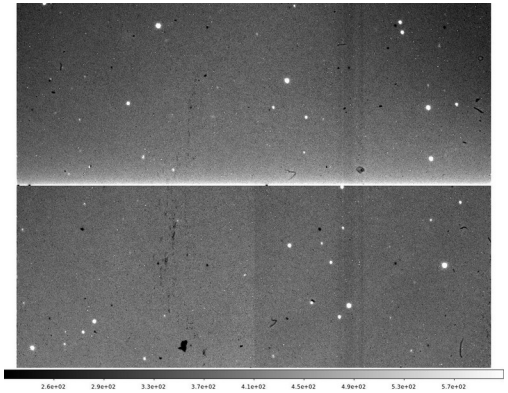
INSTRUMENT	LRS
BAND	V
APPARENT MAGNITUDE	19 mag
SOURCE TYPE	Point
BINNING	1 x 1
EXPOSURE TIME	600.0 seconds
FWHM	1.0 arcsec
AIR MASS	1.0
SKY MAGNITUDE	20.70 mag/arcsec²

OUTPUT

DETECTED ELECTRONS FROM OBJECT	492178.89
DETECTED ELECTRONS/PIXEL FROM SKY	8928.70
SIGNAL-TO-NOISE OVER PSF AREA	528.75
SIGNAL-TO-NOISE CENTRAL PIXEL	152.58
PIXELS OVER PSF AREA	41.54

Fotometria al TNG

L'infrarosso 0.9-2.5µm



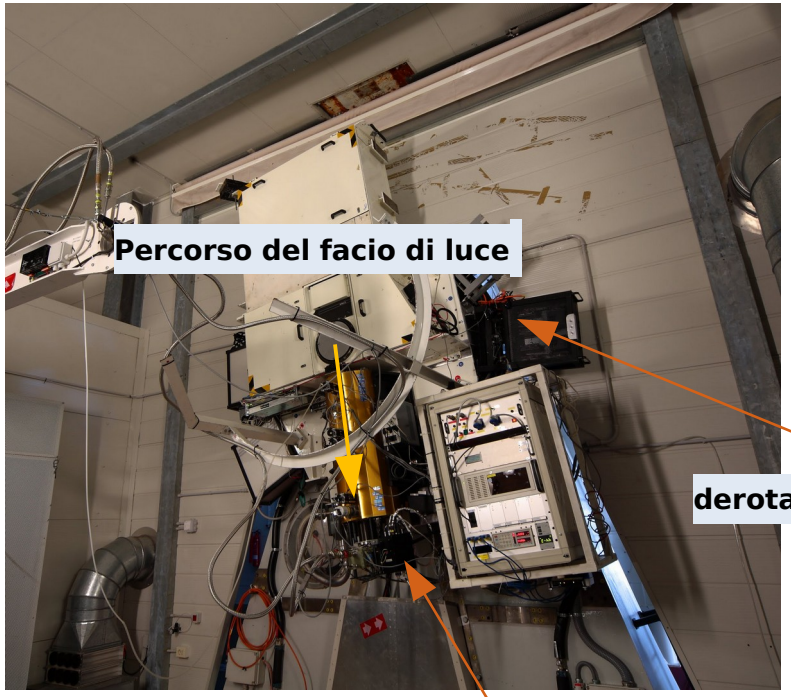
NICS: (Near Infrared Camera Spectrometer)

Caratteristiche strumento

IR array: 1024x1024 pixel

FOV= 4.2 x 4.2 arcmin

Risoluzione = 0.25 arcsec/pix





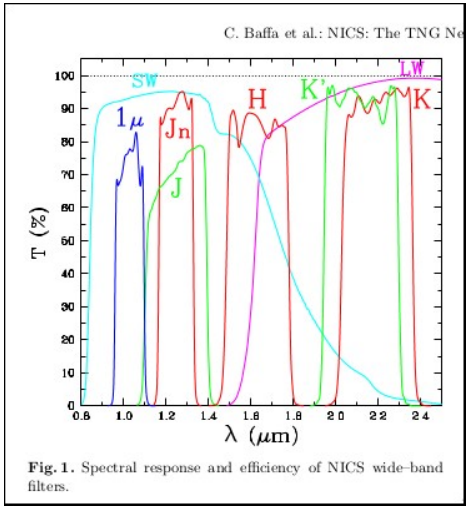


Fig. 1. Spectral response and efficiency of NICS wide-band filters.

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

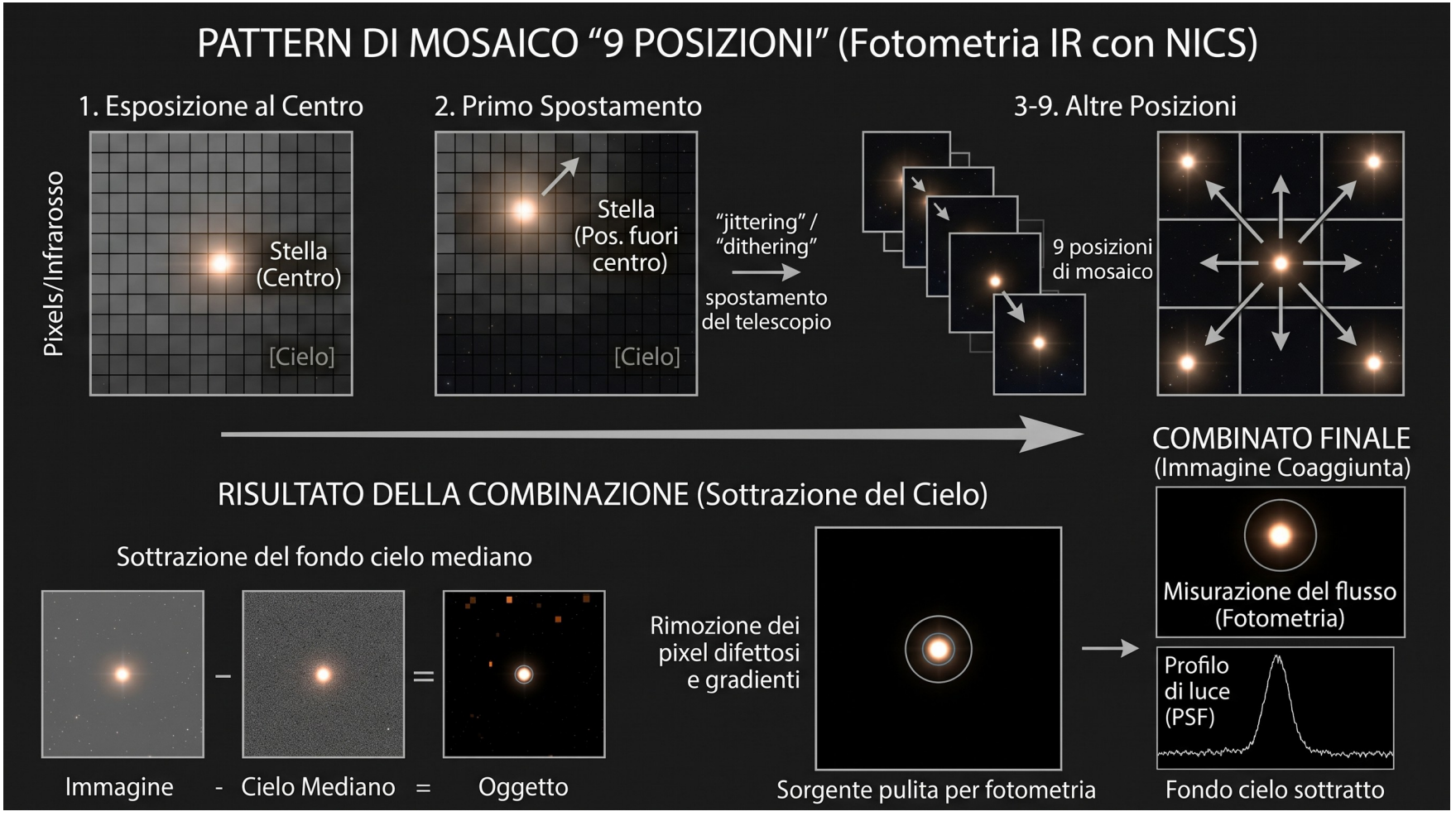
Fotometria al TNG

Osservare in infrarosso

Il fondo cielo è molto luminoso quando osserviamo nell'IR: tecniche adatte alle osservazioni ed alla riduzione dei dati per poter sottrarre il fondo cielo dalle immagini scientifiche

I mosaici

Punto in differenti zone coprendo una piccola area vicino al target → sottraggo il fondo cielo dall'immagine scientifica.



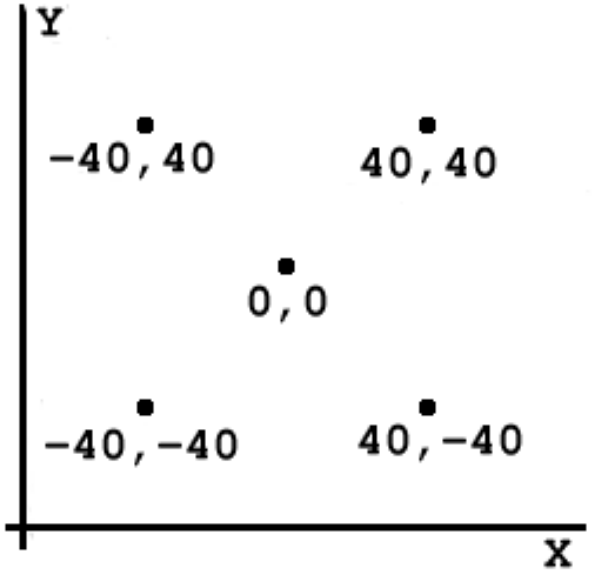
Fotometria al TNG

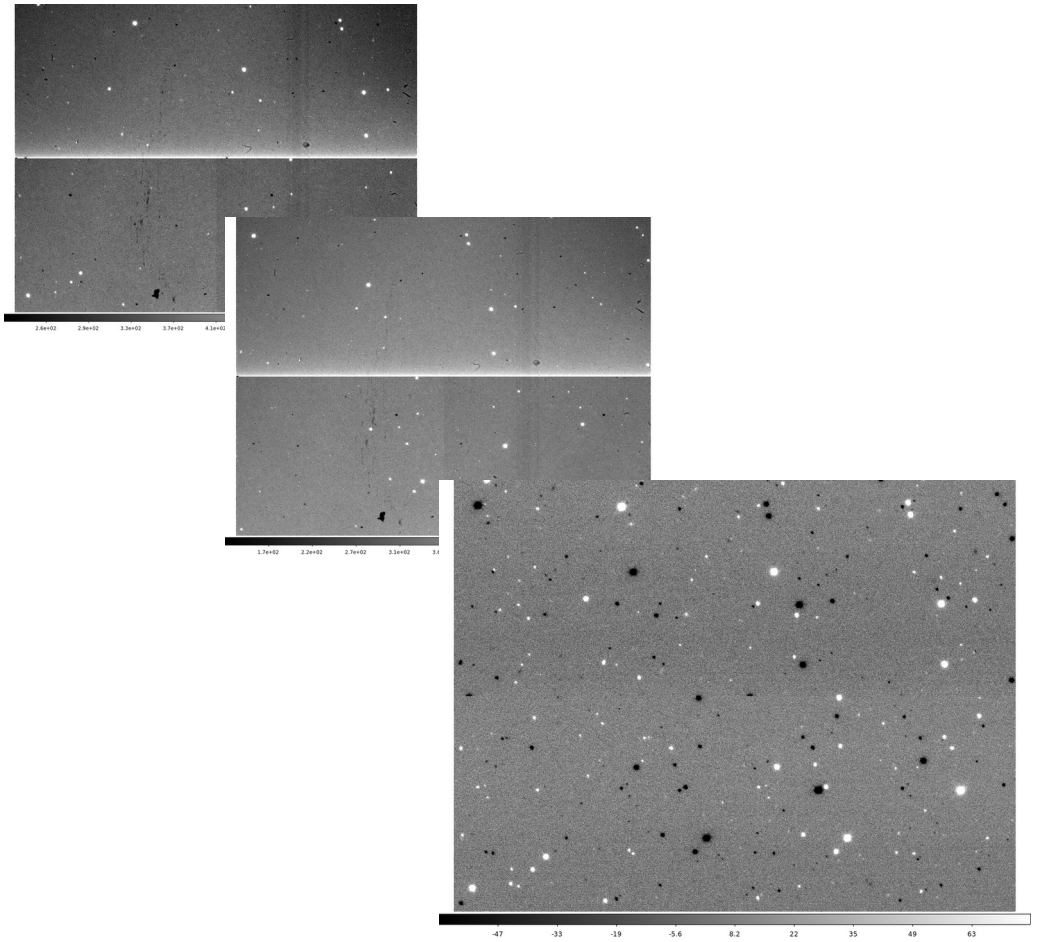
Osservare in infrarosso

Il fondo cielo è molto luminoso quando osserviamo nell'IR: tecniche adatte alle osservazioni ed alla riduzione dei dati per poter sottrarre il fondo cielo dalle immagini scientifiche

I mosaici

Punto in differenti zone coprendo una piccola area vicino al target → sottraggo il fondo cielo dall'immagine scientifica.





Fotometria al TNG

Osservare in infrarosso - Calcolo dei tempi esposizione

Tempi di esposizione lunghi vengono spezzati in tempi più brevi per diminuire il contributo del fondo cielo

$$T_{totale} = DIT \times NDIT$$

DIT = detection integration time o tempo di esposizione su una singola immagine
NDIT = numero di immagini ottenute con tempo di esposizione DIT che vogliamo combinare

Esempio: Se imposti DIT = 10s e NDIT = 12, il sensore esegue 12 integrazioni da 10 secondi ciascuna. Il tempo di esposizione totale integrato sull'oggetto in una delle posizioni del mosaico sarà di 120 secondi, garantendo che l'immagine non sia saturata dal fondo infrarosso.

Observing mode	Suggested DIT (sec)	
Imaging J/Js/Y	60 (LF)	240 (SF)
Imaging H/K'/K/Ks	25 (LF)	100 (SF)
Ima narrow band	150 (LF)	600 (SF)
Spectroscopy Amici	120 x (1"/slit-width)	
Spectroscopy	600-900*	

Fotometria al TNG

Osservare in infrarosso - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/

Exposition Time Calculator for Imaging

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with OIG, DOLORES, NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for OIG and DOLORES).

To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa."

Instrument	NICS Imaging		
Band	Kp	NICS FOV	Large
Source Type	Point	Binning	1 x 1
Fwhm	1.0 arcsec	Air Mass	1.0
Apparent Magnitude	21.0 mag (mag/arcsec² if extended)	Sky Brightness	Days from New Moon 0
(•) Exposure Time	600.0 seconds	( ) Signal To Noise	10.0

SUBMIT CLEAR

Fotometria al TNG

Osservare in infrarosso - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/

Exposition Time Calculator for Imaging

Results

INPUT

INSTRUMENT	NICS
BAND	Kp
APPARENT MAGNITUDE	21.0 mag
SOURCE TYPE	Point
NICS CAMERA	LF
EXPOSURE TIME	600.0 seconds
FWHM	1.0 arcsec
AIR MASS	1.0
SKY MAGNITUDE	13.20 mag/arcsec^2

OUTPUT

DETECTED ELECTRONS FROM OBJECT	9230.23
DETECTED ELECTRONS/PIXEL FROM SKY	789028.21
SIGNAL-TO-NOISE OVER PSF AREA	1.46
SIGNAL-TO-NOISE CENTRAL PIXEL	0.54
PIXELS OVER PSF AREA	50.27

Fotometria al TNG

Osservare in infrarosso - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/

Exposition Time Calculator for Imaging

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with OIG, DOLORES, NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for OIG and DOLORES).

To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa."

Instrument	NICS Imaging		
Band	Kp	NICS FOV	Large
Source Type	Point	Binning	1 x 1
Fwhm	1.0 arcsec	Air Mass	1.0
Apparent Magnitude	19 mag (mag/arcsec² if extended)	Sky Brightness	Days from New Moon 0
○ Exposure Time	600.0 seconds	◉ Signal To Noise	10

SUBMIT CLEAR

Fotometria al TNG

Osservare in infrarosso - Calcolo dei tempi esposizione

- Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/imaging/

Exposition Time Calculator for Imaging

Results

INPUT

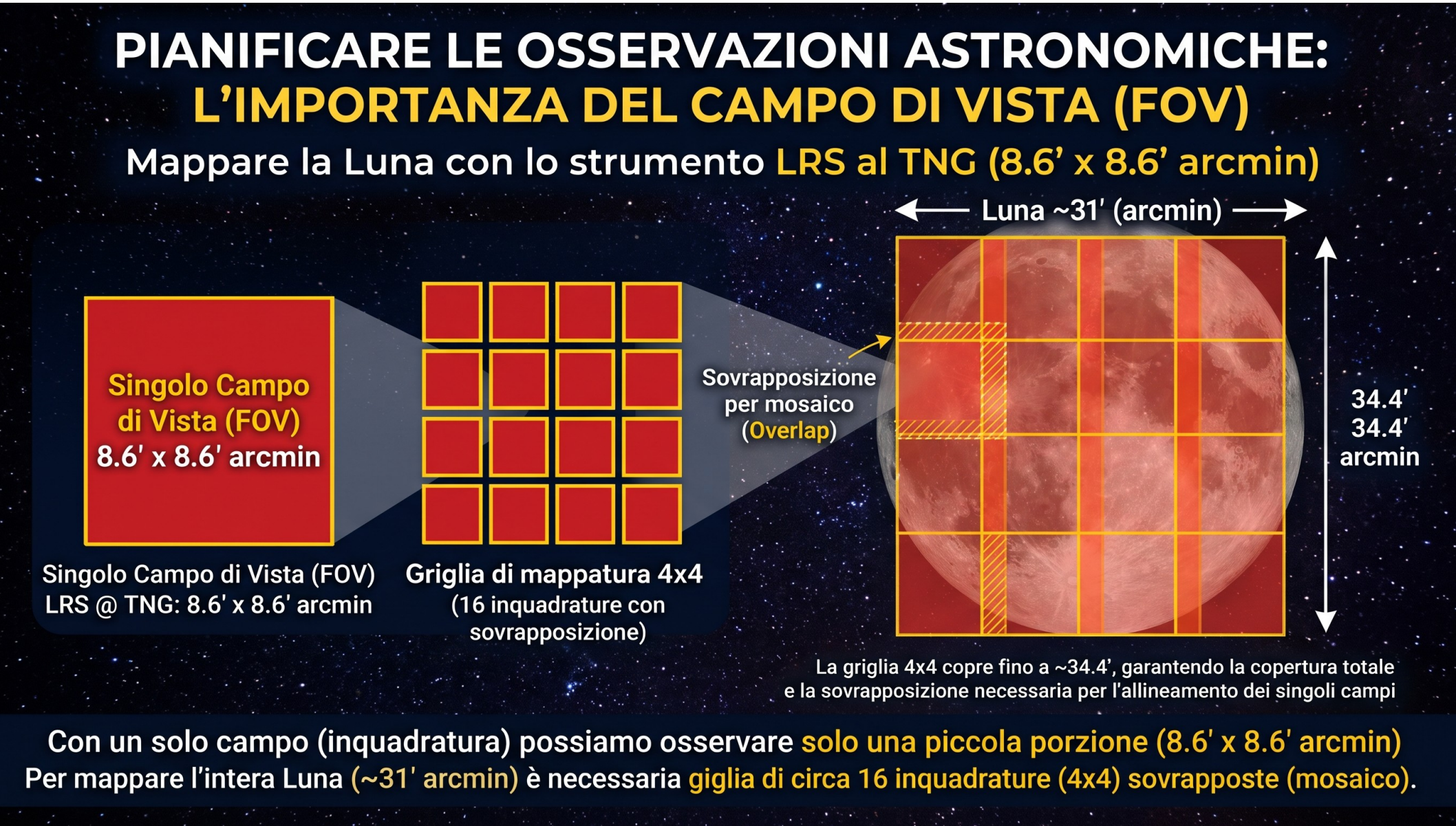
INSTRUMENT	NICS
BAND	Kp
APPARENT MAGNITUDE	19 mag
SOURCE TYPE	Point
	LF
SIGNAL-TO-NOISE OVER PSF AREA	10
FWHM or SLIT DIMENSION	1.0 arcsec
AIR MASS	1.0
SKY MAGNITUDE	13.20 mag/arcsec^2

OUTPUT

DETECTED ELECTRONS FROM OBJECT	68242.80
DETECTED ELECTRONS/PIXEL FROM SKY	924563.76
SIGNAL-TO-NOISE CENTRAL PIXEL	3.91
PIXELS OVER PSF AREA	50.27
EXPOSURE TIME	703.07 seconds

Fotometria al TNG

Osservare nel visibile – Il campo di vista di DOLORES

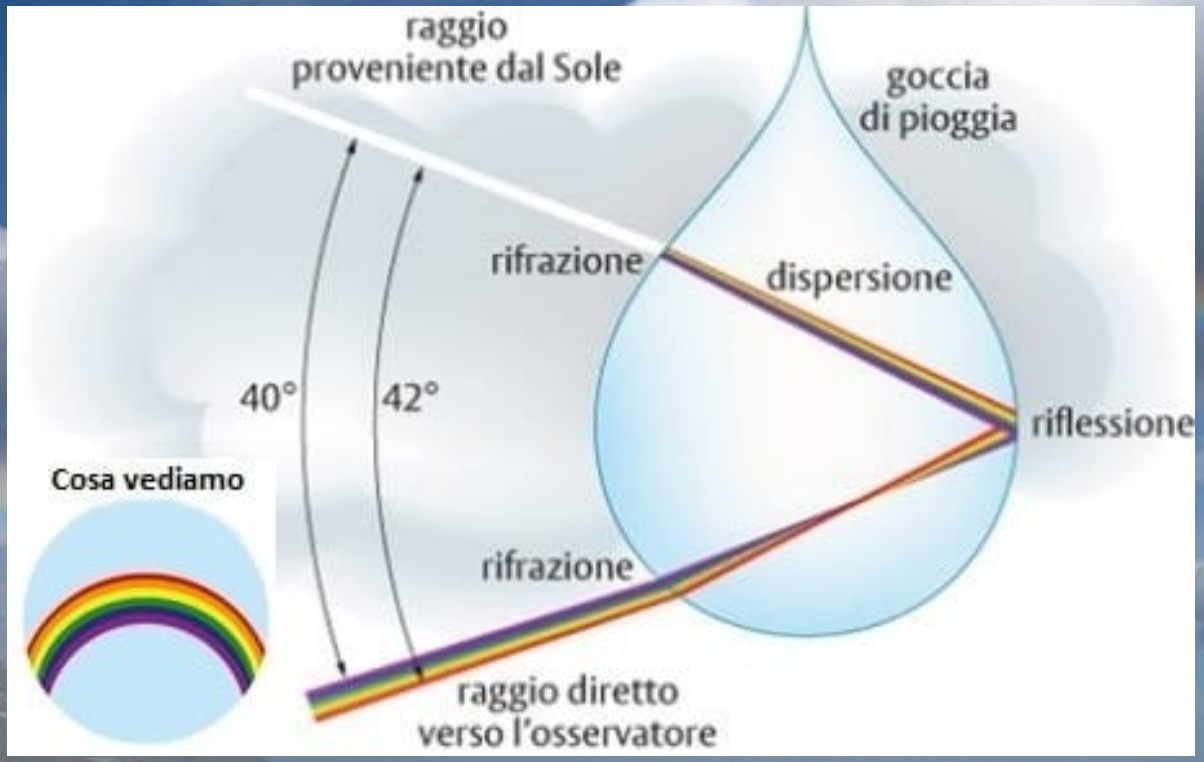


La Spettroscopia



Fernando Bulión (2010)

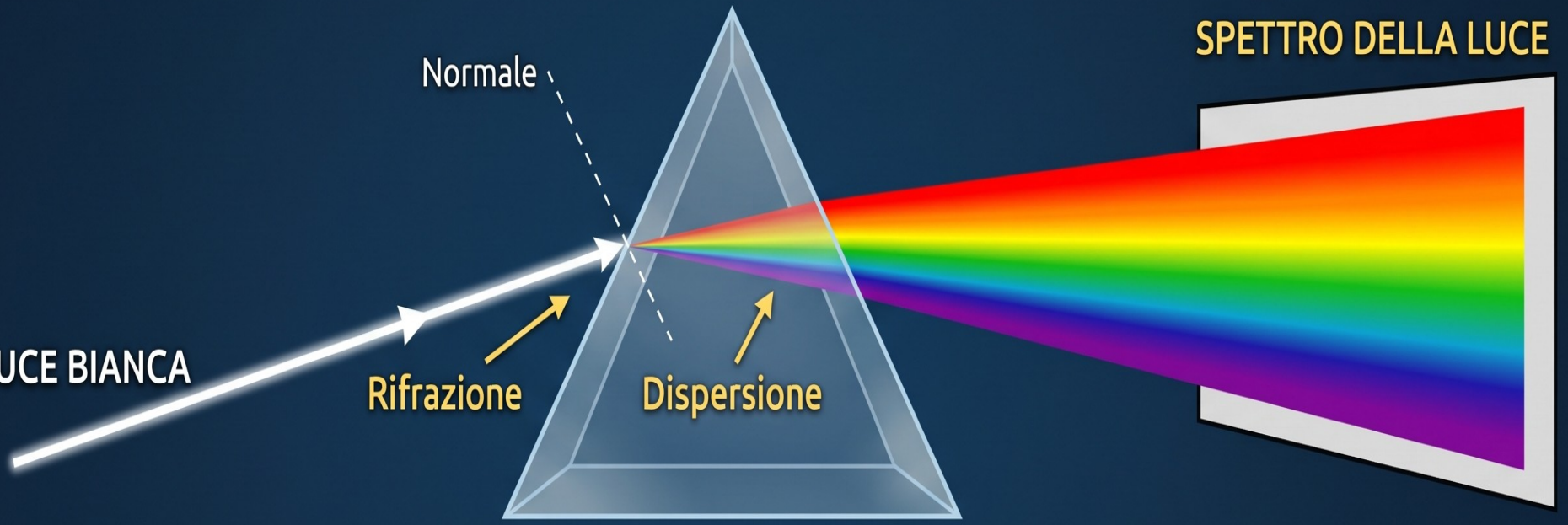
Spettroscopia



Fernando Bullón (2010)

RIFRAZIONE E DISPERSIONE DELLA LUCE

La rifrazione dipenda dalla lunghezza d'onda, generando lo spettro della luce visibile

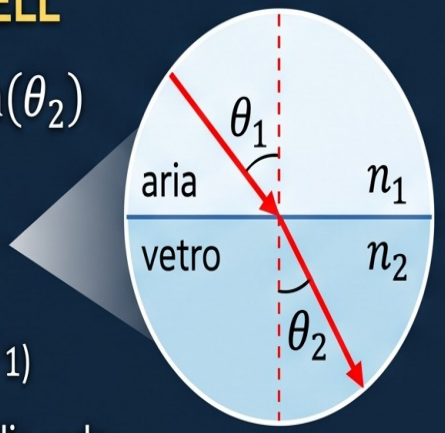


LA LEGGE DI SNELL

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \frac{n_2}{n_1}$$

(con $n_{aria} \approx 1$, $n_{vetro} > 1$)



La deviazione della luce dipende dall'indice di rifrazione n del mezzo.

ANDAMENTO DI n CON LA LUNGHEZZA D'ONDA (λ)

$\lambda_{violetto} < \lambda_{rosso}$

$n_{violetto} > n_{rosso}$

Il violetto ha un n maggiore → viene deviato di più (rifrazione maggiore).



Gli spettrografi

Usano elementi che separano la luce nelle sue diverse lunghezze d'onda

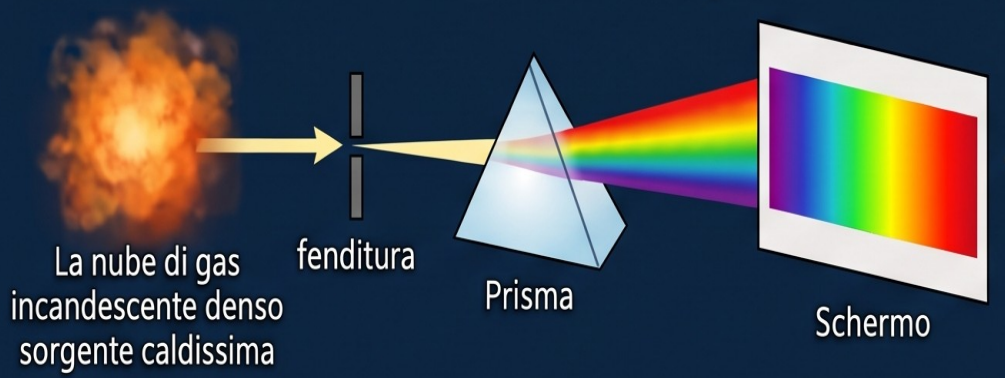
Gli spettrografi

Usano elementi che separano la luce nelle sue diverse lunghezze d'onda



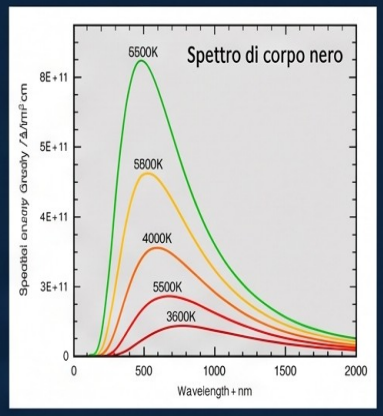
TIPI DI SPETTRO E LORO ORIGINE

SPETTRO DI RADIAZIONE TERMICA (Spettro Continuo)

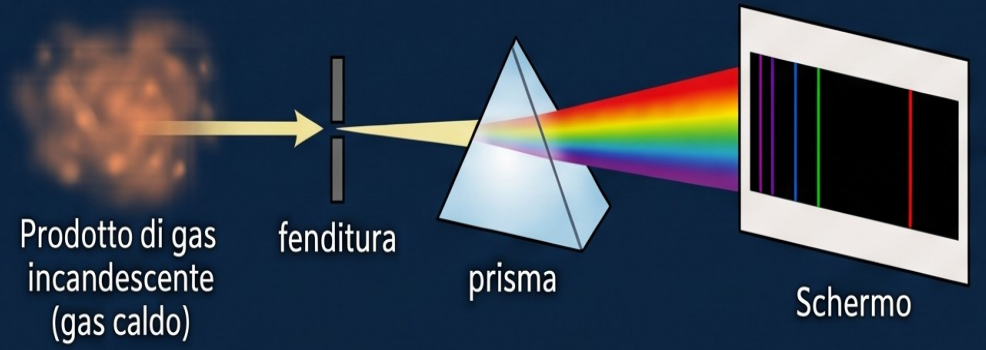


La radiazione emessa da un corpo denso e caldo (solido, liquido o gas compresso) a causa della sua temperatura.

La luce contiene tutte le lunghezze d'onda del visibile, senza interruzioni.

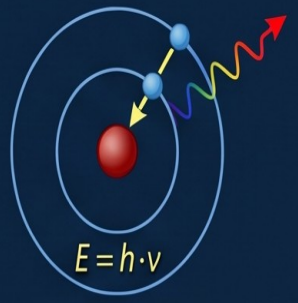


SPETTRO DI EMISSIONE



Prodotto da un gas o vapore rarefatto ad alta temperatura.

Gli atomi eccitati emettono luce solo a specifiche lunghezze d'onda caratteristiche di ciascun elemento.



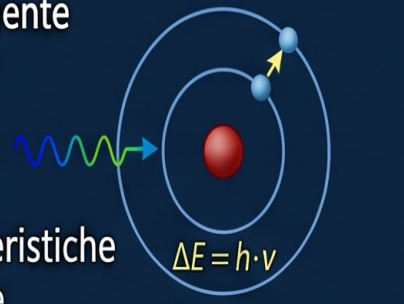
Transizione elettronica: emissione

SPETTRO DI ASSORBIMENTO



Si genera quando la luce di una sorgente continua attraversa un gas freddo e rarefatto.

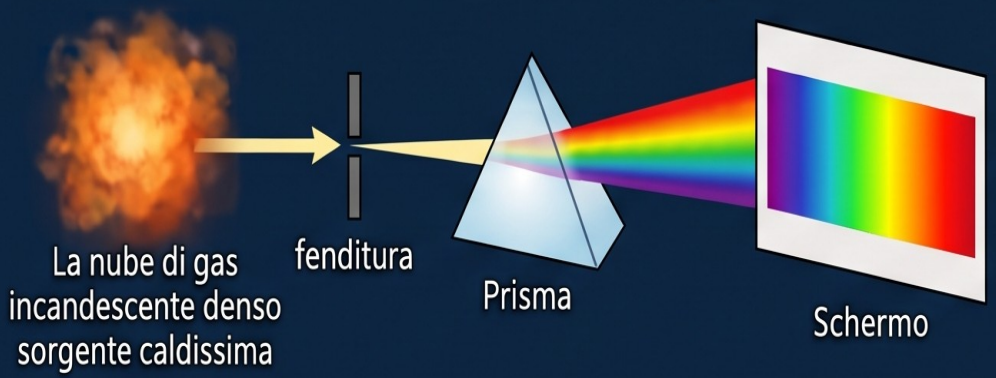
Gli atomi del gas assorbono solo specifiche lunghezze d'onda, caratteristiche di ciascun elemento, lasciando righe scure nello spettro continuo.



Transizione elettronica: assorbimento

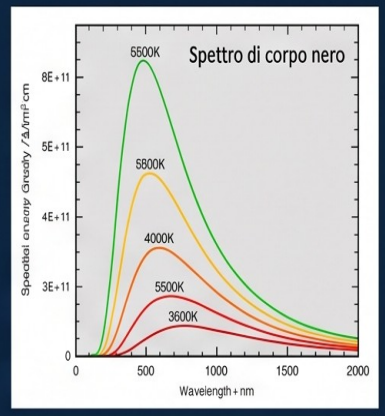
TIPI DI SPETTRO E LORO ORIGINE

SPETTRO DI RADIAZIONE TERMICA (Spettro Continuo)

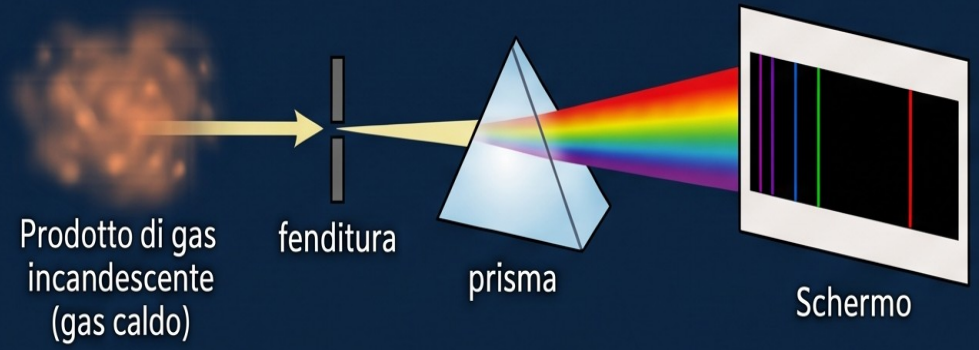


La radiazione emessa da un corpo denso e caldo (solido, liquido o gas compresso) a causa della sua temperatura.

La luce contiene tutte le lunghezze d'onda del visibile, senza interruzioni.

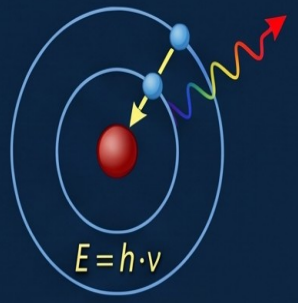


SPETTRO DI EMISSIONE



Prodotto da un gas o vapore rarefatto ad alta temperatura.

Gli atomi eccitati emettono luce solo a specifiche lunghezze d'onda caratteristiche di ciascun elemento.



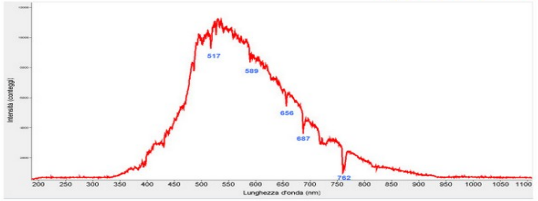
Transizione elettronica: emissione

SPETTRO DI ASSORBIMENTO



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

Dispersione e potere risolutivo di uno spettrografo

CONFRONTO TRA DISPERSIONE E RISOLUZIONE

DISPERSIONE

Quanto lo spettro viene "stirato" (allungato) nello spazio

$$D = \frac{\Delta x}{\Delta \lambda}$$

- È la capacità di separare fisicamente le diverse lunghezze d'onda (λ).
- Dipende dalle proprietà geometriche dell'elemento dispersivo (es. l'angolo del prisma o il numero di linee del reticolo).
- Maggiore è la dispersione, più l'arcobaleno risulta lungo.

BASSA DISPERSIONE



ALTA DISPERSIONE



RISOLUZIONE (Potere Risolutivo)

La capacità di distinguere come separate due righe vicine

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda}$$

- Definisce il livello di dettaglio e la nitidezza dello spettro.
- Dipende dalla qualità dell'ottica, dalla larghezza della fenditura d'ingresso e dalle scanalature del reticolo.
- Una risoluzione insufficiente fa apparire le righe spettrali come un'unica sfocatura.

BASSA RISOLUZIONE





Non risolte: appaiono come un'unica banda sfocata

ALTA RISOLUZIONE





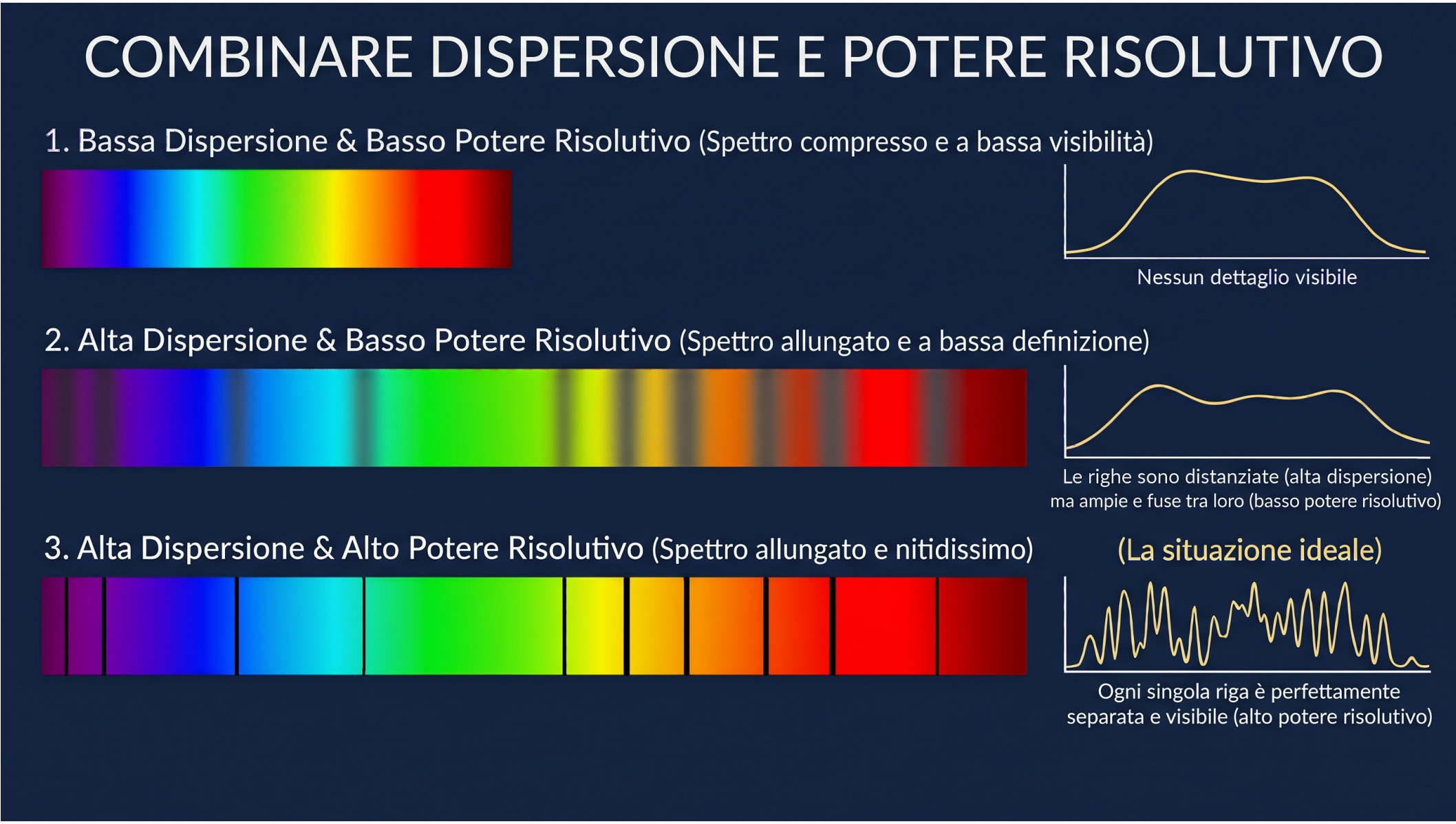
Risolte: si distinguono chiaramente come righe separate

SINTESI DI CONFRONTO

- La **DISPERSIONE** decide la scala dello spettro (lo "Ingrandisce").
- La **RISOLUZIONE** decide la messa a fuoco e la separazione dei ....

Spettroscopia

Dispersione e potere risolutivo di uno spettrografo



Spettroscopia al TNG

Il visibile 0.3-0.9µm

DOLORES: (Device Optimized for the LOw RESolution)

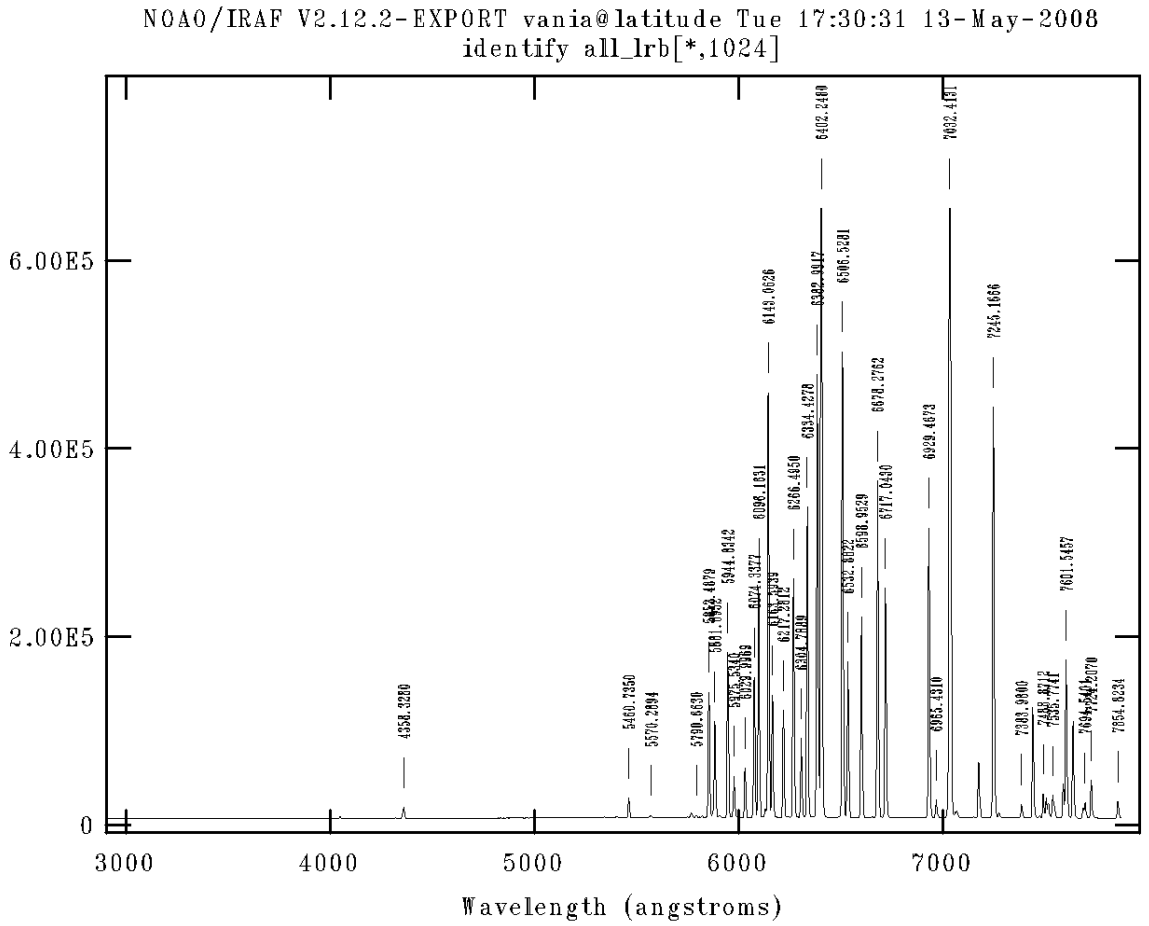
Name	disp. [Å/ px]	λ_{min} [Å]	λ_c [Å]	λ_{max} [Å]	R_c (1") (4)	Ar	Ne+Hg	Kr	Ar, Ne+Hg, Kr	Th	He	More
LR-B	2.52	3000	5850	8430	585	yes	yes	yes	yes	no	yes	tar file
LR-R(1)	2.61	4470	7400	10073	714	yes	yes	yes	yes	no	no	tar file
V390(2)	0.26	3634	3900	4166	3766	no	no	no	no	old	no	tar file
V486(5)	0.20	4612	4725	4838	5953	no	no	no	no	no	Yes (Read note #5)	tar file
V510(2)	0.22	4875	5100	5325	5950	no	no	no	no	yes	no	tar file
V589(2)	0.27	5619	5895	6171	5502	no	old	no	no	no	no	tar file
V656	0.32	6232	6560	6888	5248	yes	yes	no	yes	no	no	tar file
V860(3)	0.44	8149	8600	9051	4000	yes	yes	yes	yes	no	no	tar file
VHRV	0.95	4752	5725	6698	1527	no	yes	yes	yes	no	yes	tar file
VHRR(3)	0.70	6238	7000	7717	2513	yes	yes	yes	yes	no	no	tar file
VHRI(3)	0.68	7433	8130	8826	3035	no	no	no	yes	no	no	tar file

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

Spettroscopia al TNG

Il visibile 0.3-0.9µm

Spettro di una lampada di calibrazione



Spettroscopia

Estrazione di uno spettro

FASE 1

1. Stella in cielo



FASE 2

2. Messa in fenditura



2. Messa in fenditura

La stella viene centrata nella fenditura per isolare la sua luce e bloccare il cielo circostante.

FASE 3

3. Spettro bidimensionale (2D)



SPETTRO BIDIMENSIONALE (2D)

L'immagine catturata del sensore. Contiene la dispersione della luce della stella (traccia orizzontale) e il fondo cielo (esteso verticalmente). Mantiene le informazioni spaziali (asse Y) e la lunghezza d'onda (asse X).

ESTRAZIONE dello spettro

Processo matematico in cui si somma il segnale della stella lungo la traccia (asse spaziale Y) e si sottrae il rumore del fondo cielo.

FASE 5

5. Spettro unidimensionale (1D)



SPETTRO UNIDIMENSIONALE (1D)

Il risuitato finale: un grafico del fiusso luminoso in funzione della lunghezza d'onda. Le informazioni spaziali cono rimosse; resta solo l'intensità pura della luce stellare, pronta per l'analisi scientifica (temperatura, composizione chimica, ecc.).

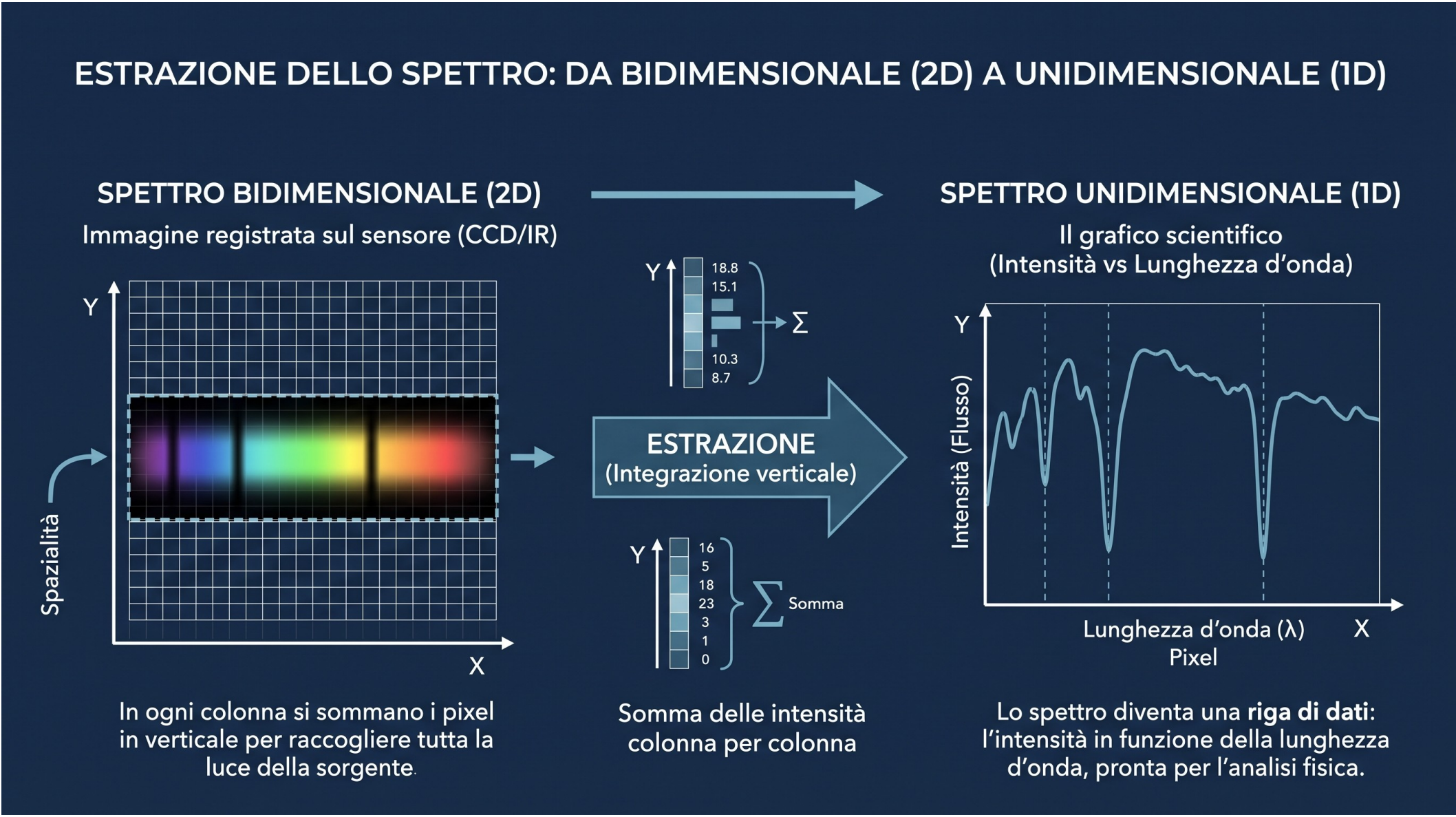
DIFFERENZA CHIAVE

Spettro 2D (Immagine):
Contiene sia l'informazione sulla po-osizione (Y) sia la dispersione della luce (X). Include il disturbo del cielo.

Spettro 1D (Dati/Grafico):
Contiene solo l'intensità fisica della luce della stella (Flusso) rispetto alla lunghezza d'onda, depurata da ogni disturbo.

Spettroscopia

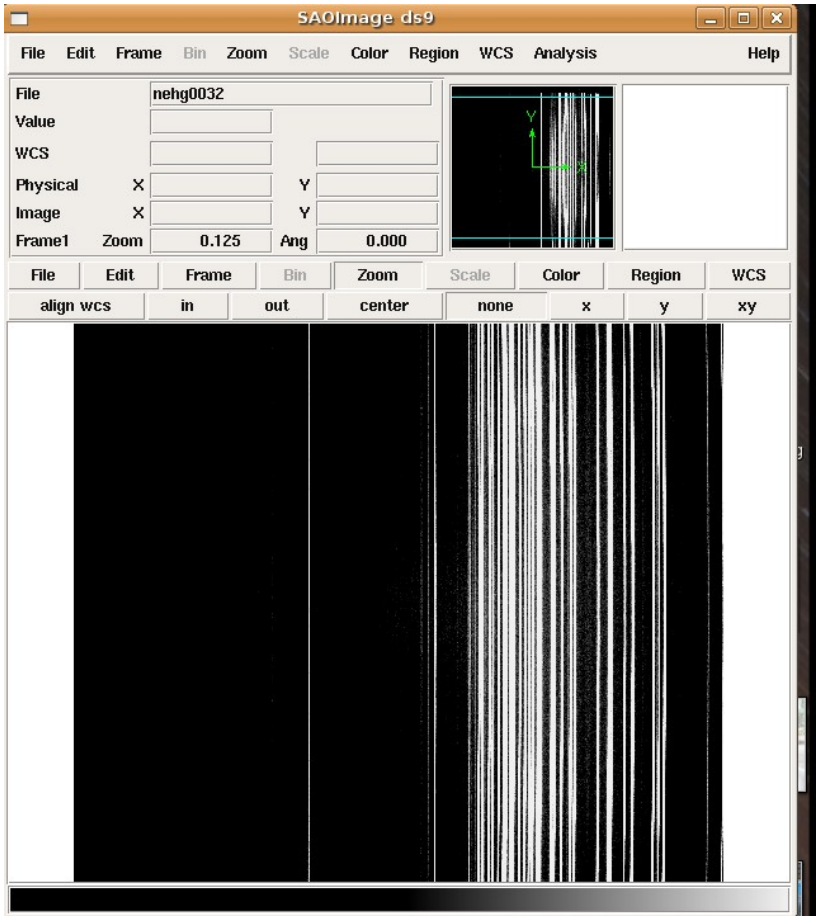
Estrazione di uno spettro



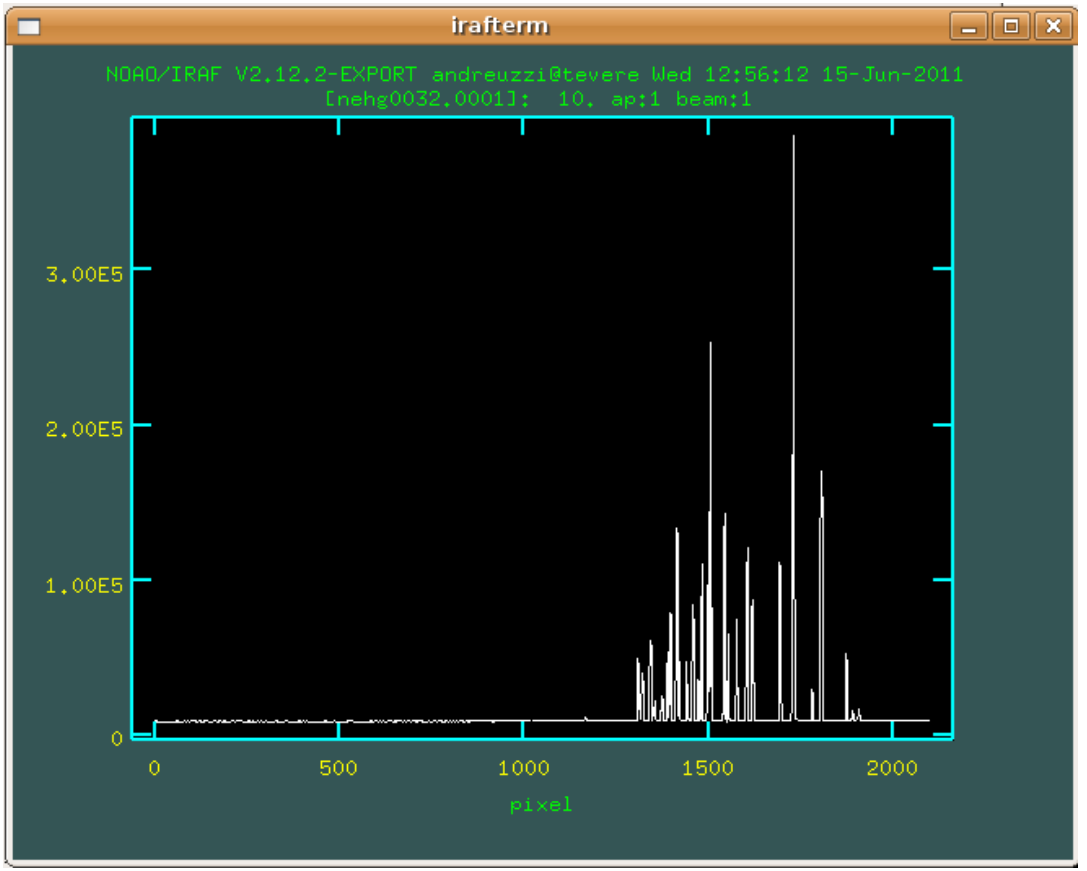
Spettroscopia al TNG

Il visibile 0.3-0.9µm

Spettro di una lampada di calibrazione



Spettro bidimensionale

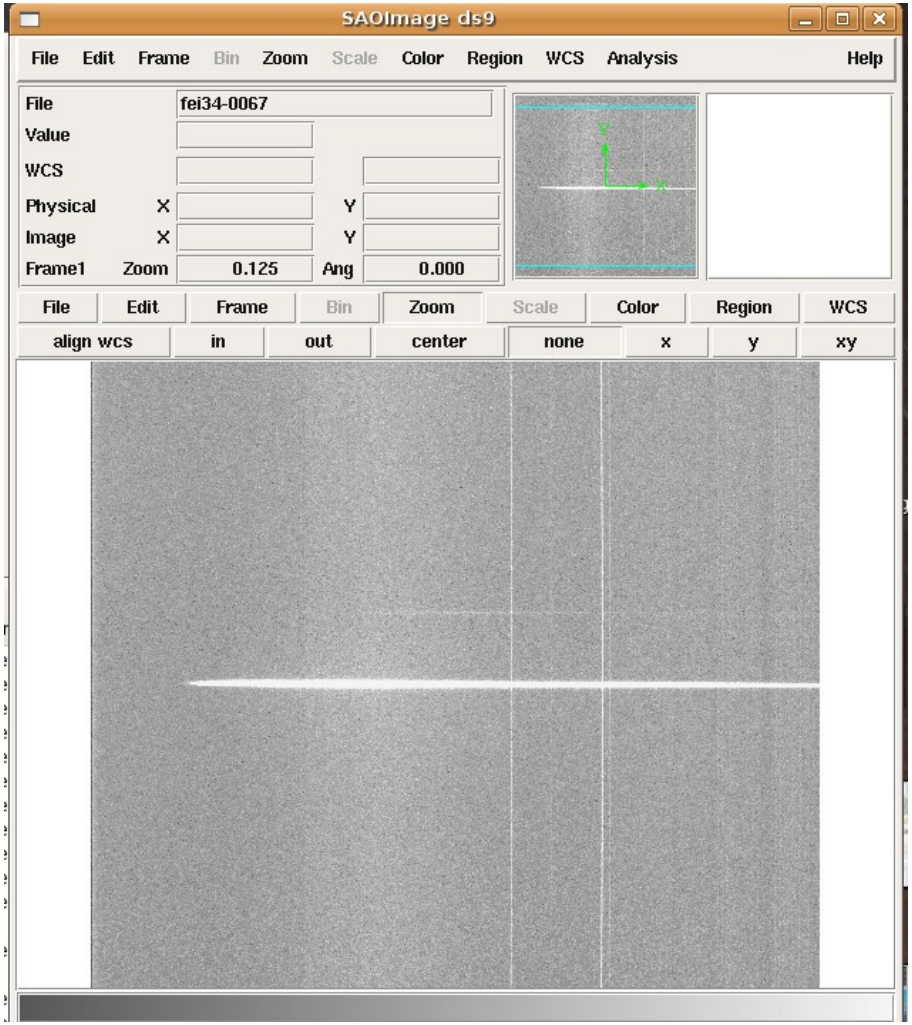


Spettro estratto

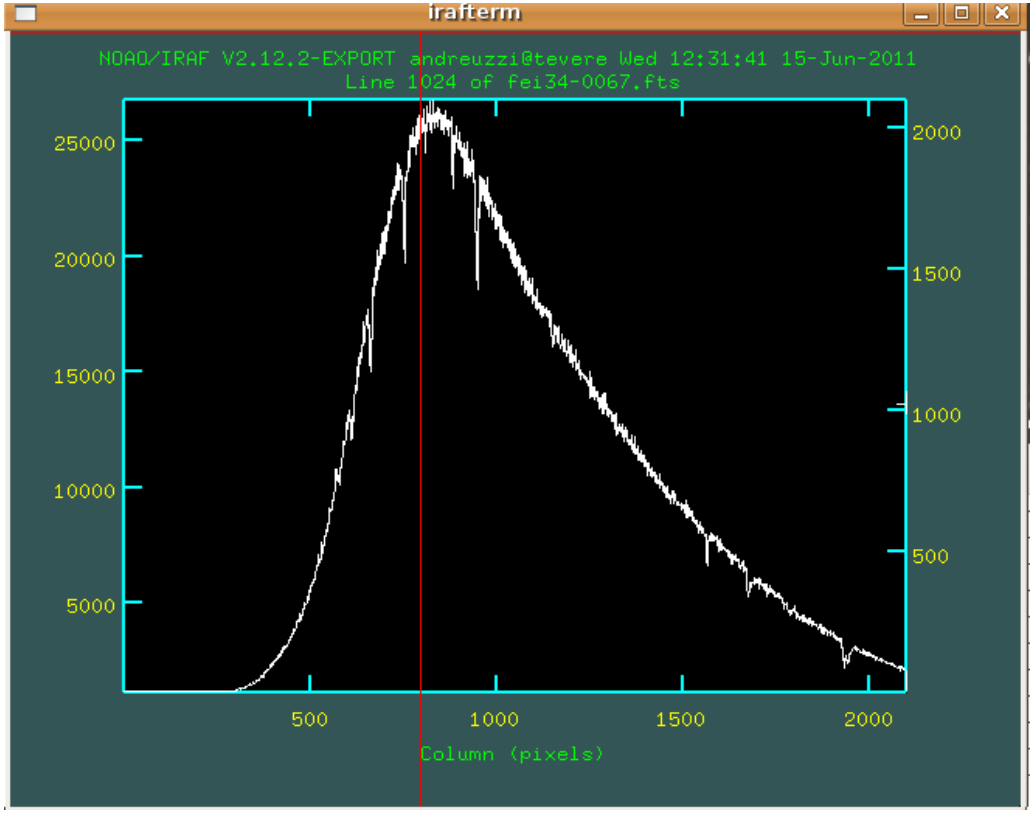
Spettroscopia al TNG

Il visibile 0.3-0.9µm

Spettro di una stella



Spettro bidimensionale



Spettro estratto

Spettroscopia al TNG

DOLORES - Calcolo dei tempi esposizione

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

Exposition Time Calculator for Spectroscopy

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with DOLORES or NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for DOLORES).
To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa.

Note the javascript option on your browser should be activated for the exposure time calculator to work properly.

Instrument	DOLORES	Grism	LR-B
Source Type	Point	NICS FOV	Large
Fwhm	1.0 arcsec	Slit width	1.0
Air Mass	1.0	Sky Brightness	Days from new Moon: 10
Apparent Magnitude	20.0 mag (mag/arcsec² if extended)	Band	R
(•) Exposure Time	600.0 seconds	( ) Signal-To-Noise	10.0

SUBMIT RESET

Spettroscopia al TNG

DOLORES - Calcolo dei tempi esposizione

Exposition Time Calculator for Spectroscopy

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with DOLORES or NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for DOLORES).
To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa.

Note the javascript option on your browser should be activated for the exposure time calculator to work properly.

Instrument	DOLORES	Grism	LR-B
Source Type	Point	NICS FOV	Large
Fwhm	1.0 arcsec	Slit width	1.0
Air Mass	1.0	Sky Brightness	Days from new Moon: 10
Apparent Magnitude	20.0 mag (mag/arcsec² if extended)	Band	R
(•) Exposure Time	600.0 seconds	( ) Signal-To-Noise	10.0

SUBMIT RESET

Exposition Time Calculator for Spectroscopy

INPUT

INSTRUMENT	LRS
BAND	R
APPARENT MAGNITUDE	20.0 mag
SOURCE TYPE	Point
GRISM	LRB
EXPOSURE TIME	600.00 seconds
FWHM	1.0 arcsec
SLIT WIDTH	1.0 arcsec
AIR MASS	1.0
SKY MAGNITUDE	19.20 mag/arcsec²

OUTPUT

DETECTED ELECTRONS FROM OBJECT	213.99
DETECTED ELECTRONS/PIXEL FROM SKY	179.74
S/N(*) at central wavelength	4.66
PSF EXTENSION (pixels)	7.27

(*) Signal to noise per pixel on the spectrum extracted along the slit.

Spettroscopia al TNG

L'infrarosso 0.9-2.5µm

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

NICS: (Near Infrared Camera Spectrometer)

NICS Spectroscopic Modes

Slits

NICS slits		
Name	Width	Length
0.5	0.5" = 2 pix	4'
0.75	0.75" = 3 pix	4'
1.0	1.0" = 4 pix	4'
1.5	1.5" = 6 pix	4'
2.0	2.0" = 8 pix	4'

Long slit spectroscopic observations are performed by inserting a slit at the entrance focal plane and a disperser (grism or prism) in the collimated beam. The table here lists the slits available in NICS which, thanks to the refurbishment works of Feb-Mar 2003, have now a very stable and repeatable positioning. All spectroscopic modes make use of the LF camera with a scale of 0.25"/pixel.

Dispersers

NICS dispersers			
Name	wl-range (µm)	dispersion (Å/pix)	Res.power with 1" slit
Low resolution			
Amici	0.8-2.5	30-100	50
IJ	0.9-1.45	5.5	500
JH	1.15-1.75	6.6	500
JK'	1.15-2.23	11.6	350
HK	1.40-2.50	11.2	500
Medium resolution			
1mic	0.96-1.09	2.0	1250
Js	1.17-1.33	2.5	1200
J	1.12-1.40	2.5	1200
H	1.48-1.78	3.5	1150
KB	1.95-2.34	4.3	1250

The instrument is equipped with one prism and a number of grism dispersers whose main characteristics are displayed in this figure and listed in the table on the left. Note that the grisms have a fairly constant dispersion (Å/pix) throughout the spectrum and, therefore, their resolving power increases going towards the red. The Amici prism, on the contrary, delivers a spectrum with a quasi-constant resolving power and, therefore, its dispersion varies by more than a factor of 3 over its spectral range.
A few technical details can be obtained by clicking on the name of the disperser in the table.
All the low resolution dispersers can be used in combination with the grey filters to take spectra of very bright objects which would otherwise saturate the array.

Wavelength calibration and sky spectra

Lamps and sky spectra			
Disperser	Ar lamp	Xe lamp	Sky
IJ			
JH			
JK'			
HK			
1mic			
J			
H			
KB			
Amici			

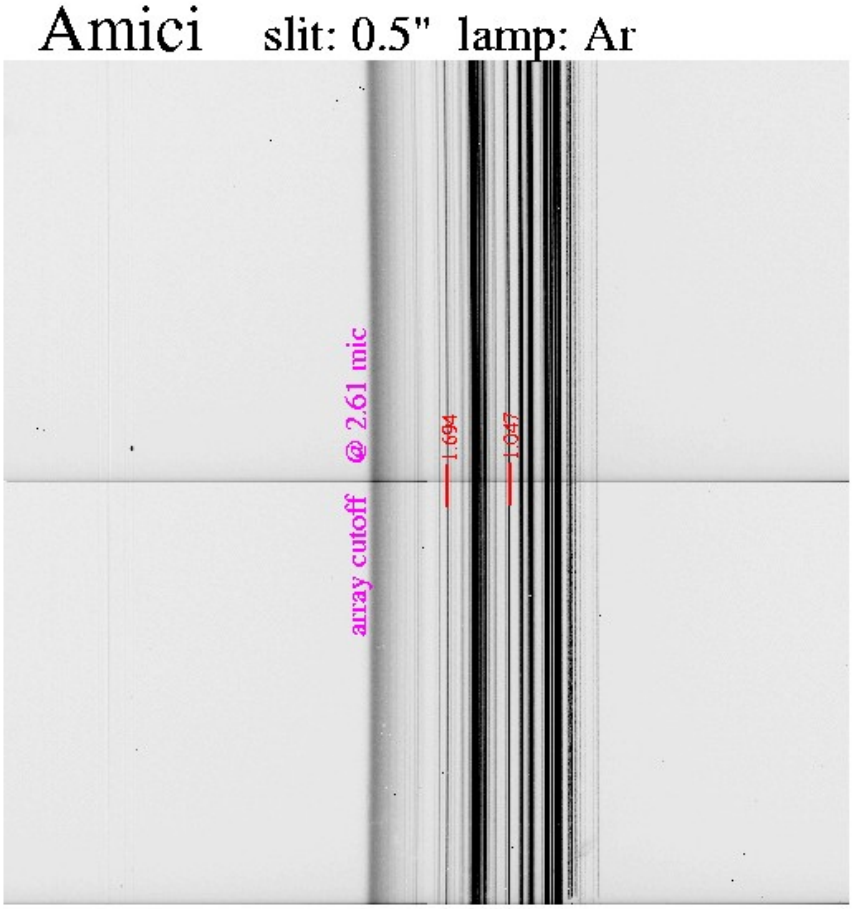
GRISMS An accurate wavelength calibration and a proper rectification of the (curved) slit images can be achieved using a two dimensional polynomial of 3rd or 4rd degree in the dispersion (X) direction and 2nd or 3rd degree in the spatial (Y) direction. All the spectra are correctly oriented (i.e. blue is to the left), click on the rainbows in the table to get a view of the bi-dimensional spectra. The labelled wavelengths are in air and refer to lines which are bright and isolated. Please note that while the Argon lamp provides good calibration frames for basically all the grisms, the Xenon spectrum is less rich of lines in the K band. Examples of wavelength calibrated spectra in the form of ascii files can be also found by clicking on the grism name in the table.
Thanks to the intrinsic stability of grism dispersers, wavelength calibration lamps are usually taken once every several weeks. More frequent measurements are generally unnecessary because the sky is also rich of emission lines which can be conveniently used to check and correct for instrumental effects (if any). To avoid excessive overheads, users are discouraged from taking Ar/Xe calibration frames during the night.

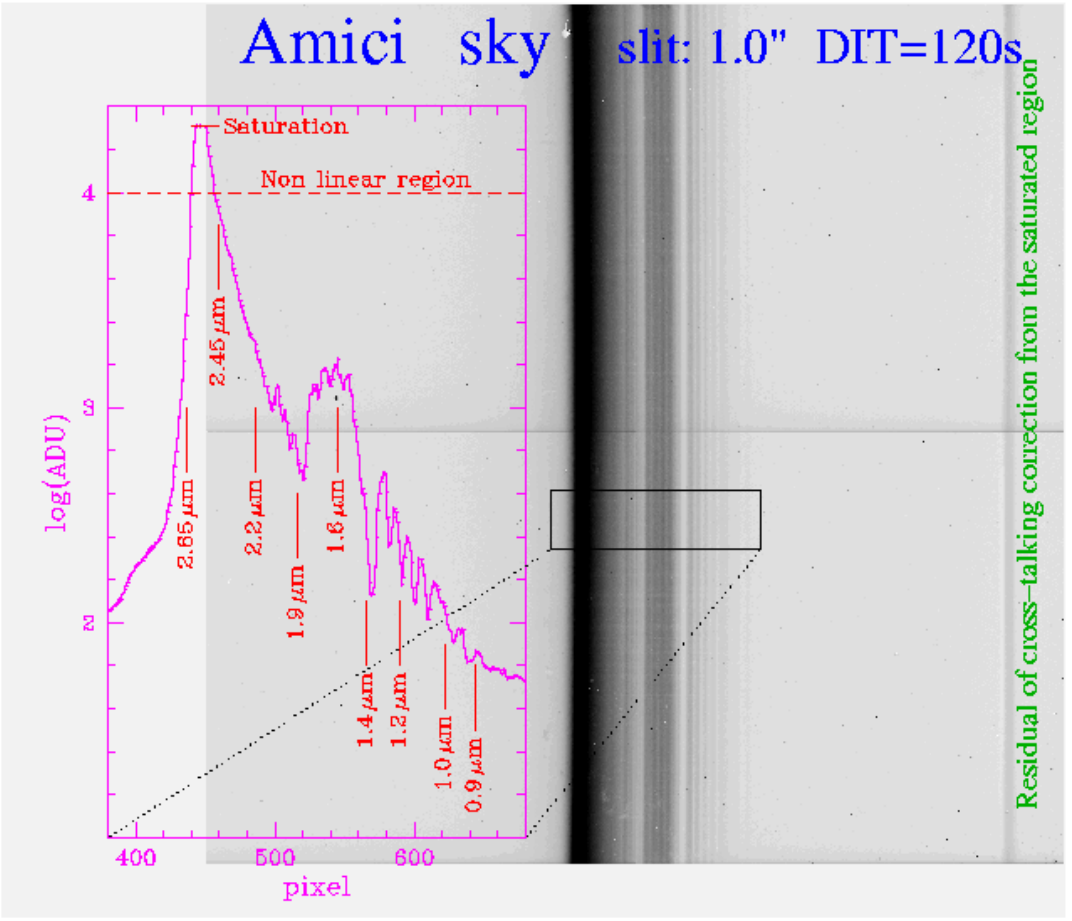
AMICI PRISM The spectrum is flipped (i.e. blue is to the right) and occupies only the central part of the array. Due to the very low resolution, virtually all the Ar/Xe lines are blended and cannot be easily used for standard reduction procedures. For this reason, wavelength calibration is normally performed using a look-up table which is based on the theoretical dispersion predicted by ray-tracing and adjusted to best fit the observed spectra of calibration sources. Slit curvature is very modest and evident only in the reddest part of the spectrum, it can be usually neglected.

Spettroscopia al TNG

Spettroscopia in infrarosso

NICS: (Near Infrared Camera Spectrometer)





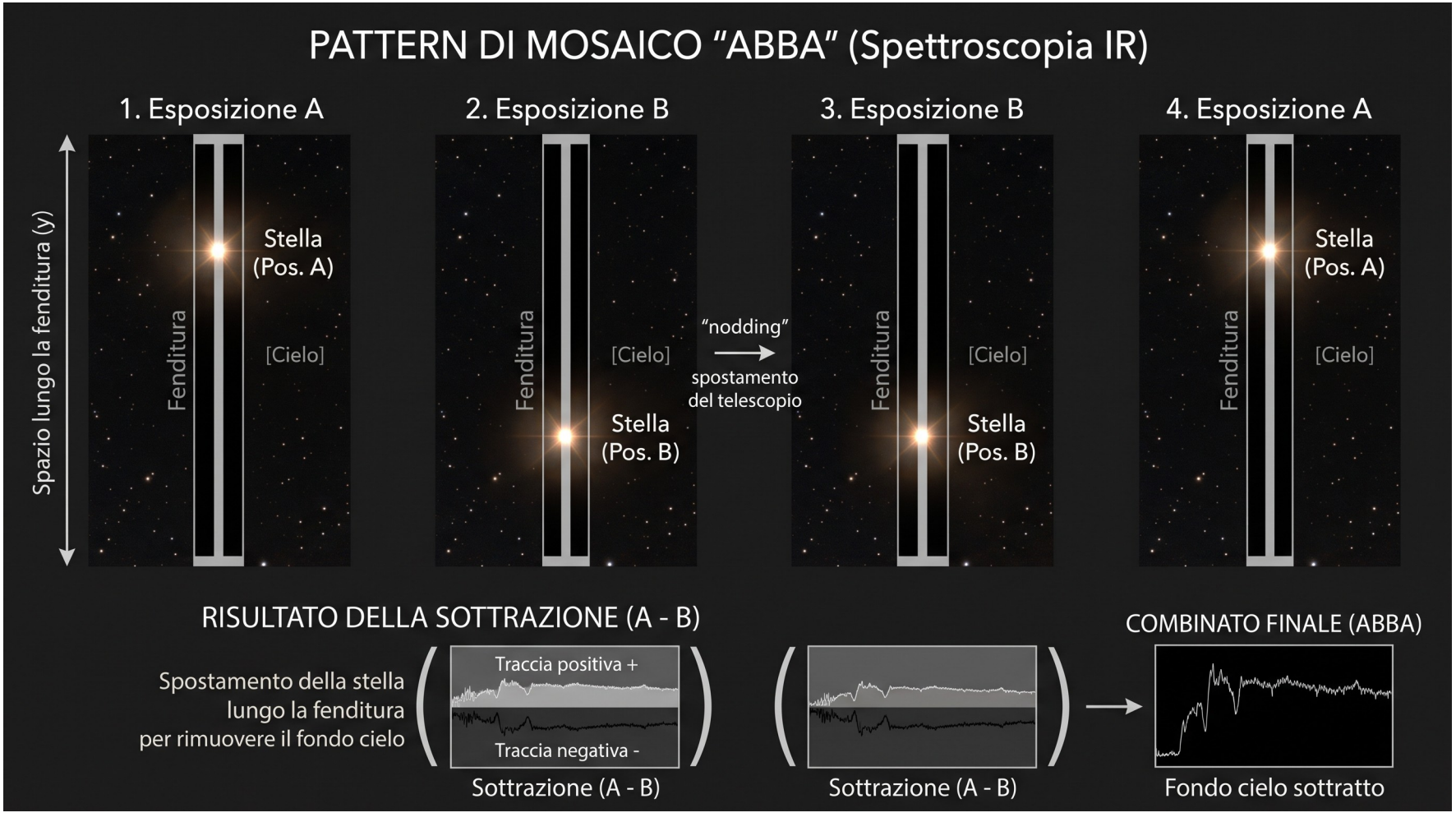
Spettroscopia al TNG

Spettroscopia in infrarosso

Il fondo cielo è molto luminoso quando osserviamo nell'IR → tecniche adatte alle osservazioni ed alla riduzione dei dati → sottrazione del fondo cielo dagli spettri.

I mosaici

Punto in differenti zone lungo l'asse delle y → sottraggo il fondo cielo dallo spettro scientifico



Spettroscopia al TNG

NICS - Calcolo dei tempi esposizione

Tempi di esposizione lunghi vengono spezzati in tempi più brevi per diminuire il contributo del fondo cielo

$$T_{totale} = DIT \times NDIT$$

DIT = detection integration time o tempo di esposizione su una singola immagine
NDIT = numero di immagini ottenute con tempo di esposizione DIT che vogliamo combinare

Esempio: Se imposti DIT = 120s e NDIT = 10, il sensore esegue 10 integrazioni da 120 secondi ciascuna. Il tempo di esposizione totale integrato sull'oggetto in una delle posizioni del mosaico sarà di 1200 secondi, garantendo che l'immagine non sia saturata dal fondo infrarosso.

Observing mode	Suggested DIT (sec)	
Imaging J/Js/Y	60 (LF)	240 (SF)
Imaging H/K'/K/Ks	25 (LF)	100 (SF)
Ima narrow band	150 (LF)	600 (SF)
Spectroscopy Amici	120 x (1"/slit-width)	
Spectroscopy	600-900*	

Spettroscopia al TNG

NICS - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione: https://www.tng.iac.es/observing/expcalc/spectro/

Exposition Time Calculator for Spectroscopy

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with DOLORES or NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for DOLORES).
To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa.

Note the javascript option on your browser should be activated for the exposure time calculator to work properly.

Instrument	NICS	Grism	NICS Amici
Source Type	Point	NICS FOV	Large
Fwhm	1.0 arcsec	Slit width	1.0
Air Mass	1.0	Sky Brightness	Days from new Moon: 0
Apparent Magnitude	20.0 mag (mag/arcsec² if extended)	Band	J
(•) Exposure Time	600.0 seconds	( ) Signal-To-Noise	10.0

SUBMIT RESET

Spettroscopia al TNG

NICS - Calcolo dei tempi esposizione

https://www.tng.iac.es/instruments/nics/spectroscopy.html#performances

Exposition Time Calculator for Spectroscopy

This exposure calculator predicts the signal-to-noise ratio achieved with DOLORES or NICS for a given exposure time and observing conditions. If sky brightness is not entered, the program uses the default values (new moon for DOLORES).
To run the program enter values below and click on 'Submit'. You may set signal-to-noise and obtain the corresponding exposure time, or viceversa.

Note the javascript option on your browser should be activated for the exposure time calculator to work properly.

Instrument	NICS	Grism	NICS Amici
Source Type	Point	NICS FOV	Large
Fwhm	1.0 arcsec	Slit width	1.0
Air Mass	1.0	Sky Brightness	Days from new Moon: 0
Apparent Magnitude	20.0 mag (mag/arcsec² if extended)	Band	J
(•) Exposure Time	600.0 seconds	( ) Signal-To-Noise	10.0

Exposition Time Calculator for Spectroscopy

INPUT

INSTRUMENT	NICS
BAND	J
APPARENT MAGNITUDE	20.0 mag
SOURCE TYPE	Point
GRISM	Ami
EXPOSURE TIME	600.00 seconds
FWHM	1.0 arcsec
SLIT WIDTH	1.0 arcsec
AIR MASS	1.0
SKY MAGNITUDE	15.50 mag/arcsec²

OUTPUT

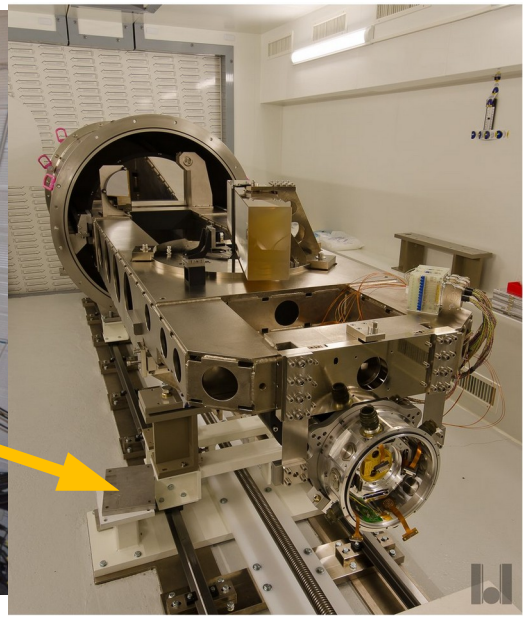
DETECTED ELECTRONS FROM OBJECT	530.49
DETECTED ELECTRONS/PIXEL FROM SKY	11575.84
S/N(*) at central wavelength	1.70
PSF EXTENSION (pixels)	8.00

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

Il visibile 0.4-0.7µm

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





Caratteristiche strumento

Spettrografo echelle ad altissima risoluzione

2CCD: 4096 x 4096 pixel

FOV fibra= 1 arcsec

Risoluzione spettrale = 115 000

Lo strumento ha bisogno di una forte stabilità meccanica-termica (T = 17.000±0.001 ºC) → situato in una stanza appositamente costruita 4 piani al di sotto della cupola.
La luce lo raggiunge grazie a **2 fibre ottiche** collegate al telescopio.

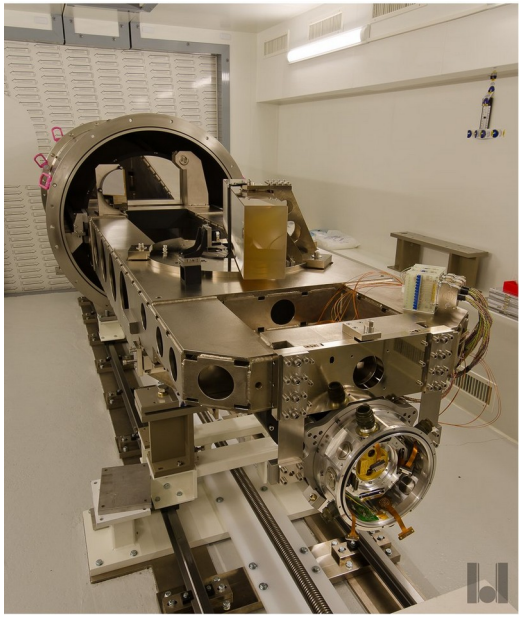
https://www.tng.iac.es/instruments/harps/

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

Il visibile 0.4-0.7µm

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





Caratteristiche strumento

Spettrografo echelle ad altissima risoluzione

2CCD: 4096 x 4096 pixel

FOV fibra= 1 arcsec

Risoluzione spettrale = 115 000

Lo strumento ha bisogno di una forte stabilità meccanica-termica (T = 17.000±0.001 °C) → situato in una stanza appositamente costruita 4 piani al di sotto della cupola. La luce lo raggiunge grazie a **2 fibre ottiche** collegate al telescopio.

Può rilevare i movimenti (velocità radiali) di stelle lontane centinaia di anni luce con un'accuratezza ~ 1m/s



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

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

HARPS-N - spettrografo echelle

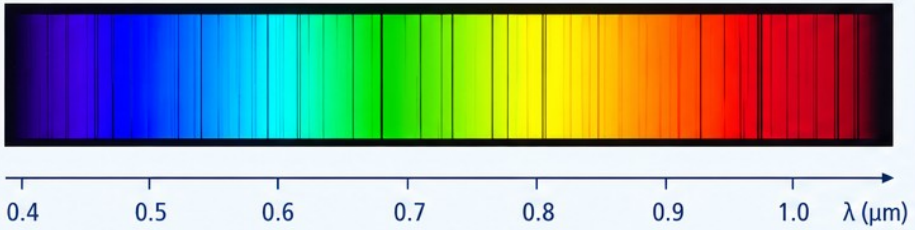


Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

Spettrografi echelle

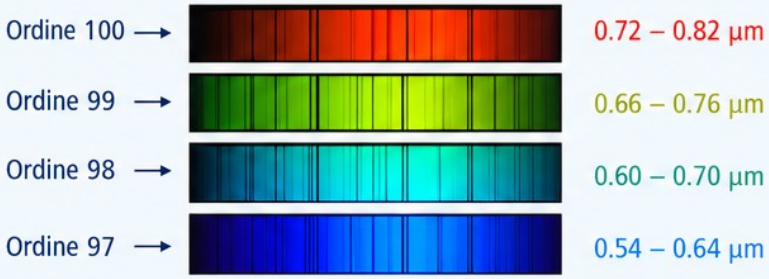
Spettro normale (long-slit / low order)

La luce viene dispersa in un'unica direzione e si registra una sola striscia spettrale, che copre tutto l'intervallo di lunghezze d'onda (qui 0.4 – 1.0 μm).



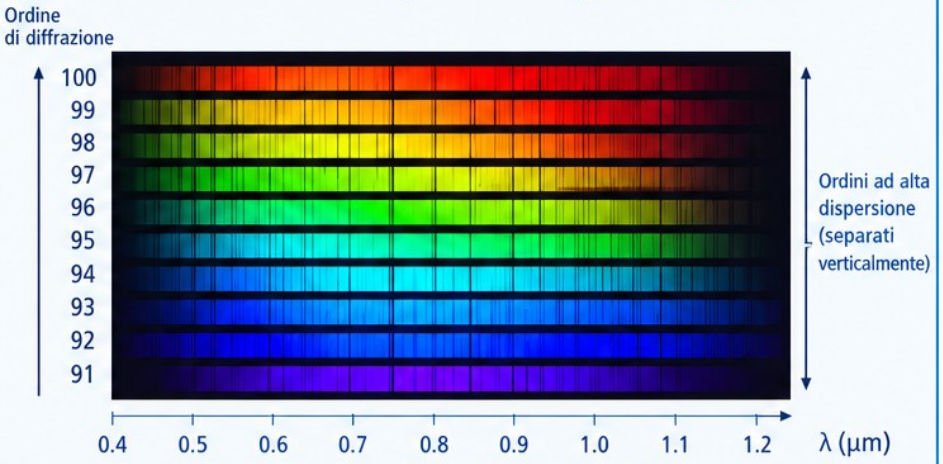
- Una sola striscia sul rivelatore.
- L'intervallo di lunghezze d'onda è continuo (0.4 – 1.0 μm).
- Le righe spettrali sono visibili lungo tutta la striscia.

Esempio di alcuni ordini (ingrandimento)



Spettro echelle

La luce viene dispersa ad alta risoluzione e gli ordini di diffrazione sono separati verticalmente sul rivelatore. Ogni ordine copre un intervallo limitato di lunghezze d'onda e può avere un colore molto diverso dall'ordine adiacente. Gli ordini possono sovrapporsi in lunghezza d'onda.



- Ogni ordine copre un intervallo di lunghezze d'onda più ristretto.
- Gli ordini adiacenti coprono intervalli diversi e possono sovrapporsi parzialmente in lunghezza d'onda.
- Non esiste una corrispondenza 1:1 tra ordini e lunghezze d'onda: lo stesso intervallo di λ può essere registrato in più ordini.

Cosa significa "ordine"?

- Gli ordini sono le strisce orizzontali (lungo y) prodotte dal reticolo echelle.
- Ciascuna striscia copre un intervallo limitato di lunghezze d'onda (asse x).
- Gli ordini adiacenti coprono intervalli diversi e possono sovrapporsi parzialmente.
- Non esiste una corrispondenza 1:1 tra ordini e lunghezze d'onda: lo stesso intervallo di λ può essere registrato in più ordini.

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

HARPS-N - spettro echelle

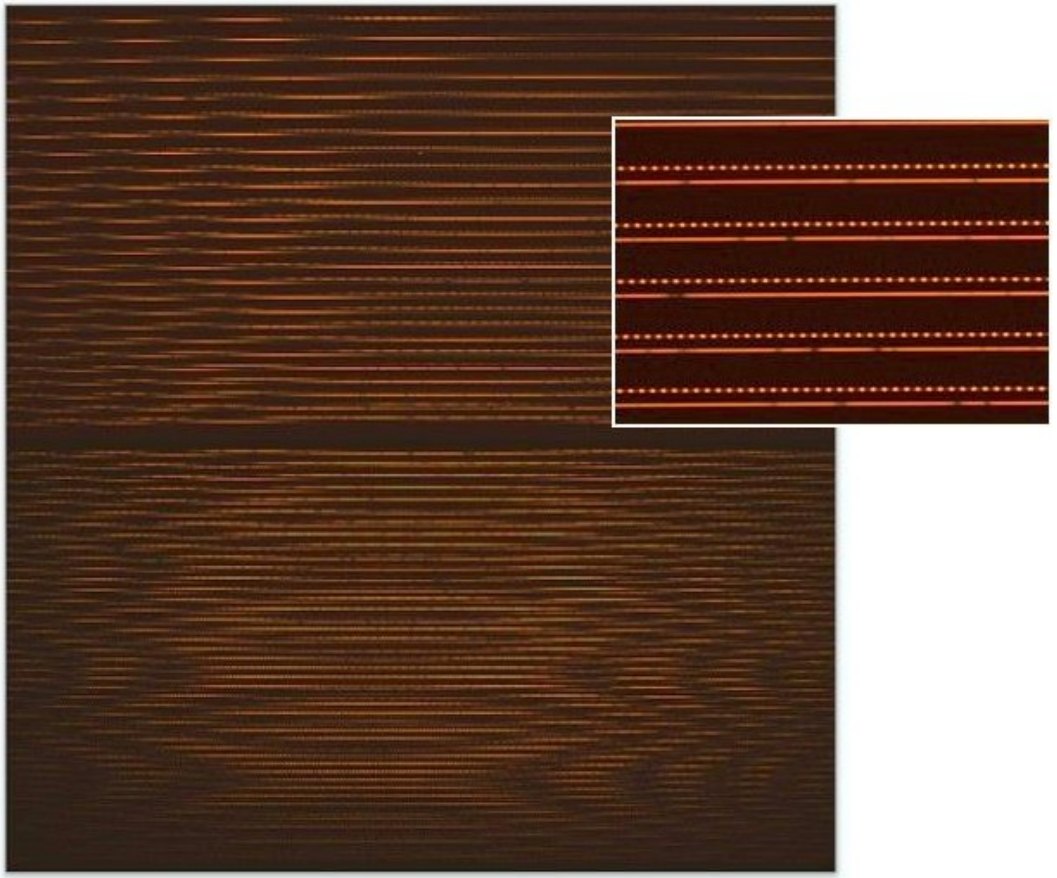
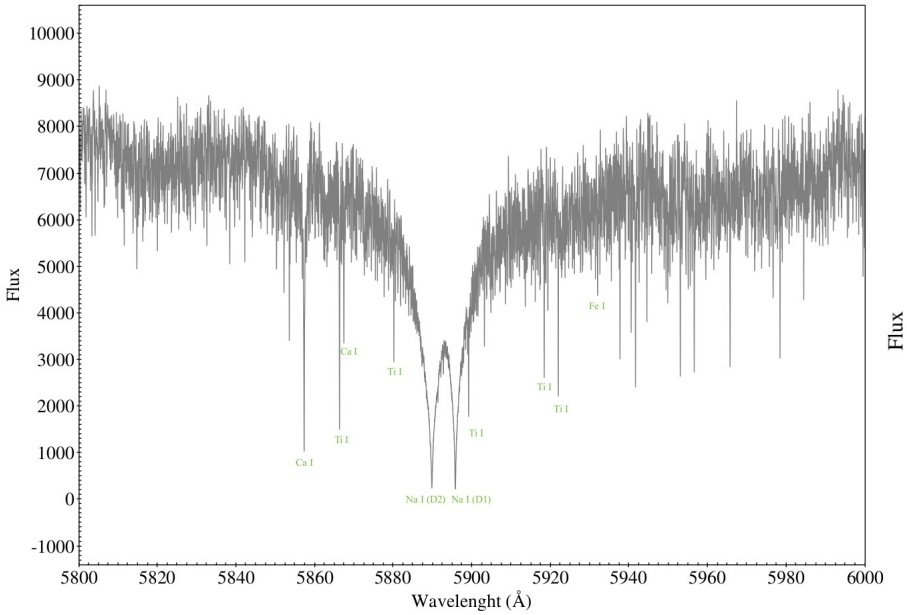
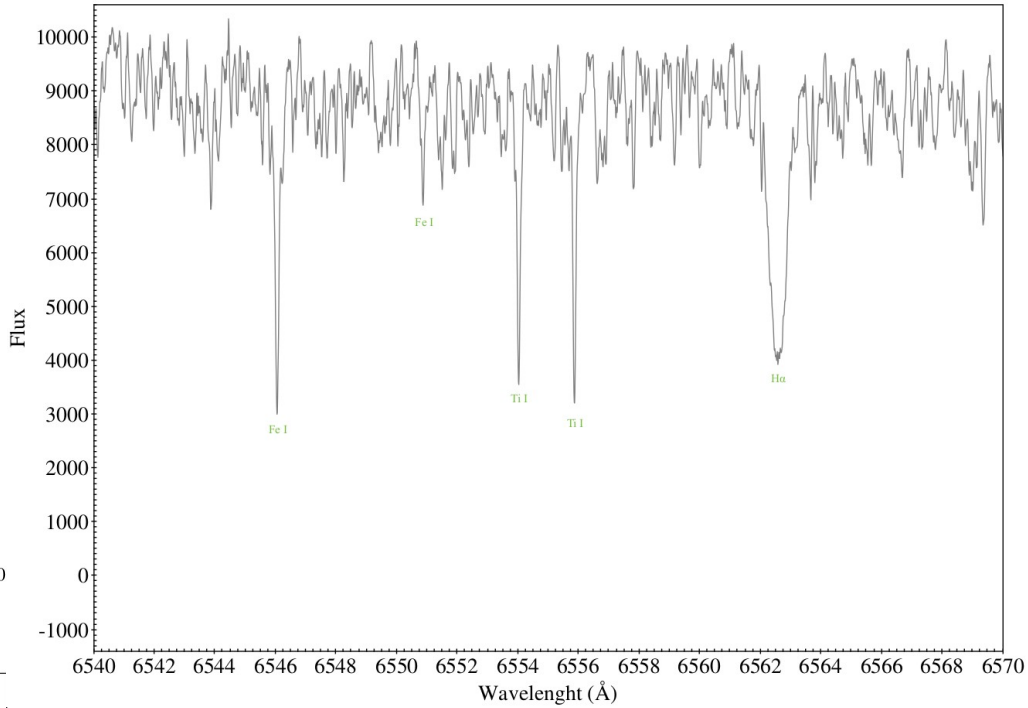


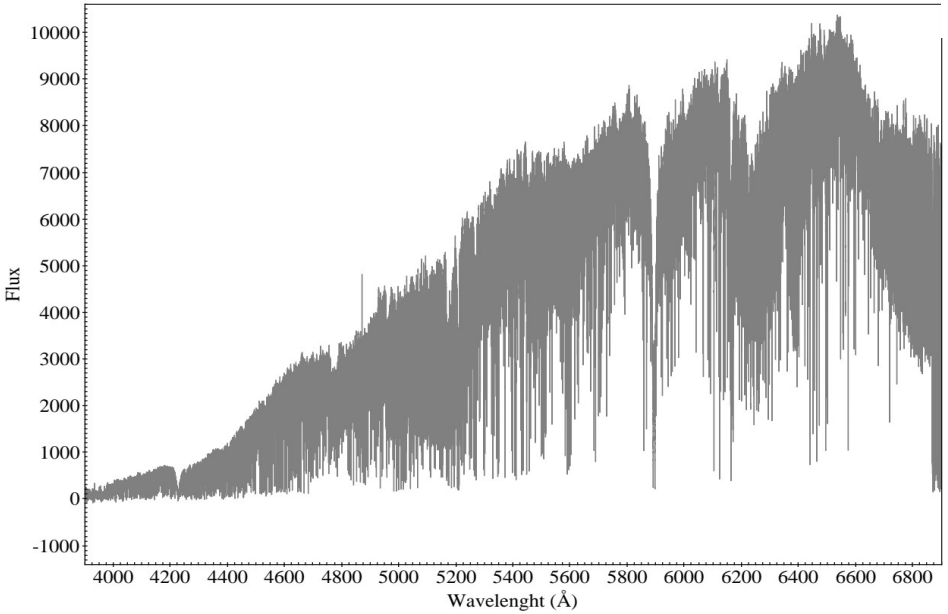
Figure 19 - Raw of a spectrum recorded by HARPS in the 'wave' mode. Two spectra can be distinguished, each one corresponding to one spectrograph fiber illuminated by A) the star (lower fiber) and B) the simultaneous FP (upper fiber).

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

HARPS-N - spettro echelle





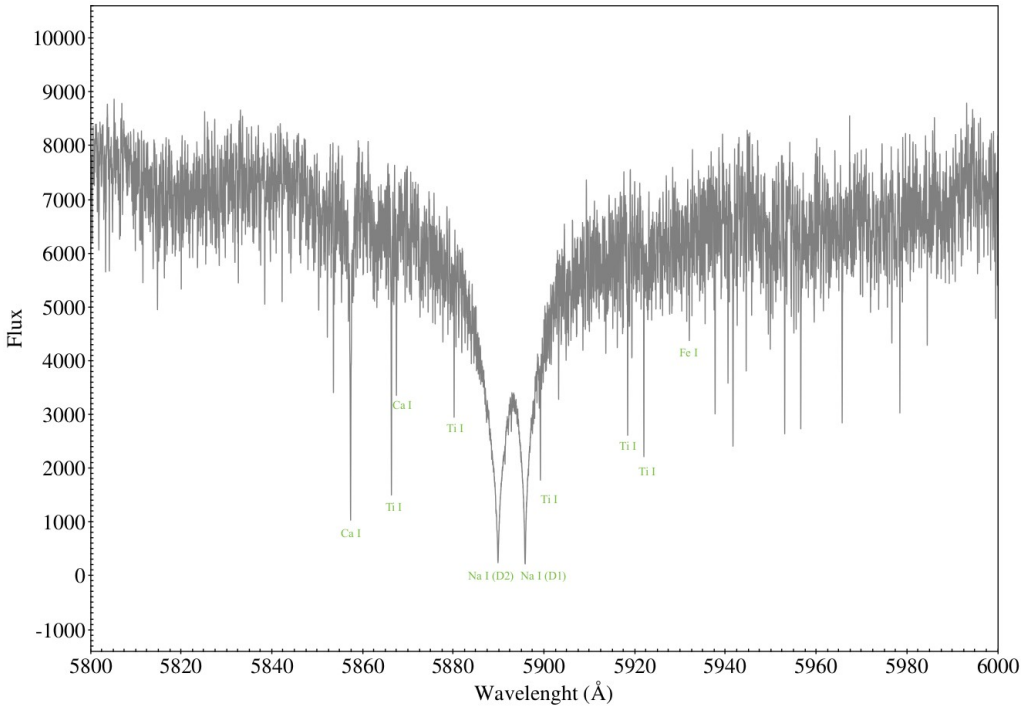


GJ686 stella M, è fredda ed ha uno spettro con un andamento caratteristico di queste stelle, con molto titanio e presenza di bande molecolari

Spettri a confronto

HARPS-N - spettro

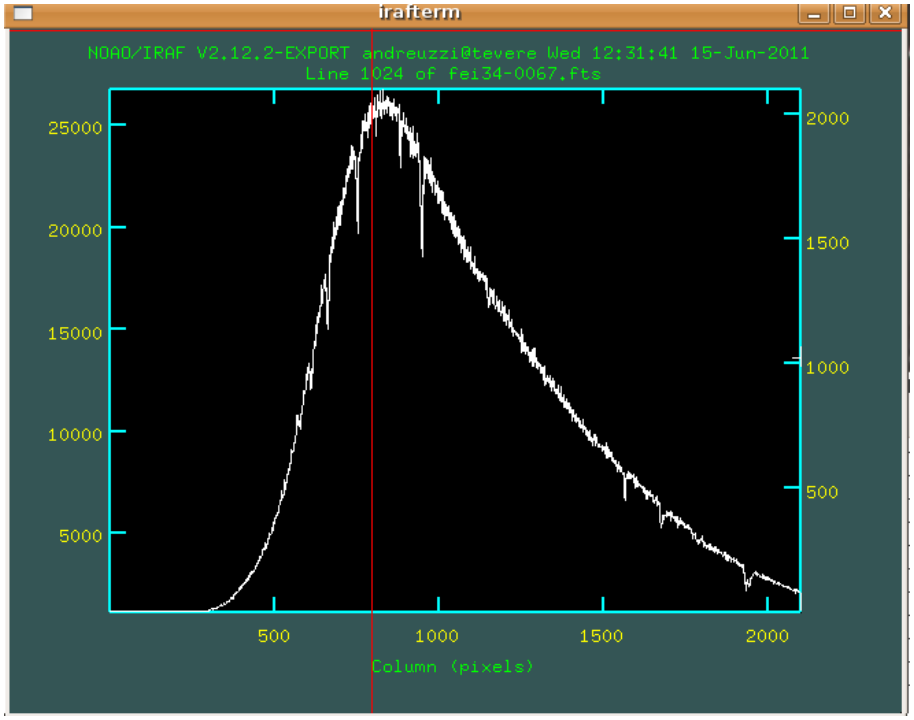
Altissima Risoluzione



Risoluzione spettrale = 115000

DOLORES – spettro

Bassa-Media Risoluzione



Risoluzione spettrale: da 600 a 6000 a seconda del grism utilizzato

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

HARPS-N - Calcolo dei tempi esposizione

Telescope & Instruments

HARPS-North - High Accuracy Radial velocity Planet Searcher

Contents

- Instrument Description
- Instrument Status
- Manuals
  - HARPS-N Quick Start Guide v2.8
  - HARPS-N Operation Guide v2
  - HARPS-N LCU Operation Manual v2.0
  - HARPS-N LCU Design
  - New Short Term Scheduler User Manual (NSTS)
  - DRS32 User Manual
  - HARPS-N DRS User Manual v1.3
  - Templates Reference Guide
  - HARPS-N User Manual v3.1
  - HARPS-N Autoguide Manual v1.3
- Contact information
- Consortium
  - Executive Board
  - Science Team
  - Collaborating Institutes
- Tools
  - HARPS-N Support Software: Data Reduction Pipeline
  - HARPS-N New Short Time Scheduler (NSTS) and Exposure Time Calculator (ETC)*
    Download the JAR file above, put it somewhere on your computer and start it using: "java -jar NSTS.jar"
  - Readout Time Calculator (coming soon)
  - HARPS-N Archive
  - HARPS-N Observing tools and visitors instruction
  - HARPSN data compute environment YABI

** The limit magnitude of the objects to be observed depends on the sky condition and, due to the autoguide limit, cannot exceed the mv=14 value.*

Rosario Cosentino

6 novembre ore 15:00

Instrument Description

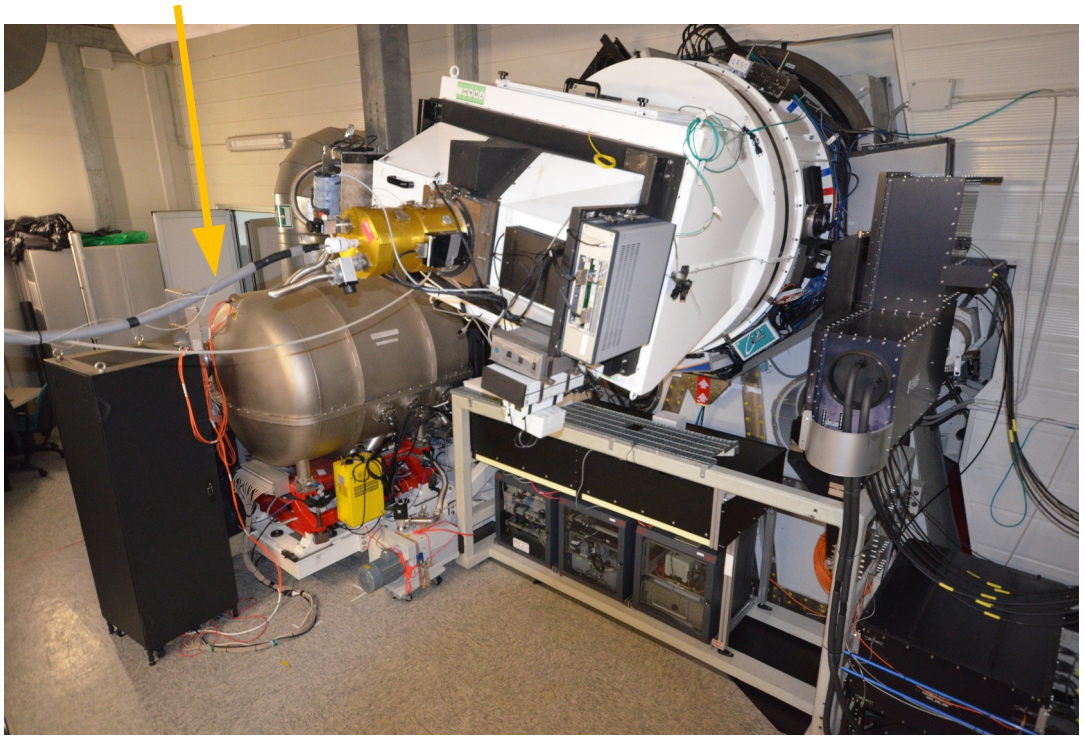
HARPS-N is an echelle spectrograph covering the wavelength range between 383 to 693 nm, with a spectral resolution R=115000. This instrument allows the measurement of radial velocities with the highest accuracy currently available in the north hemisphere and is designed to avoid spectral drift due to temperature and air pressure variations thanks to a very accurate control of pressure and temperature. HARPS-N is fibre-fed by the Nasmyth B Focus of the 3.6 TNG telescope through a Front End Unit (FEU). The two HARPS fibres (object + sky or Th-Ar) have an aperture on the sky of 1"; this produces a resolving power of 115,000 in the spectrograph. Both fibres are equipped with an image scrambler to provide a uniform spectrograph pupil illumination, independent of pointing decentering.
The main scientific rationale of HARPS-N is the characterization and discovery of terrestrial planets by combining transits and Doppler measurements.
The HARPS-N Project is a collaboration between the Astronomical Observatory of the Geneva University (lead), the CfA in Cambridge, the Universities of St. Andrews and Edinburgh, the Queens University of Belfast, and the TNG-INAF Observatory.

Spectrograph type	Fiber fed, cross-disperser echelle spectrograph
Spectral resolution	R= 115'000
Fiber field	FOV = 1"
Wavelength range	383 nm - 690 nm

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

L'infrarosso 0.9-2.45µm

GIANO-B (Near-Infrared High Resolution Spectrograph)



Caratteristiche strumento

Spettrografo echelle ad alta risoluzione

IR array: 2048x2048 pixel

FOV slit = (6 x 0.5) arcsec

Risoluzione spettrale = 50 000

https://www.tng.iac.es/instruments/giano-b/

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

GIANO-B - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione https://www.tng.iac.es/instruments/giano-b/#etc

objects).

- **Stare Object-Sky.** In stare observing strategy the object is placed on a predefined (usually central, C) position of the slit and one or more object spectra are obtained. After the object exposures, the telescope points to a different portion of the sky and one or more spectra (the same quantity as for the object) of sky are taken. During the object observation, the target is kept on the selected position by the AG which sends the correction offsets to the telescope. This observing strategy is used for extended objects, which cannot be observed in A-B nodding mode, as their images (spectra) in the slit will overlap. In this mode, the auto-guiding is switched off when the sky spectra are taken. Also, if necessary the auto-guiding can be switched off for target observations too, for instance, when extended sources are observed.
- **Stare.** In this strategy, the object exposures are not coupled with any subsequent sky observations, i.e. only the object is observed at one of the three possible positions (A, B or C). Single or multiple repetitive exposures can be done. This mode is used when an acquisition of spectra pairs is not required and a single exposure is sufficient. As in Stare Object-Sky mode, in Stare mode the auto-guiding can be switched off if necessary.

Exposure time calculator (ETC)

GIANO-B ETC is developed as an aid for observation preparation. It can be accessed through the following link:

- GIANO-B Exposure Time Calculator.

The ETC signal-to-noise ratio (S/N) estimates are based on the instrument performances in actual target observations. Up to 15% of error should be allowed for the ETC S/N estimates.

Observing overheads

Additionally to the general telescope pointing (~5 min on average) and target acquisition-identification (~5 min on average) overheads, instrument related overheads including those of detector resets and readouts, telescope or AG nodding and sky acquisition have to be taken into account. For AB Nodding observations, an average of 1-1.5 min (depending on the target magnitude) overheads per exposure are accumulated due to detector and AG operations. For Stare Object-Sky observations, single exposure overheads on average are of 1 min for detector and AG operations and include also relatively small telescope offsets, within 1-1.5', for sky acquisition. In case of bigger telescope throws additional 15-20 sec have to be summed.

New Short Time Scheduler (NSTS)

GIANO-B NSTS is used to prepare, modify and schedule the Observing Blocks (OB). These blocks are predefined groups of available instrument and telescope commands and procedures that can be executed by the Sequencer to carry out both on-sky night time science observations and calibrations. The OBs can be prepared and modified using NSTS in the TNG Control Room immediately before or during the observations (online mode), they can also be prepared well in advance of the observations (offline mode) without a need to be at the Telescope. For your convenience, here the NSTS binary and Java Web Start file are provided.

- NSTS Java Web Start file
- NSTS Java binary

NSTS can be downloaded and used on any user machine at home (institution), as far as it is used in the offline mode. This is a convenient way to prepare the OBs even before coming to the Telescope. More information on NSTS and how to operate it is available in the GIANO-B Observer's Manual below.

NSTS catalog file

The NSTS catalog is a text file with a predefined format which can be parsed by NSTS. The catalog is a convenient way of loading single or multiple OBs into NSTS. Any text editor can be used to create a catalog, as far as its formatting requirements are met. Here an example catalog file is provided, containing entries for three GIANO-B observing strategies.

- GIANO-B NSTS catalog example.

This example catalog can be downloaded and modified as required. For more information on the NSTS catalog and its preparation please refer to the GIANO-B Observer's Manual below.

Observer's Manual

The Observer's Manual is a guide for GIANO-B observers. Its contents will be continuously updated with most recent and best practices of the instrument use.

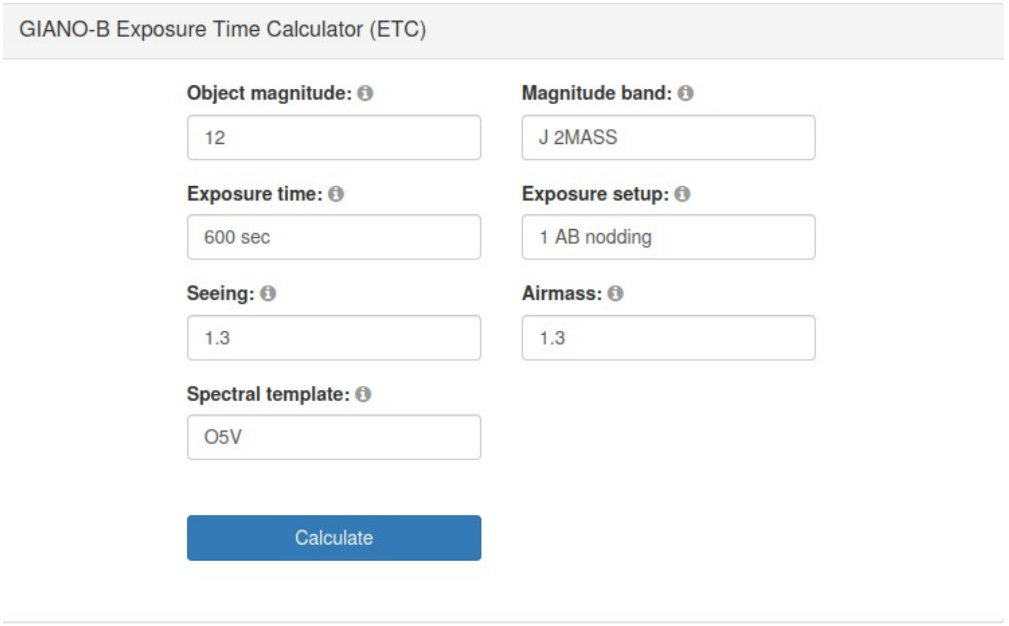
- GIANO-B Observer's Manual.

GIARPS mode

Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

GIANO-B - Calcolo dei tempi esposizione

https://www.tng.iac.es/instruments/giano-b/#etc



Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

GIANO-B - Calcolo dei tempi esposizione

Calcolo dei tempi di esposizione https://www.tng.iac.es/instruments/giano-b/#etc

GIANO-B Exposure Time Calculator (ETC)

Object magnitude: 12

Magnitude band: J 2MASS

Exposure time: 600 sec

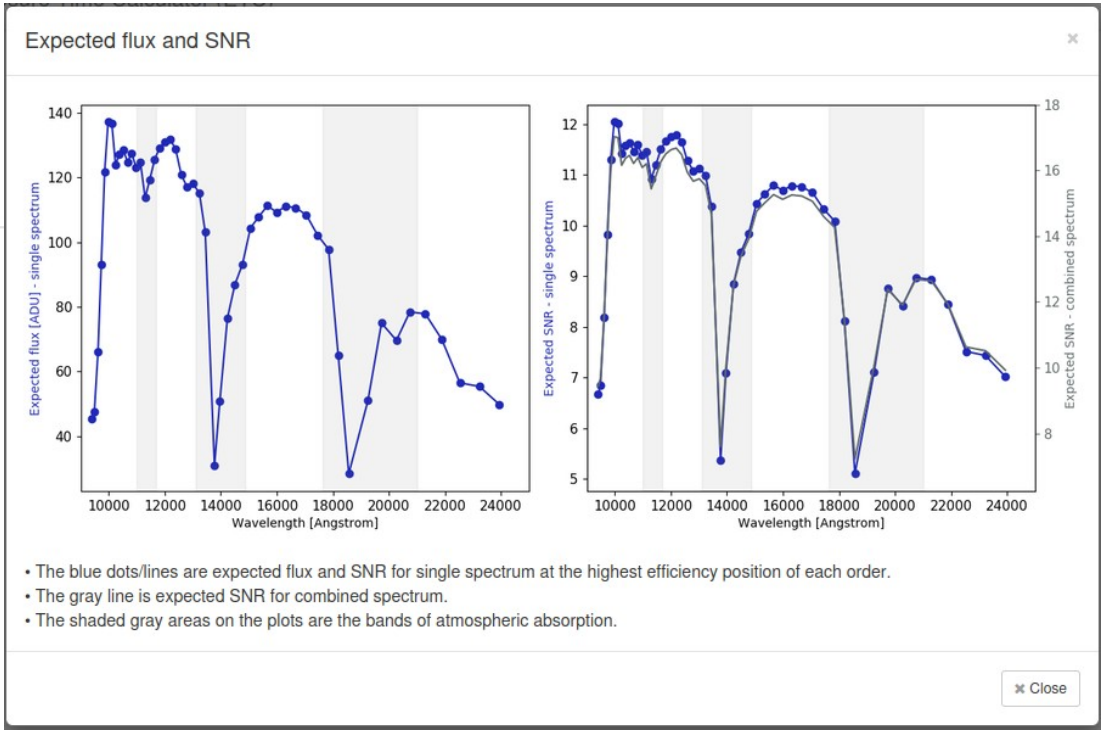
Exposure setup: 1 AB nodding

Seeing: 1.3

Airmass: 1.3

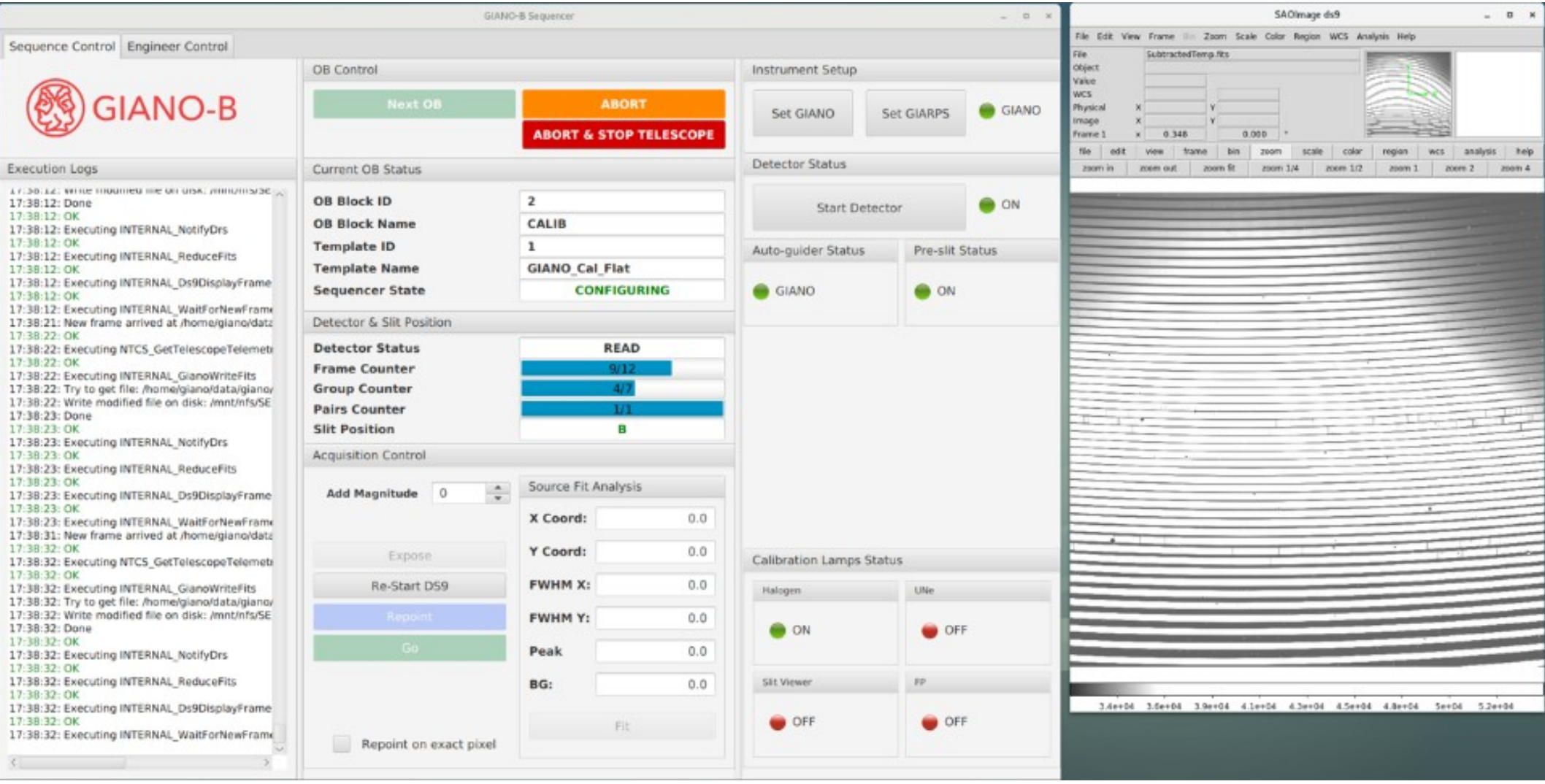
Spectral template: O5V

Calculate



Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

GIANO-B – spettro echelle



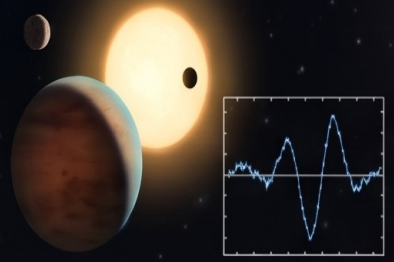
Spettroscopia ad alta risoluzione al TNG

Visibile + infrarosso 0.4-2.45µm

GIARPS (GIANO-B+HARPS-N)



STRUMENTI TNG E POSSIBILI TARGET DI OSSERVAZIONE



HARPS-N

Spettrografo ad alta risoluzione, visibile

- Esopianeta e Super-Terre (ricerca e caratterizzazione)
- Velocità radiali di stelle di tipo solare e nane rosse
- Atmosfere di esopianeti
- Attività e cicli magnetici stellari
- Oscillazioni stellari (asterosismologia)
- Sistemi planetari multipli e dinamica orbitale



LRS

Spettrografo e camera multi-modo, visibile

- Asteroidi e comete (proprietà fisiche e spettri)
- Galassie attive (AGN) e ammassi di galassie
- Supernove, transienti e GRB
- Stelle di fondo e popolazioni stellari
- Nebulose planetarie e resti di supernove
- Identificazione ottica di sorgenti X o gamma



NICS

Camera e spettrometro nel vicino infrarosso

- Oggetti oscurati da polveri e regioni di formazione stellare
- Stelle di bassissima massa e nane brune
- Galassie ad alto redshift e nuclei galattici
- Asteroidi e comete (caratterizzazione termica e ghiacci)
- Supernove, transienti e controparti IR di GRB
- Ammassi stellari giovani e densi
- Giganti rosse e stelle evolute



GIANO-B

Spettrografo ad alta risoluzione, infrarosso

- Atmosfere di esopianeti nel vicino infrarosso (NIR)
- Stelle giovani, attive e sisterni stellari multipli
- Spettroscopia ad alta risoluzione di oggetti freddi
- Cinematica stellare e abbondanze chimiche
- Campi magnetici in stelle di piccola massa

PIANIFICARE UN'OSSERVAZIONE ASTRONOMICA

I passaggi chiave per una proposta di successo



TARGET E SCIENZA

- Obiettivo scientifico e coordinate (RA, Dec)
- Tipologia di sorgente (puntiforme vs estesa)

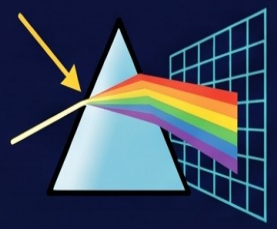




VISIBILITÀ E DATE

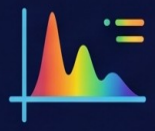
- Finestra temporale (maggio-giugno 2027)
- Altezza sull'orizzonte (limite di Airmass)
- Fase e distanza della Luna





SCELTA DELLO STRUMENTO

- Strumento idoneo al tipo di dato (LRS, HARPS-N, GIANO-B, NICS)
- Modalità: imaging, spettroscopia





CAMPO DI VISTA (FOV)

- Dimensioni e orientamento del campo
- Singolo puntamento o mosaico/*dithering*





TEMPO E SEGNALE (SNR)

- Magnitudine del target e uso dell'ETC
- Tempo di integrazione e SNR necessario
- Suddivisione in singole pose (no saturazione)



CALIBRAZIONI E OVERHEAD

- Stelle standard e calibrazioni (bias, flat, lampade)
- Tempi operativi (*slew* telescopio, puntamento, lettura)



« Grande cosa è certamente alla immensa moltitudine delle stelle fisse che fino a oggi si potevano scorgere con la facoltà naturale, aggiungerne e far manifeste all'occhio umano altre innumeri, prima non mai vedute »

Galileo Galilei - Sidereus Nuncius, 1610

Buona fortuna!

Crediti: ESO, NASA, ESA,IAC,SAIT,Wikipedia,Campionati Italiani di Astronomia, A. Fontana – INAF,A. Ghedina – TNG, G. Tessicini,TNG staff, L. Bucchave, IA chatgpt, IA Gemini