



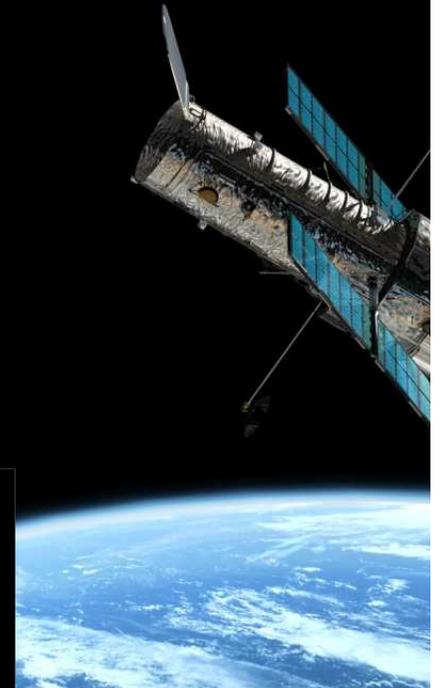
*Università degli Studi di Camerino*

**SCUOLA DI SCIENZE E TECNOLOGIE**

*Giovedì 7 aprile 2011*

**GLI STRUMENTI  
DELL'ASTRONOMIA  
OSSERVATIVA**

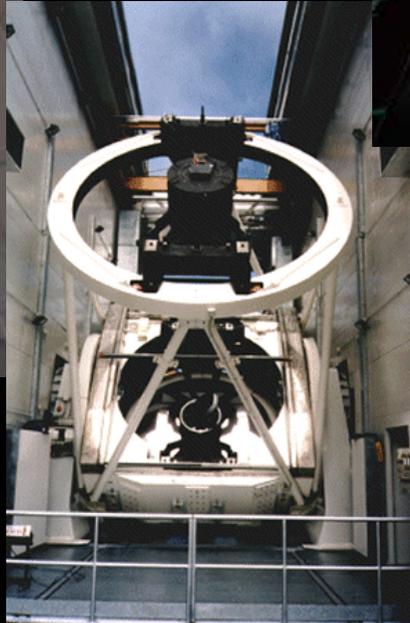
**Mauro Dolci**  
**Istituto Nazionale di Astrofisica**  
**Osservatorio Astronomico**  
**di Collurania Teramo**



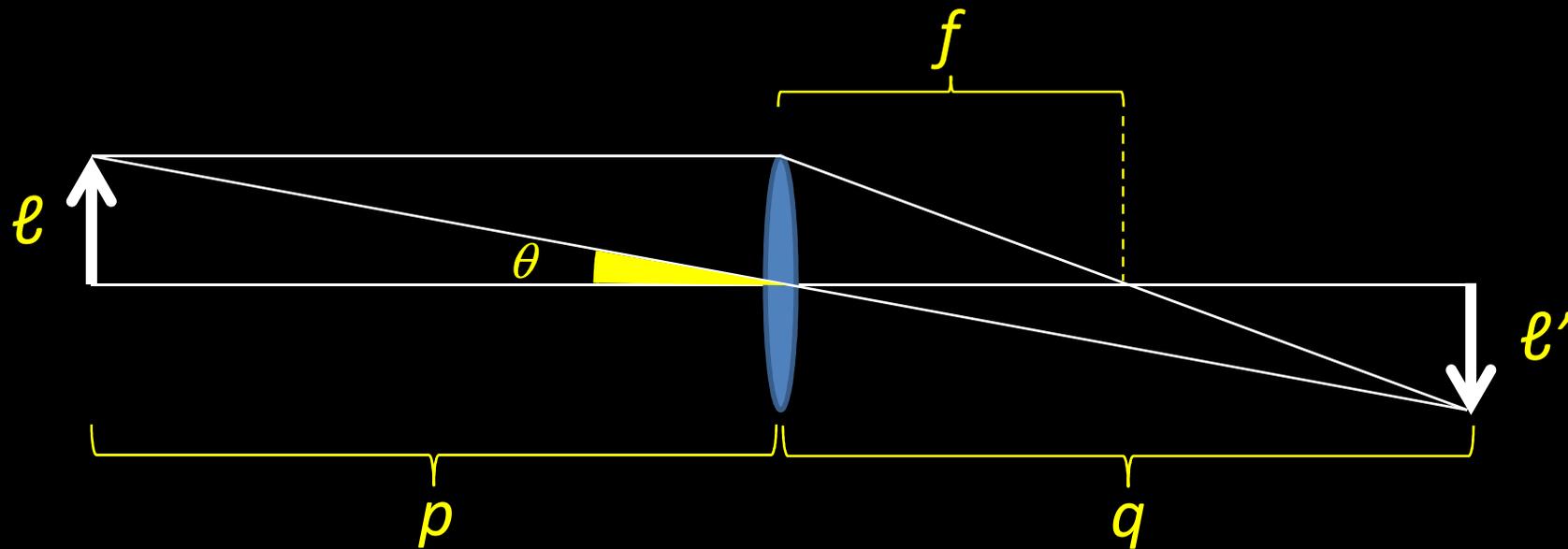
# TELESCOPIO

dal greco **TÊLE** (*lontano*) + **SKÓPIOS** (*guardare*)

= strumento per osservare oggetti lontani (in partic. oggetti celesti)



Guardare lontano  $\rightarrow$  primo requisito: MAGNIFICAZIONE ?



$$\begin{cases} l : p = l' : q & \rightarrow \mathcal{S} = l' / l = q / p \\ l : f = l' : q - f & \rightarrow \mathcal{S} = l' / l = (q - f) / f = q / f - 1 \end{cases}$$

$$q / p = q / f - 1 \quad \rightarrow \quad 1 / p = 1 / f - 1 / q \quad \rightarrow \quad \boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}}$$

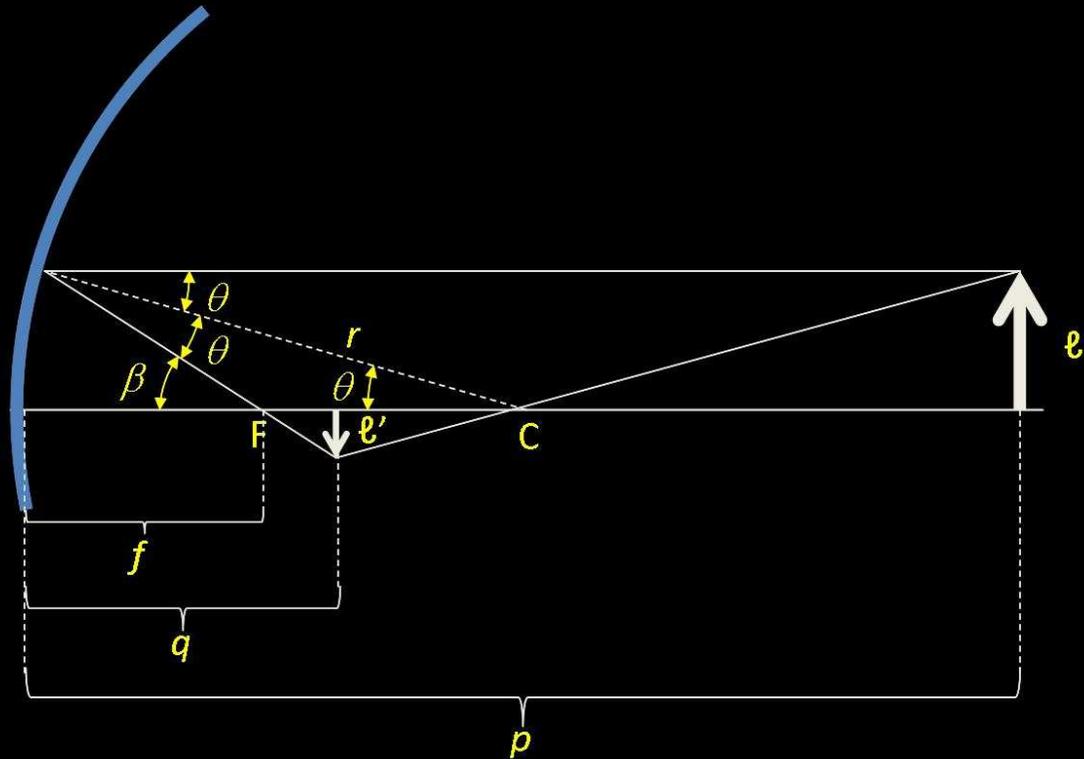
$$p \rightarrow \infty: \begin{cases} q \rightarrow f \\ \theta \rightarrow 0 \\ \mathcal{S} \rightarrow 0 ??? \end{cases}$$

$$p \rightarrow \infty: l / p \rightarrow \theta \quad \rightarrow \quad \boxed{l'_{ASTR} = f \theta}$$



Per  $\theta \sim 0...$

... $f = r/2$  !



$$\begin{cases} \ell : p-r = \ell' : r-q & \rightarrow & \mathcal{S} = \ell' / \ell = r-q / p-r \\ \ell : f = \ell' : q-f & \rightarrow & \mathcal{S} = \ell' / \ell = (q-f) / f = q/f - 1 \end{cases}$$

$$(2f - q) / (p - 2f) = q/f - 1$$

$\rightarrow$

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

Vero solo per piccole distanze dall'asse ottico (APPROSSIMAZIONE GAUSSIANA)

Al di fuori dell'approssimazione gaussiana: le ABERRAZIONI OTTICHE

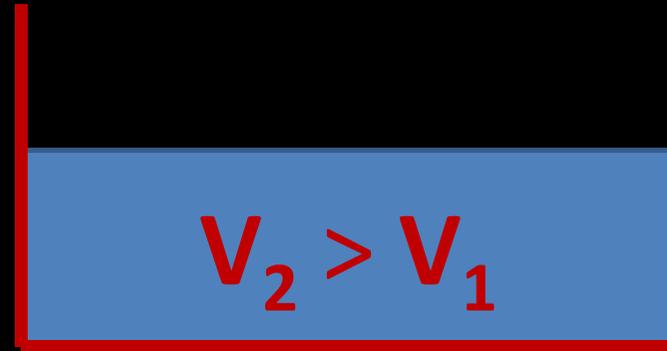
Ingrandimento = perdita di luminosità

→ secondo requisito: CAPACITÀ DI RACCOLTA LUCE !



Ingrandimento = perdita di luminosità

→ secondo requisito: CAPACITÀ DI RACCOLTA LUCE



$f$  → ingrandimento

$D$  → luminosità

Requisiti sul valore di  $f/D$  ( $f/\#$ )

Cosa e dove osservare ? Importanza della *parte meccanica...*

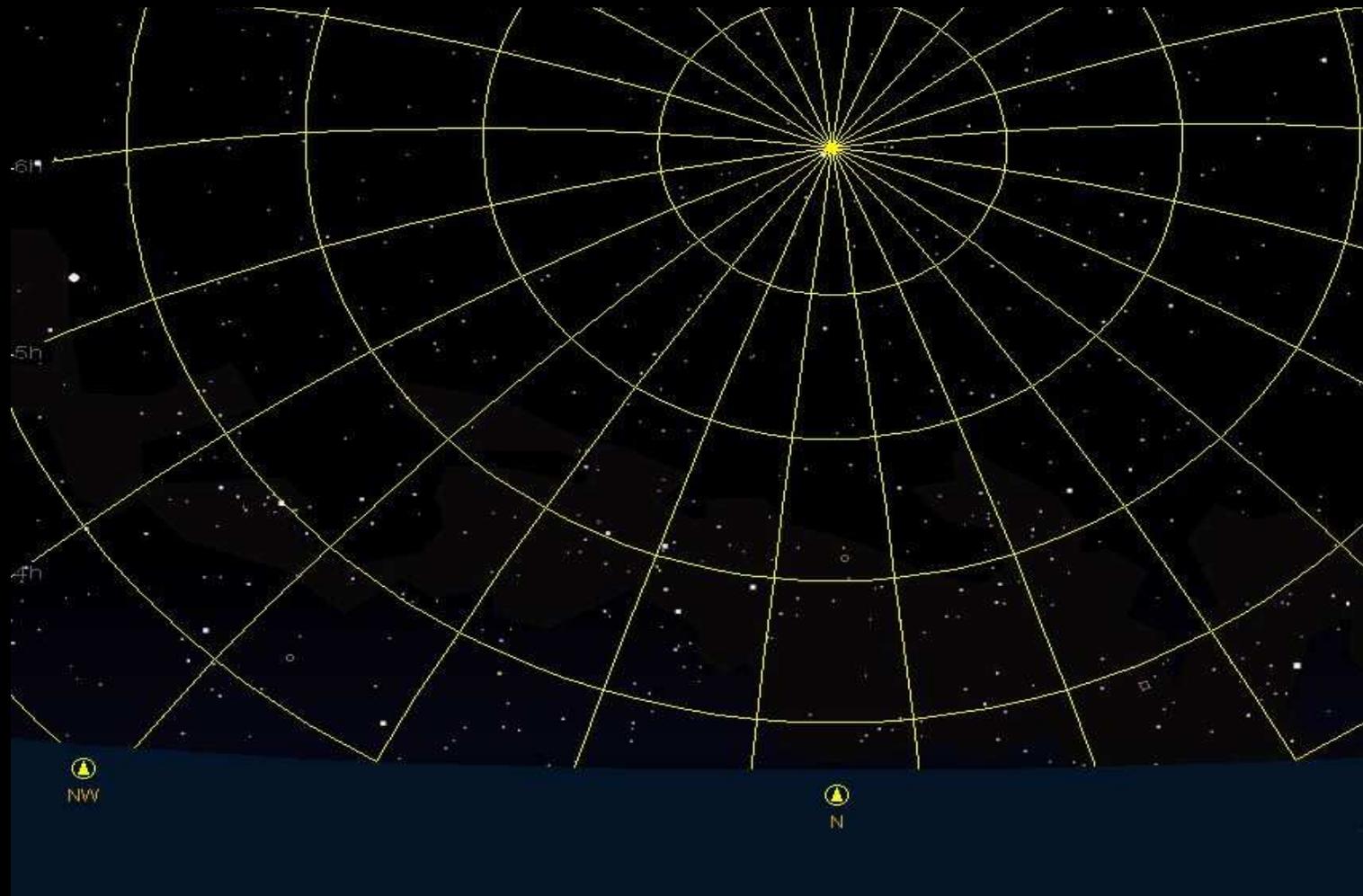
**PUNTAMENTO**



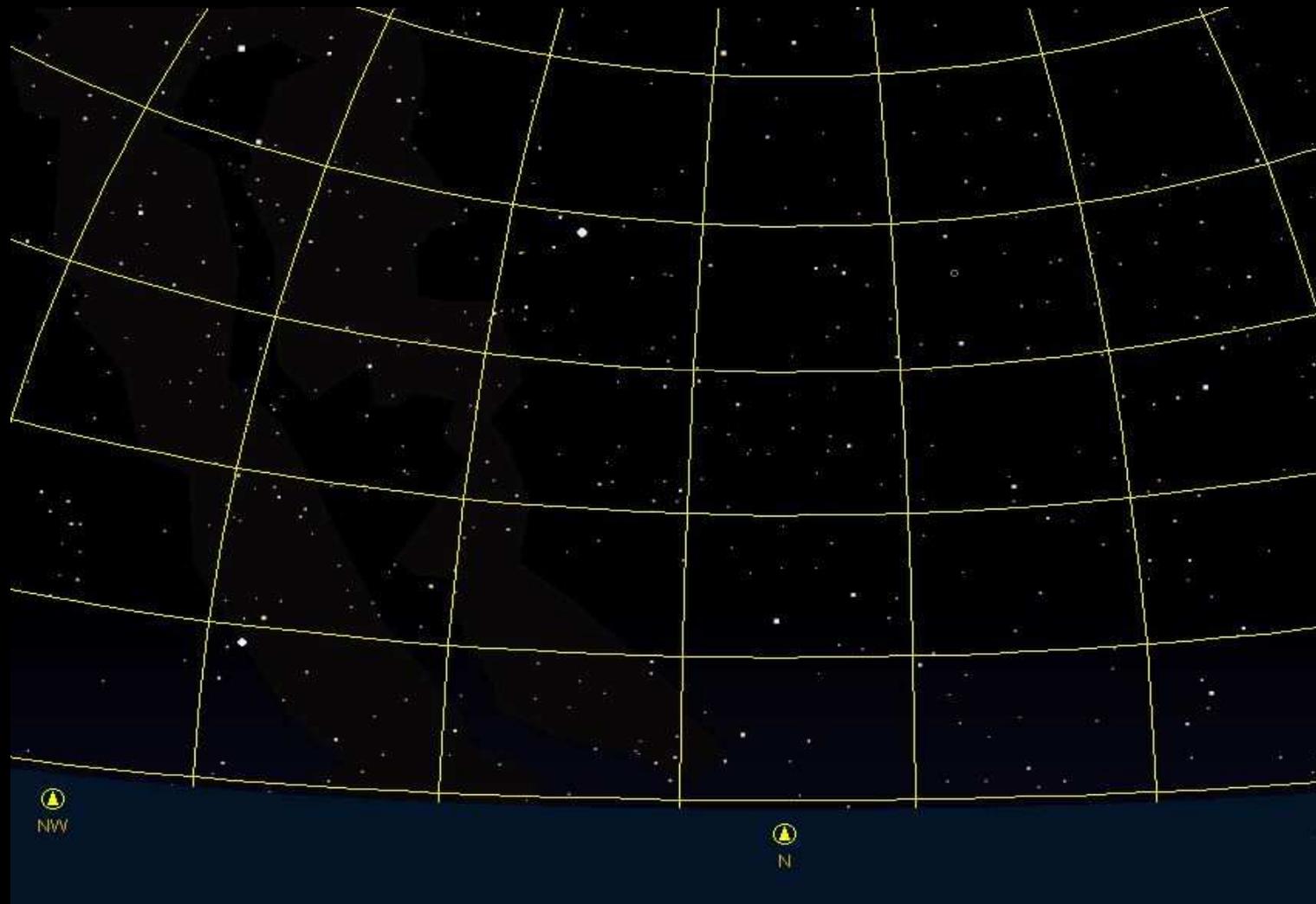
*Conservazione del puntamento  
su un oggetto in moto:*

**INSEGUIMENTO**

Le coordinate per il puntamento:  
*coordinate equatoriali (ASCENSIONE RETTA, DECLINAZIONE)*

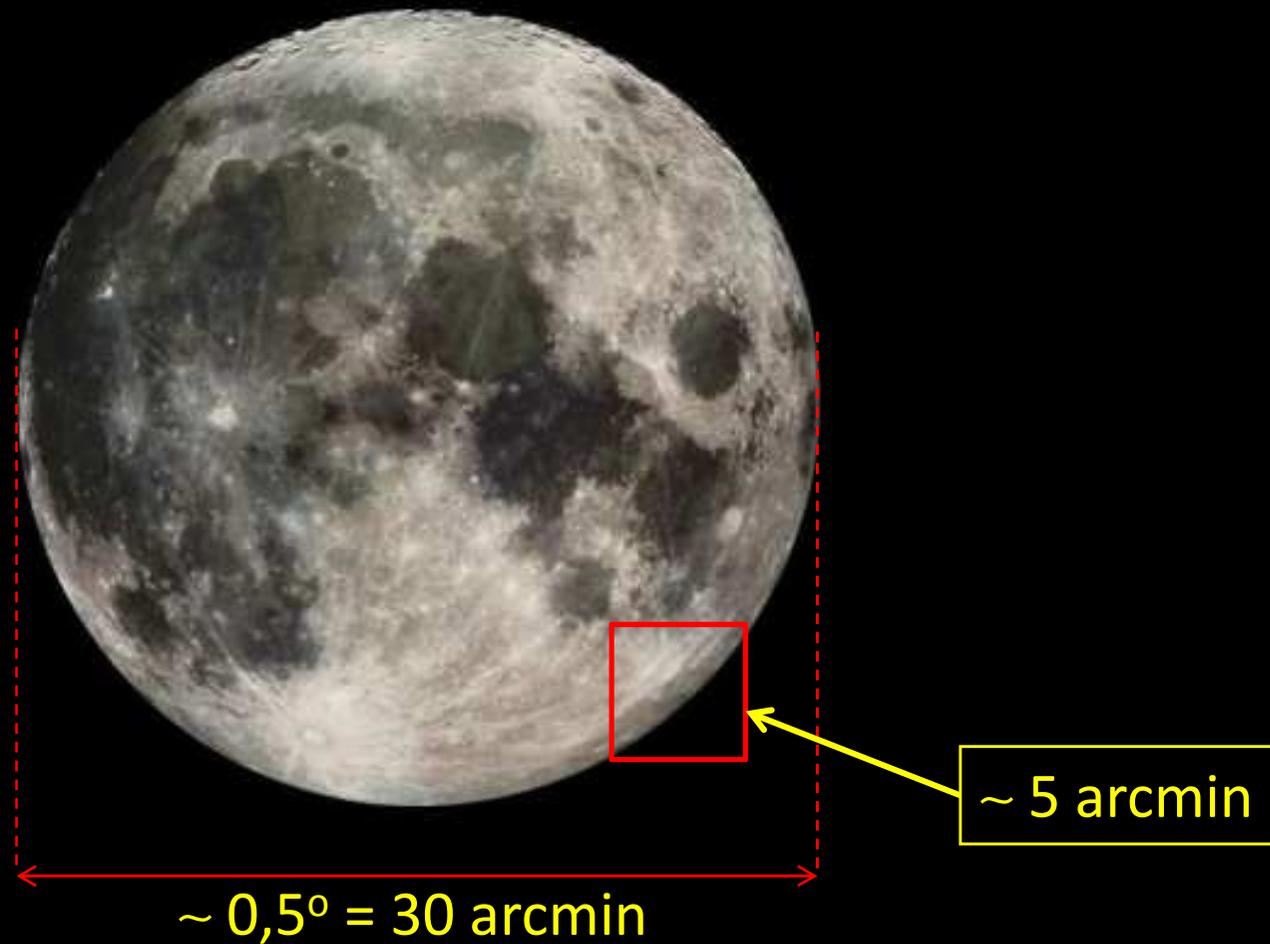


Le coordinate per il puntamento:  
*coordinate locali (AZIMUTH, ALTEZZA)*



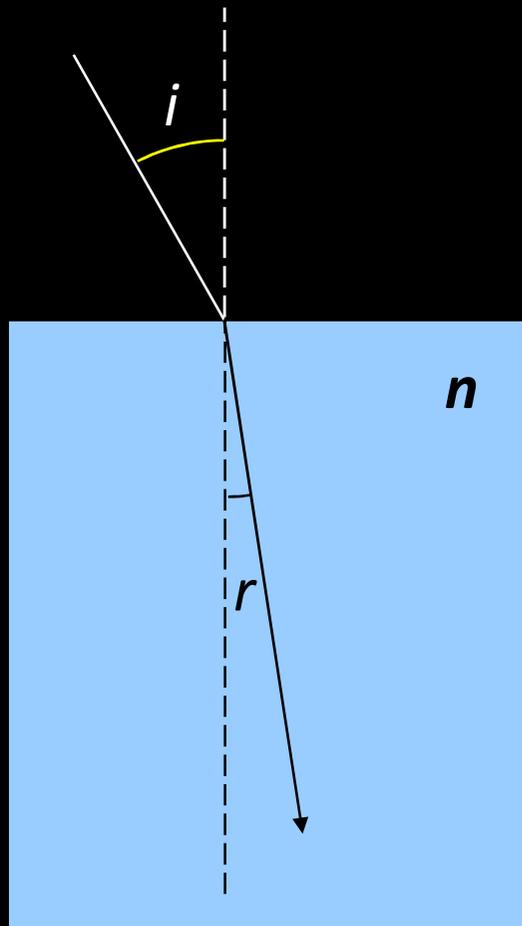
## La precisione di puntamento

Campo di vista (FOV) = la più ampia regione di cielo inquadrabile simultaneamente



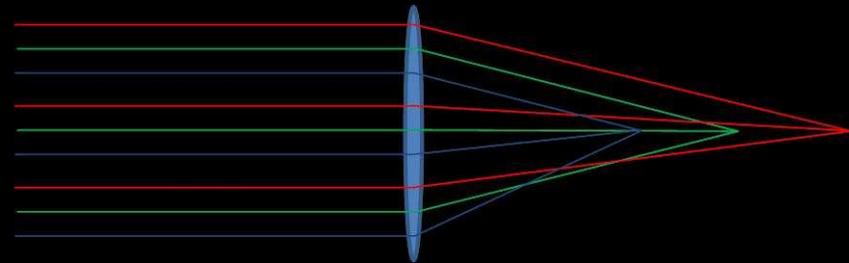
# Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

## 1) ABERRAZIONI OTTICHE: rifrazione, legge di Snell e *cromatismo*



$$\text{sen } r = \frac{\text{sen } i}{n}$$

$$n = n(\lambda) \quad \rightarrow \quad r = r(\lambda)$$



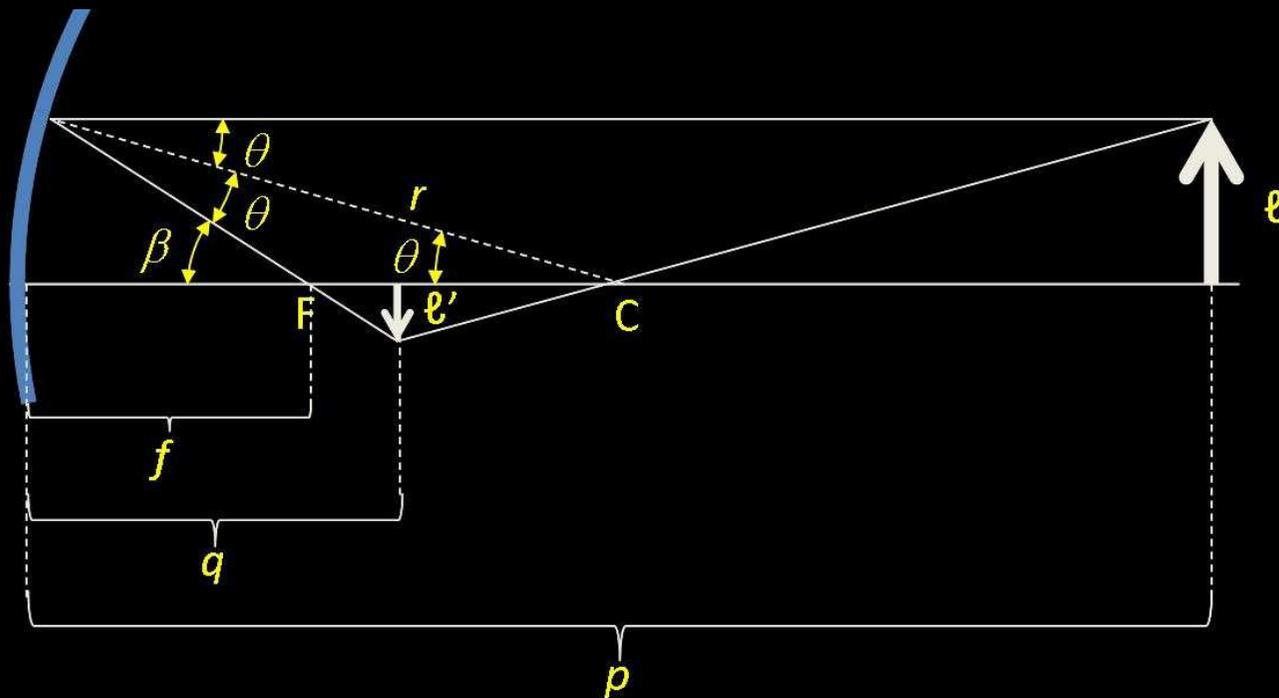
Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

**1) ABERRAZIONI OTTICHE:** rifrazione, legge di Snell e *cromatismo*



## Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

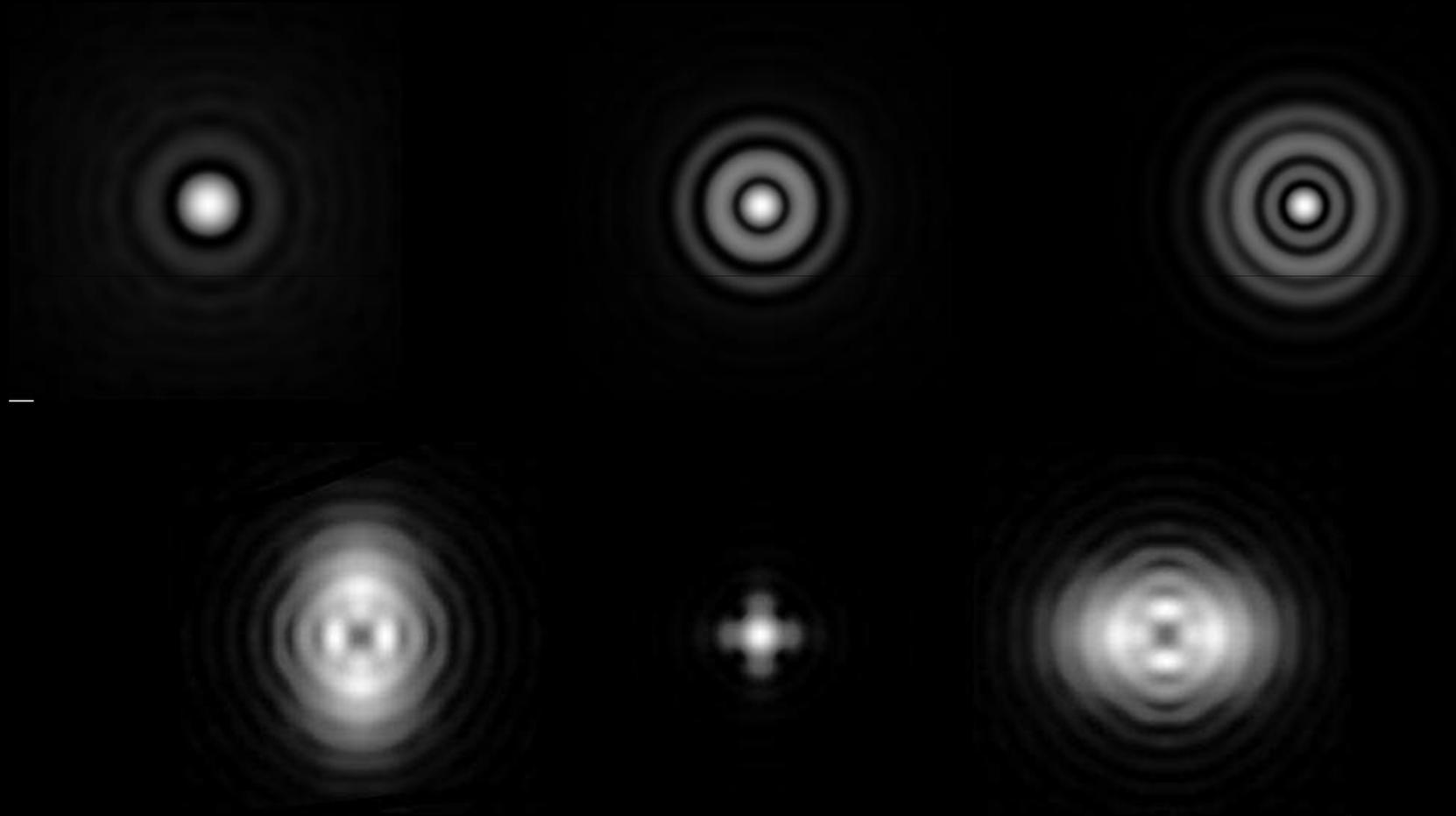
### 1) ABERRAZIONI OTTICHE: aberrazione sferica e astigmatismo (distanza dall'asse ottico)



$$f = r - \overline{CF} = r - \frac{r/2}{\cos \theta} = r \left[ 1 - \frac{1}{2 \cos(\beta/2)} \right] = f(\beta)$$

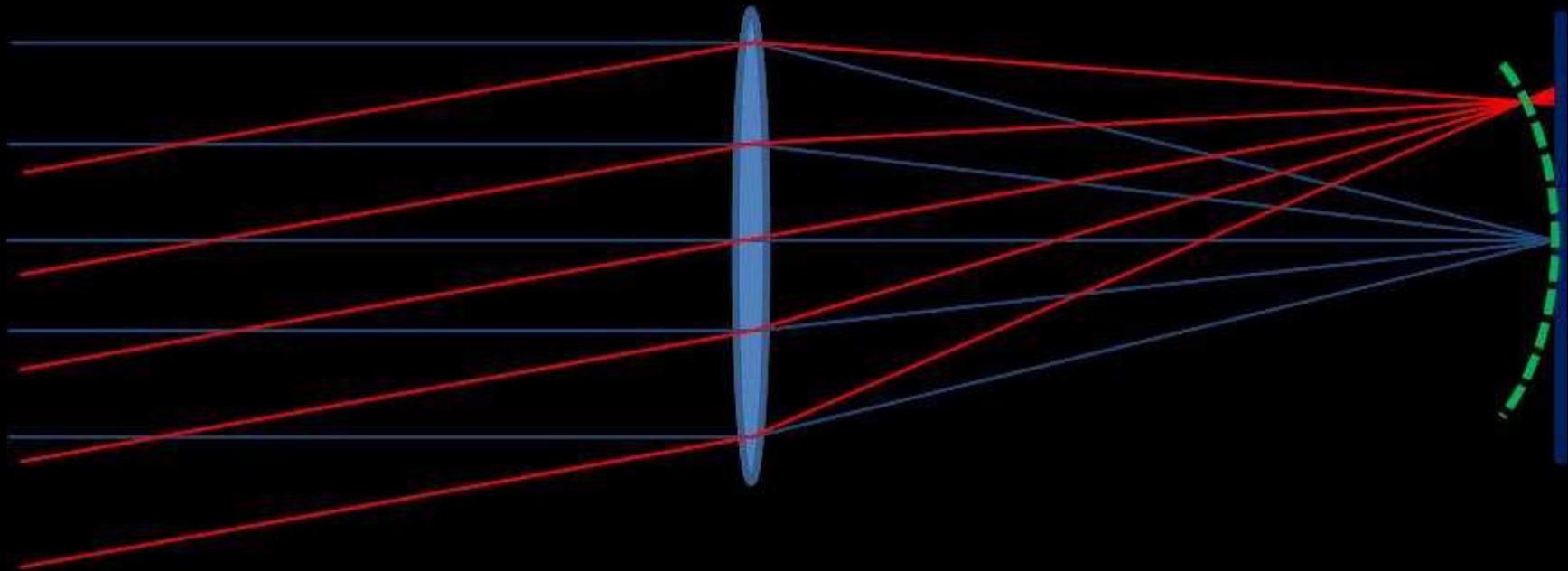
Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

**1) ABERRAZIONI OTTICHE: aberrazione sferica e astigmatismo**



## Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

**1) ABERRAZIONI OTTICHE: coma, distorsione, curvatura di campo (aberrazioni fuori-asse)**

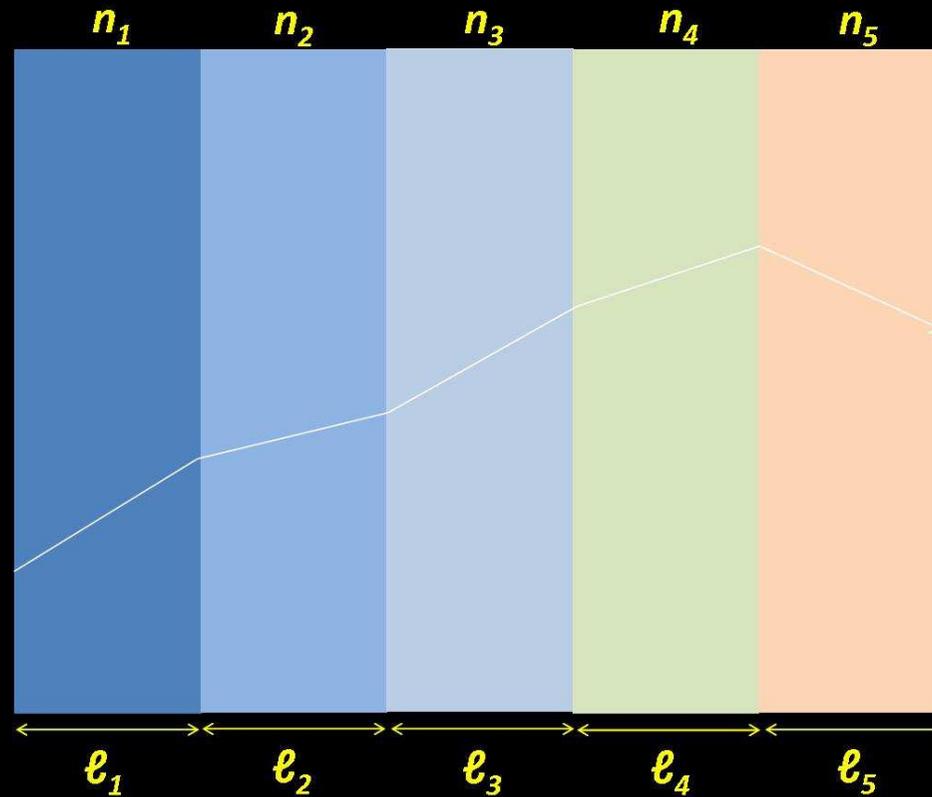


# Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

## 1) ABERRAZIONI OTTICHE: coma, distorsione, curvatura di campo



Perché le aberrazioni ottiche ?



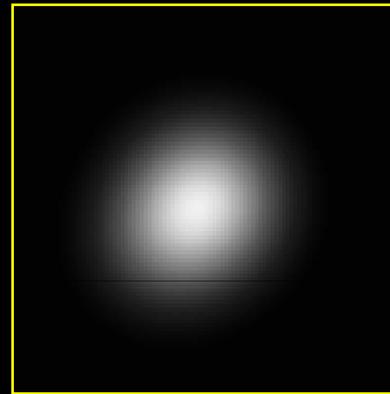
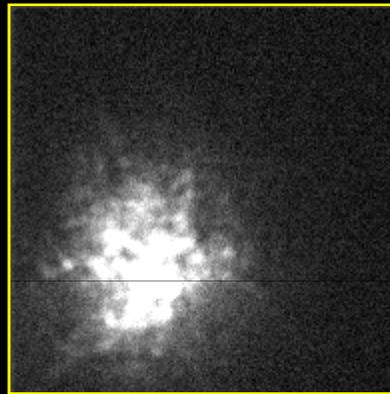
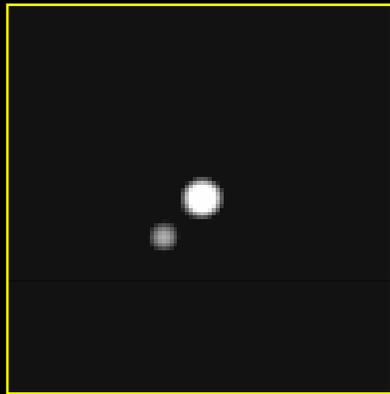
**CAMMINO OTTICO**  $l_{opt} = n_1 l_1 + n_2 l_2 + \dots + n_5 l_5 = \sum_{j=1}^N n_j l_j$

## Ottica “geometrica” ? ...

- Esiste tutta una complessa trattazione analitica (algebrica) dell’ottica geometrica, che parte dall’espressione delle superfici ottiche in forma polinomiale.
- Il calcolo delle traiettorie dei raggi luminosi implica la trattazione di complesse espressioni esprimibili come polinomi di grado via via crescente, idealmente illimitato.
- A parte l’aberrazione cromatica, che non dipende dalle curvature delle superfici ma dall’indice di rifrazione, le altre corrispondono a polinomi di grado conosciuto: aberrazione sferica e astigmatismo corrispondono a polinomi di primo grado, mentre coma, distorsione e curvatura di campo corrispondono a polinomi di terzo grado (e vengono perciò dette aberrazioni del terzo ordine).
- Non esistono termini di secondo grado. Esistono invece infiniti termini di grado superiore al terzo, che corrispondono ad altrettante aberrazioni, la cui entità è tuttavia rapidamente decrescente e può essere in genere trascurata.
- Il TEOREMA GENERALE DELL’OTTICA afferma che per correggere  $N$  aberrazioni in un sistema ottico, questo deve essere composto da  $M$  superfici sferiche, con  $M \geq N$ .
- È evidente l’analogia con il teorema generale dell’algebra...

# Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

## 2) effetti dell'ATMOSFERA TERRESTRE e LIMITE DI DIFFRAZIONE

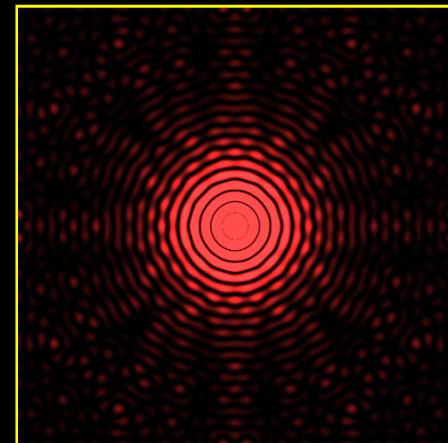
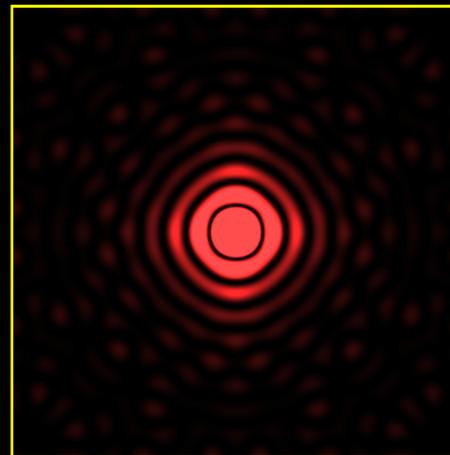


*SEEING*

$$\phi_{\text{airy}} \sim \lambda^{-6/5}$$

*DIFFRAZIONE*

$$\phi_{\text{diffr}} \cong 1,22 \frac{\lambda}{D}$$



## Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

In genere, il seeing è nettamente dominante rispetto alla diffrazione. Ad esempio nell'ottico ( $\lambda \sim 0.5 \mu\text{m}$ ) un valore tipico del seeing nei siti italiani è circa 2 arcsec. Per avere un limite di diffrazione di questa portata, il telescopio dovrebbe avere un'apertura di diametro

$$D = 1,22 * 0.5 * 10^{-6} / (2 / 206264.81) = 6.29 \text{ cm} !$$

Si tende quindi a costruire il telescopio in modo che le aberrazioni ottiche residue (*non corrette*) rimangano almeno di sotto del seeing migliore che si possa avere nel sito in cui il telescopio sarà montato.

Ovviamente l'ideale è mantenere tali aberrazioni al di sotto del limite di diffrazione...!

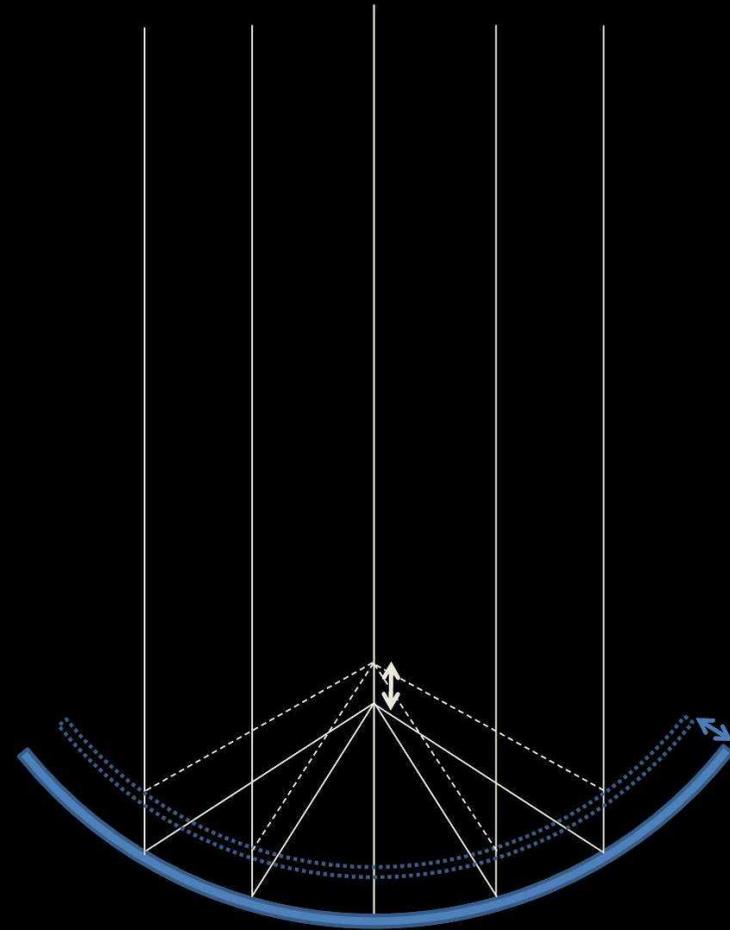
## Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

### 3) effetti di DEFORMAZIONE TERMICA e GRAVITAZIONALE

*Essendo  $f = r / 2$ ,*

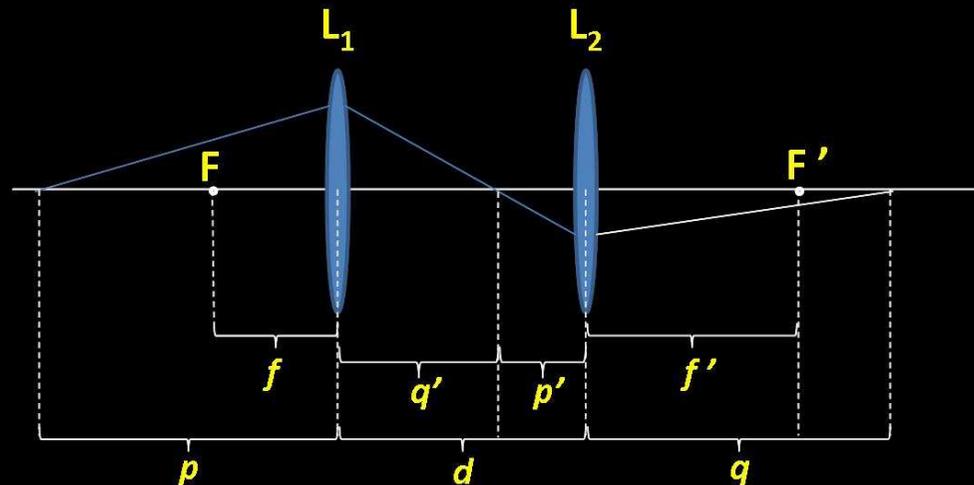
*se  $r = r_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$*

*allora  $f = f_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$  !*



# Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

## 3) effetti di DEFORMAZIONE TERMICA e GRAVITAZIONALE

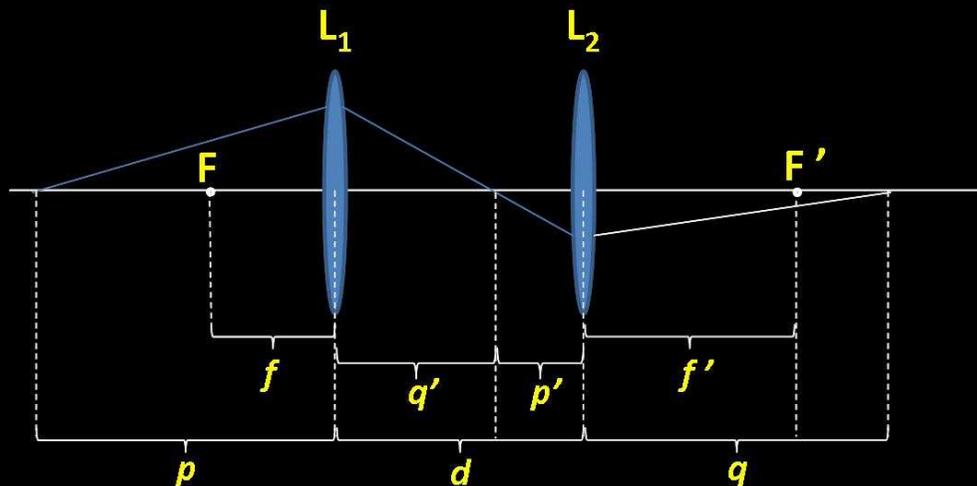


$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{p} + \frac{1}{q'} = \frac{1}{f} \\ q' + p' = d \\ \frac{1}{p'} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f'} \end{array} \right. \quad p \rightarrow \infty: \quad q = EFL = \frac{(d - f')f}{d - (f + f')}$$

$$d \sim 0: \quad EFL = \frac{f'f}{f + f'} \rightarrow \frac{1}{f} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{EFL}$$

## Precisione di inseguimento e limiti alla risoluzione spaziale

### 3) effetti di DEFORMAZIONE TERMICA e GRAVITAZIONALE



$$EFL = \frac{(d - f')f}{d - (f + f')}$$

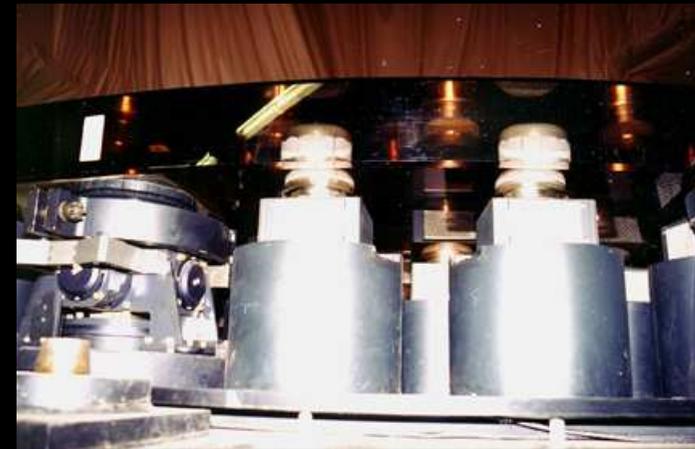
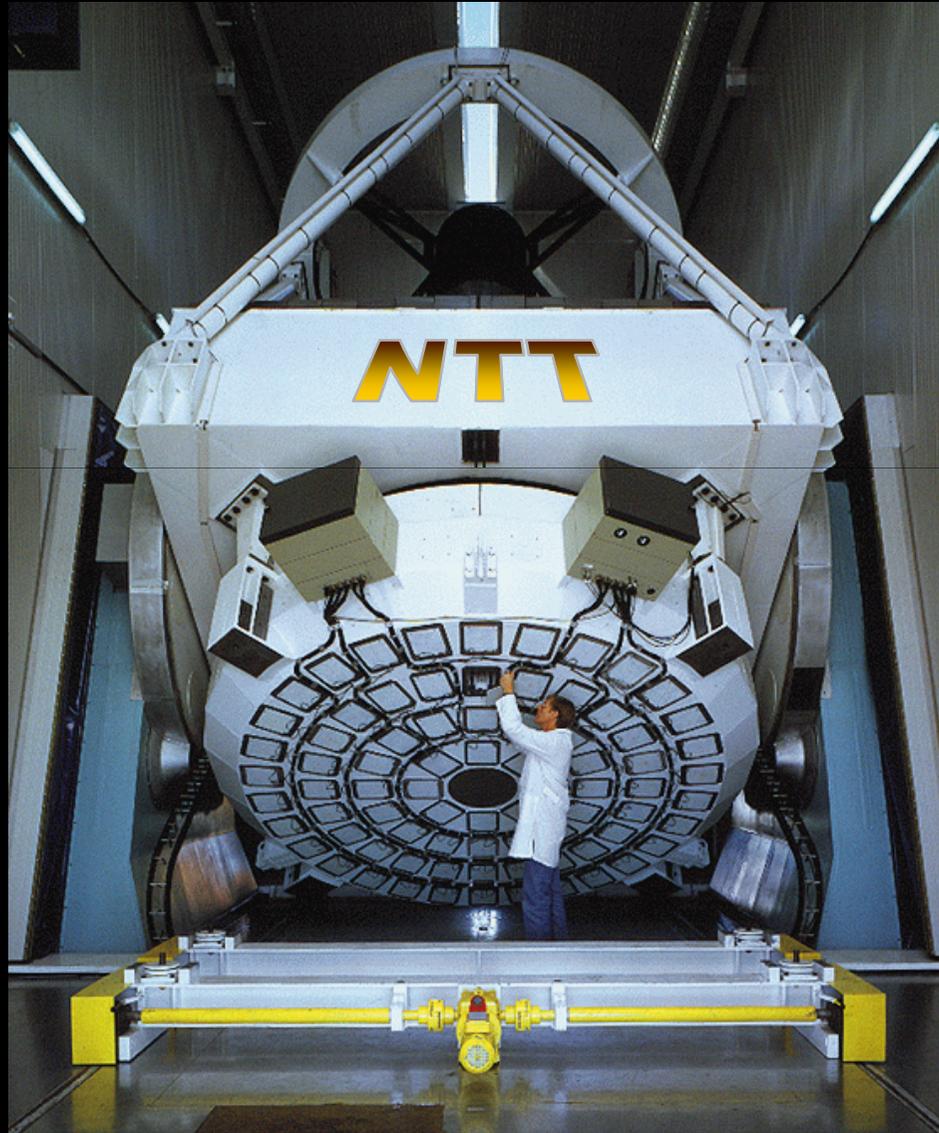
$f$  è legata al materiale di cui è fatta la prima lente:  $f = f_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

$f'$  è legata al materiale di cui è fatta la seconda lente:  $f' = f'_0 (1 + \beta \cdot \Delta T)$

$d$  è legata al materiale di cui è fatto il supporto tra le lenti:  $d = d_0 (1 + \gamma \cdot \Delta T)$

*Solo se il materiale è lo stesso allora si ha:  $EFL = EFL_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ , altrimenti  $EFL$  dipende in modo molto complesso dalla temperatura del sistema.*

# OTTICHE ATTIVE per la compensazione delle deformazioni gravitazionali



La costanza di un inseguimento accurato:

*lento e inesorabile,  
come lo scorrere del tempo*

TIRIAMO LE SOMME:

- 1) il telescopio fa convergere la luce sul piano focale
- 2) qui si si forma un'immagine dell'oggetto osservato:

**MA COSA SI FA CON QUESTA IMMAGINE ?**

Contemplazione?



Fotografia amatoriale?



**Analisi scientifica del "segnale" !**

L' "oggetto dell'analisi" e' **LA LUCE**.

*L'Astronomia osservativa si basa sull'analisi delle proprietà della luce emessa dai corpi celesti e per derivarne le loro caratteristiche fisiche.*

*Si tratta dunque di una indagine per via **INDIRETTA** !*

**OTTICA GEOMETRICA**

Strumenti ottici...

TELESCOPI...

Energia solare...

Telecomunicazioni...

INTERNET...

*Fisica Quantistica (?)*

**OTTICA FISICA**

I colori

Difrazione e interferenza (limiti degli strumenti e oltre...)

*Fisica Quantistica !*

Spettri...

LASER (CD, DVD...)

Polarizzazione (architettura, industria, fotografia...)

La velocità della luce

*Teoria della Relatività !*

**OTTICA DELLA VISIONE**

Sorgenti, occhio e cervello

“Sviste involontarie”

Illusioni ottiche

La visione binoculare



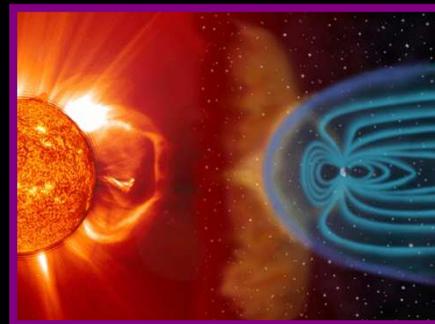
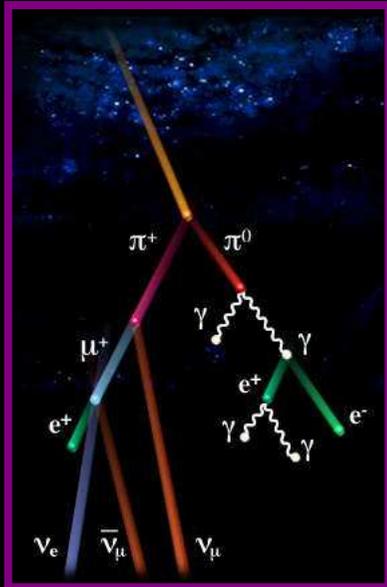
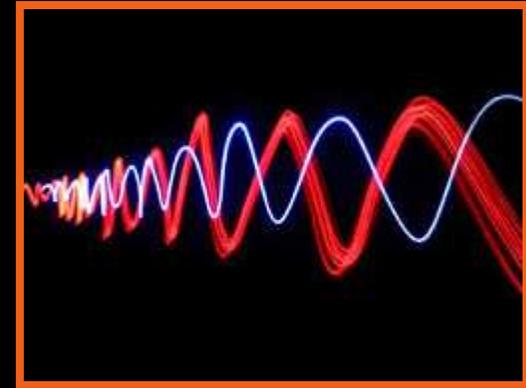
L' "oggetto dell'analisi" e' **LA LUCE**.

*L'Astronomia osservativa si basa sull'analisi delle proprietà della luce emessa dai corpi celesti e per derivarne le loro caratteristiche fisiche.*

*Si tratta dunque di una indagine per via **INDIRETTA** !*

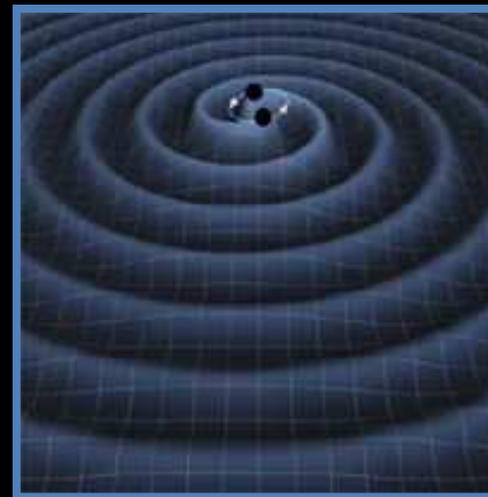
L'informazione dagli oggetti astrofisici ci arriva in realtà, sempre INDIRETTAMENTE, in tre modi:

-Radiazione elettromagnetica



-Particelle (raggi cosmici, vento solare, neutrini)

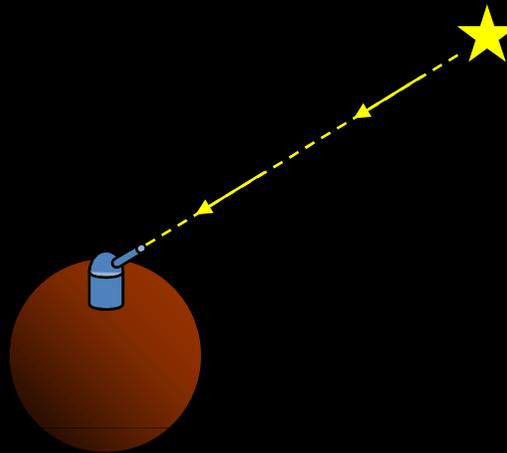
-Onde gravitazionali



# L'astrofisica: una scienza da lontano... !



Biologia...

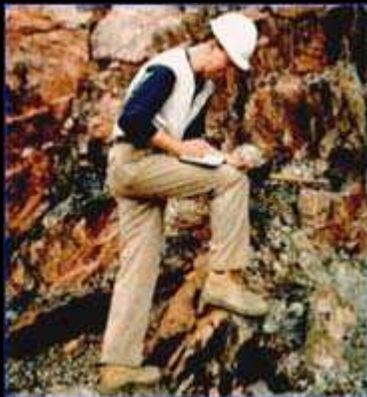


Astrofisica

Fisica...



Geologia...



Medicina...



Chimica...

# Le quattro grandezze fondamentali dell'Astrofisica

(in linea molto generale)

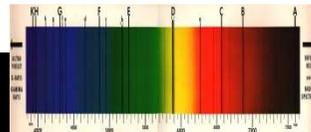
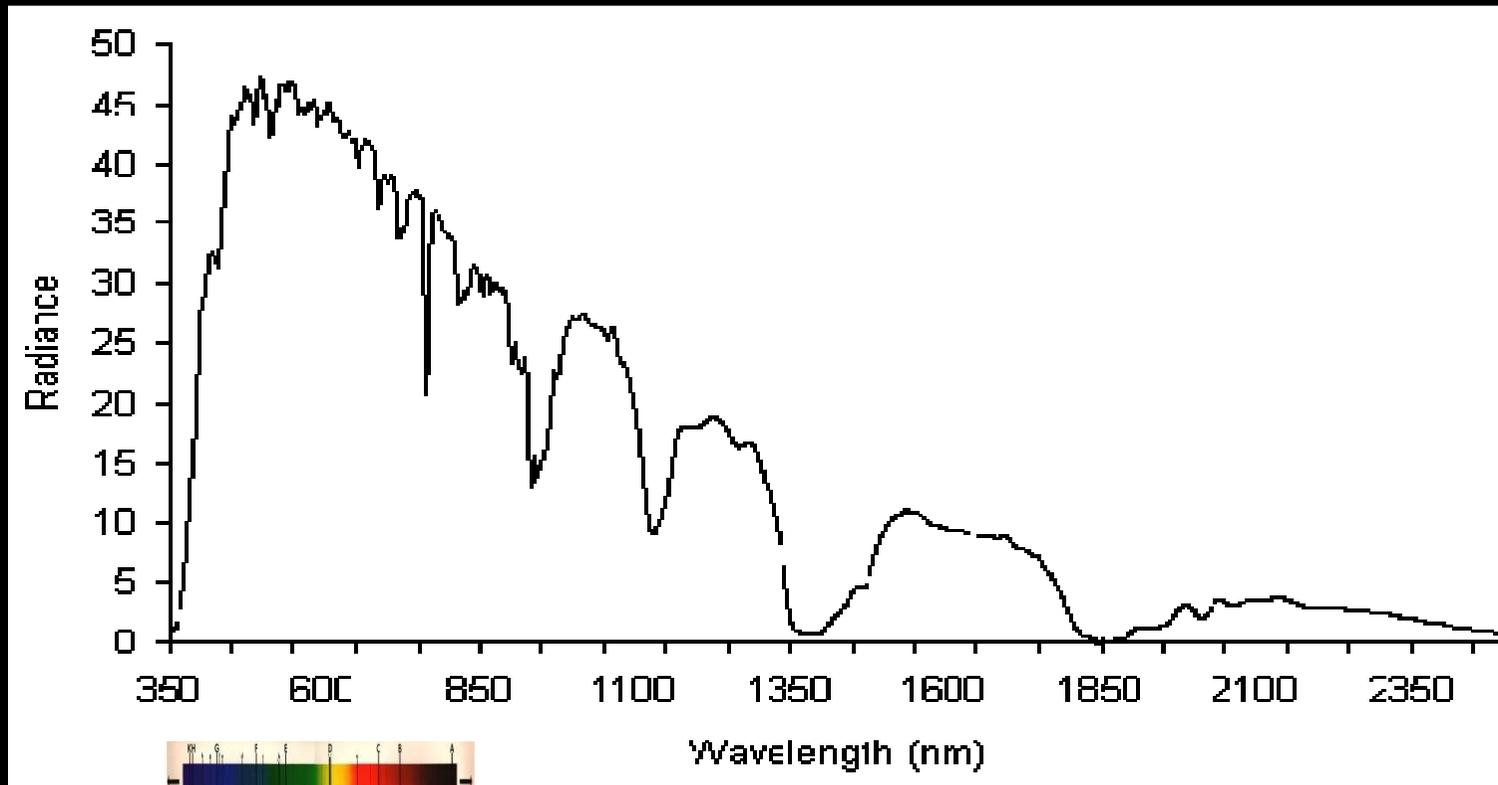
-la posizione delle stelle      **(ASTROMETRIA)**

-la quantità di luce proveniente dalle stelle      **(FOTOMETRIA)**

-la distribuzione in lunghezza d'onda della luce proveniente dalle stelle      **(SPETTROSCOPIA)**

-il modo in cui queste grandezze cambiano nel tempo      **(MISURA DEL TEMPO)**

# Spettroscopia del Sole



# Tipi di stelle (classificazione di Harvard)



O

B

A

F

G

K

M

30000

10000

7500

6000

5000

3500

< 3500 °C

÷

÷

÷

÷

÷

÷

60000 °C

30000 °C

10000 °C

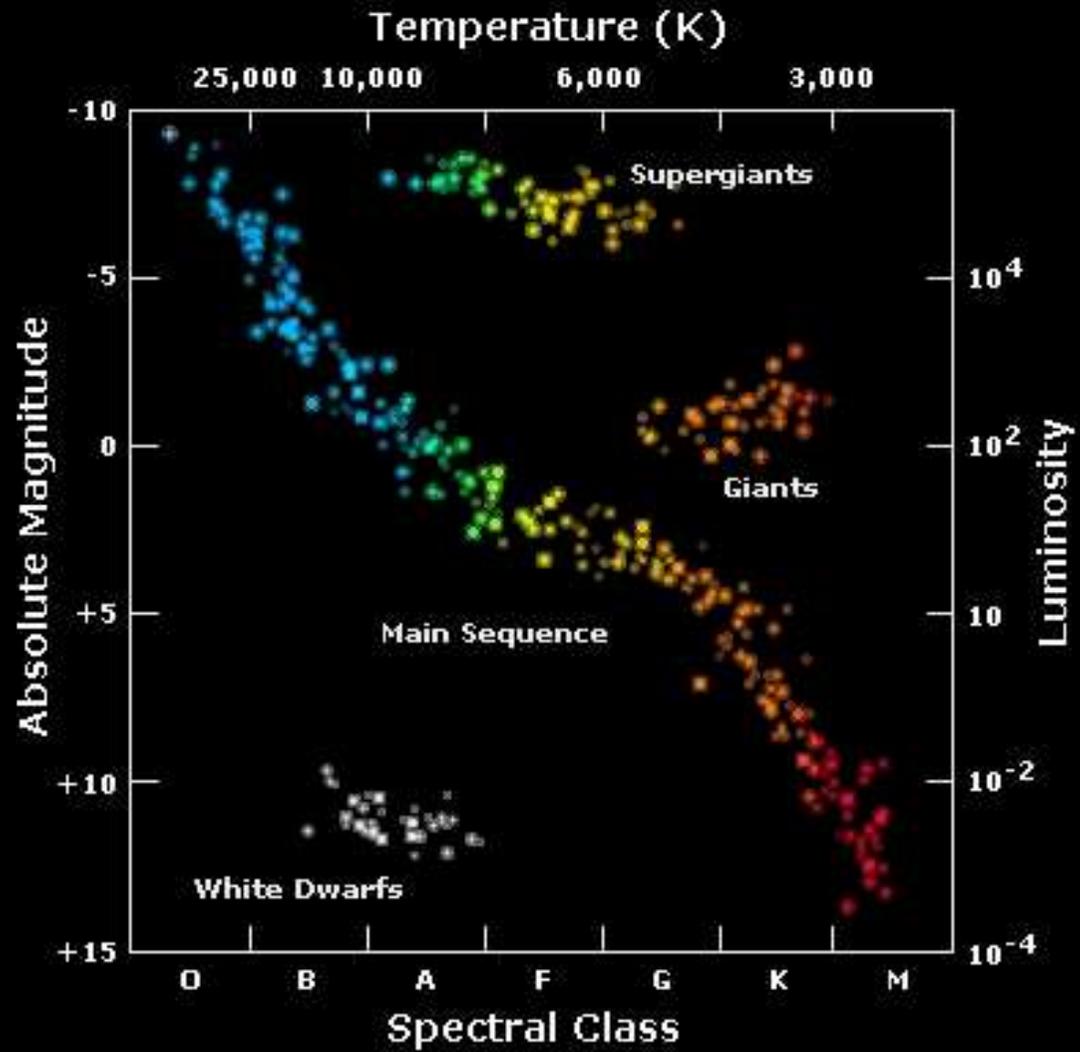
7500 °C

6000 °C

5000 °C

*Oh, Be A Fine Girl Kiss Me!*

# Diagramma di Herzsprung – Russell

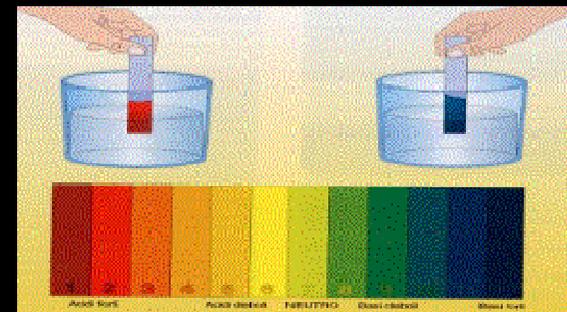


# Come “misuriamo” in Astrofisica?

La luce può essere fatta CONVERGERE, può essere SCOMPOSTA nei vari colori, può essere fatta INTERFERIRE o passare attraverso filtri POLARIZZATORI... Ma alla fine ne dobbiamo in ogni caso RACCOGLIERNE E MISURARNE UNA CERTA QUANTITÀ.

COME SI FA ? Mediante rivelatori di radiazione, che funzionano per via **indiretta**, trasformando la quantità da misurare in un'altra quantità visualizzabile direttamente, come una grandezza **meccanica** (spostamento di un indice, rotazione di un ago) o **chimica** (concentrazione di una soluzione), spesso in più passaggi intermedi.

I rivelatori, cioè, come tutti gli strumenti di misura, sono essenzialmente dei **trasduttori.**

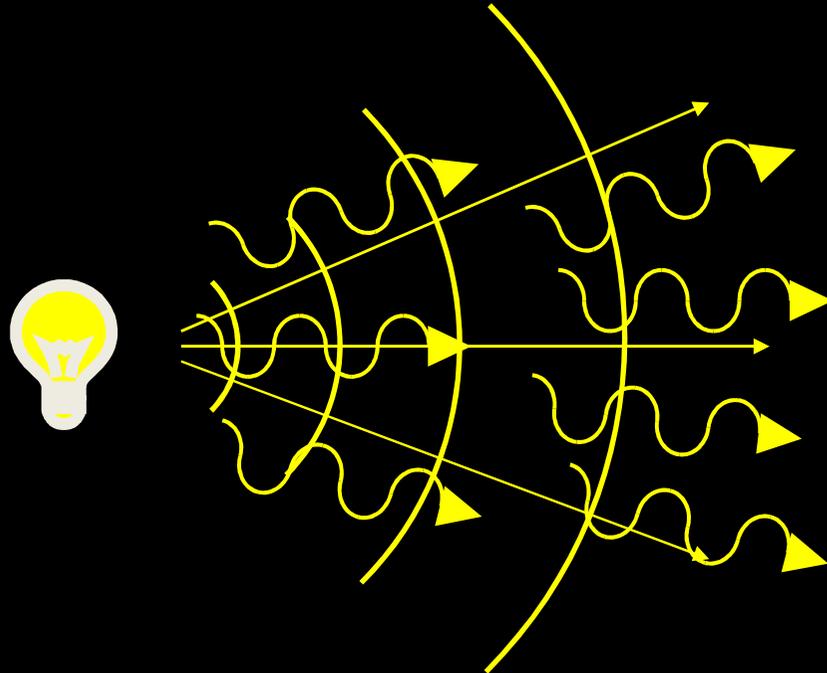


# Rivelatori di radiazione elettromagnetica

Principio di funzionamento:

effetti dell'interazione della radiazione elettromagnetica con la materia

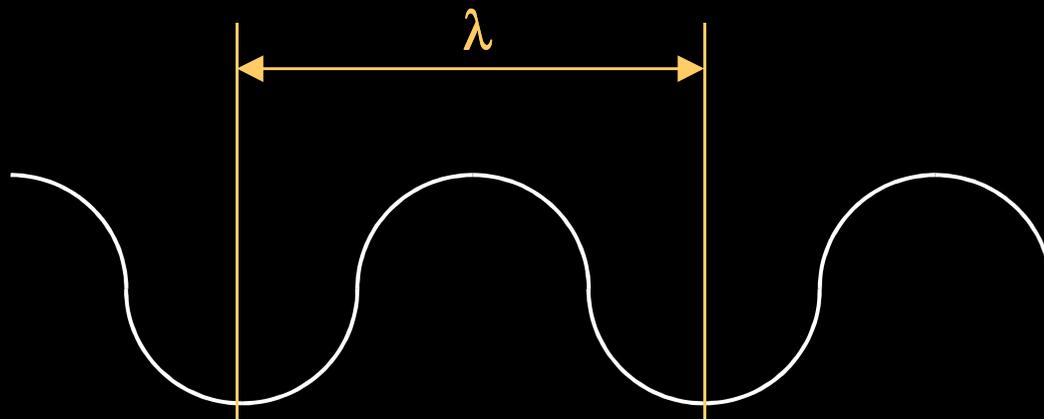
# La radiazione. Fotoni e onde elettromagnetiche.



ONDE

||

FOTONI

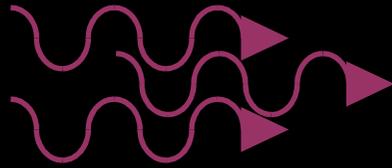


$$0,4 \leq \lambda \leq 0,7 \mu\text{m}$$

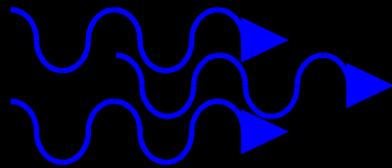
(1  $\mu\text{m}$  = 1 millesimo di mm)

per la luce visibile, a  
seconda del COLORE.

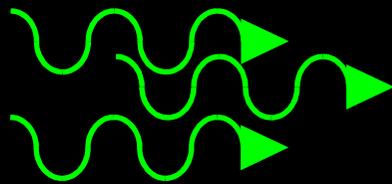
$\lambda = 0,40 \mu\text{m}$



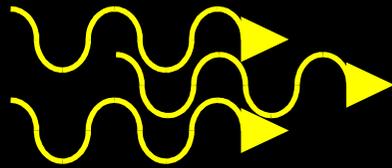
$\lambda = 0,48 \mu\text{m}$



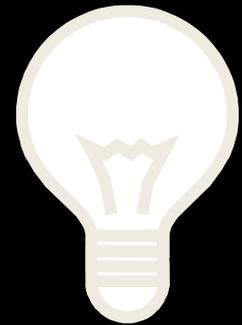
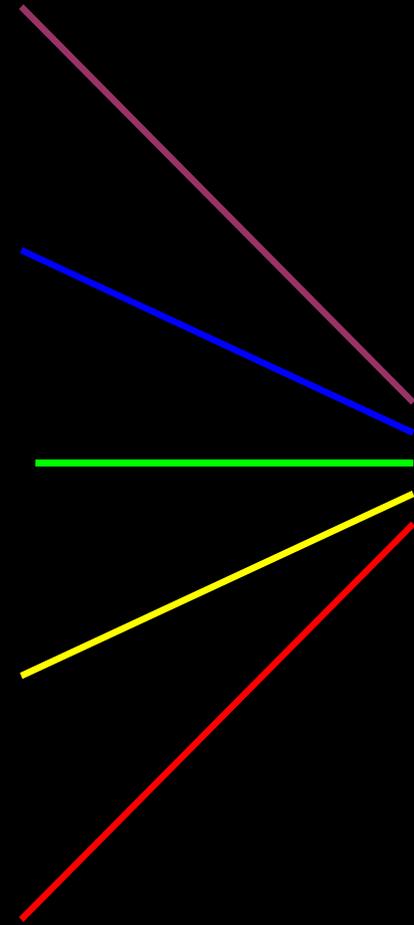
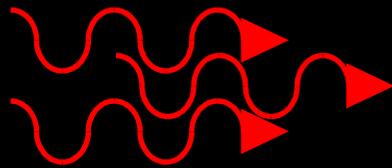
$\lambda = 0,55 \mu\text{m}$



$\lambda = 0,69 \mu\text{m}$



$\lambda = 0,75 \mu\text{m}$



$\lambda < 0,4 \mu\text{m}$

raggi gamma



raggi X



raggi UV



$\lambda > 0,8 \mu\text{m}$

raggi infrarossi



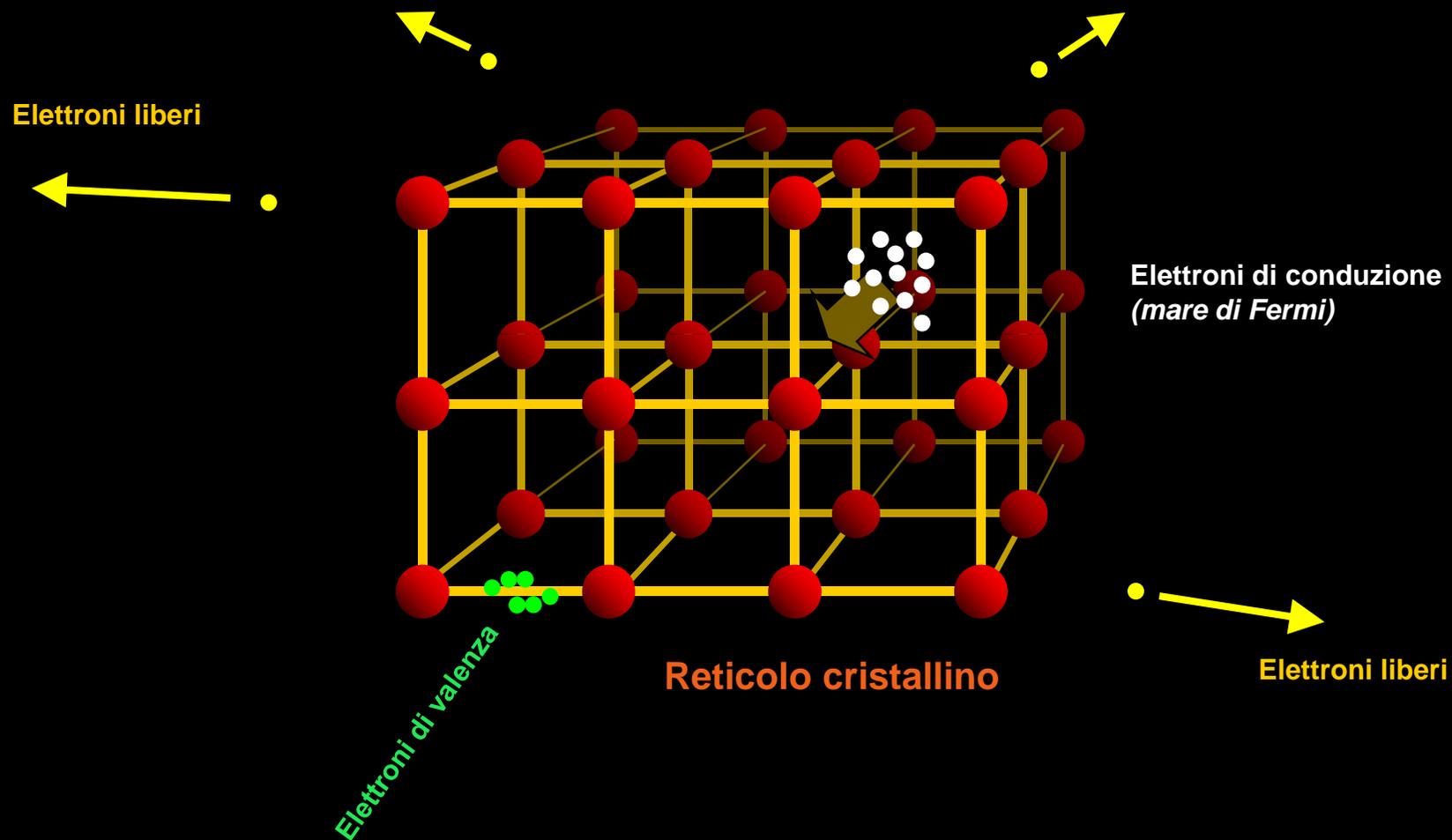
microonde



onde radio



# La materia allo stato solido



## L'interazione radiazione – materia

Ogni fotone trasporta una quantità di energia proporzionale alla sua frequenza, ovvero inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda dell'onda elettromagnetica ad esso associata:

$$E = h\nu = hc / \lambda$$

$$h = \text{costante di Planck} = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$c = \text{velocità della luce} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Quando un fotone interagisce con un solido cristallino, esso viene assorbito e tutta la sua energia viene trasferita agli atomi del reticolo o agli elettroni intorno ad essi.

Per effetto dell'energia così trasferita, e a seconda dei "beneficiari" di tale trasferimento (reticolo o elettroni), il fenomeno produce almeno uno dei seguenti effetti:

- passaggio di elettroni da un atomo ad un altro (REAZIONE FOTOCHIMICA)

- liberazione di elettroni all'interno del cristallo (FOTOCONDUZIONE)

- liberazione di elettroni all'esterno del cristallo (EFFETTO FOTOELETTRICO)

- aumento dell'energia di vibrazione del reticolo (RISCALDAMENTO)

- oscillazioni elettromagnetiche macroscopiche

Rivelatori  
quantici

Rivelatori  
termici

Rivelatori  
coerenti

Gli effetti si differenziano per l'energia minima che deve essere fornita all'elettrone perché il fenomeno si verifichi.

Solo fotoni con energia superiore all'energia minima (detta energia di soglia) producono l'effetto:

$$E_{\text{fotone}} \geq E_{\text{soglia}}$$

Poiché l'energia del fotone dipende dalla sua lunghezza d'onda, se ne ricava una condizione sulla lunghezza d'onda:

$$hc / \lambda \geq E_{\text{soglia}} \Rightarrow \lambda \leq hc / E_{\text{soglia}} = \lambda_{\text{soglia}}$$

Pertanto i rivelatori di radiazione saranno in genere sensibili ad un intervallo limitato di lunghezze d'onda, a seconda del tipo di materiale su cui si basa il loro principio funzionamento.

## 1) Efficienza quantica e risposta spettrale

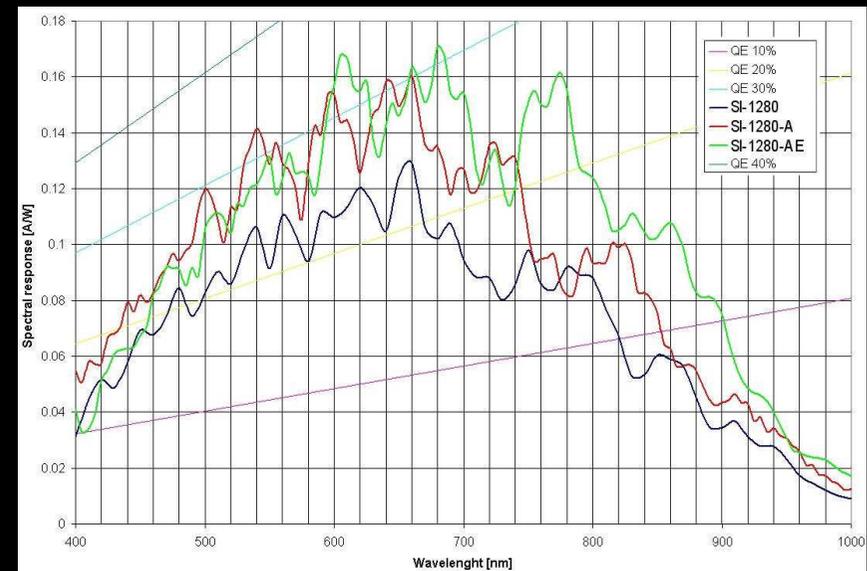
Non tutti i fotoni che arrivano sul cristallo producono l'effetto voluto.

L'efficienza quantica  $\epsilon$  è il rapporto tra il numero di fotoni arrivati sul cristallo ed il numero di elettroni prodotti:

$$\epsilon = N_e / N_\gamma \quad ( < 1 ! )$$

Questo numero dipende ovviamente dalle caratteristiche del materiale, ma anche dalla lunghezza d'onda del fotone in arrivo: per questo motivo l'efficienza quantica varia con la lunghezza d'onda del fotone incidente, e in questa forma è detta **risposta spettrale**:

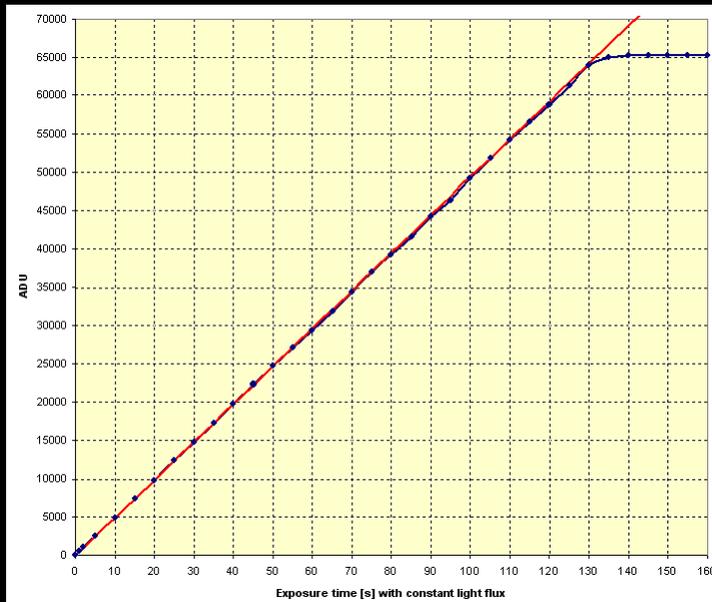
$$\epsilon = \epsilon(\lambda)$$



## 2) Linearità

Da quanto appena visto si deduce che il numero di fotoelettroni prodotti è direttamente proporzionale al numero di fotoni incidenti:

$$N_e = e N_\gamma$$



In realtà questa legge di proporzionalità non è sempre valida, in particolare quando il numero di fotoni incidenti  $N_g$  è troppo piccolo o troppo grande.

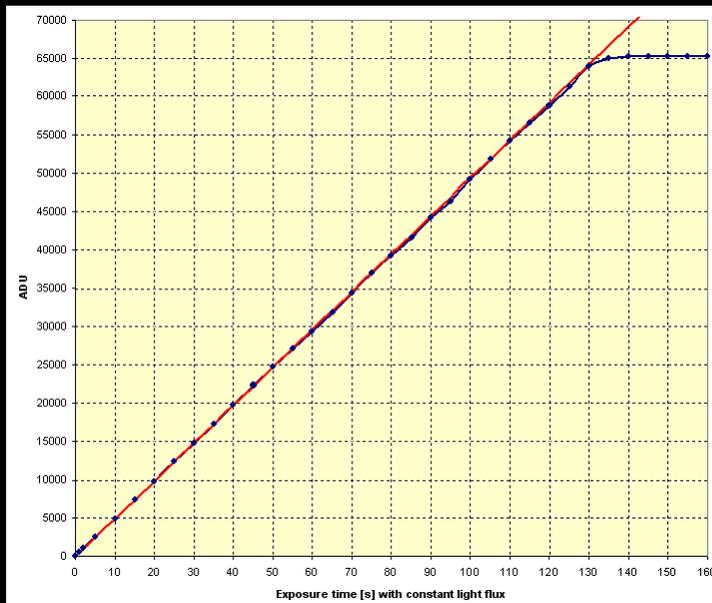
L'intervallo di valori di  $N_g$  in cui vale la legge di proporzionalità è detto **intervallo di linearità**.

### 3) Intervallo dinamico

Oltre al fallimento della legge di linearità per un numero di fotoni troppo grande, ad un certo punto il numero di elettroni fotoprodotti si ferma, anche se continuano ad arrivare fotoni. Questo perché gli elettroni in più tendono a sfuggire dal reticolo cristallino o ad essere riassorbiti dagli atomi da cui sono stati estratti.

Il numero massimo di elettroni fotoproducibili è detto **livello di saturazione** del rivelatore:

$$N_{\text{sat}} = N_{e,\text{max}}$$



L'intervallo complessivo dei valori possibili per il numero di elettroni fotoprodotti, e cioè

$$0 \leq N_e \leq N_{\text{sat}}$$

è detto **intervallo dinamico** (o semplicemente **dinamica**) del rivelatore.

#### 4) Livello di rumore intrinseco

Da quanto visto all'inizio, è evidente che gli elettroni vengono liberati nel cristallo per un meccanismo di eccitazione energetica.

La quantità di energia richiesta da ciascun elettrone può anche NON essere prodotta da un fotone.

In particolare, a causa delle normali vibrazioni del reticolo legate alla sua temperatura, un elettrone può essere prodotto spontaneamente anche in assenza di fotoni incidenti.

C'è dunque un certo numero di fotoni termicamente prodotti (e non solo termicamente) che non ha nulla a che fare con i fotoni incidenti, e che prende il nome di **livello di rumore intrinseco**  $N_{e,noise}$ .

È chiaro che questi elettroni vanno a sommarsi a quelli fotoprodotti, disturbando la misura che si vuole effettuare!

## **Rivelatori monopixel e rivelatori a immagine**

**Quando c'è un solo pixel si parla ovviamente di rivelatore monopixel: questo tipo di rivelatore NON è in grado di fornire un dettaglio di immagine, a meno che non si esegua una scansione del campo osservato.**

**In realtà sono ormai diffusi solo rivelatori ad immagine, costituiti da un grande numero di pixel.**

**Per questi rivelatori è necessario definire alcune caratteristiche aggiuntive.**

# Ad ogni telescopio... il suo rivelatore ottimale !

È necessario considerare le caratteristiche del telescopio:

Apertura	$A$	→	luminosità
Scala al piano focale	$s$	→	rapporto angolo in cielo / dimensioni sul piano focale (arcsec / mm)
Campo di vista corretto	$FOV_{TEL}$	→	dimensioni angolari del campo coperto senza apprezzabili aberrazioni ottiche

$A \rightarrow N_{\gamma}, T_{exp}$  → linearità, saturazione

$s * p$  → risoluzione angolare (arcsec / pixel)

$s * p * N_{pix} = FOV$  → campo di vista del rivelatore  
(e deve essere  $FOV < FOV_{TEL}$ )





Filtro  
rosso



Filtro  
verde

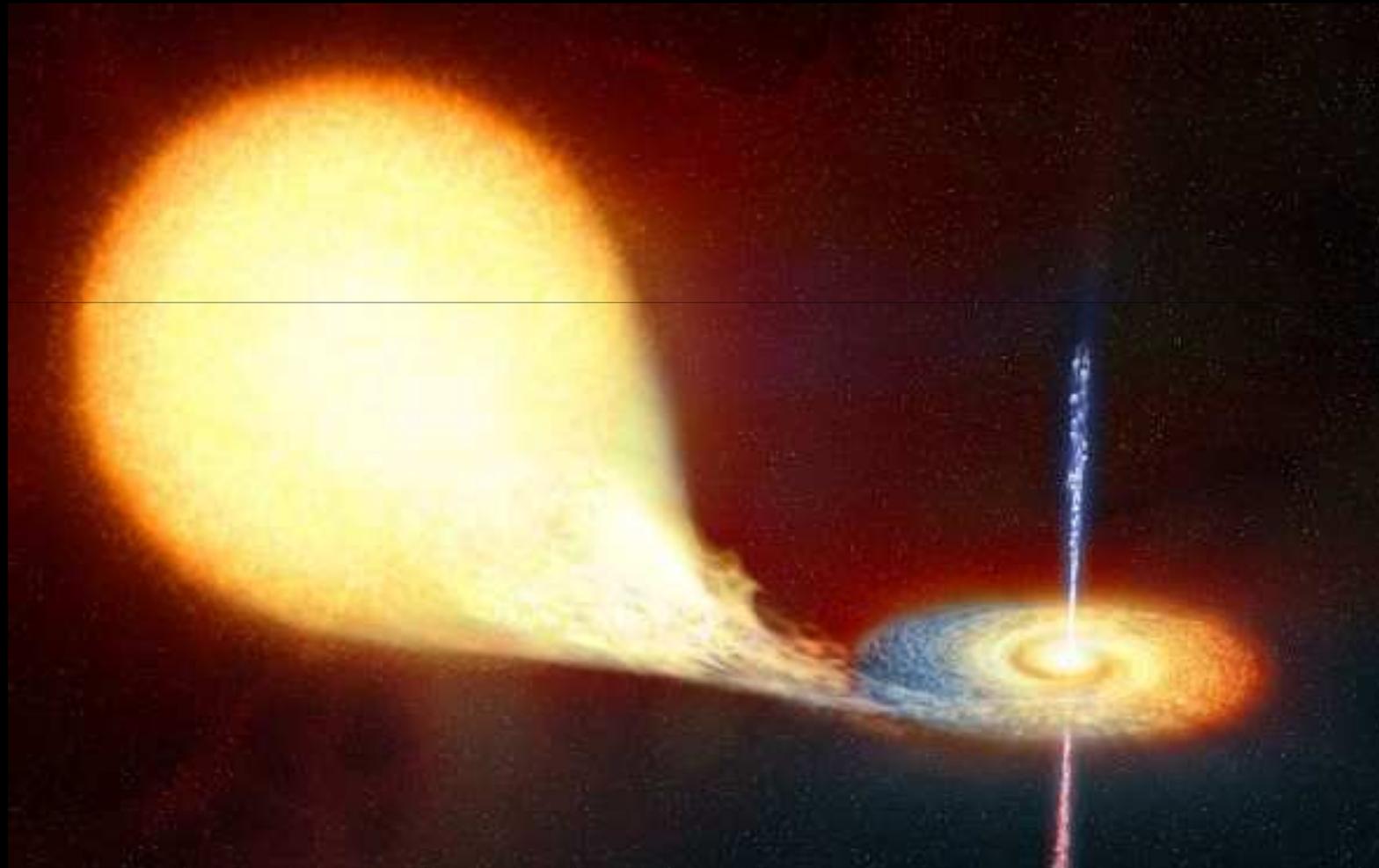


Filtro  
blu



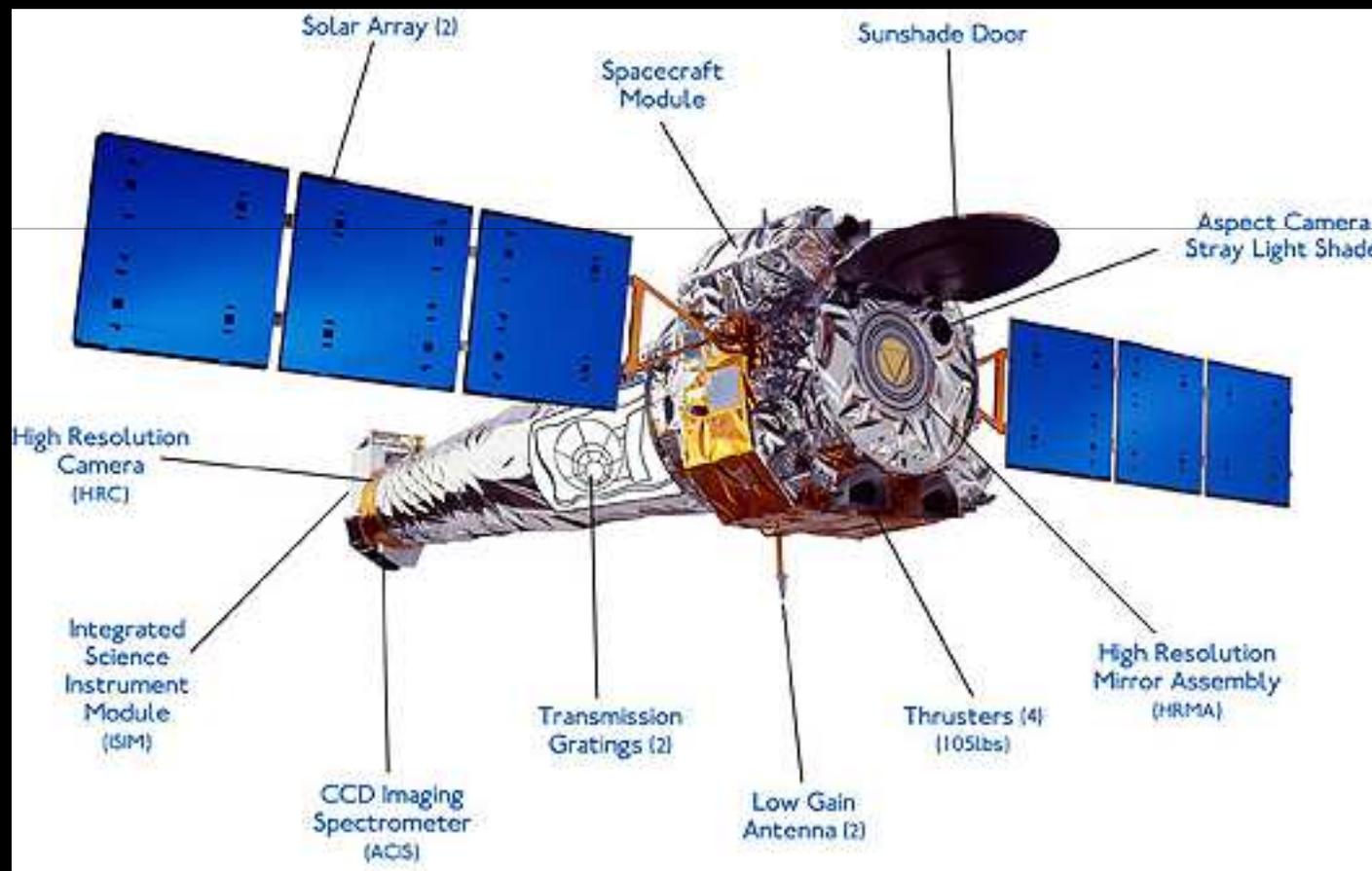
# Astronomia gamma e X

Fenomeni estremamente energetici: altissime temperature e fenomeni non-termici (radiazione di scinrotrone, bremsstrahlung, etc.)



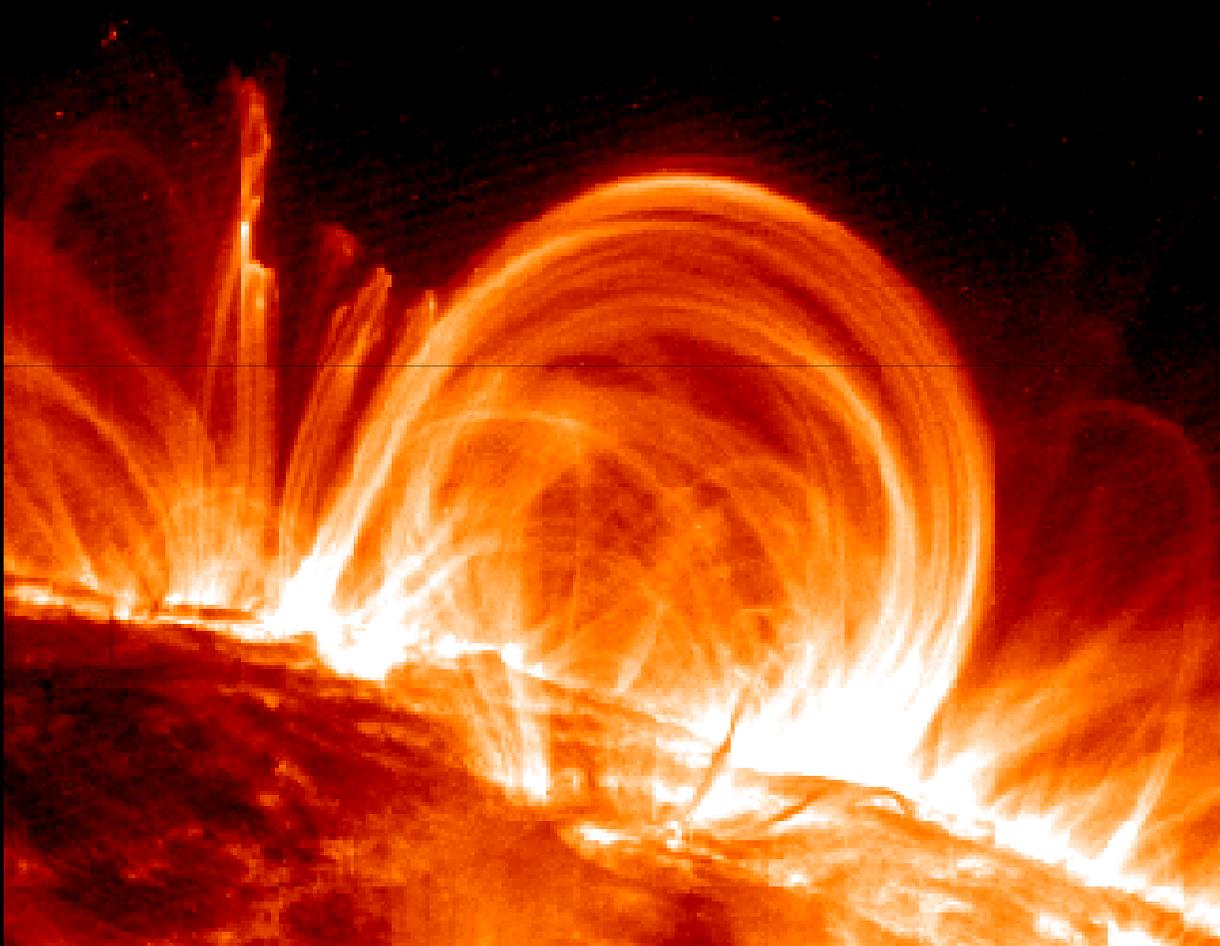
# CHANDRA

## X-ray Space Observatory



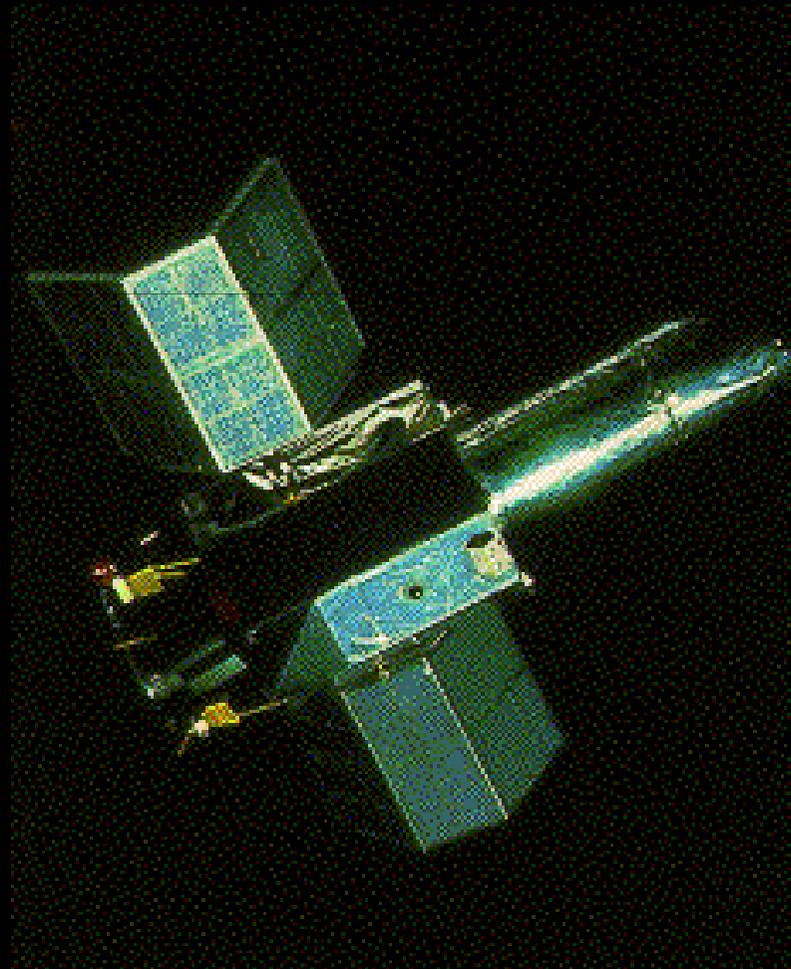
# Astronomia UV

Alte temperature (  $T > 10000 \text{ K}$  )

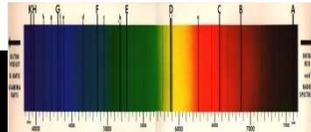
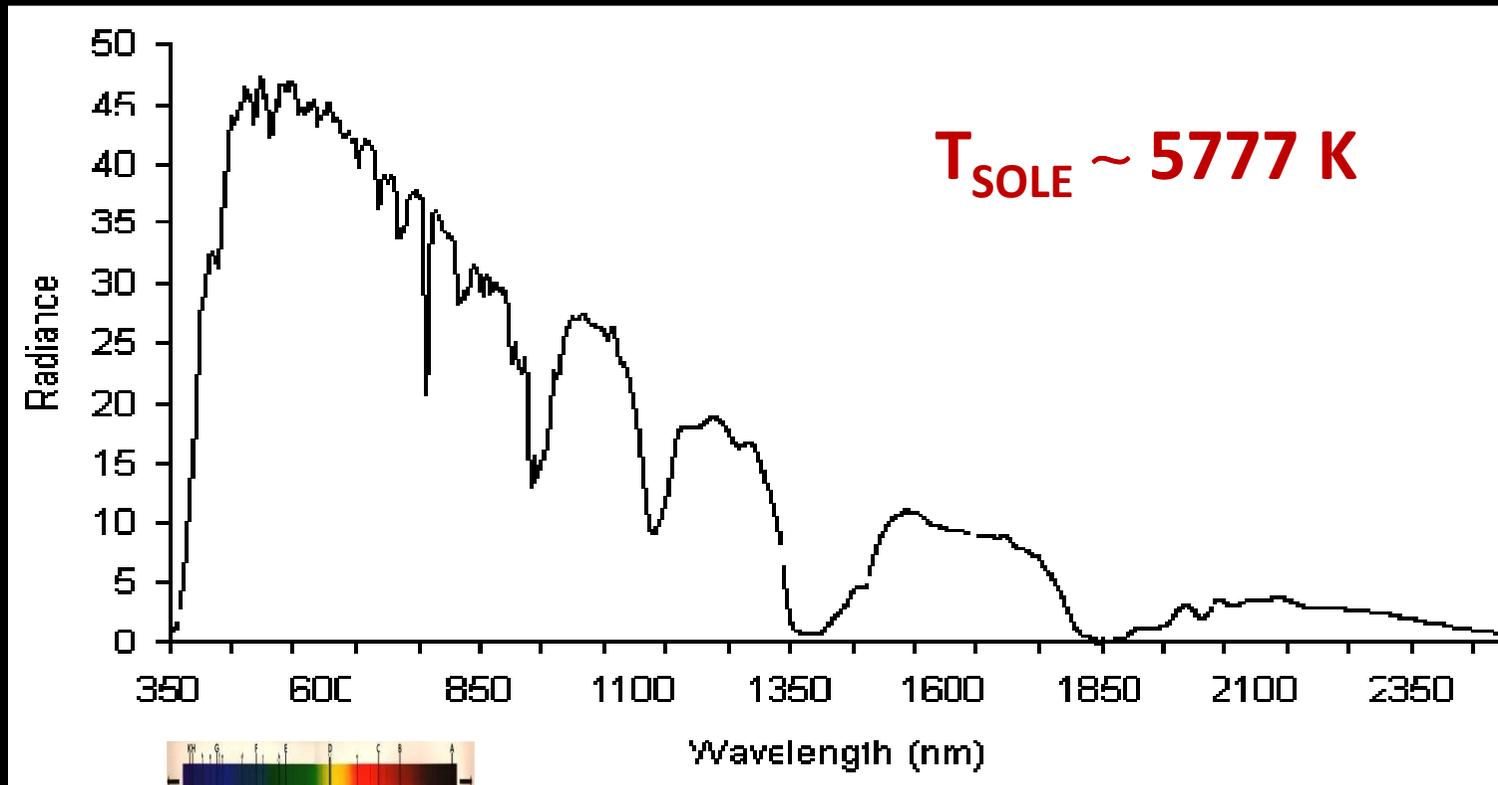


***IUE***

***International Ultraviolet Explorer***



# Perché il visibile ?



# Astronomia Infrarossa

## 1) oggetti "freddi"

**Legge di Wien:**  $\lambda_{\text{picco}} (\mu\text{m}) = \frac{2897}{T (\text{K})}$

$T = 6000 \text{ K (Sole)}$

$\lambda_{\text{picco}} \sim 0,5 \mu\text{m}$

$T = 3000 \text{ K (M-star)}$

$\lambda_{\text{picco}} \sim 1 \mu\text{m}$

$T = 300 \text{ K (Terra)}$

$\lambda_{\text{picco}} \sim 10 \mu\text{m}$

$T = 150 \text{ K (protostelle)}$

$\lambda_{\text{picco}} \sim 20 \mu\text{m}$

$T = 10 \text{ K (nubi interstellari)}$

$\lambda_{\text{picco}} \sim 300 \mu\text{m}$

$T = 3 \text{ K (fondo cosmico)}$

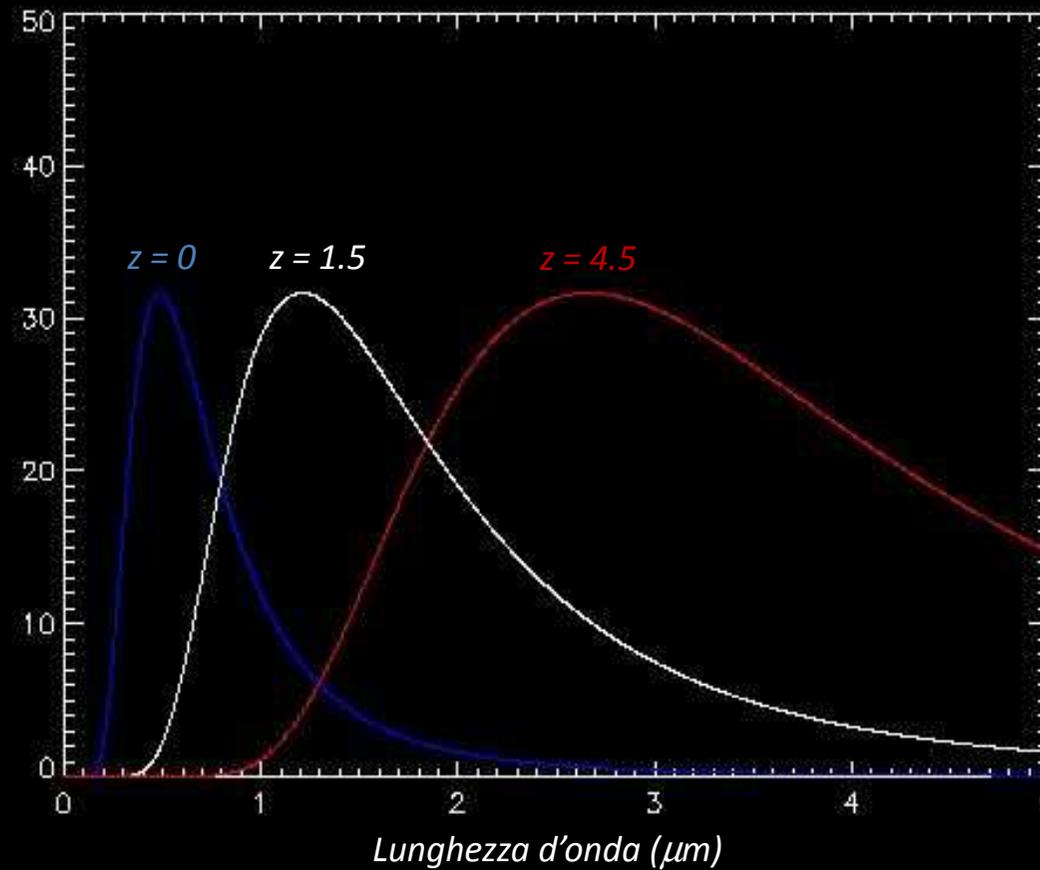
$\lambda_{\text{picco}} \sim 1 \text{ mm}$

# Astronomia Infrarossa

## 2) Espansione dell'Universo

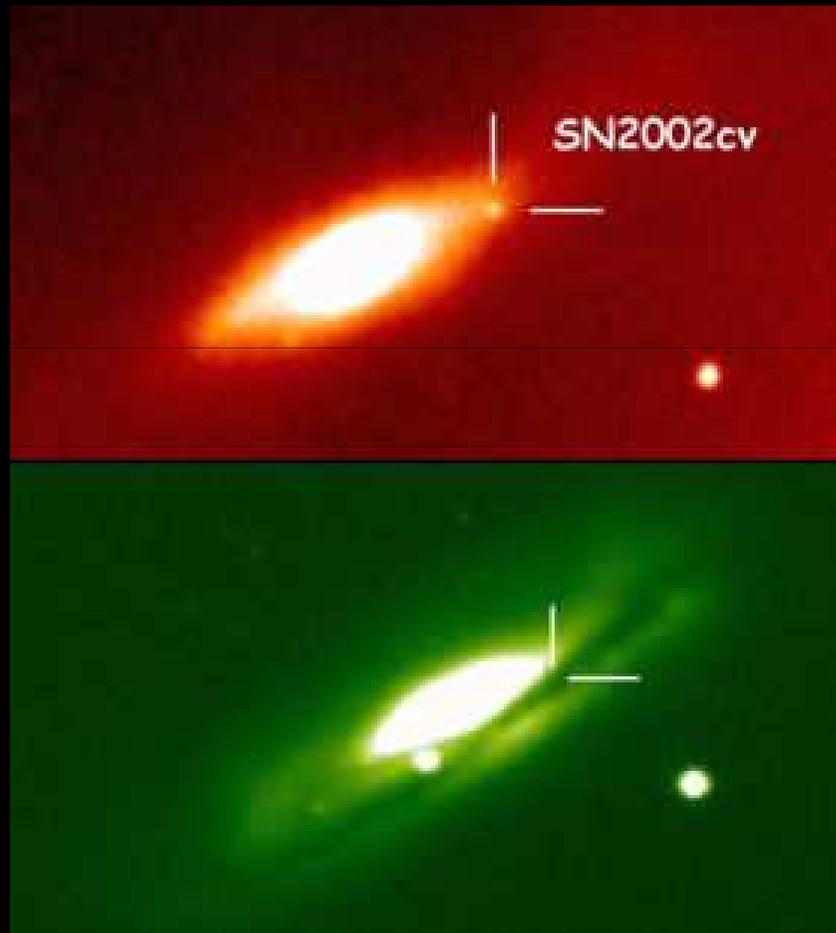
**Redshift:**

$$\lambda_{\text{oss}} = \lambda_{\text{em}} (1 + z)$$



# Astronomia Infrarossa

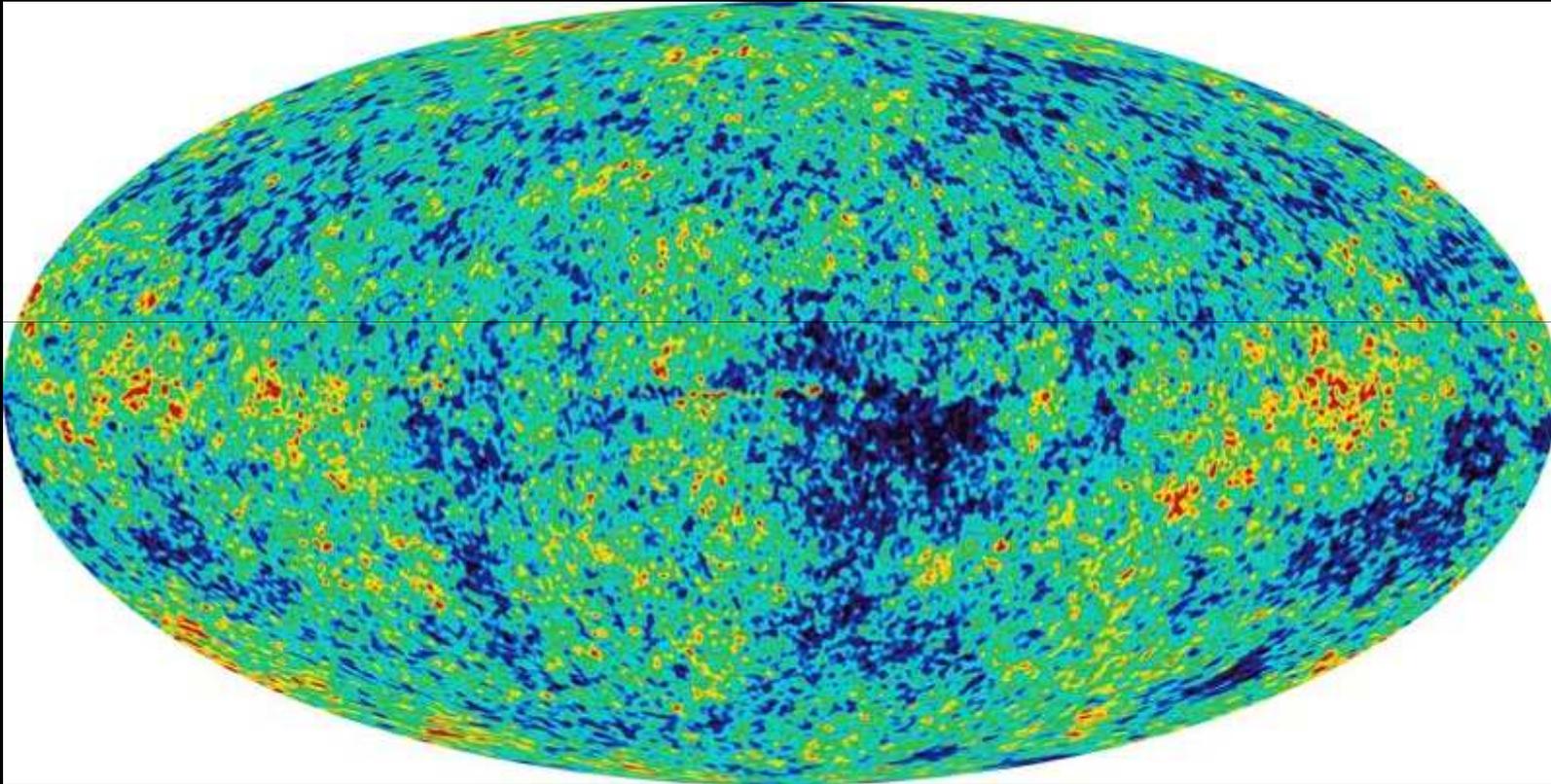
## 3) Trasparenza delle polveri oscure

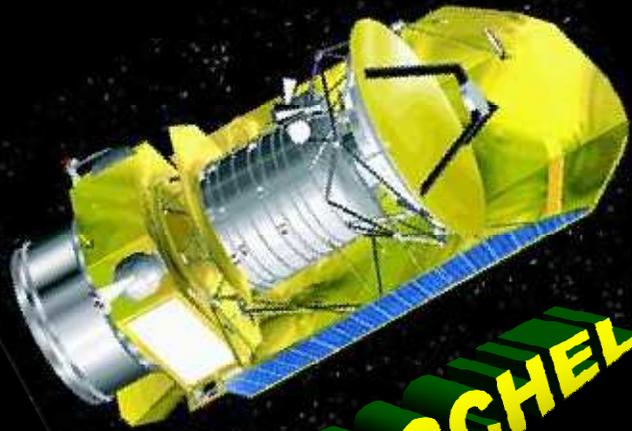


2.2  $\mu\text{m}$

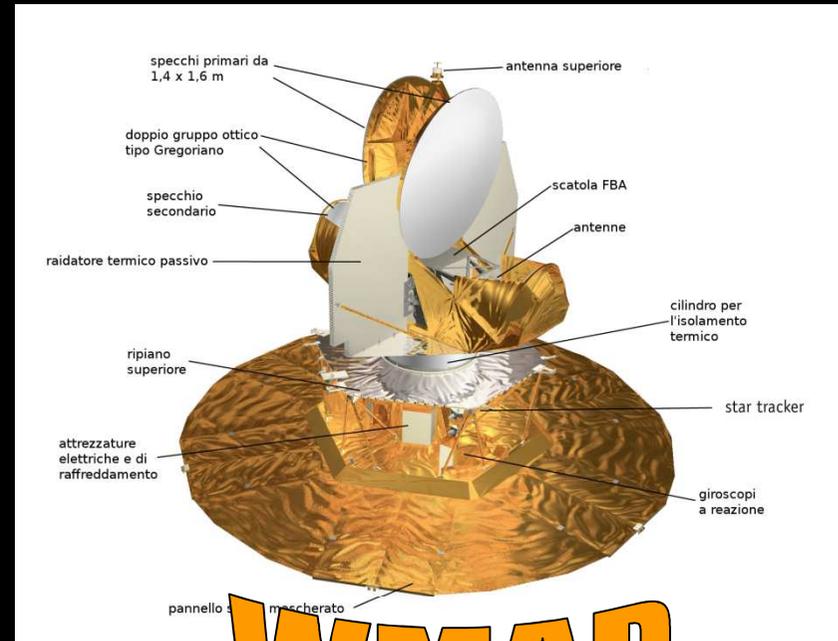
0.5  $\mu\text{m}$

Dal submillimetrico alla radioastronomia  
stelle nascenti, l'Universo primordiale ... e ricerca di altre civiltà !





**HERSCHEL**



**WMAP**



**PLANCK**

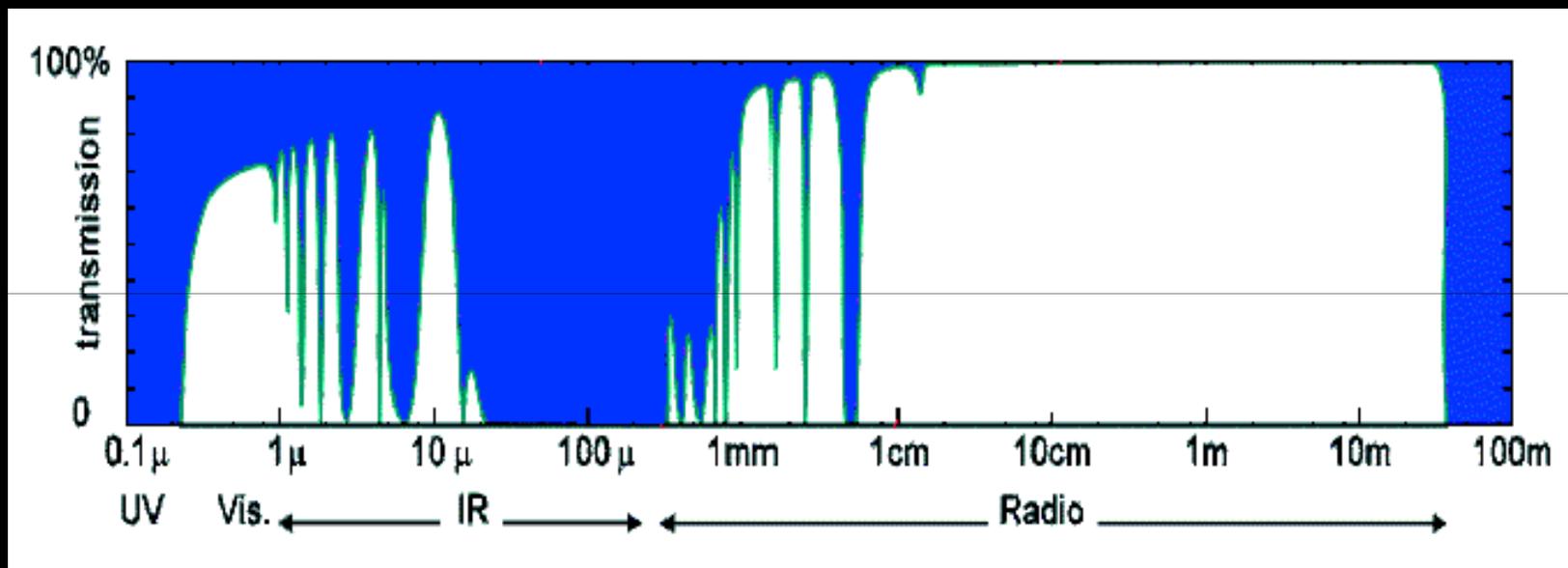
# ALMA



**SRT**



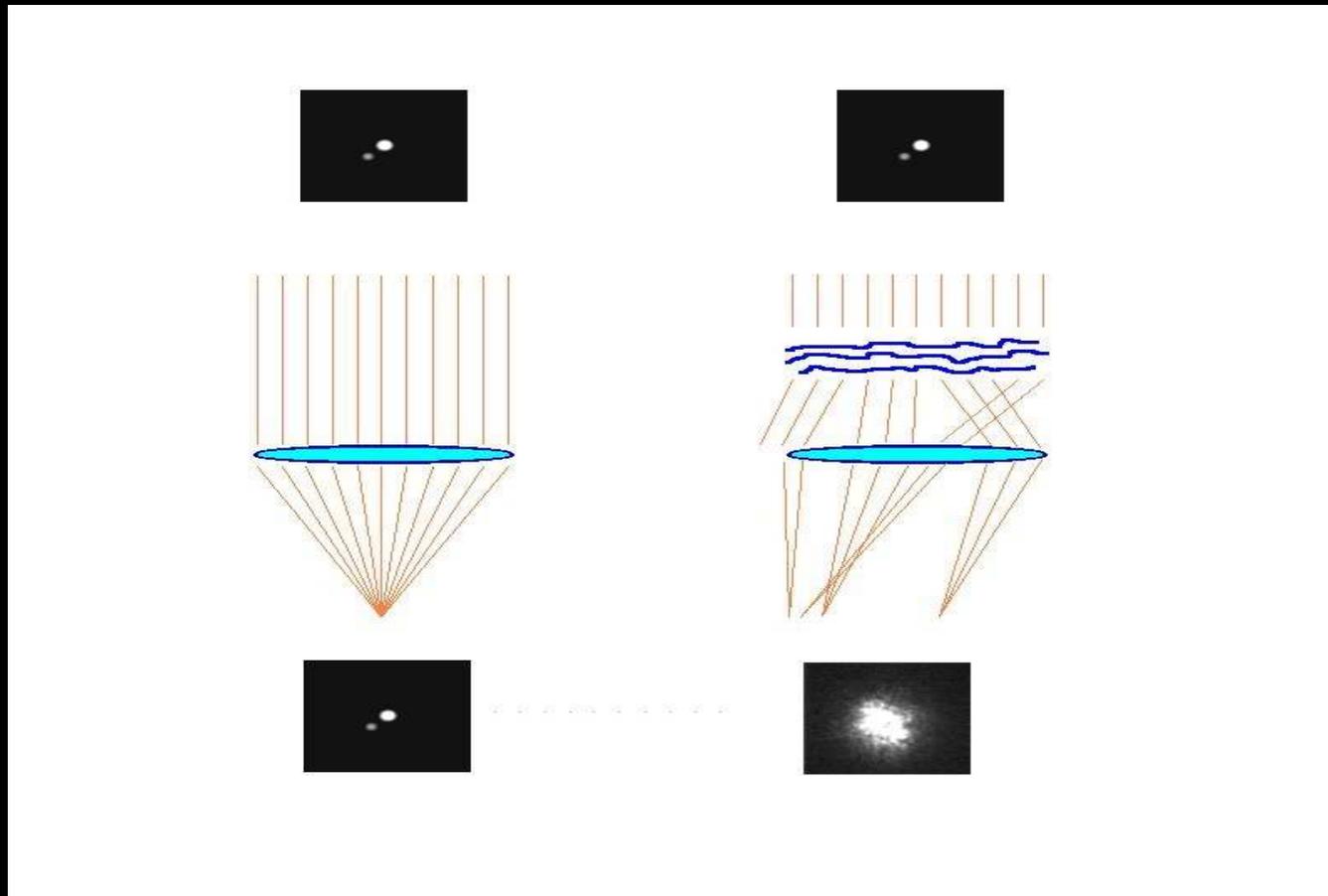
# Il problema dell'atmosfera "opaca"



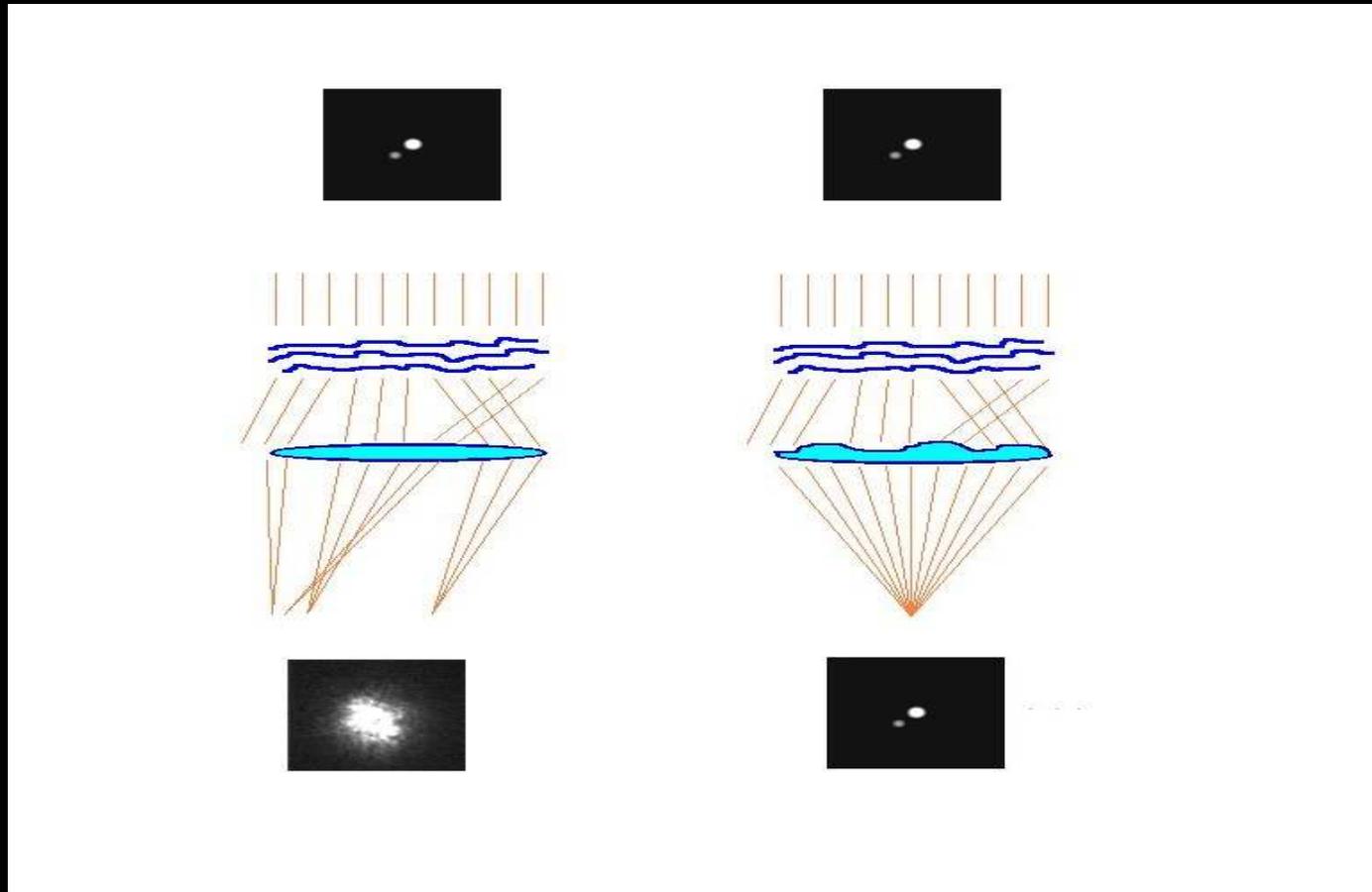
**ANTARTIDE !**



# Tecniche per accrescere la risoluzione spaziale: l'ottica adattiva

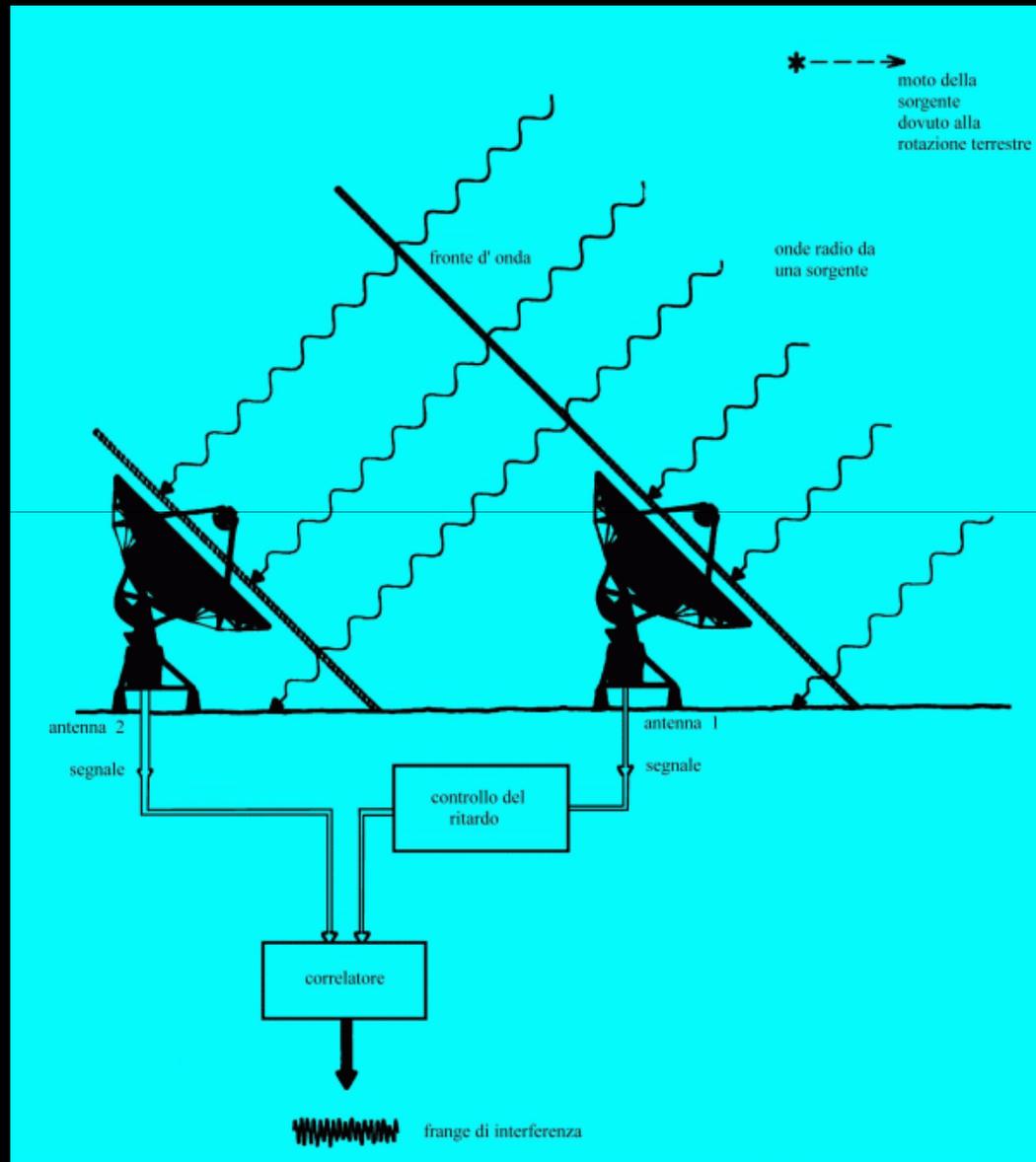


## Tecniche per accrescere la risoluzione spaziale: l'ottica adattiva

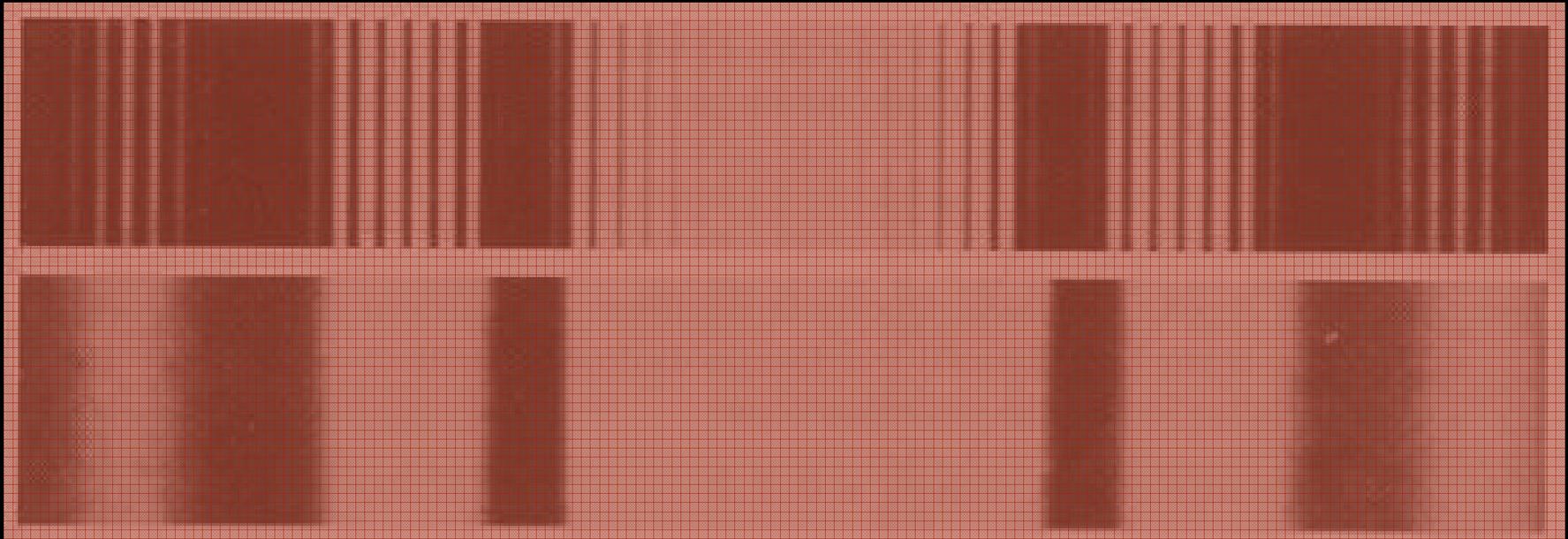


I telescopio riescono a lavorare al limite di diffrazione. Ovviamente in questo caso le aberrazioni residue DEVONO PER FORZA stare al di sotto di tale limite !

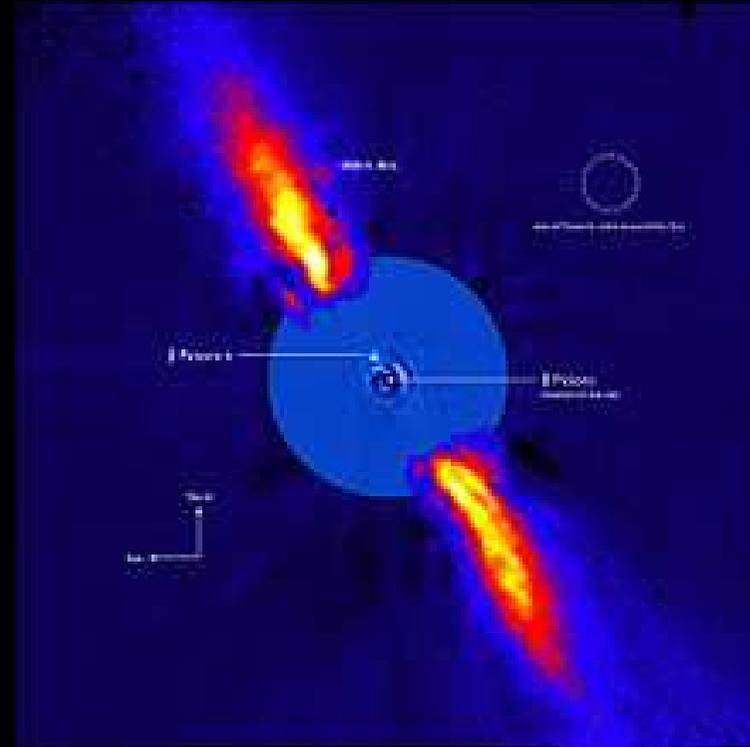
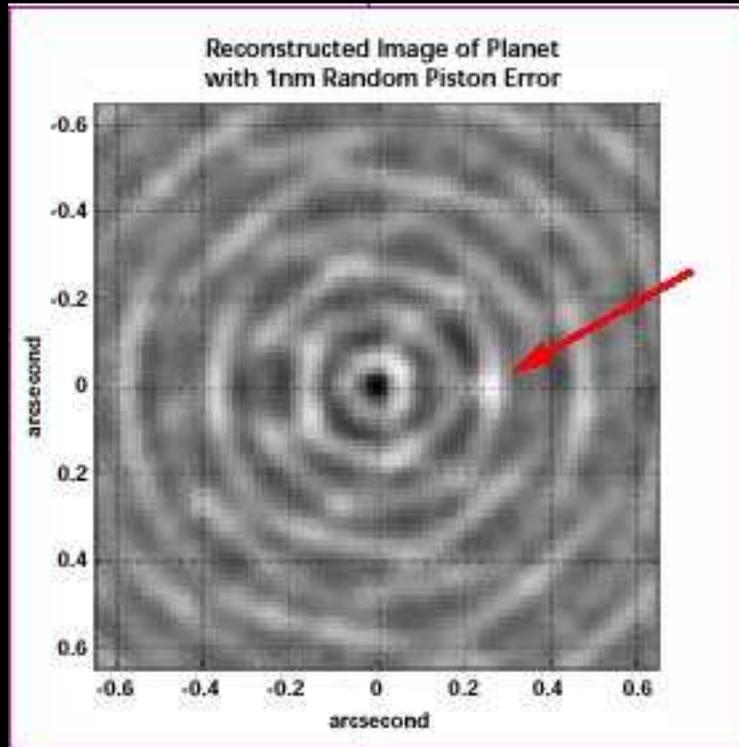
# Tecniche per accrescere la risoluzione spaziale: l'interferometria



## Tecniche per accrescere la risoluzione spaziale: l'interferometria



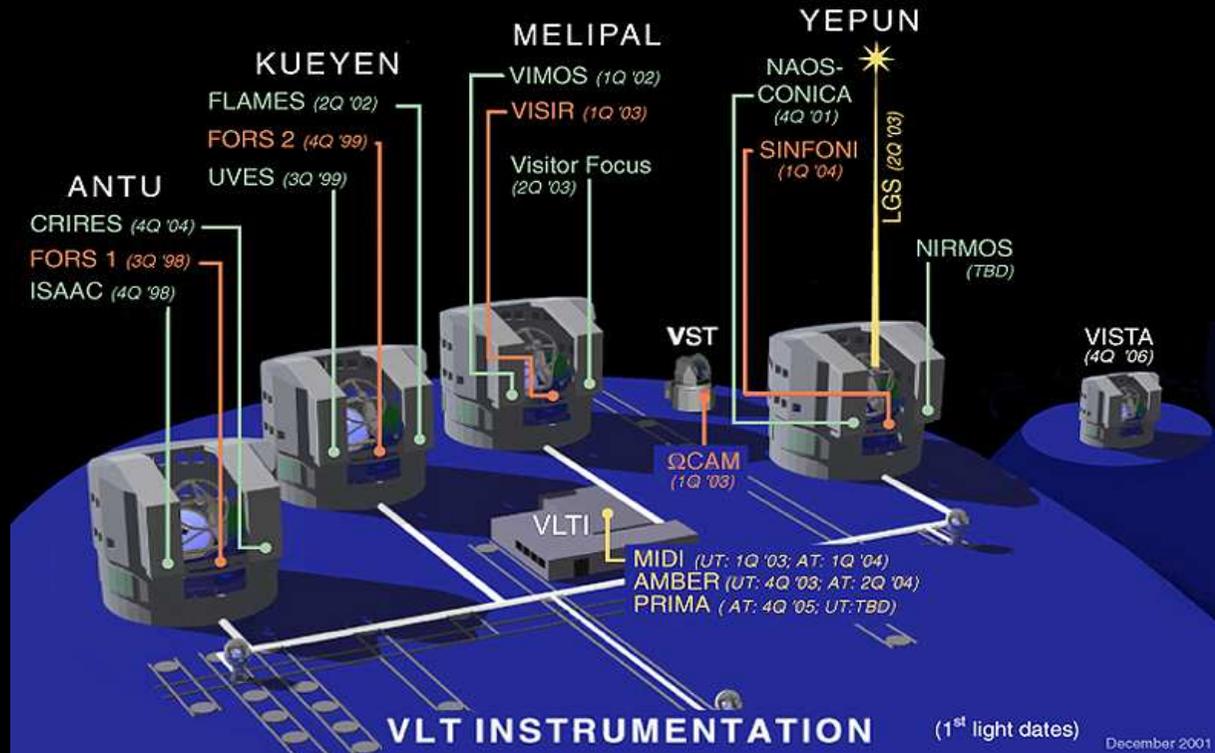
# Nulling interferometry: una coronografia senza diaframma reale



## Tecniche per accrescere la risoluzione spaziale: l'interferometria



# VLT



# *Uno degli specchi primari del VLT...*

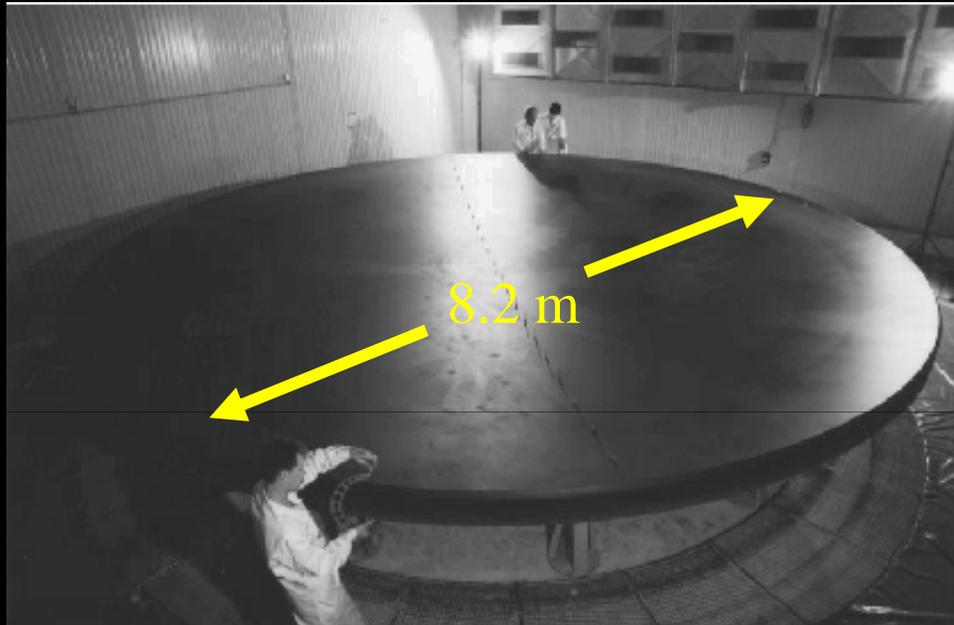


Figure 2 - VLT Primary mirror blank in production (courtesy SCHOTT)



Figure 6. Mirror grinding.

*VLT*



"Walking on the Moon" with the VLT  
(VLT YEPUN + NACO)

ESO PR Photo 159/02 (9 August 2002)

© European Southern Observatory



*VLT*



The Horsehead Nebula (detail)  
(VLT KUEYEN + FORS 2)

ESO PR Photo 02h/02 (25 January 2002)

© European Southern Observatory



# HUBBLE SPACE TELESCOPE



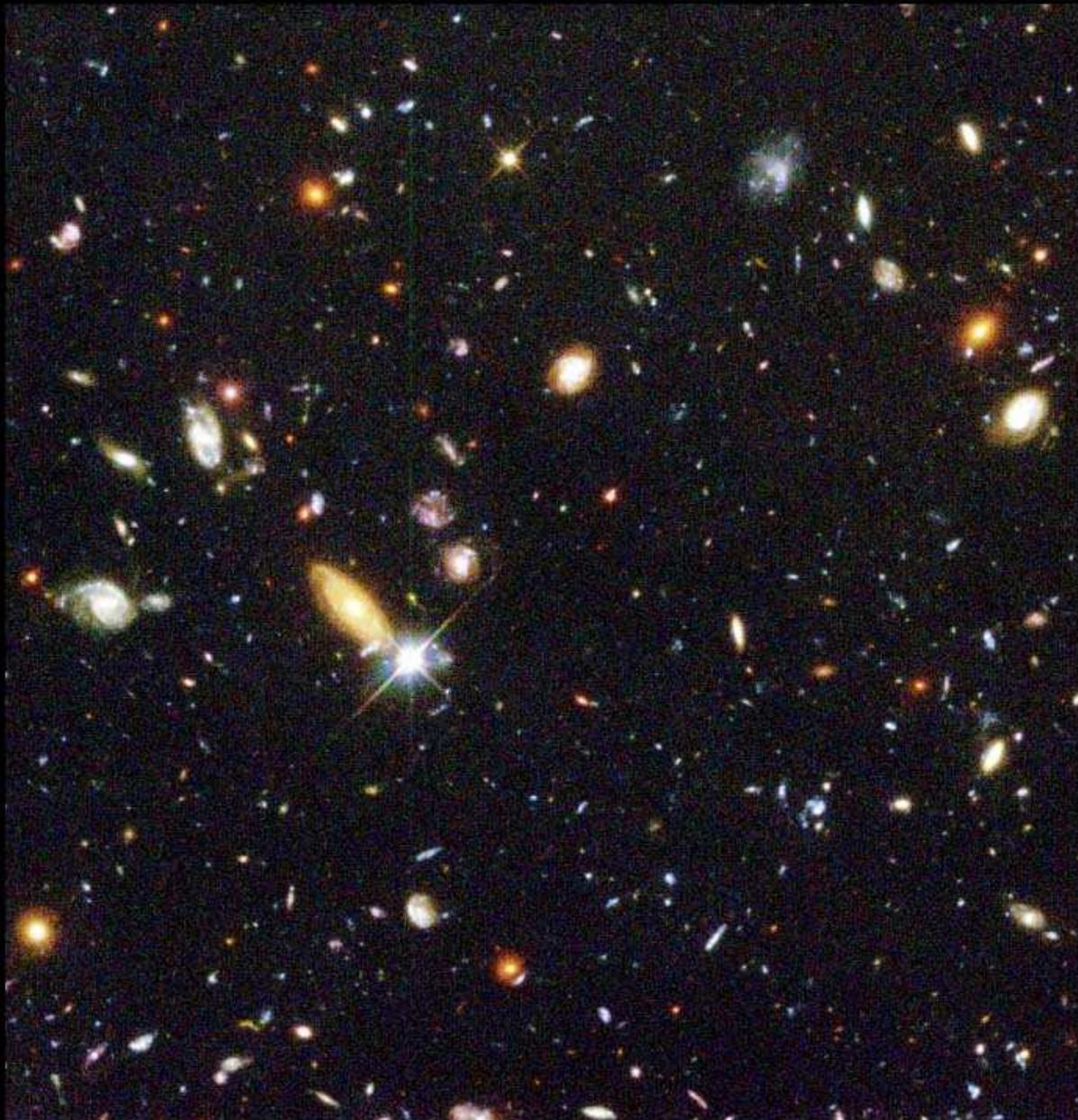
*H S T*





*HST*

*H S T*



**Hubble Deep Field**

**HST · WFPC2**

PRC96-01a · ST Scl OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST Scl), NASA