

MAORY e l'Extremely Large Telescope Oltre i limiti



Paolo Saracco
INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

Brera - 28 Novembre 2018



Outline

- Lo European Southern Observatory (ESO) e l'Extremely Large Telescope (ELT)
- ELT il piu' grande telescopio al mondo: caratteristiche.
 - Potere risolutivo di un sistema ottico
 - Osservazioni da terra e dallo spazio: effetti dell'atmosfera.
- Le Ottiche Adattive (AO) e MAORY
- MAORY+ELT: la frontiera dell'astronomia.

l'Extremely Large Telescope

Il piu' grande telescopio al
mondo

European Southern Observatory

Brera - 28 Novembre 2018



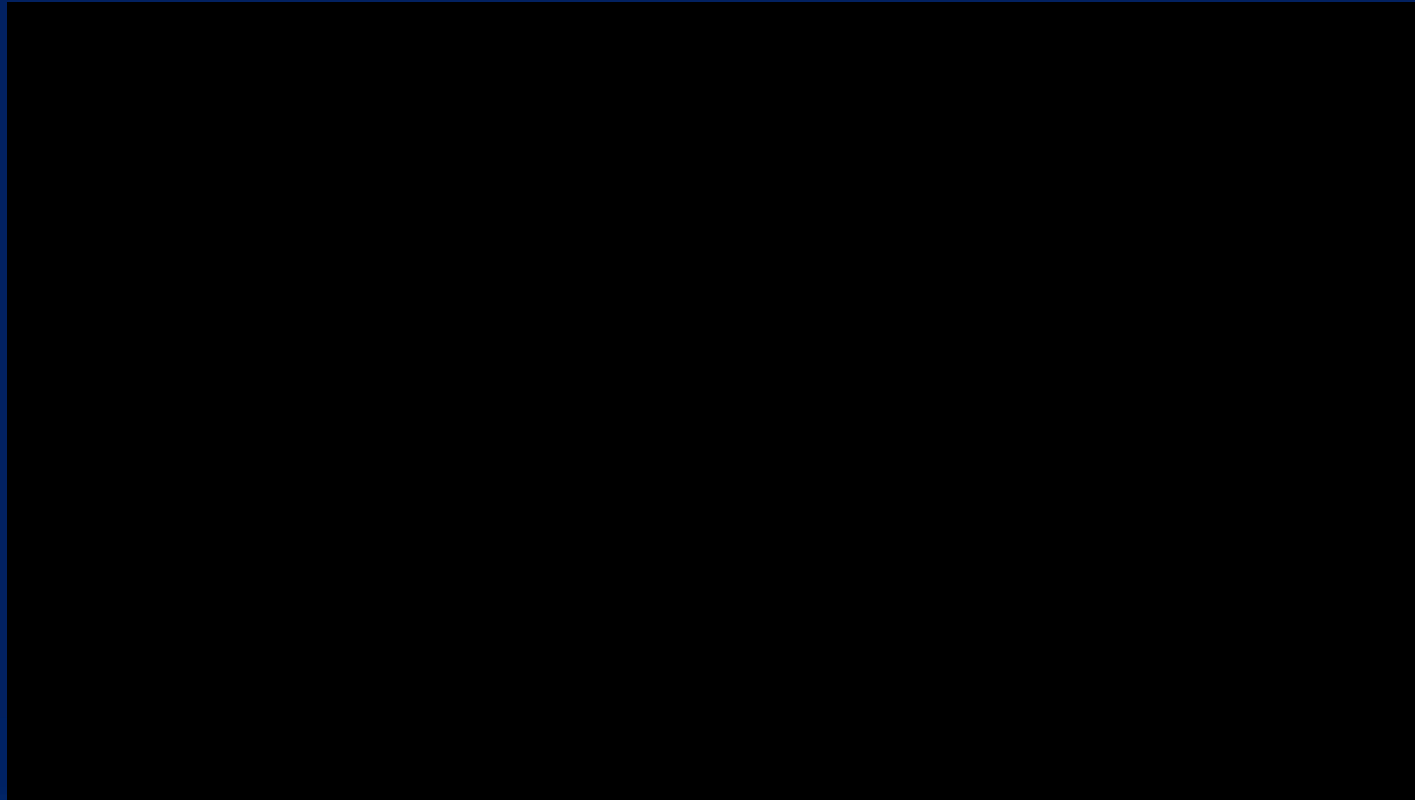


European Southern Observatory

www.eso.org



ESO e' una organizzazione intergovernativa costituita da 16 stati membri oltre allo stato ospitante, il Cile.





European Southern Observatory



I 16 stati membri
ed
il loro contributo.

Member States

The European Southern Observatory (ESO) is an intergovernmental organisation with 16 Member States*. These Member States are:

	Country	Formally joined	Member number	2017 Scale all MS = 100 (%) *	Total 2017 MS Contributions in kEUR	More info	ESON mini-site	Local Time
	Austria	2009	14	2.35	3,818	ESO & Austria	Austria	check local time
	Belgium	1967	Founding member	3.01	4,890	ESO & Belgium	Belgium	check local time
	Czech Republic	2007	13	1.02	1,657	ESO & Czech Republic	Czech Republic	check local time
	Denmark	1967	6	1.93	3,136	ESO & Denmark	Denmark	check local time
	Finland	2004	11	1.46	2,371	ESO & Finland	Finland	check local time
	France	1964	Founding member	15.56	25,277	ESO & France	France	check local time
	Germany	1964	Founding member	22.20	36,063	ESO & Germany	Germany	check local time
	Ireland	2018	16			ESO & Ireland	Ireland	check local time
	Italy	1982	8	11.56	18,778	ESO & Italy	Italy	check local time
	Netherlands	1964	Founding member	5.18	8,414	ESO & Netherlands	Netherlands	check local time
	Poland	2015	15	3.06	4,971	ESO & Poland	Poland	check local time
	Portugal	2001	9	1.21	1,965	ESO & Portugal	Portugal	check local time
	Spain	2007	12	7.84	12,736	ESO & Spain	Spain	check local time
	Sweden	1964	Founding member	2.97	4,825	ESO & Sweden	Sweden	check local time
	Switzerland	1982	7	4.25	6,904	ESO & Switzerland	Switzerland	check local time
	United Kingdom	2002	10	16.40	26,640	ESO & UK	UK	check local time
					Total 162,445			

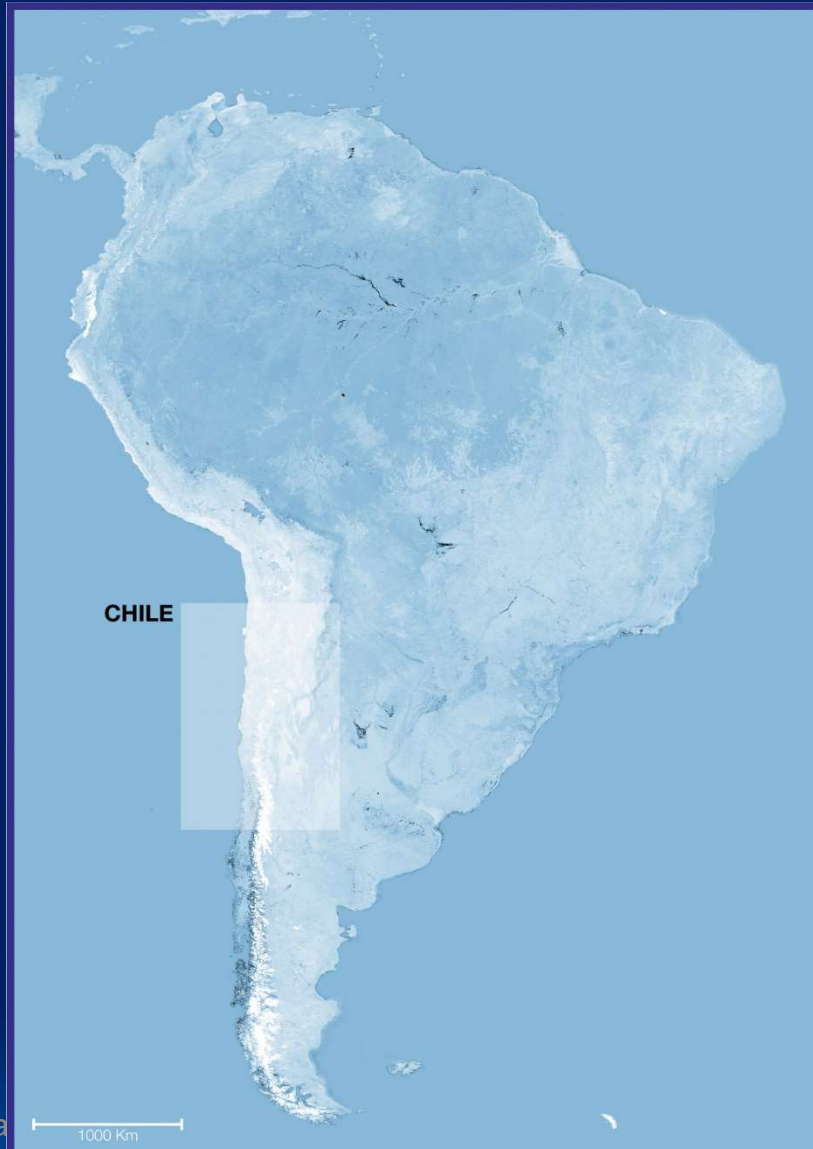
*Australia is a Strategic Partner. Brazil has signed the accession agreement, but not yet ratified it.

Brera - 28 Novembre 2018

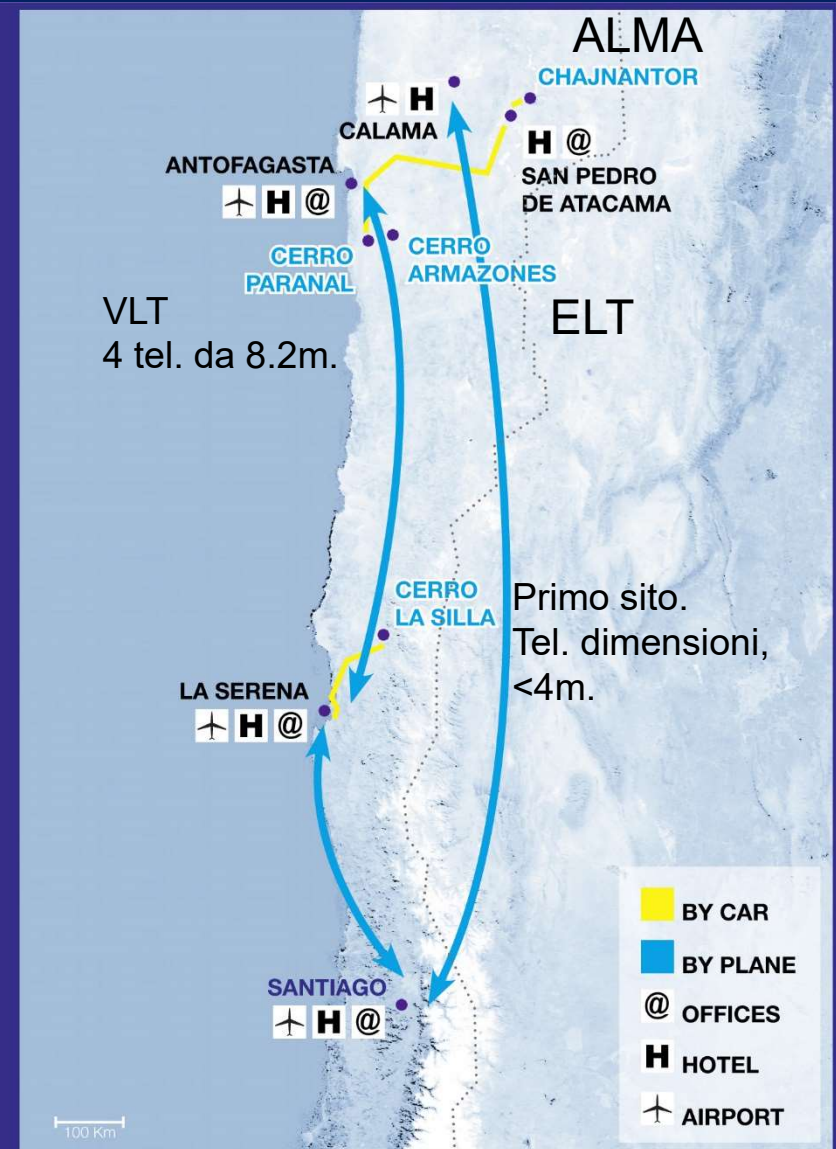


European Southern Observatory

I siti osservativi.



Brera



Extremely Large Telescope (ELT)



Il più grande telescopio al mondo

Dove
Cerro Amazones
(3000m), Chile

Quando
Prima luce 2024

Specchio primario
Diametro=39m



Attualmente i telescopi piu' grandi hanno uno specchio con $D=10\text{m}$

Extremely Large Telescope (ELT)



Diametro dello specchio $D=39\text{ m} \rightarrow \text{Area} \approx 1200\text{ m}^2$

Quanto sarà effettivamente grande ?

Quadrilocale



$\approx 120\text{ m}^2$

Extremely Large Telescope (ELT)



Diametro dello specchio $D=39\text{ m} \rightarrow \text{Area} \approx 1200\text{ m}^2$
Quanto sarà effettivamente grande ?

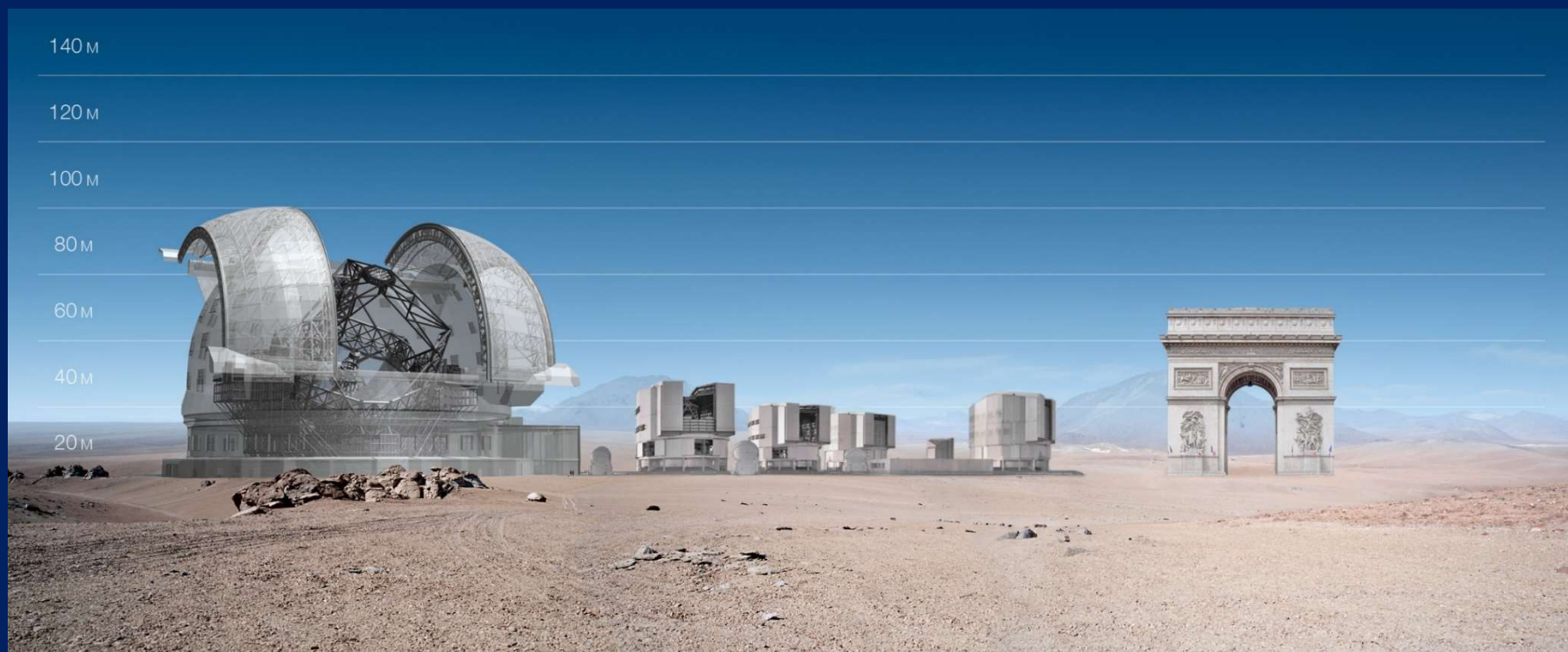


Pari a 10 appartamenti da 120 m^2

Extremely Large Telescope (ELT)



Il più grande telescopio al mondo

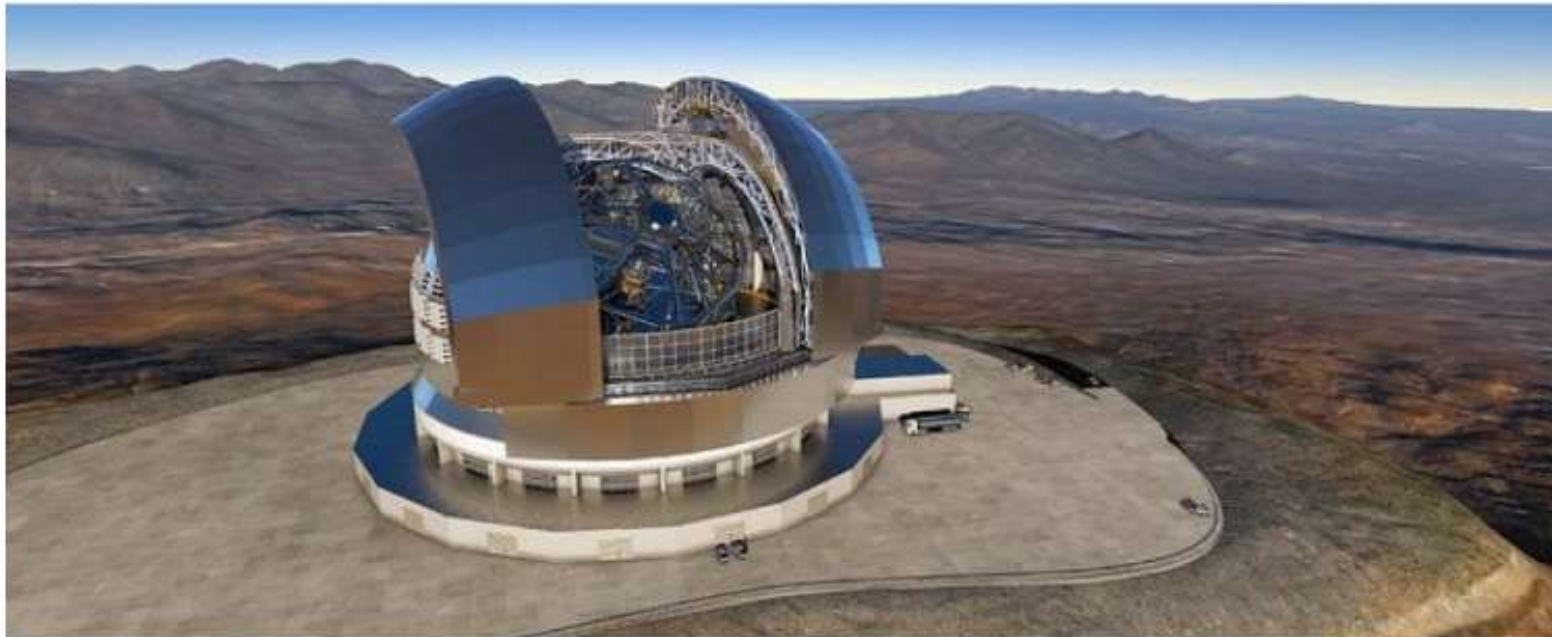


Extremely Large Telescope (ELT)



Scienze

Super telescopio E-elt, per l'Italia una commessa 400 milioni



Firmato oggi il contratto con un consorzio di aziende italiane per la costruzione della struttura e della cupola dello strumento. Un accordo da record per un dispositivo senza precedenti. Giannini: "Riconoscimento a nostre eccellenze industria e scienza"

di MASSIMILIANO RAZZANO

Extremely Large Telescope (ELT)

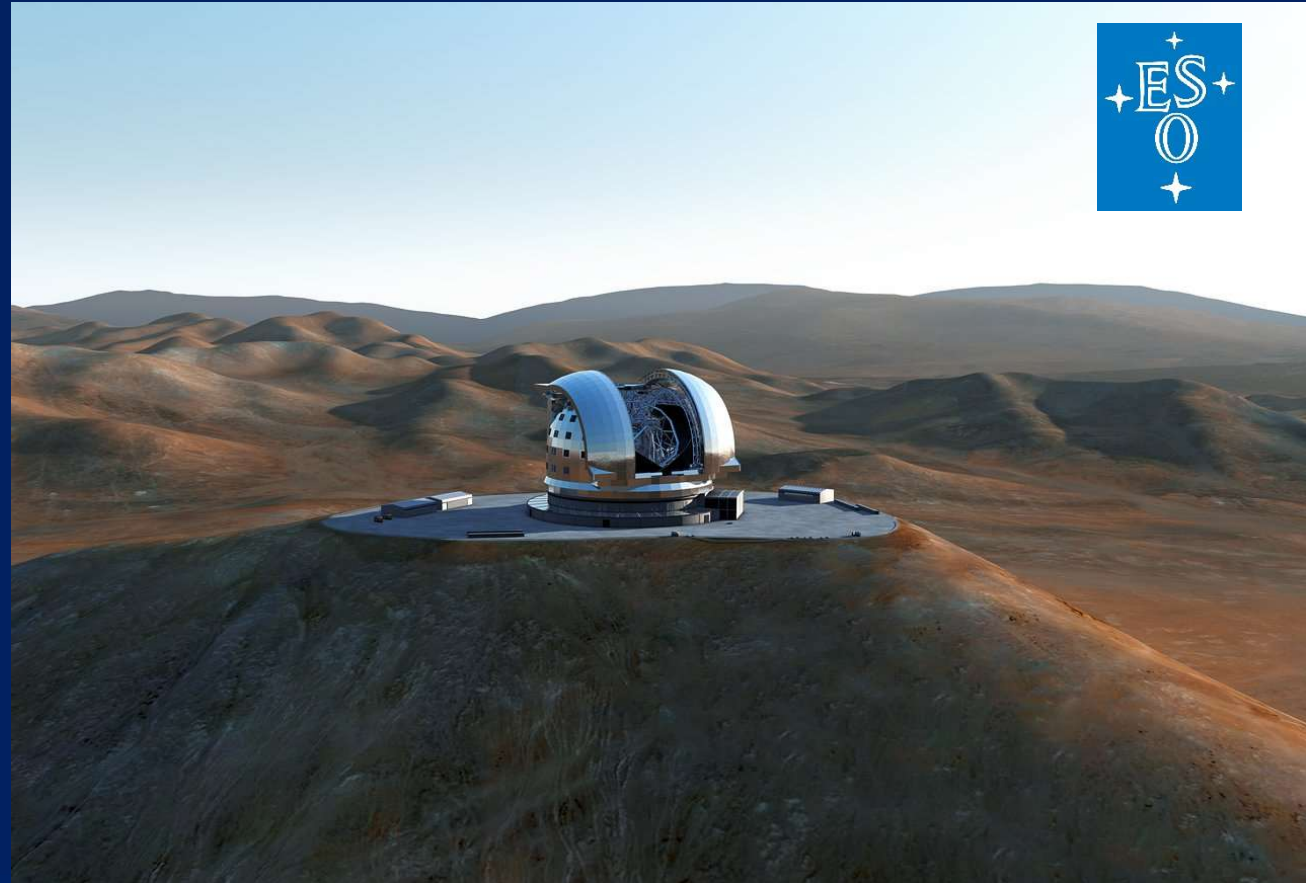
A che punto e' la sua realizzazione?



Dove
Cerro Amazones
(3000m), Chile

Quando
Prima luce 2024

Specchio primario
Diametro=39m



Extremely Large Telescope (ELT)

A che punto e' la sua realizzazione?



Dove
Cerro Amazones,
(3000m), Chile

Quando
Prima luce 2024

Specchio primario
Diametro=39m



Extremely Large Telescope (ELT)

A che punto e' la sua realizzazione?



Dove
Cerro Amazones,
(3000m), Chile

Quando
Prima luce 2024

Specchio primario
Diametro=39m

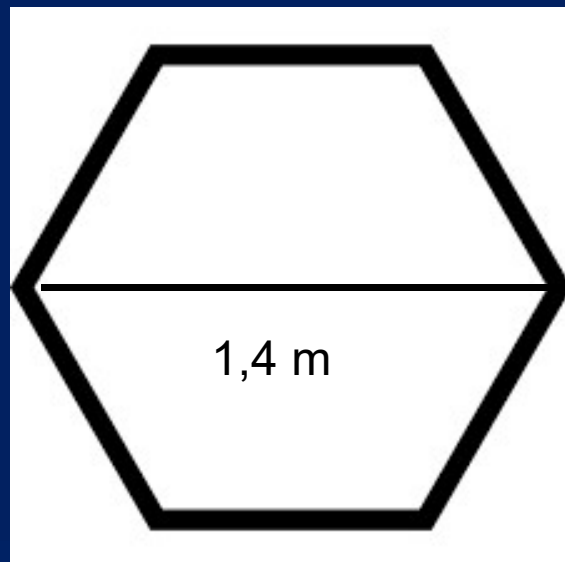


Extremely Large Telescope

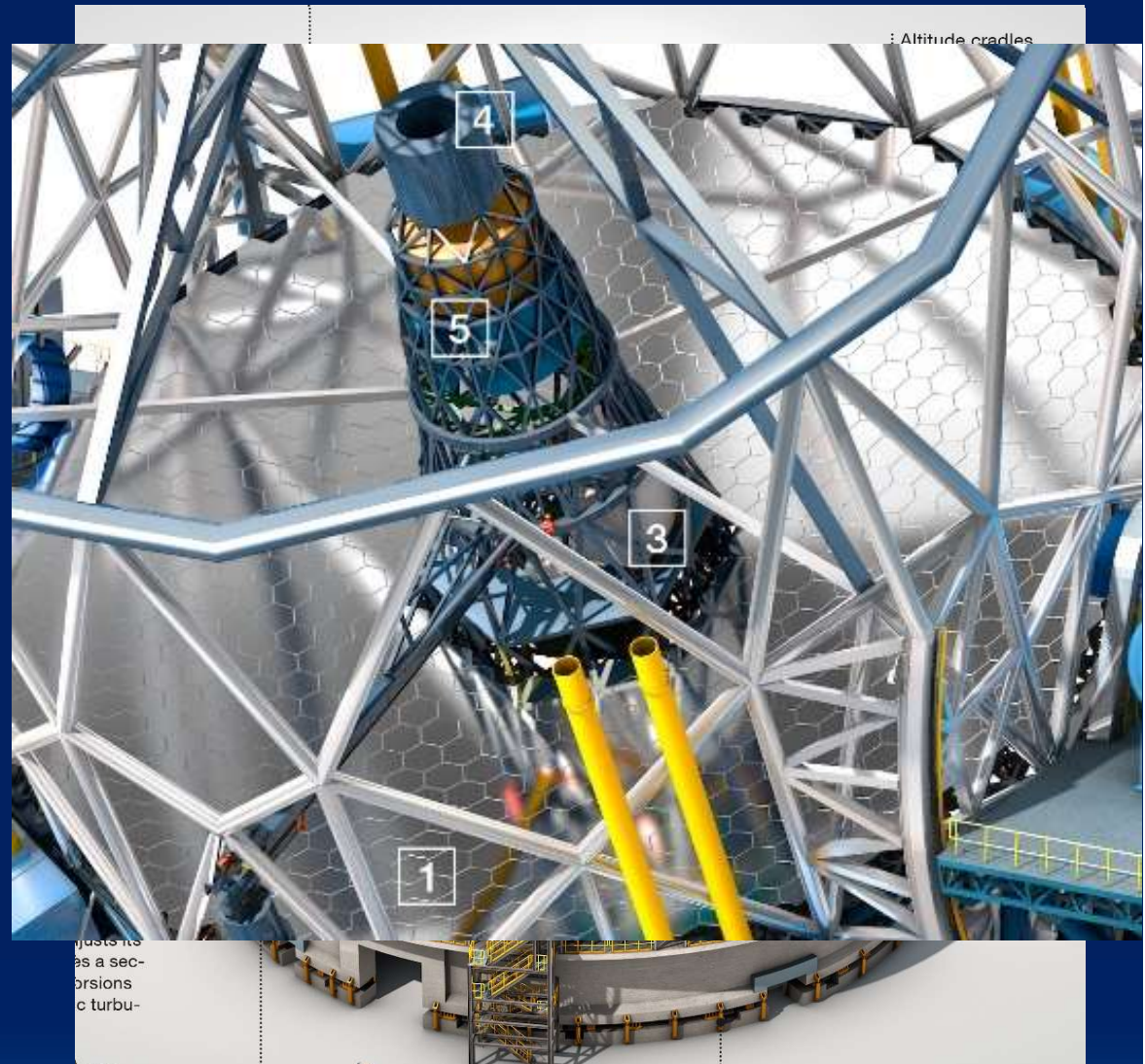


Specchio primario
Diameter=39m

Costituito da 798
elementi esagonali



5 cm di spessore

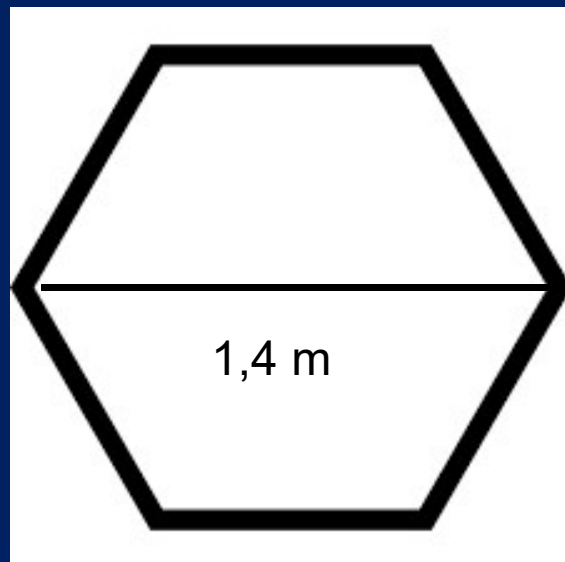


Extremely Large Telescope

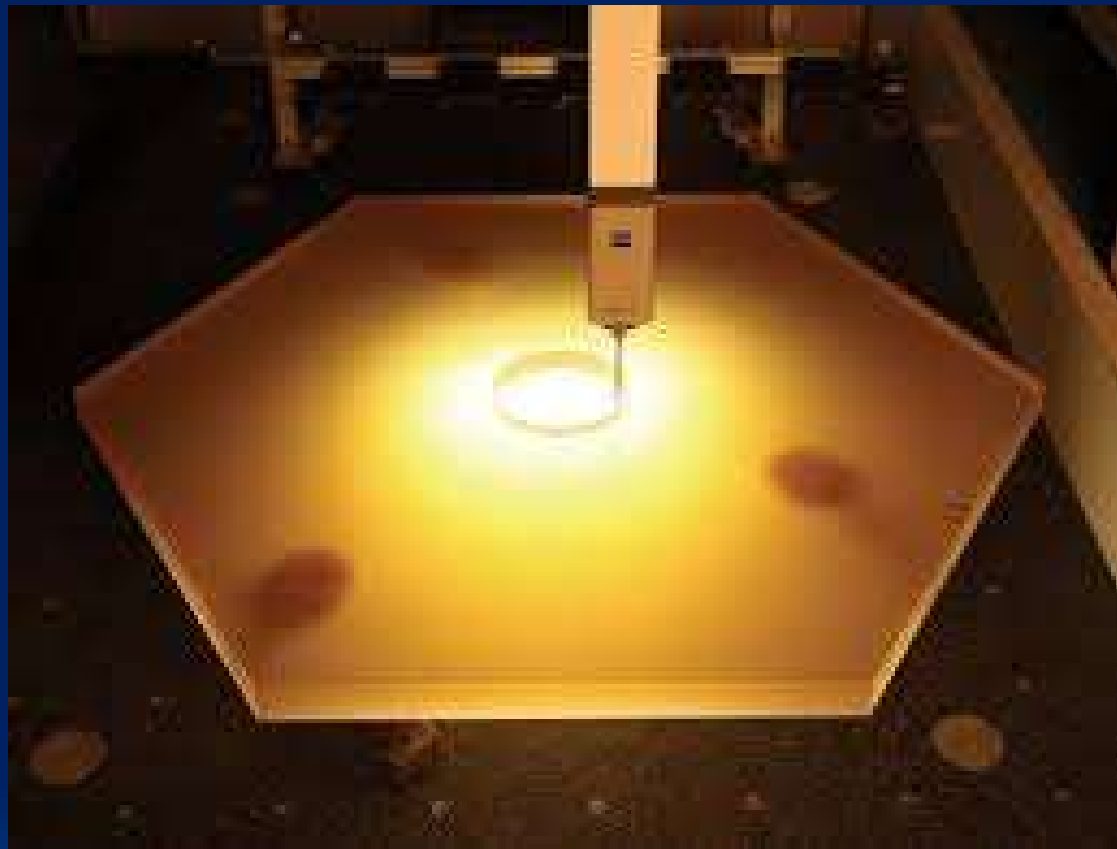


Specchio primario
Diameter=39m

Costituito da 798
elementi esagonali



Gennaio 2018, primo segmento realizzato con
successo.



Extremely Large Telescope

Il cammino ottico della luce.



5 Riflessioni

M2

M3

M4-A

M5

Light

Secondary mirror (M2)
4.2-metre diameter
Convex
Zerodur

Fourth mirror (M4)
2.4-metre diameter
Flat
Thin
Adaptive
Ceramic glass

Primary mirror (M1)
39-metre diameter
Concave
798 hexagonal segments
Active

Fifth mirror (M5)
2.7 × 2.1 metres
Flat
Fast Tip/Tilt

Tertiary mirror (M3)
3.8-metre diameter
Concave
Zerodur

MAORY

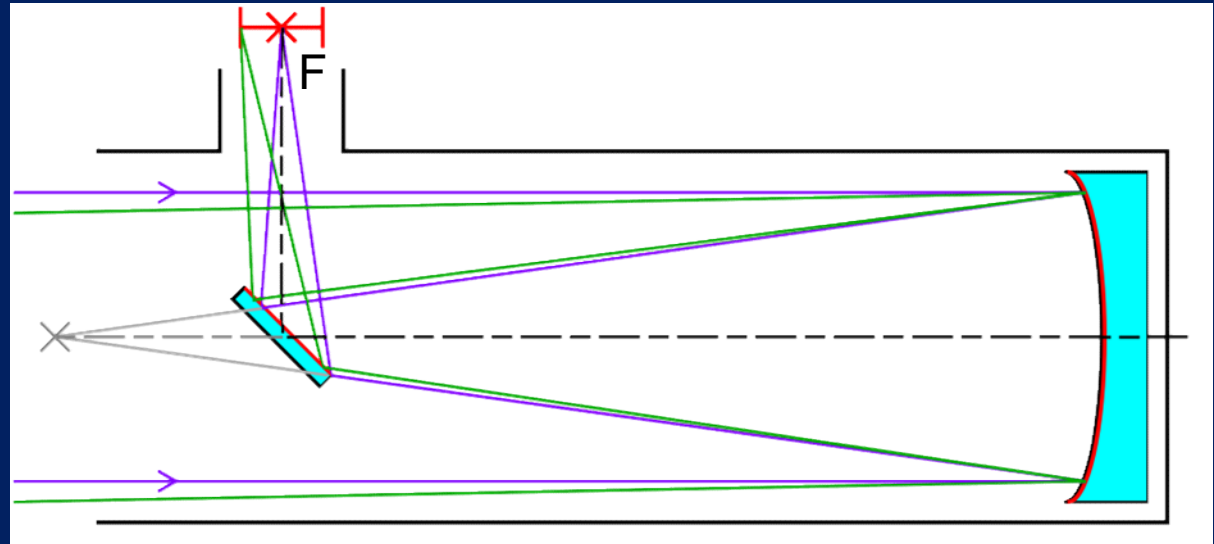
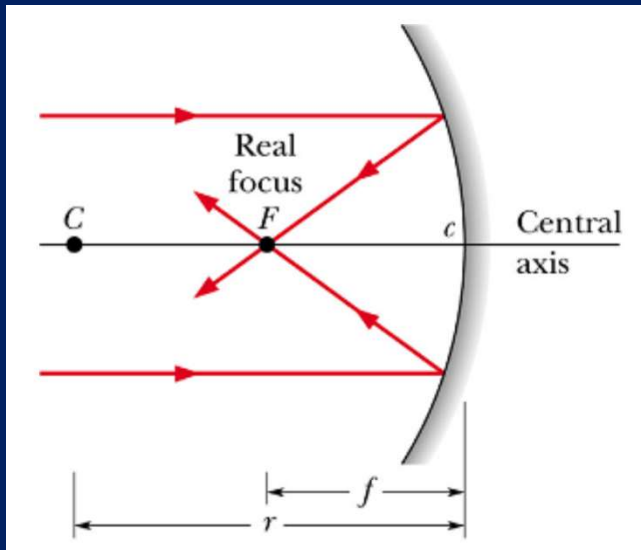
Science instrument platform

Extremely Large Telescope



Perche' 5 riflessioni?

Specchio M1 $r=39/2=19.5\text{m}$ $\rightarrow$ Lunghezza focale $f=34.5\text{ m}$



Permettono di portare il fuoco F dell'immagine nella posizione voluta.

Extremely Large Telescope



European
Southern
Observatory



[Science Users Information](#) > [Future Facilities and Development](#) > E-ELT

14 Dec 2017

THE EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE ("E-ELT") PROJECT

The E-ELT will be the largest optical/near-infrared telescope in the world and will gather 13 times more light than the largest optical telescopes existing today. The E-ELT will be able to correct for the atmospheric distortions (i.e., fully adaptive and diffraction-limited) from the start, providing images 16 times sharper than those from the Hubble Space Telescope. The E-ELT will vastly advance



"ELT fornirà immagini 16 volte più definite (risolte) dell'Hubble Space Telescope correggendo le distorsioni atmosferiche."

Extremely Large Telescope



"ELT fornirà immagini 16 volte più definite (risolte) dell'Hubble Space Telescope correggendo le distorsioni atmosferiche."

Potere risolutivo di uno strumento ottico

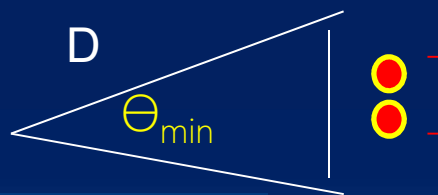


- Il potere risolutivo R (risoluzione angolare) è la minima separazione angolare $\theta_{\min}$ che due sorgenti devono avere per poter essere distinte (risolte).
- Minore è la separazione $\theta_{\min}$, maggiore deve essere il potere risolutivo R per distinguerle.

$$\theta_{\min} = 1,22 \lambda / D \rightarrow \text{potere risolutivo } R = 1/\theta_{\min} = D/(1,22 \lambda)$$

λ = lunghezza d'onda
 D = apertura/diametro

- Ogni telescopio è caratterizzato dal proprio potere risolutivo, da una minima separazione $\theta_{\min}$ risolvibile.



Non risolte



Ai limiti



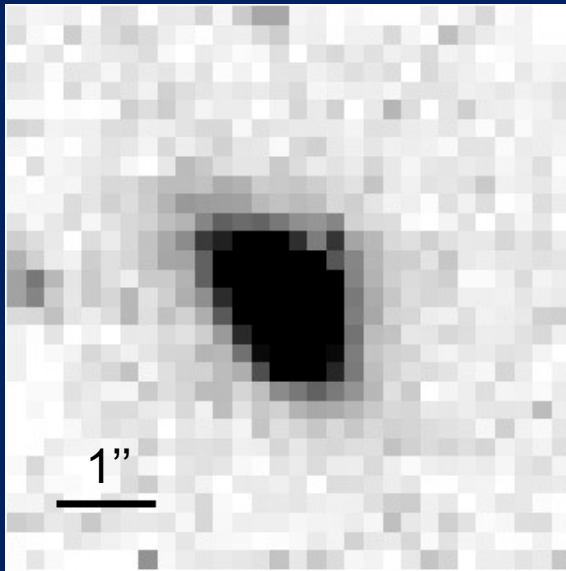
Risolve

Potere risolutivo di uno strumento ottico



Il potere risolutivo R (risoluzione angolare) è la minima separazione angolare θ che due sorgenti devono avere per poter essere distinte (risolte). Minore è la separazione θ , maggiore deve essere il potere risolutivo R per distinguerle.

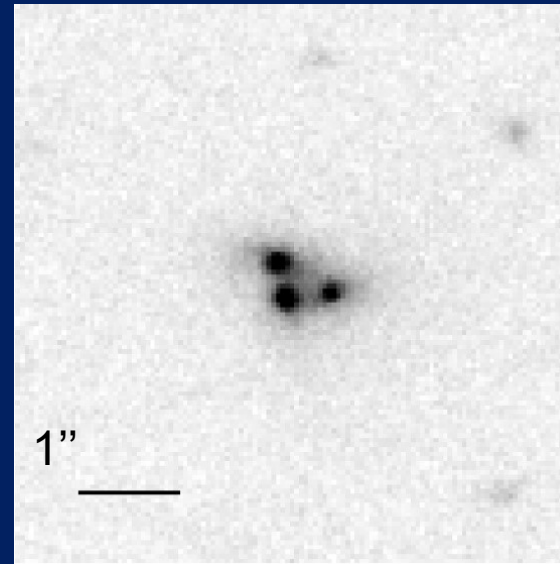
R_1



Non risolte

$2.5 R_1$

$\theta \sim 0.15''$



Risolte

Potere risolutivo di ELT



"ELT fornirà immagini 16 volte più definite (risolte) dell'Hubble Space Telescope correggendo le distorsioni atmosferiche."

$$\theta = 1,22 \lambda/D \rightarrow \text{il potere risolutivo } R = 1/\theta = D/(1,22 \lambda)$$

λ = lunghezza d'onda

D = apertura/diametro

R di uno telescopio aumenta all'aumentare del suo diametro D

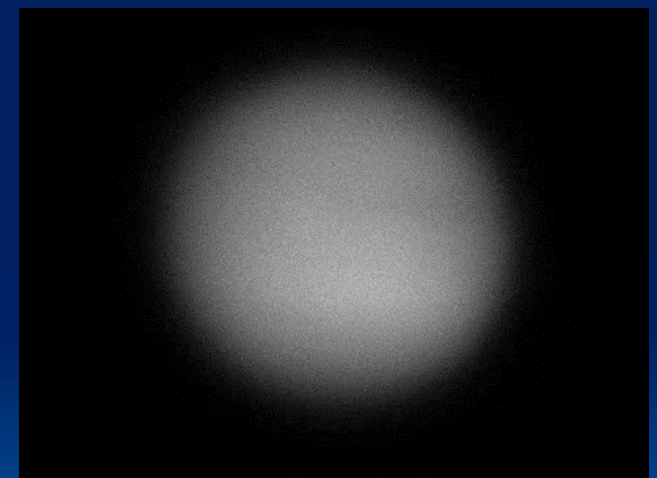
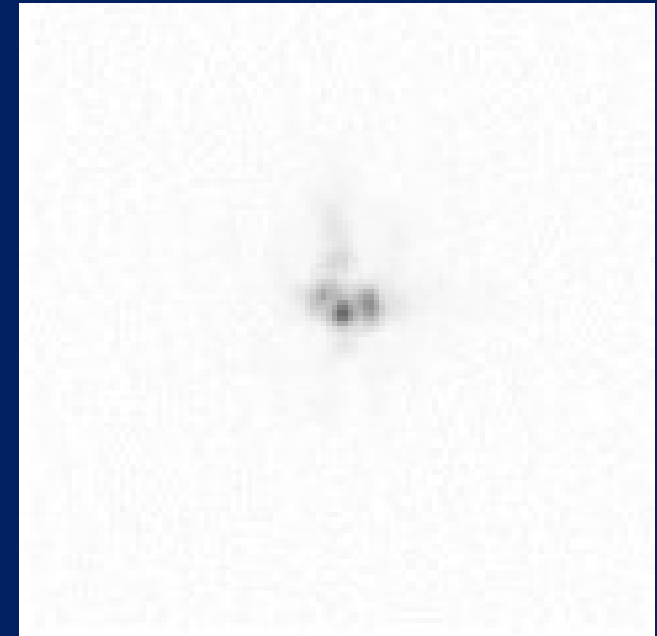
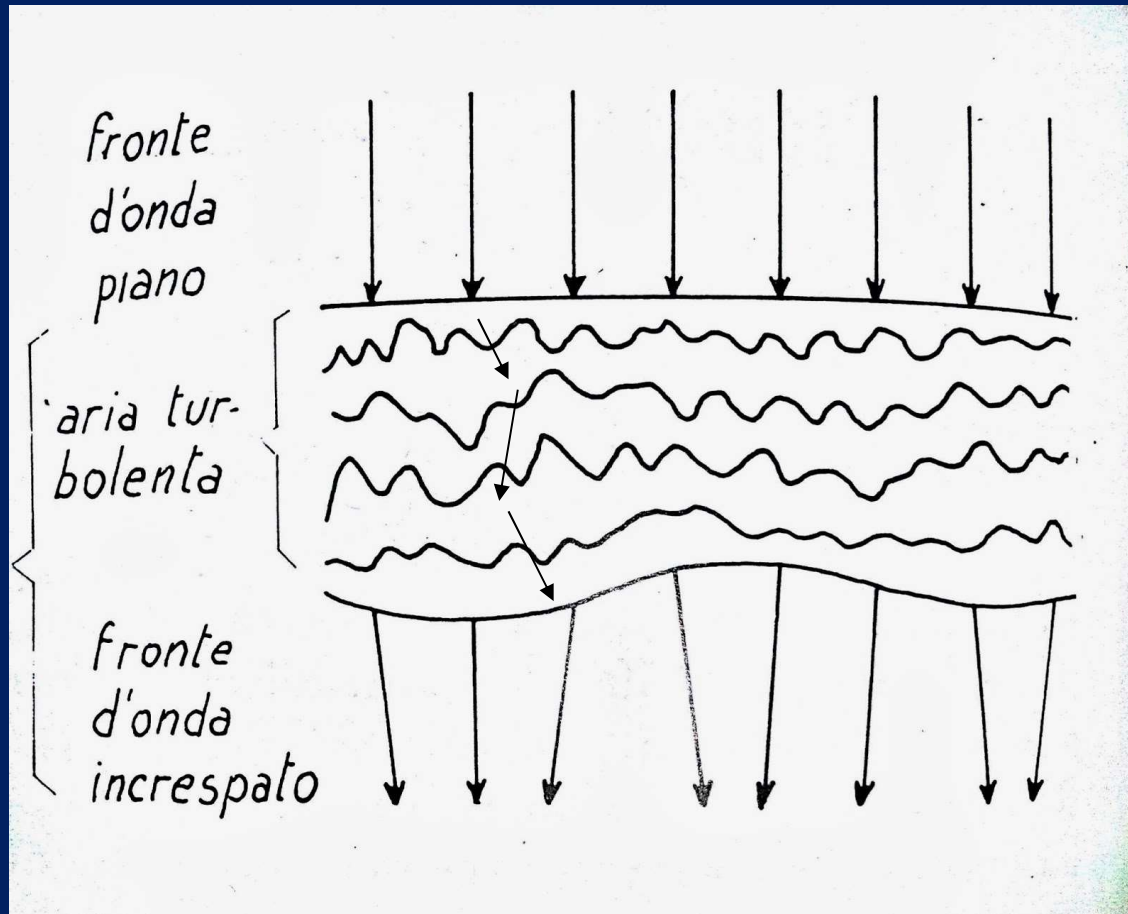
$$\begin{array}{l} D_{ELT}=39\text{m} \\ D_{HST}=2.4\text{m} \end{array} \quad \frac{R_{ELT}}{R_{HST}} = \frac{D_{ELT}}{D_{HST}} = \frac{39}{2.4} = 16.25$$

Ma...

Effetti dell'atmosfera terrestre



HST è fuori dall'atmosfera terrestre, ELT no...

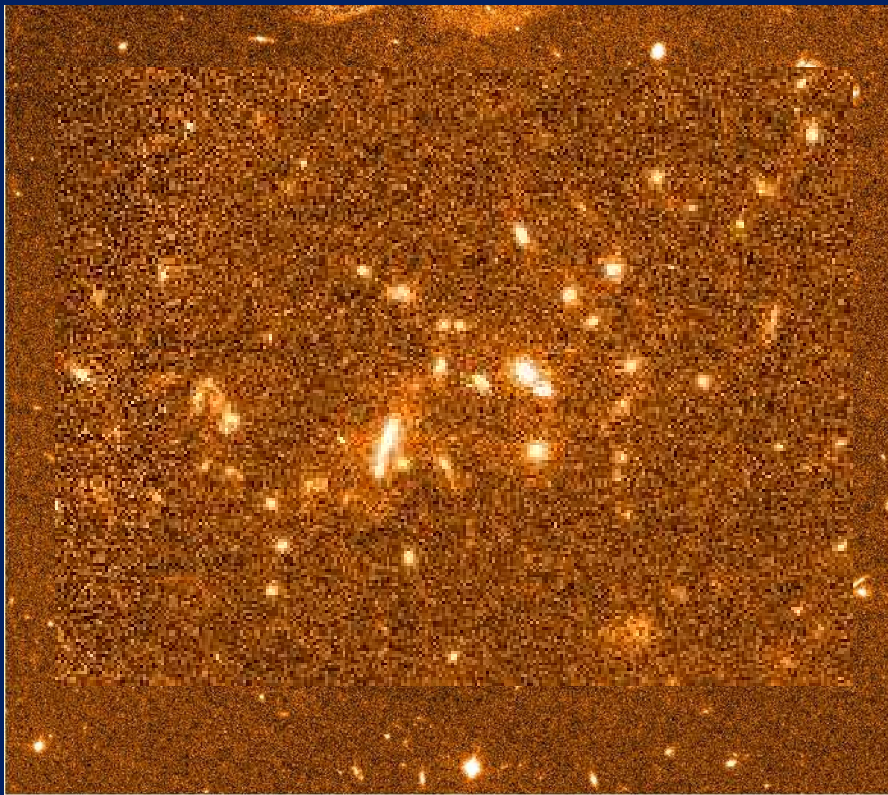


Effetti dell'atmosfera terrestre

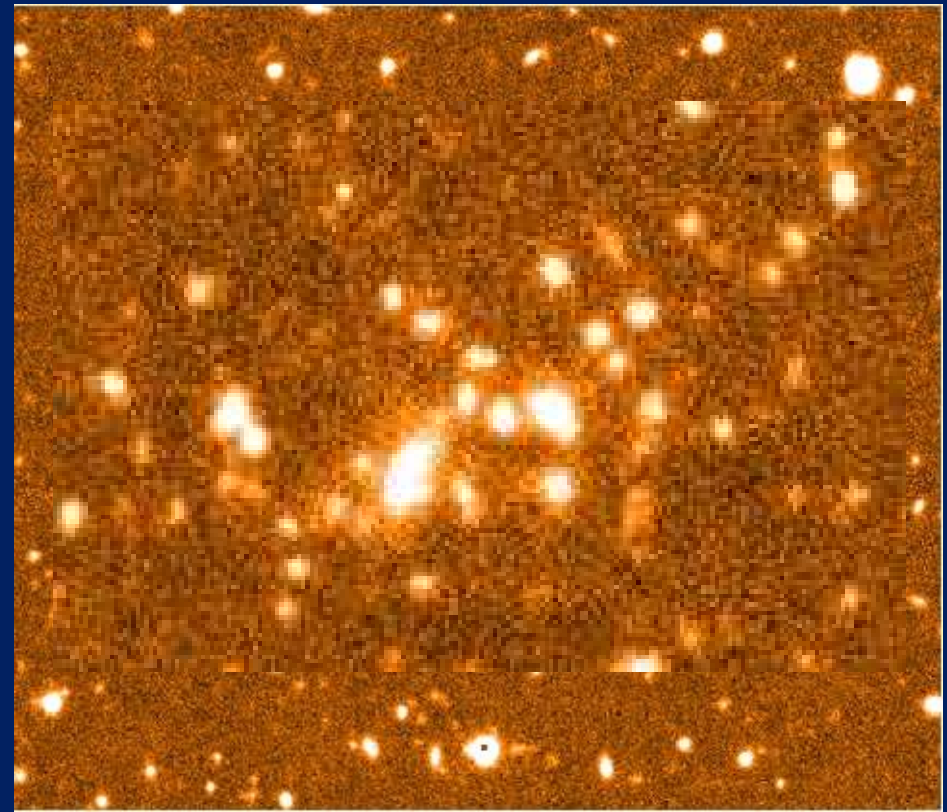
Un caso reale



Hubble ST D=2.4 m



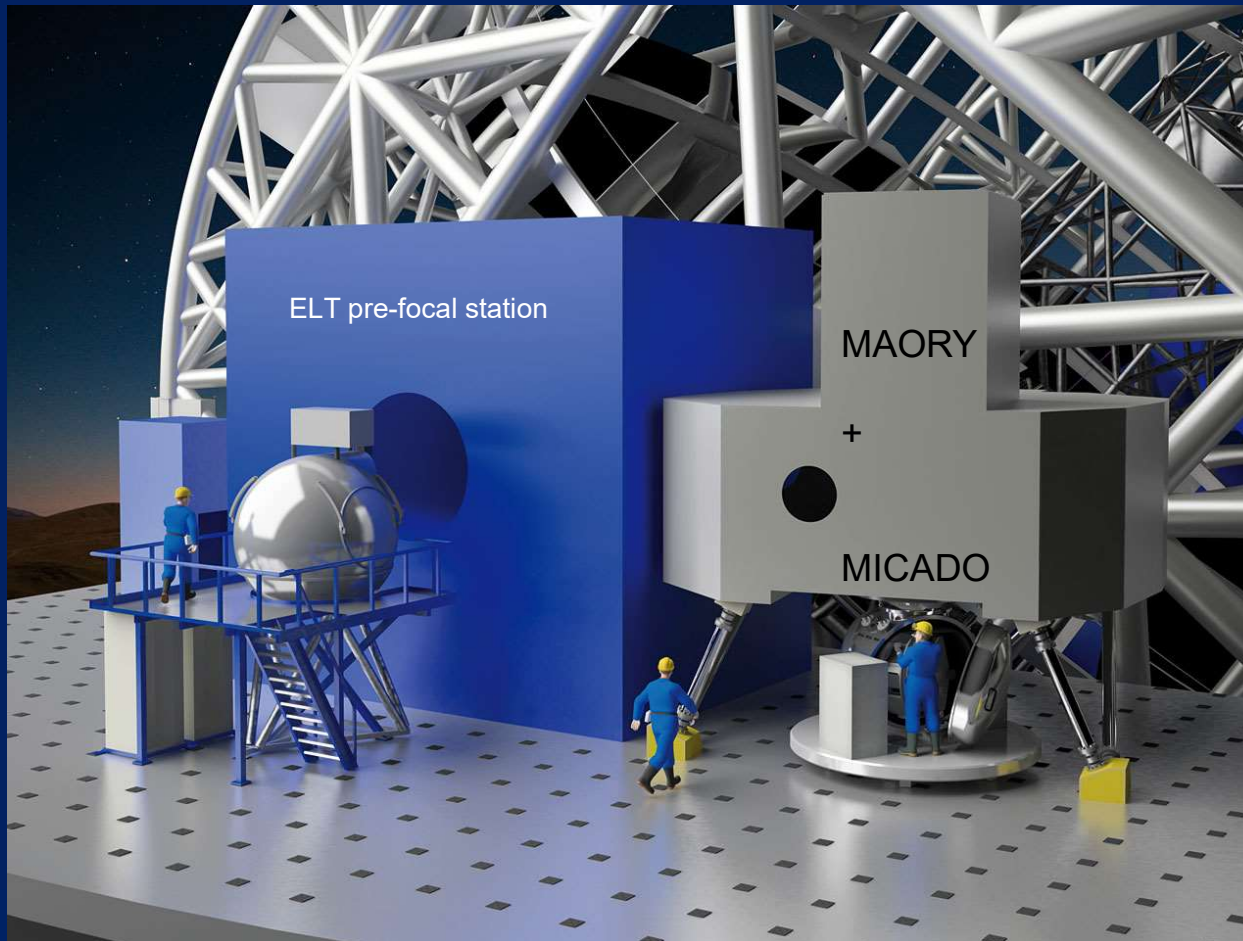
Large Binocular Tel. D=8.4 m



$$\frac{R_{LBT}}{R_{HST}} = \frac{D_{LBT}}{D_{HST}} = \frac{8.4}{2.4} = 3.5$$

MAORY @ ELT

Multi-conjugate Adaptive Optics RelaY



Cos'è MAORY?

MAORY è il modulo di **Ottiche Adattive** (AO) in grado di **eliminare le distorsioni introdotte dall'atmosfera** fornendo immagini 16 volte + definite di HST.



“Che cosa rende così speciale il progetto di ELT? Il sistema di ottiche adattive MAORY è quasi da fantascienza: permetterà di annullare gli effetti negativi prodotti dalla turbolenza atmosferica e consentirà agli strumenti per le osservazioni nel vicino infrarosso di ottenere immagini di nitidezza e profondità eccezionali, risultato possibile sfruttando una costellazione di stelle artificiali prodotte tramite raggi laser puntati verso il cielo”.

Enciclopedia Treccani

http://www.treccani.it/magazine/atlane/scienze/Il_piu_grande_occhio_sul_cielo_ecco_ELT.html

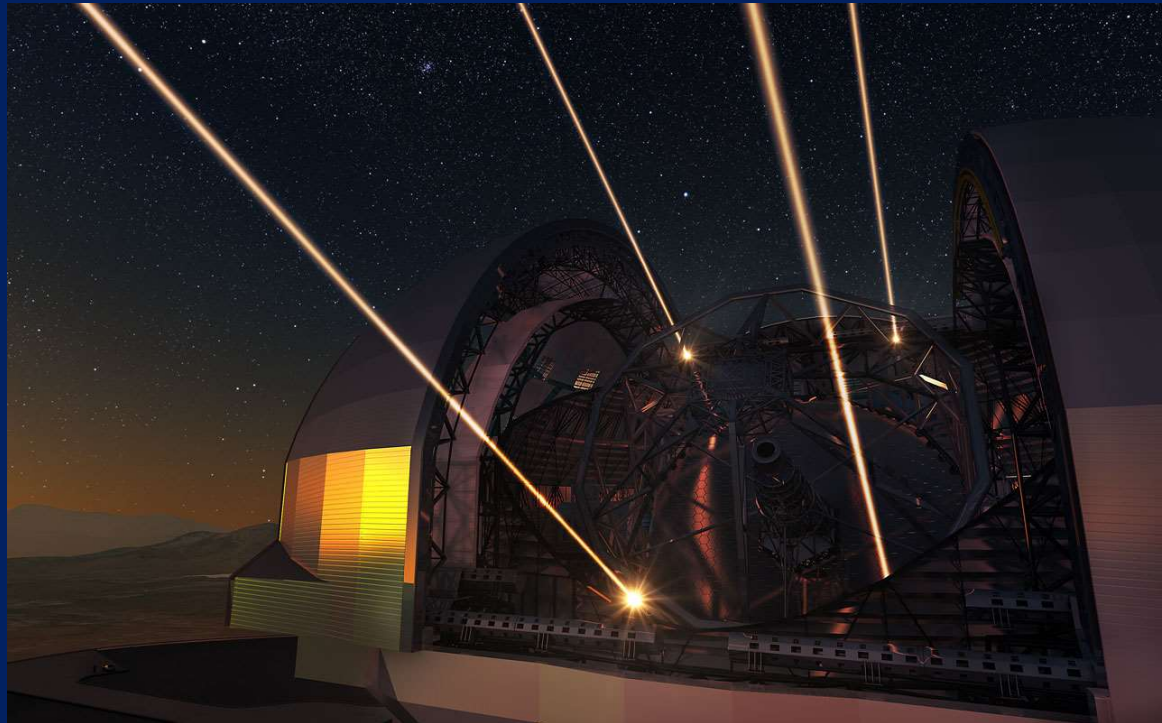
MAORY @ ELT

<http://www.maory.oabo.inaf.it/>



Come elimina le distorsioni atmosferiche?

- Controlla la variazione della luce di 3 stelle "vere" e 6 stelle "sintetiche";
- modifica la forma dello specchio che riflette la luce al suo interno per annullare le variazioni.



MAORY @ ELT

<http://www.maory.oabo.inaf.it/>



Cosa sono le stelle «sinthetiche»?

Strato di Sodio (Na) a circa 90 km di quota.

Laser al Sodio (Na) puntato in cielo:

$E=hc/\lambda$ energia di eccitazione di Na

Na **assorbe** l'energia del laser e la **riemette** alla stessa lunghezza d'onda → **si illumina**!



VLT-UT4 2015

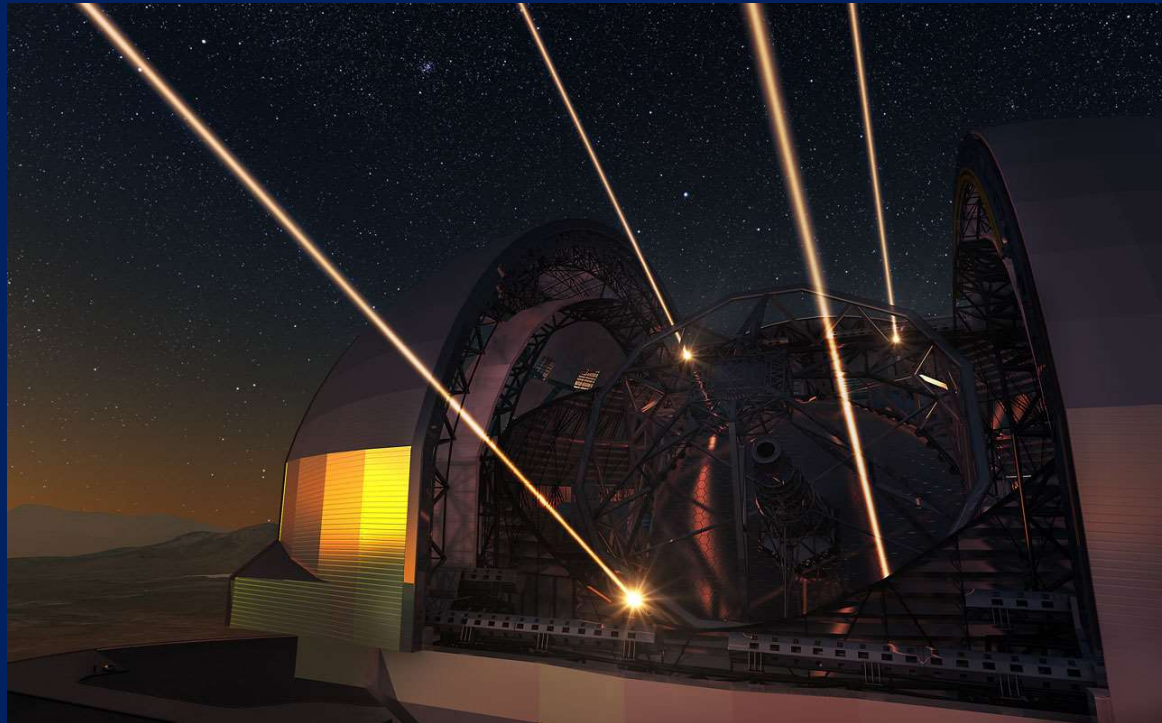
MAORY @ ELT

<http://www.maory.oabo.inaf.it/>



Come elimina le distorsioni atmosferiche?

- Controlla la variazione della luce di 3 stelle "vere" e 6 stelle "sintetiche";
- modifica la forma dello specchio che riflette la luce al suo interno per annullare le variazioni.



MAORY @ ELT

<http://www.maory.oabo.inaf.it/>



Come elimina le distorsioni atmosferiche?

~1000 de

- Contr
variaz
di 3 st
stelle
- modif
dello
riflette
intern
le vari

5 Riflessioni

M2

M3

M4-A

M5

Light

Secondary mirror (M2)

4.2-metre diameter
Convex
Zerodur

Fourth mirror (M4)

2.4-metre diameter
Flat
Thin
Adaptive
Ceramic glass

MAORY

Science instrument
platform

Primary mirror (M1)

39-metre diameter
Concave
798 hexagonal segments
Active

Fifth mirror (M5)

2.7 x 2.1 metres
Flat
Fast Tip/Tilt

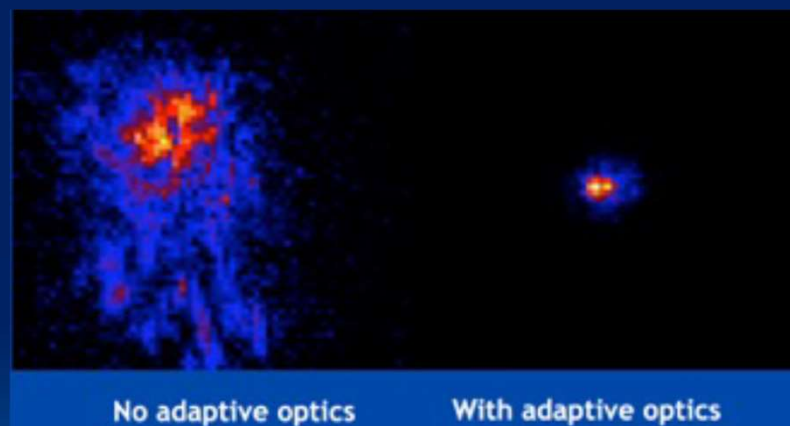
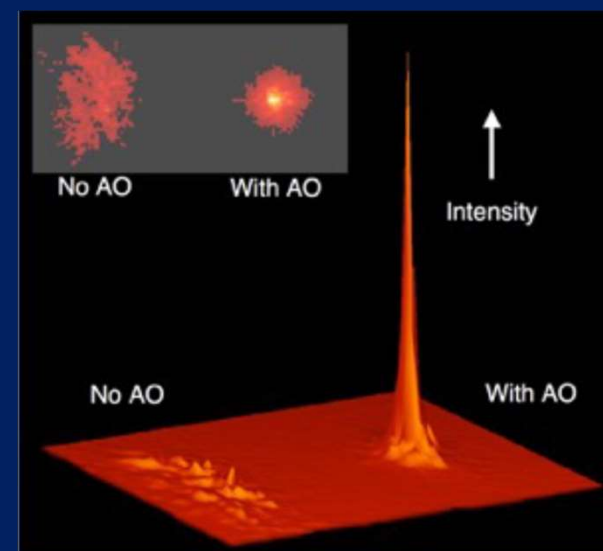
Tertiary mirror (M3)

3.8-metre diameter
Concave
Zerodur



L'Ottica Adattiva al lavoro!

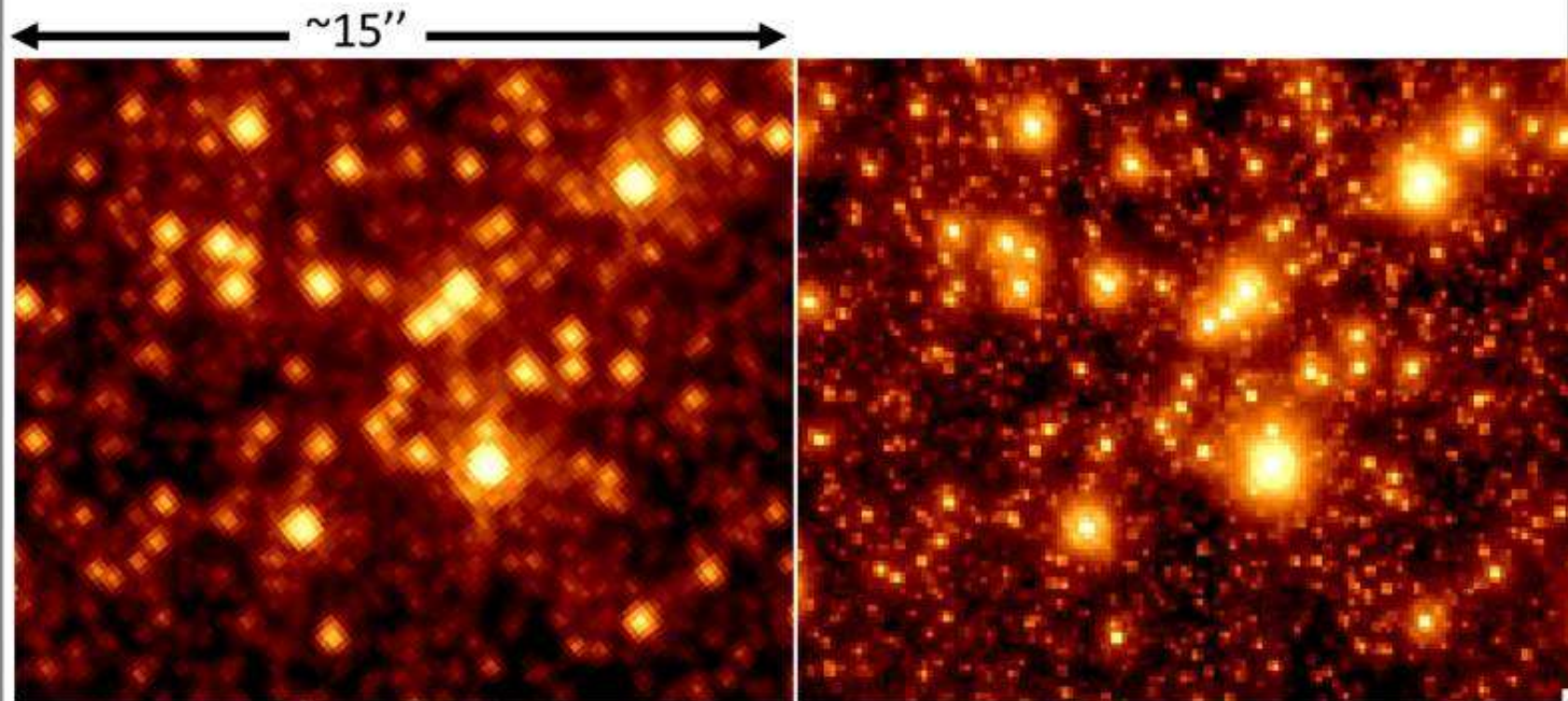
Immagine reale con ottica adattiva (AO)



L'Ottica Adattiva al lavoro!



Immagine reale con AO, Large Binocular Telescope



HST WFPC3, H band, 20 min

LBT+FLAO, H band, 8 min

Main data: Rmag 11.5, 0.7'' seeing,

AO settings: 0.5KHz, 15x15 subaps, 153 corrected modes

Cosa saremo in grado di vedere

Risoluzione Angolare



HST

$\Theta = 0.2$ arcsec



Operativo dal 1990

JWST

$\Theta = 0.06$ arcsec



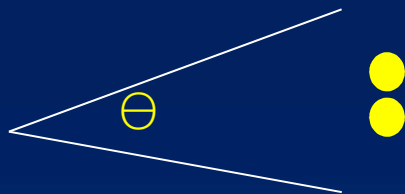
Entro il 2021

ELT

$\Theta = 0.012$ arcsec



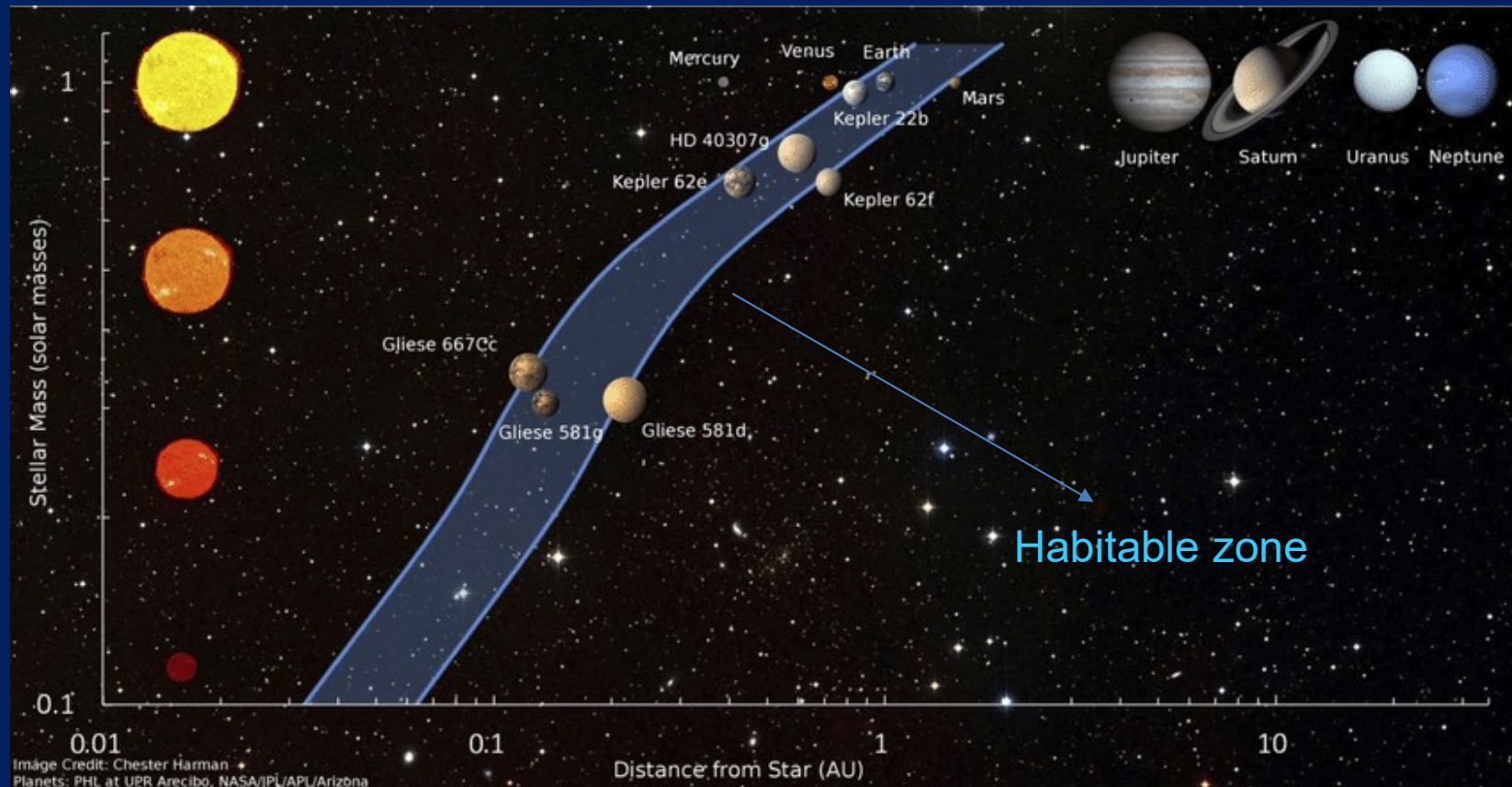
Fine 2024



MAORY@ELT



Alla ricerca di nuove...Terre!

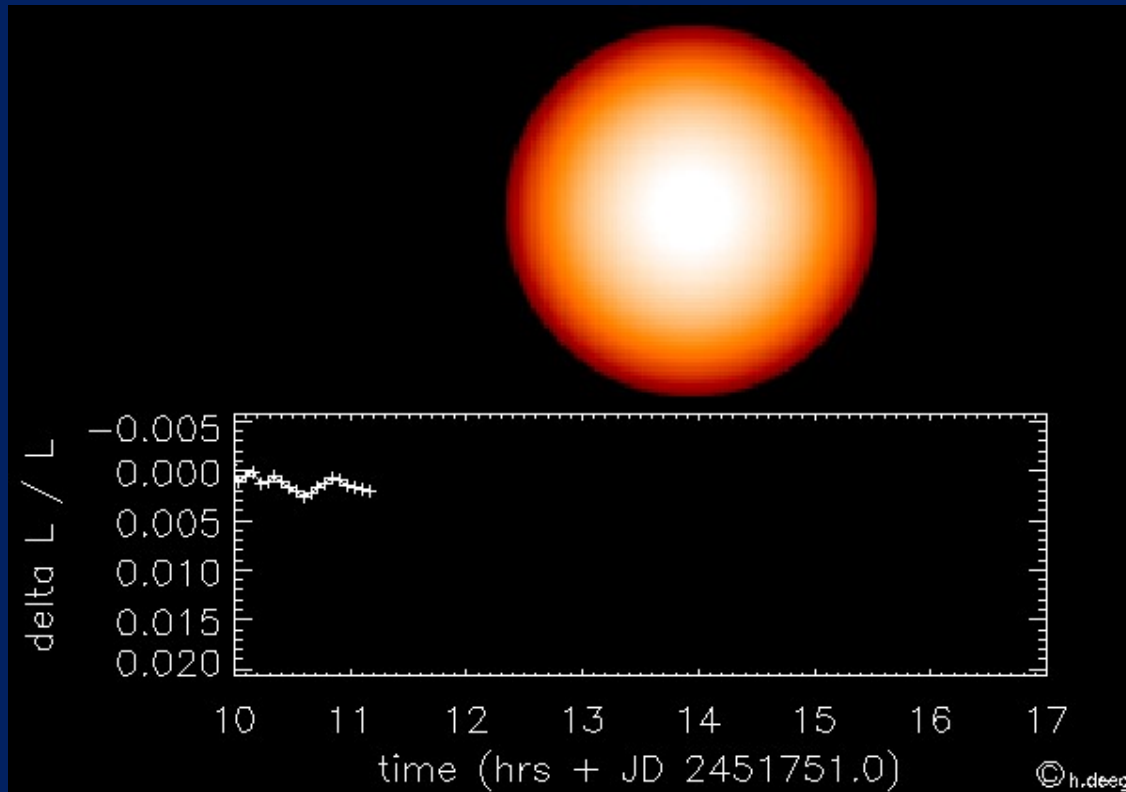


Habitable zone: regione dello spazio attorno ad una stella dove le condizioni sono ottimali per lo sviluppo della vita (temperature non estreme → acqua).

MAORY@ELT



Alla ricerca di nuove...Terre!

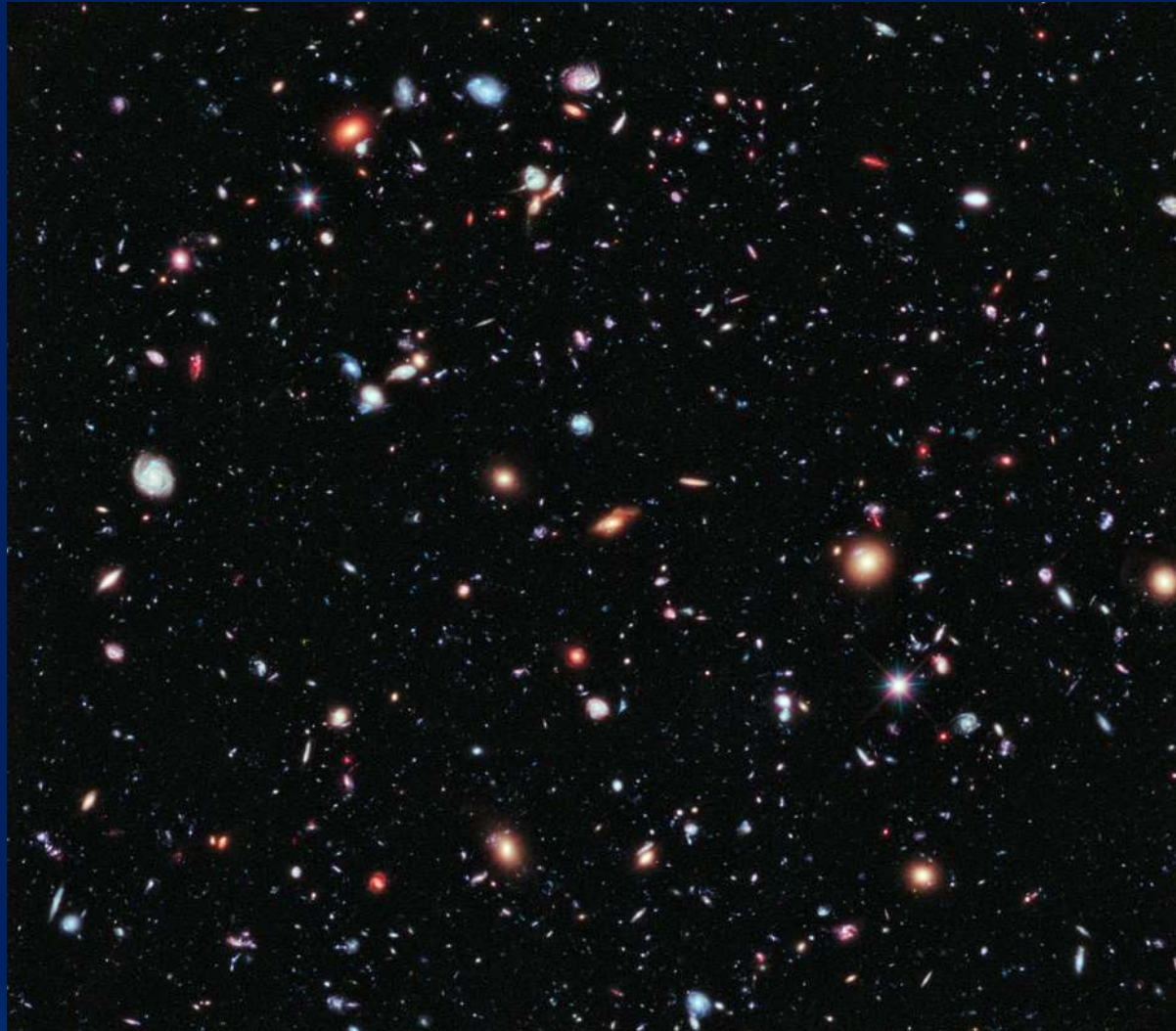


Gravita' sufficiente $\rightarrow$ atmosfera $\rightarrow$ composizione chimica?????
Per poter caratterizzare/verificare le proprieta' di un pianeta come la terra e' necessario raggiungere un contrasto di 10^{-9} !!

MAORY@ELT



La struttura interna delle galassie piu' distanti



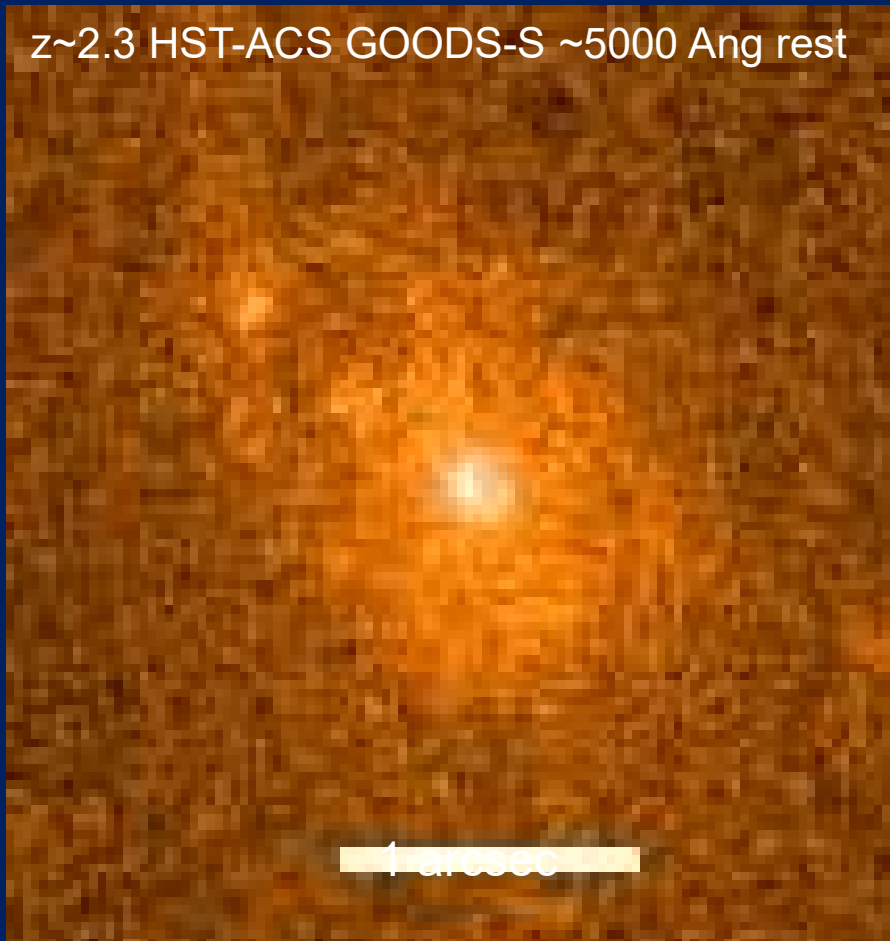
Brera - 28 Novembre 2018

MAORY@ELT

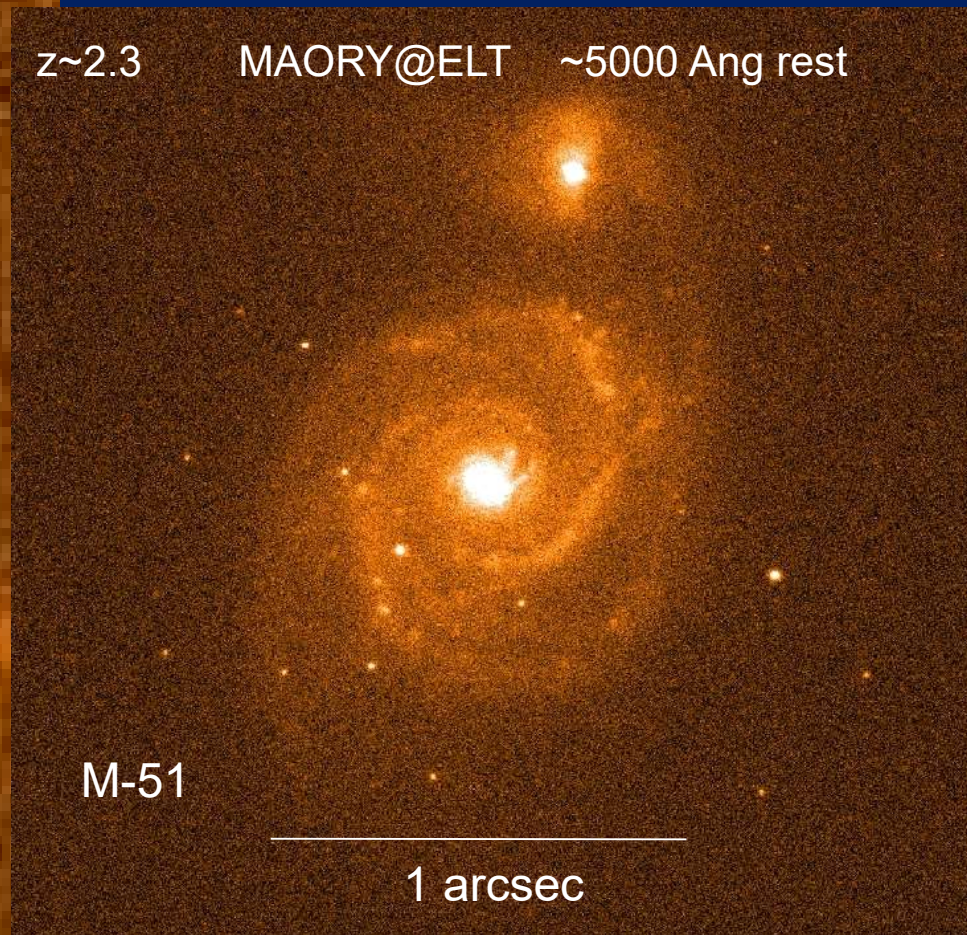


La struttura interna delle galassie piu' distanti

$z \sim 2.3$ HST-ACS GOODS-S ~ 5000 Ang rest

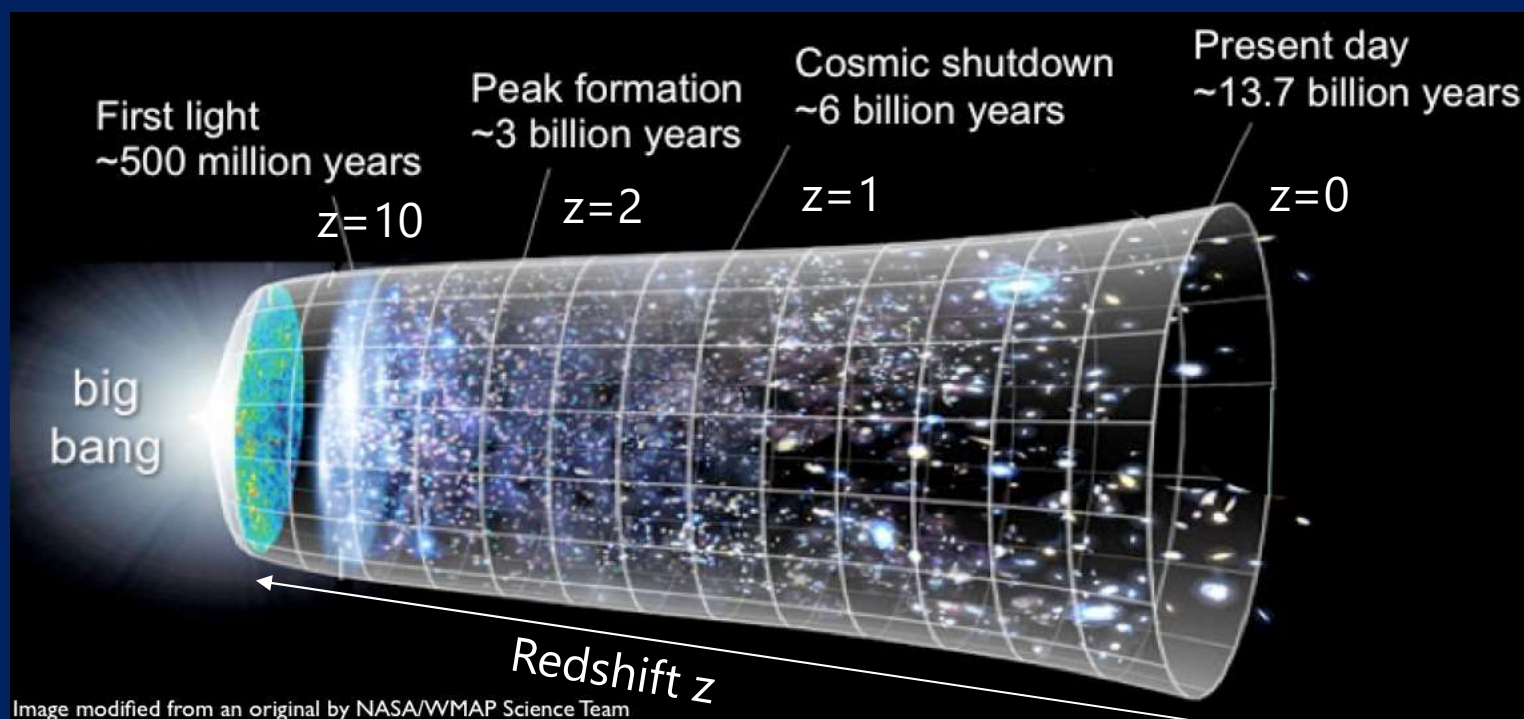


$z \sim 2.3$ MAORY@ELT ~ 5000 Ang rest



Advanced Exposure Time Calculator

Le galassie primordiali



Le prime galassie pensiamo abbiano dimensioni molto piccole rispetto alle attuali poiché' hanno formato ancora poche stelle. Per questo, saranno anche poco luminose.
→ Grande area per raccogliere fotoni e grande risoluzione.

MAORY@ELT 2024

Multy-conjugate Adaptive Optics RelaY

INAF lead institute
OAB people strongly involved



ELT
Extremely Large Telescope - 2024
39m diameter



Thank you!

Brera - 28 Novembre 2018