

il Sole e l'altre stelle

Incontri tra Cielo e Terra

Luca G Molinari

14 dicembre 2018

Inizia il nostro viaggio tra il Sole e l'altre stelle

Abbiamo perso il contatto diretto
e quotidiano col cielo buio

Ci emozionano oggi immagini
di ccd e sensori di robot spaziali

Anche la ricerca è cambiata
finita la paziente osservazione
oggi è la comprensione intelligente
di terabyte di dati scaricati
a grandi antenne e resi fruibili
da potenti computer

UNA FLOTTA DI SONDE E TELESCOPI SPAZIALI

USA: nasa, Europa: esa, Italia: asi

COBE (1989-93), WMAP (2001-10), PLANCK (2009-13): microonde

HERSCHEL (2009-13), SPITZER (2003-): infrarosso

HUBBLE (1990-), WEBB (2021-): telescopi ottici

GALEX (2003), SWIFT (2004-2025): UV

ROSAT (1990-99), CHANDRA (1999), FERMI (2008-), AGILE (2007-), XMM Newton (1999): X

BEPPO-SAX (1996-03), INTEGRAL (2002-22): gamma

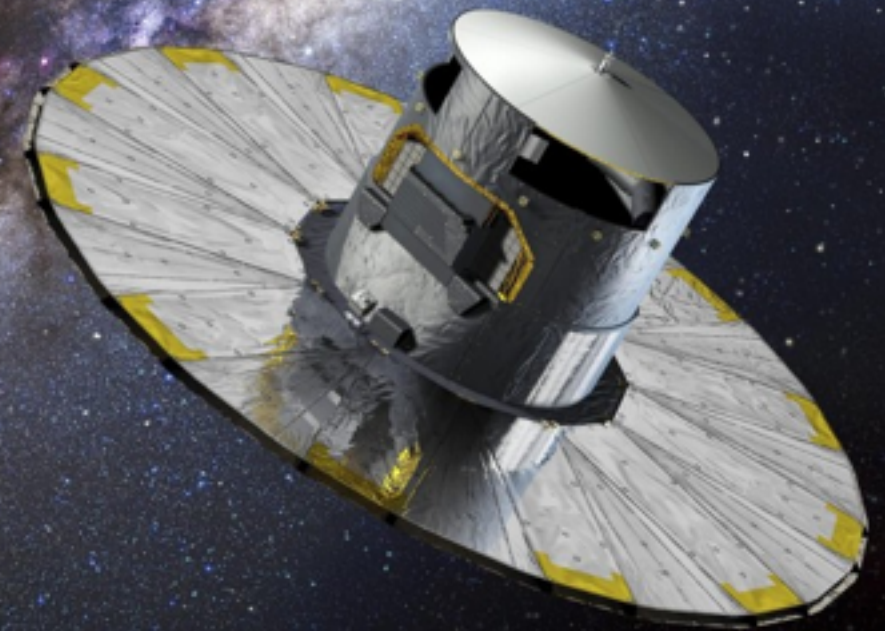
HIPPARCHOS (1989-93), GAIA (2013-): mappa delle stelle

KEPLER (2009-18): esopianeti

EUCLID (2021-): galassie

.....

si aggiungono i satelliti per l'esplorazione di Sole, pianeti, asteroidi e comete ...





Telescopii gemelli Keck, da 10 metri
Mauna Kea (alt. 4145 m)



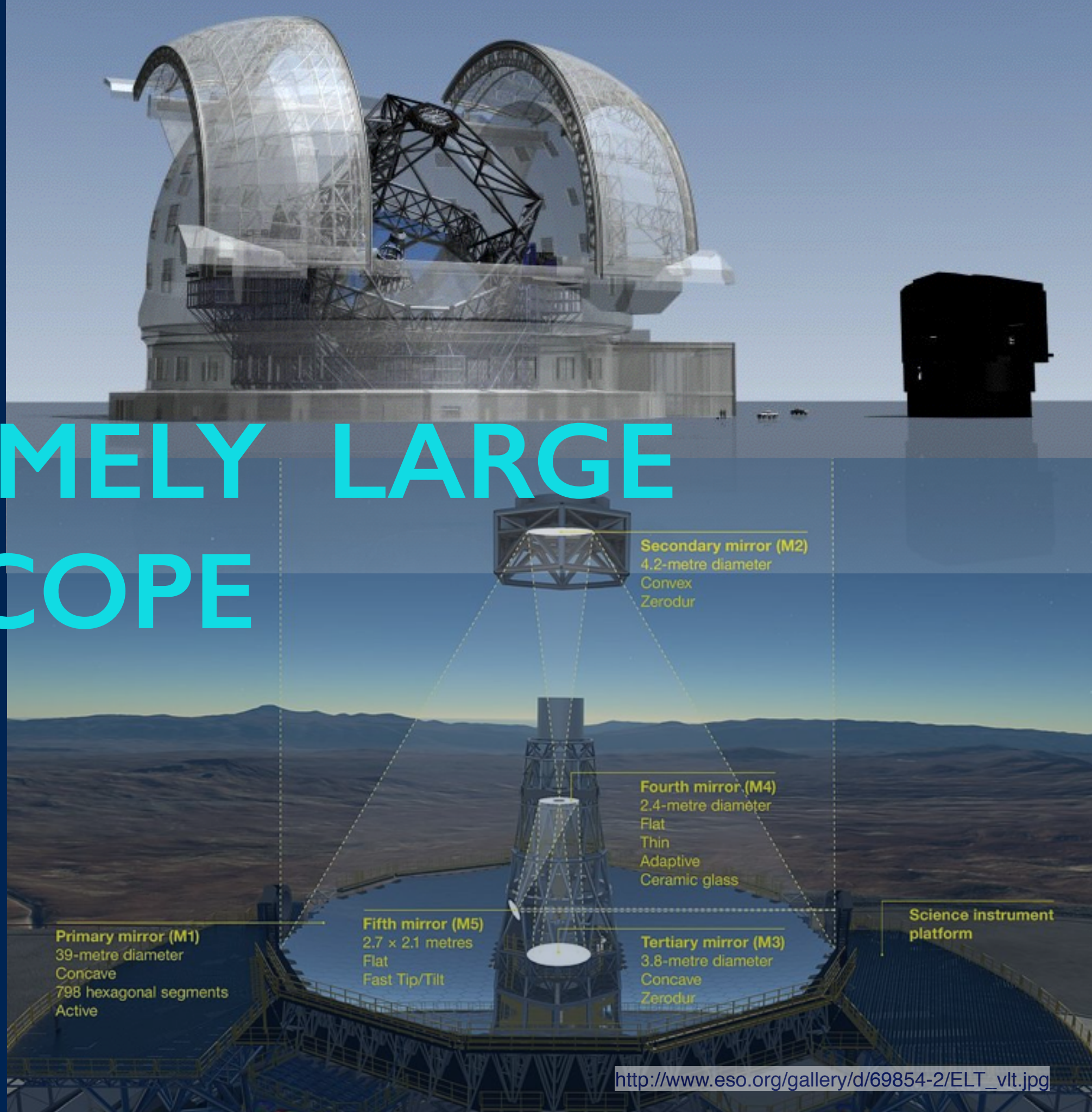
VERY LARGE TELESCOPE

ESO - Chile



EXTREMELY LARGE TELESCOPE

ESO - Chile
980 m²
prima luce:
2024



GIANT MAGELLAN TELESCOPE



Las Campanas, Cile, 2550 m - in costruzione

364 metri quadrati su 7 specchi monolitici
Potere risolutivo 10 volte HST

Arizona State University, Astronomy
Australia Ltd., The Australian National
University, Carnegie Institution for
Science, Fundação de Amparo à
Pesquisa do Estado de São Paulo –
FAPESP, Harvard University, Korea
Astronomy and Space Science
Institute, Smithsonian Institution,
Texas A&M University, The University
of Texas at Austin, University of
Arizona, and University of Chicago

Si spengono le luci
una nuova scena si prepara
l'astronave Terra ci volge alla notte
e su questo balcone si apre





la cupola del cielo

fanno ingresso

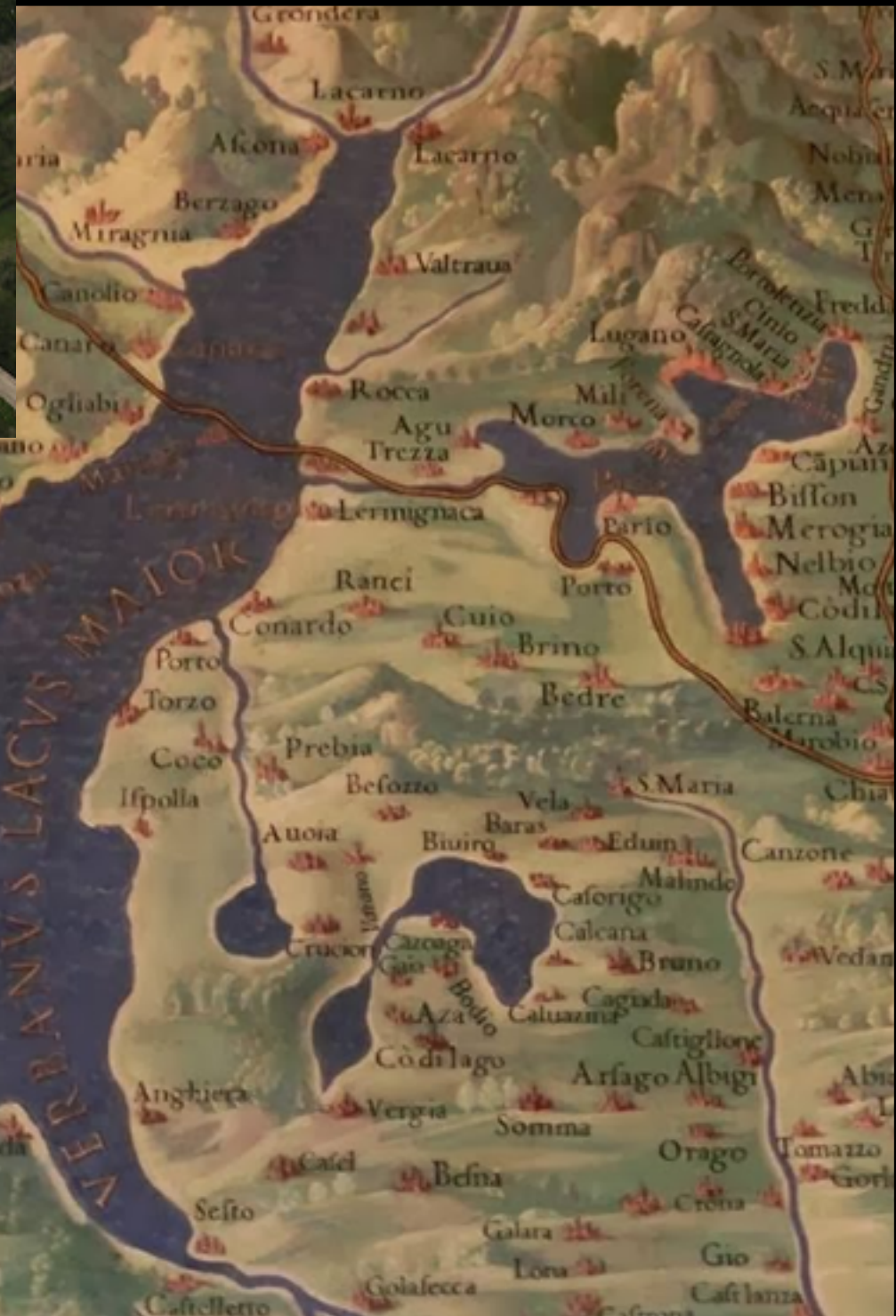
i velieri delle costellazioni





Sala del mappamondo, palazzo Farnese (Caprarola)
Giovanni Antonio da Varese (1573-75)

Palazzo Farnese Caprarola (Viterbo)

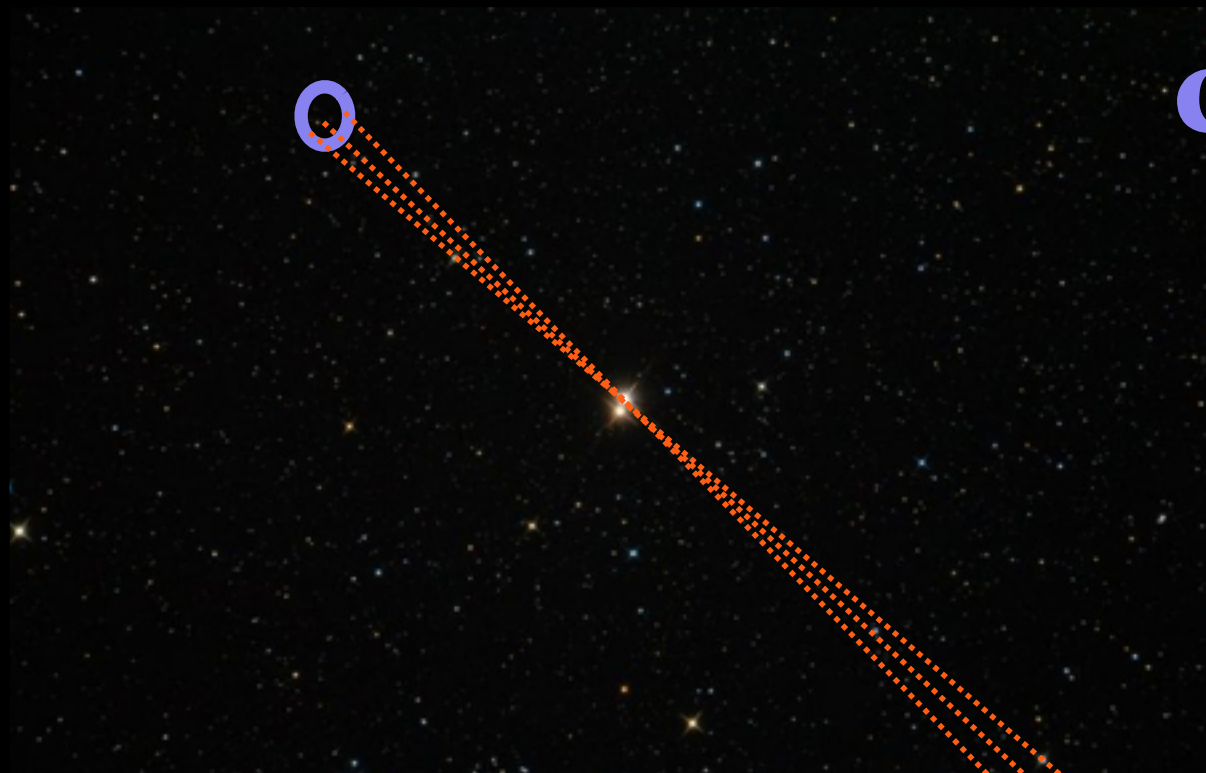


Nel 1578
la sala del mappamondo
ospitò una festa per
Papa Gregorio XIII.
Dopo averla vista,
egli commissionò a
Giovanni Antonio da Varese
la galleria delle carte geografiche
nei Musei Vaticani

quanto distano le stelle?



LA PRIMA MISURA con la parallasse 61 Cygni

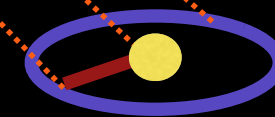


61 Cyg è la “stella volante” di P. Piazzini
si muove nel cielo $5''.2$ /anno
(circa $1/2$ grado in 350 anni)
Ciò è indizio di vicinanza.

Friedrich W. Bessel misurò
la distanza di 11 anni luce, nel 1829

$0,3''$

Hipparcos: $0''.28547$





Friedrich Wilhelm Bessel

1784-1846

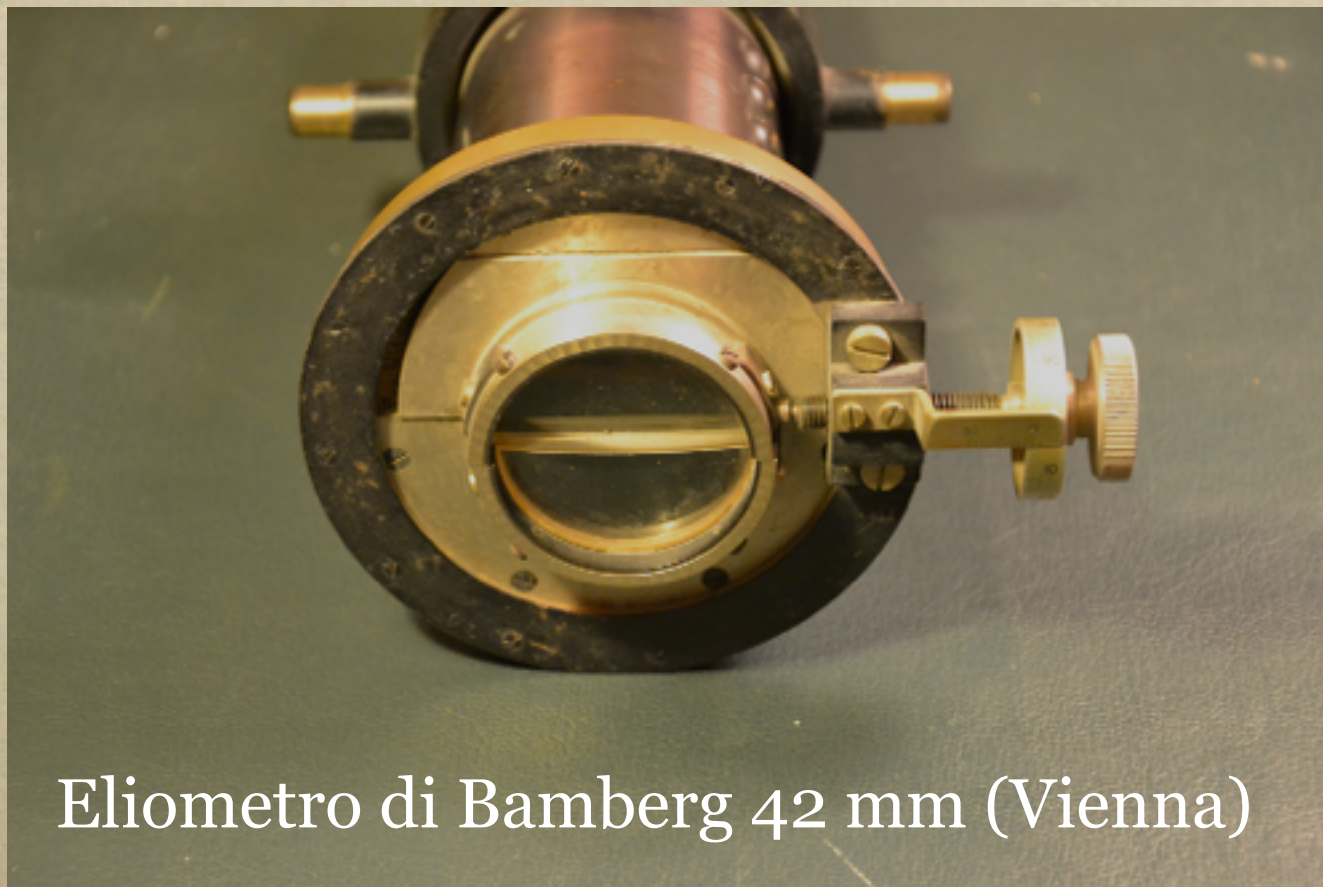
contabile in una ditta mercantile
imparò da autodidatta
astronomia e matematica. Fu
notato da Olbers per i calcoli
precisi della cometa di Halley.
Da assistente di Bradley, a 26 anni
fondò e diresse l'osservatorio
prussiano di Königsberg.



Urano fotografato a Yerkes da E. Hubble

Contributi importanti:

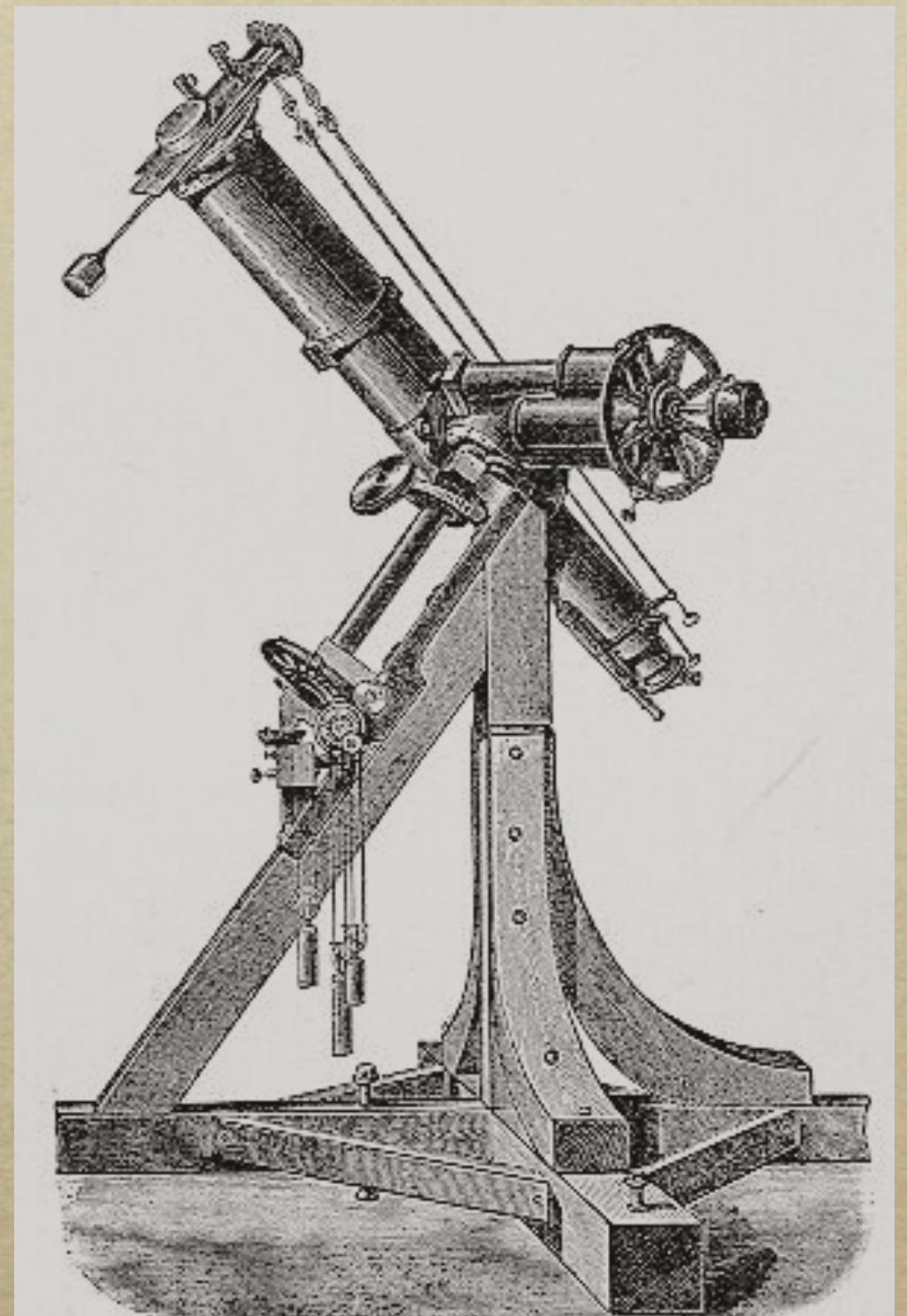
dedusse l'esistenza di Nettuno e di Sirio B
la distanza 61 Cygni
in statistica (equazione personale)
in geodesia (ellissoide terrestre)
in matematica (equaz. e disug. di Bessel)
metodo di calcolo di eclissi e occultazioni
catalogo stellare



Eliometro di Bamberg 42 mm (Vienna)



L'osservatorio di Königsberg (Kaliningrad)
Fu distrutto con la città nella II guerra, poi “russificata”



L'eliometro di Bessel (157 mm)
fu l'ultimo strumento costruito
da Fraunhofer

Alpha Centauri AB

LA STELLA PIU' VICINA

Proxima Centauri

d= 4,2 anni luce ~ 40mila miliardi km

scoperta nel 1915, mv=11

E' legata ad Alpha Centauri (d=4,3 a.l.)

Proxima Centauri

Alpha Centauri

Proxima

Circinus

Chamaeleon

Apus

Triangulum
Australe

Ara

Pavo

Telescopium

Carina

Musca

Volans

Pictor

Dorado

Reticulum

Norma

Lupus

Scorpius



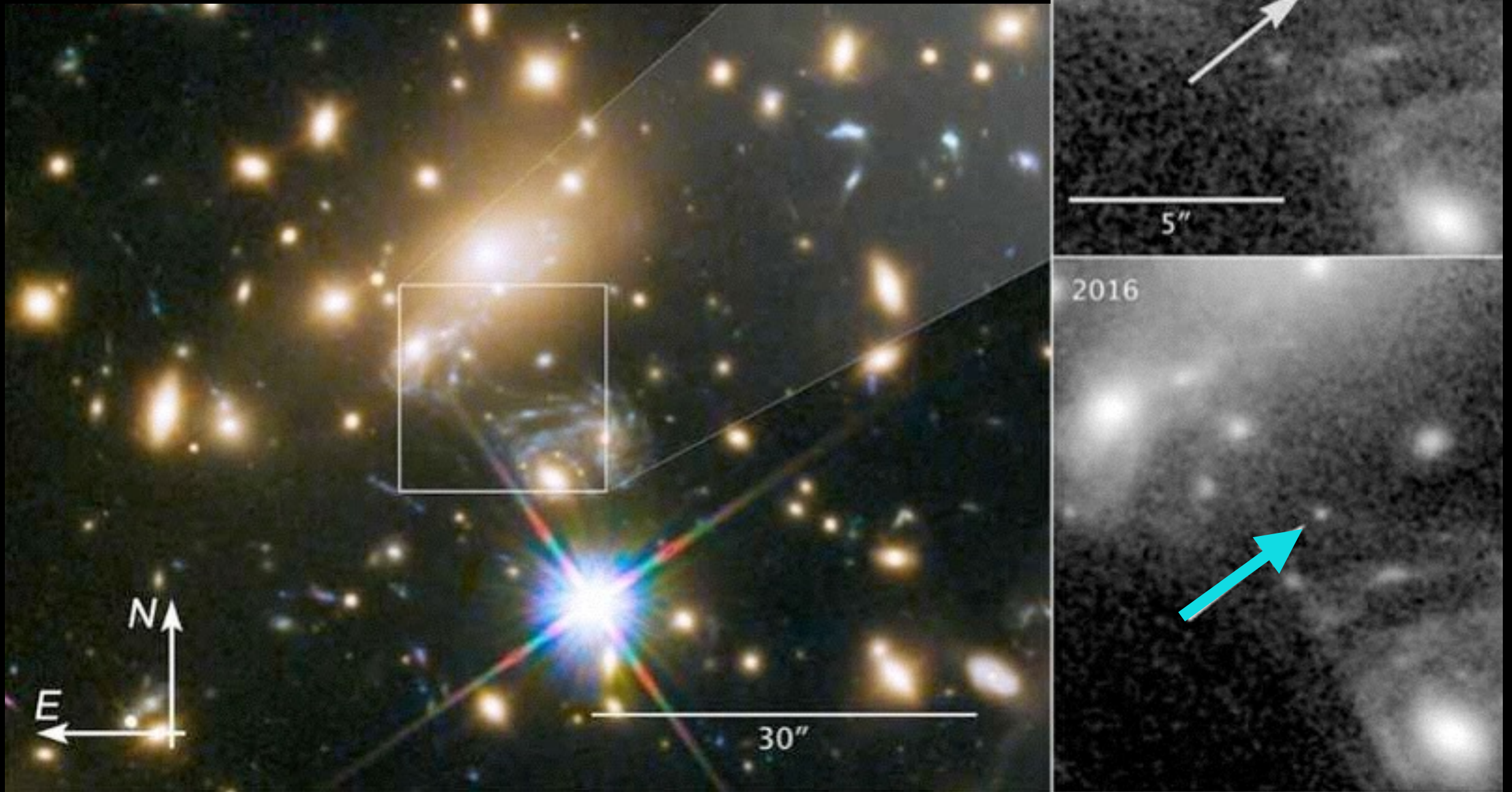
PROXIMA CENTAURI

Proxima Centauri è una nana rossa.
Le orbita intorno Proxima b, l'esopianeta più vicino
al Sistema Solare, scoperto nel 2016: un mondo
temperato di dimensioni simili alla Terra.
Le nuove osservazioni di ALMA rivelano emissioni di
nuvole di polvere fredda che circondano la stella

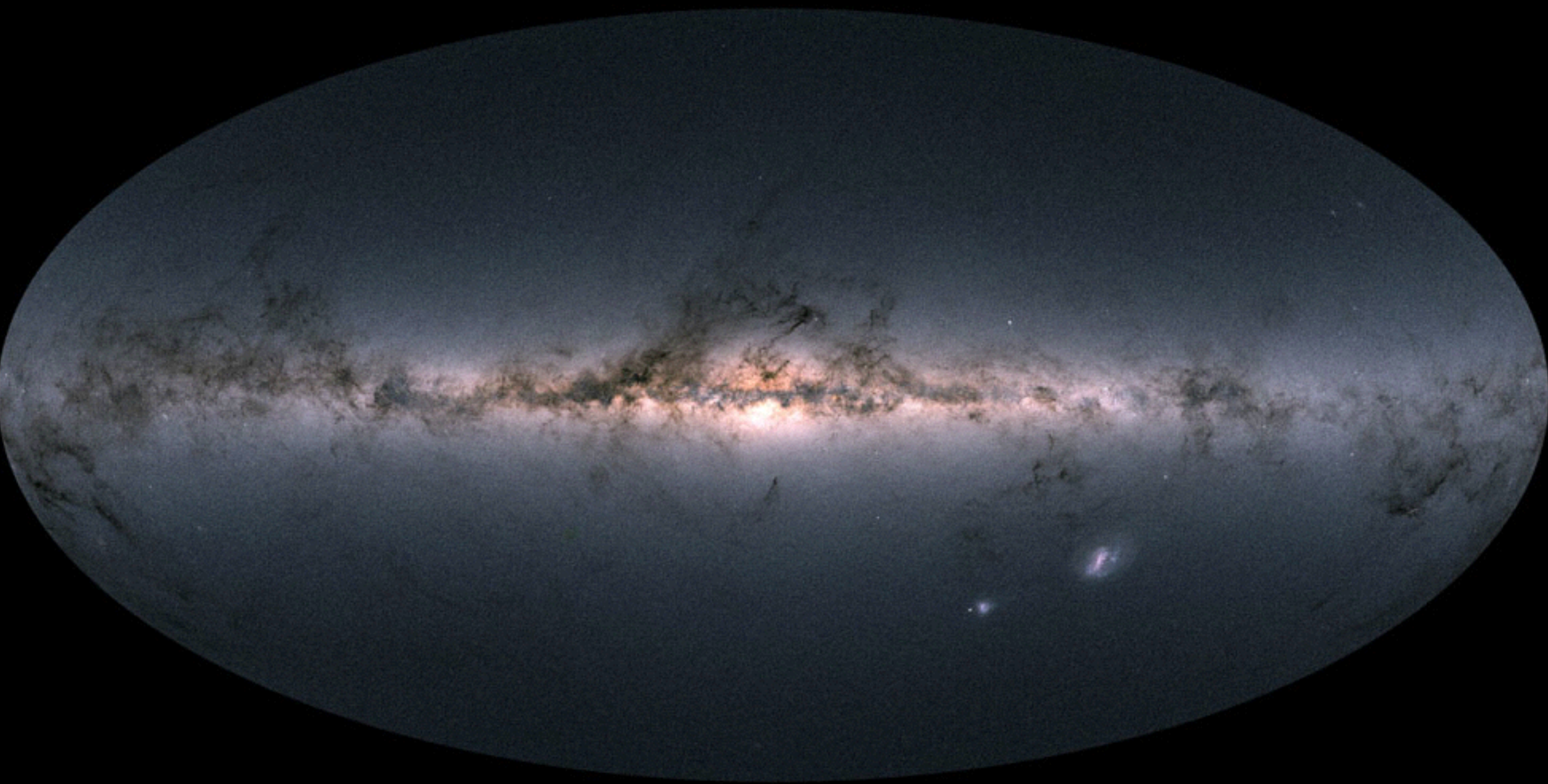


LA STELLA PIÙ LONTANA

Icaro, $d = 9$ miliardi a.l.



Visibile grazie alla lente gravitazionale di un ammasso di galassie a 5 miliardi a.l. (MACS J1149+2223) - a sinistra - tra noi e la galassia che contiene Icaro. Destra: nel 2011 Icarus non era visibile, e lo divenne nel 2016.



Satellite **GAIA** (successore di Hipparcos)
posizioni - luminosità - parallassi - velocità
radiali di 1,7 miliardi di stelle
(100mila stelle/min, ogni stella rivista 70 volte)
Le posizioni sono riferite a circa 500mila quasar.

25 apr 2018



I COLORI DELLE STELLE



AURIGA

Le caprette dell'Auriga

η Aurigae
T=16.600 K
R=3.3, M=5.5
L=760
età= 45M anni
d=219 a.l.

ζ Aurigae
variabile a eclisse
T=4000 K
R=140, M=5.8
L=4800
età= 80M anni
d=781 a.l.

$$\lambda_{\max} T = \text{cost}$$

STELLE MULTIPLE

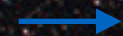
Spesso le stelle nascono multiple, ma non gemelle. Alcune crescono prima, altre non le vediamo, vicine o troppo piccole. Si manifestano nel moto della compagna visibile. Di esse misuriamo le masse.

Albireo, β Cygni

separazione 35"
= 100 volte Sole-Plutone
dist=410 a.l.

Almach, γ Andromedae

una quadrupla



separazione 10" dist=350 a.l.
la **stella blu** è tripla con periodi 64
anni e 2,76 gg



Valle dei Re, Tomba di Sethi I
Tebe, 1300 a.C.

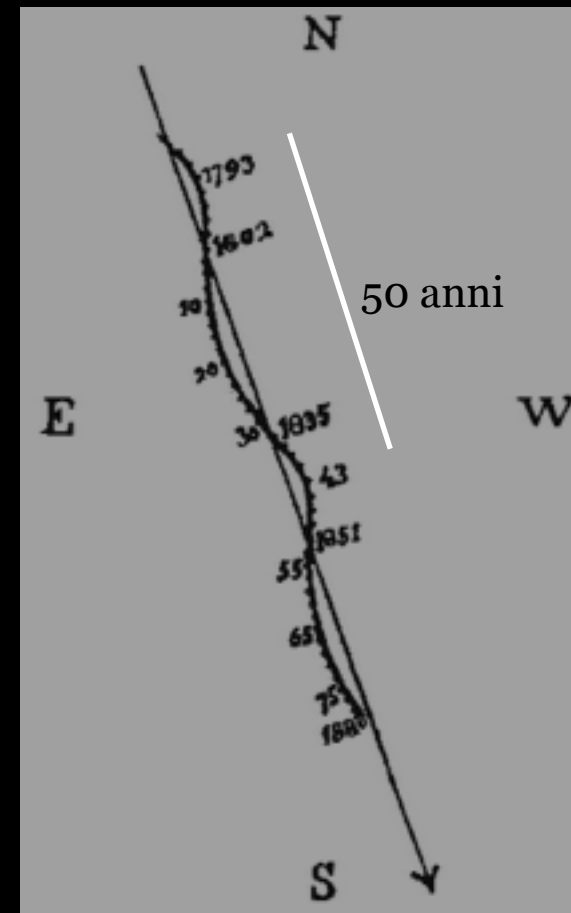
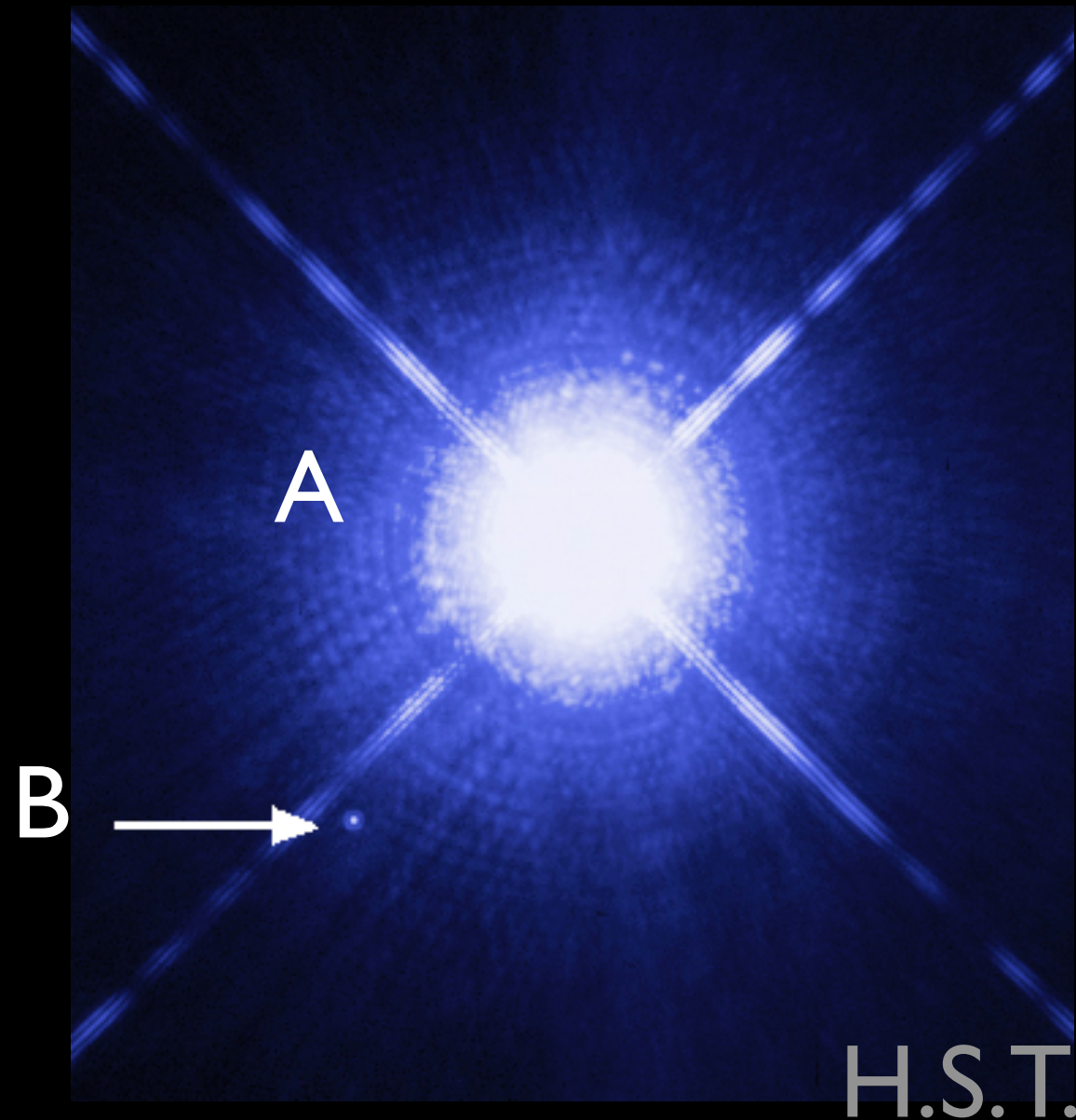
Sirius - Sothis

la stella più luminosa del cielo
(distanza = 8,6 a.l.)

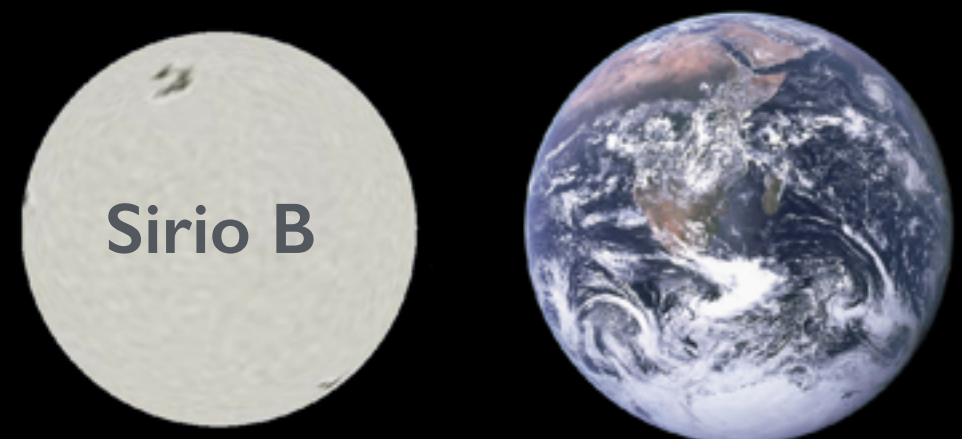
Foto Akira Fujii

Sirio A e B

(Sirio B fu previsto da Bessel, 1844)



La distanza A - B varia da 8,1 e 31,5 UA con periodo 50 anni.
B ha stessa massa di A (5 masse solari) ma diametro 1/100 del Sole (=Terra).
Dopo fase da gigante rossa, è una nana bianca (al Carbonio)



CANICULARES DIES

SIRIO: dal greco antico Σείριος
(*splendente, ardente, bruciante*)

I Romani sacrificavano un cane,
una pecora e del vino, per prevenire
gli effetti nefasti di Sirio
(*Festo, Ovidio*)

I giorni delle cerimonie, all'inizio
dell'estate, erano detti *Giorni del
Cane* e la Sirio *Stella Canicula*.
Fu così che il termine *canicola*
divenne sinonimo di caldo afoso.
Col Sole nel Leone si ha il *solleone*.





La vita delle stelle



M42-Orione dist=1300 a. l, larghezza: 24 a.l.

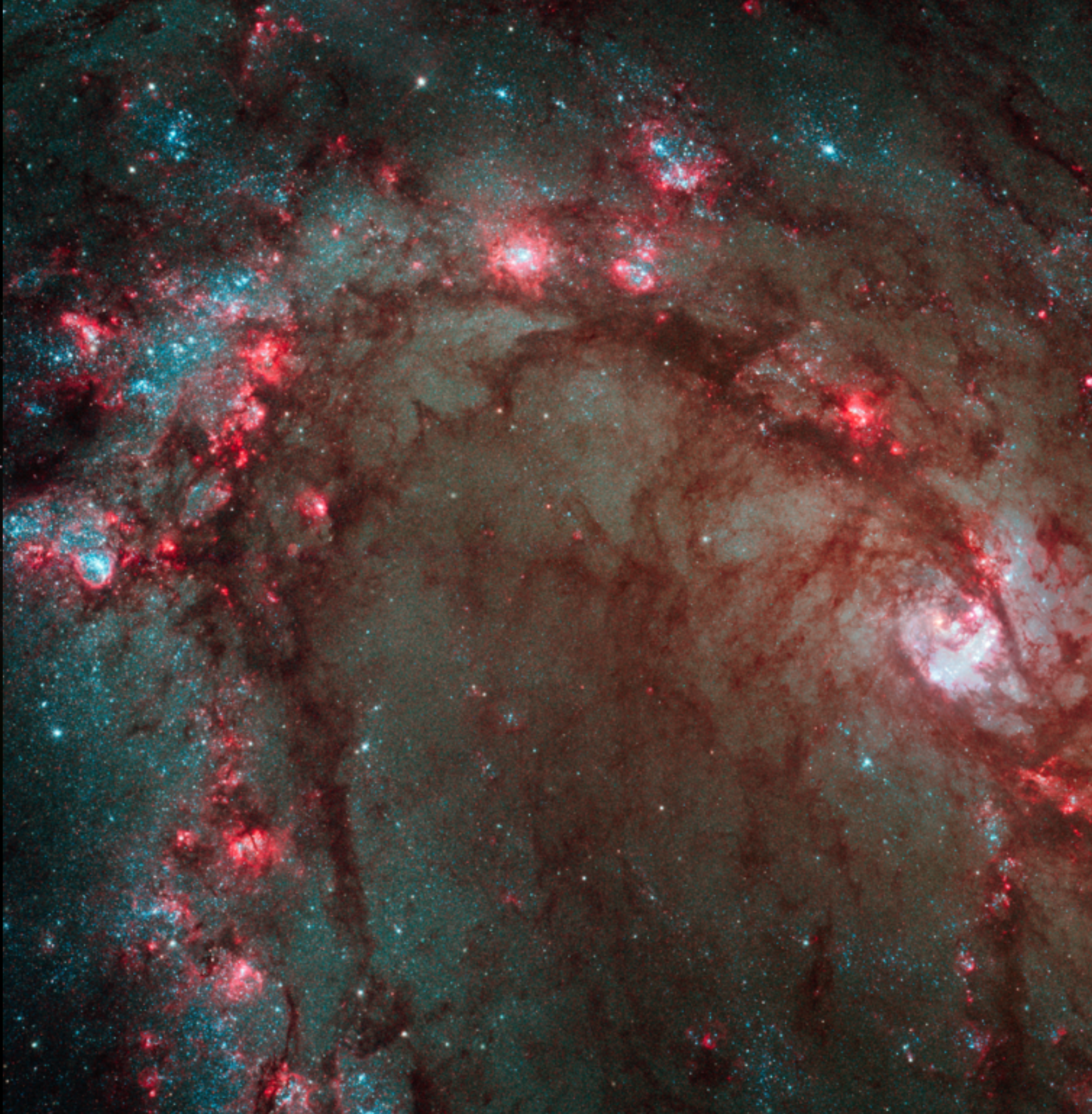
Nuove stelle nella nebulosa Doradus
(Grande Nube di Magellano 170mila a.l.)
immagine è 200x150 a.l.
[hubblesite .org](http://hubblesite.org)

Stelle giganti 100 volte il Sole,
10 volte più calde, da 2 milioni
di anni emettono venti
impetuososi di milioni km/h che
comprimono gas e polveri
innescando nuove formazioni
stellari

M 83

Hydra

dist: 15M a.l.



Galassia NGC 6946
immagine ottica e
radio (3cm) che
evidenzia regioni
di formazione
stellare



Red Foreground: F. Tabatabaei/KINGFISHER
Team, Background: NASA, ESA, STScI, R.
Gendler, and the Subaru Telescope (NAOJ)

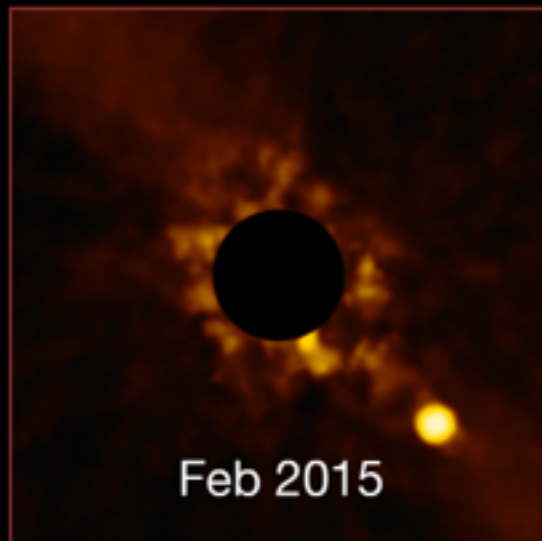




Ammasso Westerlund 1 (Ara)

ospita una ipergigante rossa con raggio 1500 raggi solari (oltre l'orbita di Giove). Le stelle, nate assieme, hanno simile età (3 milioni di anni) e composizione.

ESOPIANETA Beta Pictoris b



Scoperto nel 2008 col NACO sul VLT, seguito nel 2014 - 2016 da SPHERE (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch) del VLT. Scompare vicino alla stella e 2 anni dopo fu catturato da SPHERE



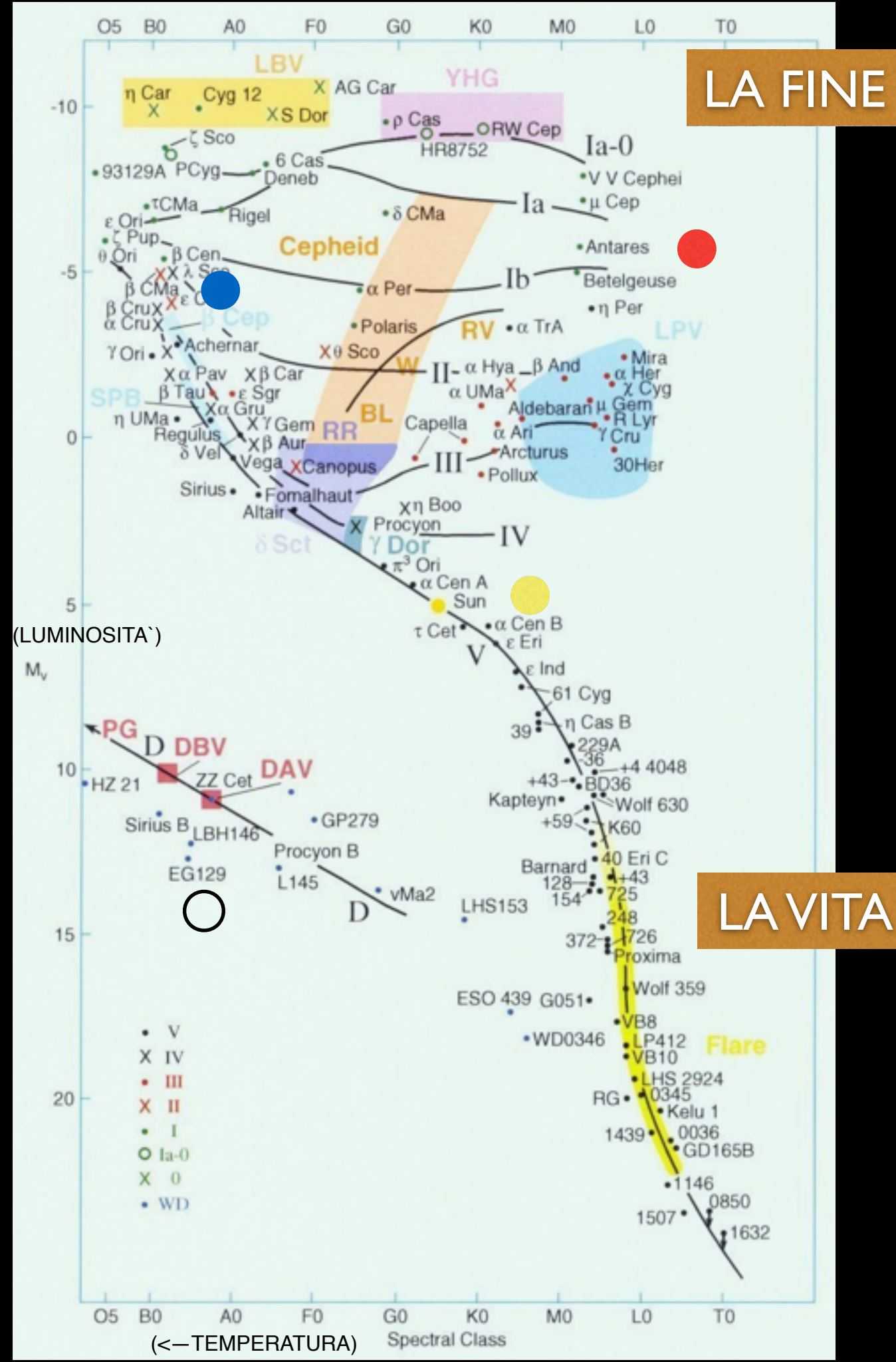


M 80 (Scorpione, dist=32600 a.l. - diam=95 a.l.)

Diagramma Hertzprung-Russel

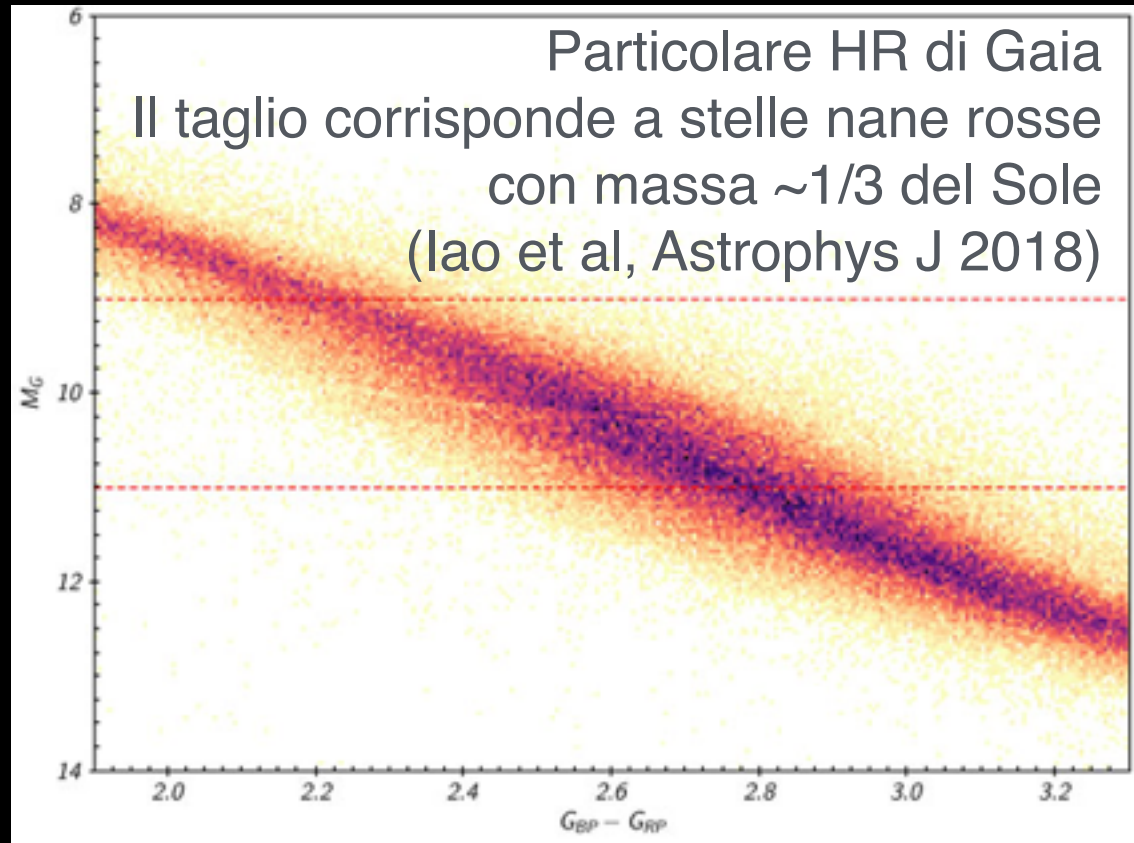
Le stelle trasformano
Idrogeno in Elio,
e invecchiano più o meno
velocemente percorrendo la
sequenza principale

Quando l'idrogeno finisce
prendono strade diverse:
quella delle giganti rosse,
dove le stelle più grandi
si gonfiano e lasciano
memoria di sé,
o quella delle nane bianche,
dove le stelle meno massicce
gradualmente scompaiono
nell'oscurità

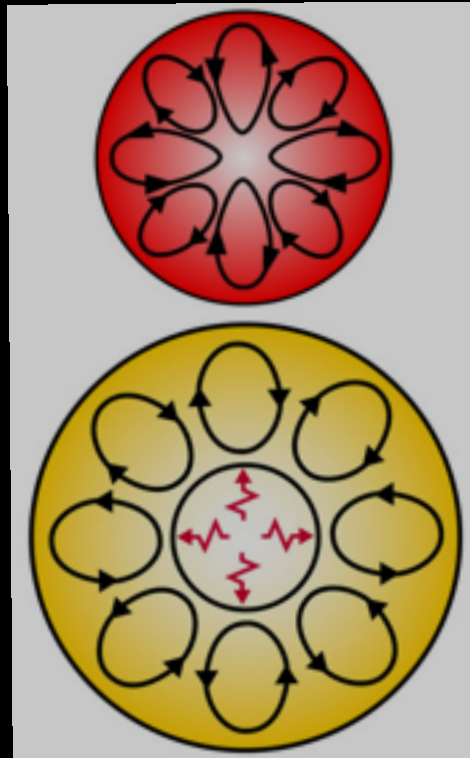


La missione Gaia rivela l'interno delle stelle

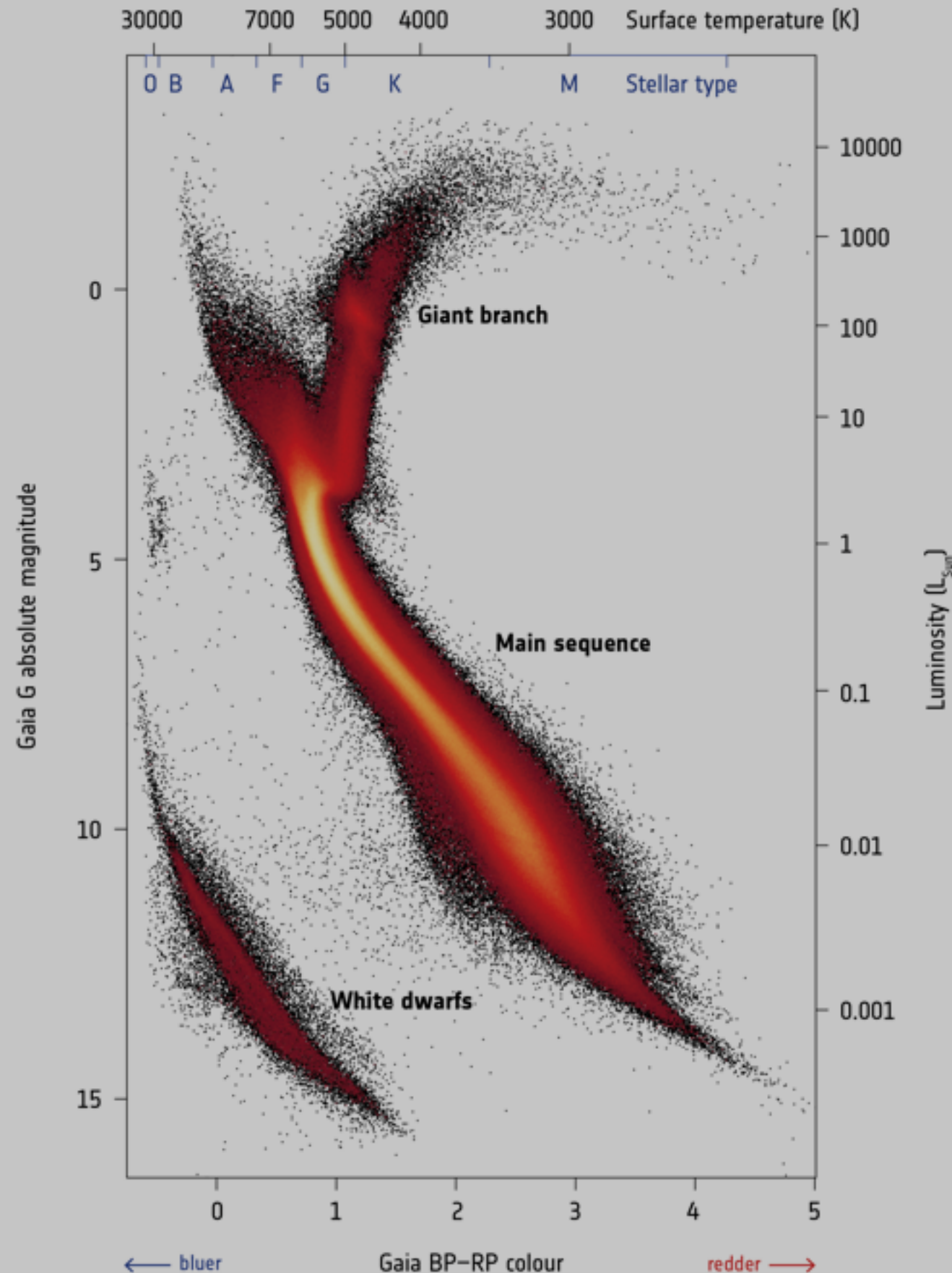
post By: Monica Young | August 6, 2018



Le stelle nane piu` piccole sono interamente convettive, con moti che rimescolano l'interno della stella. Sopra una certa massa, la pressione interna frena il rimescolamento e l'energia e` trasmessa piu` lentamente in una zona radiativa.



→ GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



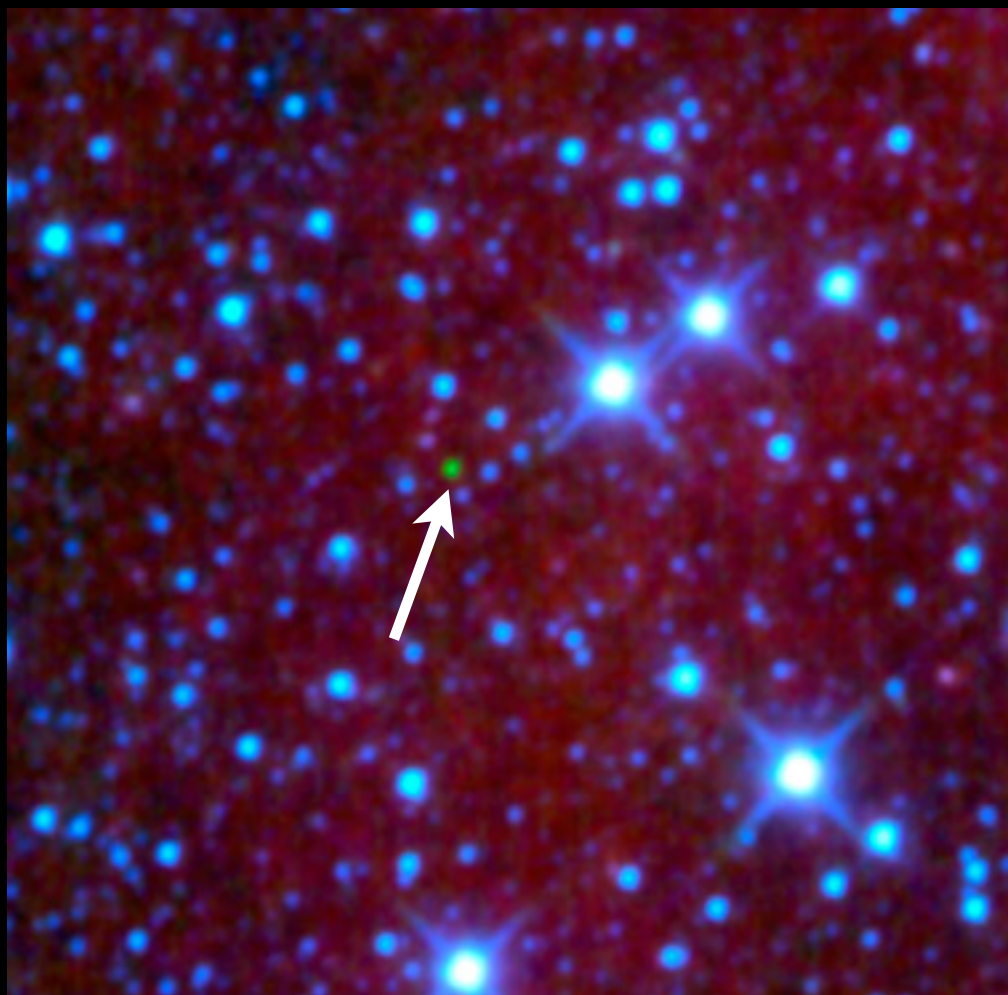
Stelle brune e

**stelle
giganti**

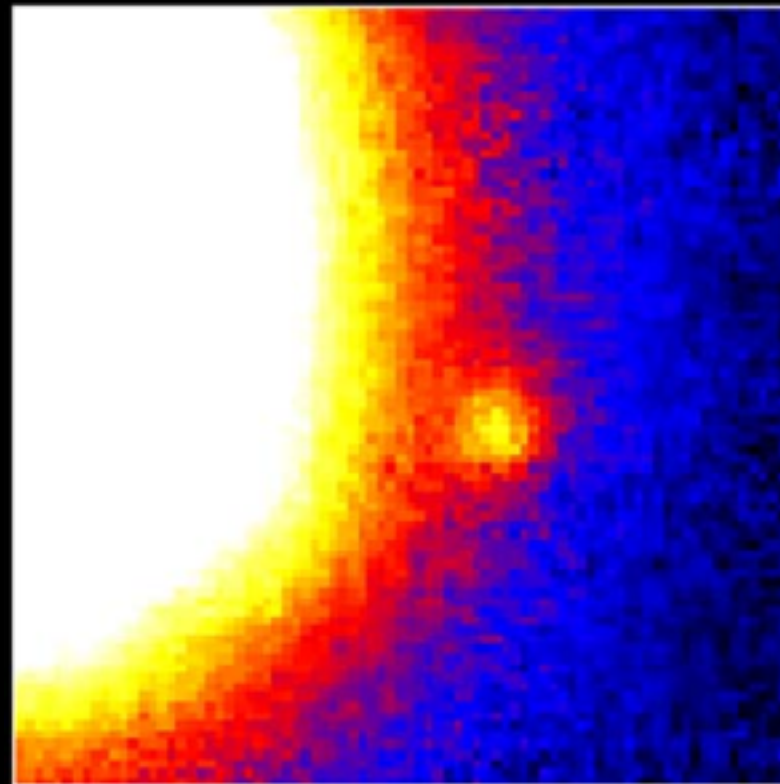


NANE BRUNE

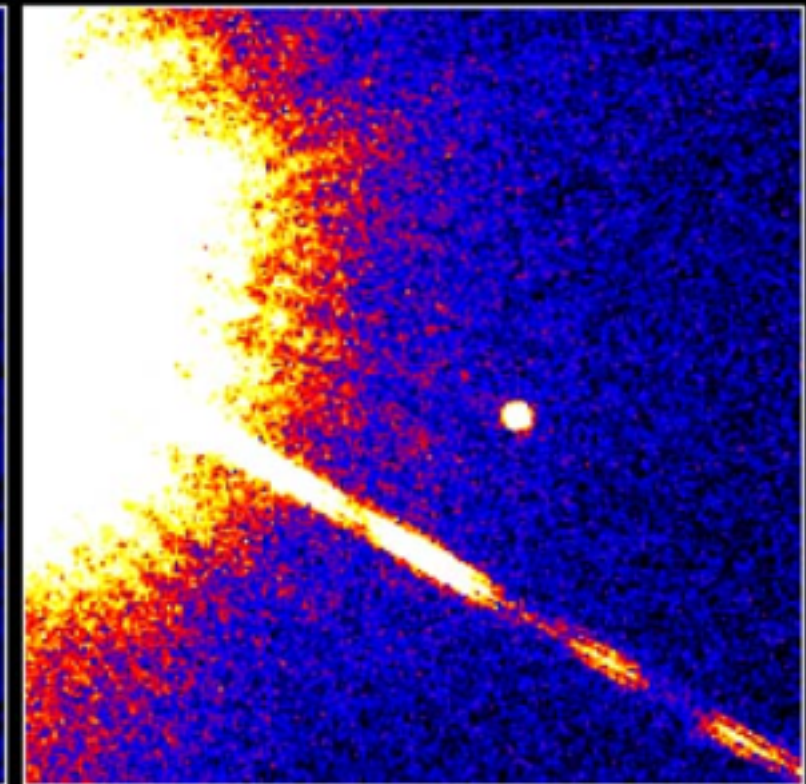
troppo piccole
per essere stelle,
grandi per essere
pianeti



Brown Dwarf Gliese 229B



Palomar Observatory
Discovery Image
October 27, 1994



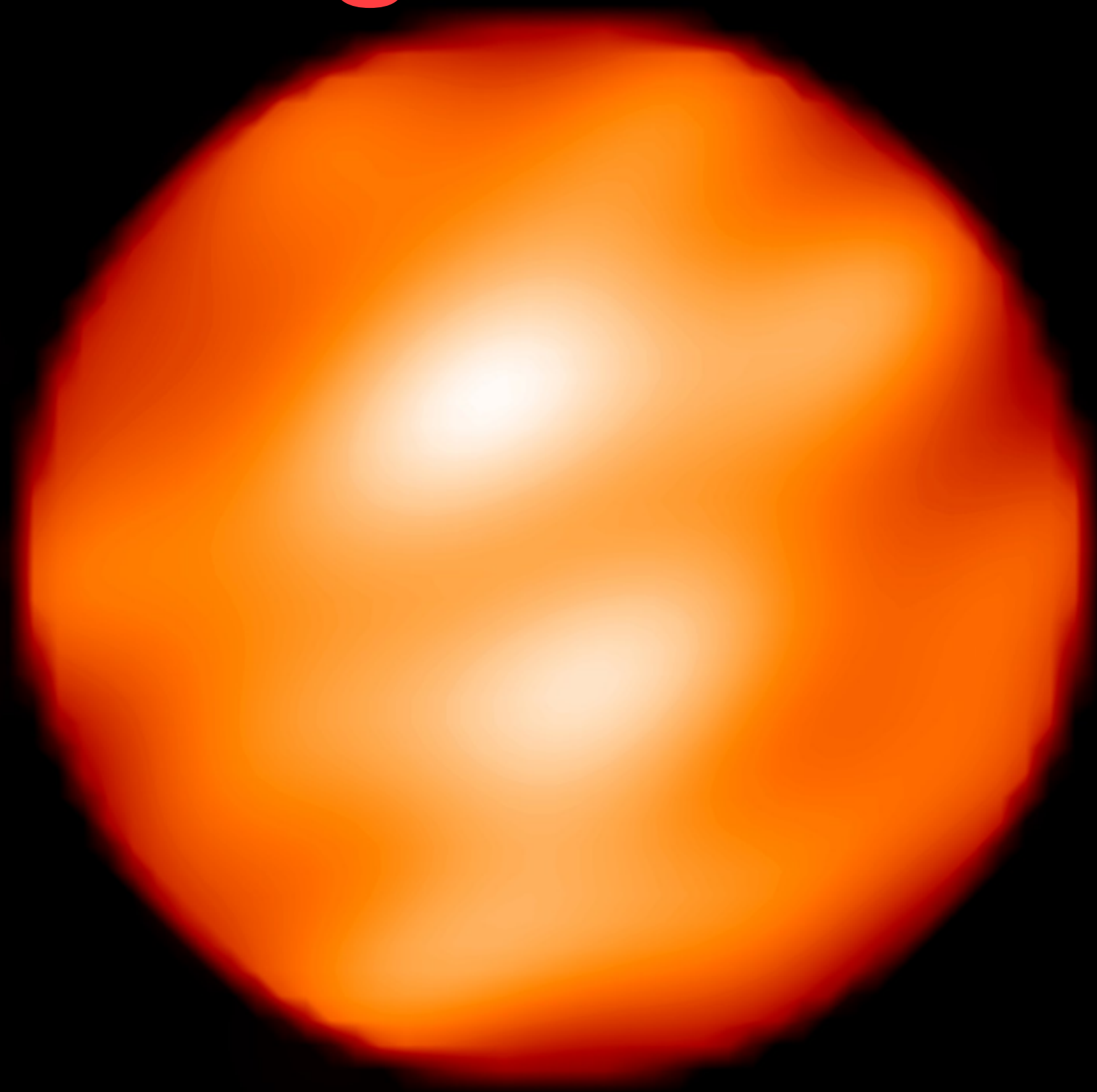
Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2
November 17, 1995

La **nana bruna Gliese 229B (sub-stella)**
accanto alla ben più luminosa **nana rossa
Gliese 229A**

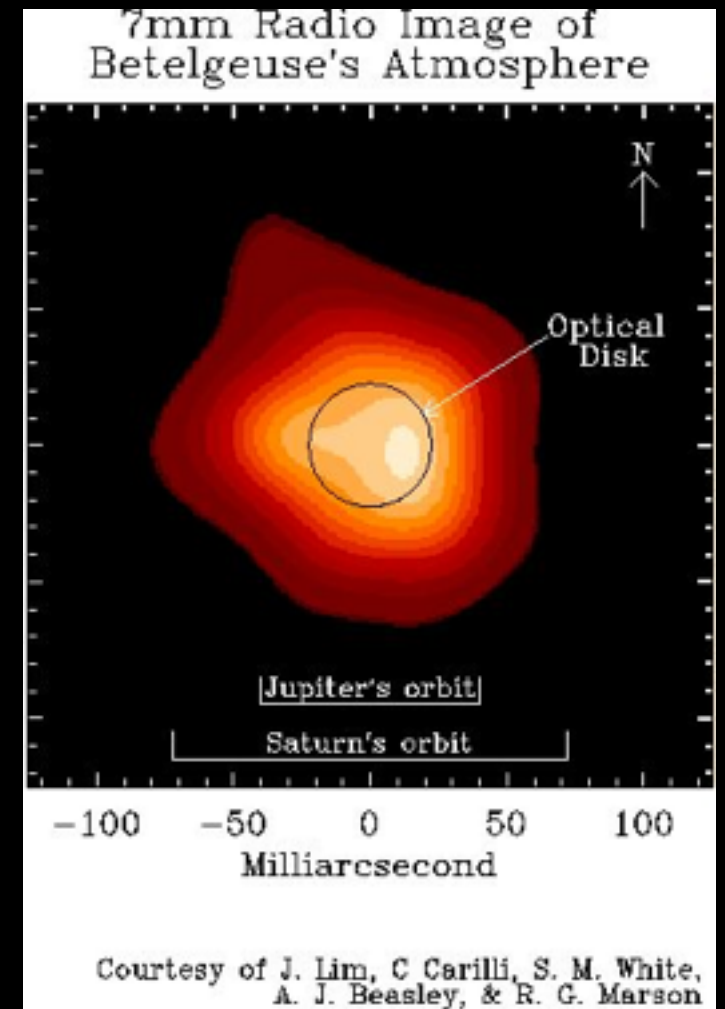
dist da Terra: 19 a.l., $m_v=32$
 $T=1000\text{K}$, $R=1/8$

Nana bruna (doppia)
scoperta nel 2011 (Keck Tel)
in Giraffa dist=36 a.l. $m_v=18,3$

Betelgeuse



10 mas



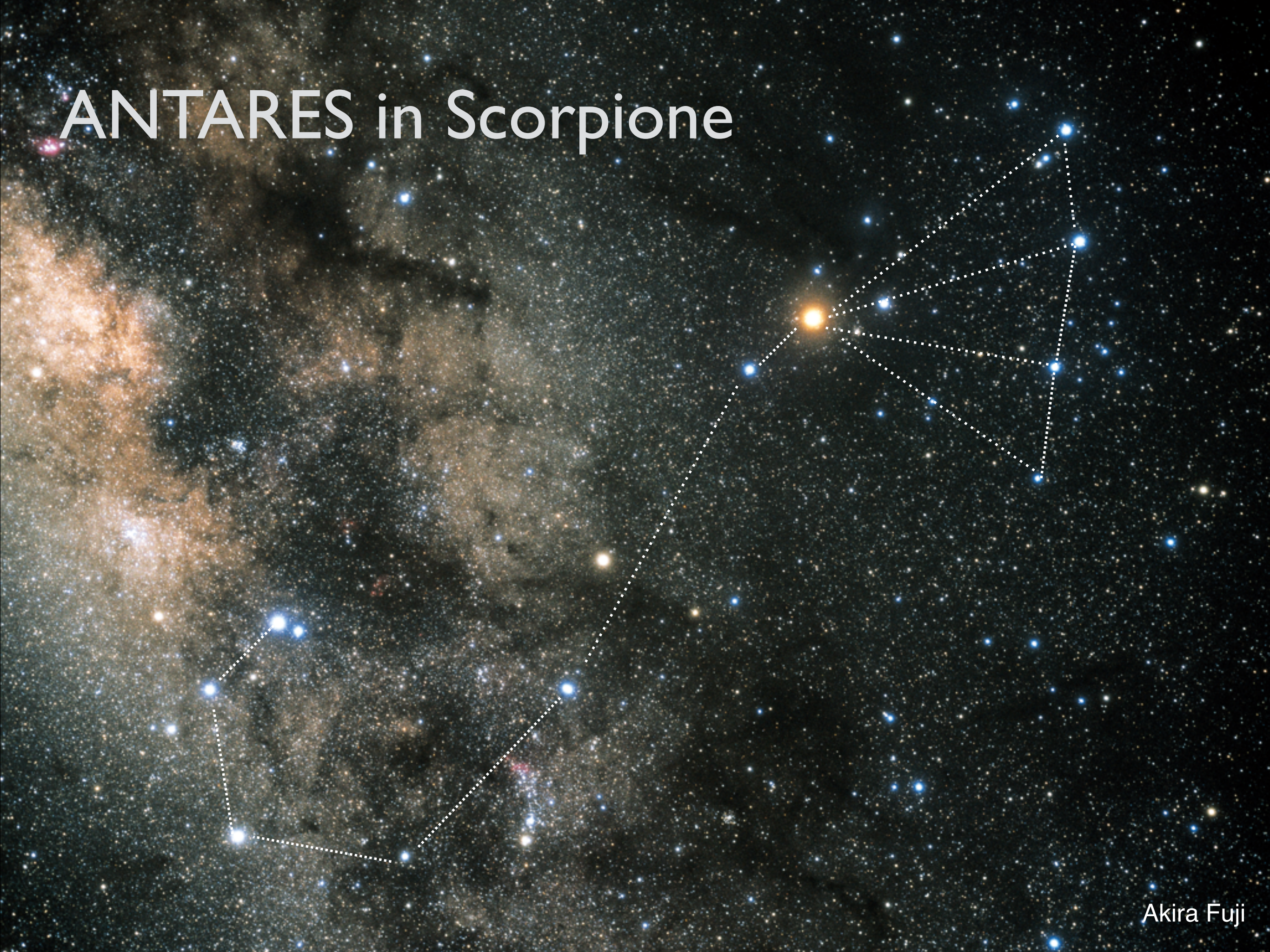
dist= 600 A.L.

Betelgeuse

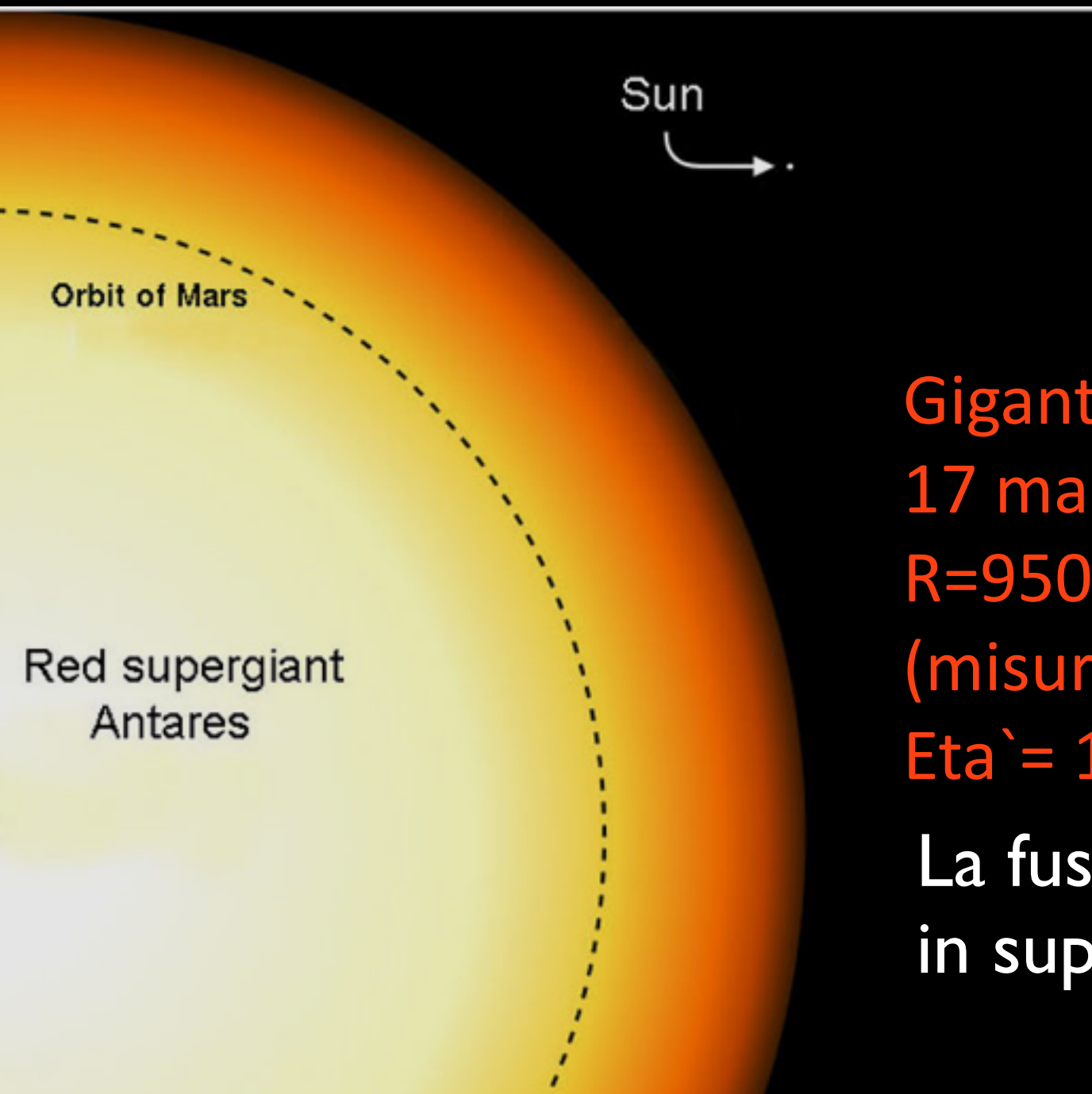


Immagine nel vicino
IR al VLT dell'ESO
con ottica adattiva.
La risoluzione
 $0''.037$ corrisponde
a una palla da tennis
sulla ISS vista da
Terra. Il campo è
circa 0.5 sec.

ANTARES in Scorpione



ANTARES



Gigante rossa
17 masse solari,
 $R=950$ raggi solari
(misurati con occultaz Luna)
Eta` = 12 milioni di anni

La fusione di H in He avviene
in superficie e gonfia la stella



M 57 (Lyra, diam=1.3 a.l. - dist=2300 a.l.)
Della stella gigante rossa rimane il nucleo nana bianca



IC 418 Spirograph Neb. (Lepus, $d=1100$ a.l., $diam=0.3$ a.l.)



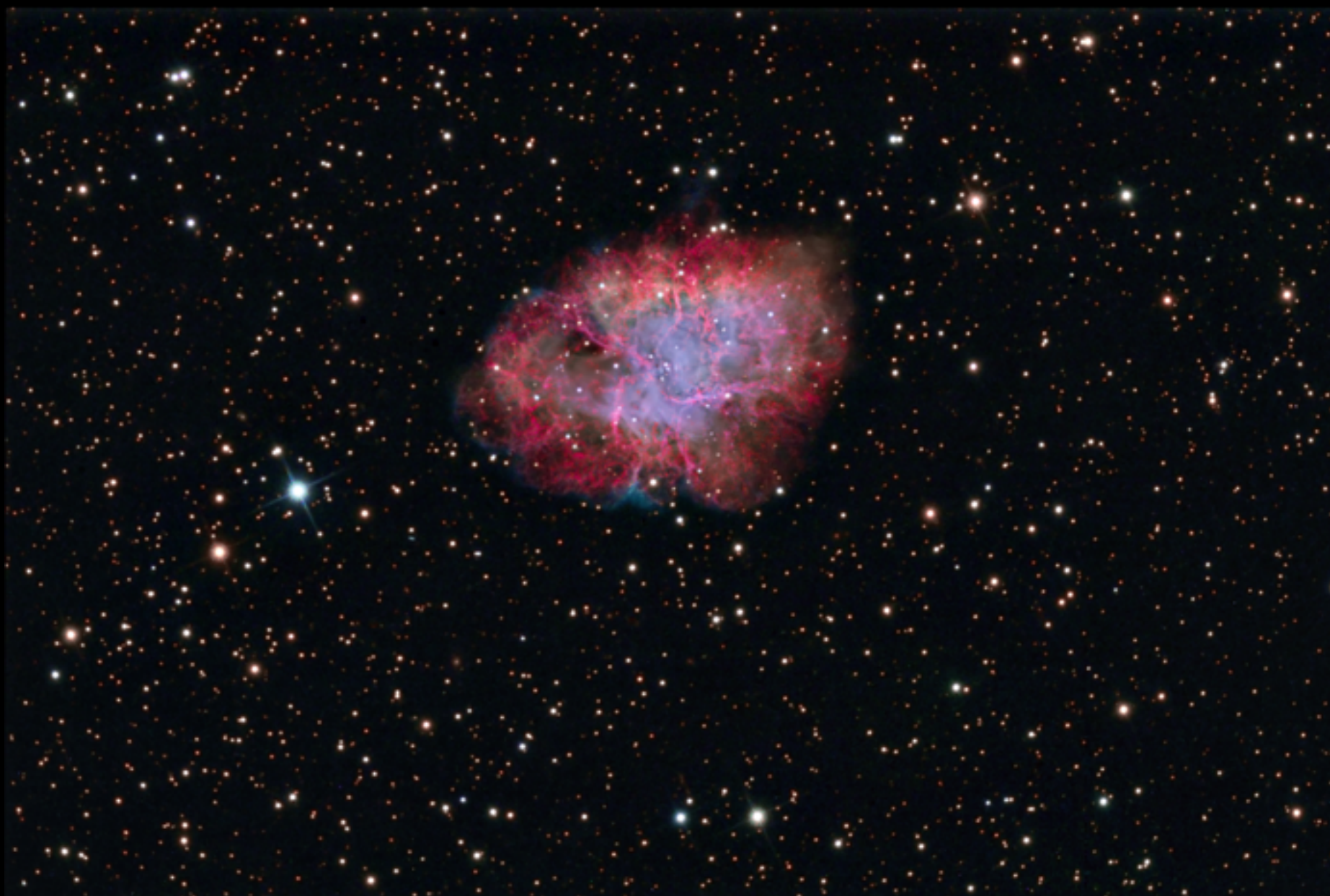
NGC 6543 Cat's Eye (Draco, $d=3000$ a.l.)
W. Herschel, W. Huggins (nebularium)



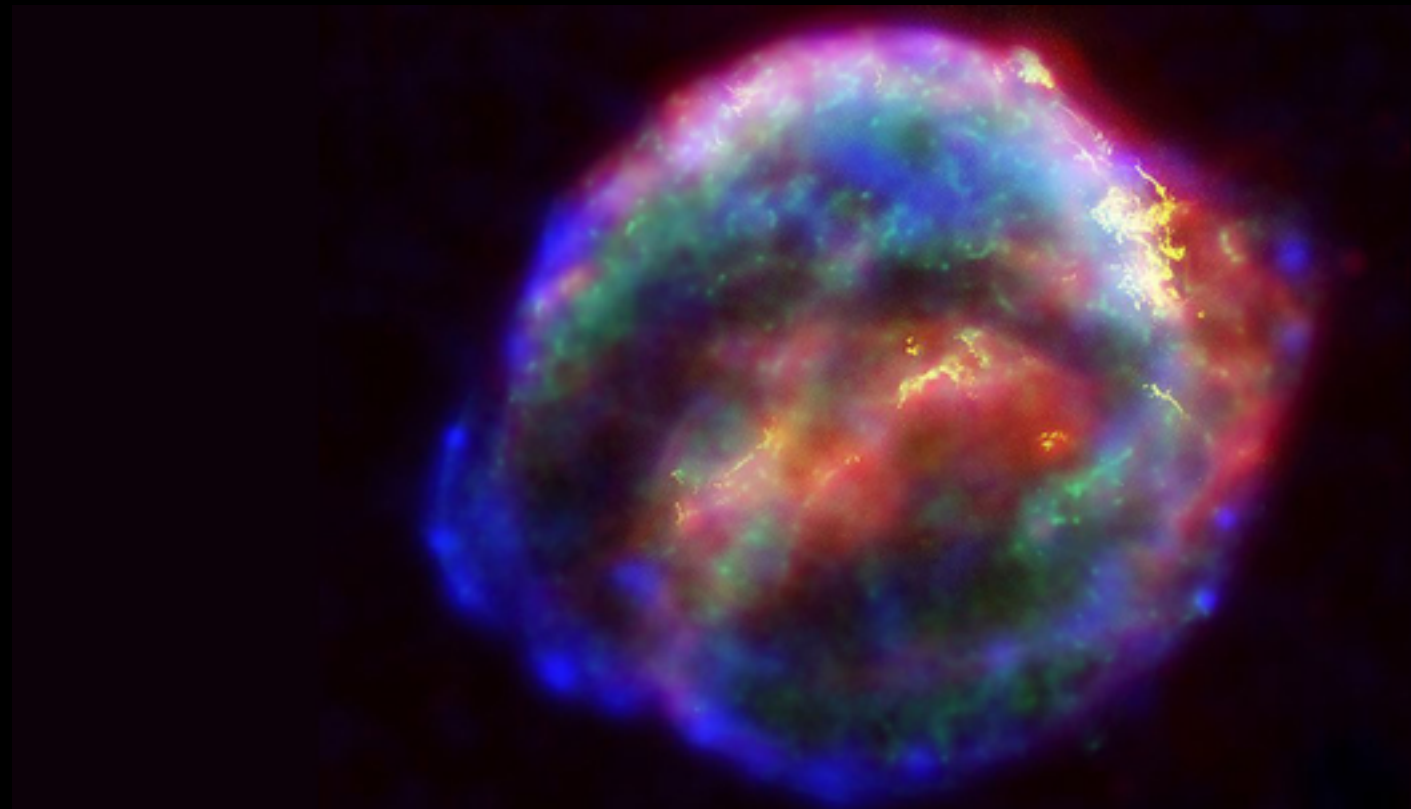
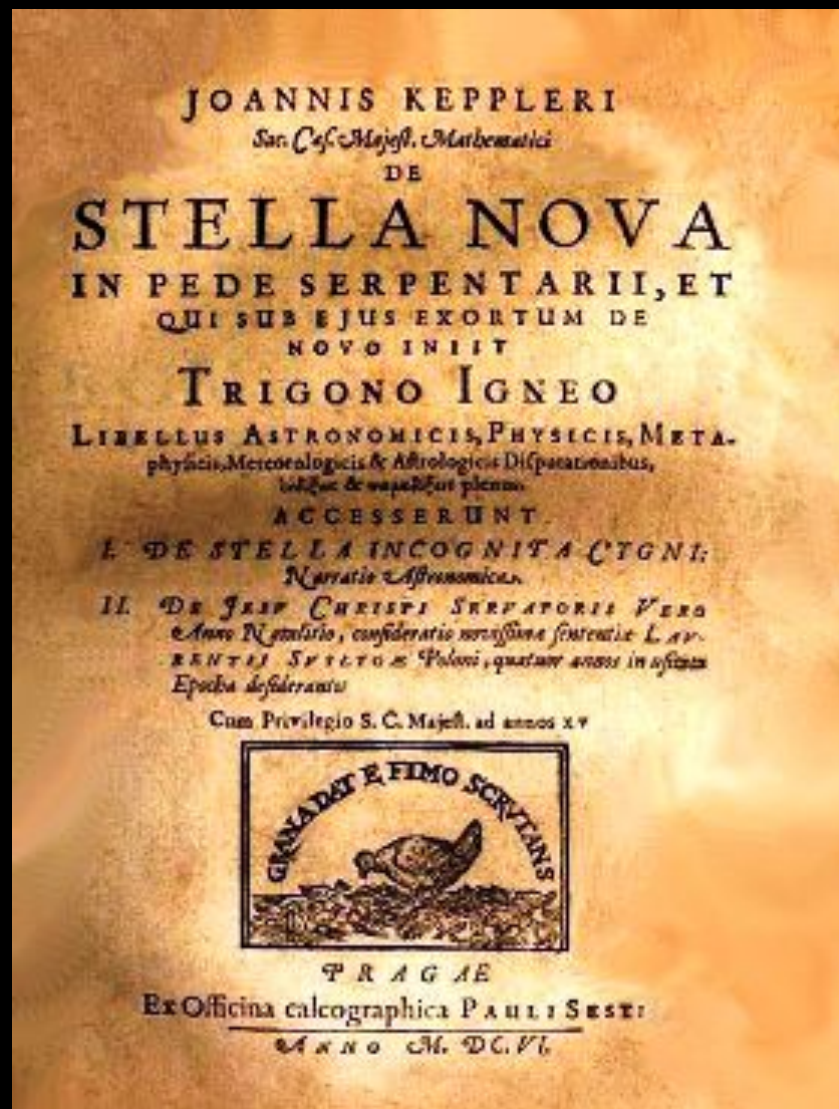
supergigante blu
M=20 masse solari.

SN 1987a

Nube di Magellano, d=168 mila a.l.



La nebulosa del granchio (anno 1054)
d=7mila a.l. Contiene la prima pulsar



La supernova di Keplero (1604)
in Ofiuco, d=20mila a.l.

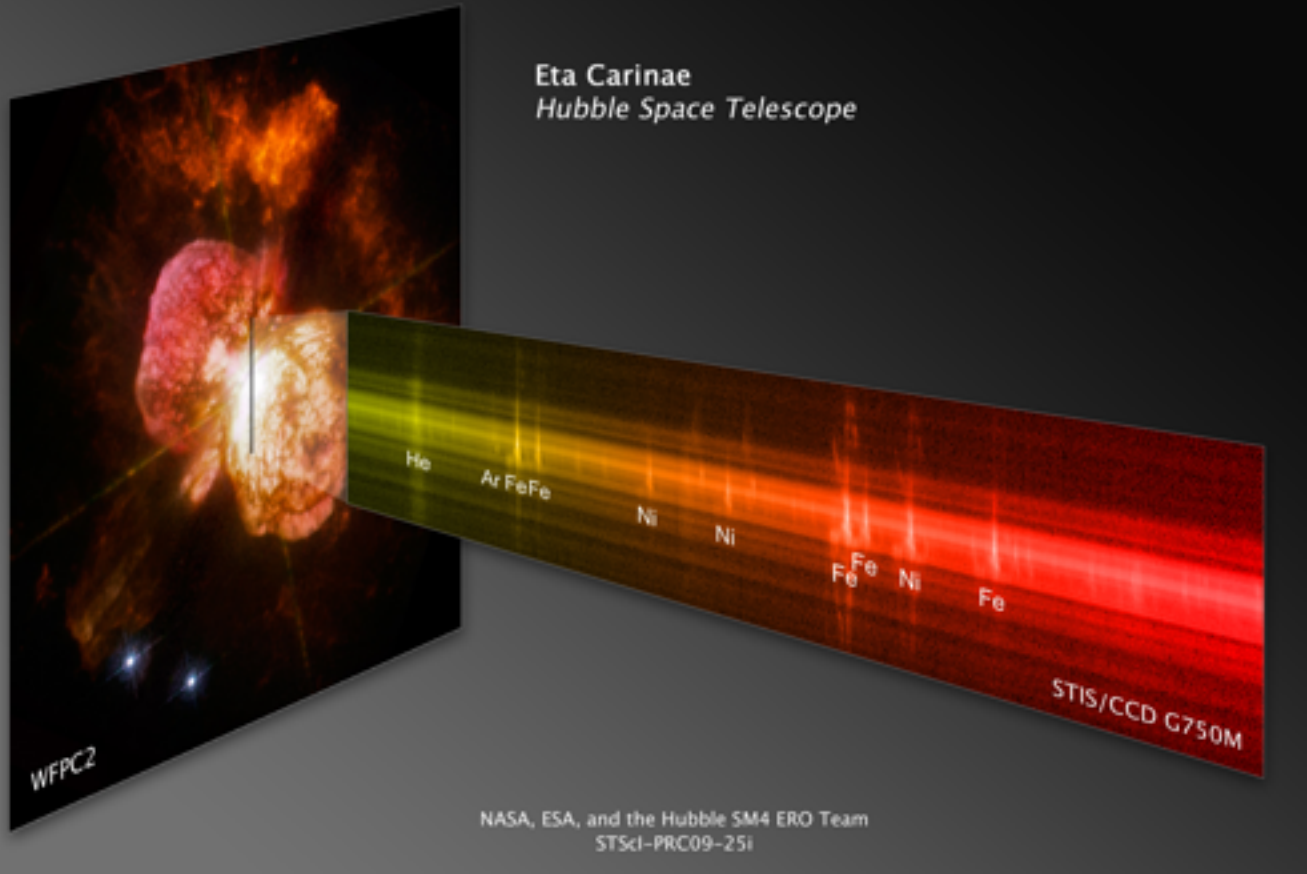


Gum nebula, Vela

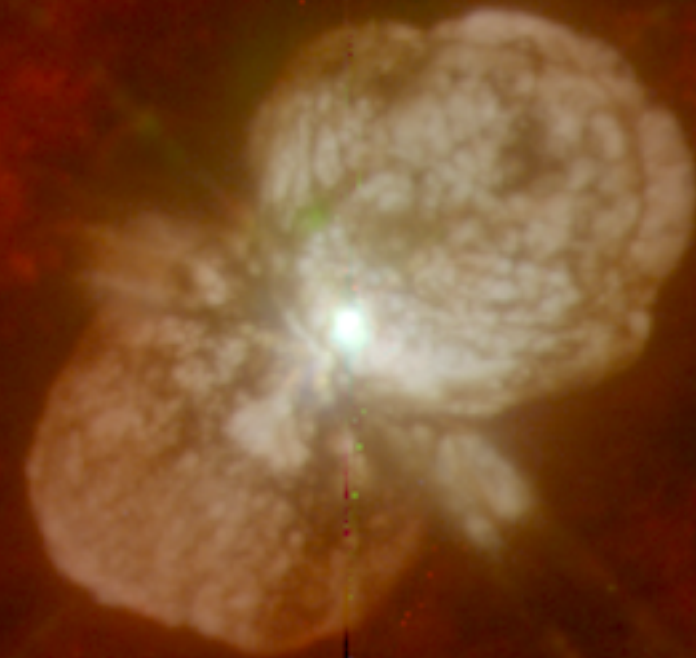
Eta Carinae

ipergigante blu

(sull'orlo della distruzione)



Massa = 150
Diam = 1150
Lum = 5 milioni
T = 40 mila K
eta` = 3 milioni anni
dist = 7500 a.l.
Nell'eruzione del 1841 non si distrusse
e fu la seconda stella del cielo





L'energia delle stelle

IL SOLE







A photograph of the Big Bear Lake Solar Telescope, a large white dome-shaped structure situated on a rocky shore next to a body of water. The background shows a forested hill under a clear sky.

Big Bear Lake Solar Telescope

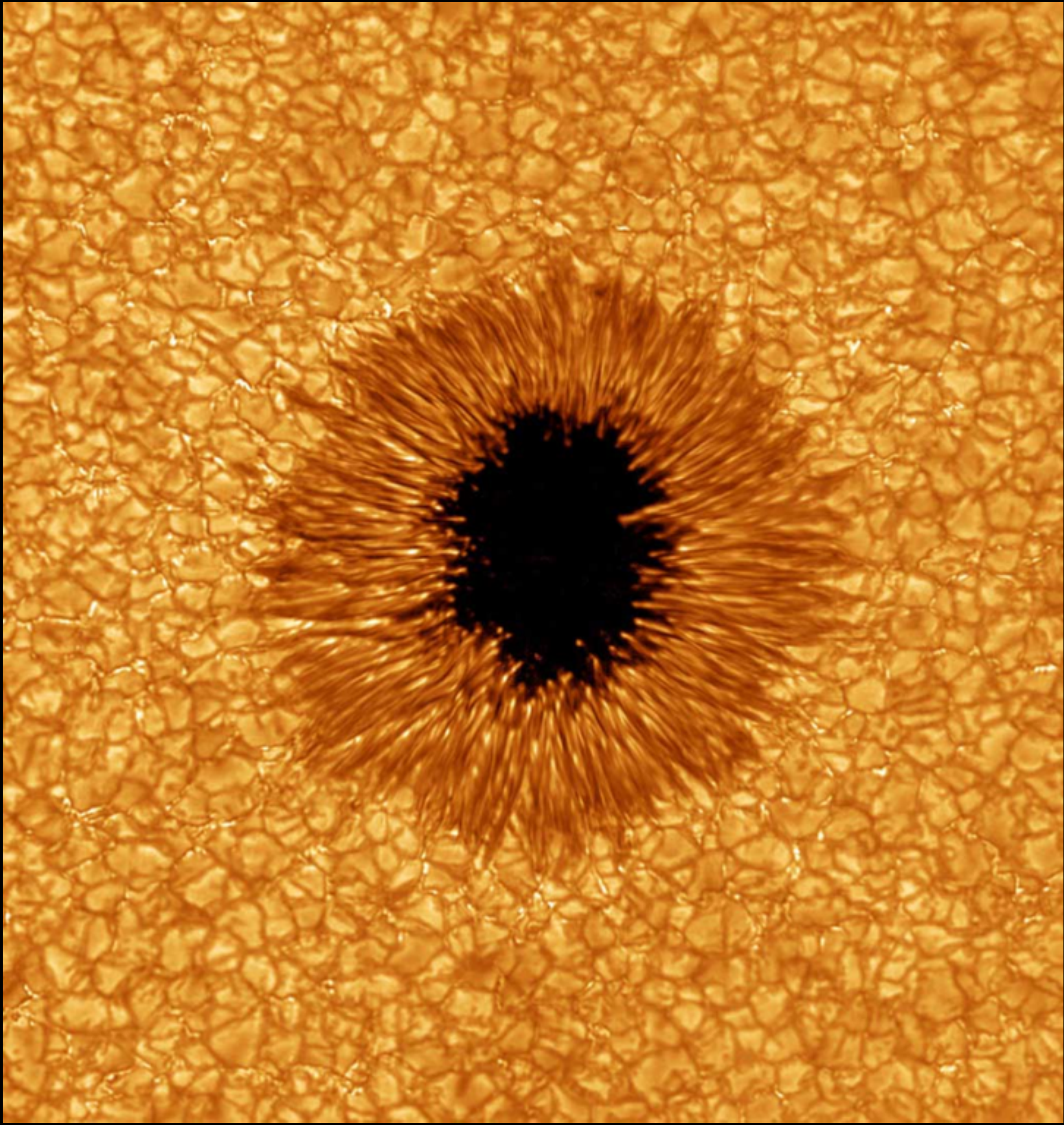
(1.6m)
Cal, 2067 s.l.



A 3D rendering of the Solar Dynamics Observatory (SDO) in space. The satellite is shown with its solar panels deployed, orbiting Earth. The sun is visible in the background, creating a bright glare.

Solar Dynamics Observatory

dal 2010, orbita geosincrona
h=35mila km



Ogni metro quadrato della Terra
riceve circa 1,4 KW di energia
(la costante solare)

In tutto lo spazio la potenza emessa
dal Sole è

$3.8 \times 10^{17} \text{ GW}$
 $= 4,2 \times 10^6 \text{ tonn/s}$
 $= 1,8 \text{ miliardi di bombe Tsar}$



La diga delle Tre Gole
(Fiume Azzurro, Cina)
22 GW - l'impianto di
energia più potente
nel mondo.

Furono evacuati
1,4 milioni di abitanti

1961 LA BOMBA TZAR

50 Megaton (3mila volte la bomba di Hiroshima)



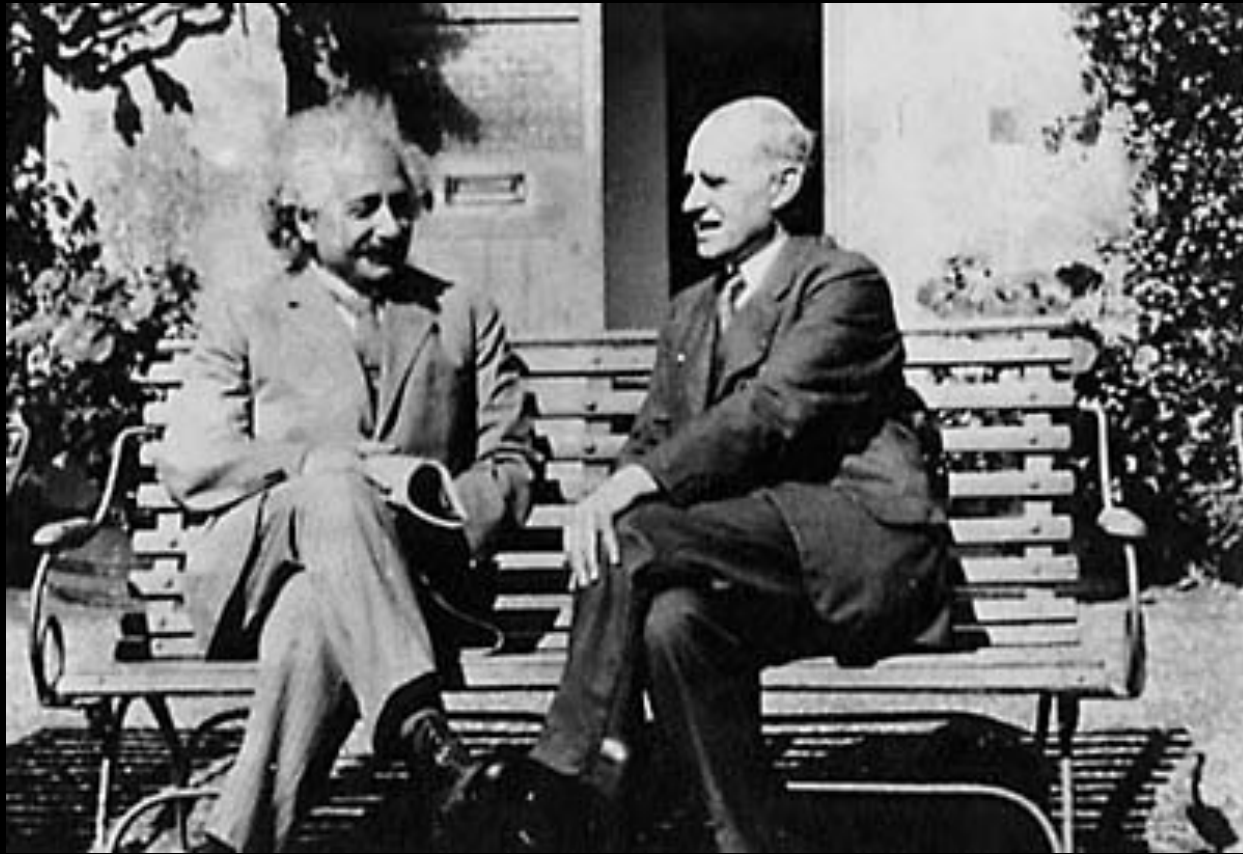
Il fungo raggiunse i 64 km di altezza
il lampo fu visto fino a mille km
distruzione totale nel raggio di 35 km



LORD KELVIN : il Sole si raffredda gradualmente irraggiando l'energia per contrazione gravitazionale, ma non vivrebbe abbastanza, contro i 300 milioni di anni della Terra, suggeriti dalle scoperte di geologiche del tempo.

Se i 2×10^{33} grammi del Sole fossero carbone,
il Sole vivrebbe 63 mila anni

Se l'energia emessa fosse da contrazione gravitazionale
il Sole vivrebbe 20 milioni di anni



1905, ALBERT EINSTEIN:
equivalenza massa - energia $E=mc^2$

1920, ARTHUR EDDINGTON:
la pressione e la temperatura nel
nucleo del Sole possono dare luogo
alla fusione nucleare di H in He, in
cui la differenza di massa e' emessa
come energia, ma non aveva minima
idea di come cio' potesse avvenire

Massa(4p) = 6.694×10^{-24} grammi

Massa(He) = 6.646×10^{-24} grammi

convertendo in energia 4.3 milioni di tonn/s di idrogeno

si produce la luminosita' del Sole

Il rompicapo di Eddington era come fosse possibile che 4
protoni and 2 elettroni si scontrassero simultaneamente
per formare un nucleo di Elio, rilasciando energia ??

La scoperta del neutrone (1932)

congresso Solvay 1933, Bruxelles

Chadwick (allievo di Rutherford) studio' nel lab. Cavendish a Cambridge i raggi emessi dal Berillio sottoposto alla radioattivit  del Polonio (noti a Joliot e Curie).

Dimostro' che sono particelle neutre e penetranti, con massa molto simile al protone.



Photo Benjamin Coupris

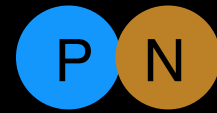
29, avenue Louise

H. A. KRAMERS			H. F. MOTT			G. GAMOW			P. BLACKETT			M. COBYNS			Aug. PICCARD														
E. STAHEL			P. A. M. DIRAC			J. ERRERA			O. D. ELLIS			E. O. LAWRENCE																	
E. HENRIOT			F. JOLIOT W. HEISENBERG			E. T. S. WALTON			P. DEBYE			B. CARRERA			W. BOTHE			Ed. BAUER			J. E. VERSCHAFFELT			J. D. COCKROFT			L. ROSENFELD		
F. PERRIN			E. FERMI			M. S. ROSENBLUM			W. PAULI			E. HERZEN			R. PEIERLS														
E. SCHRÖDINGER			M ^{me} I. JOLIOT			M. BOHR			A. JOFFÉ			M ^{me} CURIE			O. W. RICHARDSON			Lord RUTHERFORD			M. de BROGLIE			M ^{lle} L. MEITNER			J. CHADWICK		
															P. LANGEVIN			Th. DE DONDER			L. de BROGLIE								

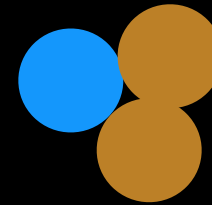
Absents : A. EINSTEIN et Ch.-Eug. GUYE



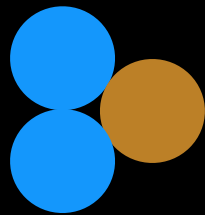
IDROGENO



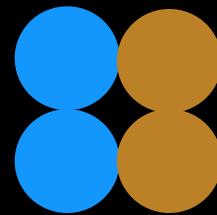
DEUTERIO



TRIZIO



ELIO 3



ELIO 4

ELIO

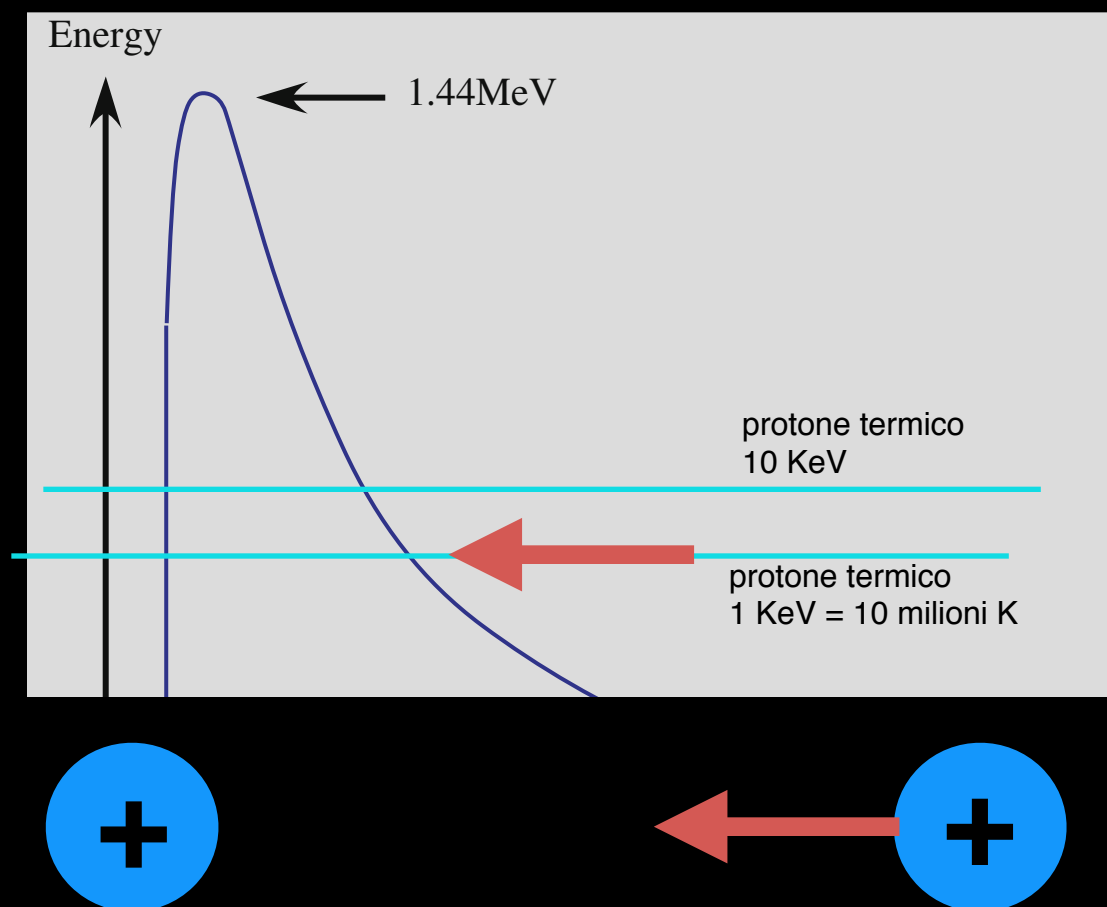
Il nucleo atomico e` una buca dove forze a breve raggio tengono insieme protoni e neutroni.

Aggiungendo o togliendo P si passa da un elemento chimico a un altro.

Aggiungendo o togliendo N si passa a un isotopo pesante o piu` leggero.

COME PORTARE UN PROTONE NELLA BUCA DI UN ALTRO PROTONE ?

10 milioni di gradi + effetto tunnel !



La barriera elettrostatica repulsiva tra 2 protoni. Il picco della barriera è 1440 volte l'energia dei protoni termici nel Sole

ALLA CATTURA (EVENTO RARISSIMO)
I DUE STANNO INSIEME SE UN
PROTONE SI TRASFORMA IN
NEUTRONE (EVENTO RARISSIMO)

$P+N = \text{DEUTERIO}$

Cecilia Payne-Gaposchkin

(1900-1979)

Astrophysicist

Cecilia Payne-Gaposchkin studied at Cambridge, but was denied a degree because it didn't grant them to women until 1948. She pursued a PhD in the United States, and in her thesis showed the sun is made mostly of hydrogen and helium. It has been called "the most brilliant PhD thesis ever written in astronomy."



CECILIA PAYNE-GAPOSCHKIN

dimostro' che le stelle sono
composte principalmente da H e He

HANS BETHE

Nobel 1967

Fu allievo di Arnold Sommerfeld, col quale collaborò per la teoria dei metalli.

Fu tra i fondatori della fisica nucleare (la bibbia di Bethe) e rimase attivo fino alla fine.

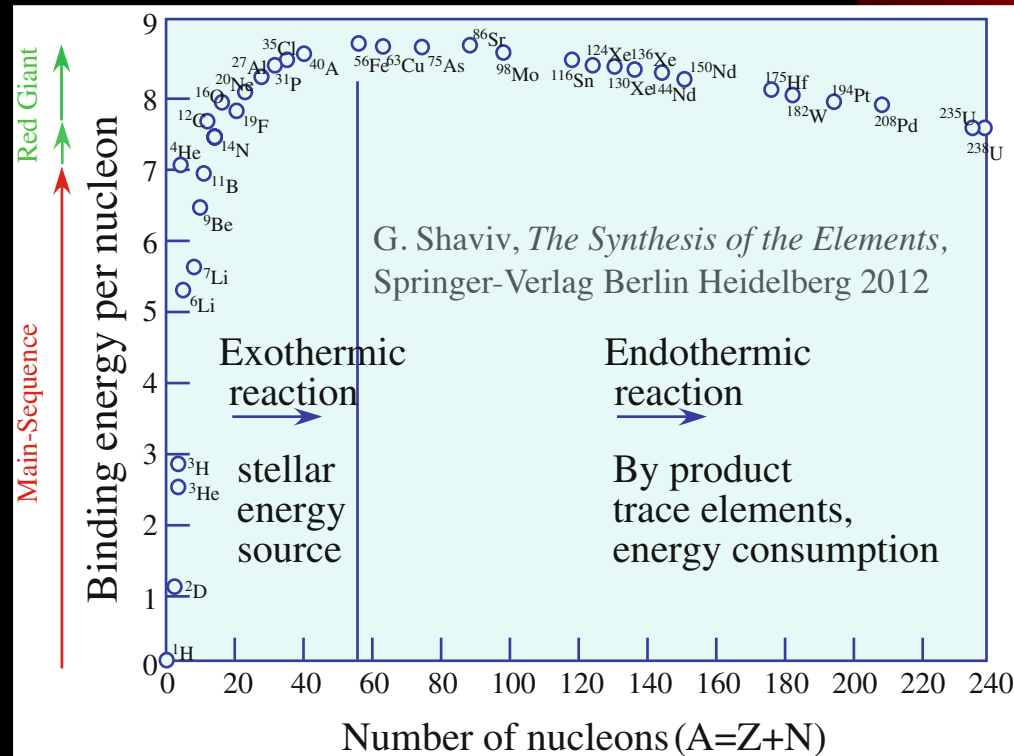
Nel 1938, partecipò a una conferenza dedicata al problema dell'energia delle stelle.

Gamow e von Weizsäcker avevano proposto una reazione di fusione di idrogeno in deuterio. Poco dopo **Bethe e Critchfield** calcolarono le varie reazioni che spiegano perché brilla il Sole.



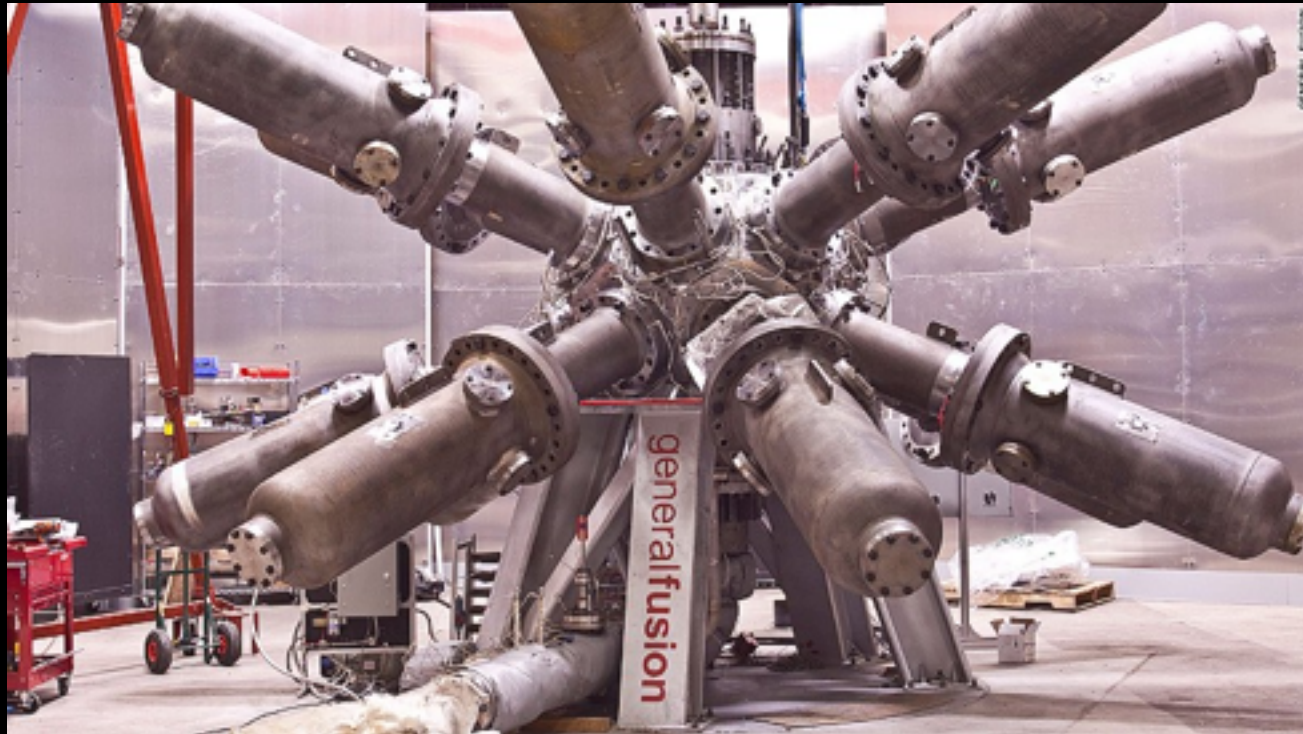
(Strasburgo 1906 - Ithaca 2005)

LE STELLE SONO SERBATOI DI ENERGIA
E LABORATORI DELL'UNIVERSO
DOVE VIENE COSTRUITA NEI MILIONI DI ANNI
LA TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI
FINO AL FERRO, $P+N = 56$



AGLI ELEMENTI PESANTI PROVVEDONO
ANCORA LE STELLE GIGANTI,
NELLA DEFLAGRAZIONE FINALE



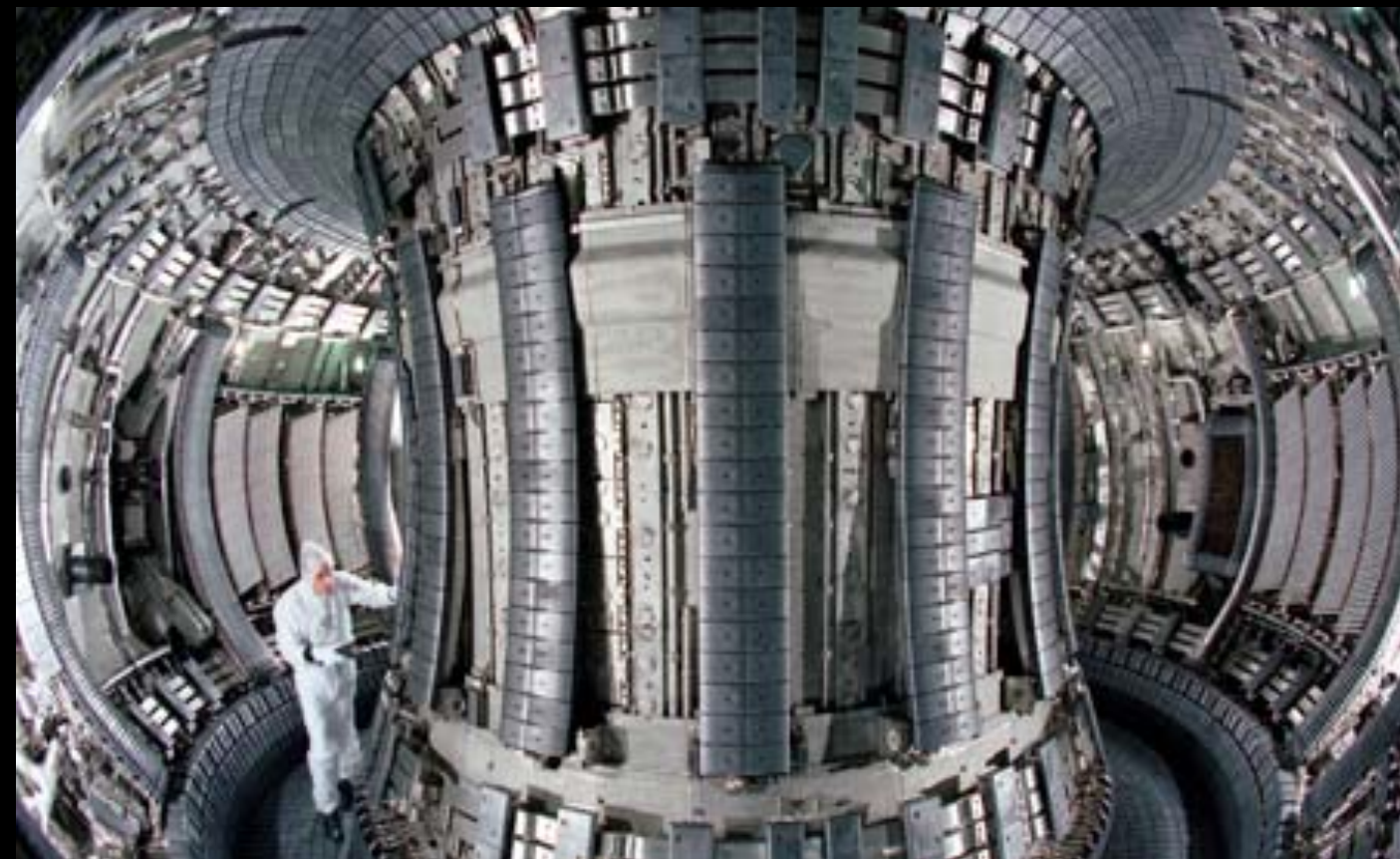
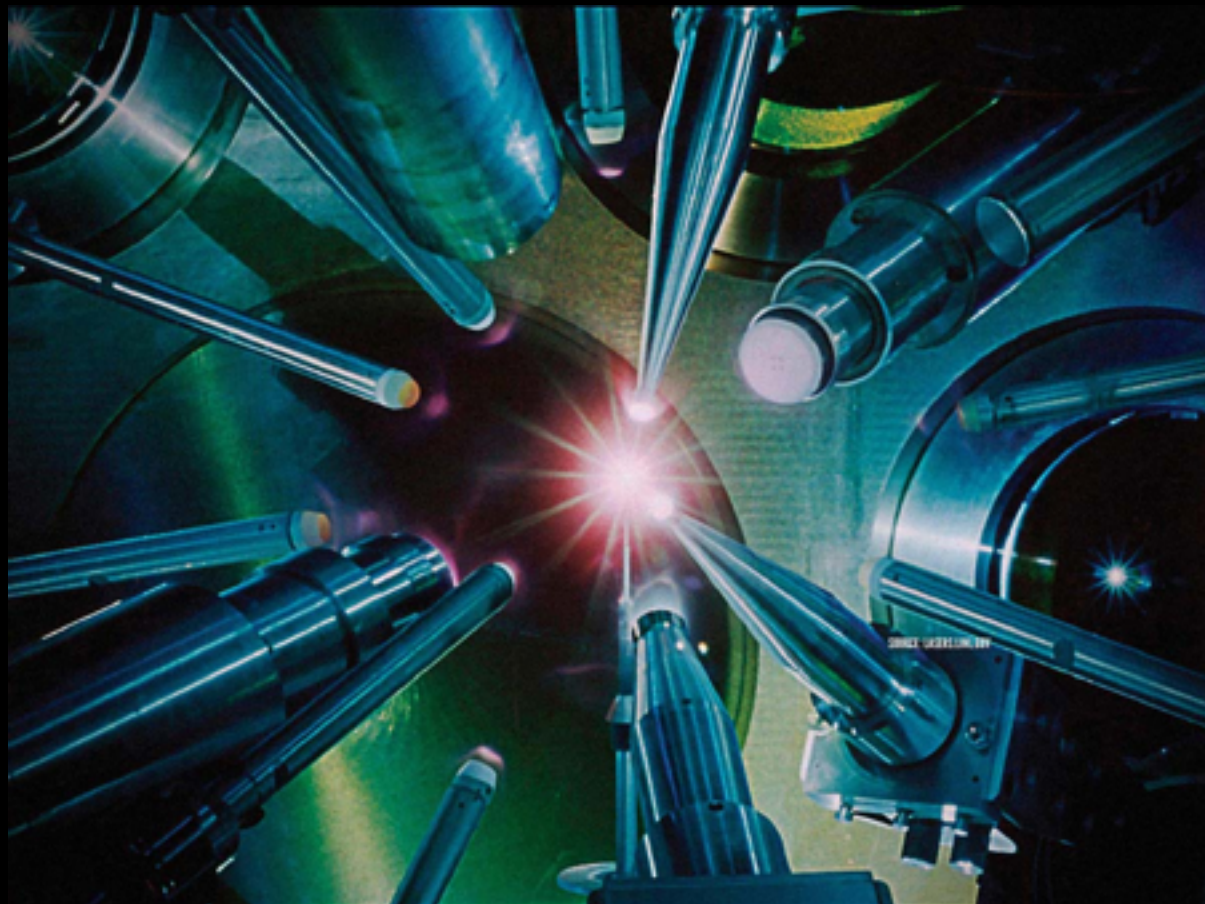


Pistoni giganti o fasci laser per produrre onde d'urto su una capsula di Idrogeno.



Taylor Wilson (nato 1994)

Tokamak

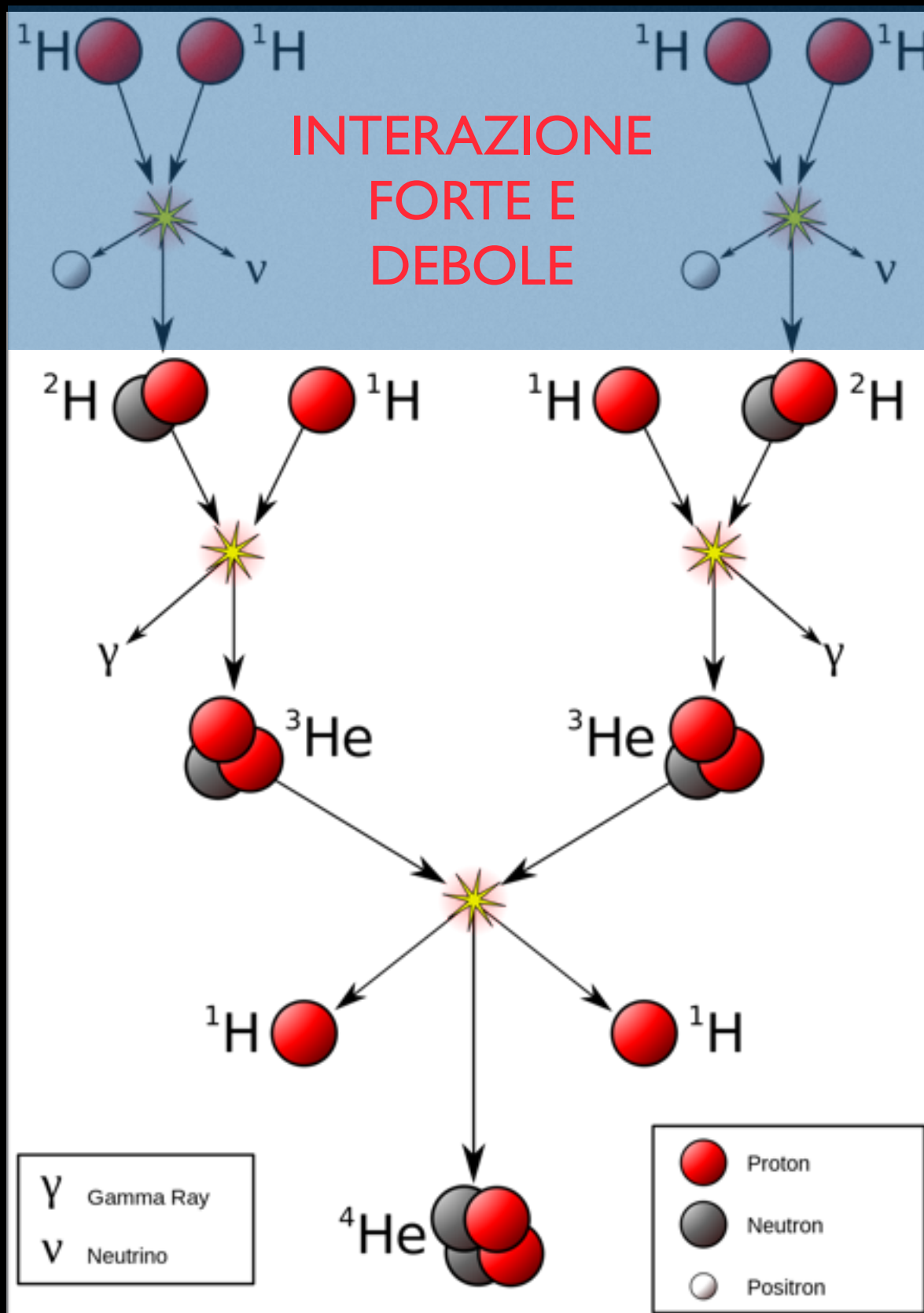


La fusione nucleare

4 protoni (pppp)
= **1 atomo He ppnn**
+ 2 positroni
+ 2 neutrini
+ **26.7 MeV**

Per vincere la repulsione
p-p e' necessaria una
elevata temp: $T > 10^7$ K

Il processo si autocontrolla
(pressione-gravita')





reazione rarissima: tempo medio 7 miliardi di anni

Il Deuterio cattura con un protone per produrre ^3He :



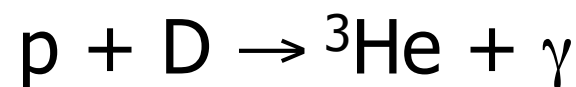
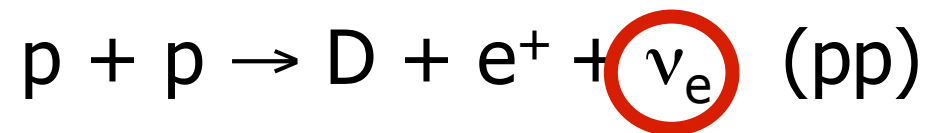
Nel Sole il 91% della produzione di Elio-4 viene dalla fusione di due nuclei di Elio-3



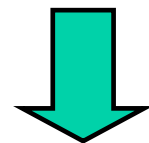
La catena completa rilascia 26,73 MeV

Altri processi sono piu` rari, e sono favoriti da T piu` elevate.

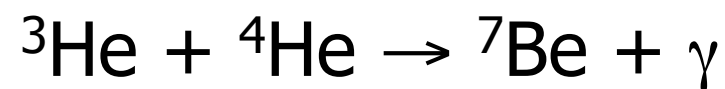
I neutrini solari: reazione di fusione



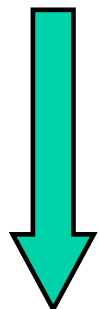
14%



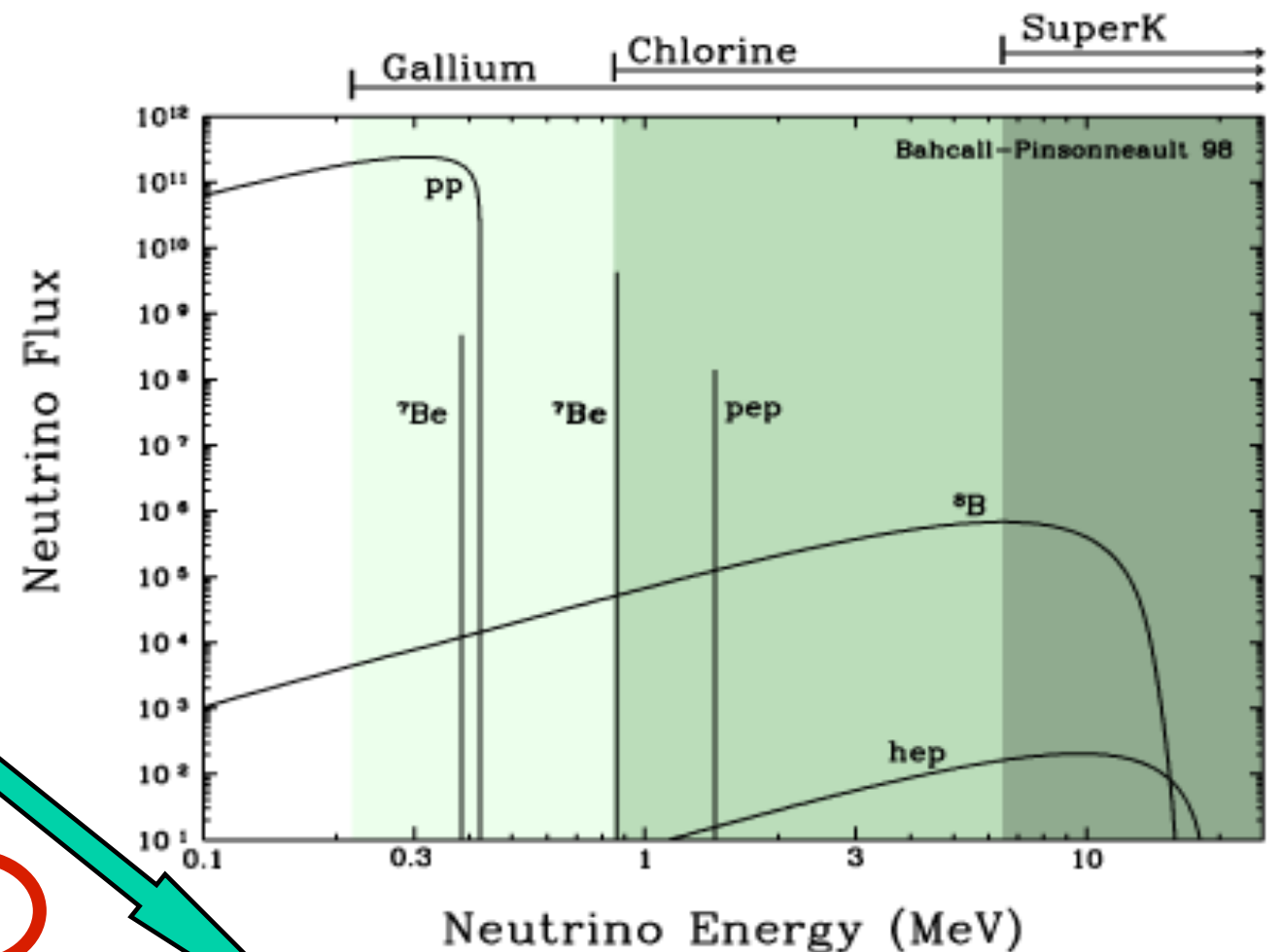
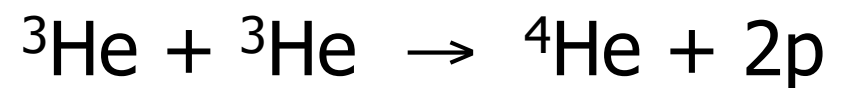
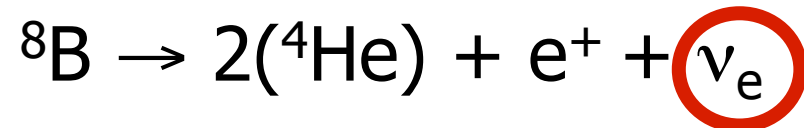
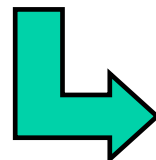
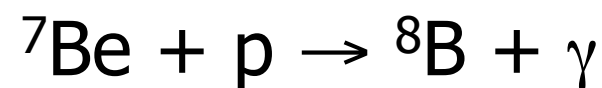
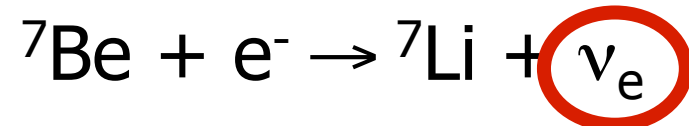
86%



99 %

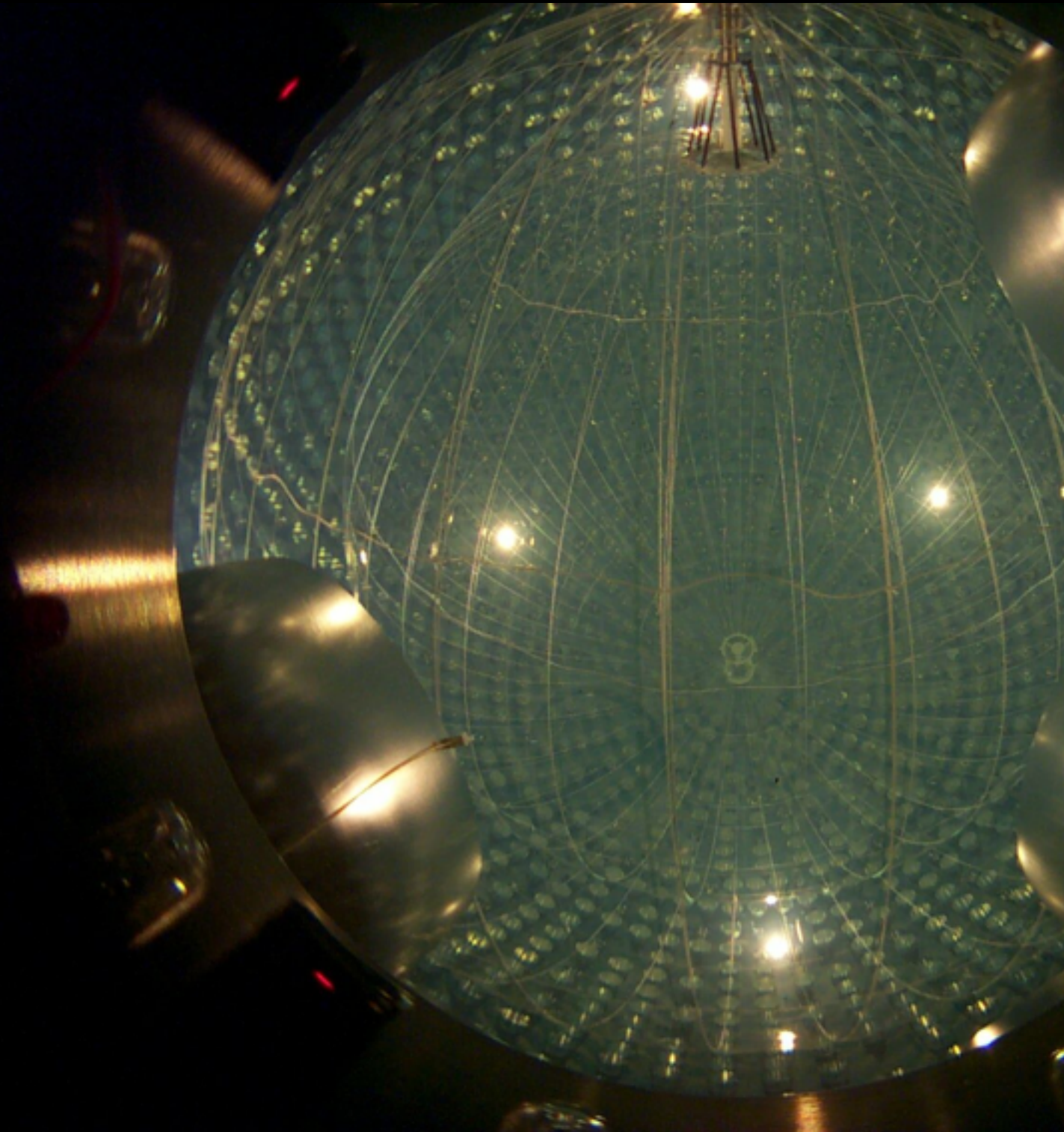


0.1%



$$\Phi = 6.57 \cdot 10^{11} \nu_e / \text{cm}^2 / \text{s}$$

BOREXINO



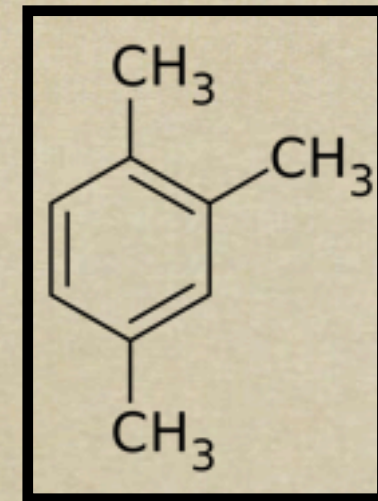
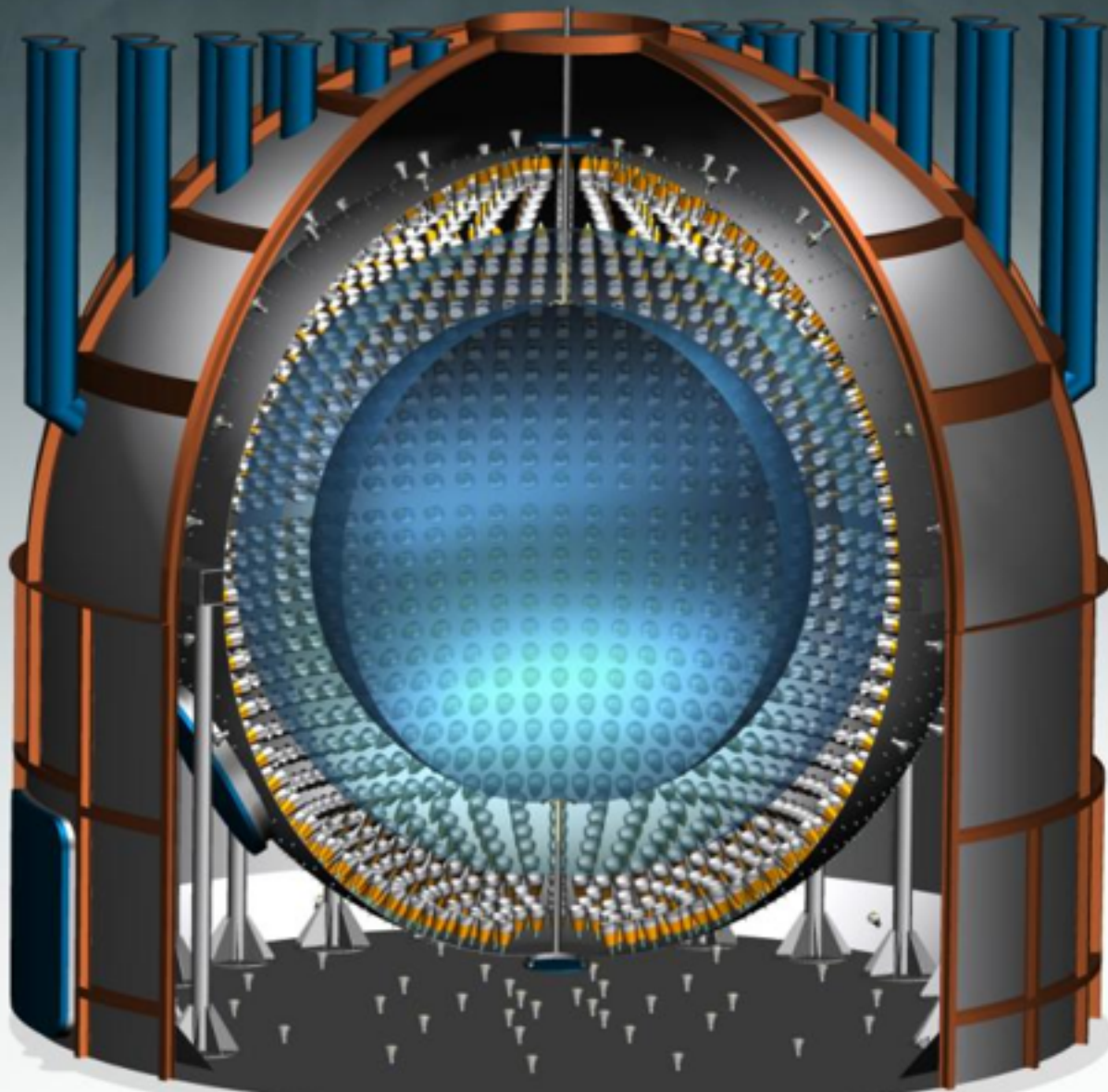
In Borexino si ha la compensazione tra un numero piccolissimo **la sezione d'urto = 10^{-46} cm^2** e uno grande: **il flusso di neutrini solari = $6 \times 10^{10} \text{ cm}^2/\text{s}$** risultando in un numero ancora piccolo: **$\sim 10^{-36}$ interaz./s per bersaglio**

In Borexino, vi sono 1300 tonnellate di scintillatore liquido = **10^{30} bersagli** e 2400 tonn di acqua.

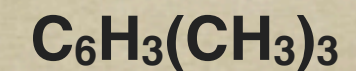
Uno scintillatore emette luce quando è attraversato da una particella carica. Gli elettroni dello scintillatore sono i bersagli dei neutrini. Nelle collisioni, prendono energia ed emettono luce nel materiale scintillatore. Il lampo di luce è rivelato da 2200 fotomoltiplicatori: la firma inequivocabile del passaggio di un neutrino.

Borexino Experiment

Laboratori Nazionali del Gran Sasso



1,2,4-trimetilbenzene

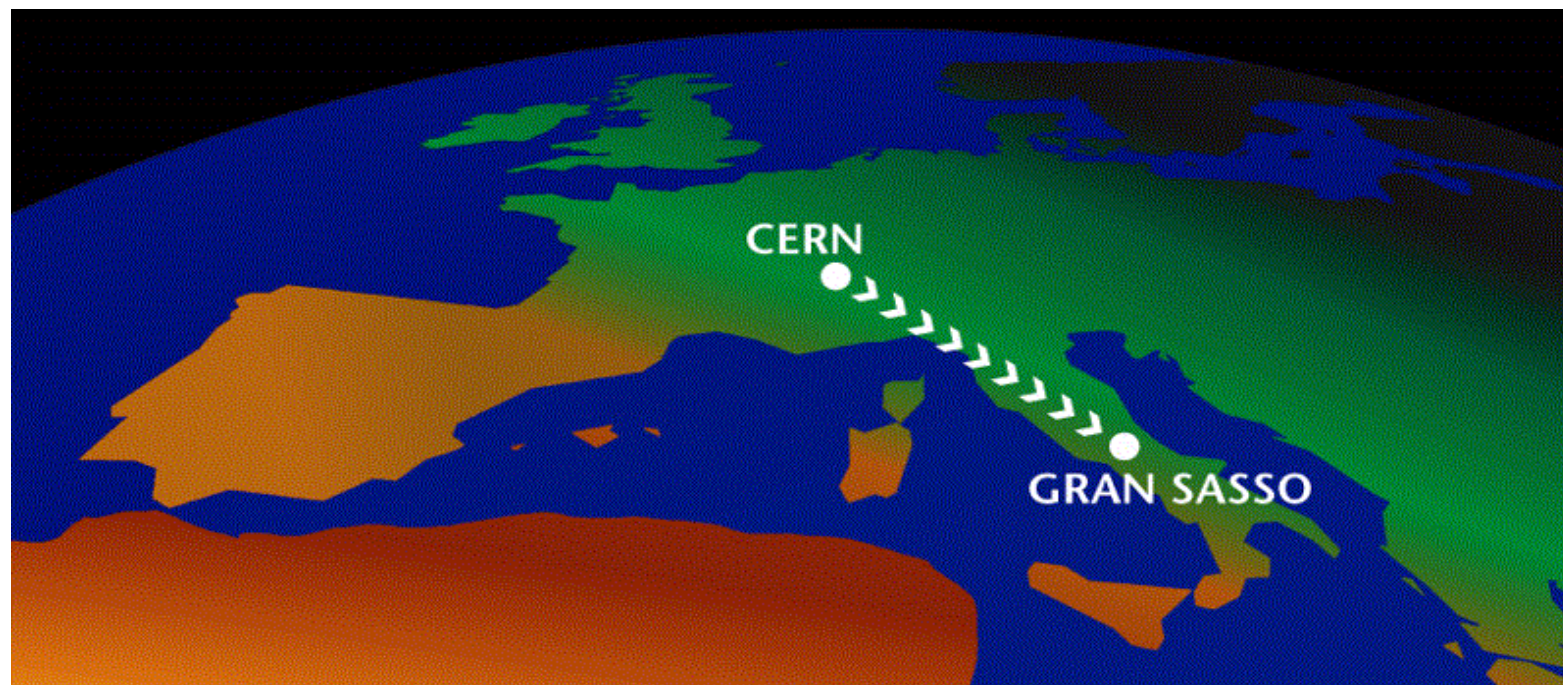


La sfera interna di nylon contiene 300 t di scintillatore liquido (mistura di pseudocumene PC e PPO fosforo), circondata da uno strato più esterno di PC puro in una sfera più grande di acciaio. Il tutto è racchiuso in un recipiente di acciaio con 2400 t di acqua.



Il numero di neutrini osservato era circa un terzo di quanto predetto. Questo problema diventò noto con il nome di **problema dei neutrini solari**.

Il progetto LBL al CERN: CNGS



Distanza = 732 Km $E_p = 450 \text{ GeV} \rightarrow E_\nu = 15\text{-}20 \text{ GeV}$

Apparizione neutrino τ

quante sono?





la nostra galassia: ~150 miliardi



galassia di Andromeda: 200 miliardi

Galassia ellittica IC 1101

in Abell 2029 (Virgo)

diam=6 milioni a.l. -

dist=1,4 miliardi a.l.

100 trilioni di stelle



Desideriamo cieli diversi
che non siano muti
ma scrigni di misteriosi messaggi

