



Istituto Nazionale di Astrofisica



Osservatorio astronomico di Brera

A cosa servono le stelle?



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Ast. *Ilaria Arosio* Brera

A cosa servono le stelle?

Adoperarsi in favore di altri

Noi esistiamo qui e ora
in questa forma per l'interazione tra
la materia e le forze che governano
l'universo.

Queste leggi permettono l'esistenza
di un universo fatto di stelle e
galassie e hanno permesso la
formazione della vita su questo
pianeta

Le stelle servono a noi
tanto quanto noi
serviamo a loro:
siamo manifestazioni
di uno stesso
universo.

A cosa servono le stelle?



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Cos'è la cultura?

“Accumulo globale di conoscenze e innovazioni derivante dalla somma di contributi individuali trasmessi attraverso le generazioni e diffusi nel nostro gruppo sociale che influenza e cambia continuamente la nostra vita”

L'uomo rispetto ad altri organismi viventi ha sviluppato la cultura più di tutti gli altri animali. La cultura è un **meccanismo di adattamento all'ambiente** straordinariamente efficace.

“Non è la specie più forte o la più intelligente a sopravvivere ma quella che si **adatta meglio al cambiamento”**

Attribuita a Charles Darwin

L'adattamento all'ambiente per via genetica è molto lento per l'uomo ma ha inventato strumenti che lo aiutano e gli danno la possibilità straordinarie come creare nuovo cibo, attraversare il mare e la terra rapidamente volare comunicare facilmente a distanza e così via...

L. L. Cavalli Sforza

La cultura è un meccanismo dotato di **grande flessibilità**, che ci permette di applicare qualunque idea utile ci venga in mente e **sviluppare soluzioni** per i problemi che di volta in volta si presentano

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera





Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Grande Carro
setteentrione



Pleiadi nel I millennio a.C.

navigazione

levata eliaca inizio anno in Mesopotamia 2500 a.C.



E



Sirio da 4000 a 2000 a.C
semina, straripamento Nilo, anno nuovo

S

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Arturo

Capella

Luna

O

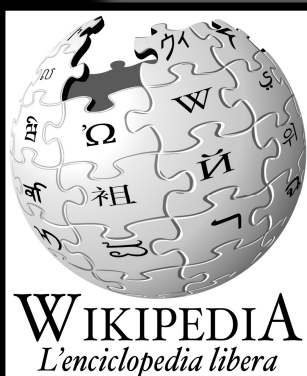
Betelgeuse

Procione

Rigel

Sirio

Il Tempo Universale è una scala dei tempi basata sulla rotazione della Terra .
Al giorno d'oggi il Tempo universale è determinato tramite le osservazioni di Quasar molto distanti.



30 giugno, la giornata di oggi durerà un secondo in più



Per permettere agli orologi atomici di sincronizzarsi con l'effettiva rotazione della Terra sul suo asse

Per permettere agli orologi atomici di sincronizzarsi con l'effettiva rotazione della Terra sul suo asse



Maria Macerone
30 DIC, 2016

Il 2016 durerà un secondo in più

Per sincronizzare la decelerazione della rotazione terrestre con quella degli orologi atomici il 31 dicembre durerà un secondo in più



Possiamo vivere senza stelle?

Potremmo esistere senza stelle?

Che cos'è una stella?

Dizionario della lingua italiana
(Devoto -Oli)

Stella:

corpo celeste costituito da gas caldo
tenuto insieme dalla gravità e che
emette luce propria;

il Sole è una tipica stella

Merito Astronomia - IMAT - Osservatorio
Astronomico di Brera

notte

piccole

bianche

luci deboli

giorno

grande

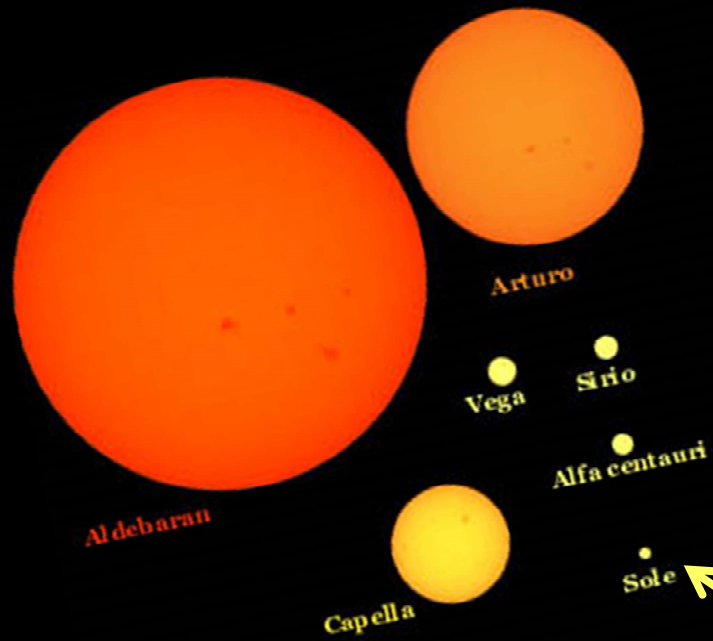
arancione

luce molto forte

Chi è più grande?



Magnitudine Assoluta



1 Unità Astronomica

Mettiamo tutto alla stessa distanza:
alla distanza a cui sta il Sole

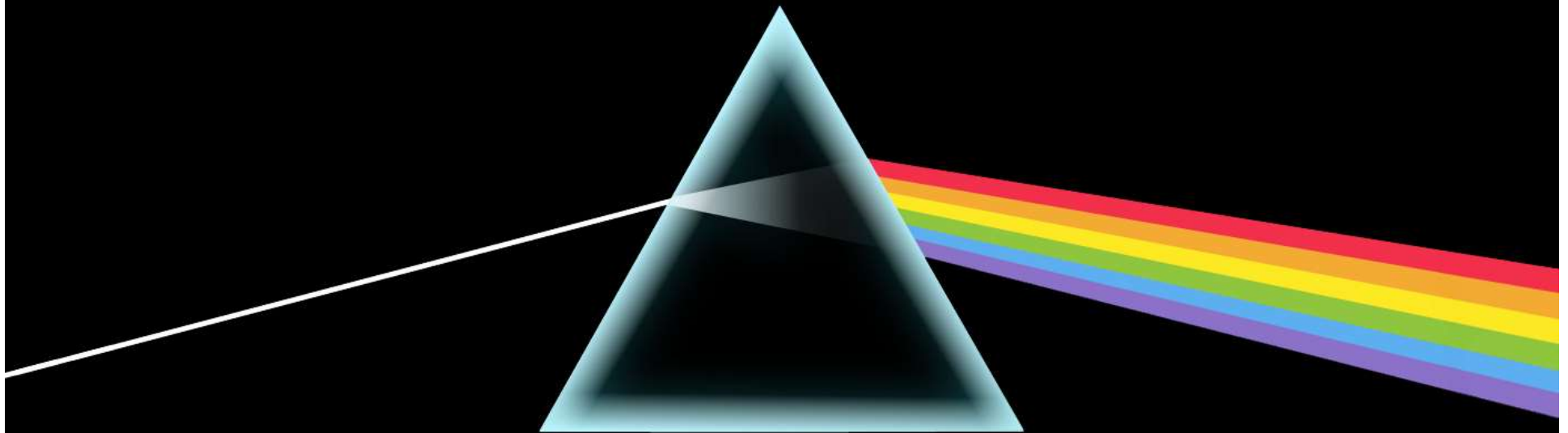


Possiamo vivere senza stelle?

Potremmo esistere senza stelle?

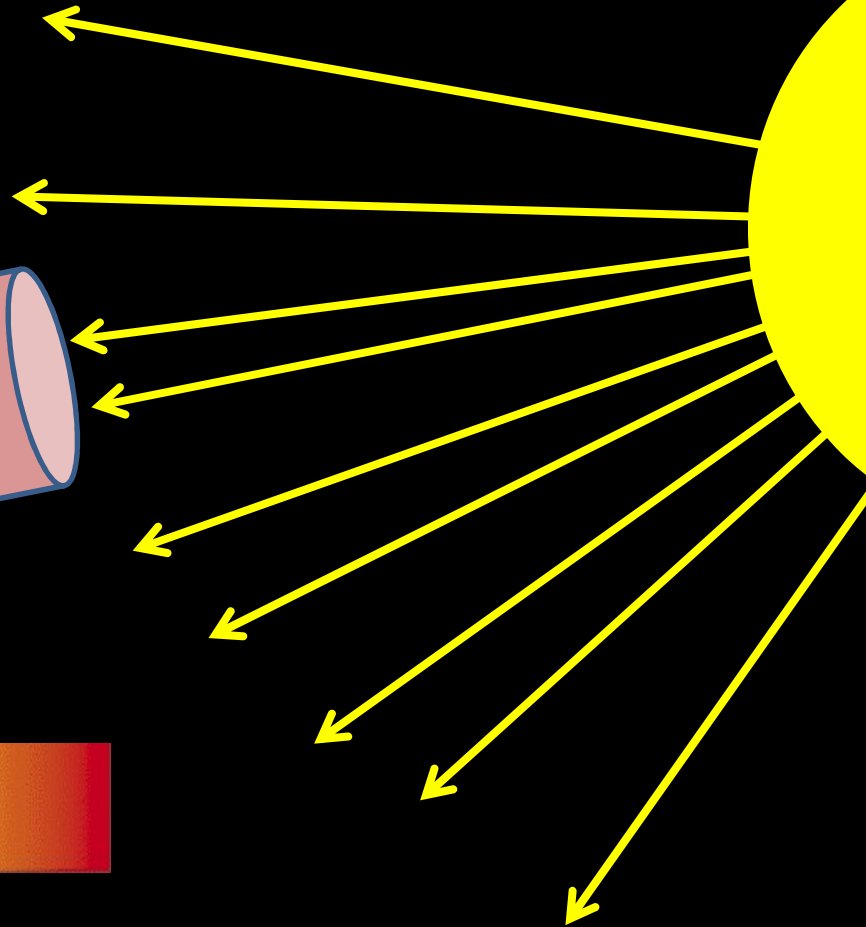
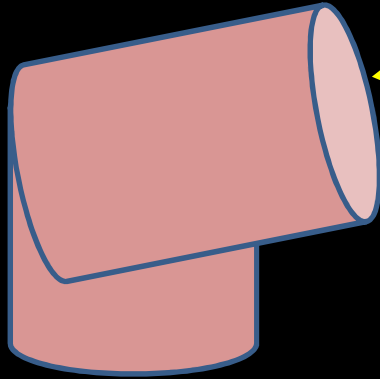
Perché ci serve il Sole?

Perché ci dà luce

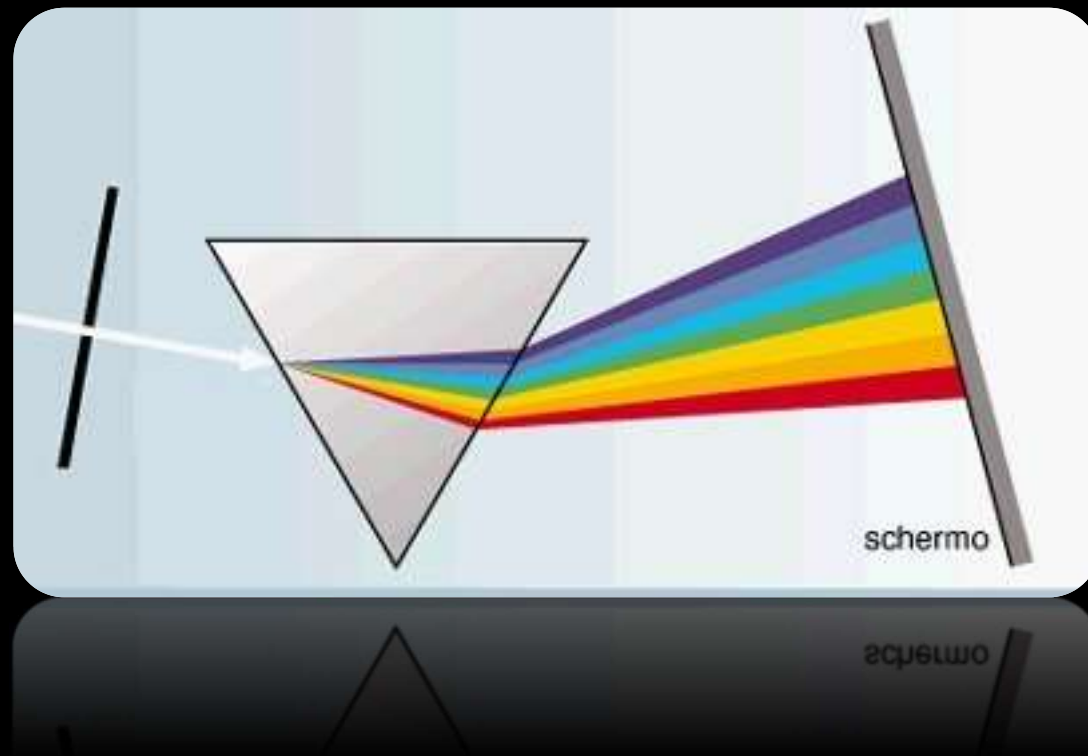


Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

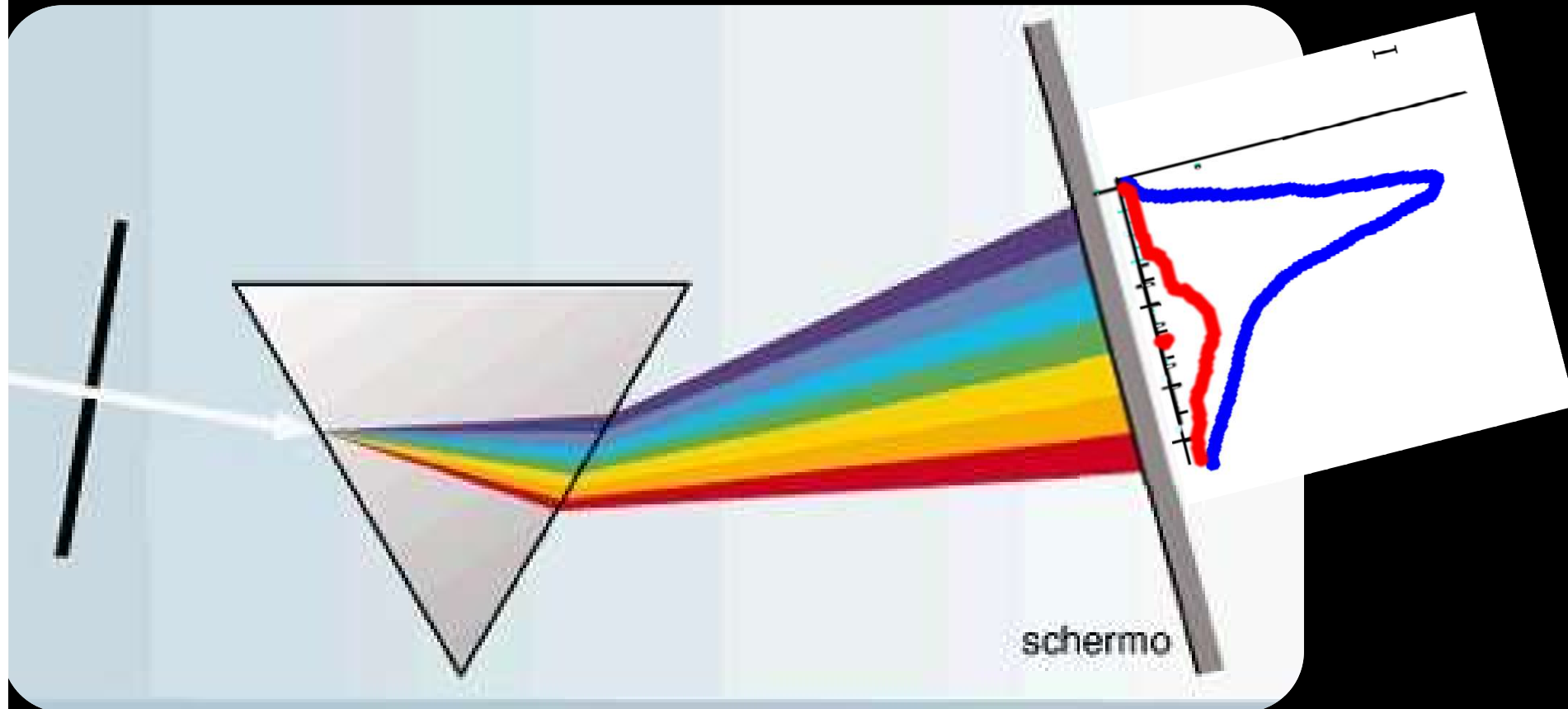
SPETTROSCOPIO



GAS CALDO E DENSO



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



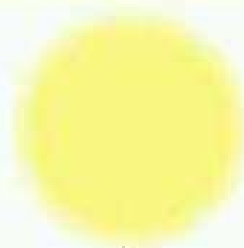
$T = 12,000 \text{ K}$

$\lambda_m \approx 250 \text{ nm}$



$T = 6000 \text{ K}$

$\lambda_m \approx 500 \text{ nm}$

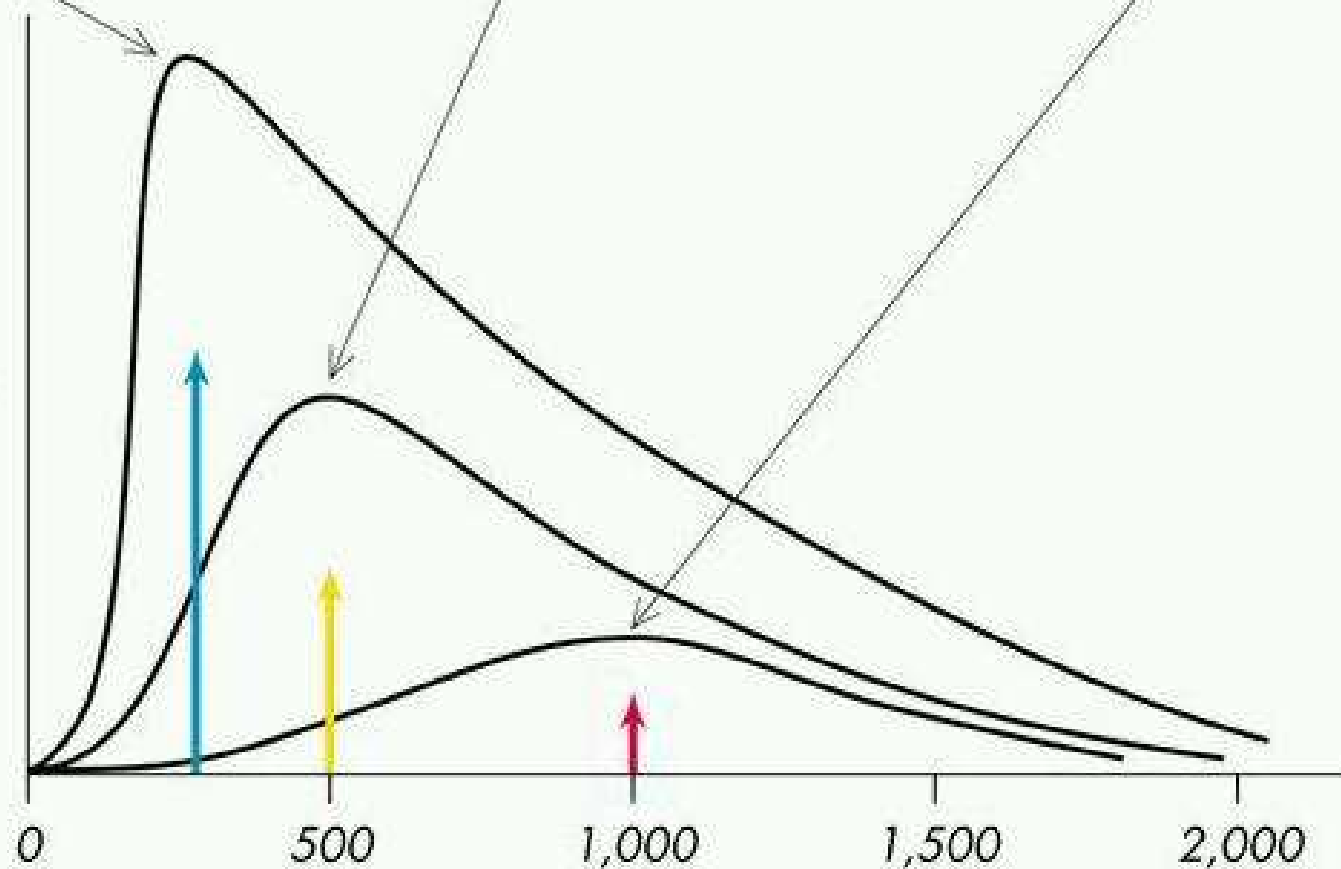


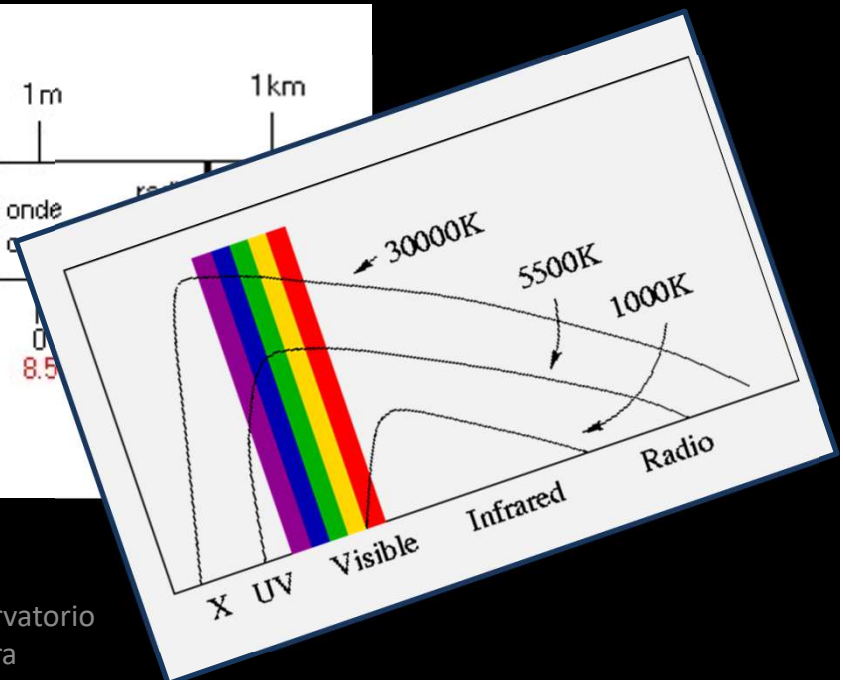
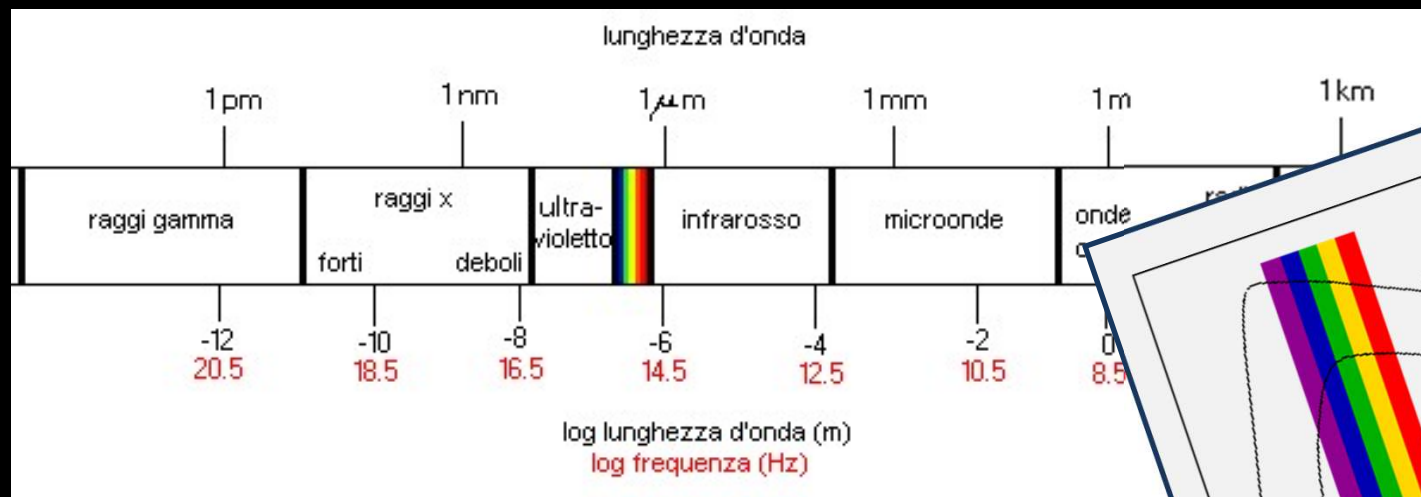
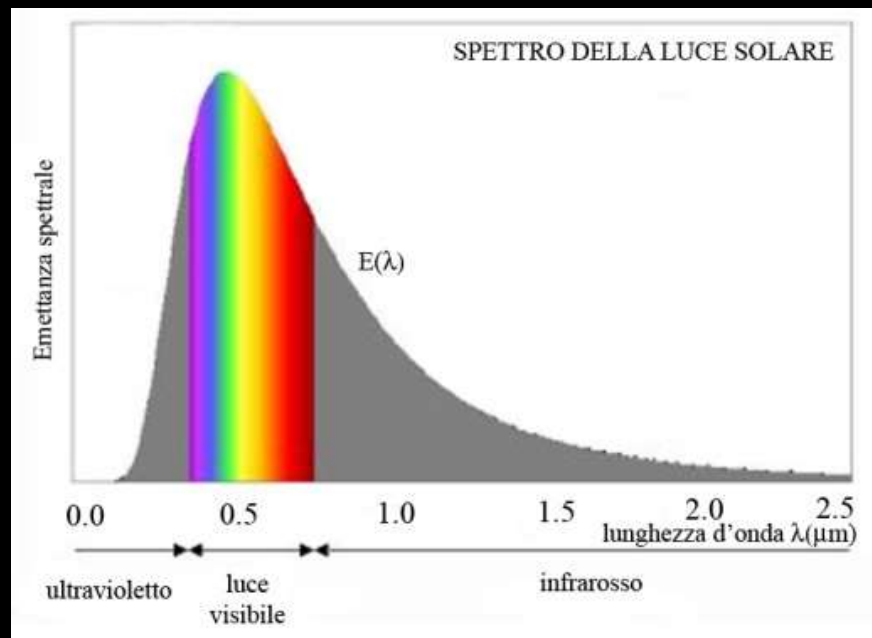
$T = 3000 \text{ K}$

$\lambda_m \approx 1000 \text{ nm}$



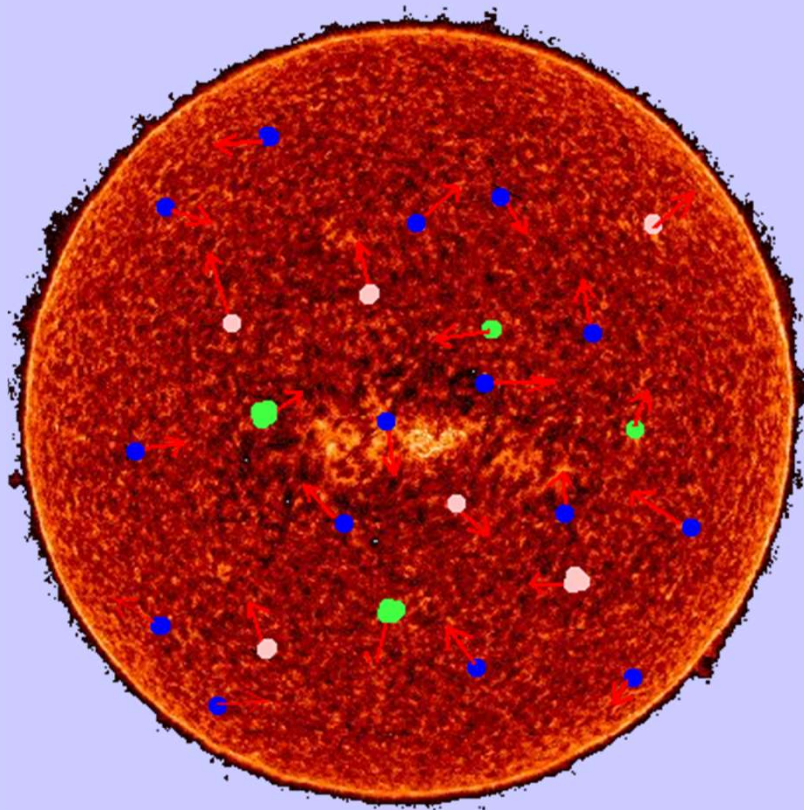
Brightness ↑



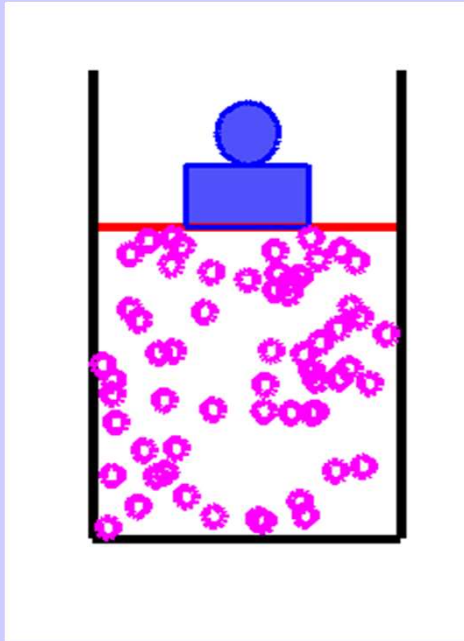


Da dove arrivano luce e calore?

Ogni stella è una sfera di gas...



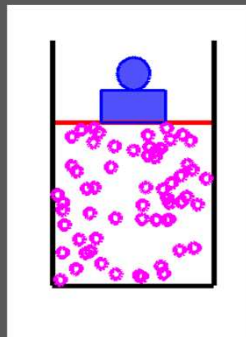
in cui le particelle
si muovono in
modo frenetico



la forza di pressione e la forza peso
agiscono con versi opposti

se la forza di pressione esercitata dalle
particelle è sufficiente a sostenere il
peso si ha equilibrio delle forze.

Se salgo su una bici,
la Terra mi attira a sé per via della
forza gravitazionale

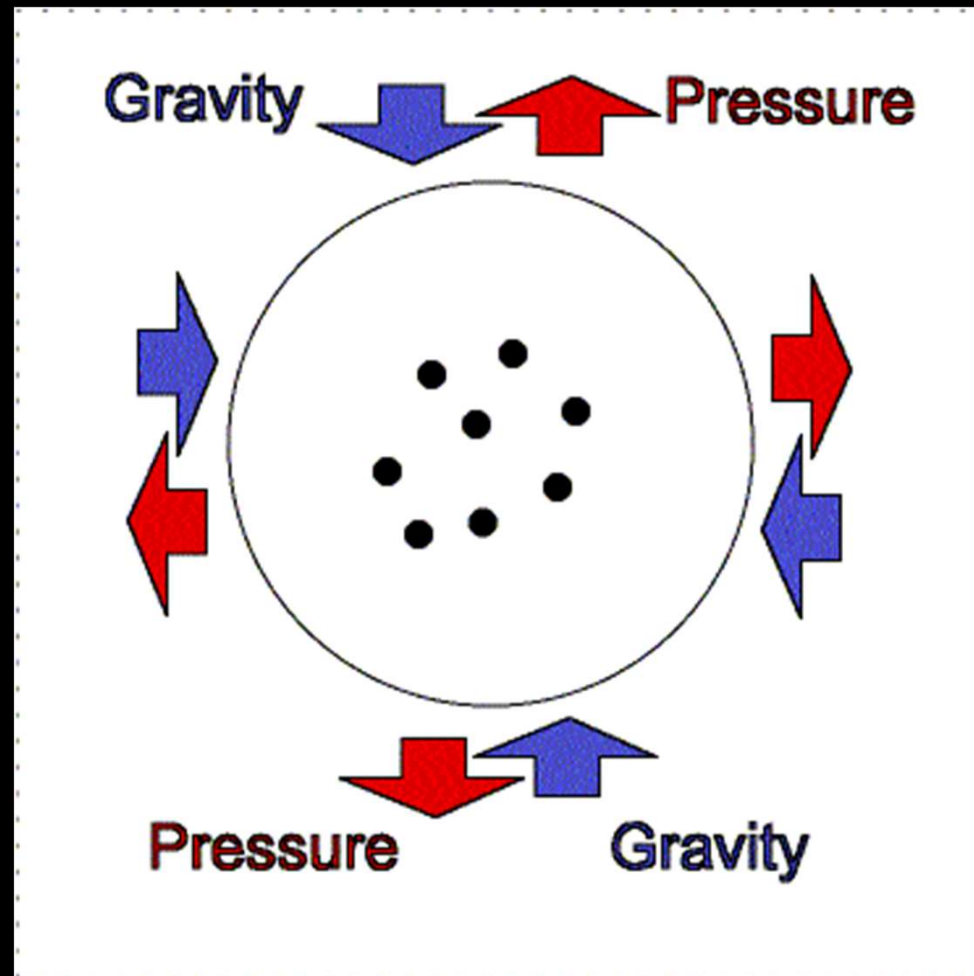


la forza di pressione e
la forza peso agiscono
con versi opposti

se la forza di pressione
esercitata dalle
particelle è sufficiente a
sostenere il peso si ha
equilibrio delle forze.

Ma se gonfio la ruota...
Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Nelle stelle si chiama equilibrio idrostatico



La materia è composta da:

La materia è composta da:

																	Noble gases ↓ 18 8A		
		Alkaline earth metals ↓												Halogens ↓ 17 7A		2			
		1 1A	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
		1 H	2 He											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Alkali metals		3 Li	4 Be	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
		11 Na	12 Mg	Transition metals										31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
		19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
		37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
		55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg						
		87 Fr	88 Ra	89 Ac†	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub						

*Lanthanides

†Actinides

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

																		Noble gases 18 8A	
Alkaline earth metals 1A 2A												Halogens 17 7A		2 He					
1 H	2 He											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A		
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
Transition metals																			
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
87 Fr	88 Ra	89 Ac†	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub								
*Lanthanides		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho								
†Actinides		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es								



Scanned at the American
Institute of Physics

REVIEWS OF MODERN PHYSICS

VOLUME 29, NUMBER 4

OCTOBER, 1957

Synthesis of the Elements in Stars*

E. MARGARET BURHIDGE, R. BURHIDGE, WILLIAM A. FOWLER, AND F. HOYLE

*California Radiation Laboratory, California Institute of Technology, and
Mount Wilson and Palomar Observatories, Carnegie Institution of Washington,
California Institute of Technology, Pasadena, California*

"It is the stars, The stars above us, govern our conditions";
(*King Lear*, Act IV, Scene 3)

but perhaps

"The fault, dear Brutus, is not in our stars, But in ourselves,"
(*Julius Caesar*, Act I, Scene 2)

TABLE OF CONTENTS

	Page
I. Introduction.....	548
A. Element Abundances and Nuclear Structure.....	548
B. Four Theories of the Origin of the Elements.....	550
C. General Features of Stellar Synthesis.....	550
II. Physical Processes Involved in Stellar Synthesis, Their Place of Occurrence, and the Time-Scales Associated with Them.....	551
A. Modes of Element Synthesis.....	551
B. Method of Assignment of Isotopes among Processes (i) to (viii).....	553
C. Abundances and Synthesis Assignments Given in the Appendix.....	555
D. Time-Scales for Different Modes of Synthesis.....	556
III. Hydrogen Burning, Helium Burning, the α Process, and Neutron Production.....	559
A. Cross-Section Factor and Reaction Rates.....	559
B. Pure Hydrogen Burning.....	562
C. Pure Helium Burning.....	565
D. α Process.....	567
E. Succession of Nuclear Fuels in an Evolving Star.....	568
F. Burning of Hydrogen and Helium with Mixtures of Other Elements; Stellar Neutron Sources.....	569
IV. e Process.....	577
V. s and r Processes: General Considerations.....	580
A. "Shielded" and "Shielding" Isobars and the s , r , p Processes.....	580
B. Neutron-Capture Cross Sections.....	581
C. General Dynamics of the s and r Processes.....	583
VI. Details of the s Process.....	583

* Supported in part by the joint program of the Office of Naval Research and the U. S. Atomic Energy Commission.

547

Copyright © 1957 by the American Physical Society

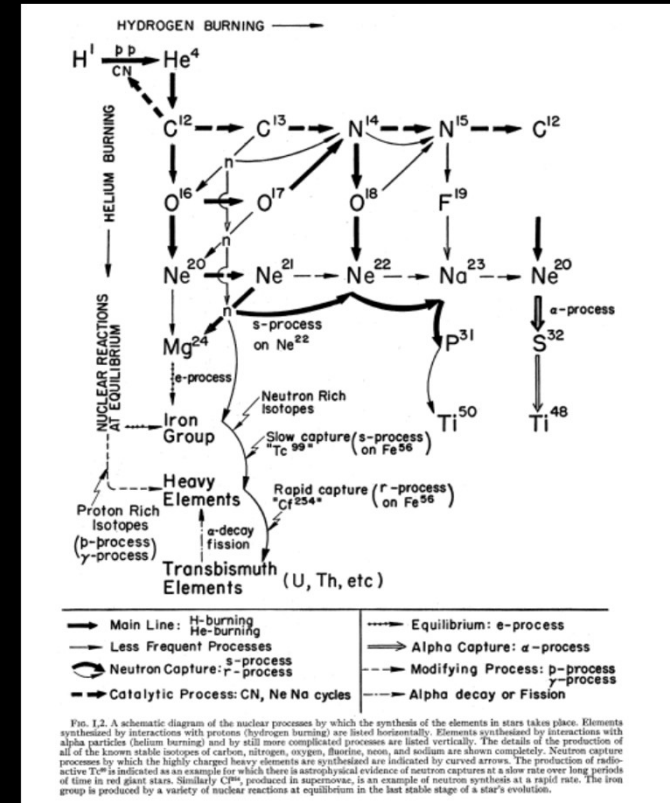
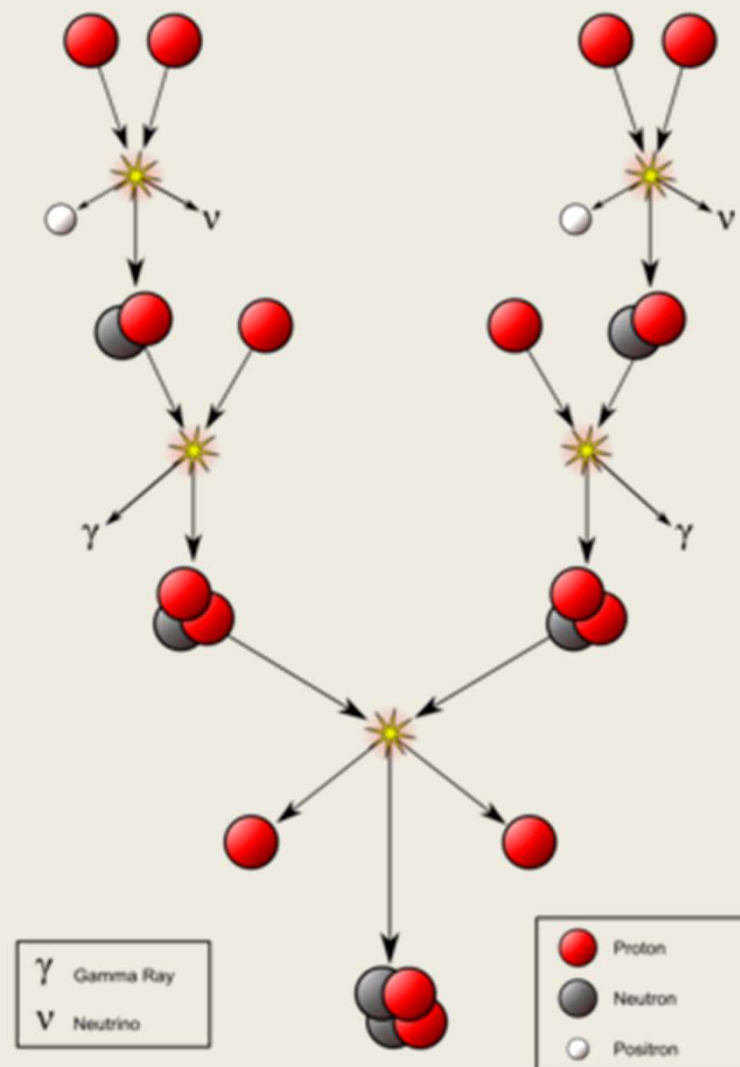
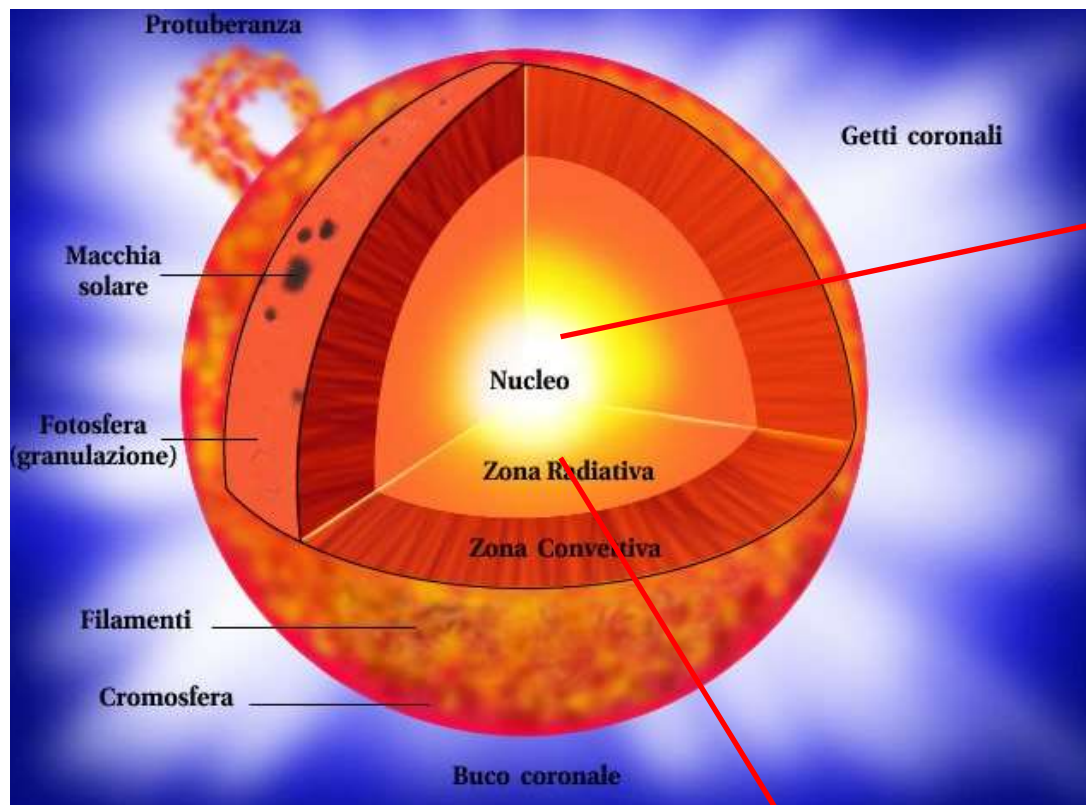
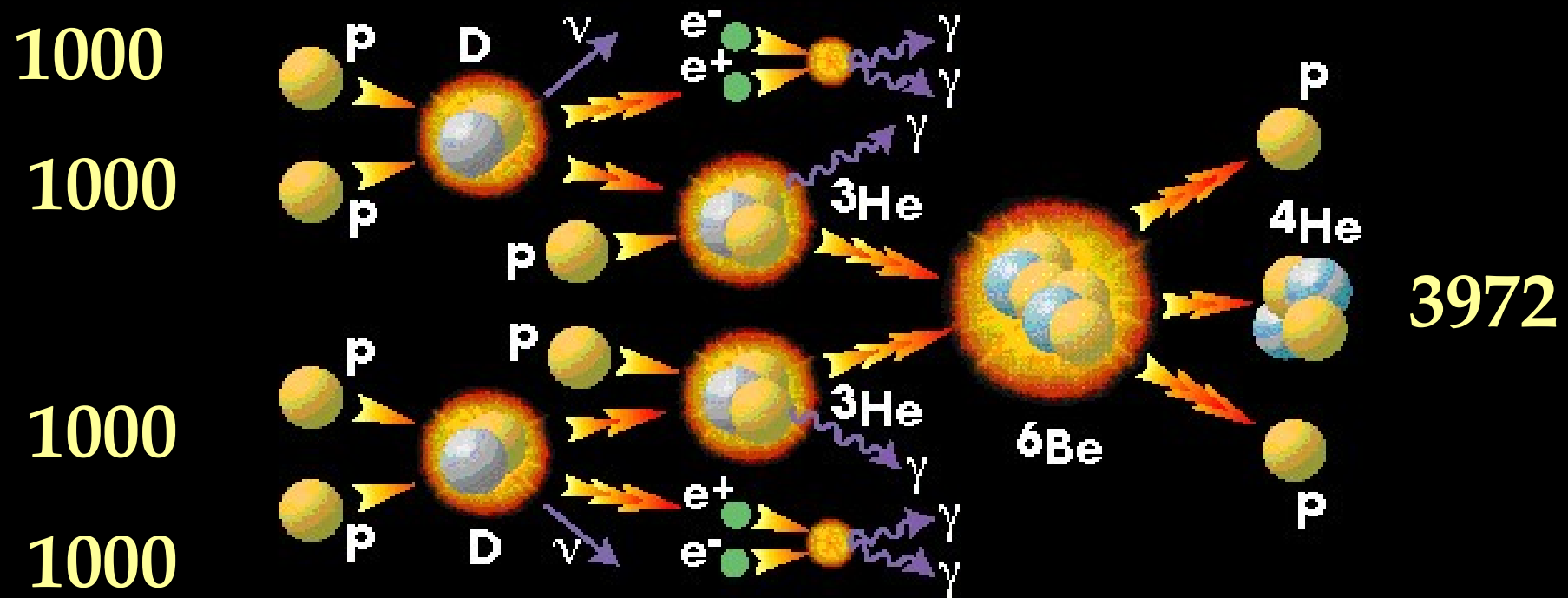


FIG. 1.2. A schematic diagram of the nuclear processes by which the synthesis of the elements in stars takes place. Elements synthesized by interactions with protons (hydrogen burning) are listed horizontally. Elements synthesized by interactions with alpha particles (helium burning) and by still more complicated processes are listed vertically. The details of the production of all of the known stable isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, neon, and sodium are shown completely. Neutron capture processes by which the highly charged heavy elements are synthesized are indicated by curved arrows. The production of radioactive Tc⁹⁹ is indicated as an example for which there is astrophysical evidence of neutron capture at a slow rate over long periods of time in red giant stars. Similarly Cp²⁵⁴, produced in supernovae, is an example of neutron synthesis at a rapid rate. The iron group is produced by a variety of nuclear reactions at equilibrium in the last stable stage of a star's evolution.



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

La catena protone protone



Copyright © 1997 Contemporary Physics Education Project.

**Abbiamo perso 27 unità di massa =
0.7 % della massa coinvolta nella reazione**

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Numero di atomi di idrogeno: 10^{57}

Ogni reazione coinvolge 4 atomi di idrogeno

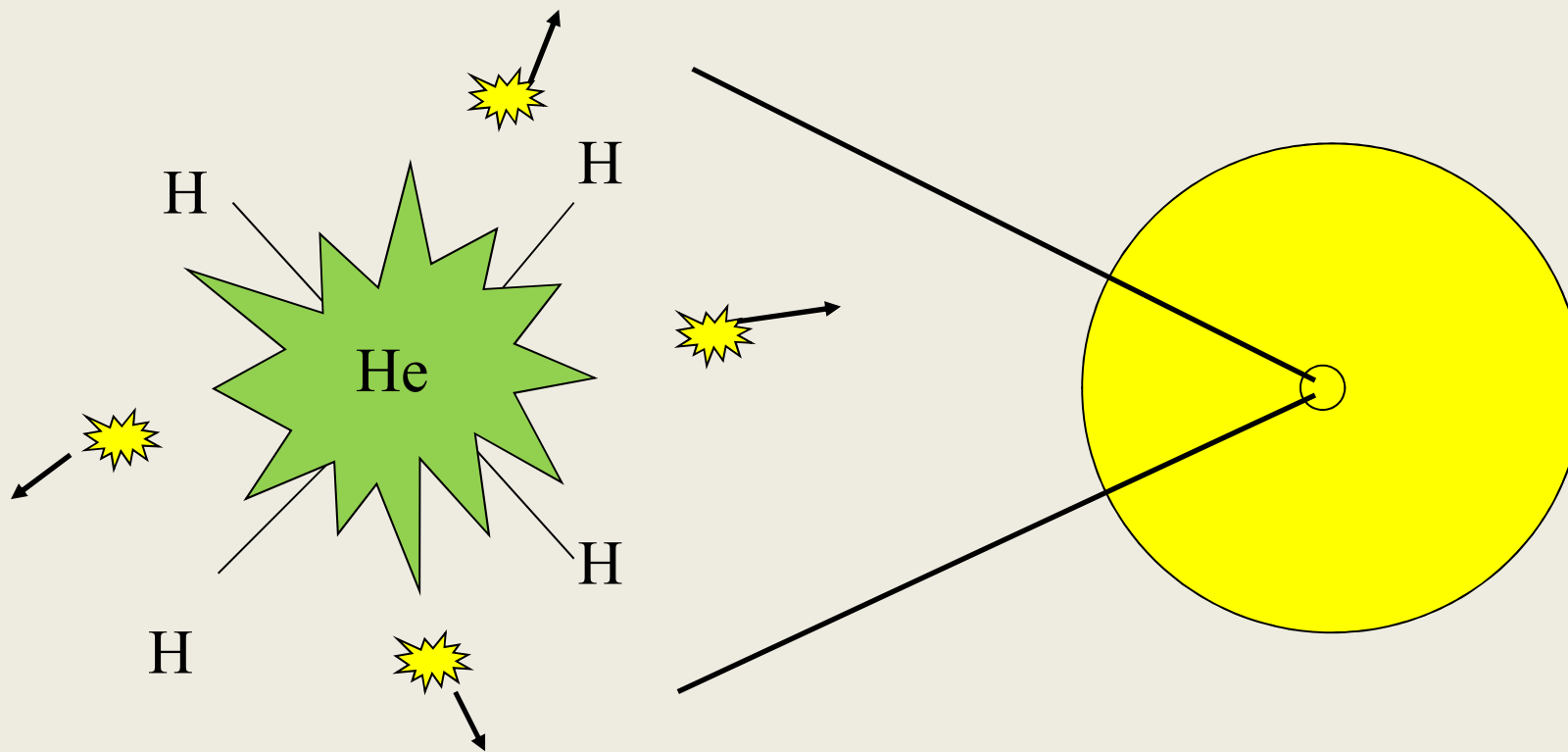
Ogni reazione produce una energia di : $4 \cdot 10^{-12} \text{ J}$

Il Sole emette : $4 \cdot 10^{26} \text{ J} / \text{s} = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$

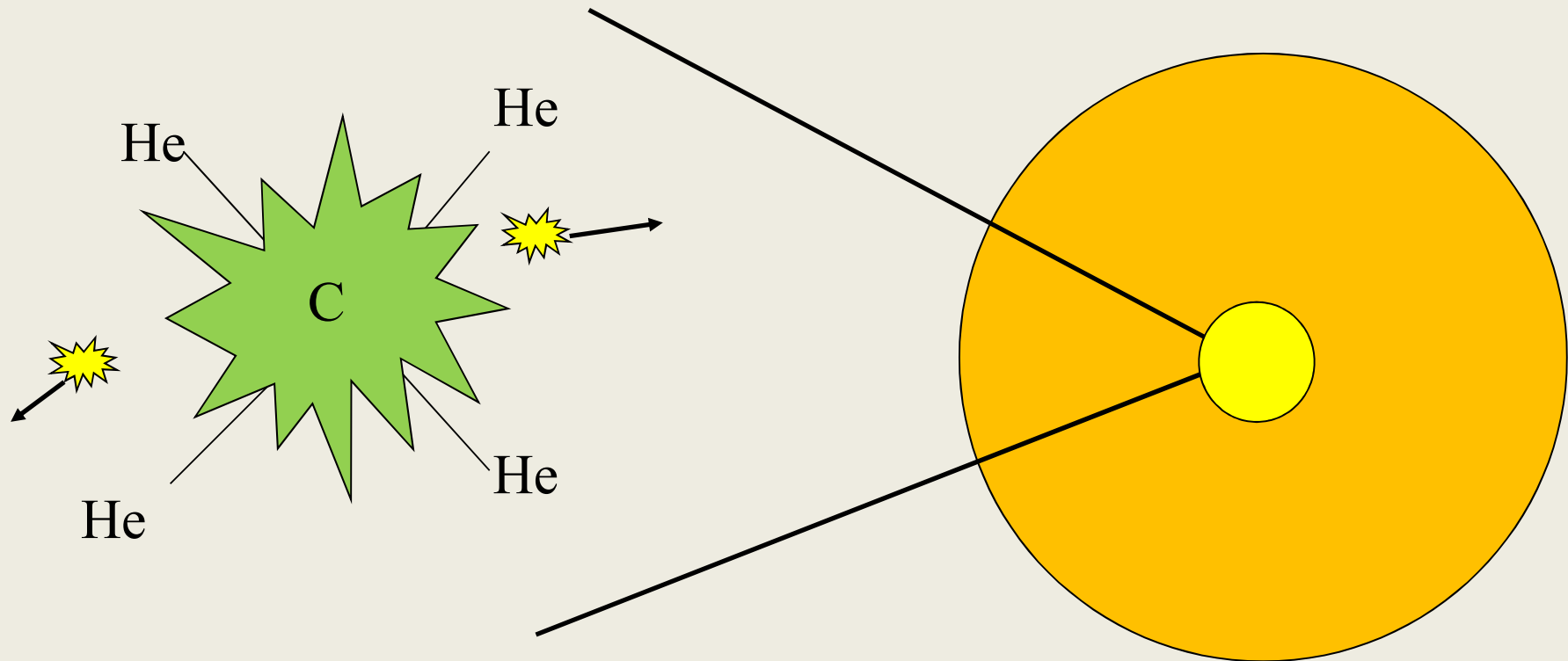
Ad ogni secondo si verificano : 10^{38} reazioni

Con questo tasso il sole potrebbe vivere per **70 miliardi di anni**

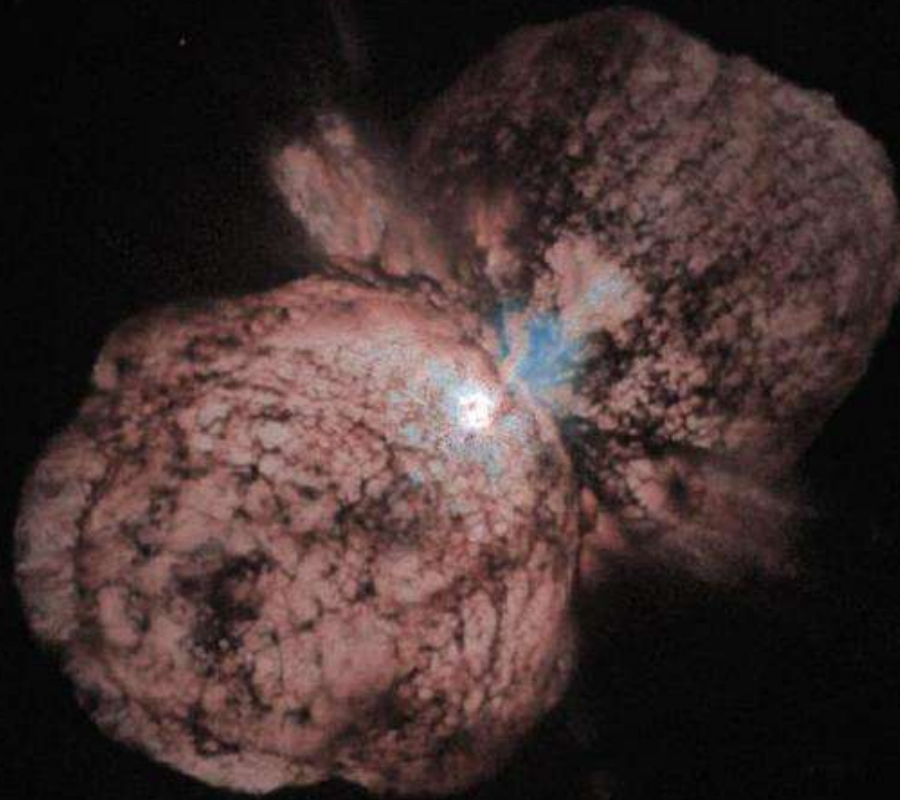
All'interno della stella avvengono delle reazioni tra le particelle chiamate reazioni nucleari:



Il Sole non andrà oltre queste reazioni nucleari
e terminerà il combustibile tra miliardi di anni



il Sole...



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

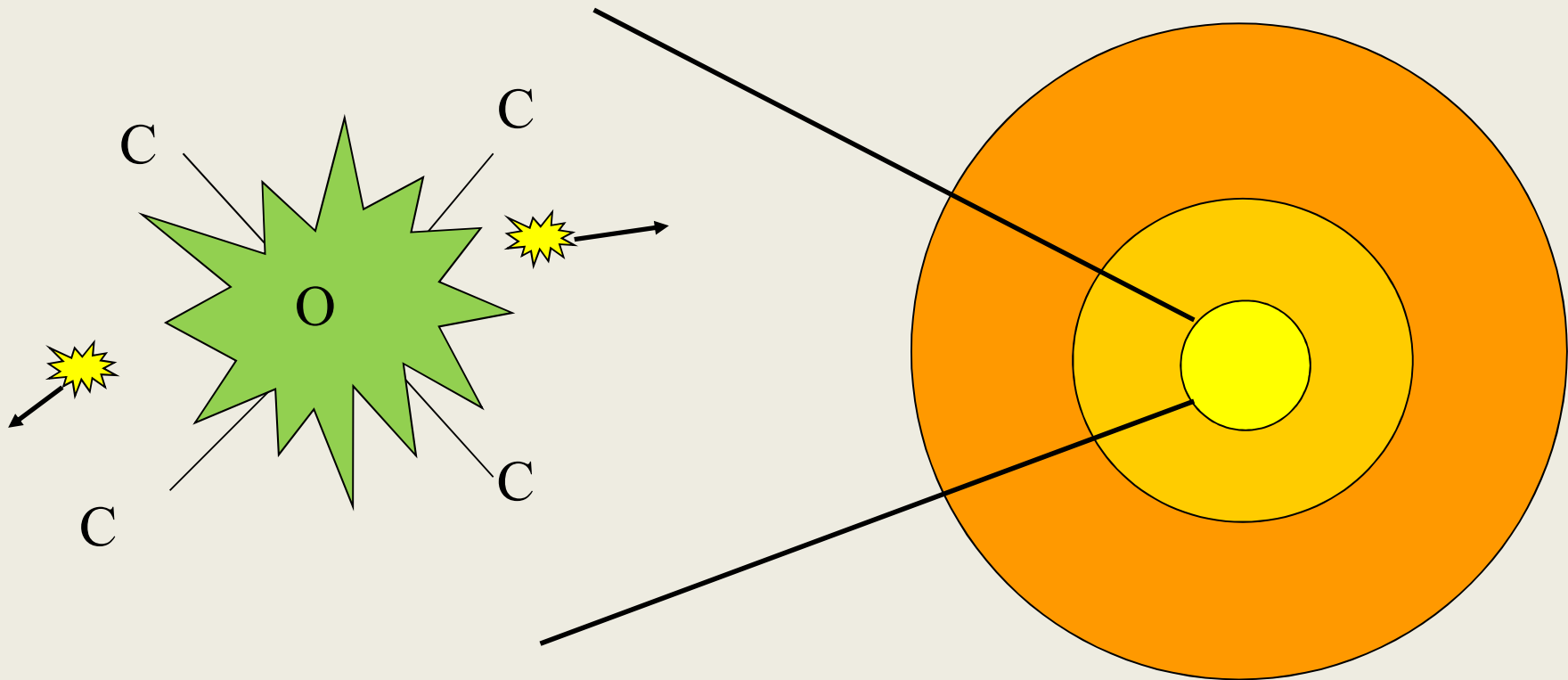


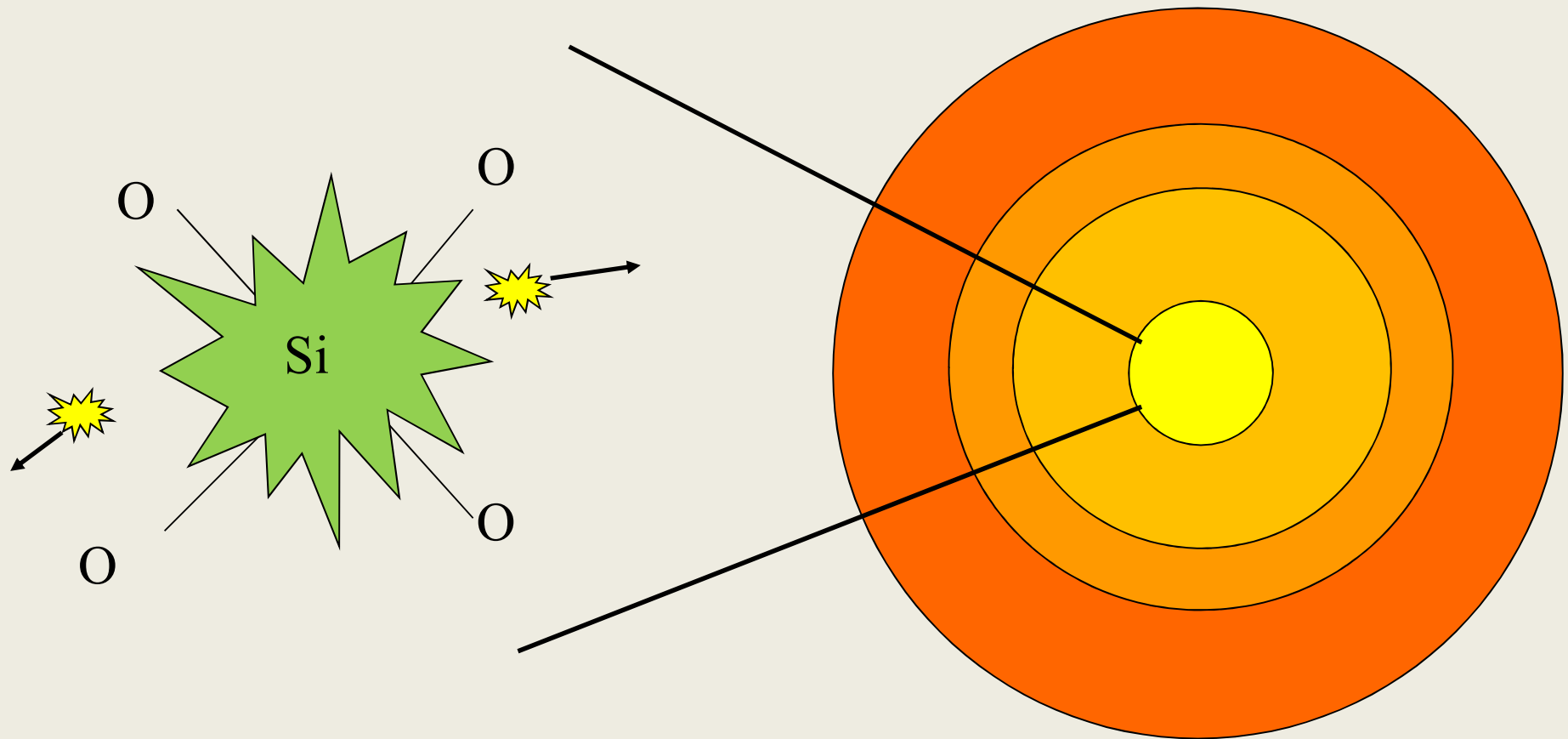
Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

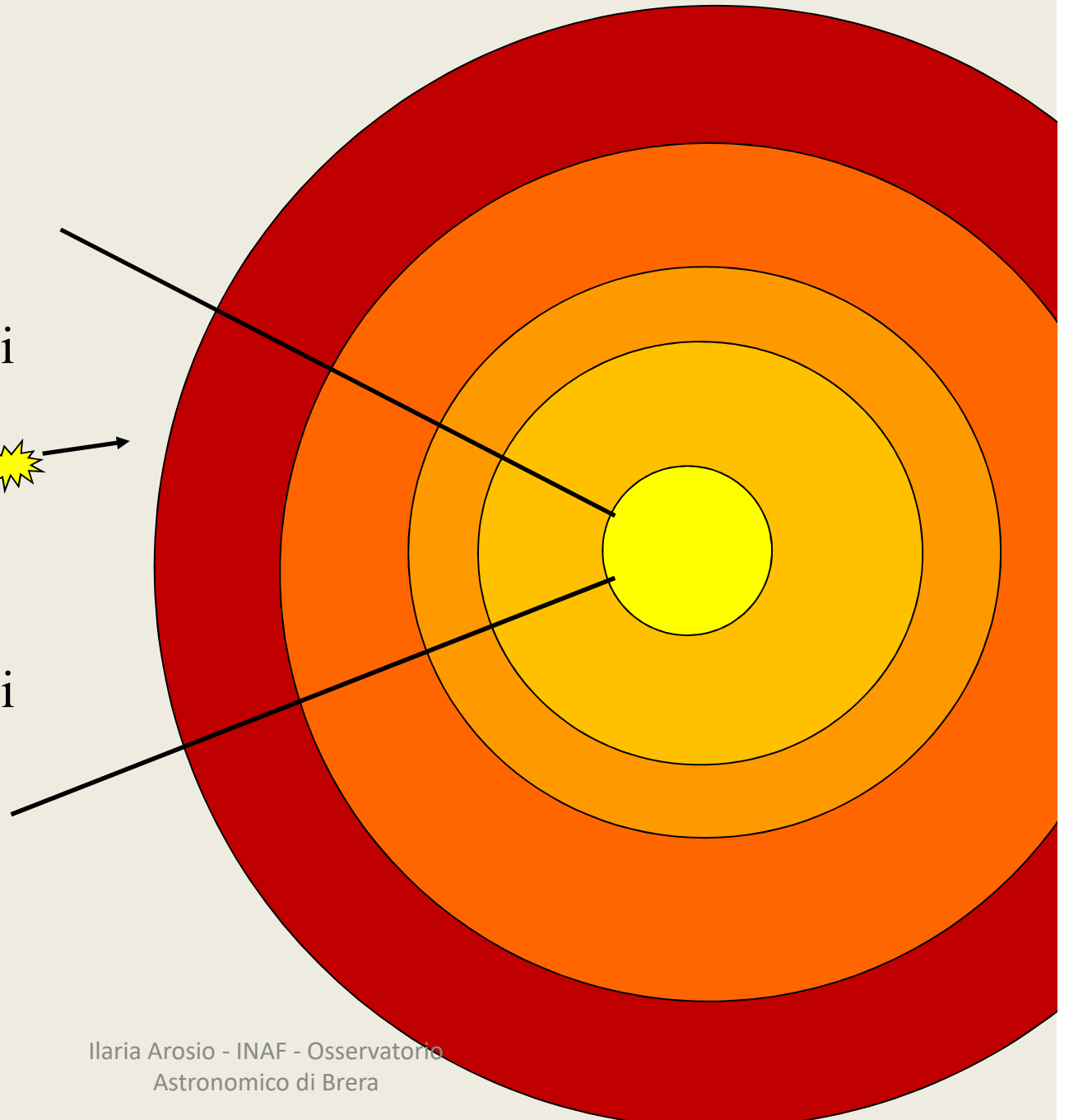
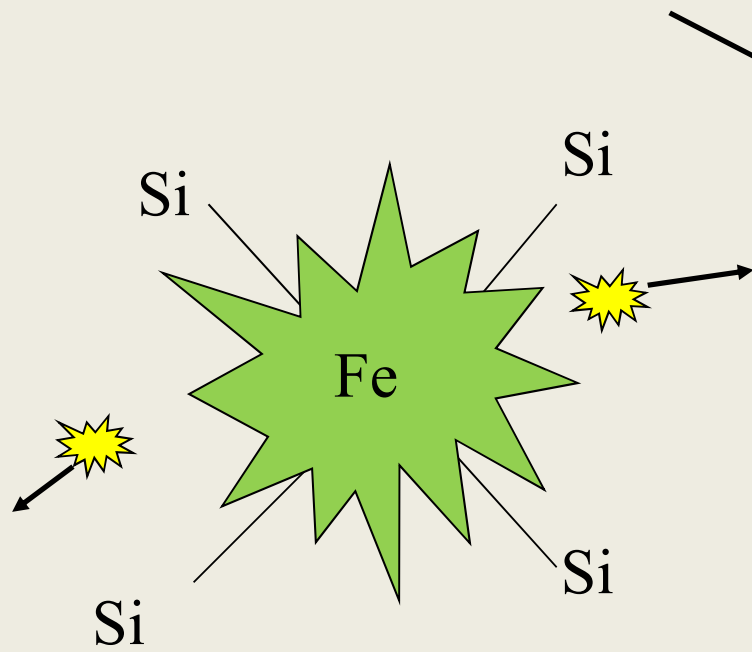


Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Se però la stella ha una **massa > 8 volte la massa del sole**



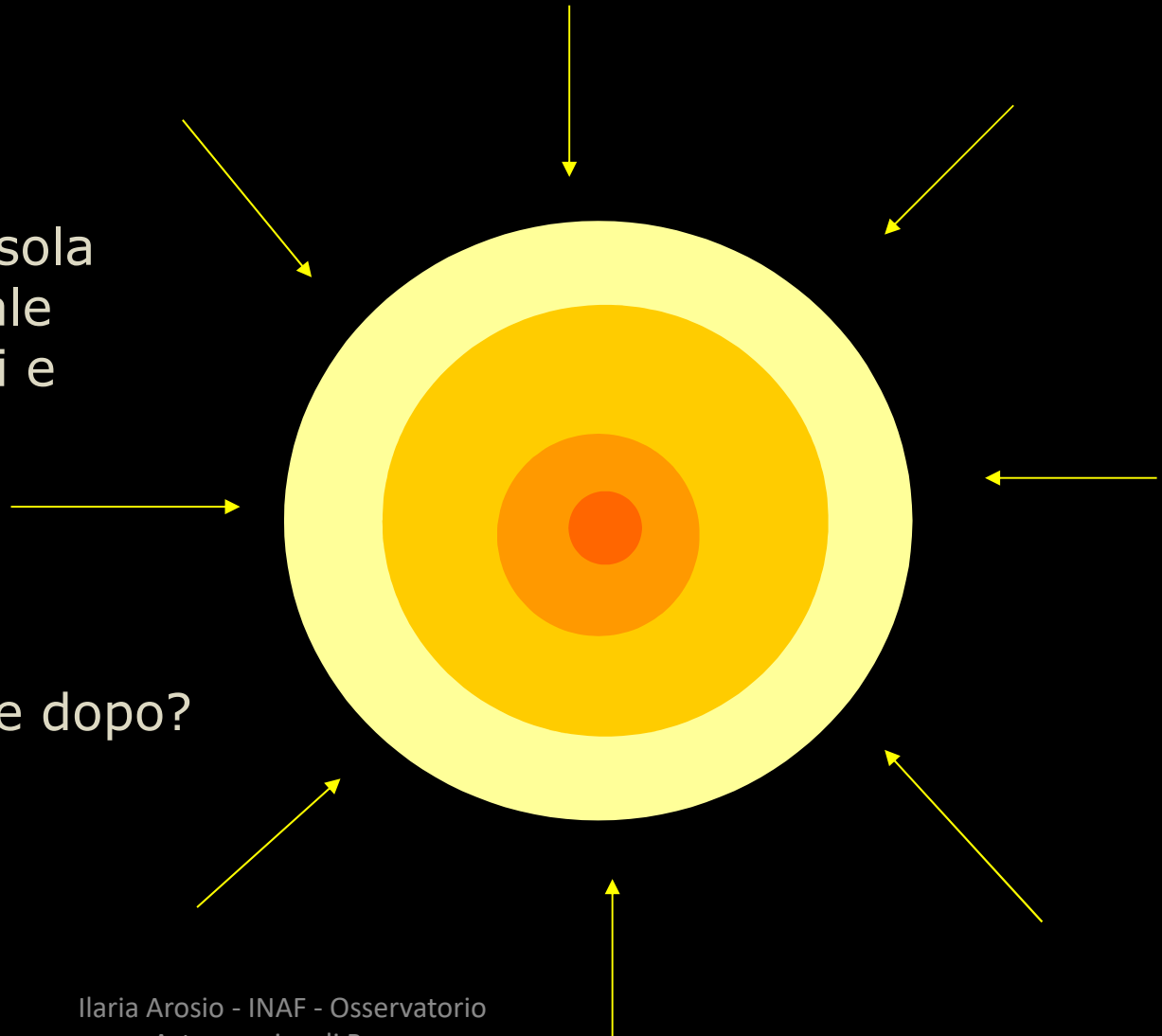


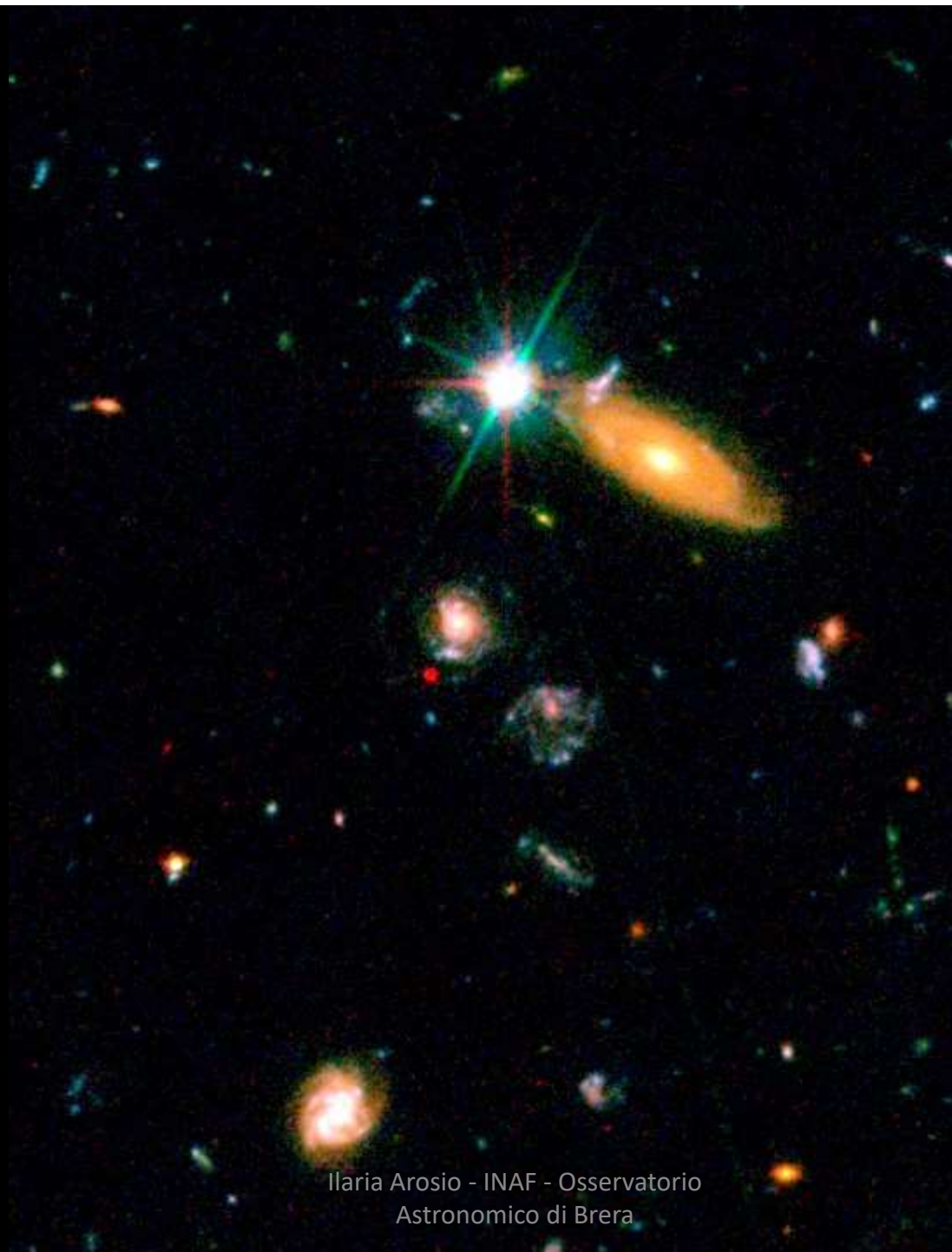


Alla fine esaurirà la riserva di idrogeno ed altri combustibili nucleari

La stella in balia della sola
attrazione gravitazionale
comincia a raffreddarsi e
contrarsi...

..cosa le accade dopo?





Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

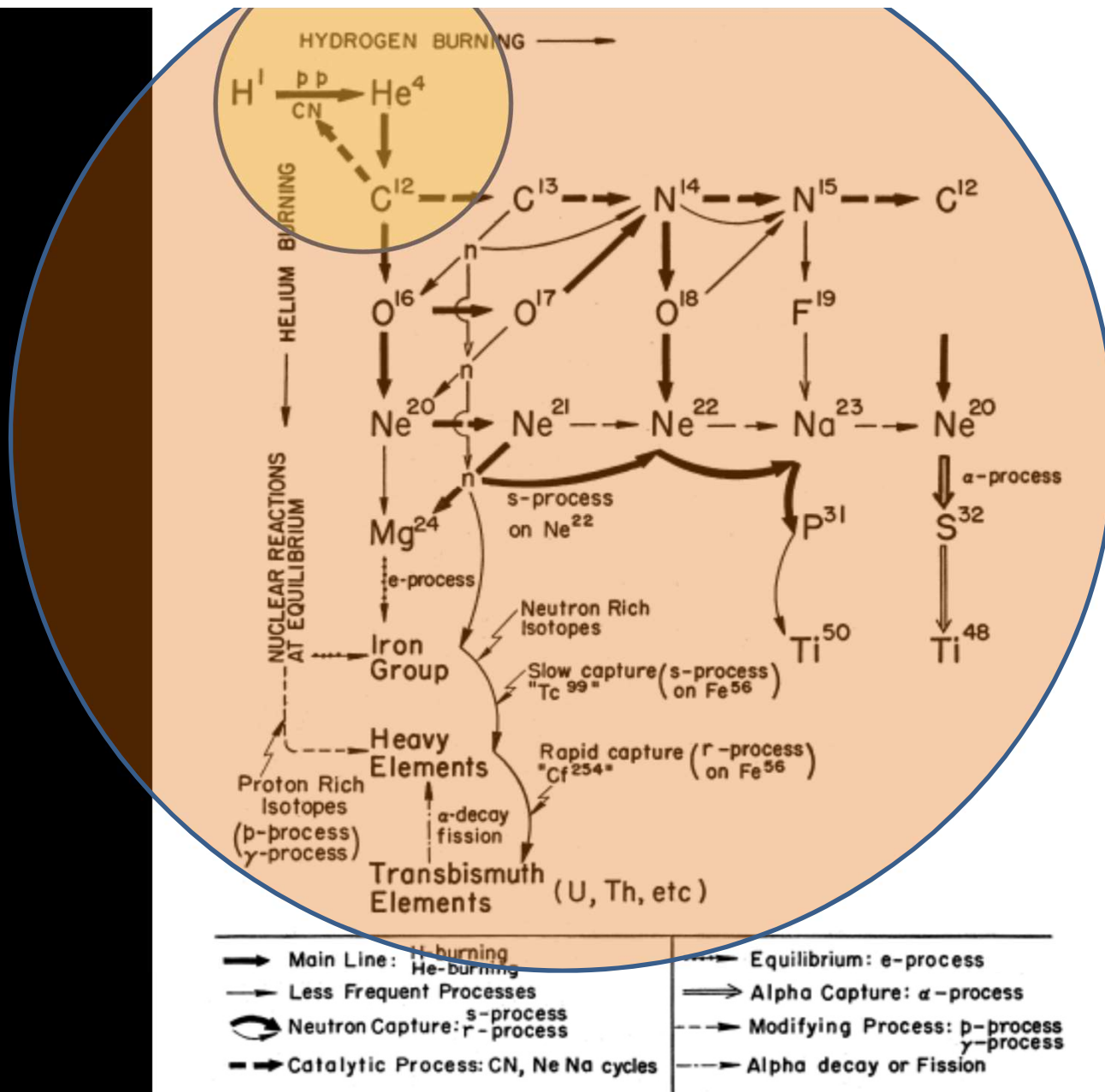
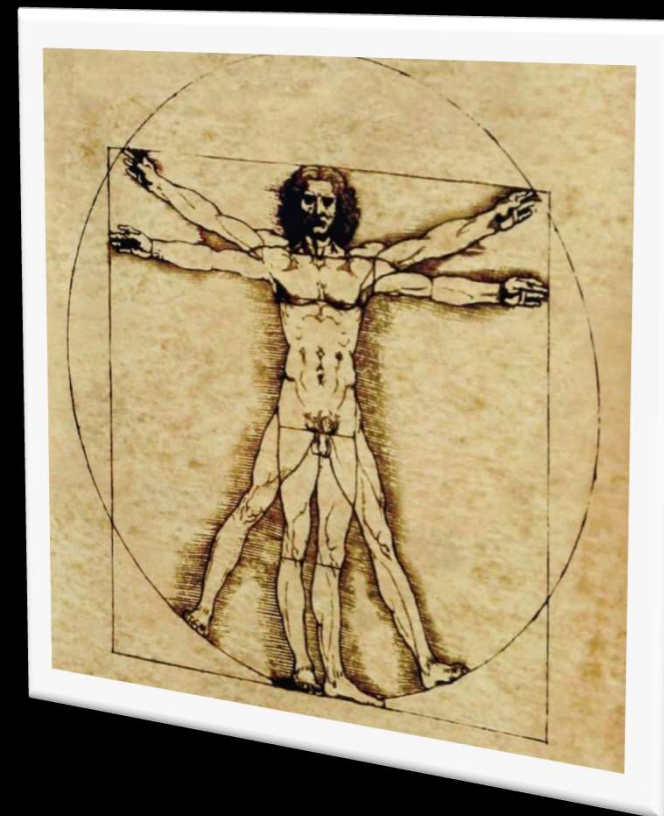
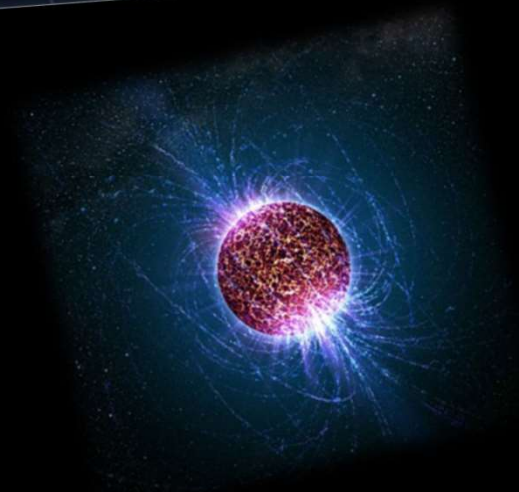
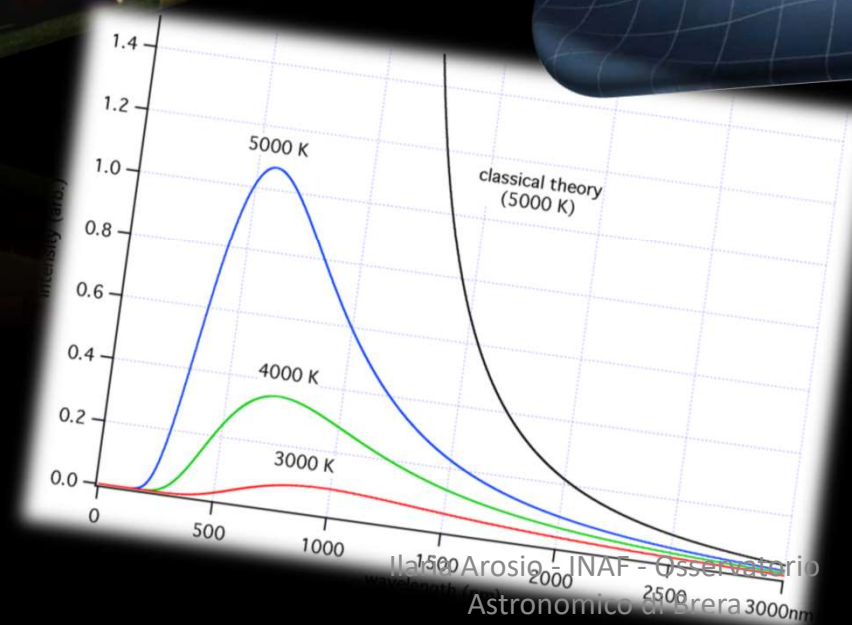
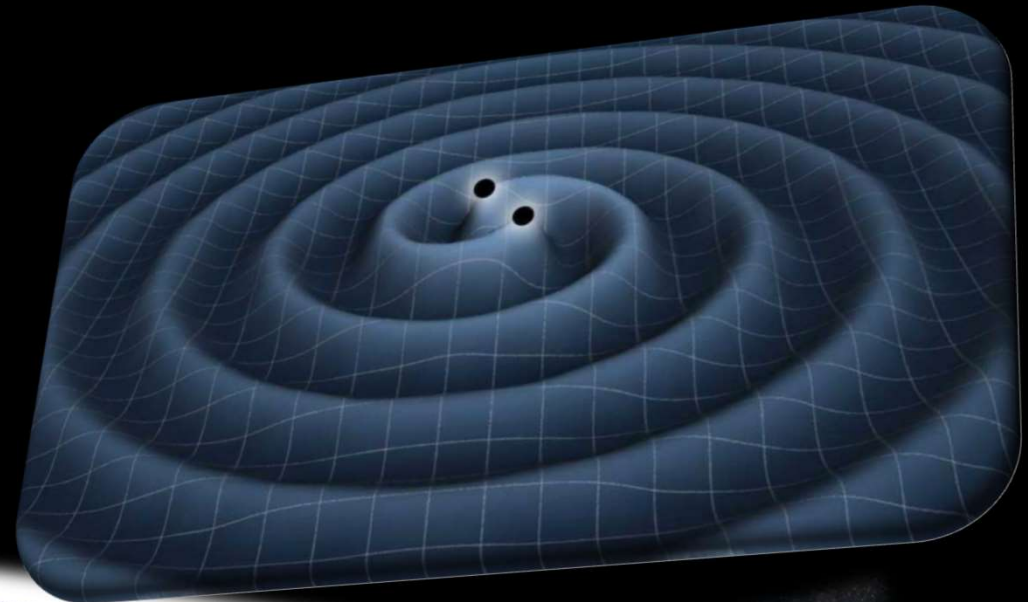
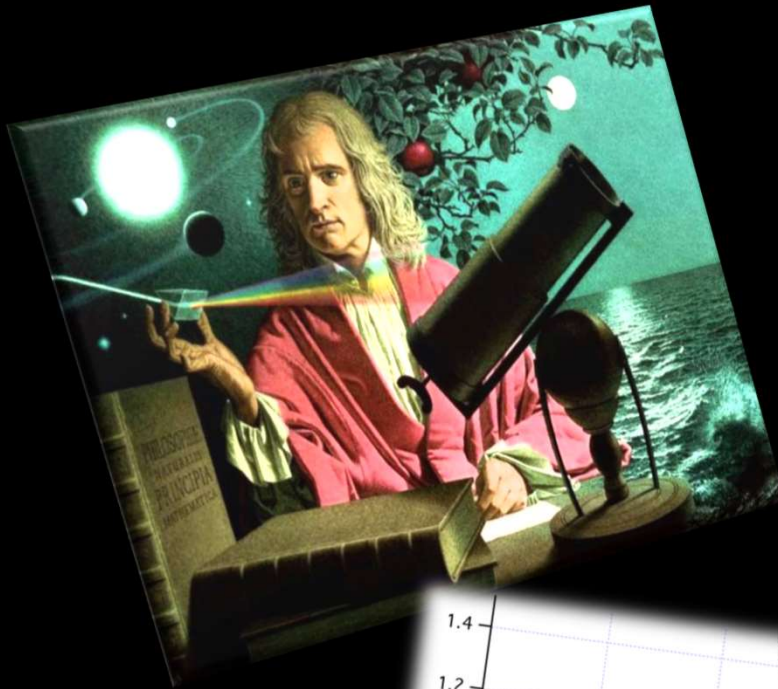


FIG. 1.2. A schematic diagram of the nuclear processes by which the synthesis of the elements in stars takes place. Elements synthesized by interactions with protons (hydrogen burning) are listed horizontally. Elements synthesized by interactions with alpha particles (helium burning) and by still more complicated processes are listed vertically. The details of the production of all of the known stable isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, neon, and sodium are shown completely. Neutron capture processes by which the highly charged heavy nuclei are synthesized are indicated by curved arrows. The production of radioactive Tc^{99} is indicated as an example for which there is astrophysical evidence of neutron captures at a slow rate over long periods of time in red giant stars. Similarly Cf^{254} , produced in supernovae, is an example of neutron synthesis at a rapid rate. The iron group is produced by a variety of nuclear reactions at equilibrium in the last stable stage of a star's evolution.

Elementi	Approssimate		Si combina principalmente con	Nella Formazione
	Percentuali	Quantità		
Ossigeno	65	44,5 Kg	Calcio	Principalmente di
			Ferro	Ossa, Denti, Pelle
			Zolfo	Globuli rossi
			Fosforo	Circolazione
Carbonio	18	12,3 Kg.	Silicio	Denti, Tessuti connettivi
			Ossigeno	Pelle, Capelli, Unghie
Idrogeno	10	6,8 Kg.	Ossigeno	Sangue e tutte le
			Sodio	cellule nel corpo
			Cloro	
Azoto	3	2,7 Kg.	Potassio	Muscoli. Cartilagine, Tessuti,
			Cloro	Legamenti, Tendini, Polpa magra
Calcio	2	1,4 Kg	Carbonio	Ossa e Denti
			Ossigeno	
Fosforo	1	0,68 Kg.	Sodio	Sangue e Cervello
			Carbonio	
			Ossigeno	
Potassio	0.4	0,27 Kg	Calcio	Sangue, Ossa
			Fosforo	Tutte le cellule
			Ossigeno	



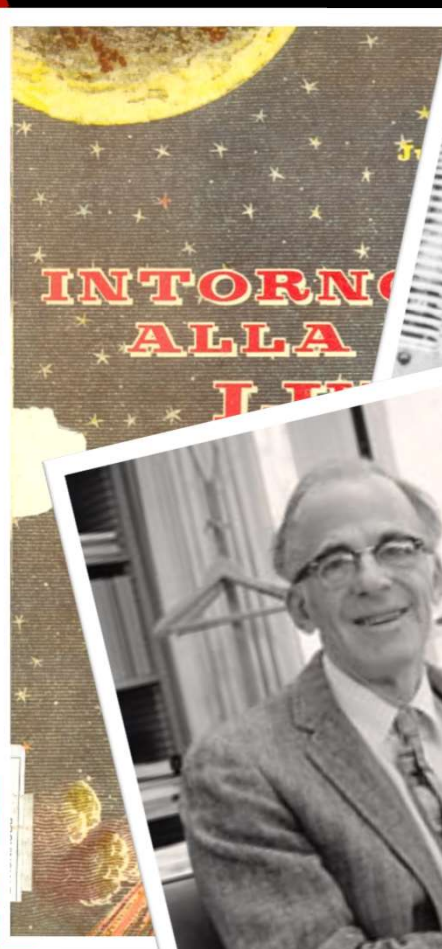
Astronomia è un banco di prova o fonte di ispirazione



1865



1870



Hermann Oberth



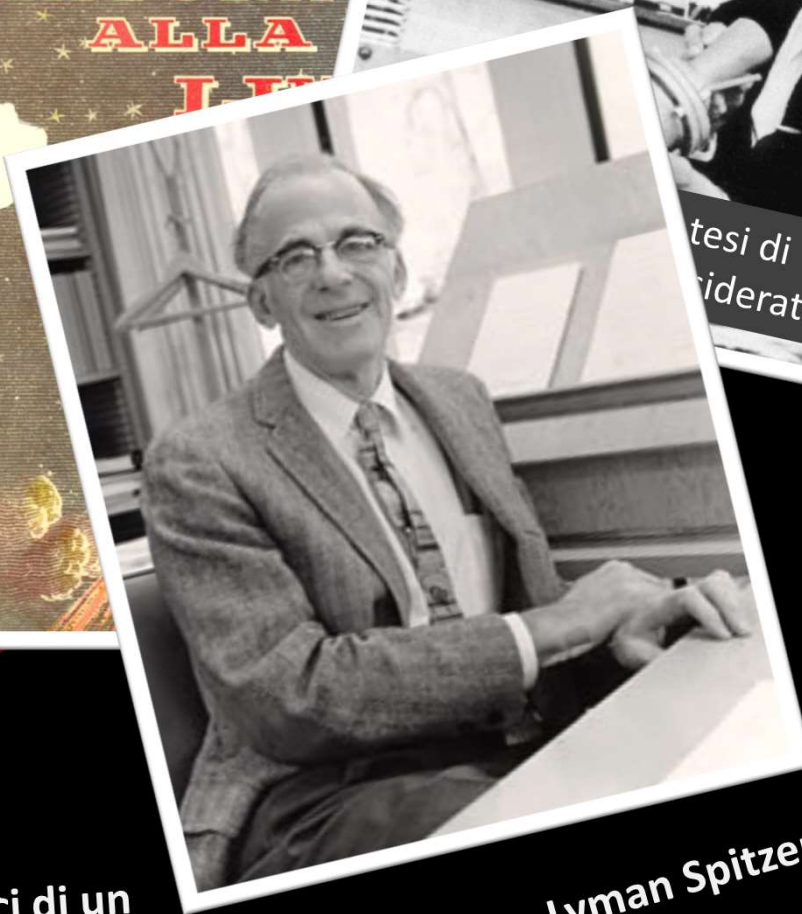
tesi di laurea venne
considerata pura «utopia»

1923

Il razzo nello spazio
interplanetario

1946

I vantaggi astronomici di un
osservatorio extraterrestre



Lyman Spitzer

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Collier
March 22, 1952

24



Chesley Bonestell

Men and materials arrive in the winged rocket and take "space taxis" to wheel-shaped space station at right. Men wear pressurized suits

CROSSING THE LAST FRONTIER

By **DR. WERNHER von BRAUN**

Technical Director, Army Ordnance Guided Missiles
Development Group, Huntsville, Alabama

Scientists and engineers now know how to build a station in space that would circle the earth 1,075 miles up. The job would take 10 years, and cost twice as much as the atom bomb. If we do it, we can not only preserve the peace but we can take a long step toward uniting mankind

Three "space

WITHIN a few years, man-made space stations will have the greatest force for the most terrible who makes and who is visible from the moon—which will sweep around the earth at a speed of 1,075 miles per hour. In the opinion of the rocket engineers, a trip around the world will provide the most rapid means of travel between its speed and will keep it on course.

(left to right): Rolf Klep, and Chesley Bonestell



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Collier's for March 22, 1952



1968: la Nasa sviluppa un piano per un telescopio riflettore da 3 metri di diametro

1970: NASA crea due commissioni per pianificare la parte ingegneristica e definire gli obiettivi scientifici della missione

1974: viene ridotto il diametro da 3 a 2,4 metri per permettere una configurazione più compatta

1975: viene coinvolta l'ESA

1978: 36 milioni i dollari per un lancio nel 1983

Al lancio , HST porta 5 strumenti scientifici: tra i quali la Wide Field and Planetary Camera (WF/PC).

La Wf/PC è uno strumento per immagini ad alta risoluzione principalmente per osservazioni ottiche.

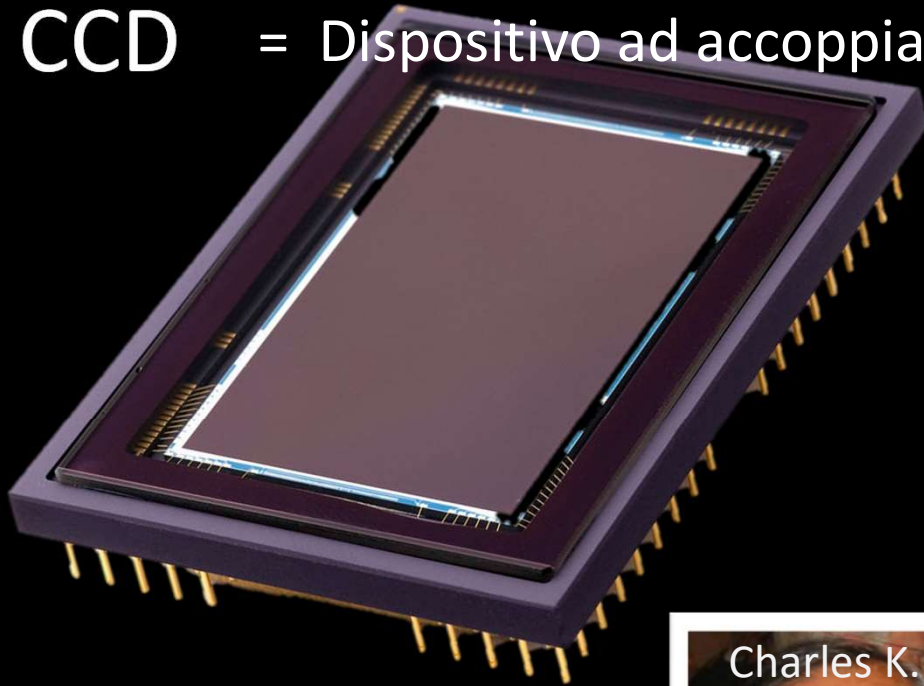
Lo strumento contiene 8 CCD divisi in due camere ciascuna delle quali usa 4 CCD.

Ogni CCD ha una risoluzione di 0.64 megapixel.

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

(left to right): Rolf Klep, and Chesley Bonestell

CCD = Dispositivo ad accoppiamento di carica



Nobel fisica 2009

“per il pioneristico
progresso
riguardante la
trasmissione di luce
in fibre ottiche per la
comunicazione

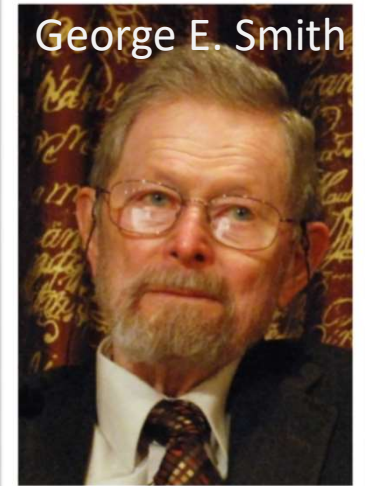
Charles K. Kao



Willard S. Boyle



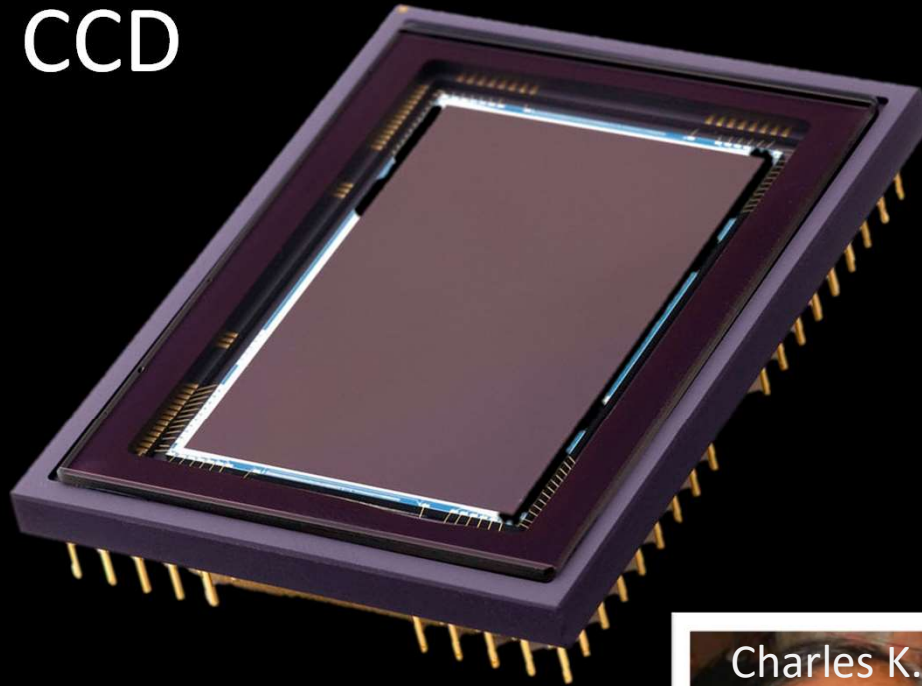
George E. Smith



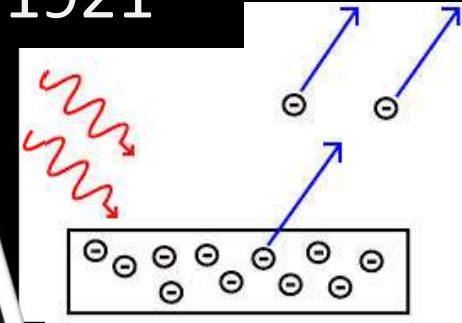
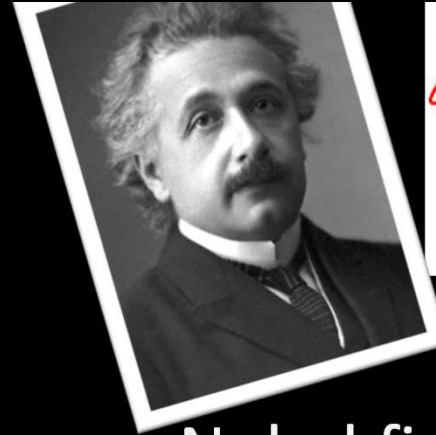
Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

“per l'invenzione di un circuito
semiconduttore per la raccolta
di immagini - il CCD”

CCD



Nobel fisica 1921



Nobel fisica 2009

“per il pioneristico
progresso
riguardante la
trasmissione di luce
in fibre ottiche per la
comunicazione

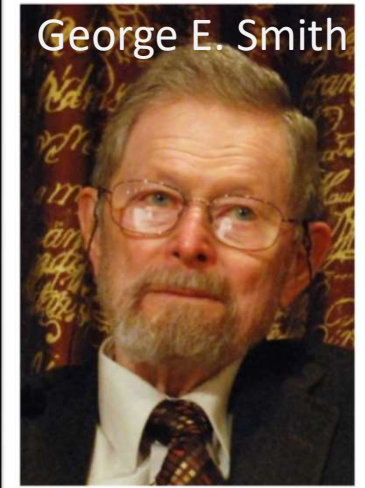
Charles K. Kao



Willard S. Boyle



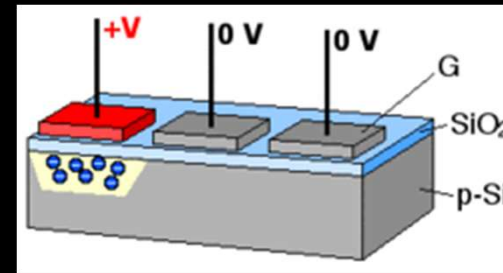
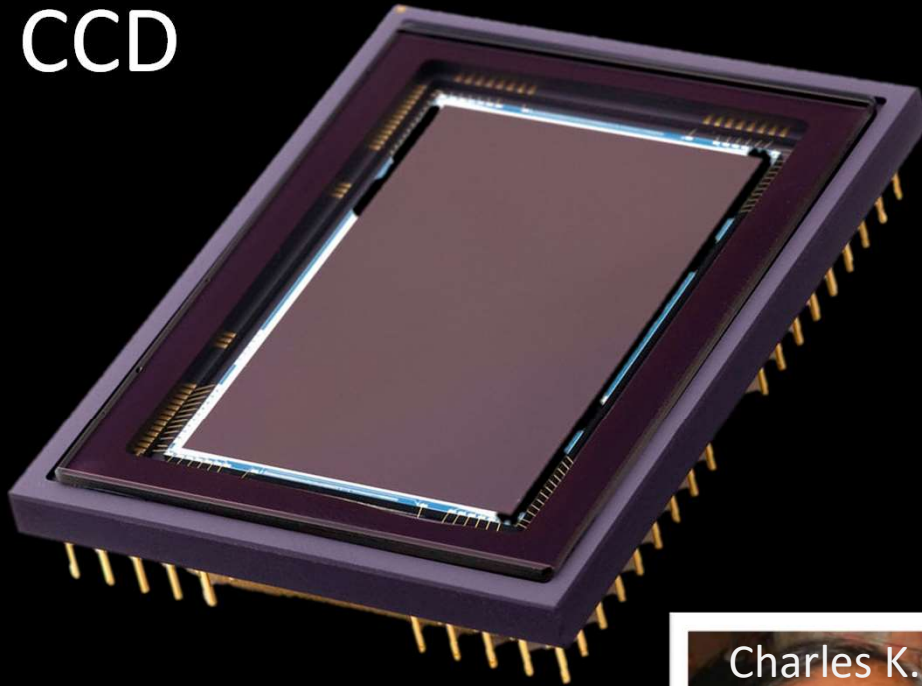
George E. Smith



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

“per l'invenzione di un circuito
semiconduttore per la raccolta
di immagini - il CCD”

CCD



Nobel fisica 2009

“per il pioneristico
progresso
riguardante la
trasmissione di luce
in fibre ottiche per la
comunicazione

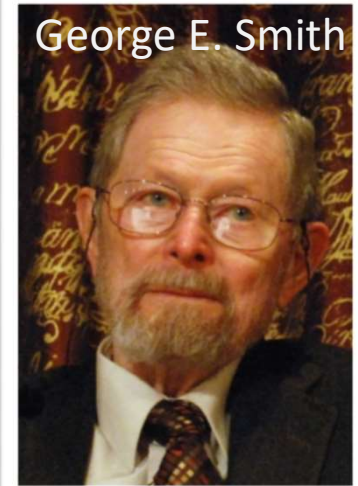
Charles K. Kao



Willard S. Boyle



George E. Smith



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

“per l'invenzione di un circuito
semiconduttore per la raccolta
di immagini - il CCD”



Fotocamere compatte - Tipologia fotocamera:
Fotocamera compatta

Nikon COOLPIX L31

Tipologia fotocamera: Fotocamera compatta,
Megapixel: 16.1 MP, Tipo sensore: CCD, Zoom
ottico: 5 x, Dimensioni schermo: 2.7 ", Tipi schede
di memoria: SD, SDHC, SDXC, Tipo batteria: AA

[Specifiche tecniche](#)



Fotocamere compatte - Tipologia fotocamera:
Fotocamera compatta

Kodak PIXPRO FZ151

Tipologia fotocamera: Fotocamera compatta,
Megapixel: 16 MP, Tipo sensore: CCD, Zoom ottico:
15 x, Dimensioni schermo: 3 ", Stabilizzatore
immagine , Tipi schede di memoria: SD, SDHC,
Tipo batteria: LB-050

[Specifiche tecniche](#)

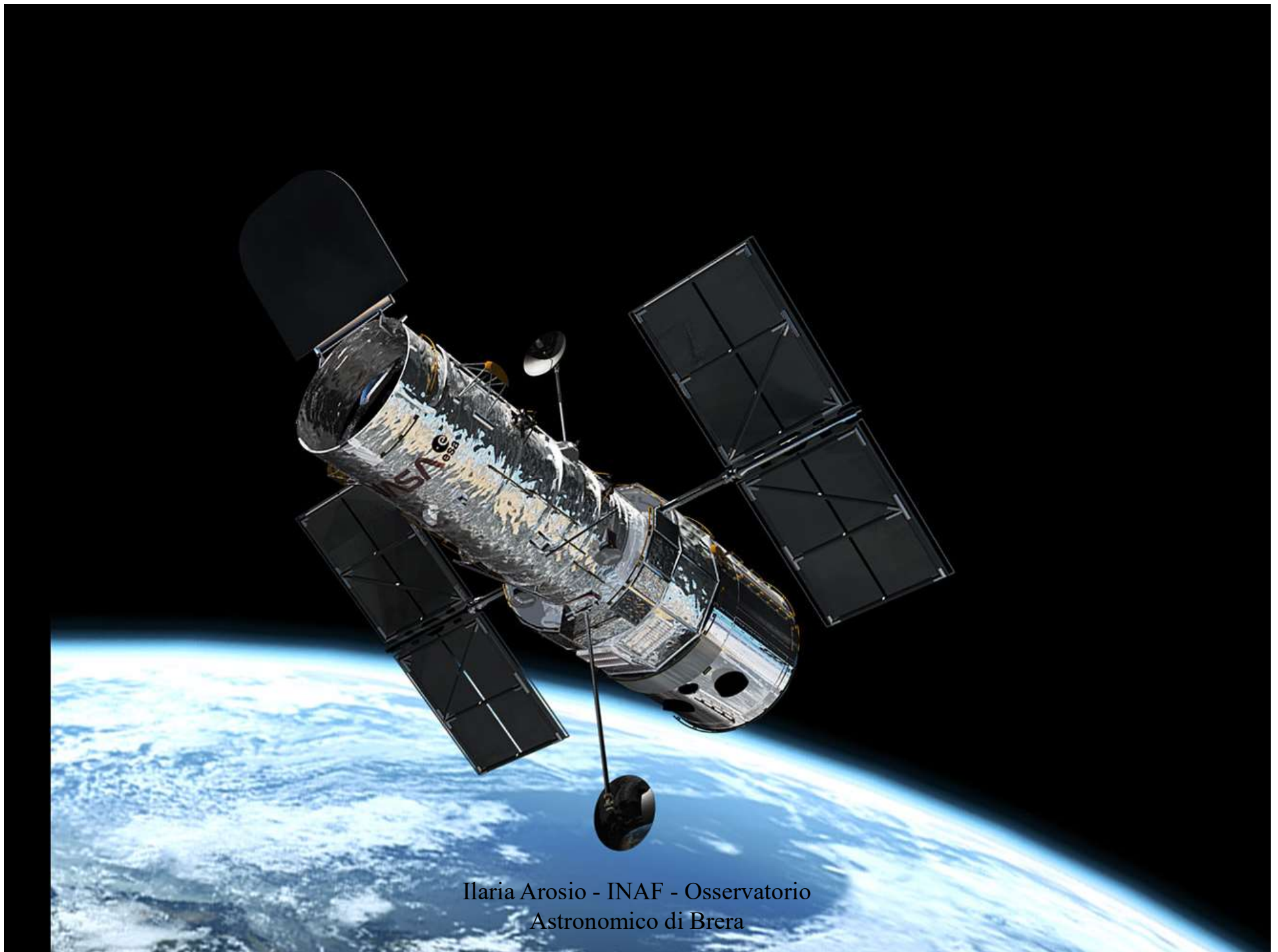


Fotocamere compatte - Tipologia fotocamera:
Fotocamera compatta

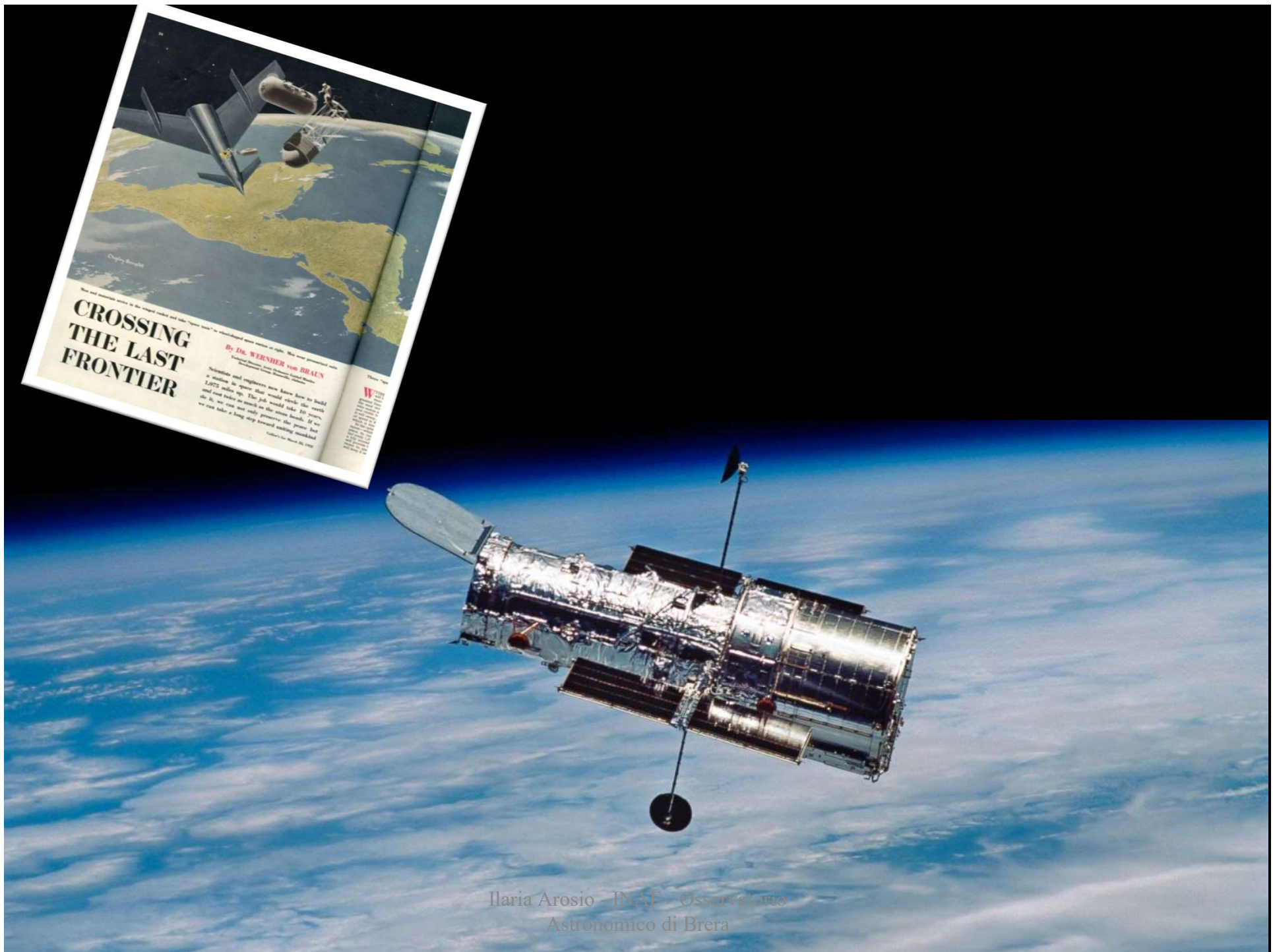
Samsung WB WB35F

Tipologia fotocamera: Fotocamera compatta,
Megapixel: 16.2 MP, Tipo sensore: CCD, Zoom
ottico: 12 x, Dimensioni schermo: 2.7 ",
Stabilizzatore immagine , Tipi schede di memoria:
MicroSD (TransFlash), MicroSDHC, MicroSDXC,
Tipo batteria: BP70A

[Specifiche tecniche](#)



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Hubble Space Telescope



In orbita attorno alla terra a 600 Km di altezza

Venne lanciato il 24 aprile 1990



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

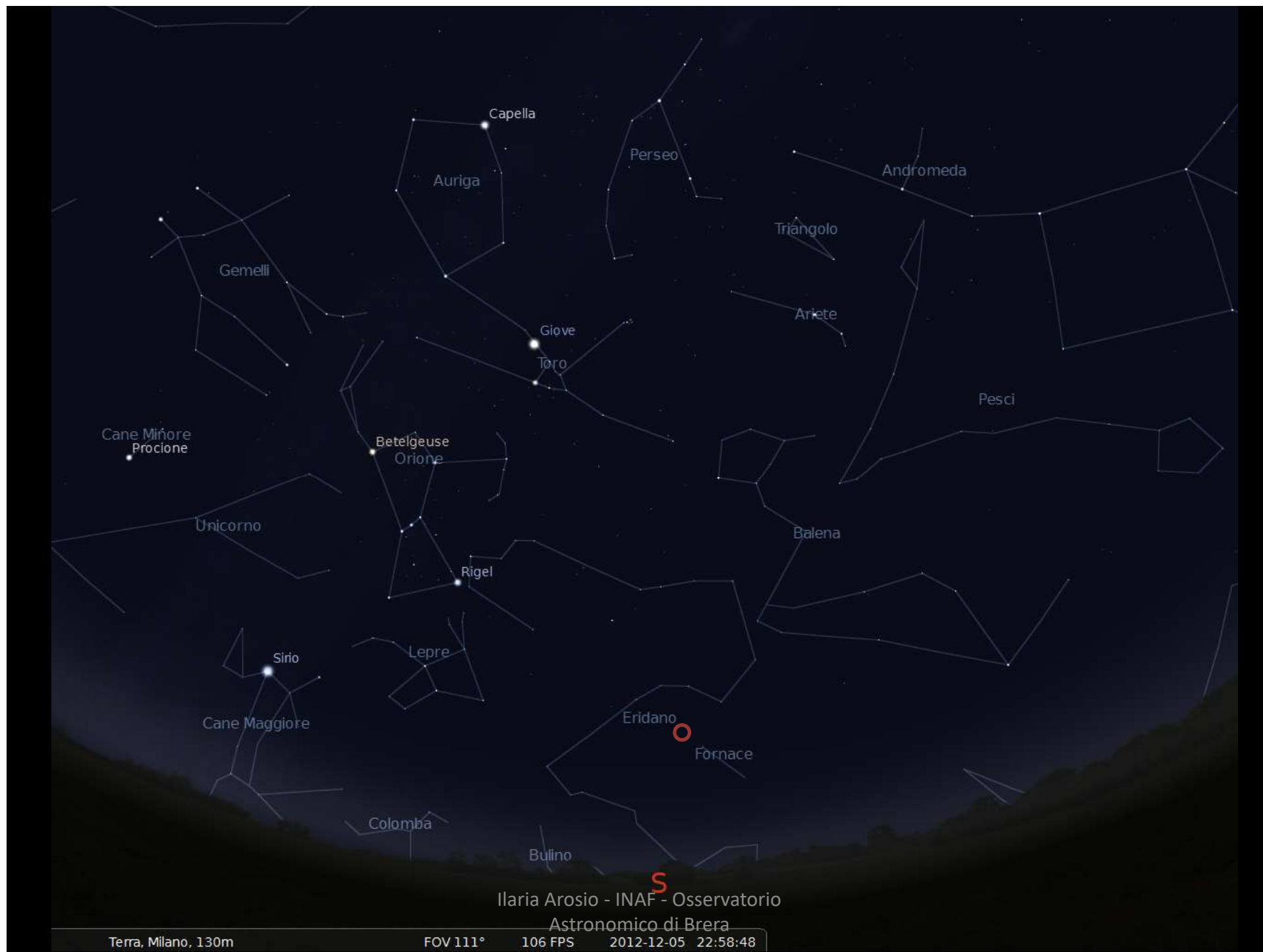
Hubble Space Telescope

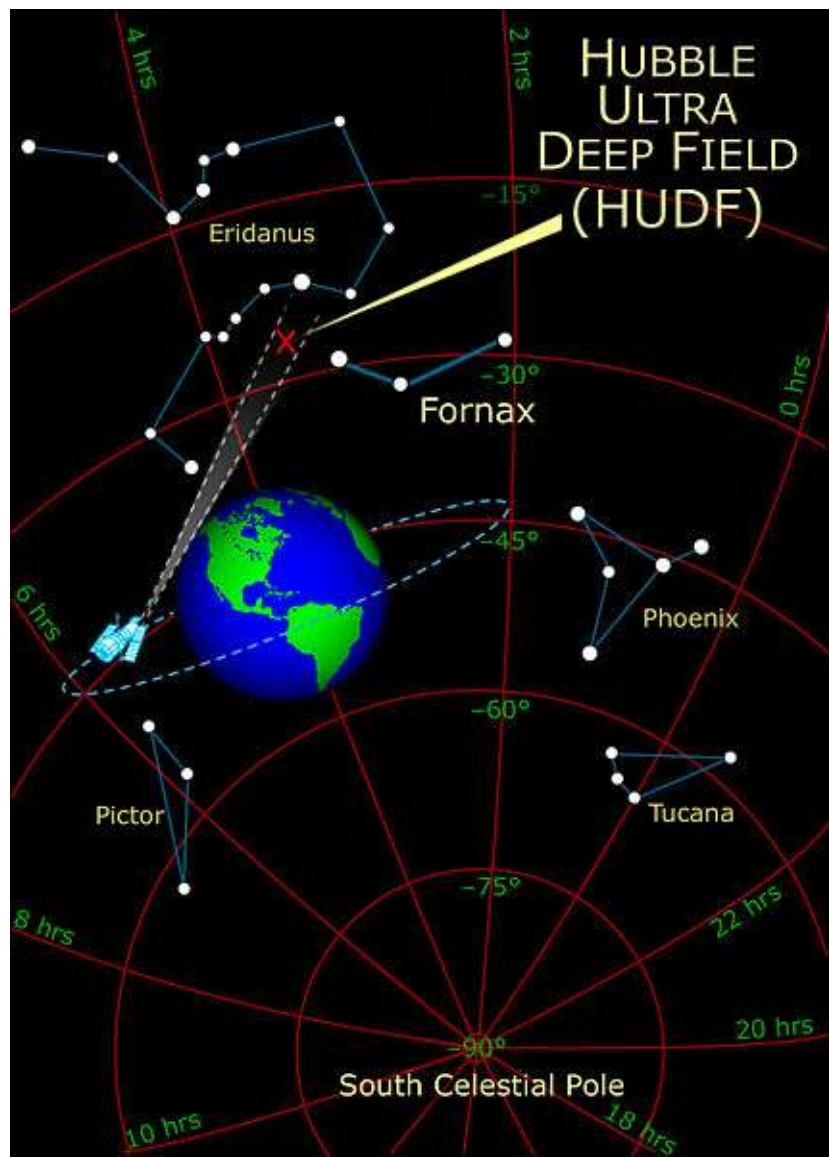
In orbita attorno alla terra a 600 Km di altezza

Venne lanciato il 24 aprile 1990



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera





Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Terra, Milano, 130m

FOV 111°

106 FPS

2012-12-05 22:58:48

Hubble Ultra Deep Field:

Angolo di cielo grande quanto un decimo della luna piena



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Terra, Milano, 130m

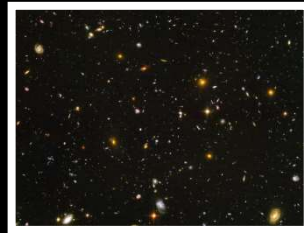
FOV 111°

106 FPS

2012-12-05 22:58:48

Hubble Ultra Deep Field:

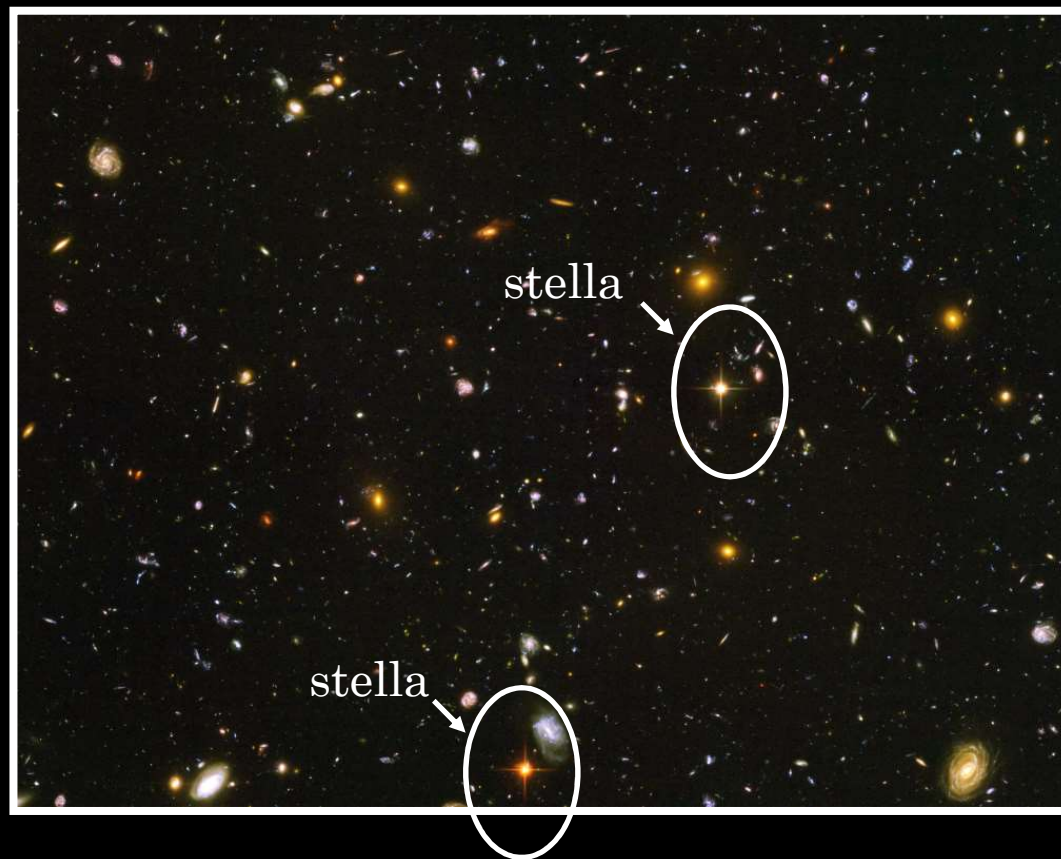
Angolo di cielo grande quanto un decimo della luna piena

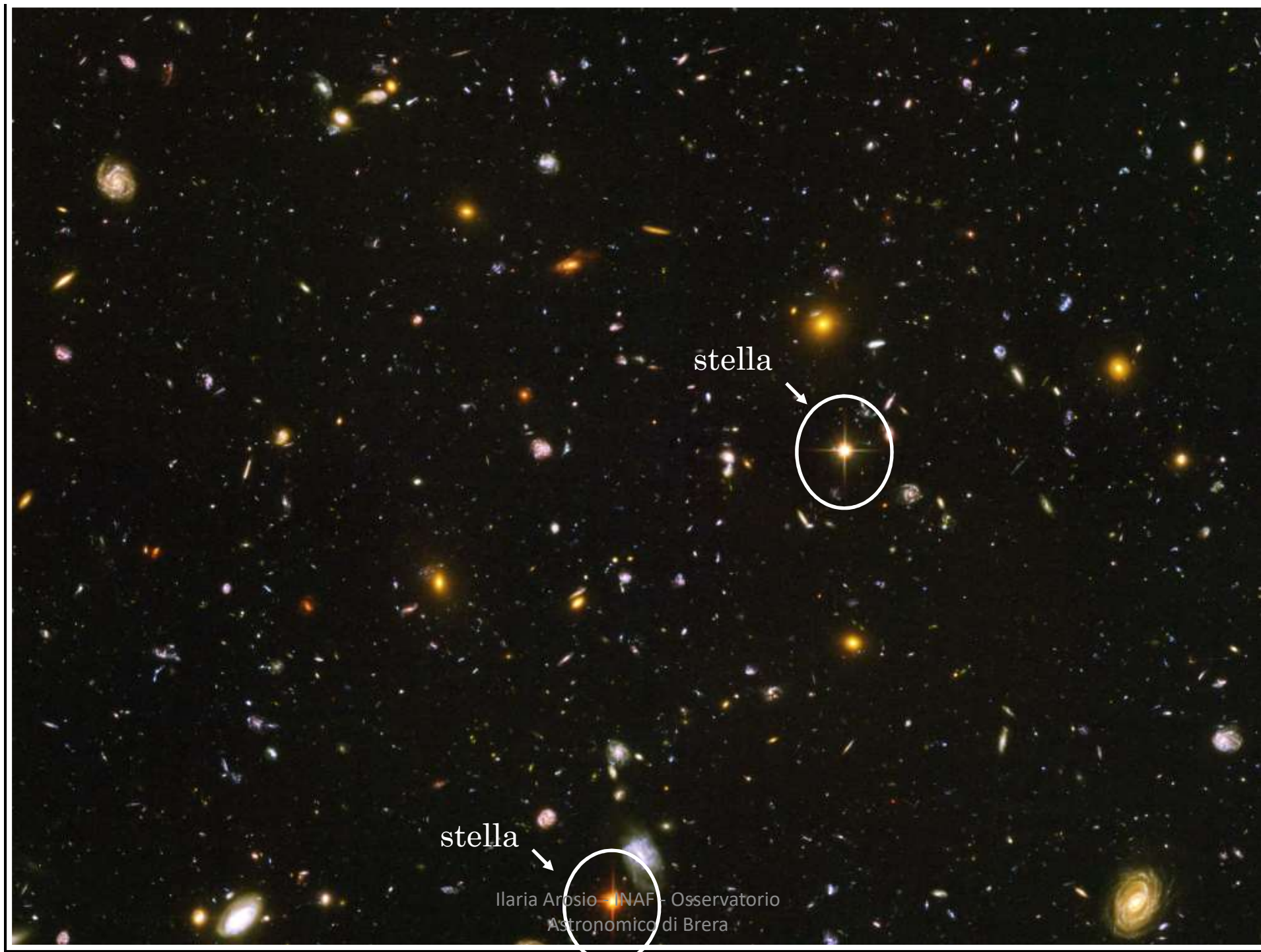


Musica di Brian Eno An ending

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Ogni singolo punto luminoso in questo angolo di cielo
(ad eccezione di due sole stelle) è una galassia.

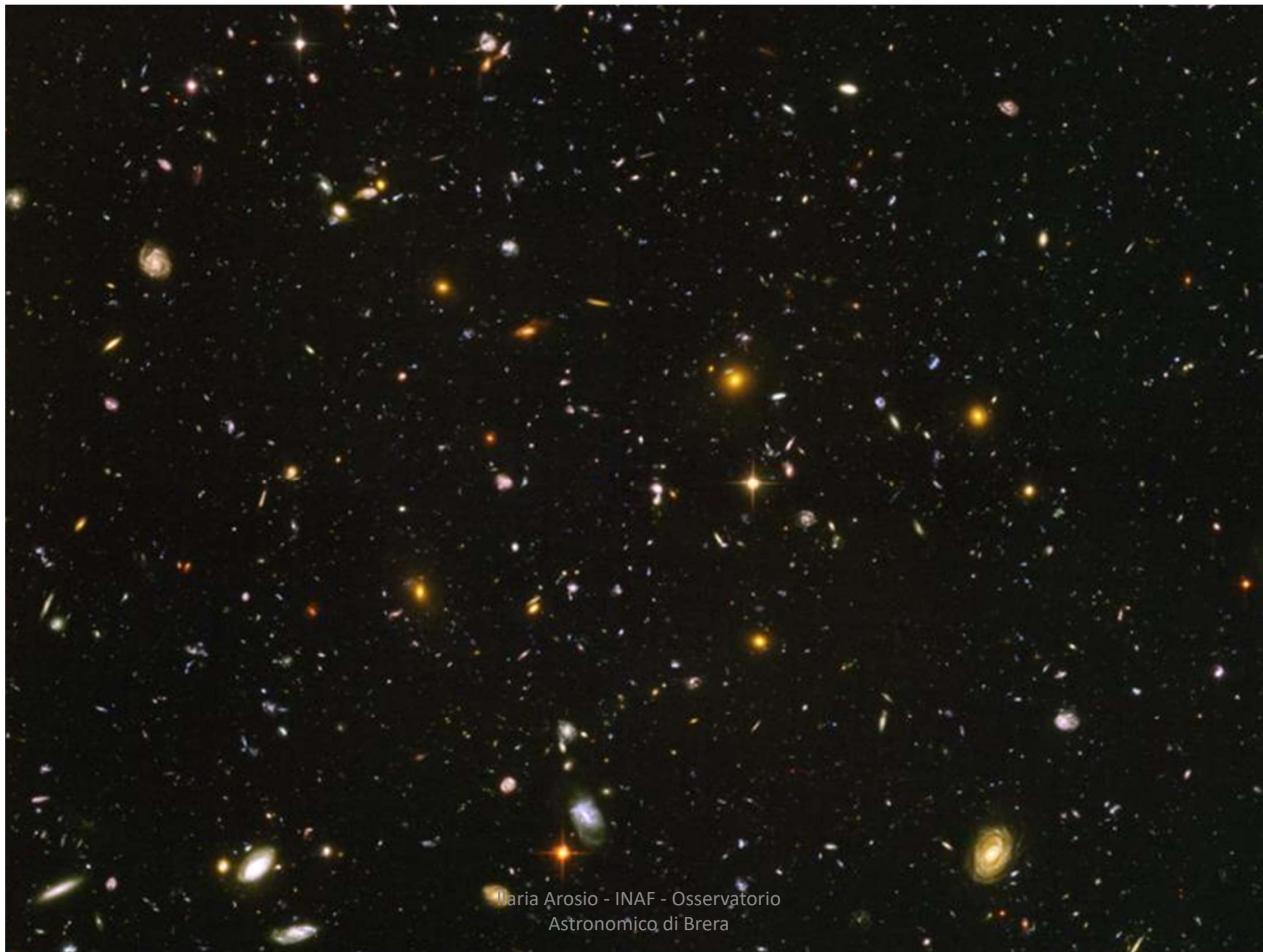




A deep-field astronomical image showing a vast field of galaxies and stars against a black background. The galaxies are of various shapes and sizes, some appearing as bright, diffuse clouds, others as more compact, point-like sources. The stars are small, bright points of light, some with visible diffraction patterns. The overall scene is a dense, colorful mosaic of cosmic objects.

“Attraverso lo spazio, l’universo mi
circonda e mi inghiotte come un punto;
con il pensiero, io lo comprendo”

Blaise Pascal



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



67P/Churyumov-Gerasimenko



Ilana Arosio - INAF Osservatorio
Astronomico di Brera

Maggio 1970

Suor Mary Jacunda inviò una lettera al direttore scientifico della NASA Ernst Stuhlinger chiedendogli come potesse proporre qualcosa di così costoso come andare su Marte mentre sulla Terra ogni anno milioni di persone pativano la fame.

Stuhlinger rispose con una lettera lunga e ben argomentata, che successivamente fu pubblicata dalla NASA con il titolo “Perché esplorare lo Spazio?”.

«400 anni fa...

«Il viaggio verso Marte non sarà certo una fonte diretta di cibo per sfamare gli affamati. Tuttavia porterà a così tante nuove tecnologie e potenzialità che le ricadute da questo progetto da sole avranno un valore di molto superiore ai costi»

Nel 1970 Stanford Research Institute stima che ognuno abbia ricevuto in termini di benefici tecnologici 7 dollari per ogni dollaro speso nel programma Apollo

Nel 1975 La Chase Econometrics conduce uno studio sull'impatto di un aumento di risorse per la ricerca e lo sviluppo dalla NASA sull'economia nazionale. Ogni miliardo di aumento nel finanziamento della NASA sostenuto per 10 anni avrebbe creato 1,1 milioni di nuovi posti di lavoro, ridotto l'inflazione del 2% e aumentato il prodotto interno lordo di 23 miliardi di dollari.



Nel 1988 Ben Bova, presidente della National Space Society, da una studio sulle prime dieci corporazioni stima che il ritorno tecnologico dell'era spaziale ha immesso nel sistema economico americano 500 miliardi all'anno sostenendo 10 milioni di posti di lavoro nelle comunicazioni, energetica, elettronica e nuovi materiali.

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

SPINOFF

An artist's rendering of the planet Jupiter, showing its characteristic swirling cloud bands in shades of brown, tan, and white. A small, dark, spherical moon, Europa, is visible in the lower right quadrant, with a small blue plume of water vapor rising from its surface. The background is a deep black space.

2017

Technology Transfer Program

NASA Headquarters

Daniel Lockney, *Technology Transfer Program Executive*

Spinoff Program Office

Goddard Space Flight Center

Daniel Coleman, *Editor-in-chief*

Mike DiCicco, *Senior Science Writer*

Naomi Seck, *Science Writer*

John Jones, *Senior Graphics Designer*

Contributing writers: Samson Rainy, Amber Healy

This artist's rendering, based on data from the Hubble Space Telescope, shows water vapor pluming from cracks on the surface of Europa, one of the solar system's most intriguing moons. Tidal forces from Jupiter's immense gravity are believed to cause enough internal friction to heat a stable ocean of liquid water beneath the icy body's surface. The presence of this ocean has led scientists to speculate that Europa may even host life, and a future NASA mission is being planned that would conduct 45 flybys of the moon to gather detailed observations of its habitability.

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

INSIDE TABLE OF CONTENTS

DEPARTMENTS

- 5 Foreword
- 7 Introduction
- 8 Robotics Spinoffs
- 18 Executive Summary
- 30 NASA Technologies Benefiting Society
- 178 Partnership News
- 194 Award-Winning Technologies
- 208 Spinoffs of Tomorrow
- 230 Technology Transfer Program



58



68



SPINOFFS

HEALTH AND MEDICINE

- 34 Active Pixel Sensors Lead Dental Imagery Into the Digital Age
- 38 Mini Heat Pipes Wick Away Heat in Brain Surgery
- 40 Fluorescent Diagnostic Test Readers Offer Fast, Low-Cost Results
- 42 Cooling Garments Find New Medical, Athletic, and Industrial Uses
- 46 Space-Based Bone Scanner Expands Medical Research
- 48 Temperature-Regulating Fabrics Keep Babies Comfortable



2 Table of Contents

TRANSPORTATION

- 52 Reconfigurable Radio Tracks Flights Worldwide
- 56 Design Software Shapes Future Sonic Booms
- 58 Orion Parachute Innovations Carry Commercial Rockets Back to Earth
- 60 CO₂ Sensors Monitor Vehicle Emissions from Above
- 62 Software Opens Computational Fluid Dynamics to the Uninitiated
- 64 Hydraulic Carts Streamline Structural Tests for Aircraft



PUBLIC SAFETY

- 68 Orion Video Requirement Advances High-Speed, Compact Cameras
- 72 Rocket Technology Stops Shaking in Its Tracks
- 76 Micromachined Sensors Monitor Train Rails, Predict Failures
- 78 Wire Sensors Alert to Dangerous Conditions in the Clouds
- 80 Fast-Flow Nanofiber Filters Purify Water at Home and in the Field
- 82 Miniaturized Vacuum Pumps Play Big Roles on Mars and Earth



CONSUMER GOODS

- 86 CMOS Sensors Enable Phone Cameras, HD Video
- 90 Novel Threading Enables New Approach to Golf Clubs
- 94 Blue-Light-Cancelling Lens Gives Skiers a Clearer View
- 96 Rechargeable Hearing Aid Batteries Draw from NASA Research
- 100 Large-Scale 3D Printer Brings Manufacturing to the Masses
- 104 Professional Development Program Gets Bird's-Eye View of Wineres
- 106 Carbon Nanotube Resin Shores Up Boats, Bikes



Spinoff 2017



ENERGY AND ENVIRONMENT

- 110 GPS Correction Technology Lets Tractors Drive Themselves
- 112 Controlled-Release Fertilizer Takes Root In Fields, Groves Worldwide
- 116 Satellite Imagery Sheds Light on Agricultural Water Use
- 118 Building Sensor Monitors Power Usage, Device by Device
- 122 Earth Observation Spots, Helps Prevent Rainforest Fires
- 126 Mineral Analyzer Shakes Answers Out of Soil and Rocks
- 130 Low-Cost Flow Meters Bring Efficiency, Reliability to Nuclear Plants
- 132 Computer Learning Program Inventories Farmers' Fields



Spinoff 2017

INFORMATION TECHNOLOGY

- 136 Laser Imaging Helps Archaeologists Dig Up History
- 140 Program Predicts Aerothermodynamics of Reentry, Subsonic Flight
- 142 Data Acquisition System Captures Machine Performance
- 144 Light-Analysis Software Explodes across Industries
- 148 Connectors Link Data Networks for Orion, Industry
- 150 Scheduling Software Plans Public, Private Space Missions
- 152 Power Amplifiers Boost Radar, Communications, Defense Systems



INDUSTRIAL PRODUCTIVITY

- 156 3D Weaving Technology Strengthens Spacecraft, Race Cars
- 160 Vibration Tables Shake Up Aerospace, Car Testing
- 162 Astronauts Instruct Newcomers on Peculiarities of Spaceflight
- 164 Polyimide Aerogels Boost Antennas, Insulate Pipes
- 166 Privately Built Facility Offers Advantages in Space Exposure Testing
- 168 Optical Filters for NASA Imagers Focus on Cutting Edge
- 170 Zinc-Silicate Coating Blocks Corrosion
- 172 Outgassing Test Facility Brings New Materials into Space Industry
- 174 Shuttle, Hubble Work Lead to Strength in Custom Current Sensors
- 176 High-Heat Cement Gives Ashes New Life

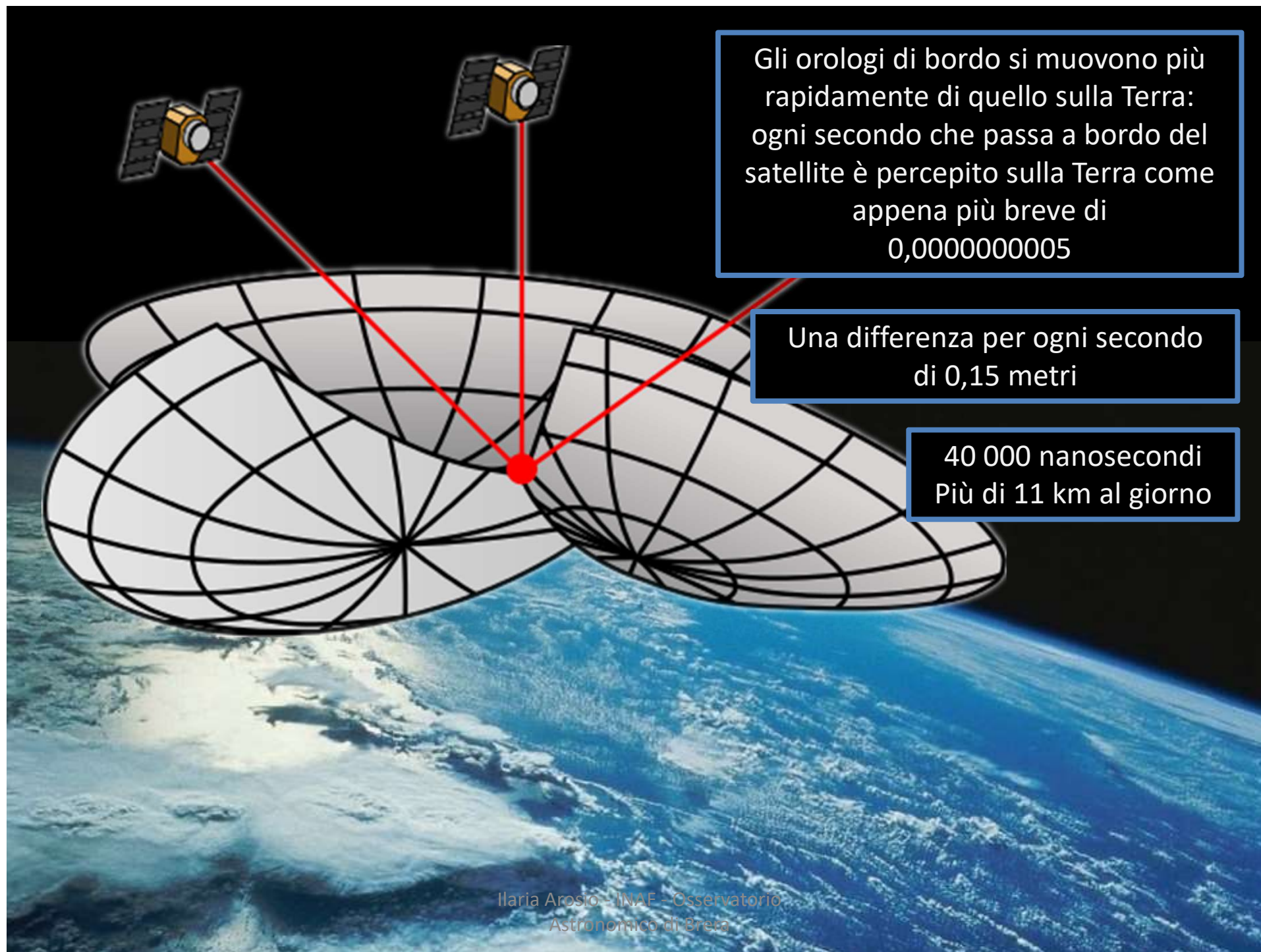


Table of Contents 3

Ma della relatività generale ...
che me ne faccio?



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

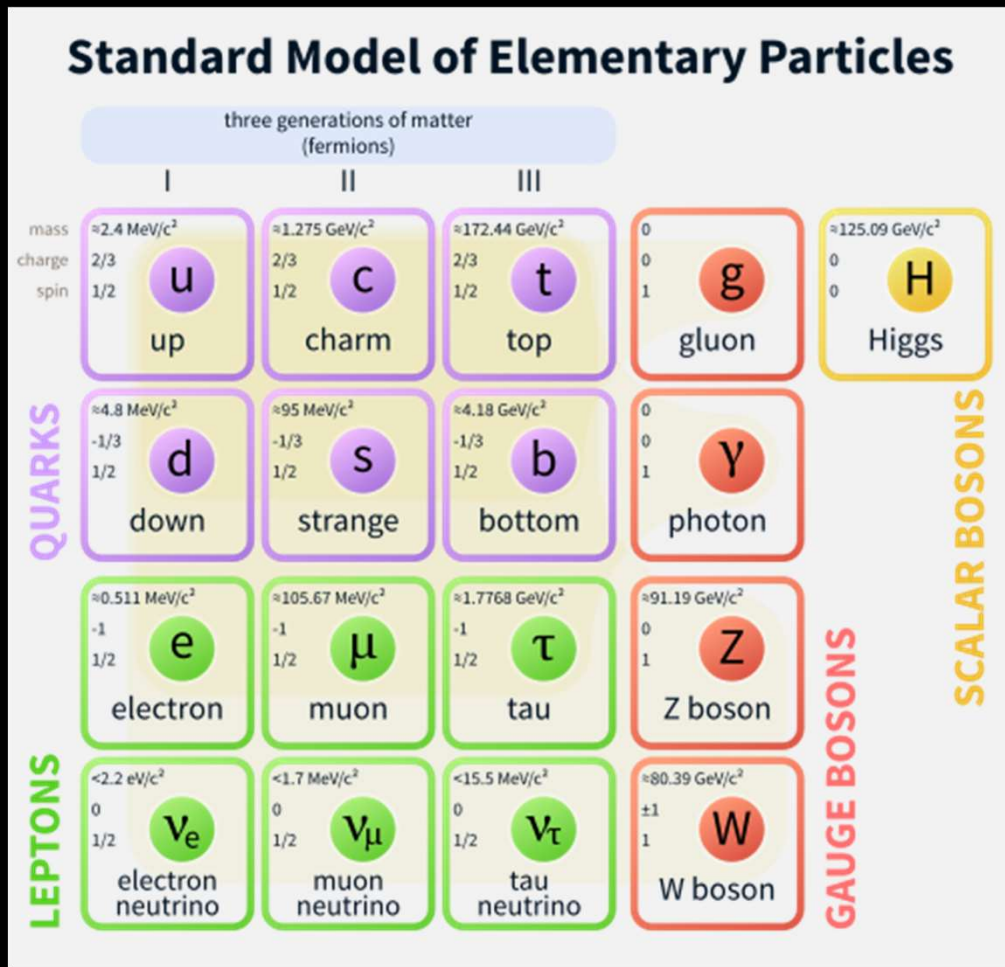


Gli orologi di bordo si muovono più rapidamente di quello sulla Terra: ogni secondo che passa a bordo del satellite è percepito sulla Terra come appena più breve di 0,0000000005

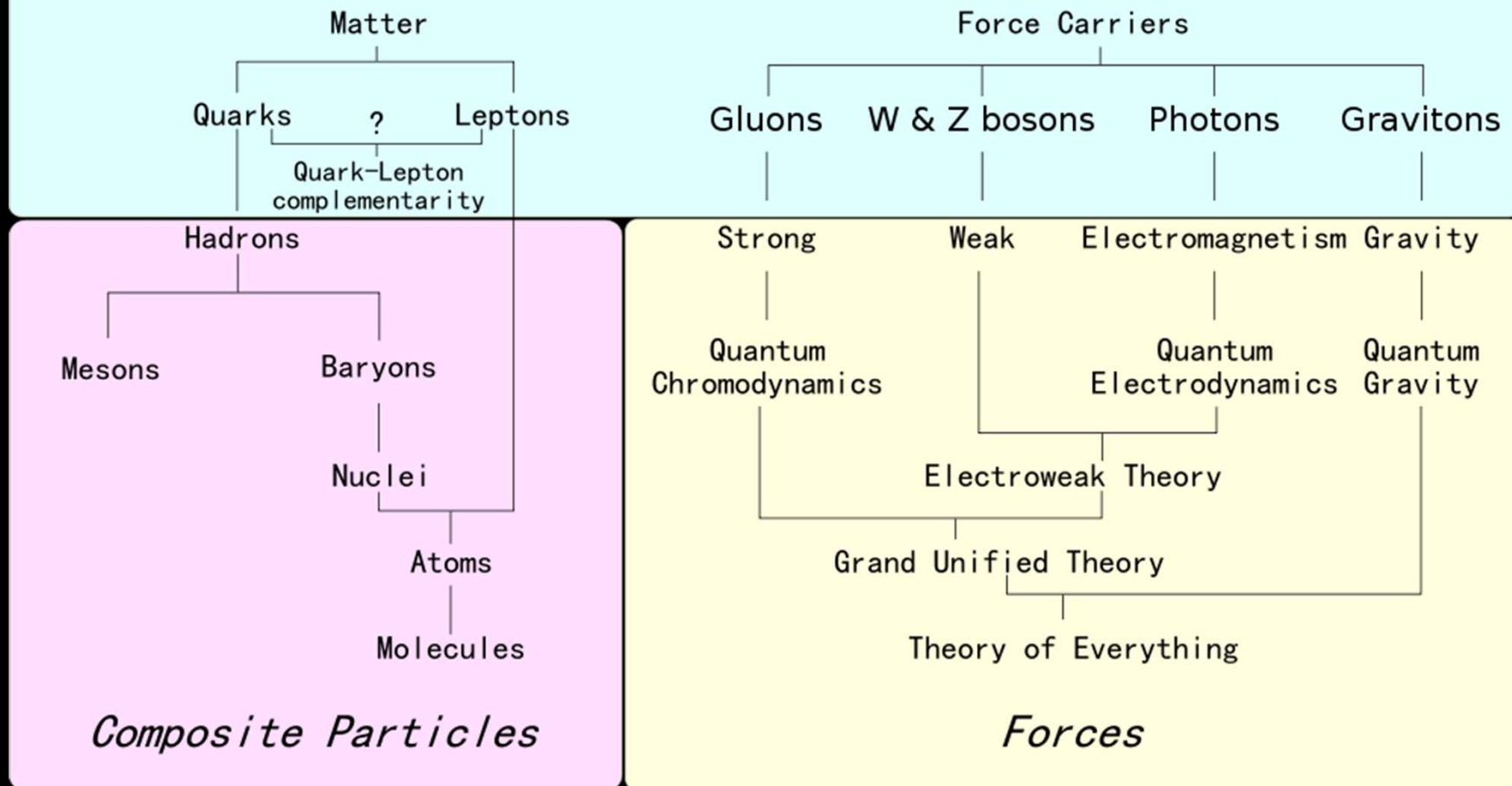
Una differenza per ogni secondo di 0,15 metri

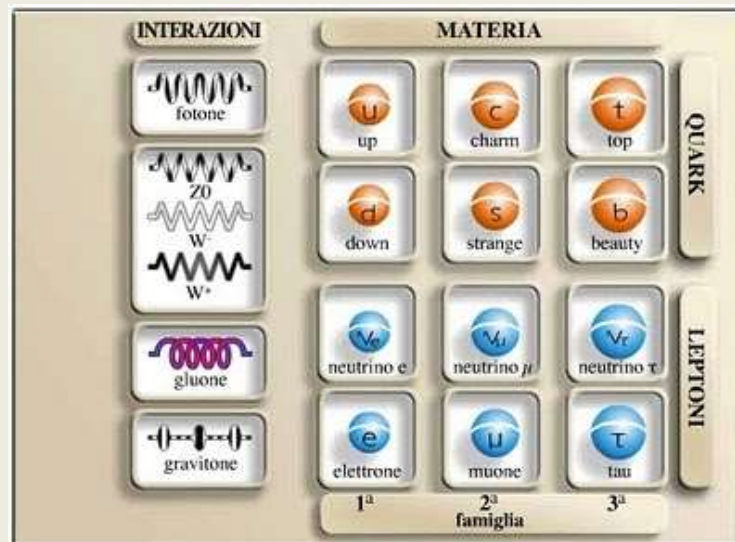
40 000 nanosecondi
Più di 11 km al giorno

Ma della struttura fine della materia...
che me ne faccio?

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Elementary Particles





PARTICELLE DI MATERIA			
QUARK			
Queste particelle formano i protoni, i neutroni e un vero e proprio zoo di altre particelle meno note. Non sono mai stati osservati isolatamente.			
UP  u Carica elettrica: +2/3 Massa: 2 MeV Costituente della materia ordinaria: un protone è composto da due quark up e uno down.	DOWN  d Carica elettrica: -1/3 Massa: 5 MeV Costituente della materia ordinaria: un neutrone è composto da due quark down e uno up.	CHARM  c Carica elettrica: +2/3 Massa: 1,25 GeV Cugino instabile e più pesante del quark up, scoperto come costituente della particella J/ψ.	TOP  t Carica elettrica: +2/3 Massa: 171 GeV È la particella più pesante, ha massa paragonabile a un atomo di osmio e una vita media molto breve.
		STRANGE  s Carica elettrica: -1/3 Massa: 95 MeV Cugino instabile e più pesante del quark down, è il costituente del più studiato kaone, altra particella.	BOTTOM  b Carica elettrica: -1/3 Massa: 4,2 GeV Alta copia instabile e ancora più pesante del quark down, è un costituente del mesone B.
LEPTONI			
Queste particelle sono immuni all'interazione forte e si osservano isolatamente. Ogni neutrino mostrato qui in realtà è una combinazione di neutrini diversi, ciascuno con massa non più grande di pochi eV.			
NEUTRINO ELETTRONICO  ν_e Carica elettrica: 0 Immune sia all'elettromagnetismo che all'interazione forte, non prende parte a quasi nessuna interazione, ma è essenziale nei decadimenti radioattivi.	NEUTRINO MU  ν_μ Carica elettrica: 0 Compare nelle reazioni deboli che coinvolgono i muoni.	NEUTRINO TAU  ν_τ Carica elettrica: 0 Compare nelle reazioni deboli che coinvolgono i leptoni tau.	
ELETTRONE  e Carica elettrica: -1 Massa: 0,511 MeV La particella più leggera dotata di carica. Trasporta la corrente elettrica e orbita intorno ai nuclei atomici.	MUONE  μ Carica elettrica: -1 Massa: 106 MeV Versione più pesante dell'elettone, vita media di 2,2 microsecondi, scoperto come componente dei raggi X cosmici.	TAU  τ Carica elettrica: -1 Massa: 1,78 GeV Un'altra versione instabile e ancora più pesante dell'elettone con una vita media di 0,3 picosecondi.	

PARTICELLE DI FORZA	
BOSONI	
A livello quantistico, ognuna delle forze fondamentali è mediata da una specifica particella o insieme di particelle.	
FOTONE  γ Carica elettrica: 0 Massa: 0 Mediatore dell'elettromagnetismo, il quanto di luce agisce sulle particelle cariche elettricamente. Il suo raggio d'azione è illimitato.	
BOSONE Z  Z Carica elettrica: 0 Massa: 91 GeV Il mediatore delle reazioni deboli che non modificano l'identità delle particelle. Il suo raggio d'azione è di appena 10 ⁻¹⁶ metri circa.	
BOSONI W⁺/W⁻  W Carica elettrica: +1 o -1 Massa: 80,4 GeV Sono i mediatori dell'interazione debole, che modifica il sapore e la carica delle particelle. Il raggio d'azione di queste interazioni è di appena 10 ⁻¹⁶ metri circa.	
GLUONI  g Carica elettrica: 0 Massa: 0 Otto specie di gluoni mediano l'interazione forte, interagendo con i quark e con altri gluoni. Queste particelle non rientrano nelle interazioni elettromagnetiche e delle interazioni deboli.	
HIGGS (ancora non osservato)  H Carica elettrica: 0 Massa: presumibilmente inferiore a 1 TeV, probabilmente tra 114 e 192 GeV Si ritiene che il bosone di Higgs conferisca la proprietà della massa ai quark, ai leptoni e ai bosoni W e Z.	

CERN

European Organisation for Nuclear Research - 1954



Large Hadron Collider - 1991

- Anello di 27 km a 100 mt sotto terra
- Accelera le particella ad una velocità che è di 99,99999991% della velocità della luce
 - Ogni secondo le particelle compiono 11245 volte il giro.
 - Entrata a regime della macchina: 10 settembre 2008

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

4 luglio 2012



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

CERN

European Organisation for Nuclear Research - 1954



1989

Tim Berner-Lee è ricercatore al CERN

- Sviluppa (con Robert Cailliau) e presenta l'idea di un software per la condivisione di documentazione scientifica
 - Il supervisore la valuta «vaga ma interessante»
 - **6 agosto 1991** Tim Berner-Lee pubblica il primo sito web
- Il 30 aprile 1993 il CERN rende pubblica l'invenzione rinunciando ad ogni diritto d'autore

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio

di Astronomia e Spazio

CERN

European Organisation for Nuclear Research - 1954



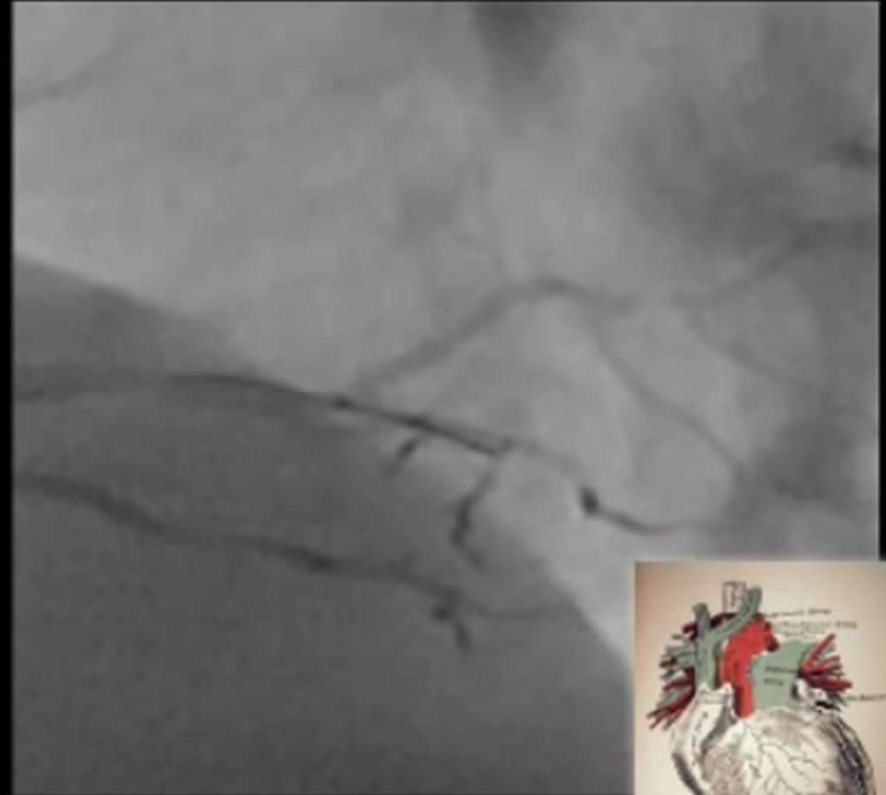
Large Hadron Collider - 1991

- Anello di 27 km a 100 mt sotto terra
- Accelera le particelle ad una velocità che è di 99,99999991% della velocità della luce
 - Ogni secondo le particelle compiono 11245 volte il giro.
 - Entrata a regime della macchina: 10 settembre 2008

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio

- **6 miliardi di euro**

Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

[Watch](#)[Discover](#)[Attend](#)[Participate](#)[About](#)[Log in](#)[Sign up](#)

Michelle Borkin:

Can astronomers help doctors?

TEDxBoston 2011 · 09:39 · Filmed Jun 2011



Watch later



Favorite



Rate

Share this idea



Facebook



Twitter



Email



More

138,658 Total views

How do you measure a nebula? With a brain scan. In this talk, TED Fellow Michelle Borkin shows why collaboration between doctors and astronomers can lead to surprising discoveries.



Michelle Borkin
physicist

Michelle Borkin is a PhD candidate in applied physics. She works with the Astronomical Medicine Project and interdisciplinary 3D visualization techniques. [Full bio](#)

- ✓ Tomografia assiale computerizzata
- ✓ Risonanza magnetica
- ✓ Tomografia ed emissione di positroni
- ✓ Ottica adattiva e degenerazioni maculari
- ✓ Camere pulite
- ✓ Raggi x per infortuni sportivi
- ✓ Software per la diagnosi dell'Alzheimers



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

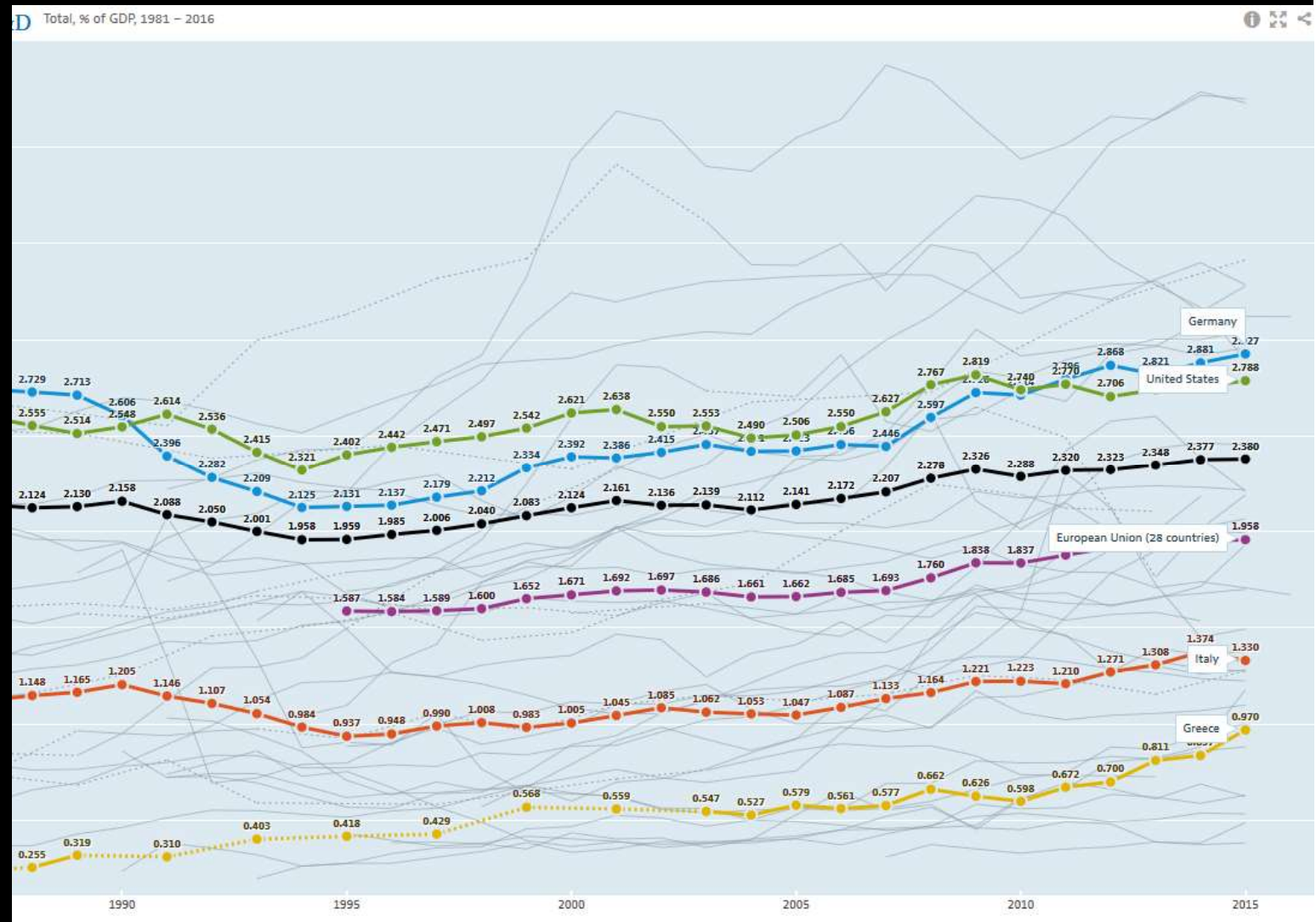


Museo della Permanente
XXI Esposizione Internazionale della Triennale di Milano

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

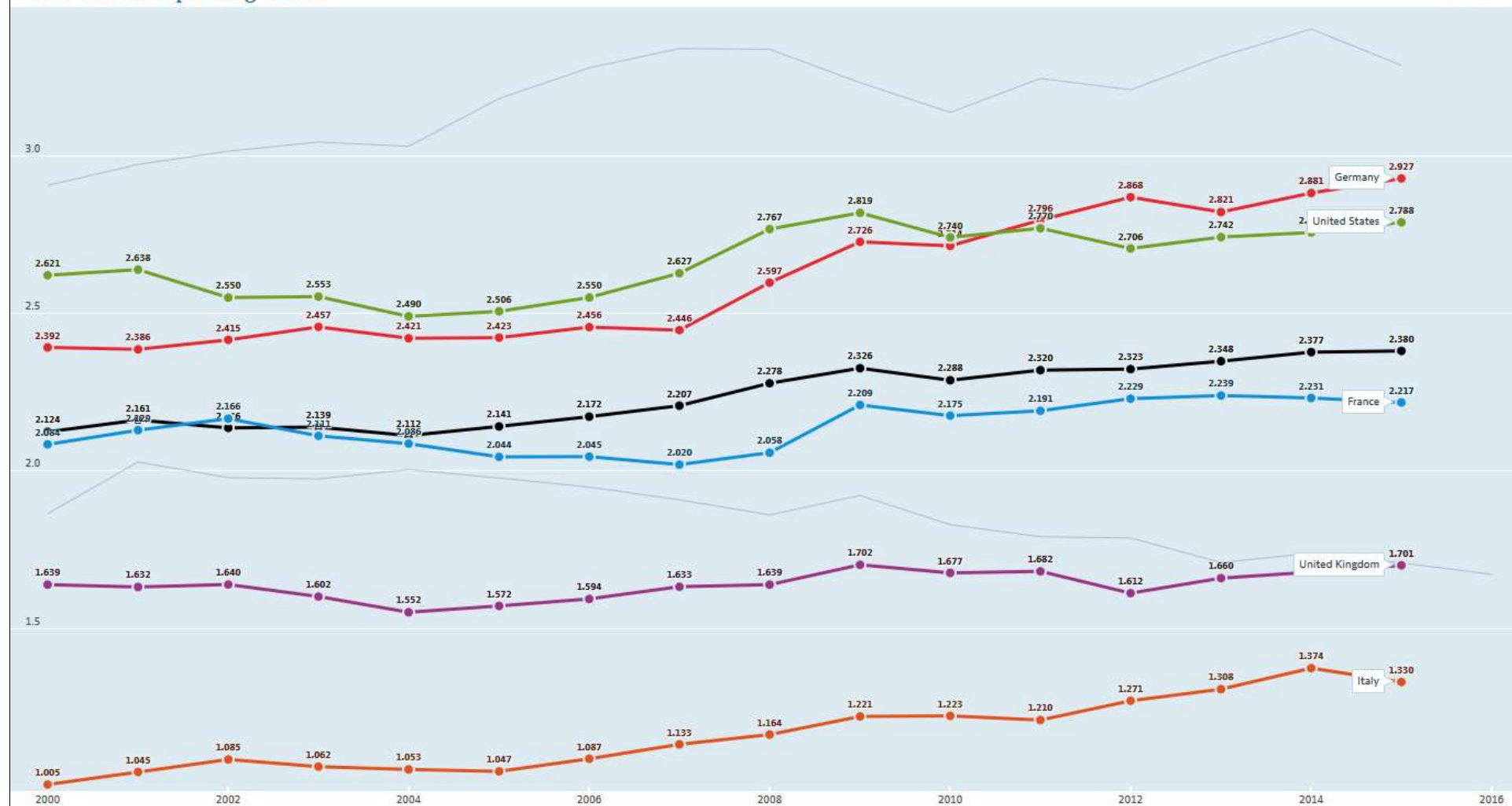
Investimenti a lungo termine

- Israele – 4,3%
- Korea
- Svizzera
- Giappone
- Svezia
- Austria
- Taipei
- Danimarca
- Germania
- Finlandia
- Stati Uniti
- Belgio
- OEDC total – 2,4%
- Slovenia
- Francia
- Island
- Cina
- Olanda
- Europa – 1,9%
- Norvegia
- Canada
- UK
- Estonia
- Ungheria
- Italia – 1,3 %
- Portogallo
- Nuova Zelanda
- Spagna
- Rep. Slovacca
- Russia
- Polonia
- Grecia
- Turchia
- Messico
- Romania – 0.5 %

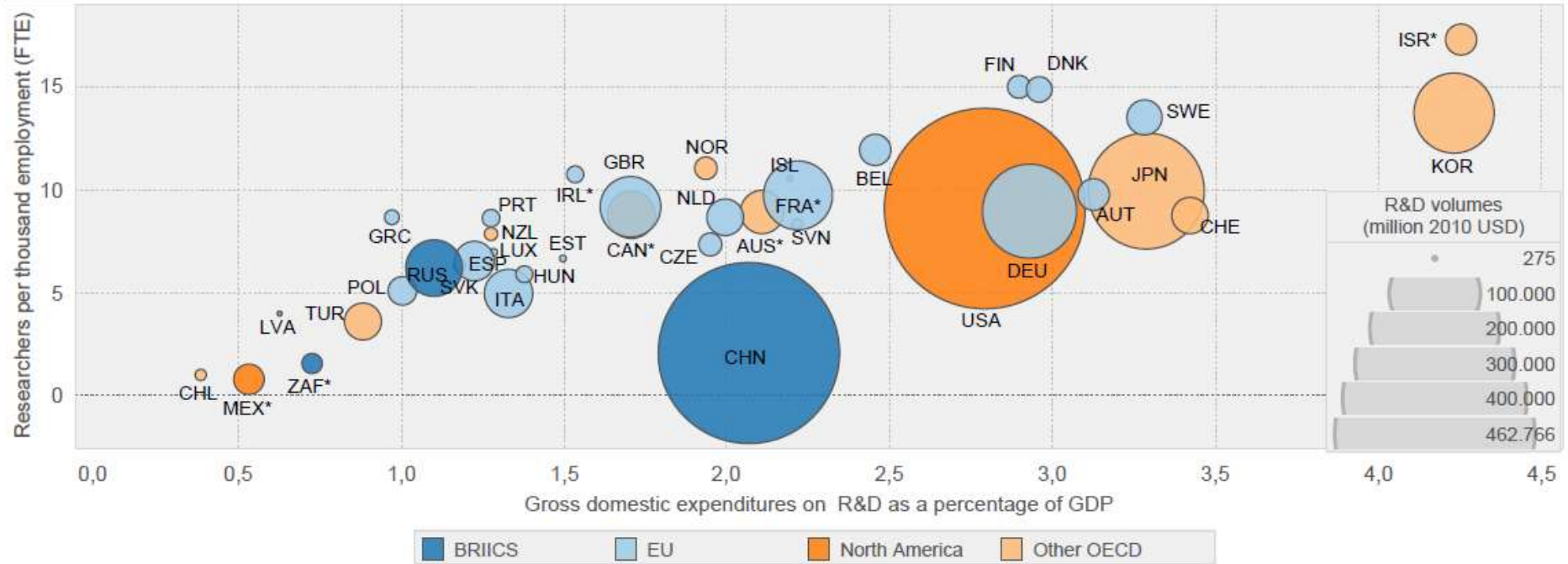


Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Gross domestic spending on R&D Total, % of GDP, 2000 – 2016



Human and financial resources devoted to R&D, 2015

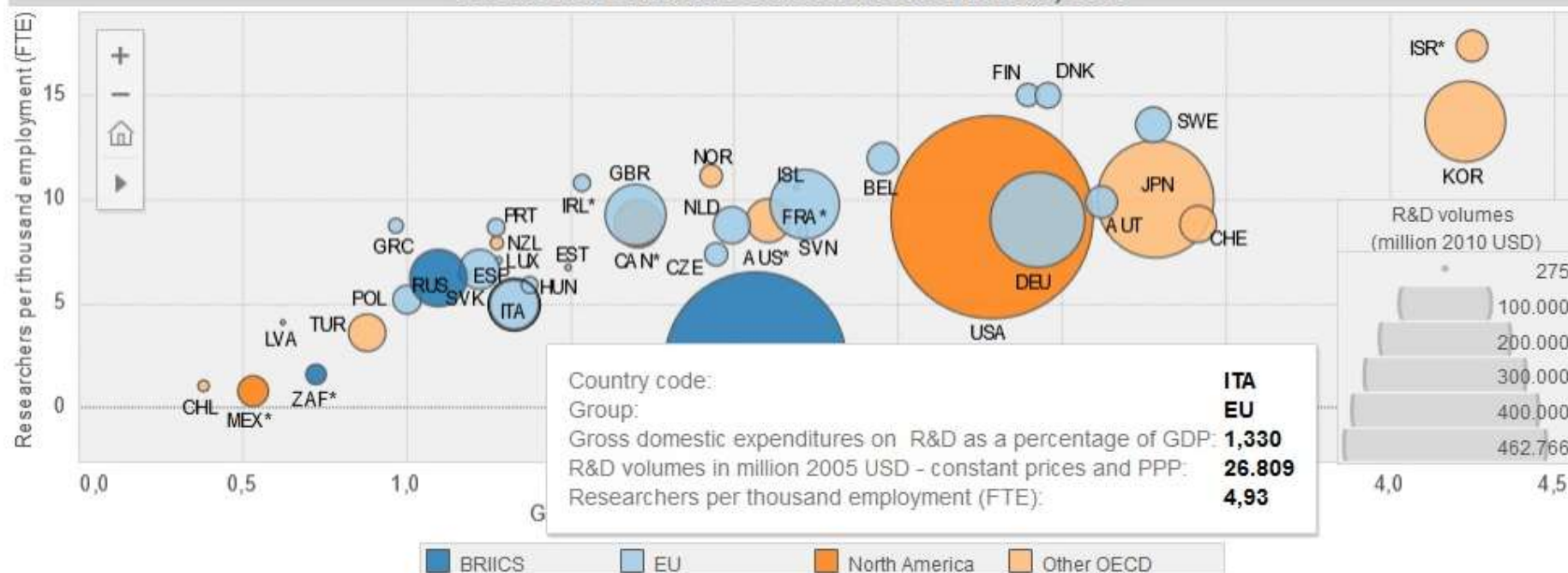


Source: OECD (2017), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*, OECD Publishing, Paris.

Data and notes: <http://dx.doi.org/10.1787/888933617035>

* Latest available data prior to 2015

Human and financial resources devoted to R&D, 2015

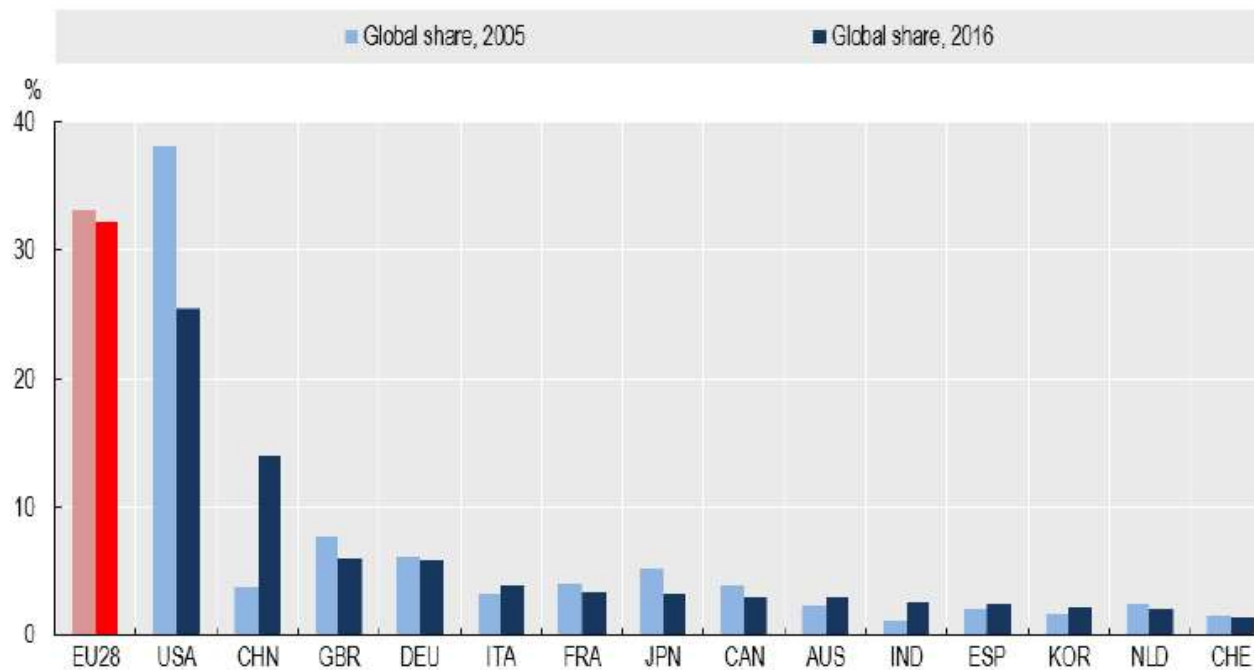


Source: OECD (2017), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*, OECD Publishing, Paris.

Data and notes: <http://dx.doi.org/10.1787/888933617035>

* Latest available data prior to 2015

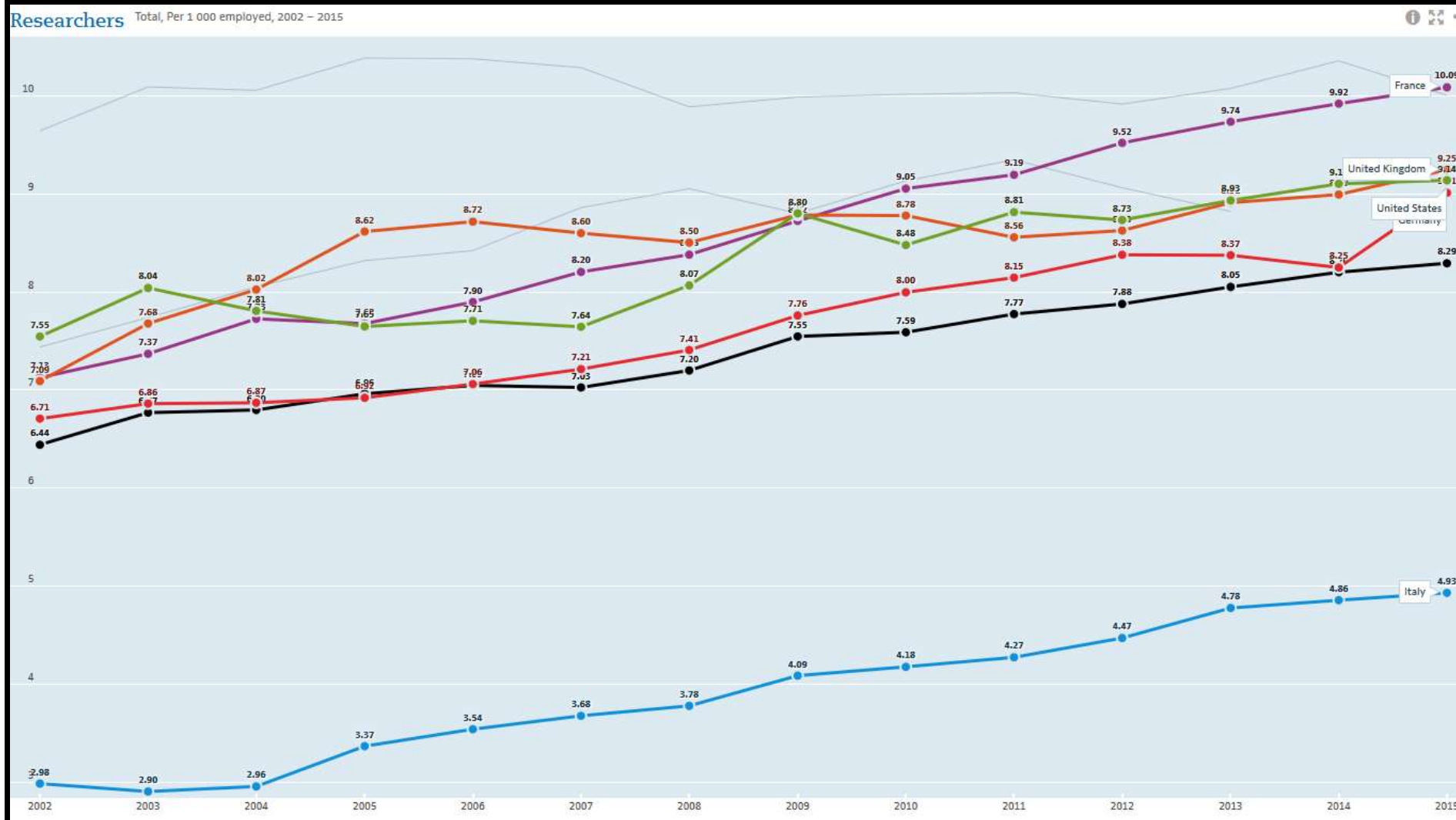
Figure 1.11 Economies with the largest volume of top-cited scientific publications, 2005 and 2016
As a percentage of the world's top 10% most-cited publications



StatLink  : <http://dx.doi.org/10.1787/888933617054>

Source: OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The Digital Transformation, OECD Publishing, Paris, http://dx.doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2017-en.

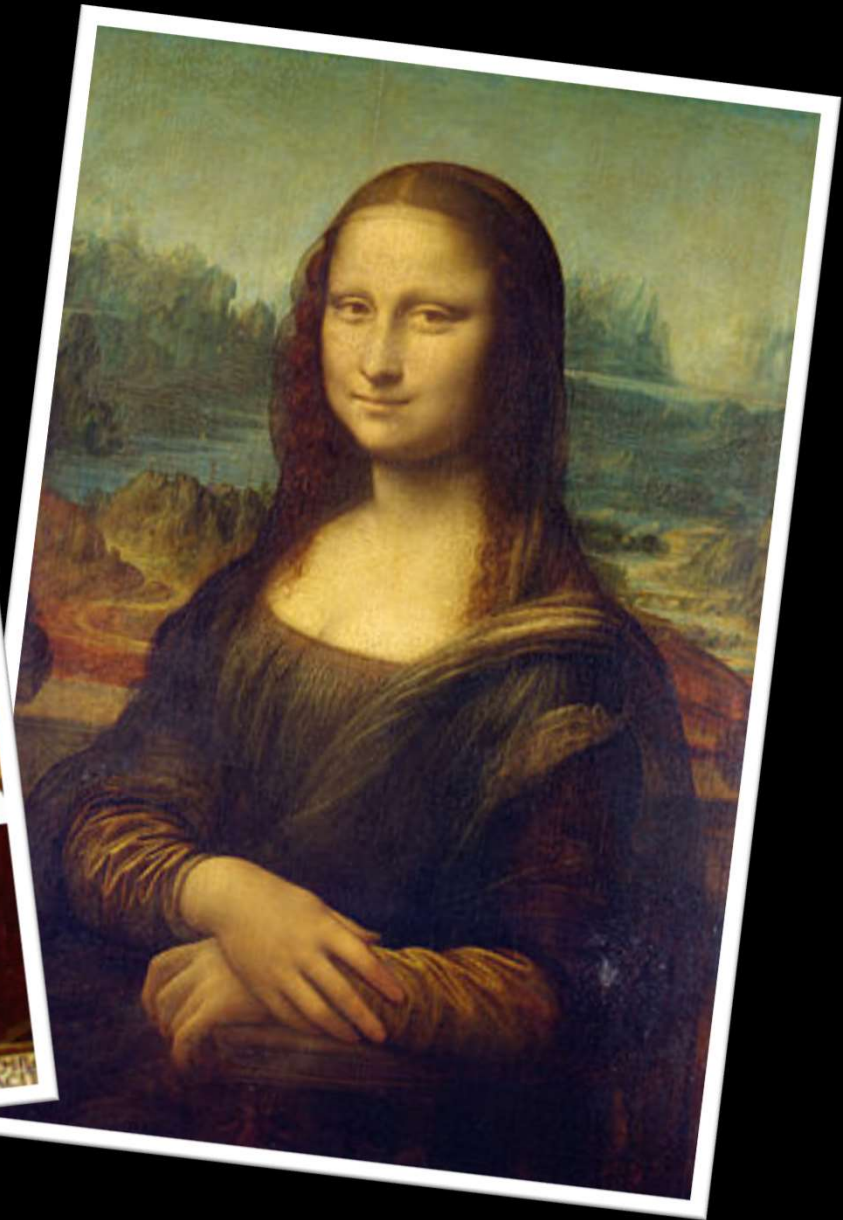
<https://data.oecd.org/rd/researchers.htm#indicator-chart>



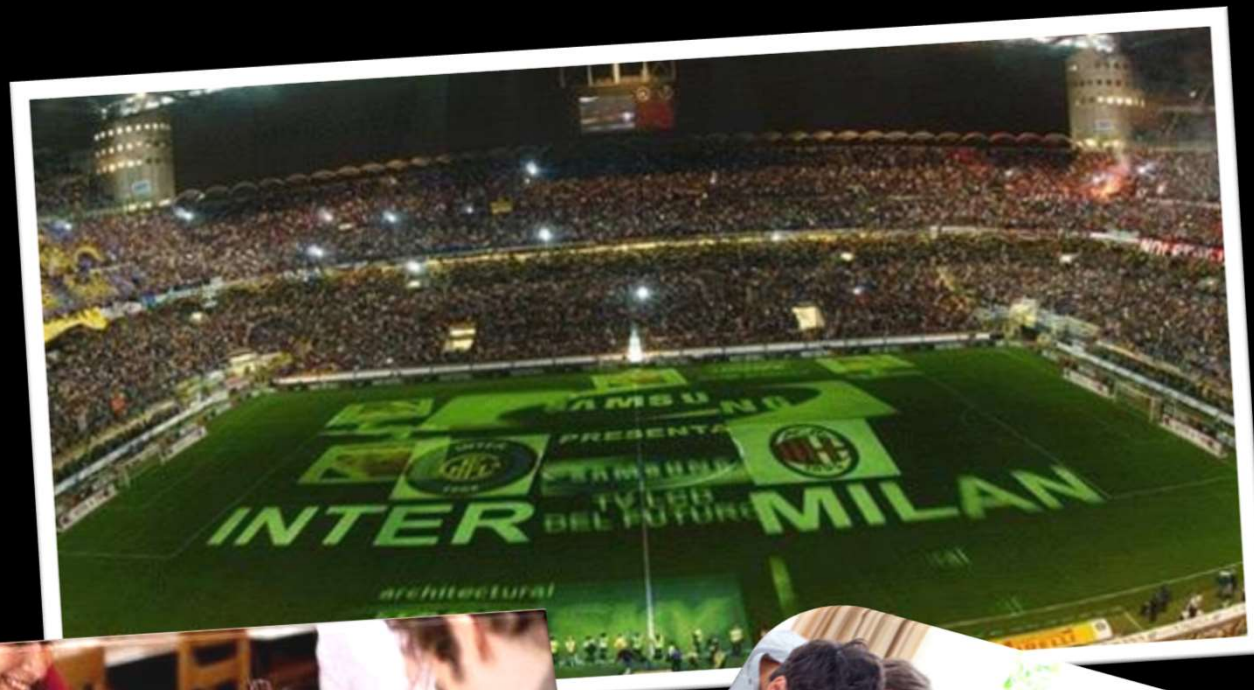
Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Il piacere ha radici profonde.
Il piacere quotidiano è profondo e
trascendente e riflette l'evoluzione della
nostra natura umana.

Alcuni piaceri sono più facili
da spiegare di altri:

Gli animali hanno bisogno di acqua; il
piacere è il premio per averla trovata.

Il piacere serve a indurre comportamenti
che sono positivi per i geni.



Maria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

I nostri piaceri esclusivamente umani sono frutto della cultura e sono esclusivamente umani perché solo gli esseri umani hanno una cultura.

La cultura sfrutta e condiziona il piacere umano.

Cosa facciamo nel tempo libero?



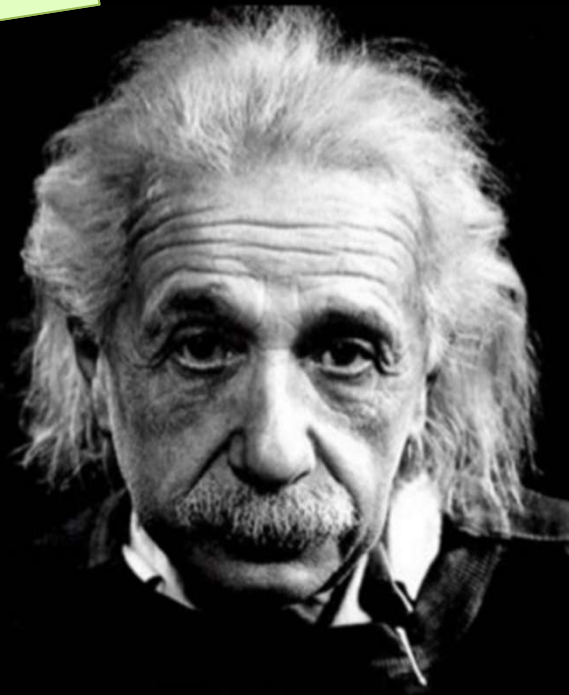
L'immaginazione cambia ogni cosa.
Si è evoluta come strumento per programmare
il futuro e per ragionare sulla mente degli altri
ma ora che la possediamo è una delle
principali fonti di piacere.



Quanto siamo vecchi?
L'universo dove andrà?
Siamo soli?

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

L'immaginazione rende possibile la scienza.
Nulla resterebbe di queste pratiche umane se
non fossimo in grado di pensare a una sfera
perfetta o ad uno spazio infinito: senza la
capacità di comprendere che una roccia è
composta da minuscole particelle e campi di
energia saremmo letteralmente persi.



L'immaginazione è più importante della conoscenza

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Abbiamo idea che nel mondo ci sia qualcosa che va oltre la nostra diretta percezione.

C'è una realtà nascosta con la quale vogliamo entrare in contatto.

Questa è una delle motivazioni che sono all'origine dell'impresa scientifica.



Richard Dawkins :

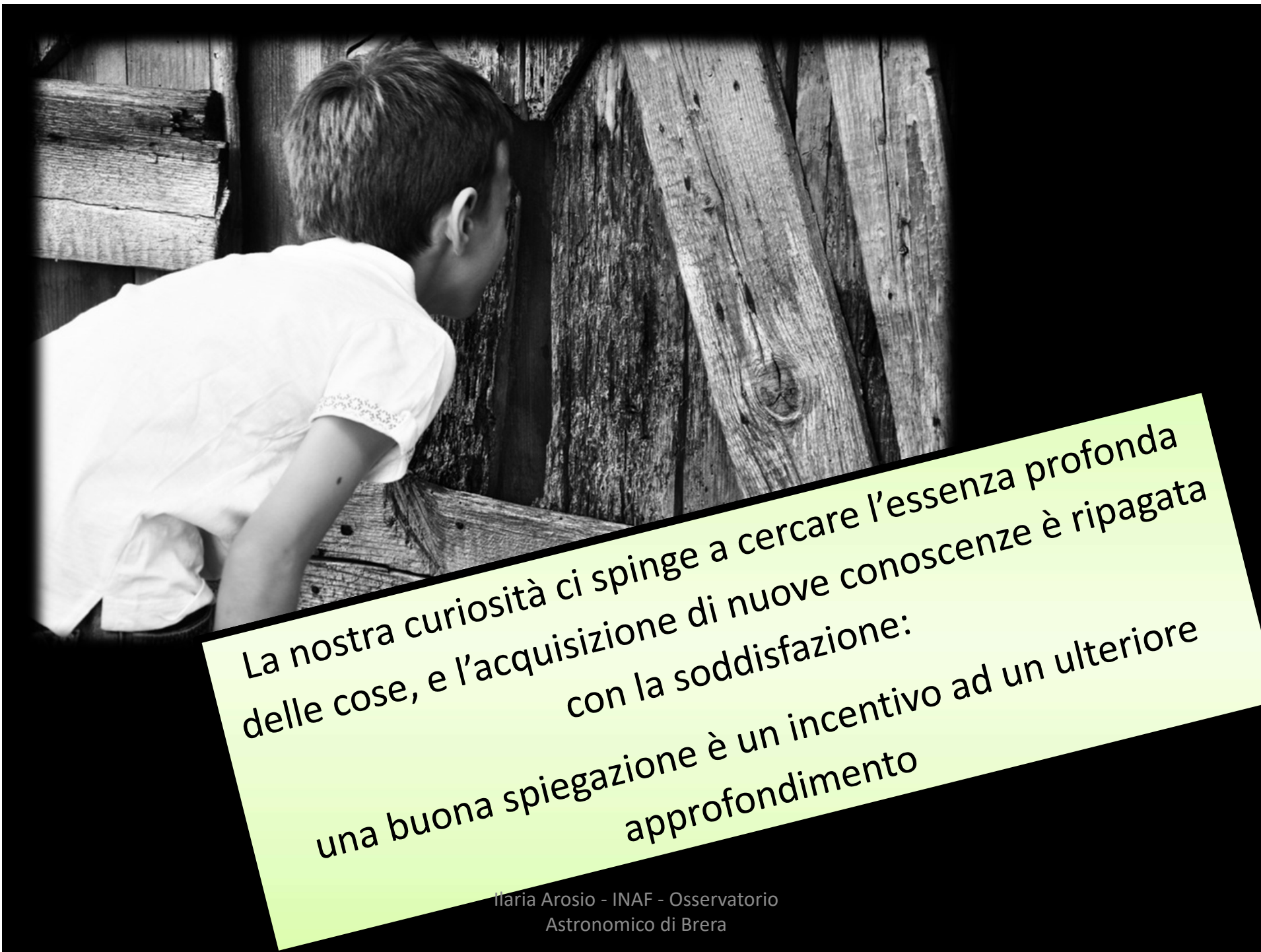
«Il senso di riverente stupore che proviamo dinnanzi alla scienza è un'esperienza sublime per gli esseri umani, un'emozione non meno estetica e profonda di quelle che suscitano la musica e la poesia ed è senza dubbio una delle cose che rendono la vita degna di essere vissuta.»

Dawkins allude al piacere della scienza alla gioia che ci dà questo modo di entrare in contatto con la natura più profonda delle cose.



Dawkins allude al piacere della scienza alla gioia che ci dà questo modo di entrare in contatto con la natura più profonda delle cose.

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



La nostra curiosità ci spinge a cercare l'essenza profonda
delle cose, e l'acquisizione di nuove conoscenze è ripagata
con la soddisfazione:
una buona spiegazione è un incentivo ad un ulteriore
approfondimento



A cosa servono le stelle?

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

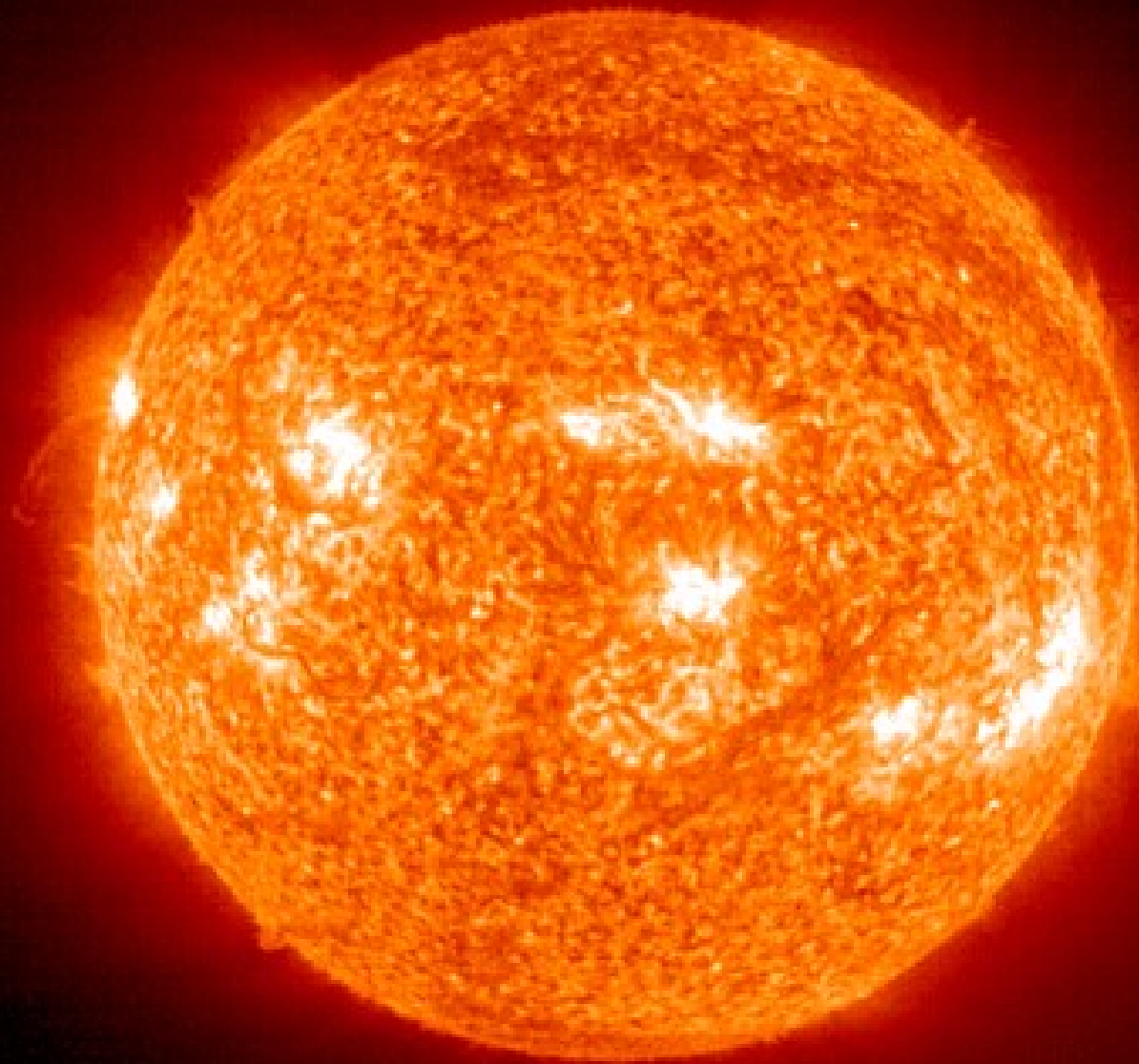
1,3 secondi luce



Luna

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

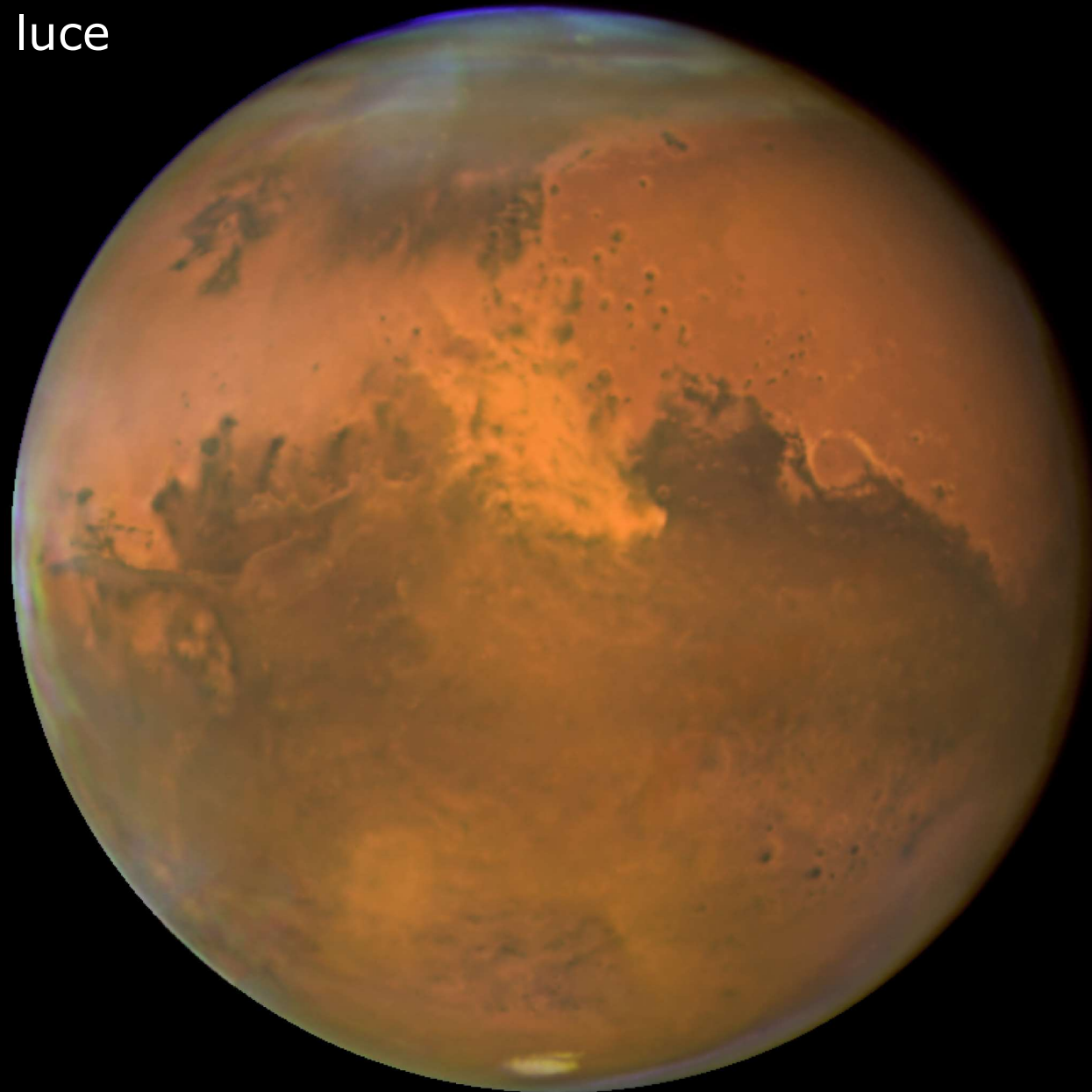
8 minuti luce



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Sole

12 minuti luce



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Marte

Marte

12 minuti luce



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

20 minuti luce

Cometa ISON

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

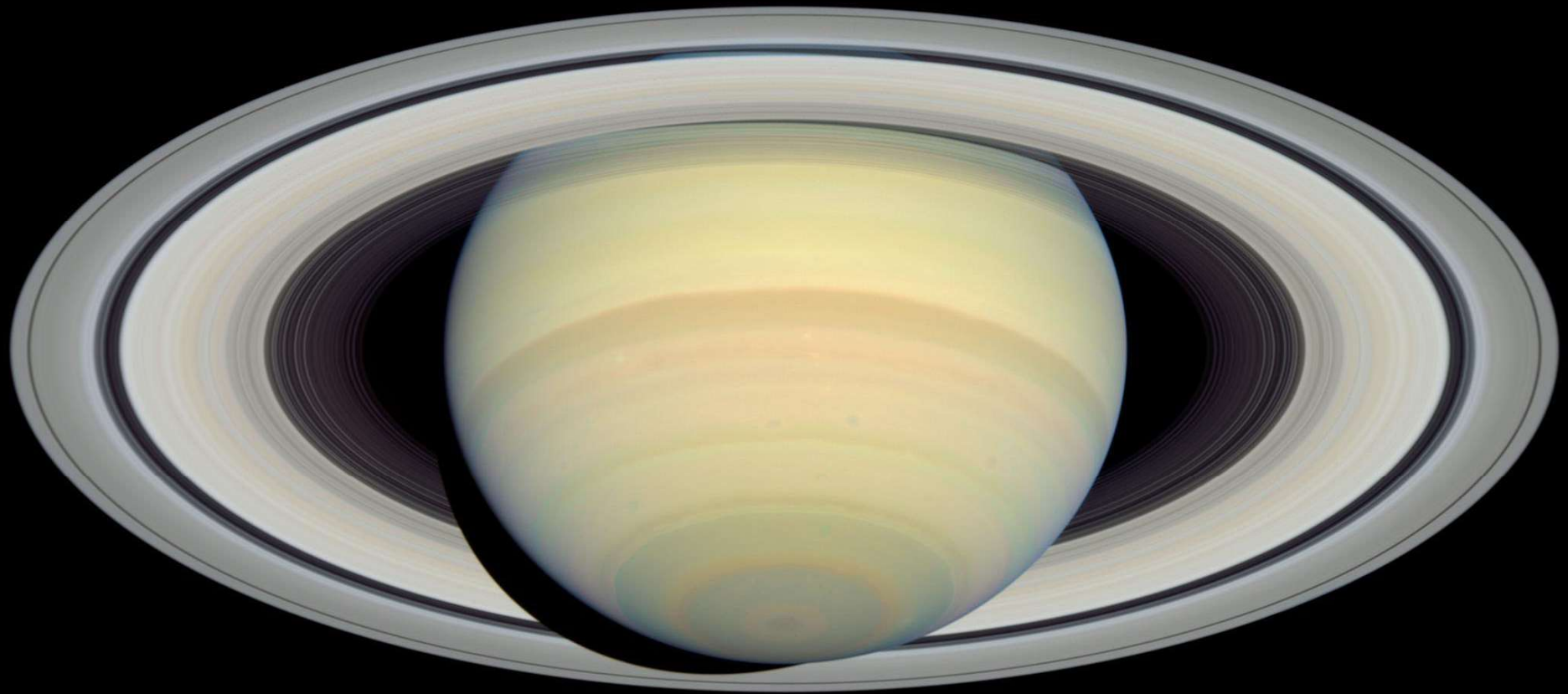
40 minuti luce



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Giove

80 minuti luce



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Saturno

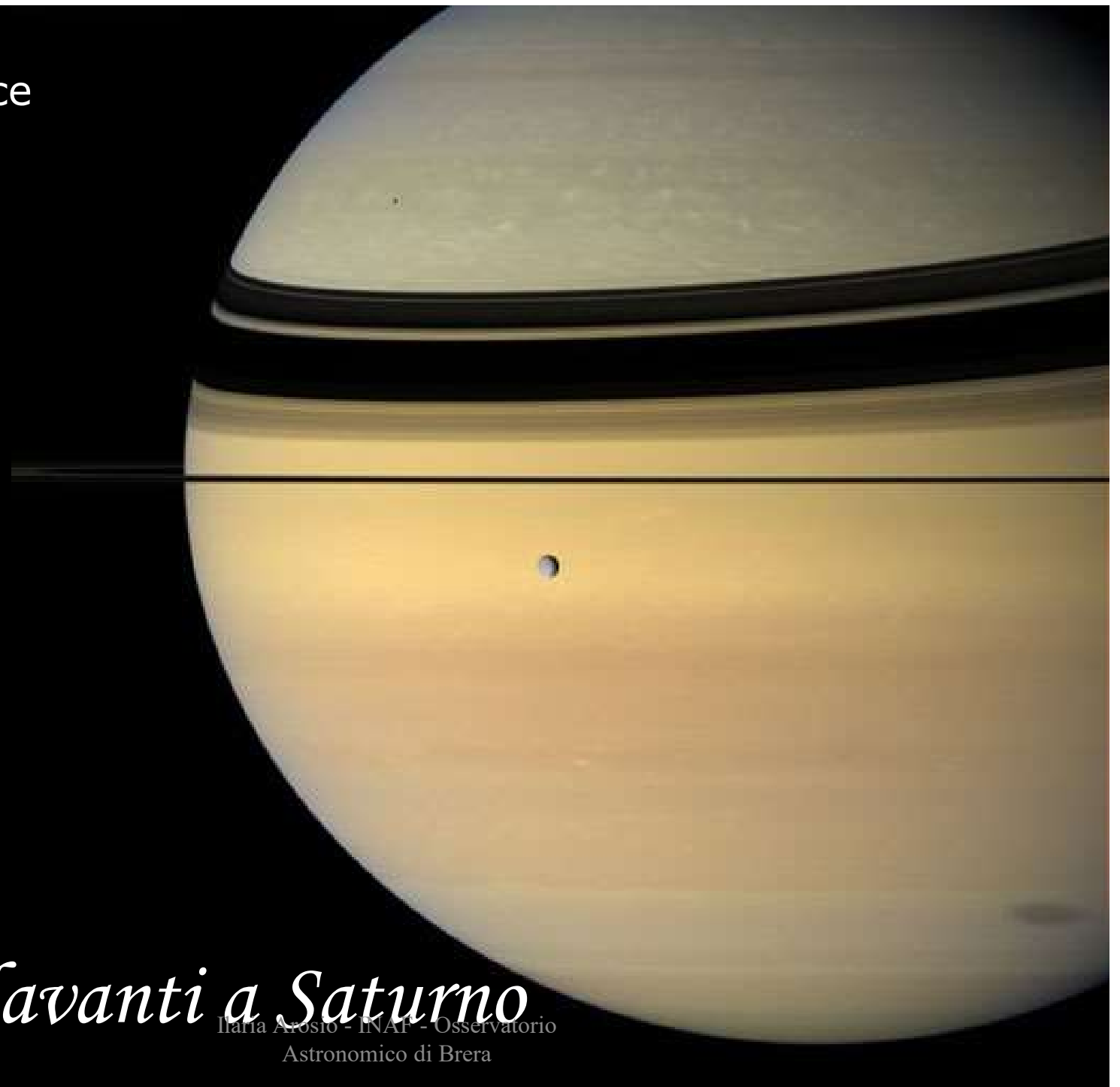
80 minuti luce



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

Giapeto

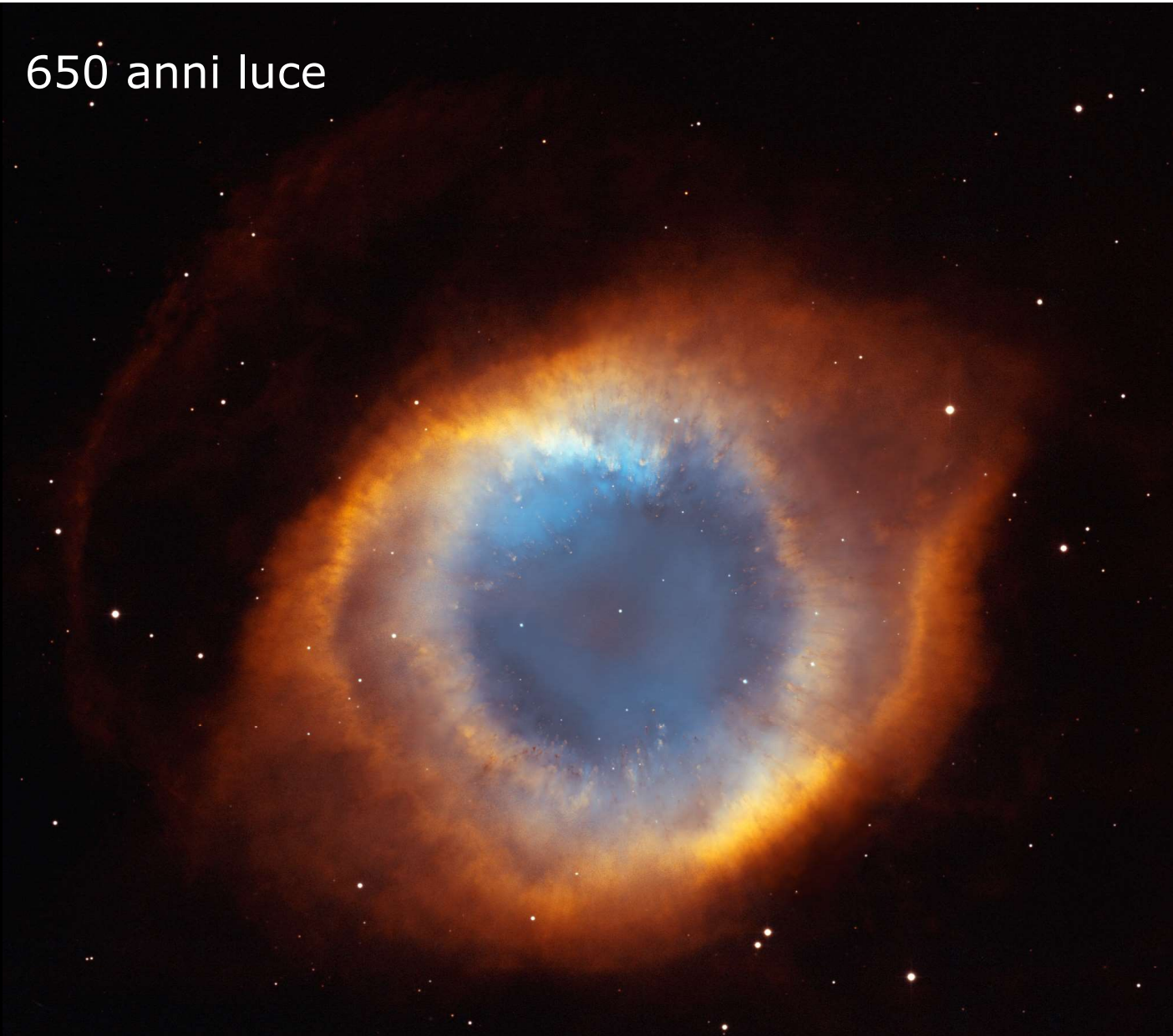
80 minuti luce



Giapeto davanti a Saturno

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

650 anni luce



Nebulosa planetaria - Elica

Ilaria Arcosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

3300 anni luce



Nebulosa planetaria - Occhio di gatto

Ilaria Kreslo - INAF Osservatorio
Astronomico di Brera

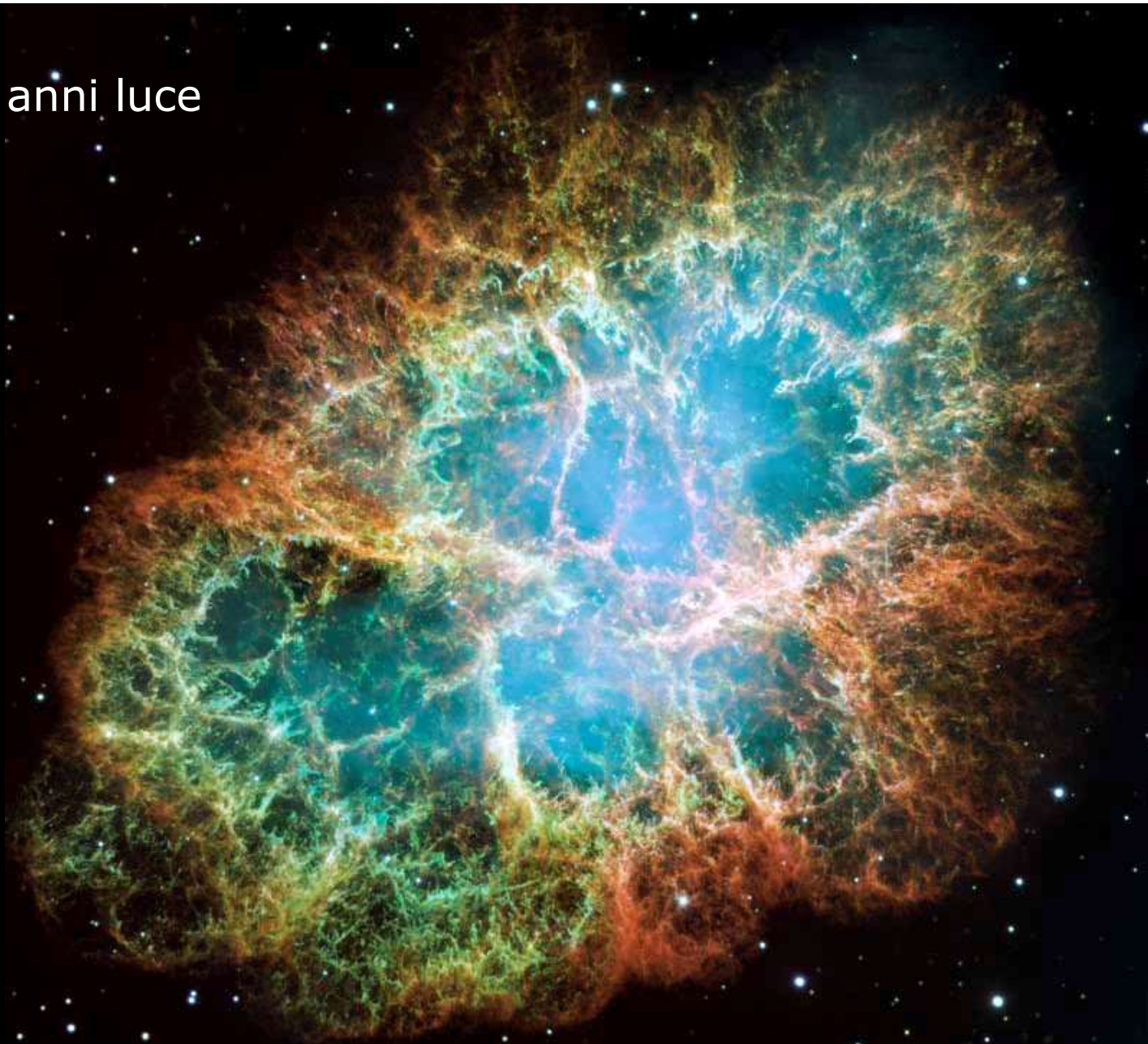
5760 anni luce



Formazione stellare

Ilaria Brosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

6500 anni luce



Nebulosa del granchio = Resto di supernova

Ilaria Arasio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

7500 anni luce



Nebulosa della Carena

Maria Antonia - D. A. F. Osservatorio
Astronomico di Lereid



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

20000 anni luce

V838 Monocerotis – stella variabile

Luigi Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

26000 anni luce



Centro della nostra galassia

Ilaria Arosio - INdA - Osservatorio
Astronomico di Brera

32600 anni luce

Ammasso di stelle M80

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

170000 anni luce

Resto di Supernova

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

200000 anni luce

Formazione stellare nella piccola nube di Magellano

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

25 milioni di anni-luce

Galassia M101

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

31 milioni di anni-luce



Galassia vortice M51

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

50 milioni di anni-luce

Getto nella galassia ellittica M87

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

63 milioni di anni-luce



Le antenne – Galassie interagenti NGC 4038, 4039

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

69 milioni di anni-luce



Galassia barrata NGC 1300

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

100 milioni anni luce



Galassia irregolare NGC 7714

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

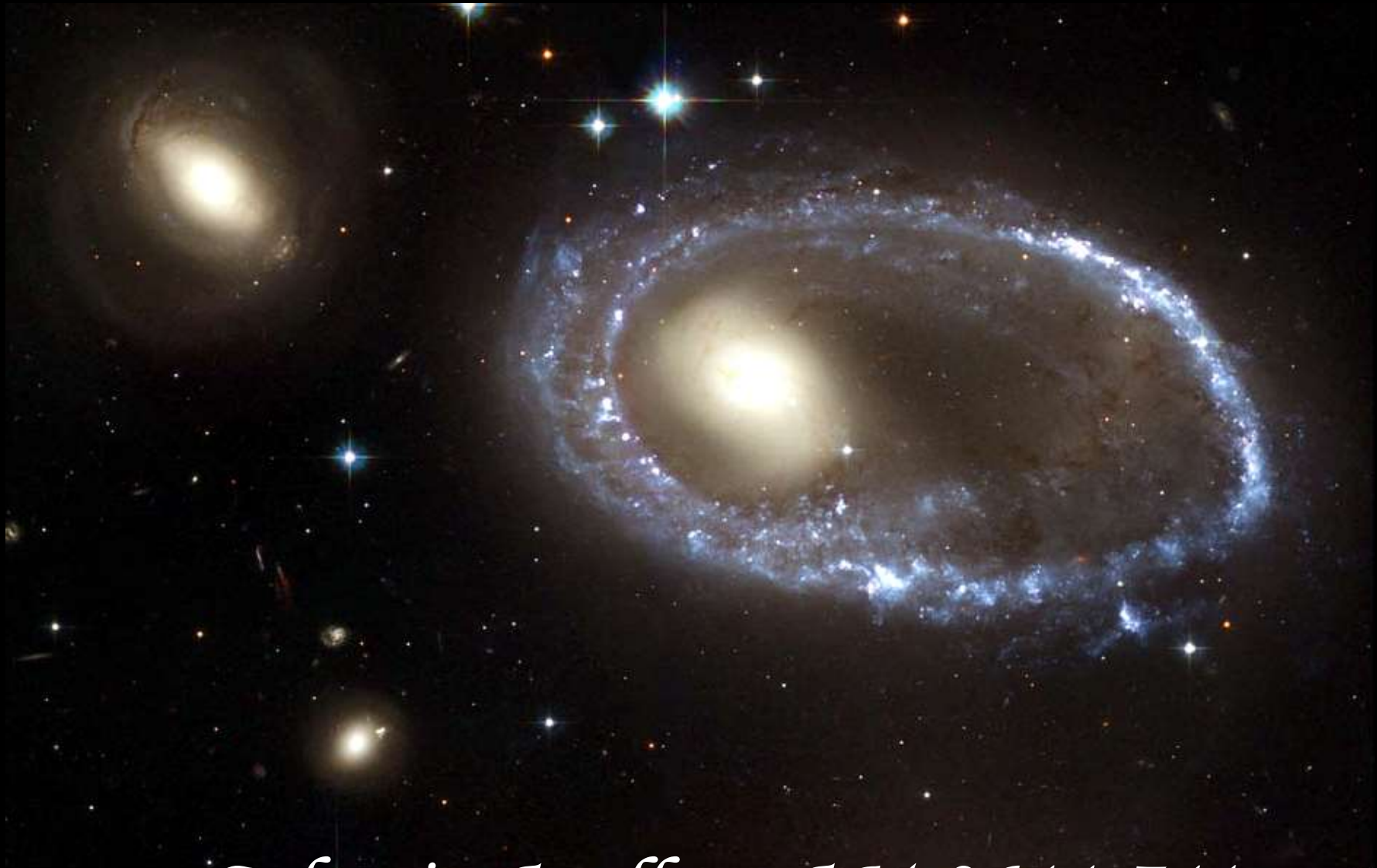
129 milioni anni luce



Galassie interagenti NGC 2207 e IC 2163

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

300 milioni di anni-luce



Galassia Anello – AM 0644-741

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

300 milioni di anni-luce

Galassie interagenti – Arp 273

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

300 milioni di anni-luce



I topi – Galassie interagenti NGC 4676

Maria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

2,2 miliardi di anni luce

Ammasso di galassie Abell 1689

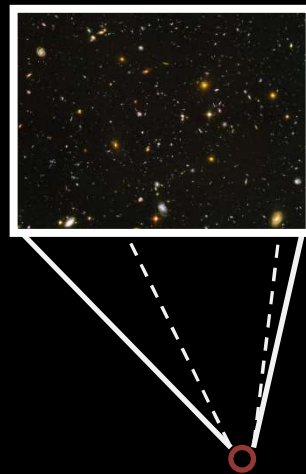
Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



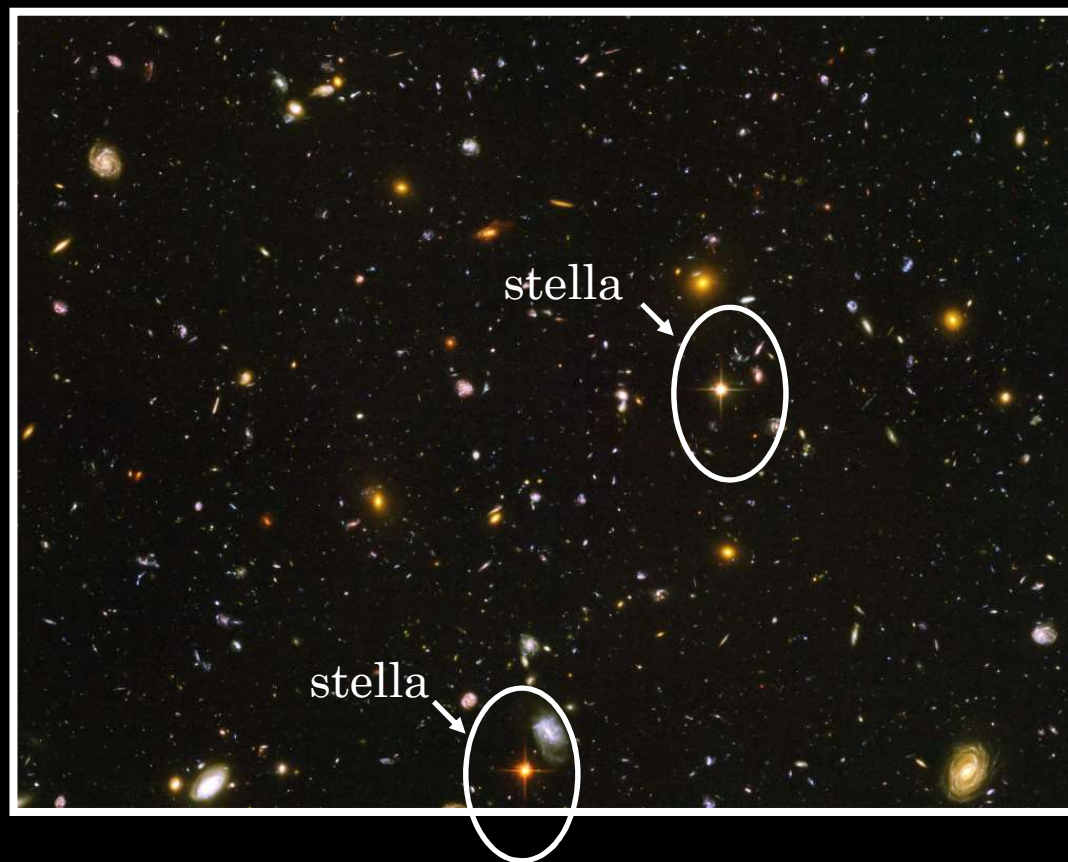
Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

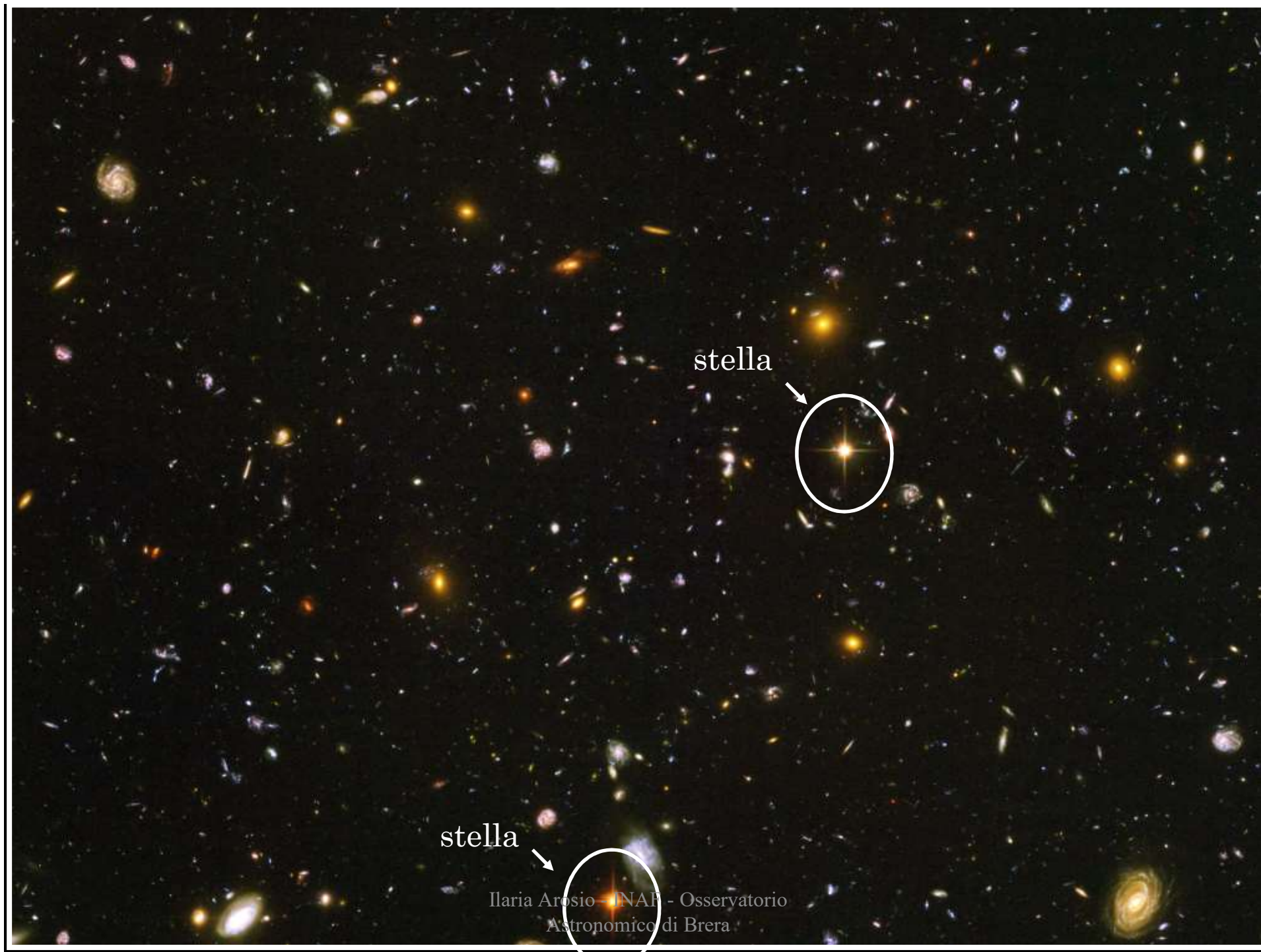
Hubble Ultra Deep Field:

Angolo di cielo grande quanto un decimo della luna piena



Ogni singolo punto luminoso in questo angolo di cielo (ad eccezione di due sole stelle) è una galassia.

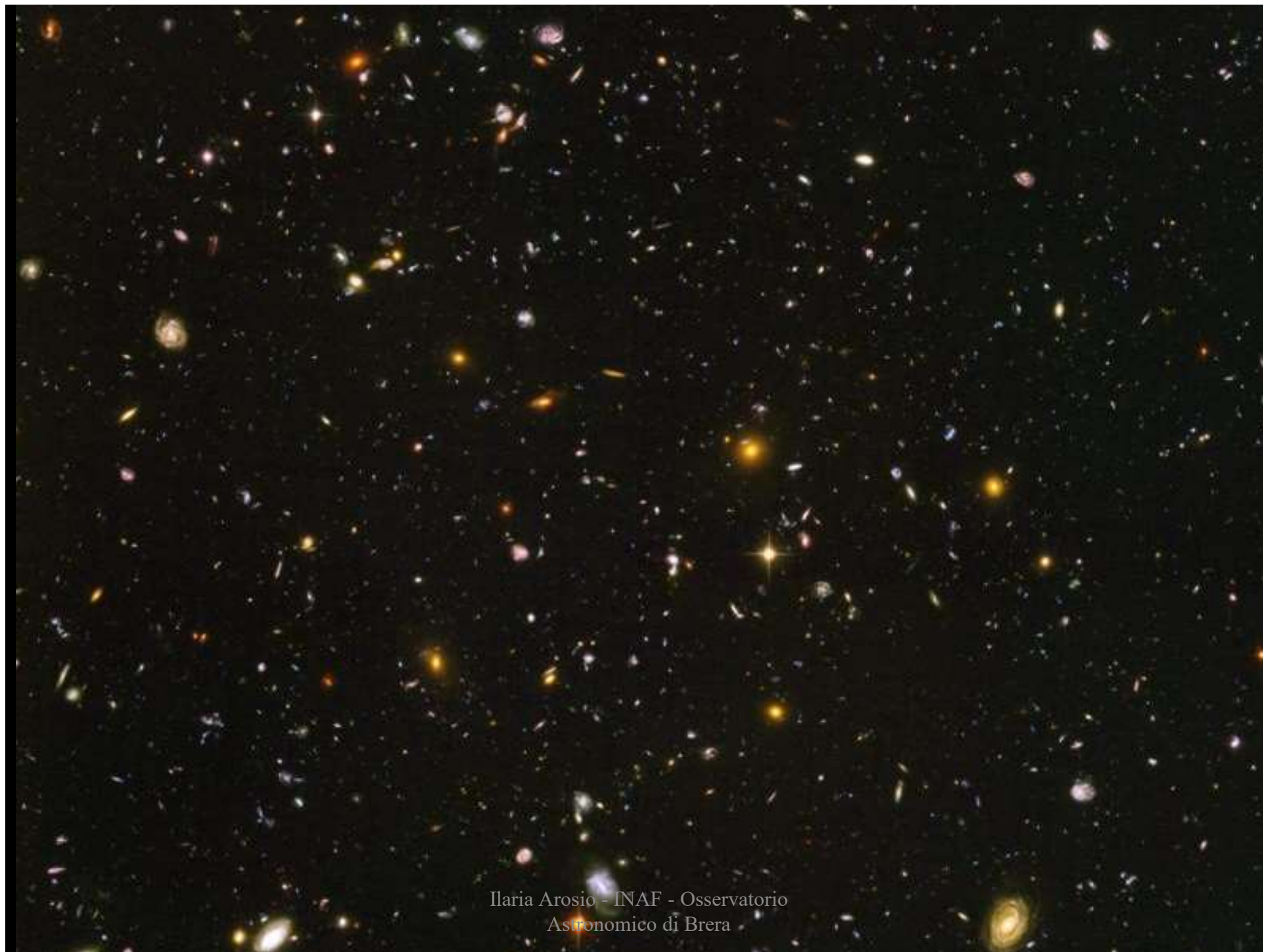




stella

stella

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



*«Equipaggiato dei suoi cinque sensi, l'uomo esplora
l'universo attorno a lui e chiama l'avventura Scienza.»*

Edwin Hubble

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



A cosa servono le stelle?

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera



A cosa servono le stelle?

Ilaria Arosio - INAF - Osservatorio
Astronomico di Brera

