La Terra primordiale

Prof. Eugenio Carminati
Sapienza Università di Roma
(eugenio.carminati@uniroma1.it)

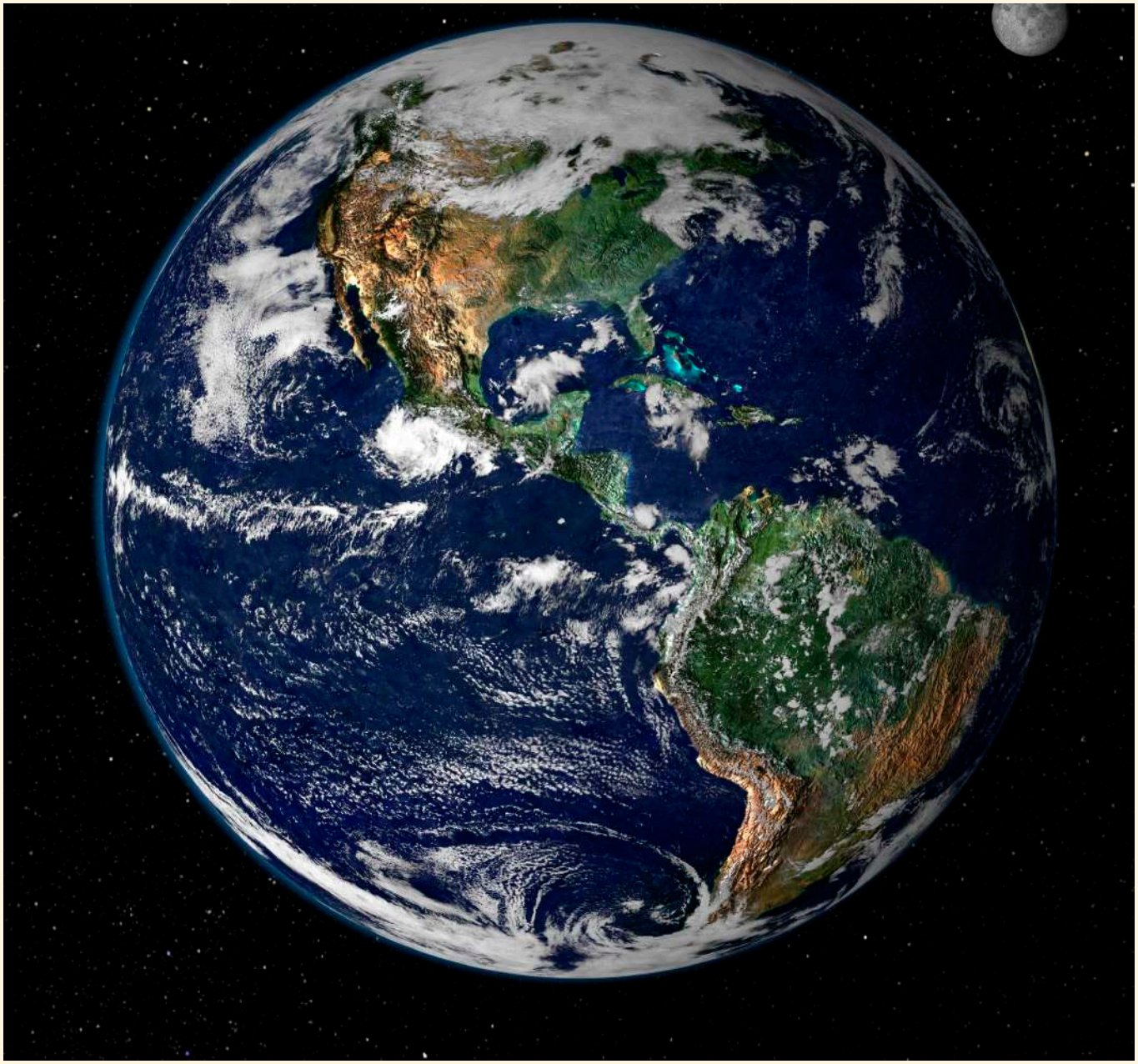
Le caratteristiche principali della Terra

Continenti ed oceani (tettonica delle placche)

Acqua

Vita

Atmosfera



La macchina del tempo

1 secondo = 1000 anni

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

2 secondi Giulio Cesare (2000 a)

5 minuti

Homo Sapiens (300.000 a)

1 ora e 6 minuti
i primi ominidi (4 Ma)

1 giorno
estinzione dei dinosauri (65 Ma)

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

52 giorni

la formazione della Terra (4.5 Ga)

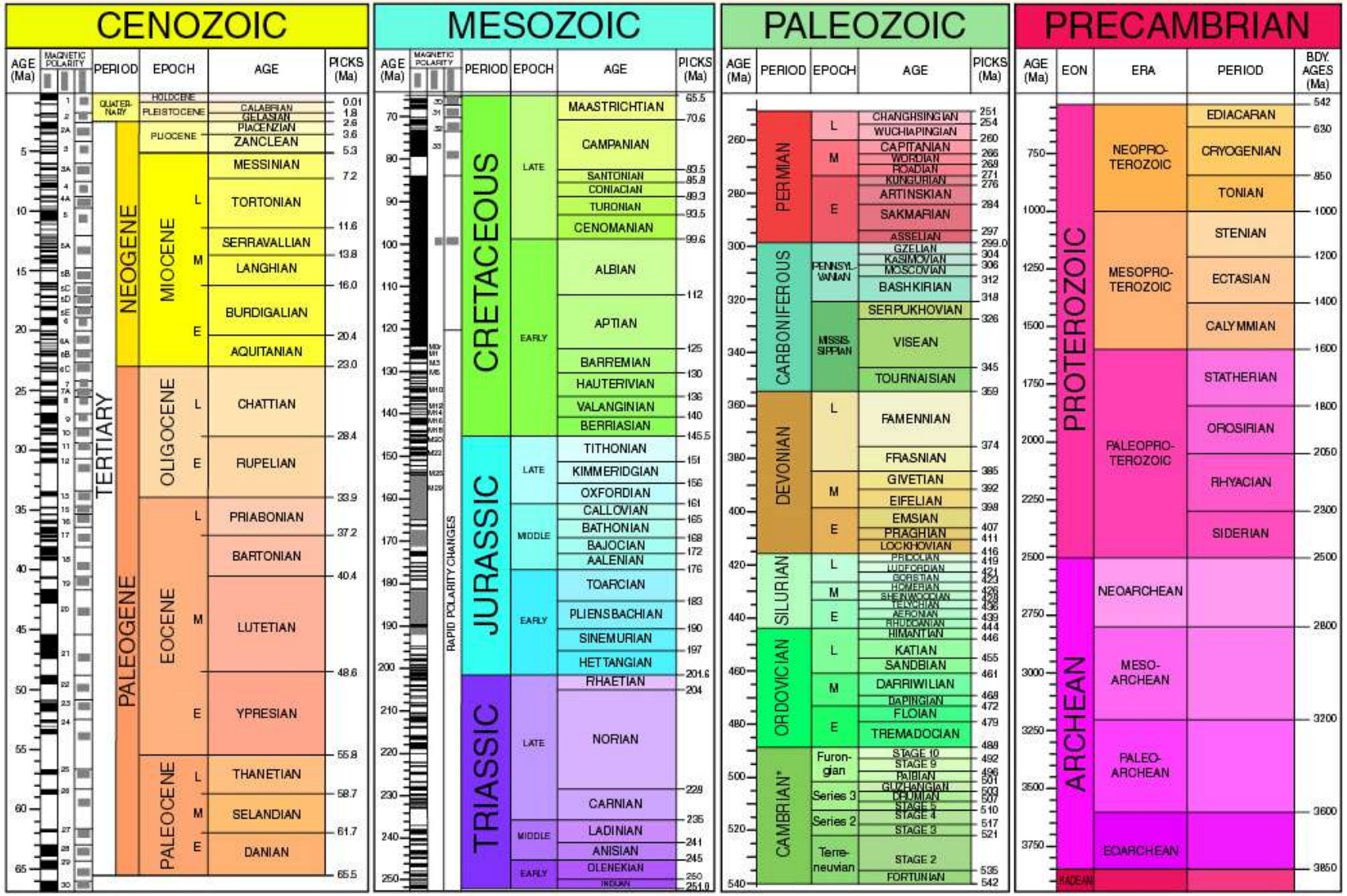
Il viaggio nel tempo

Il precambriano occupa 45 giorni, pari al 86.5% del nostro viaggio

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Il tempo in Geologia

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”



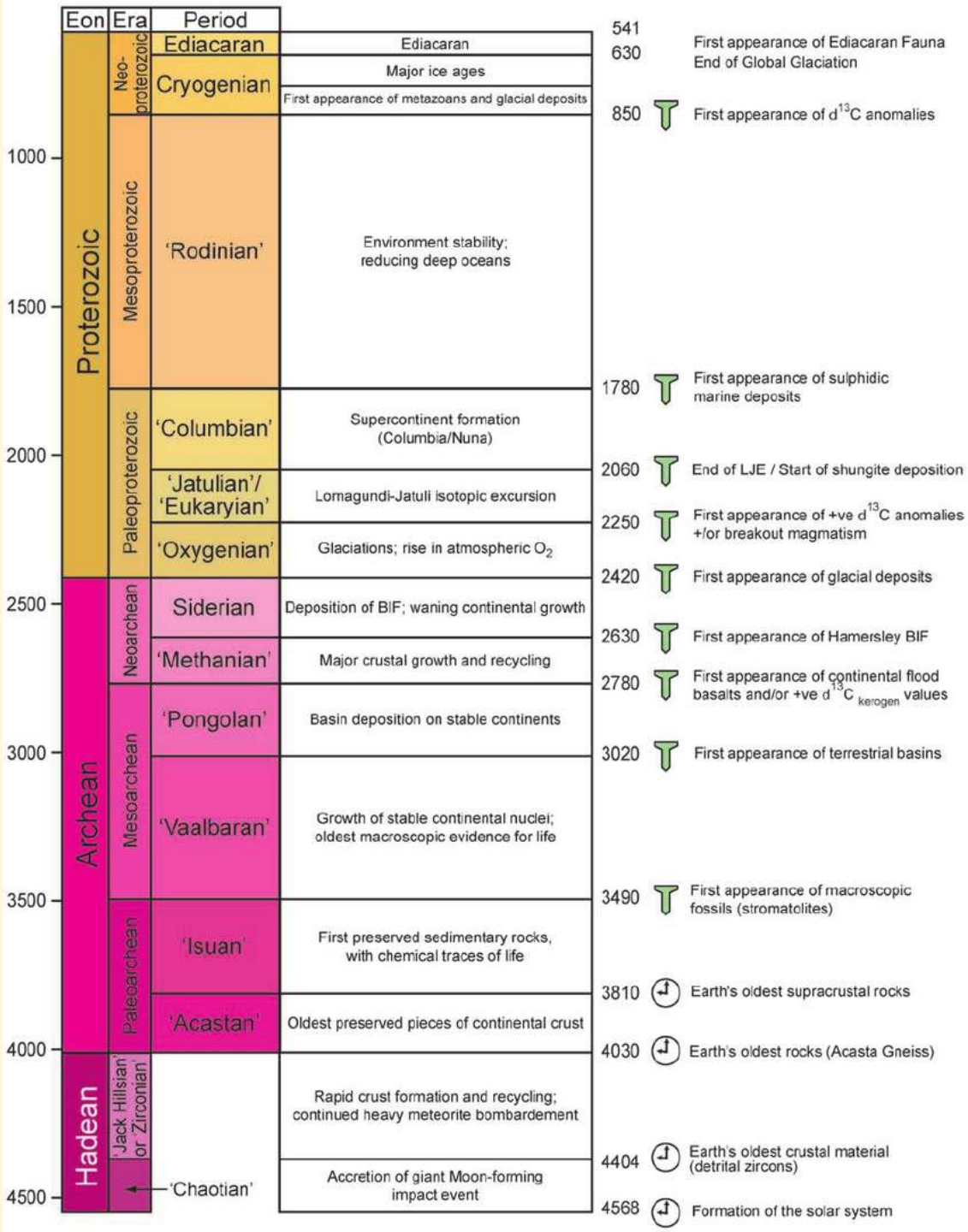
7 giorni

45 giorni

Il Precambriano

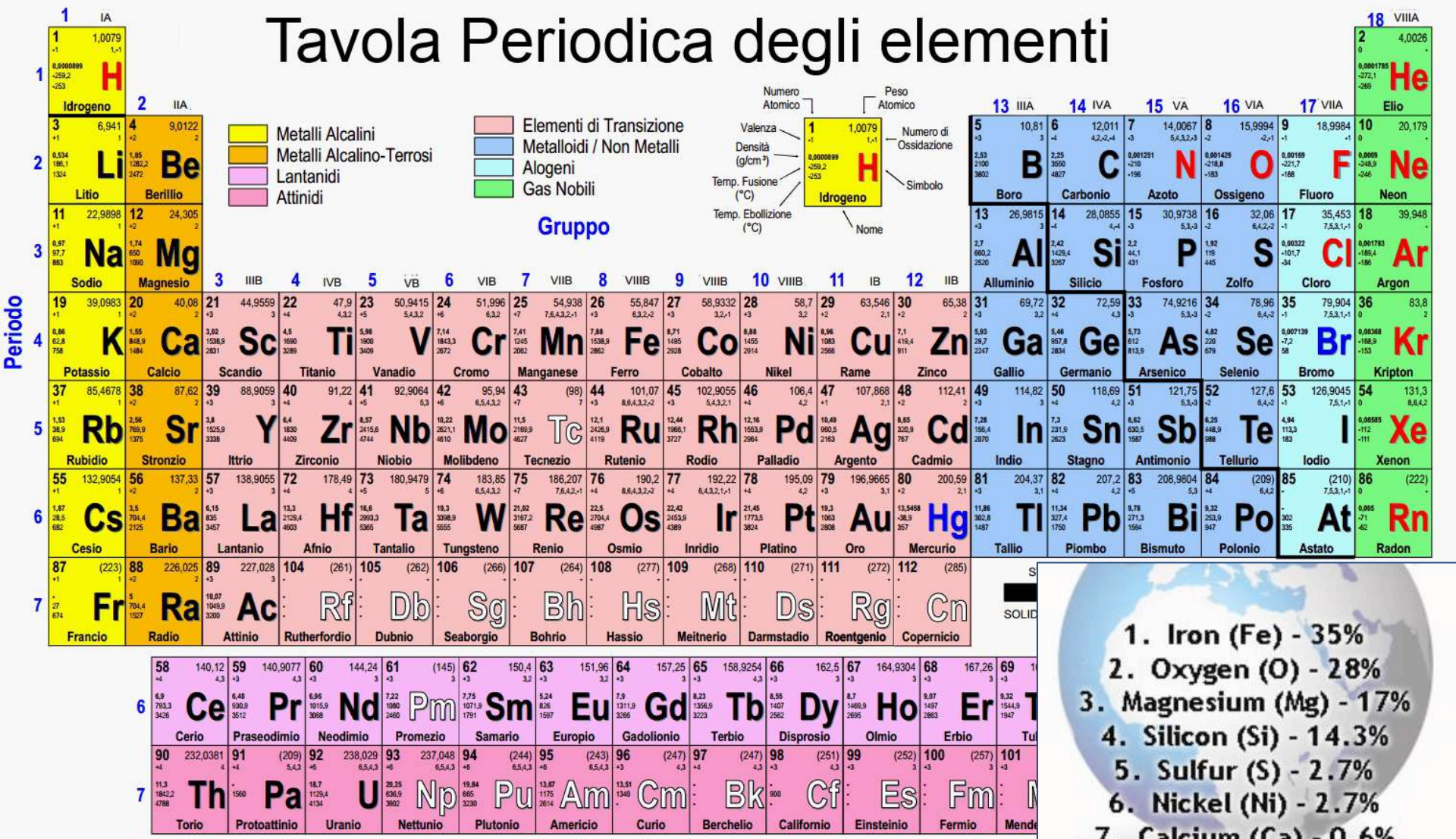
Noi ci occuperemo dell'Adeano (4.5-4.0 Ga) e della prima parte dell'Archeano (4.0-3.0 Ga)

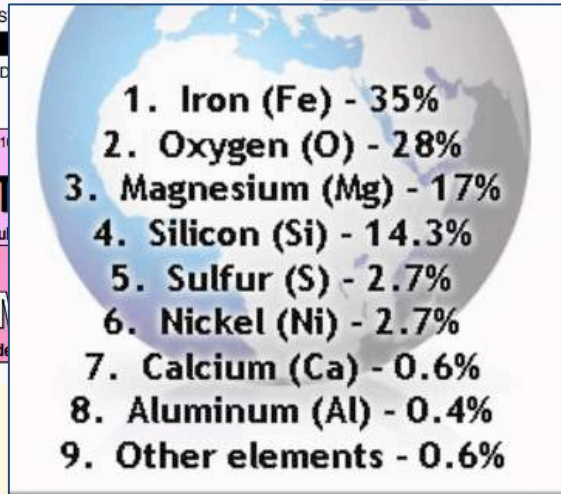
i primi 11.5 giorni



Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

L'universo e gli elementi chimici





Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

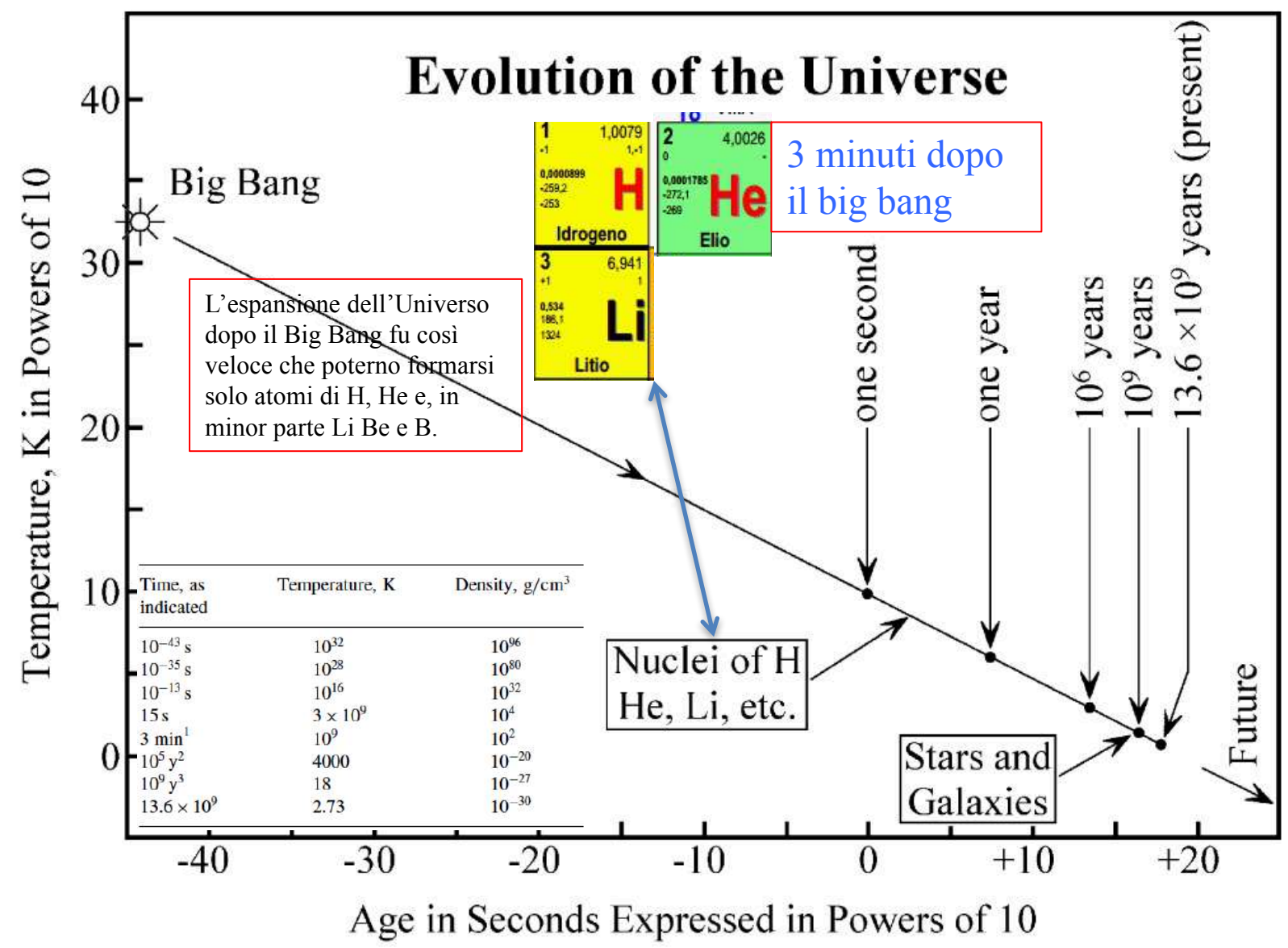
Il big bang (13.6 miliardi di anni fa)

157 giorni di viaggio con la nostra macchina del tempo

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Il big bang

Faure and Mensing, 2007



Time, as indicated	Temperature, K	Density, g/cm³
10^{-43} s	10^{32}	10^{96}
10^{-35} s	10^{28}	10^{80}
10^{-13} s	10^{16}	10^{32}
15 s	3×10^9	10^4
3 min[1]	10^9	10^2
10^5 y[2]	4000	10^{-20}
10^9 y[3]	18	10^{-27}
13.6×10^9	2.73	10^{-30}

T da diecimila miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di gradi a -270.42°C

Hubble telescope

Le nebulose

nubi di Idrogeno ed Elio

Star-Forming Nebula NGC 3603

Le galassie e le stelle

Alcune centinaia di milioni di anni dopo il Big Bang iniziano a formarsi le stelle da nebulose e da queste le galassie

Hubble telescope

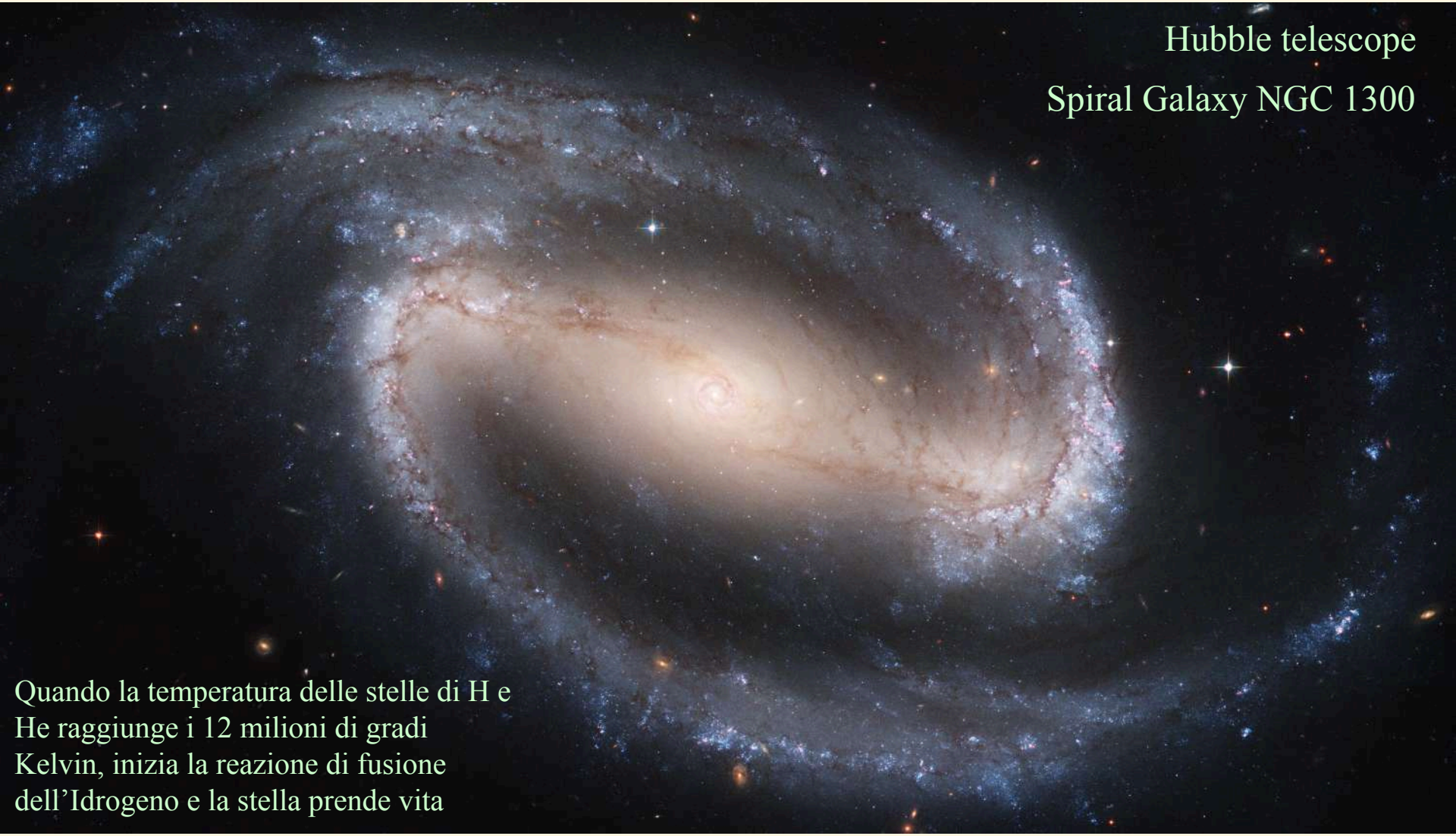
Stephan's Quintet

Le galassie e le stelle

Hubble telescope

Universe Ultra deep field

Le galassie a spirale (ad esempio la Via Lattea)

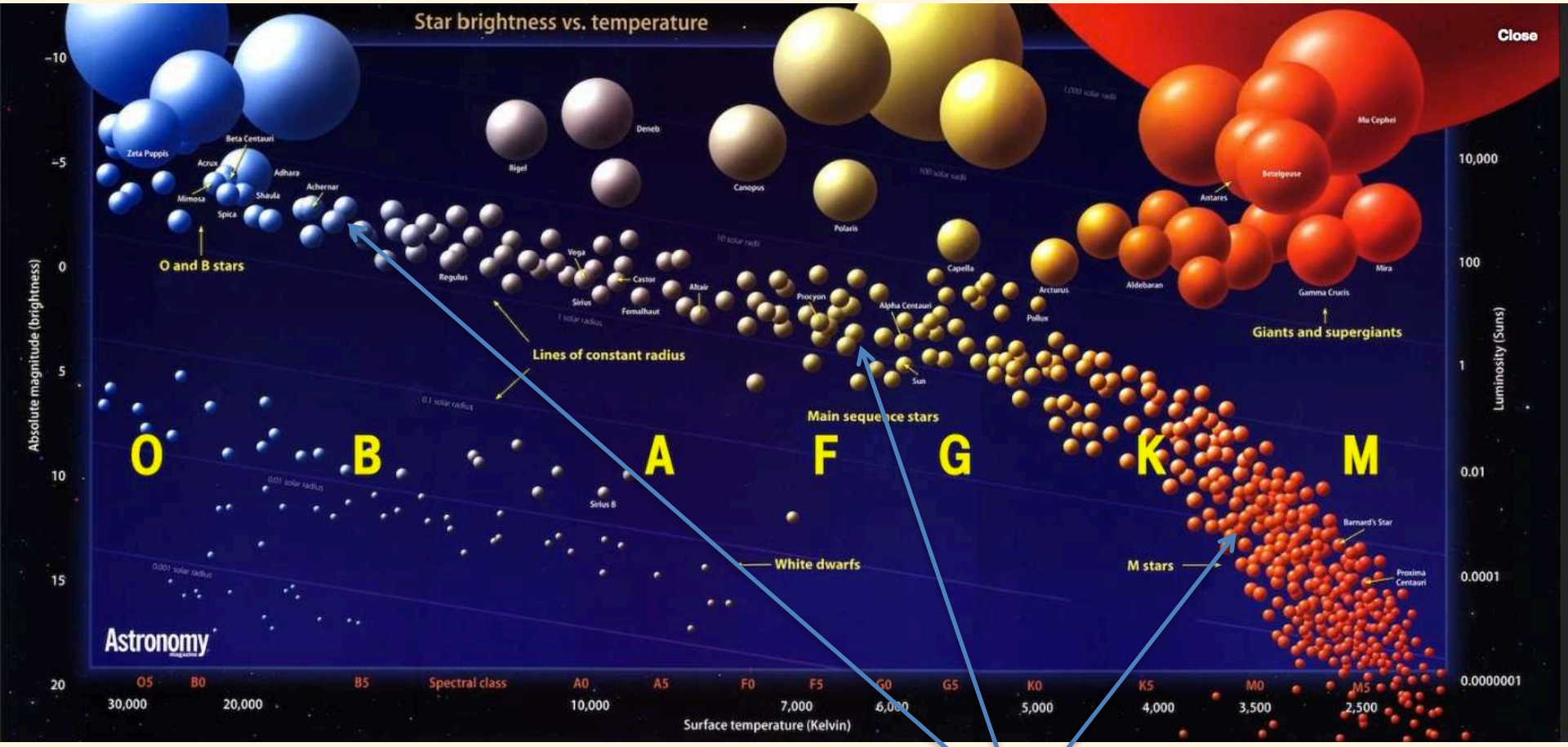


Quando la temperatura delle stelle di H e He raggiunge i 12 milioni di gradi Kelvin, inizia la reazione di fusione dell'Idrogeno e la stella prende vita

Il Sole e la Via Lattea

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

Luminosità, temperatura superficiale e dimensione delle stelle



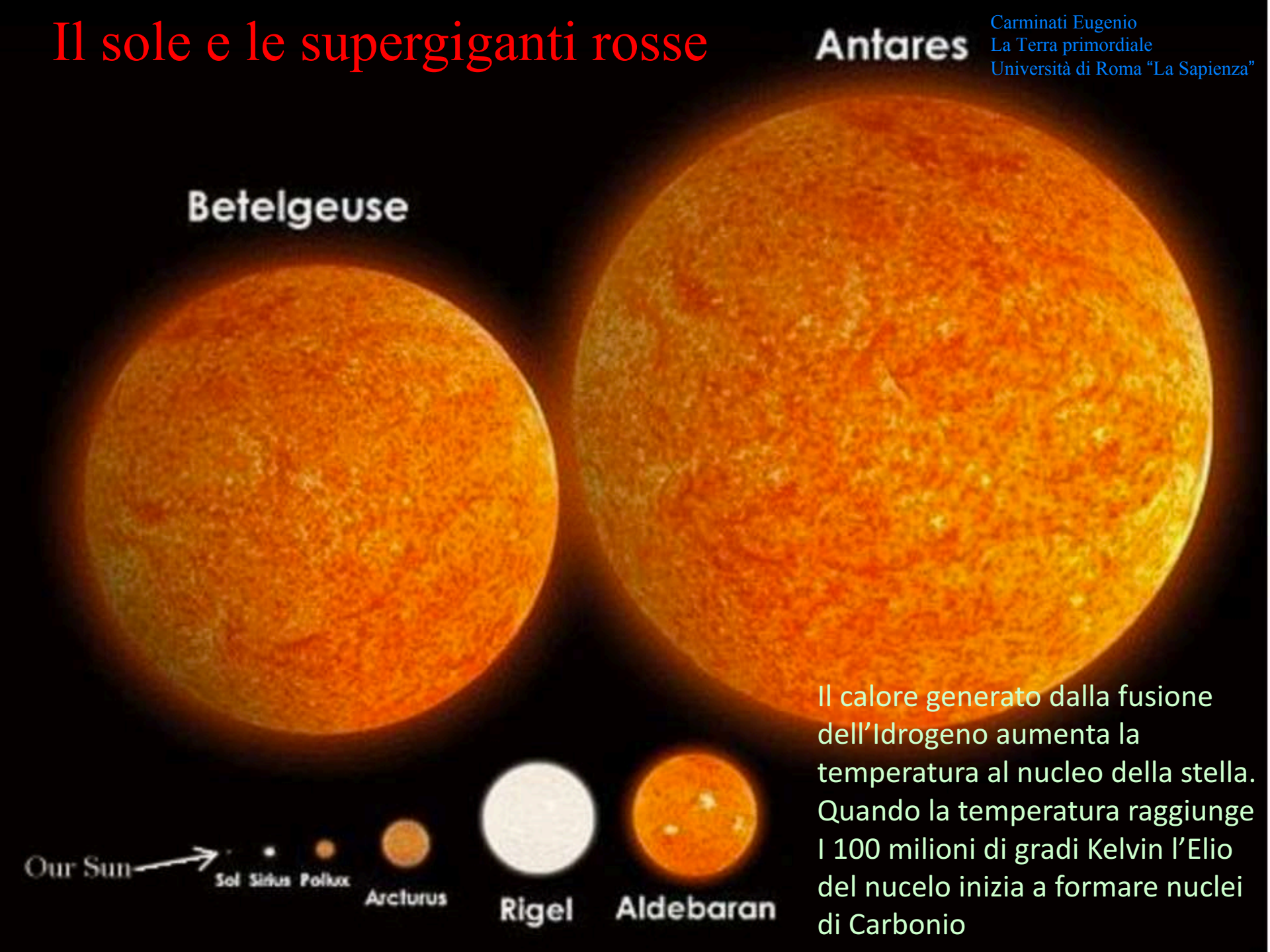
Sequenza principale

Le stelle della sequenza principale possono solo convertire l'Idrogeno dei loro nuclei in Elio

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

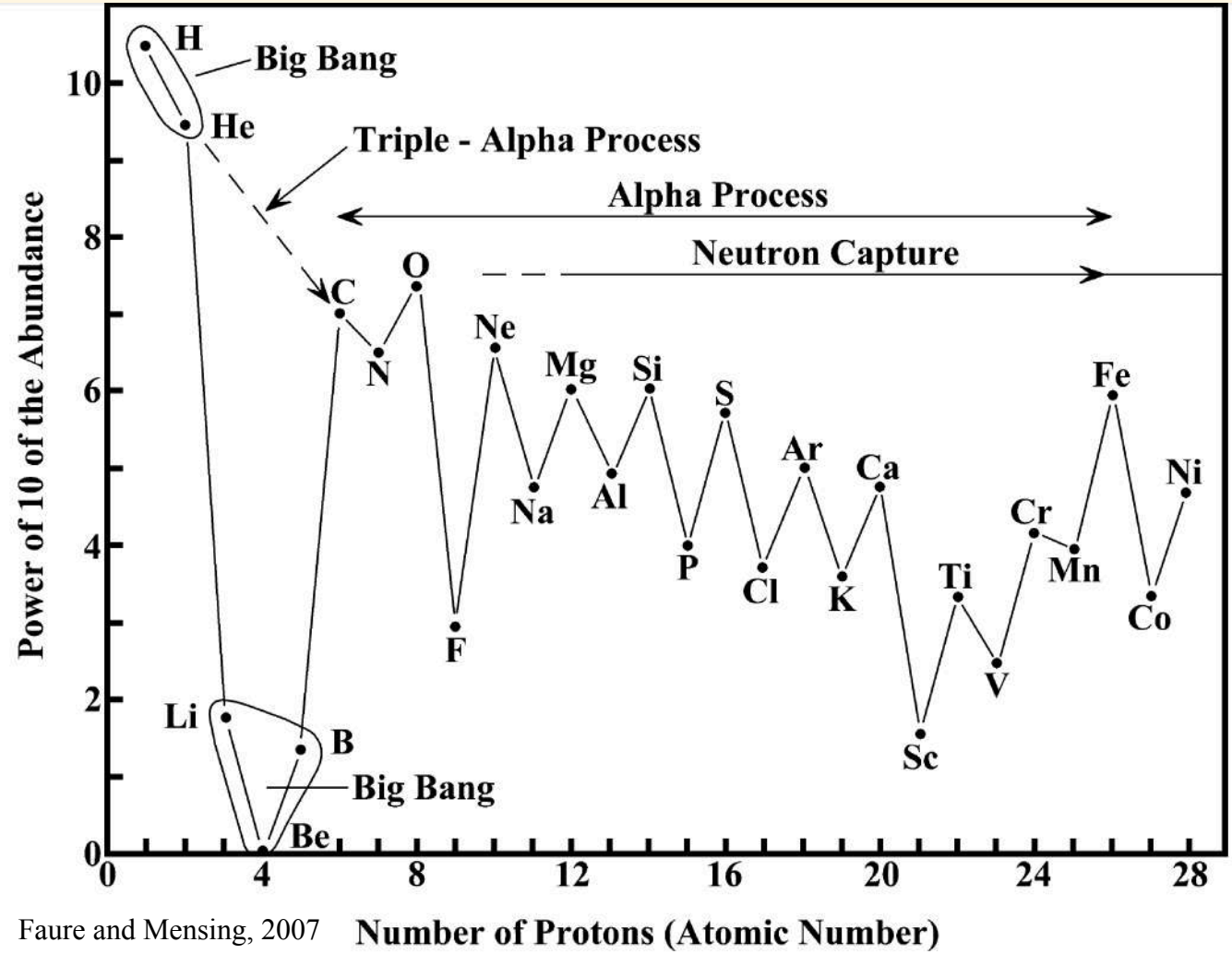
Il sole e le supergiganti rosse

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"



Il calore generato dalla fusione dell'Idrogeno aumenta la temperatura al nucleo della stella. Quando la temperatura raggiunge I 100 milioni di gradi Kelvin l'Elio del nucelo inizia a formare nuclei di Carbonio

Nucleosintesi e abbondanza degli elementi



Faure and Mensing, 2007

Tutti gli altri elementi chimici si formano per nucleosintesi (reazioni nucleari) che avvengono quando una stella ha lasciato la sequenza principale evolvendo in una gigante rossa

Esplosione delle giganti rosse: le supernovae

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

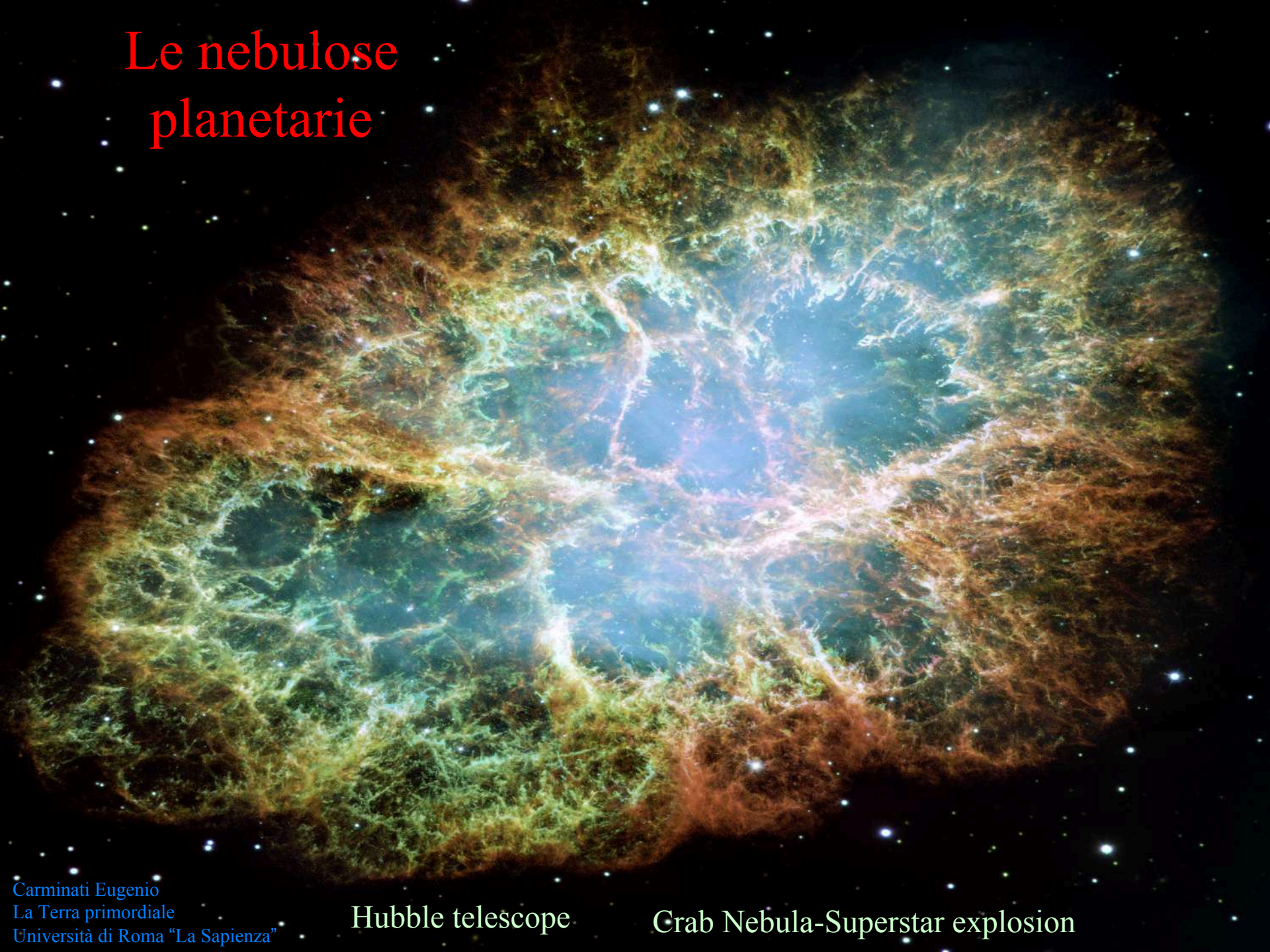
Esplosione delle giganti rosse: le supernovae

Hubble telescope

Supernova Remnant 0509-67.5

Carminati,Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Le nebulose planetarie



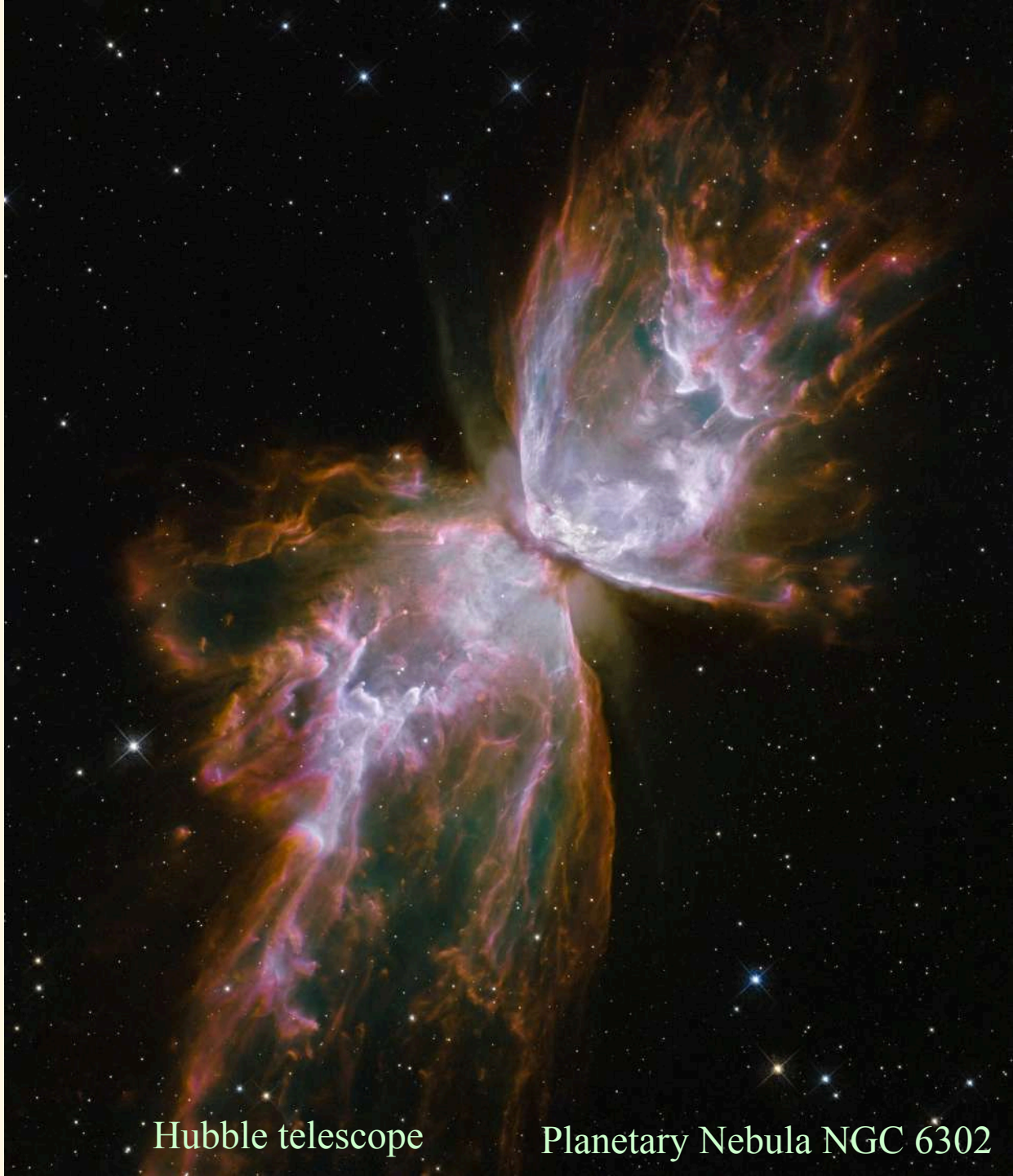
Hubble telescope

Crab Nebula-Superstar explosion

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Le nebulose planetarie

Il gas caldo e ionizzato delle nebulose planetarie si espande a velocità prossime a quella della luce fino alla sua collisione con altre nebulose. Il Sole e gli altri pianeti del sistema solare si sono formati dalla contrazione di una nebulosa planetaria, chiamata nebulosa solare, che non conteneva solo Idrogeno e Helio ma anche gli altri elementi espulsi dalla esplosione di una gigante rossa ancestrale



Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Il sistema solare

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

L'accrezione dei pianeti

I planetesimi della parte intena del disco protoplanetario contenevano gli elementi più densi e solo piccole parti di ghiaccio composto da volatili come acqua, anidride carbonica, metano e ammoniaca poichè le particelle di ghiaccio sono sublimate a causa dell'innalzamento della temperatura dovuto alle reazioni nucleari nel protosole

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

L’accrezione dei pianeti

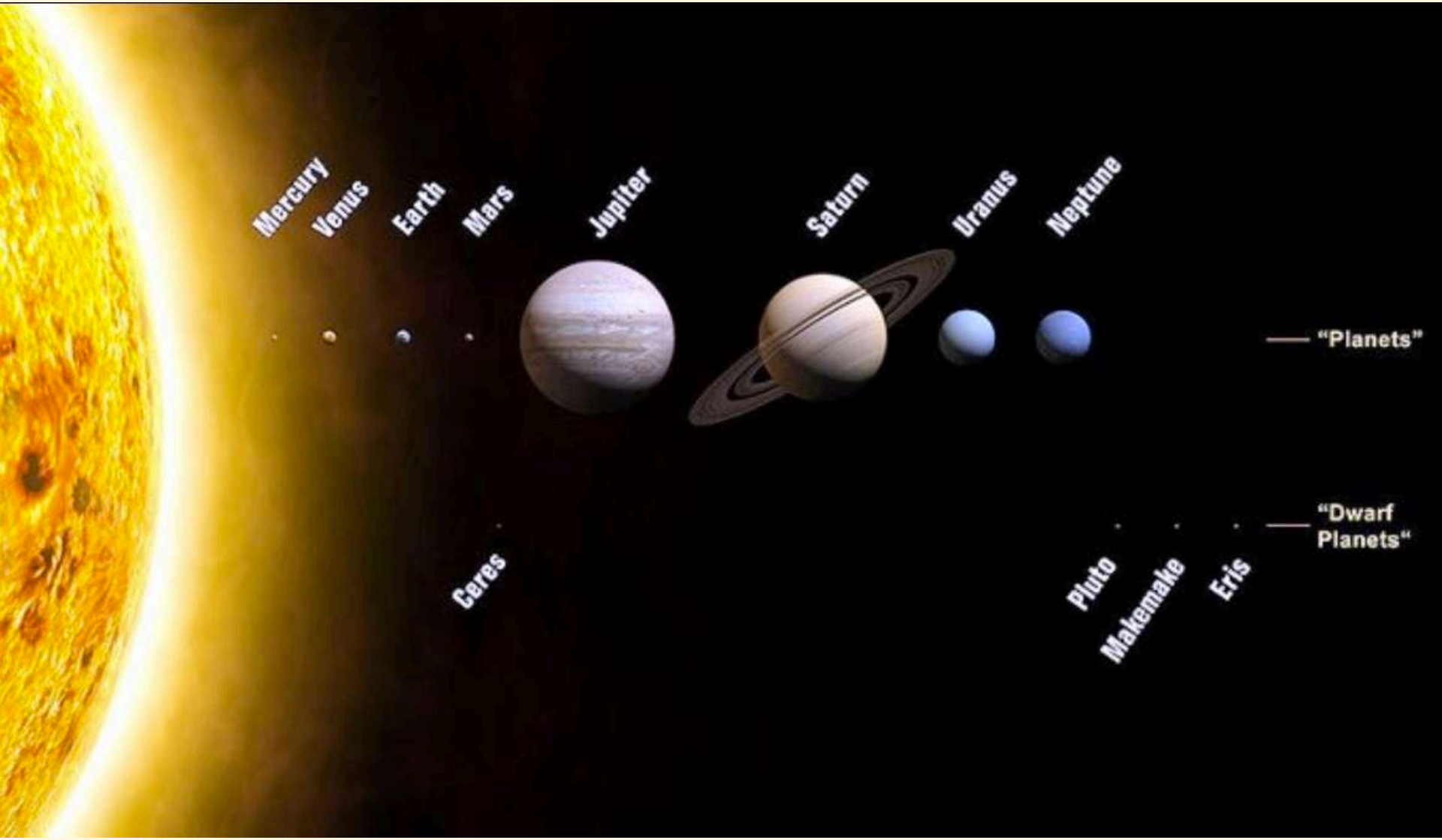
Nonostante ciò la Terra ha grandi volumi di acqua sulla sua superficie. Acqua è è presente anche su Marte in forma di ghiaccio. Come si è accumulata l’acqua nei pianeti interni (compresi Venere e Luna)?

I caratteri fisici dei pianeti del sistema solare

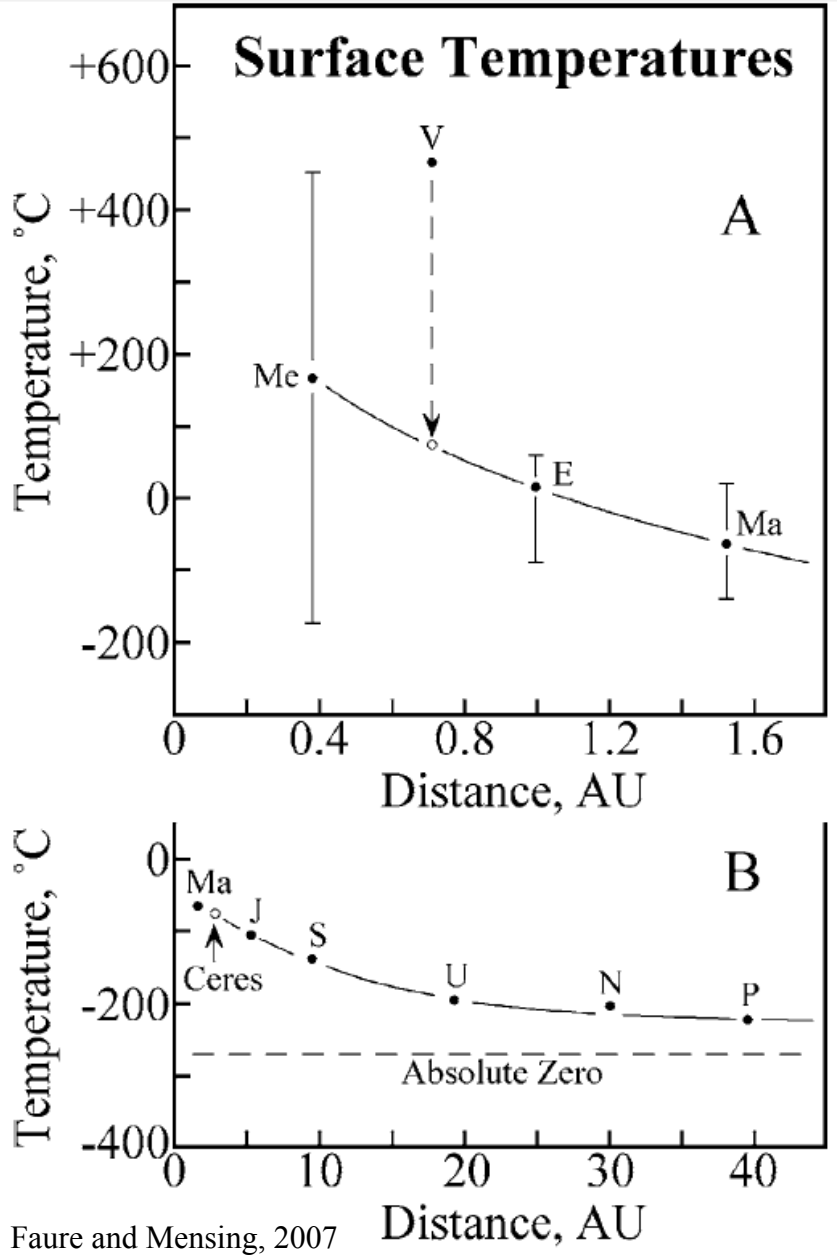
Planet	Distance from Sun, AU	Radius, km	Mass, 10^{24} kg	Density, g/cm^3	Average surface temperature, °C
Sun	–	695,510	1,989,000	1.410	+5507
Mercury	0.3871	2440	0.3302	5.43	+167 (−173 to +452)
Venus	0.7233	6052	4.865	5.20	+464
Earth	1.0000	6378	5.974	5.52	+15 (−90 to +58)
Mars	1.5237	3396	0.6419	3.91	−33 (−140 to +20)
Ceres	2.768	457	0.0012	2.3	
Jupiter	5.2026	71,492	1898	1.33	−123 to −153
Saturn	9.5549	60,268	568.5	0.69	−113 to −153
Uranus	19.2184	25,559	86.83	1.318	−195*
Neptune	30.1100	24,766	102.4	1.638	−204*
Pluto	39.5447	1150	0.0132	2.0	−236

Faure and Mensing, 2007

Le dimensioni dei pianeti



La temperatura superficiale dei pianeti

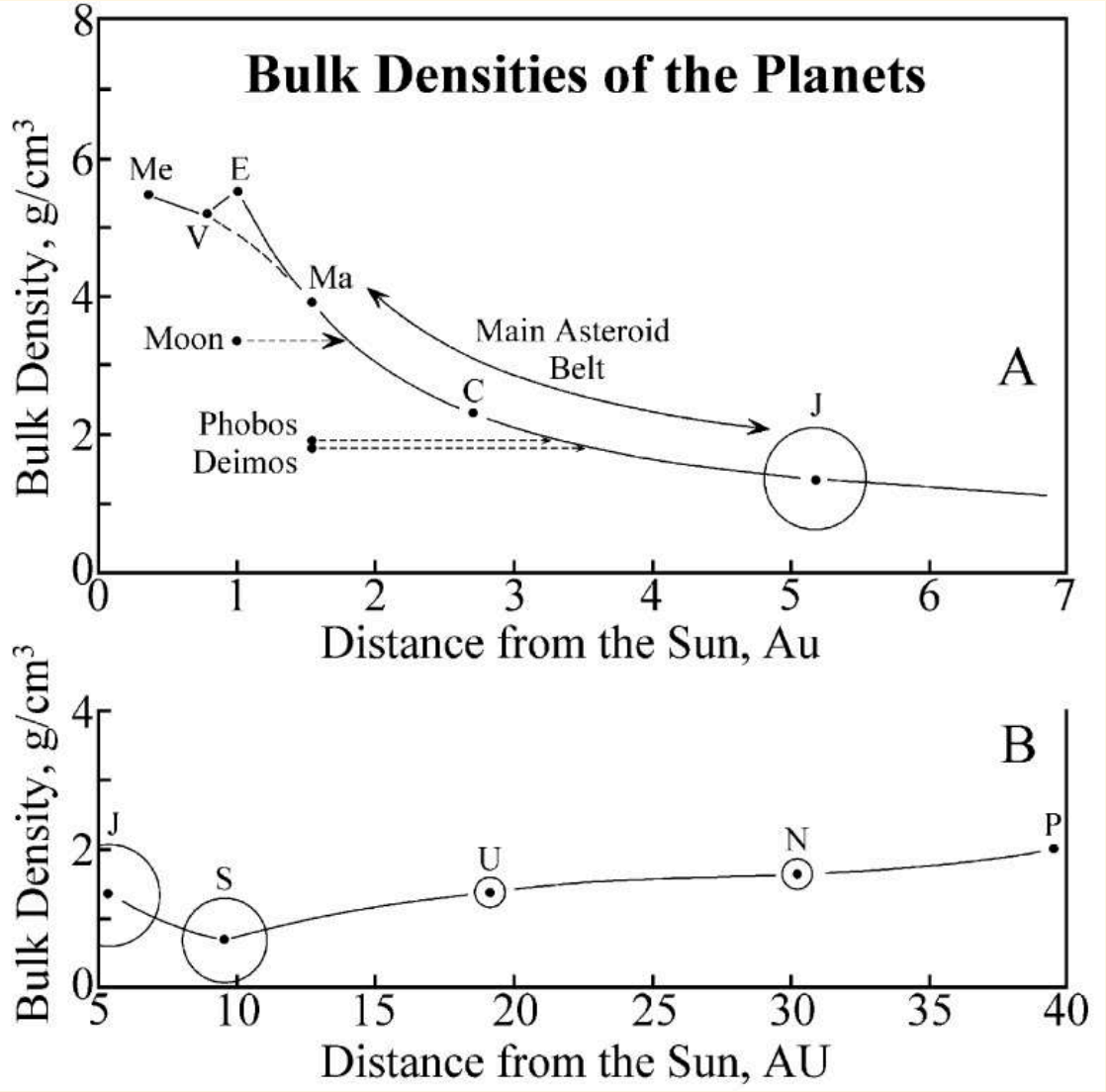


Faure and Mensing, 2007

La densità dei pianeti

Mineral	Composition	Density, g/cm^3
	Minerals	
Ice	H_2O	0.917
Quartz	SiO_2	2.65
Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	2.57
Albite	$NaAlSi_3O_8$	2.62
Anorthite	$CaAlSi_2O_8$	2.76
Olivine	$(Mg, Fe)_2SiO_4$	3.27–3.37
Augite	Ca,Mg,Fe,Al silicate	3.2–3.4
Pyrite	FeS_2	5.02
Magnetite	Fe_3O_4	5.18
Hematite	Fe_2O_3	5.26
	Metals	
Aluminum	Al	2.69
Iron	Fe	7.87
Nickel	Ni	8.90
Copper	Cu	8.96
Lead	Pb	11.35
Gold	Au	19.3

Planet	Density, g/cm^3	
	Bulk	Uncompressed
Mercury	5.44	5.4
Venus	5.24	4.2
Earth	5.52	4.2
Moon	3.34	3.35
Mars	3.93	3.75



Faure and Mensing, 2007

La Terra primordiale: l'oceano di magma

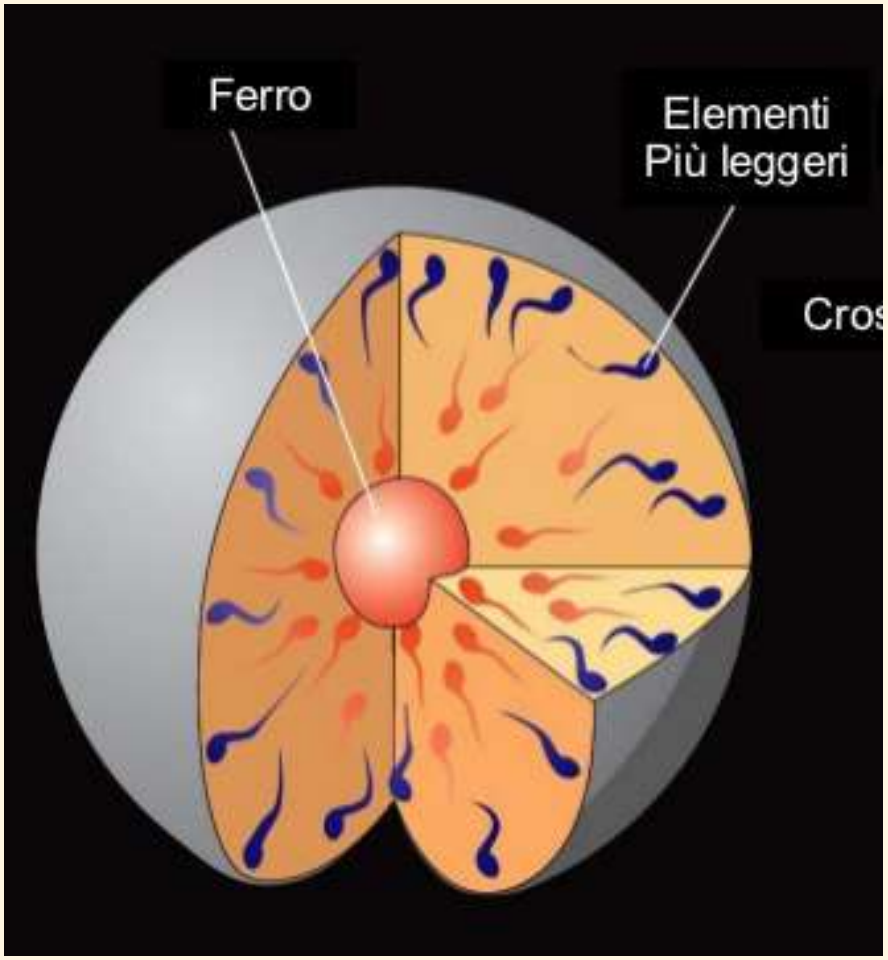
Chesley Bonestell (San Francisco, 1° gennaio 1888 – Carmel-by-the-Sea, 11 giugno 1986)

La Terra primordiale era fortemente energetica, a causa di sorgenti di calore interne ed esterne maggiori di quelle dei periodi successivi:

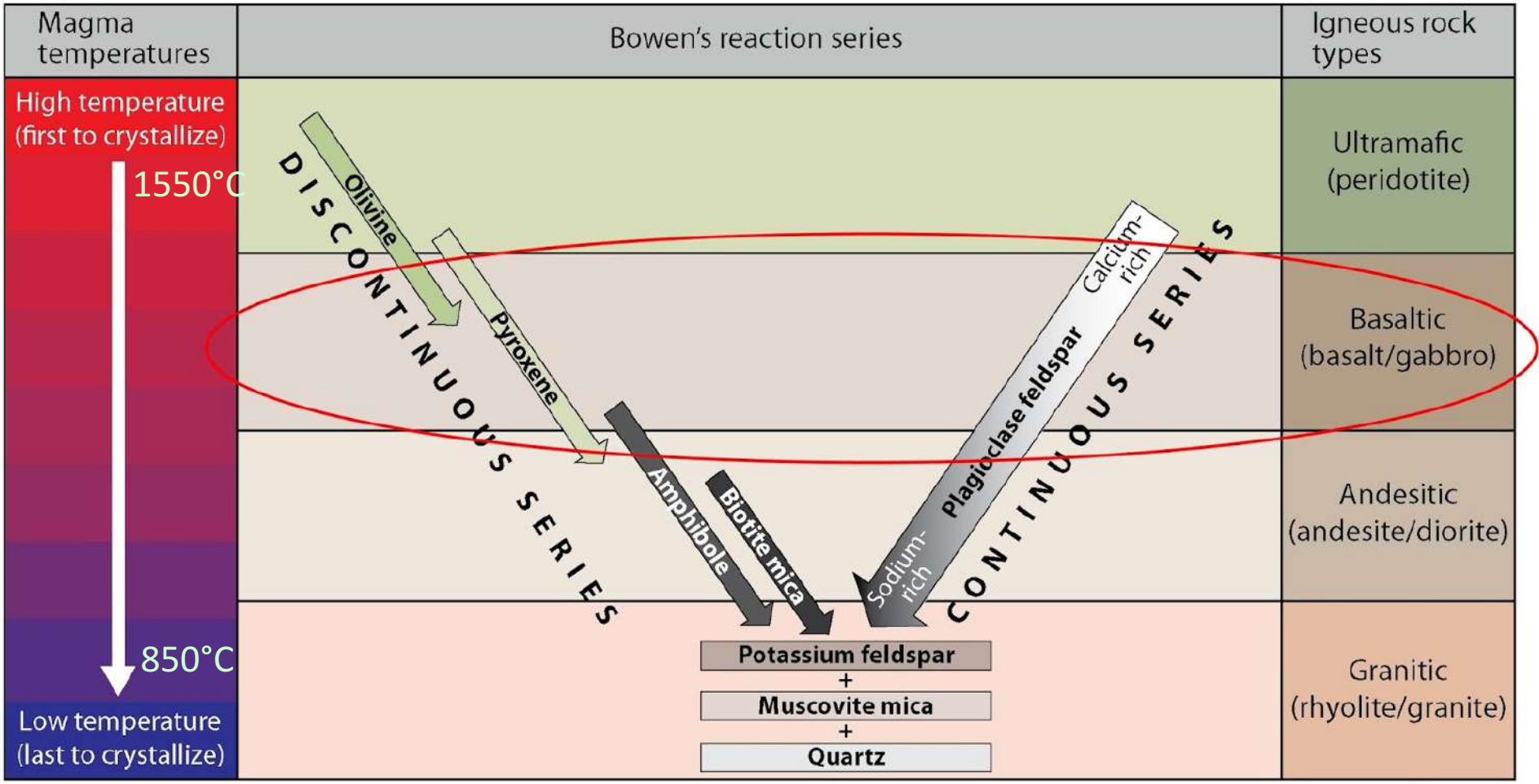
1) Energia di accrezione planetaria
2) Energia di formazione del nucleo metallico
3) Energia da impatti meteoritici
4) Probabile collisione che ha dato origine alla Luna
5) Energia da decadimento radiattivo, cinque volte più grande di quello attuale

Queste sorgenti di calore sono state sufficienti per fondere l'intera Terra durante la sua accrezione, fino a 4.45 Ma

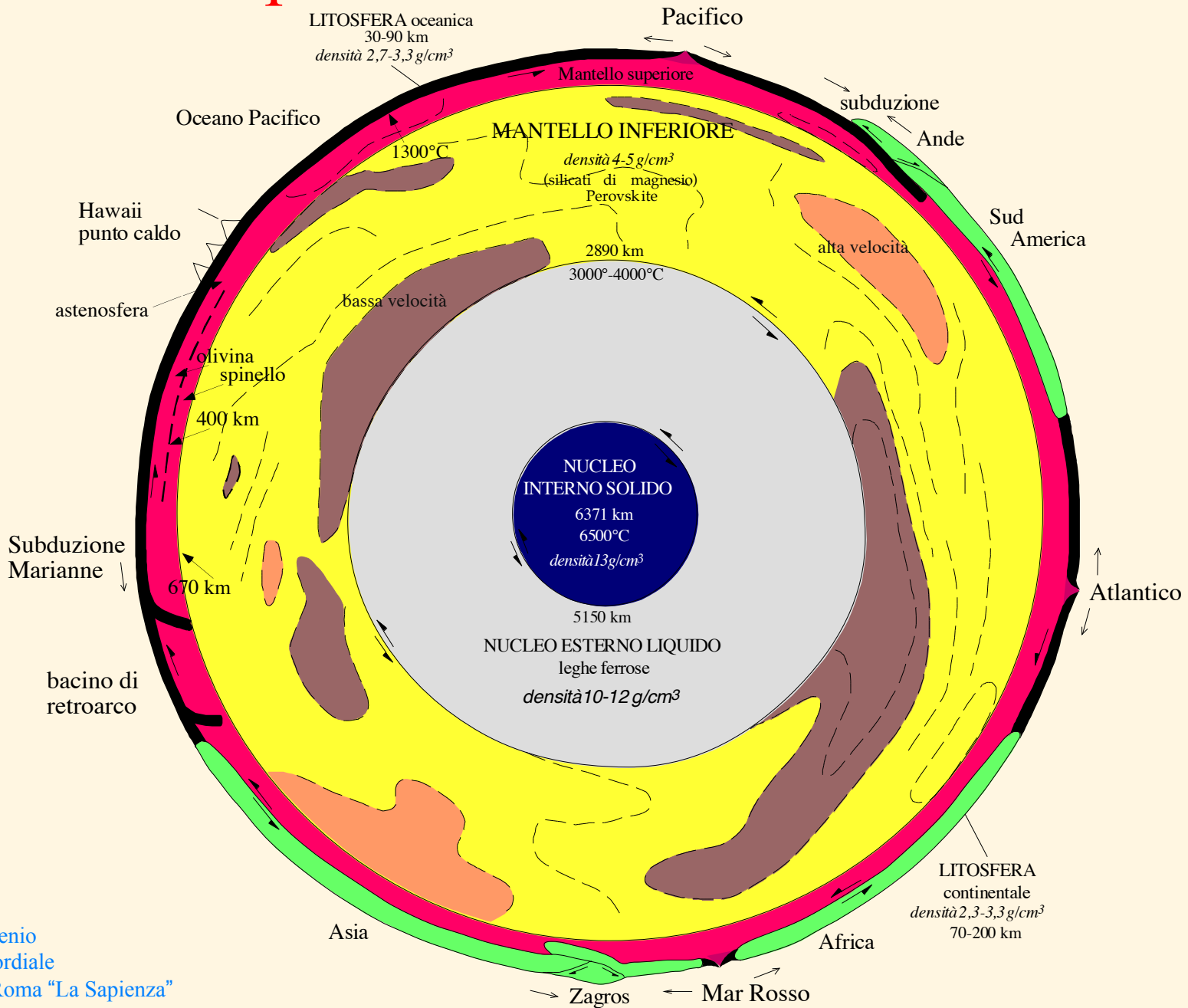
La Terra primordiale: differenziazione gravitativa



La Terra primordiale: differenziazione per cristallizzazione



La Terra primordiale: la differenziazione



Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Le rocce più antiche della Terra

Un ortogneiss granitico-tonalitico (Acasta Gneiss) della Slave Province, Canada settentrionale, è stato datato 4.03 Ga con un metodo U-Pb.

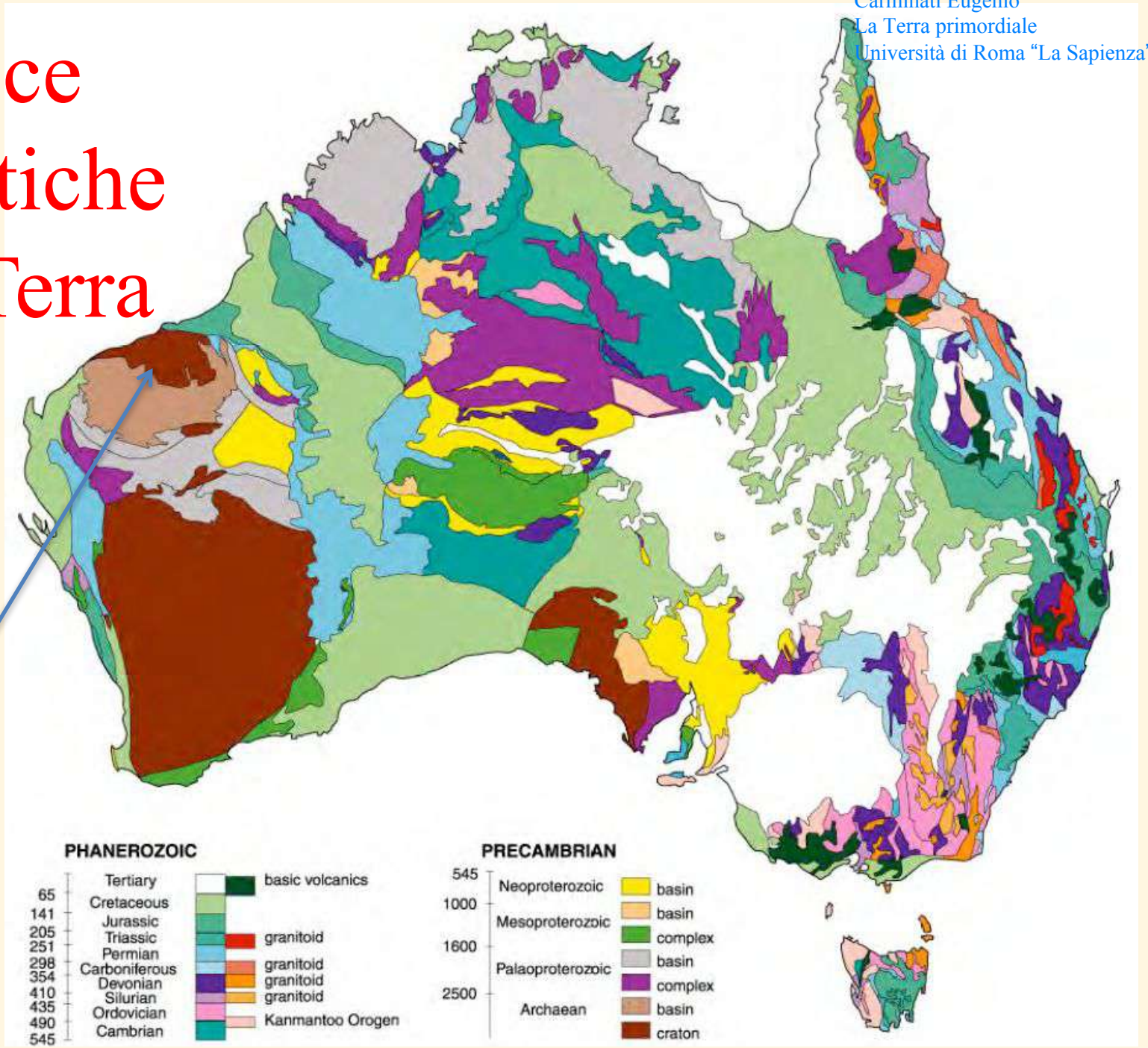
Grotzinger et al., 2006

Gneiss di Acasta, Slave Province.
Anfiboliti, Tonaliti (grigio) e Throndjemiti (solo plagioclasi, bianco). Il protolite probabilmente era un granitoide vecchio 4.2 Ga (età radiometrica su zircone)

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Le rocce più antiche della Terra

Zircone in un conglomerato metamorfico dell'Australia occidentale (Jack Hill 4.4 Ga). La roccia sorgente degli zirconi non è sopravvissuta o non è stata ancora trovata.



La solidificazione della crosta

L'Idrogeno, l'Elio e altri gas primordiali furono allontanati dalla Terra dalle radiazioni solari. La Terra subito dopo la sua formazione era quindi priva di atmosfera e di idrosfera.

La Terra e la Luna

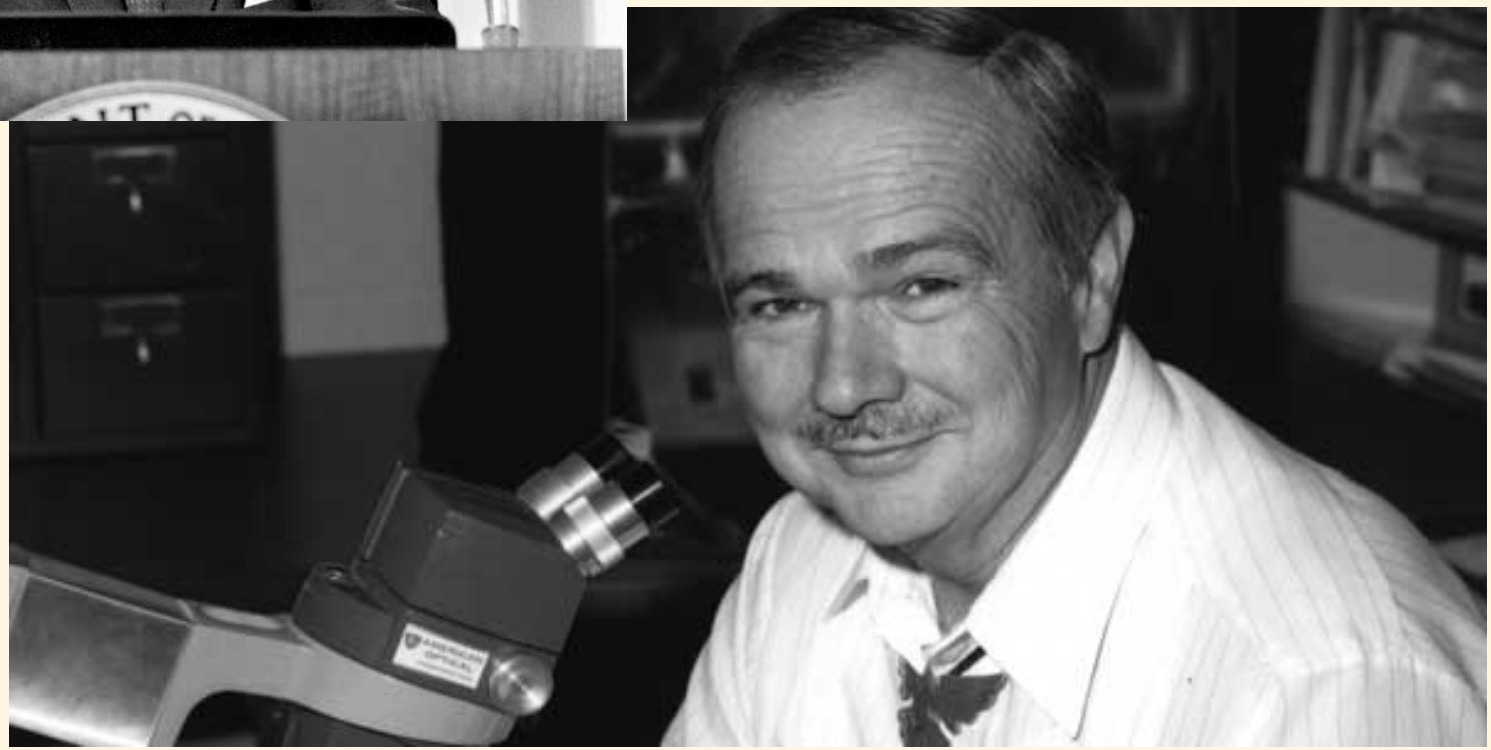
Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

L'esplorazione della Luna

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

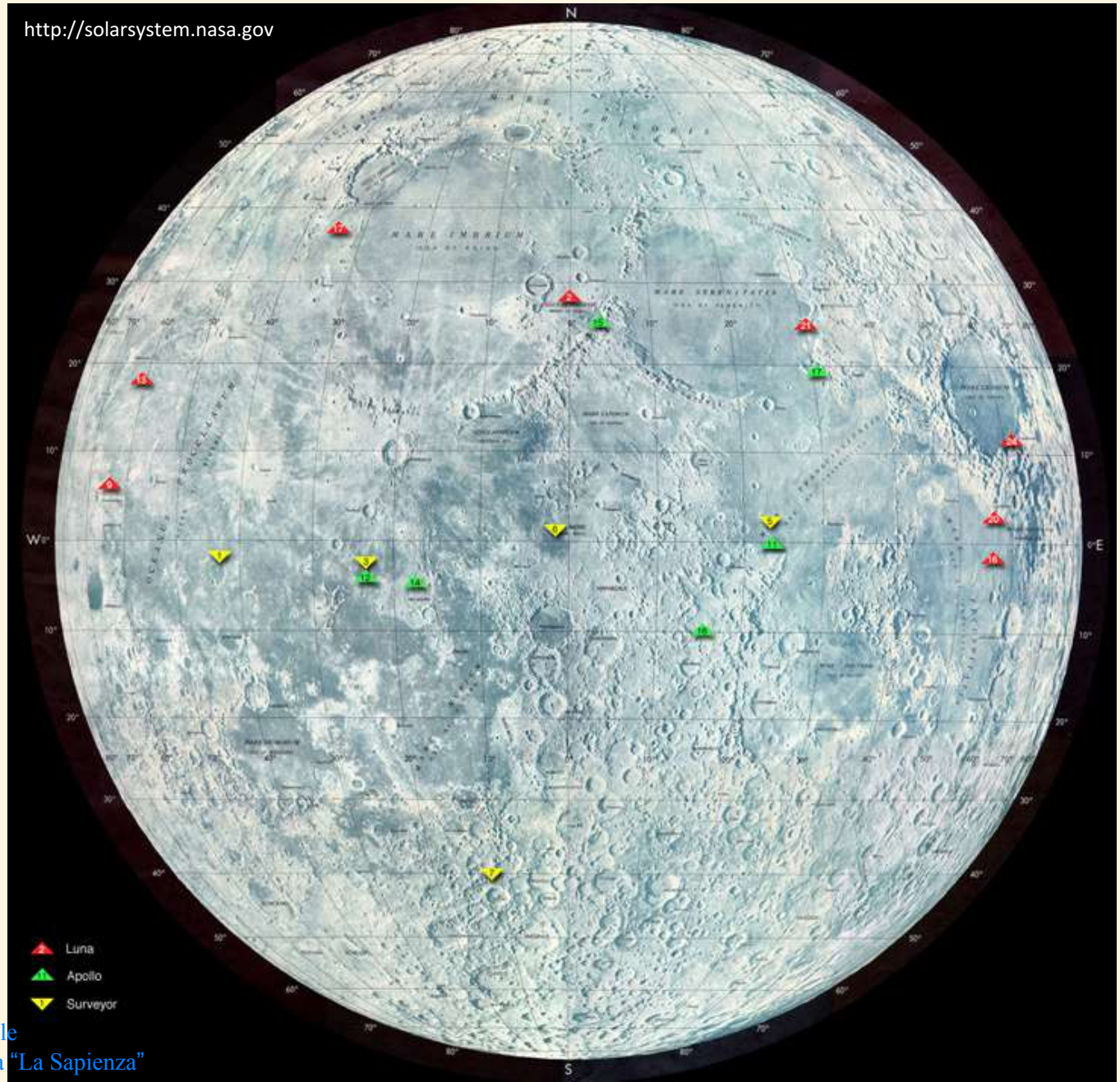
JFK parla alla Rice University (12-9-1962): "We choose to go to the moon. We choose to go to the moon in this decade…"

John F. kennedy (1917-1963) Presidente degli USA

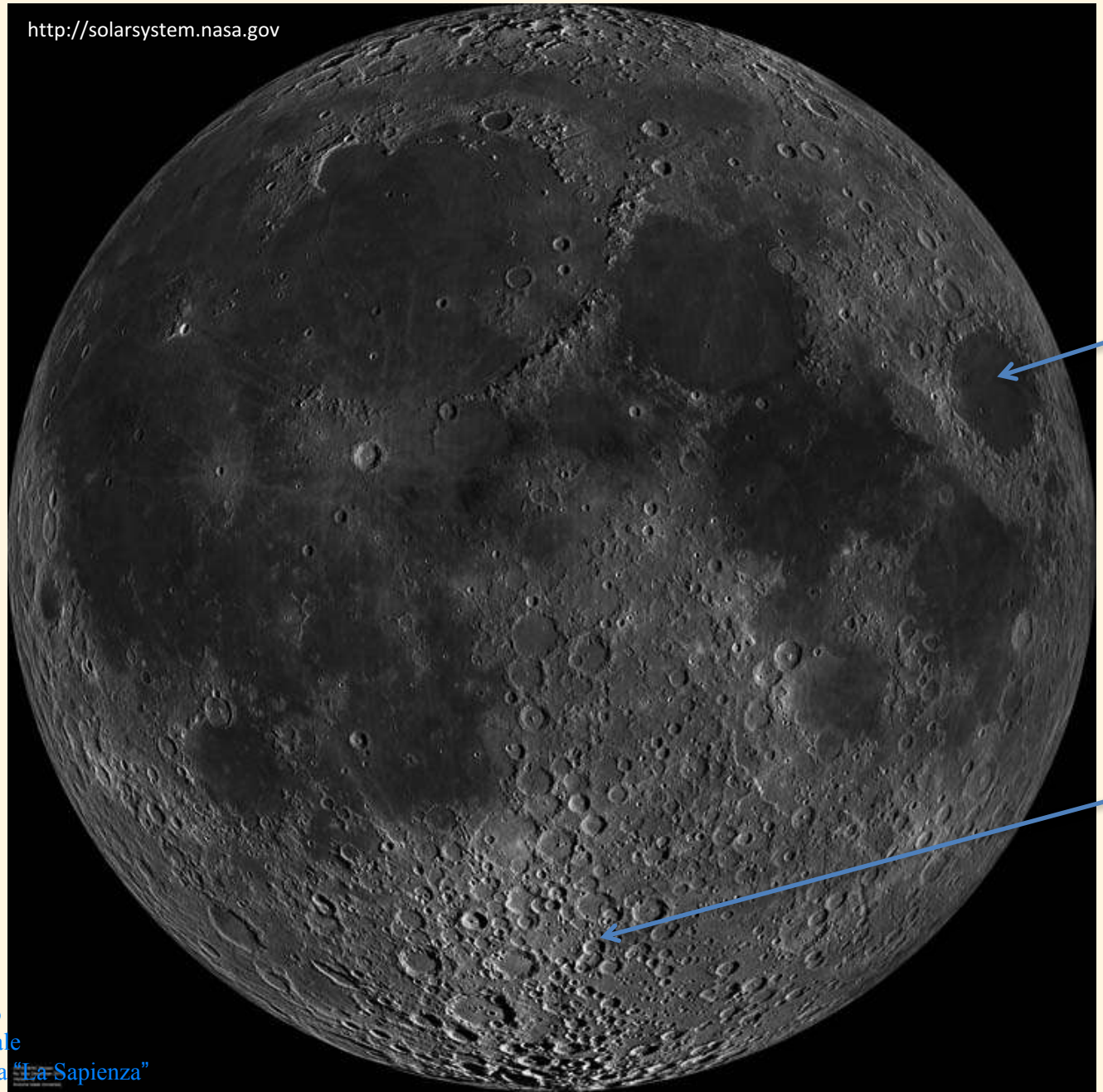


Eugene (Gene) Shoemaker (1928-1997) Geologo e Fondatore dell'astrogeologia

Tutti gli allunaggi (1969-1972)

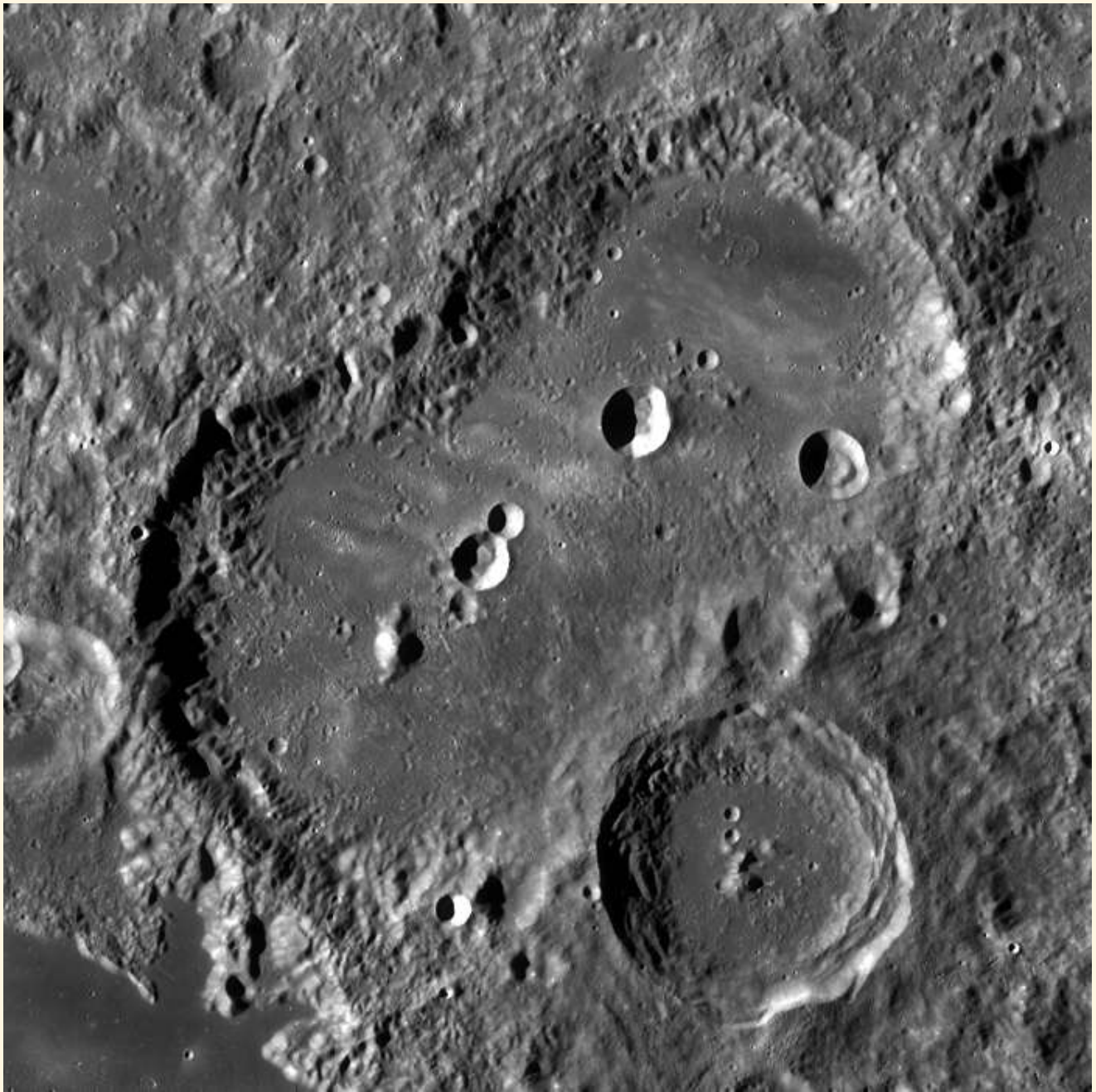


Cosa si sapeva prima



I crateri da impatto

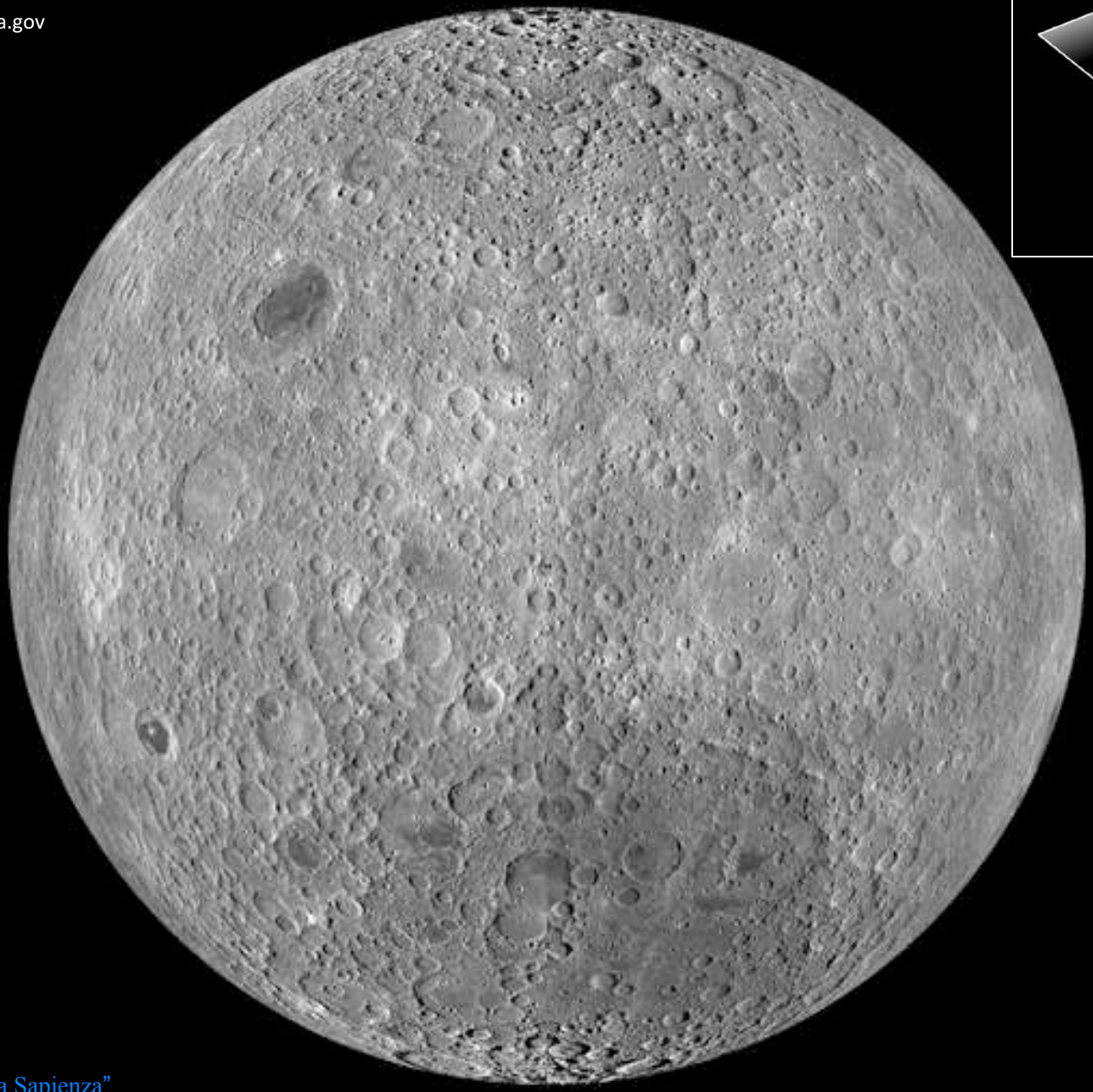
Van de Graaf crater



http://solarsystem.nasa.gov

The dark side of the Moon

http://solarsystem.nasa.gov

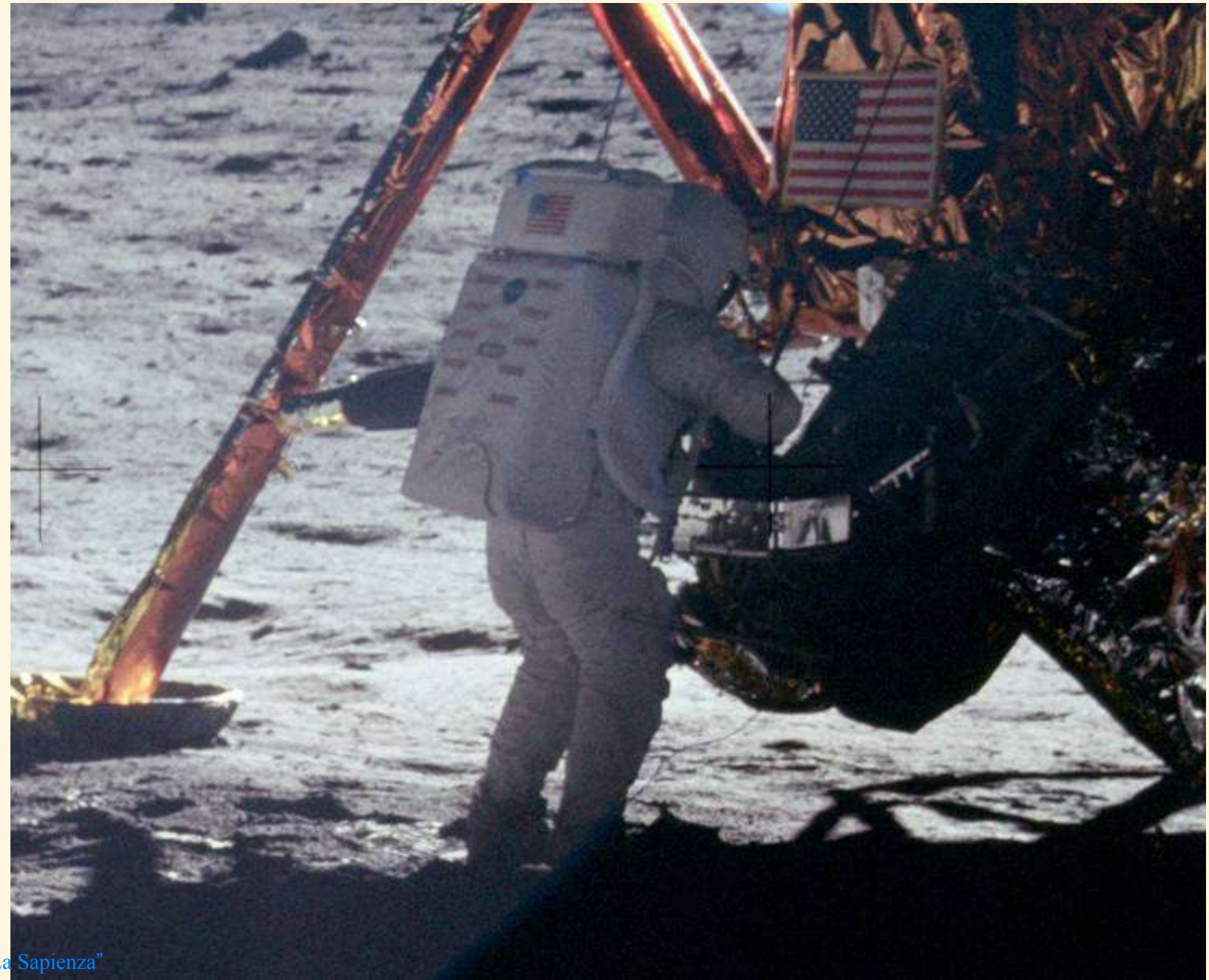


Allunaggi con astronauti

Apollo 11 (20-7-1969, 2 ore e 31 minuti sulla Luna)

Apollo 12, 14, 15, 16

Apollo 17 (11-12-19723 giorni, 2 ore e 59 minuti sulla Luna)



L'esplorazione della Luna

La regolite

La maggior parte della superficie lunare è ricoperta da regolite (rocce lunari fratturate e frammentate da impatti meteoritici)

Foto Apollo 11

http://solarsystem.nasa.gov

L'esplorazione della Luna

Rocce

382 kg di rocce lunari sono stati riportati sulla Terra tra il 1969 e il 1972

Sono state datate con metodi radiometrici e sono un po' più recenti della formazione della Terra. La crosta lunare era già formata 4.4 Ga fa.

http://solarsystem.nasa.gov

L’esplorazione della Luna

Individual samples were stored in small sample bags. These bags had unique identification numbers, so each sample could be matched to its collection site after the samples were returned to Earth. In this photo, the sample bags are attached to the astronaut's right glove.

Apollo 16 photograph AS16-116-18649.

http://www.lpi.usra.edu

L'esplorazione della Luna

Tongs were used to pick up rock samples.

Apollo 12 photograph AS12-47-6932

http://www.lpi.usra.edu

L'esplorazione della Luna

Individual sample bags were collected into larger sample collection bags for transport back to the lunar module. These large bags could be attached to an astronaut's backpack (as shown here) or to the lunar rover. Because of the limited flexibility of the spacesuits, it was not possible for an astronaut to place samples into a collection bag attached to his own backpack. Instead, he would place his samples into a collection bag attached to another astronaut's backpack. This meant that the two astronauts had to work near each other and carefully coordinate their activities.

Apollo 17 photograph AS17-145-22157.

L'esplorazione della Luna

Scoops were used to collect soil samples. Several different scoop designs were used during the Apollo program.

Apollo 17 photograph AS17-146-22371

http://www.lpi.usra.edu

L'esplorazione della Luna

Hammers were used to break small chips off large rocks and to drive core tubes into the ground.

Apollo 15 photograph AS15-82-11140

L’esplorazione della Luna

http://www.lpi.usra.edu

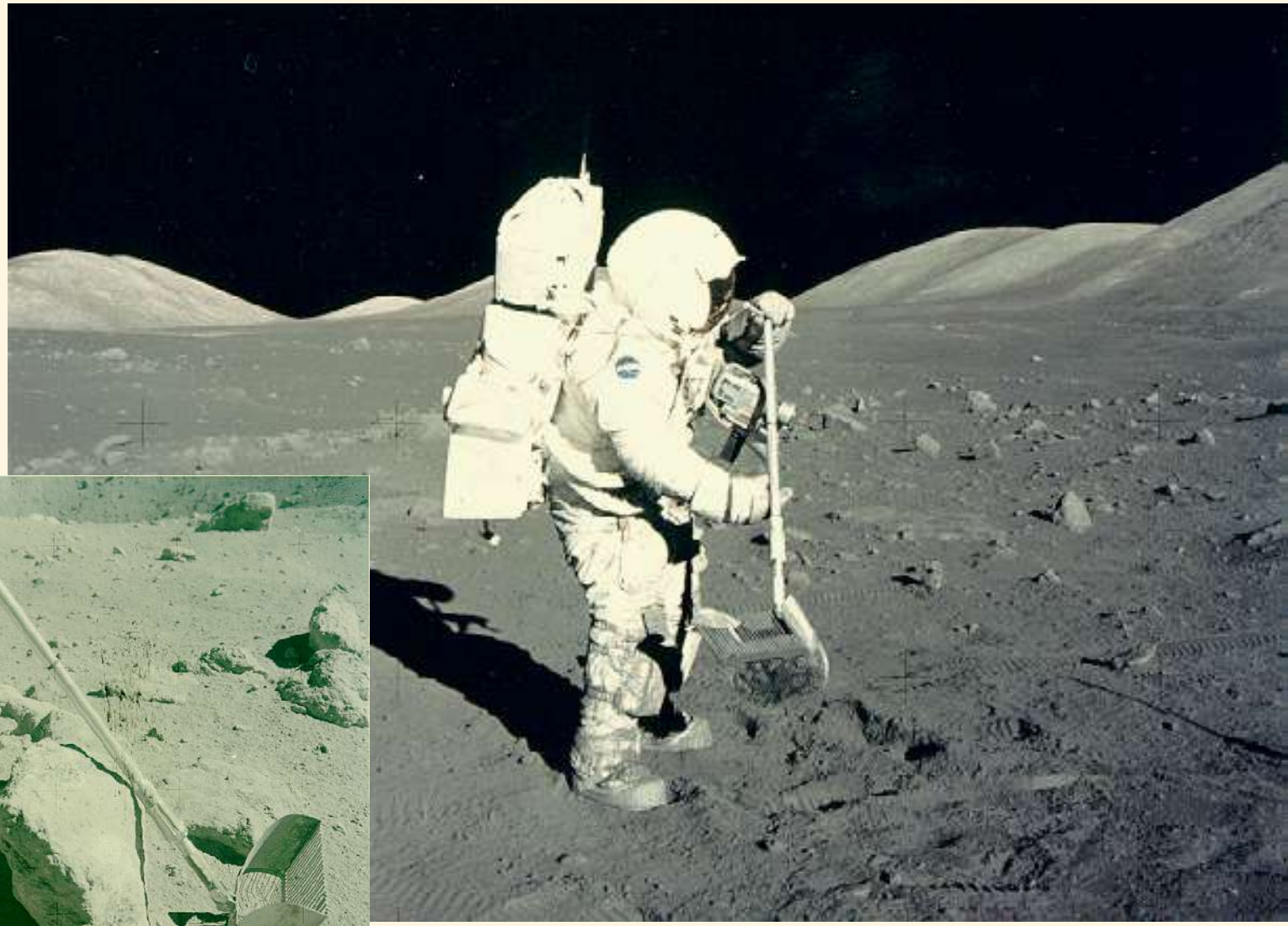
Impact craters eject material from below the surface of the Moon and thus serve as natural drill cores into the Moon's upper layers. The ejected material is deposited in the region surrounding the crater. Material from the greatest depth is deposited close to the crater's rim, and material from shallower depths is deposited at greater distances from the crater. To take advantage of this, astronauts sometimes used a procedure known as radial sampling. This involved collecting samples at varying distances from a crater's rim, in essence collecting material from different depths below the Moon's surface. This was sometimes done at a single field stop, as shown here where astronaut Charles Duke collects material on the rim of Plum Crater.

Apollo 16 photograph AS16-114-18423.

L'esplorazione della Luna

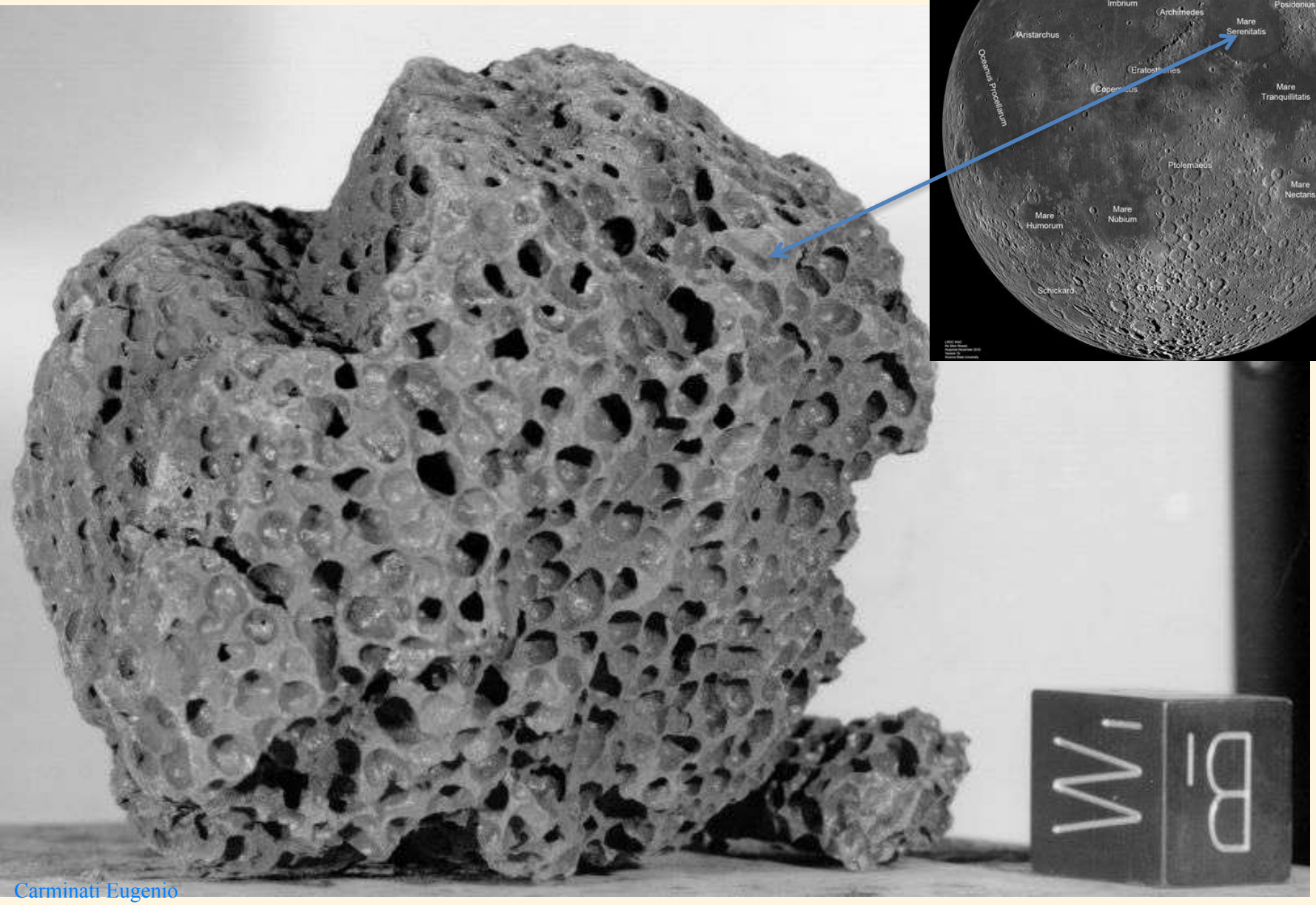
This photo shows a rake being used by *Apollo 17* astronaut Jack Schmitt. *Apollo 17 photograph AS17-134-20425.*

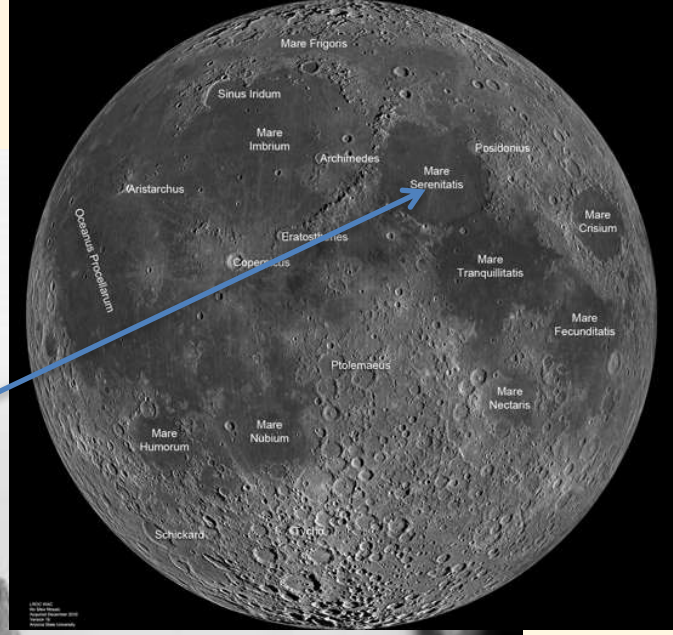
http://www.lpi.usra.edu



Rakes were used to collect small pebbles. The tines on the rake are 1 centimeter apart. The rake was dragged through the soil and then shaken. Small particles fell through the tines and larger particles were trapped in the rake and dumped into a sample bag for return to Earth.
Apollo 16 photograph AS16-116-18629.

Le rocce della Luna



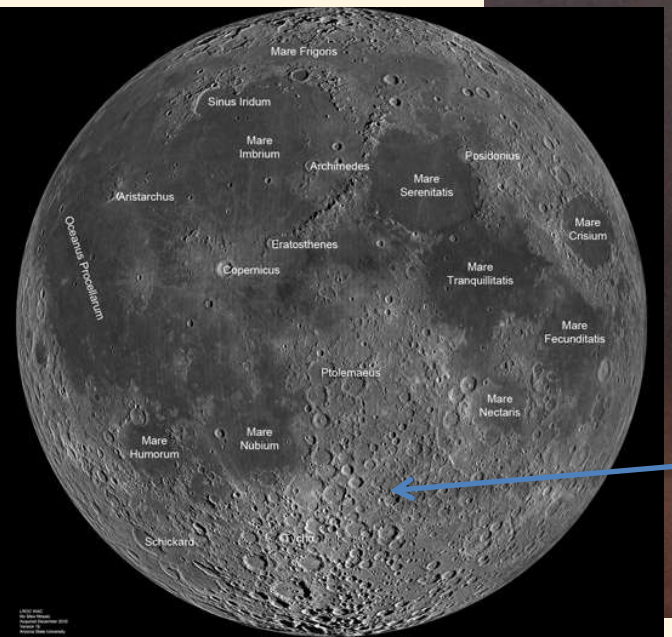


Maria: Basalto vescicolare

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

Le rocce della Luna

Terrae: Gabbro anortositico (plagioclasio di magnesio e pirosseno. No anfiboli)

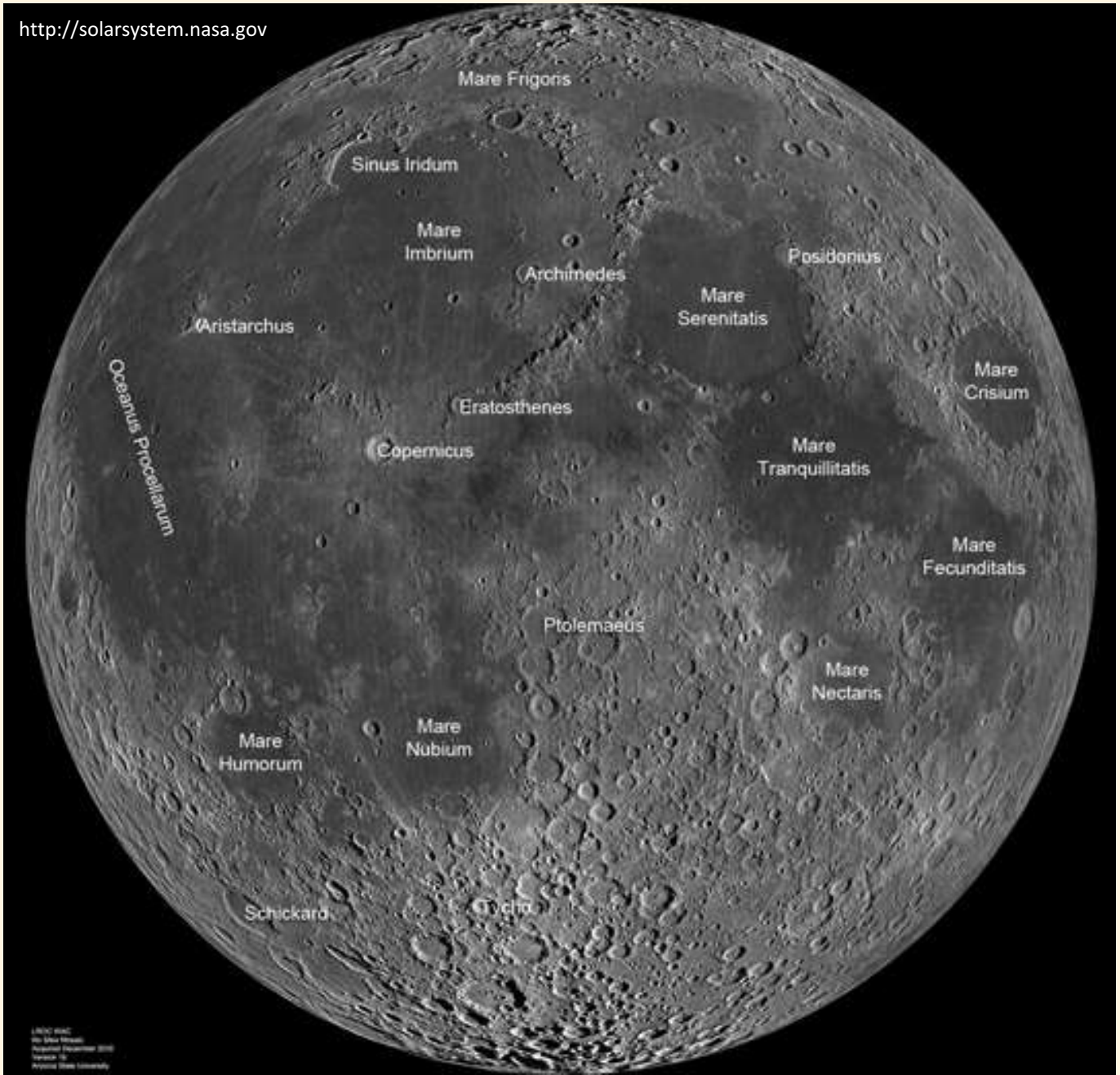


Le rocce della Luna sulla Terra

Meteoriti lunari: Regolite compattata dall'impatto e frammentii di gabbro anortositico

Età degli impatti

Da datazioni ^{40}Ar-^{39}Ar sono stati datati gli impatti:
Nectaris (3.9 Ga), Crisium (3.895 Ga) Serenitatis (3.893 Ga), Imbrium (3.85 Ga), Autolycus (2.1 Ga), Aristillus (1.29 Ga), and Copernicus (800 Ma)



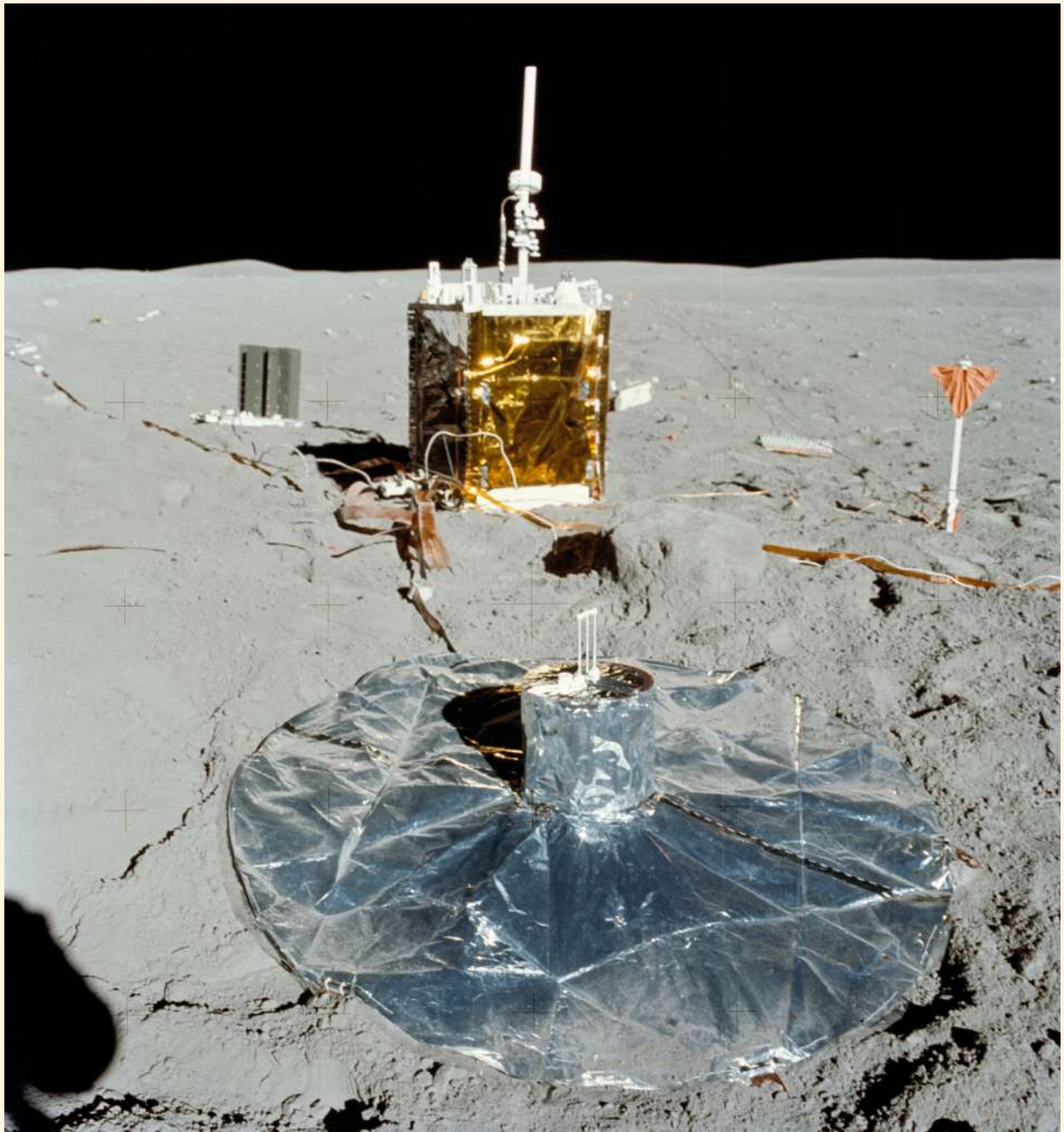
L’esplorazione della Luna

Sismometri

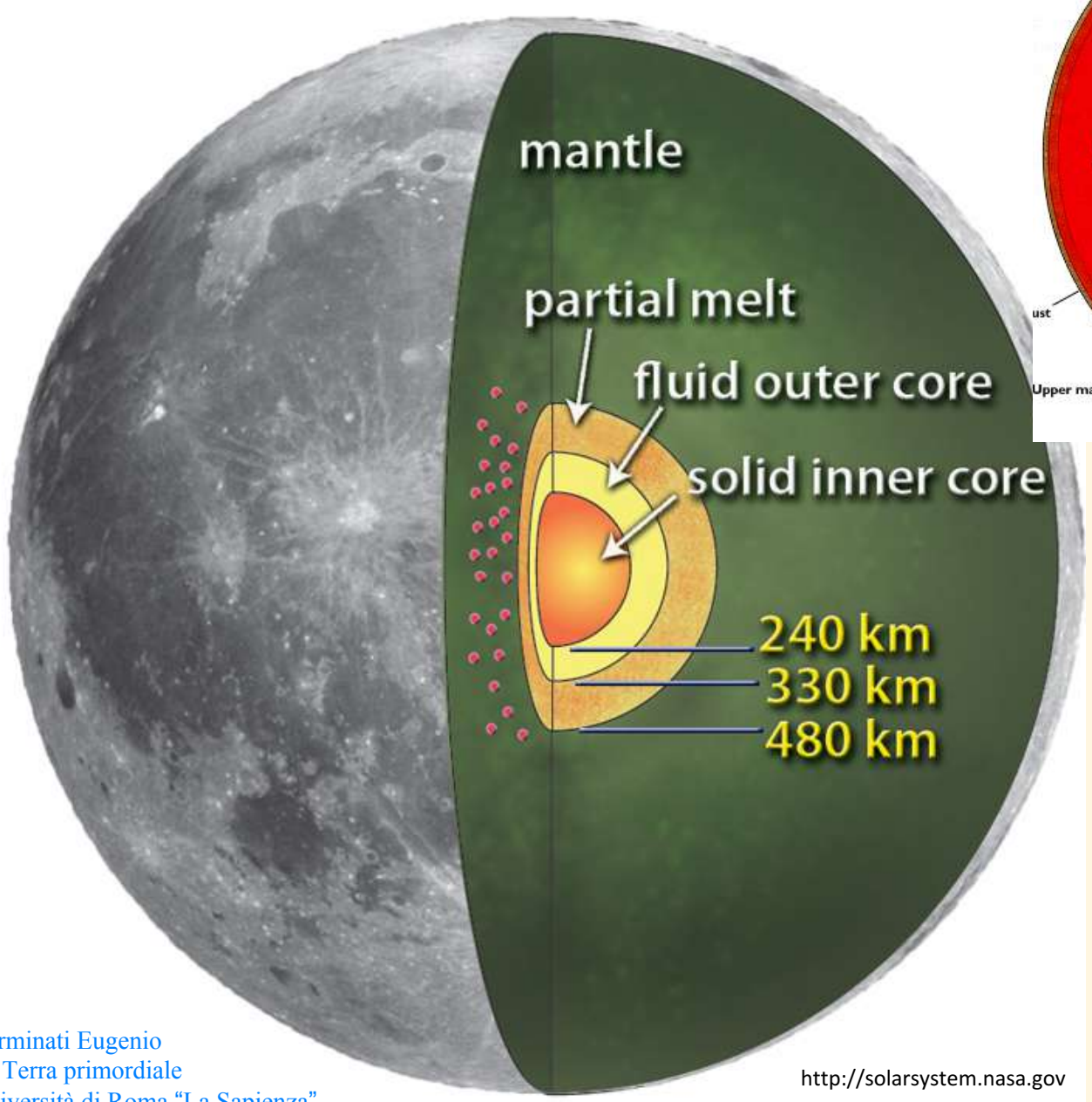
A partial view of the Apollo 16 Apollo Lunar Surface Experiments Package (ALSEP) in deployed configuration on the lunar surface as photographed during the mission's first extravehicular activity (EVA-1), on April 21, 1972. The Passive Seismic Experiment (PSE) is in the foreground center; Central Station (C/S) is in center background, with the Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) to the left. One of the anchor flags for the Active Seismic Experiment (ASE) is at right

Apollo 16

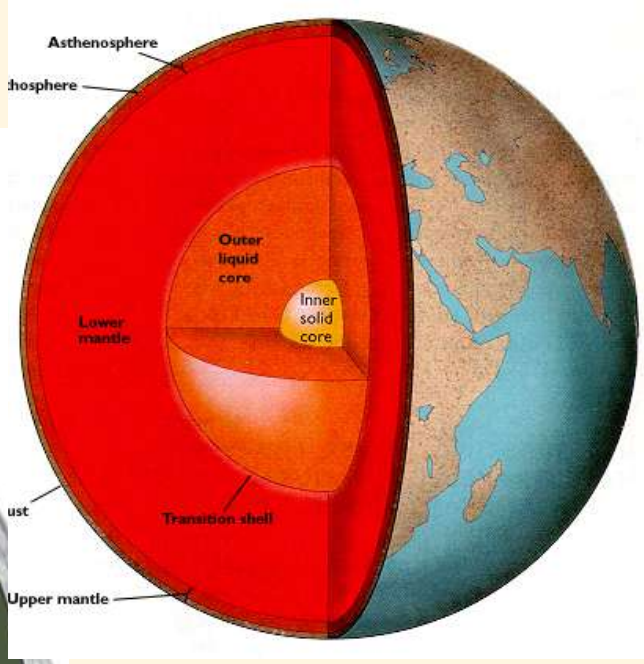
http://solarsystem.nasa.gov



L'interno della Luna



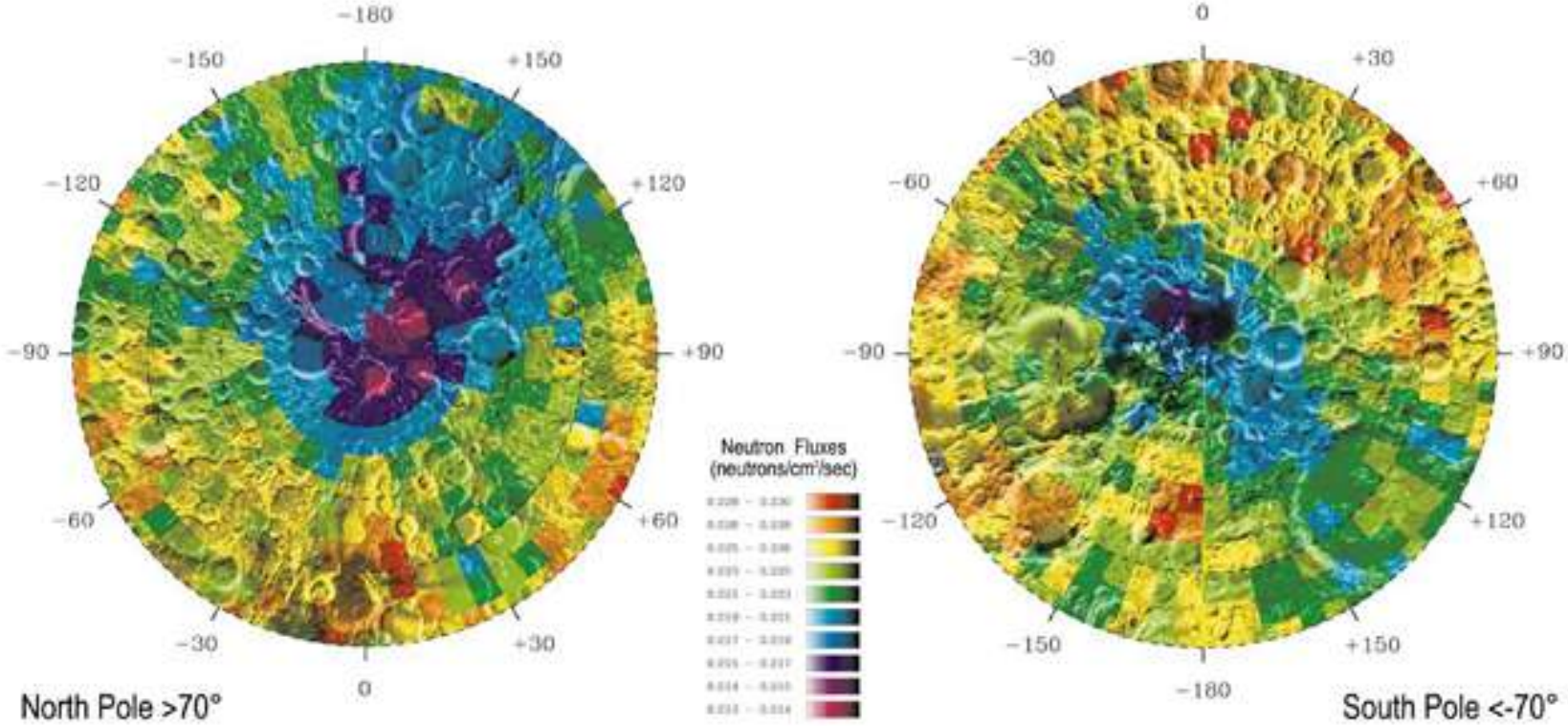
http://solarsystem.nasa.gov



Il nucleo è molto più piccolo di quello terrestre

Il ghiaccio sulla Luna

http://solarsystem.nasa.gov



Le stranezze della Luna

1. Impoverita in elementi volatili (ad es. Potassio, Sodio, Fluoro, Zinco e altri 19 elementi) rispetto alle condriti carbonacee, provenienti dalla zona esterna

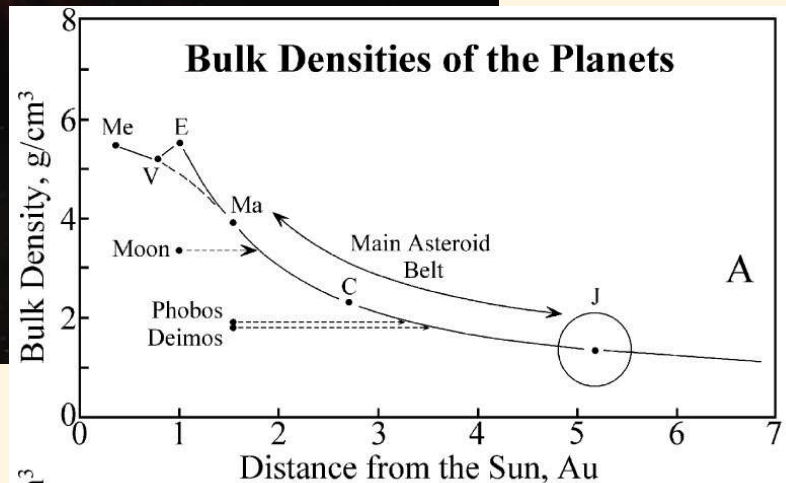
2. Impoverita in Ferro (nucleo di dimensioni ridotte), come indicato dalla sua bassa densità (3.344g/cm^3) se confrontata alla densità media della Terra (5. 520 g/cm^3)

3. Assenza di acqua e di altri volatili nelle rocce ignee della Luna, incompatibile con cattura di un corpo proveniente dalla zona esterna

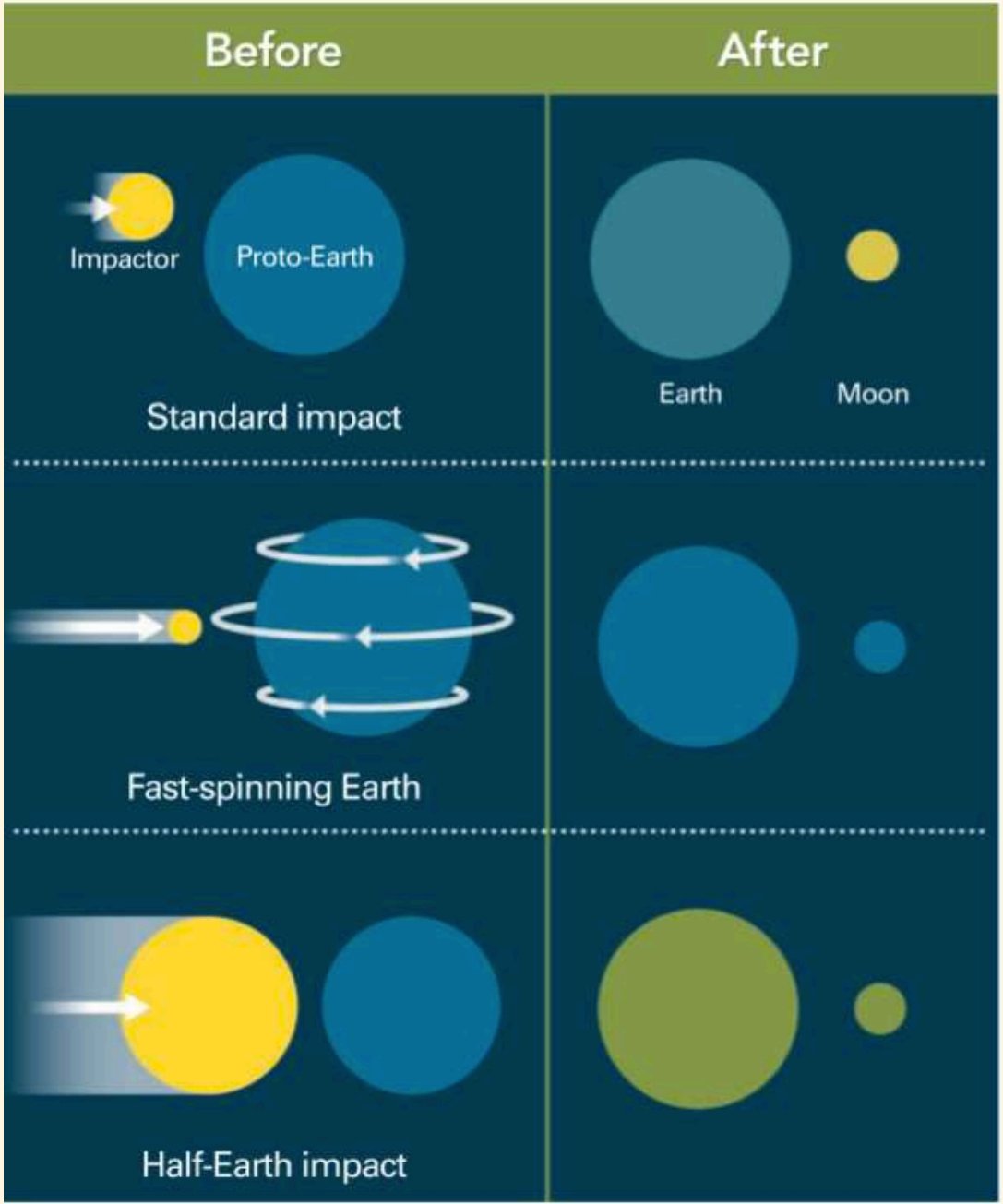
Formazione della Luna

Dalla slide precedente si può escludere la cattura e la formazione dalla nebulosa

L'ipotesi dell'impatto (datato a 4.44 Ga) spiega, oltre alle osservazioni della slide precedenti, anche…….



Diversi tipi di impatto



Clery, 2013

L’origine dell’acqua

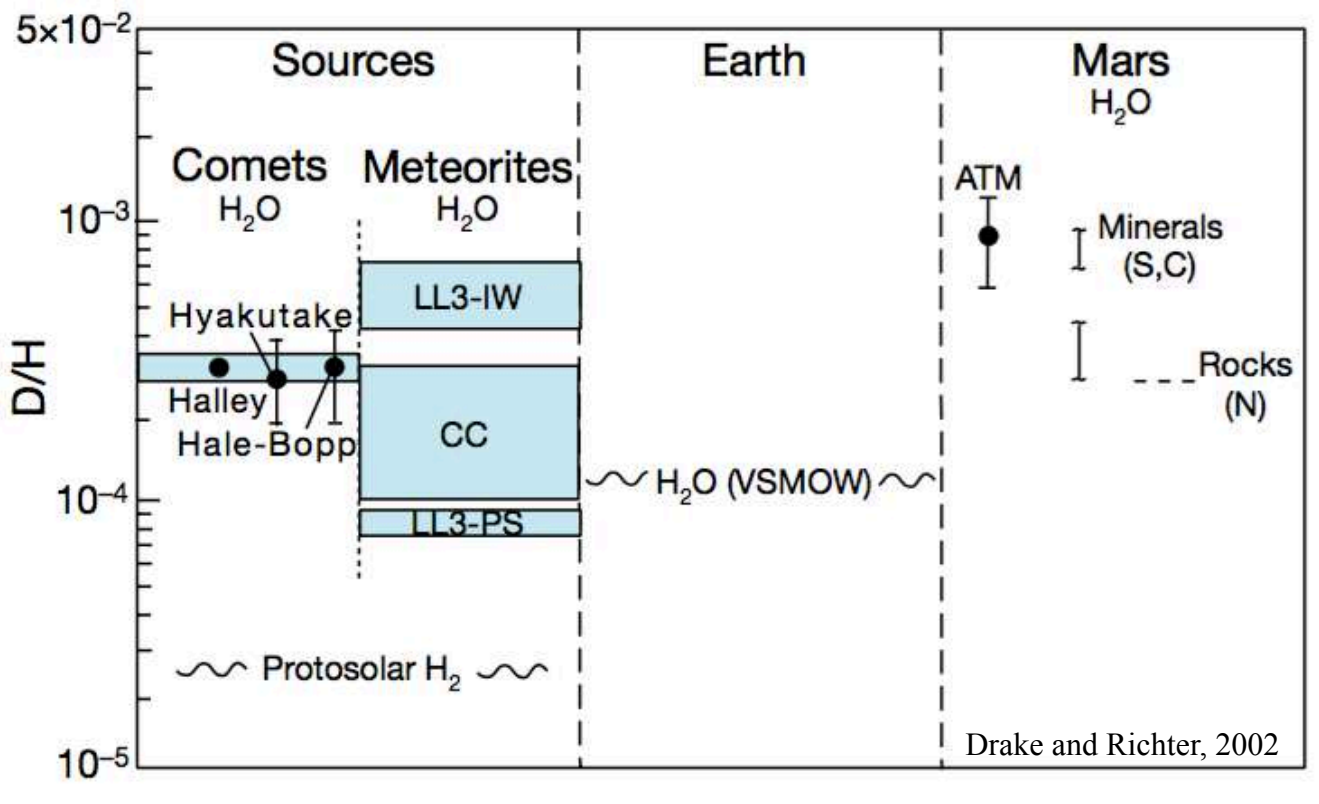
Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Da dove proviene l'acqua della Terra?

Durante le prime fasi del sistema solare, la nebulosa solare era sufficientemente fredda per permettere la condensazione di acqua in ghiaccio solo a distanze maggiori di 1-5 AU (AU=astronomical unit=distanza Terra-Sole.

I pianeti accreti a questa distanza (detta snowline) erano ricchi d'acqua (ad esempio Europa, la luna di Giove), quelli più vicini al Sole (ad esempio la Terra) poveri di acqua. **Da dove arriva quindi l'acqua della Terra?**

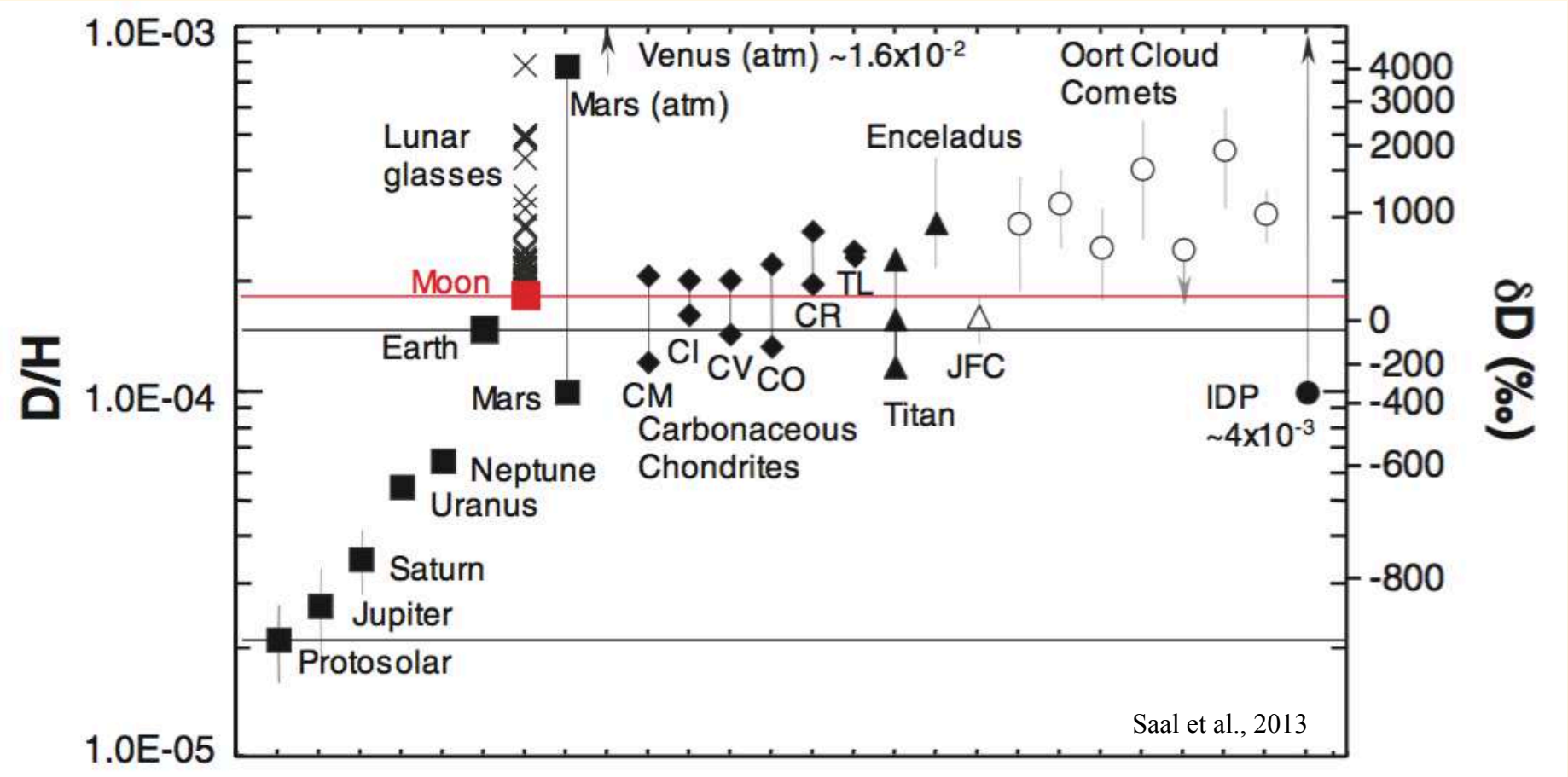
Il rapporto D/H dell'acqua degli oceani della Terra è molto diversa da quella delle comete, mentre è molto simile a quella delle condriti carbonacee (CC), da cui quindi proviene. Le condriti carbonacee provengono dalla parte più esterna della nebulosa planetaria



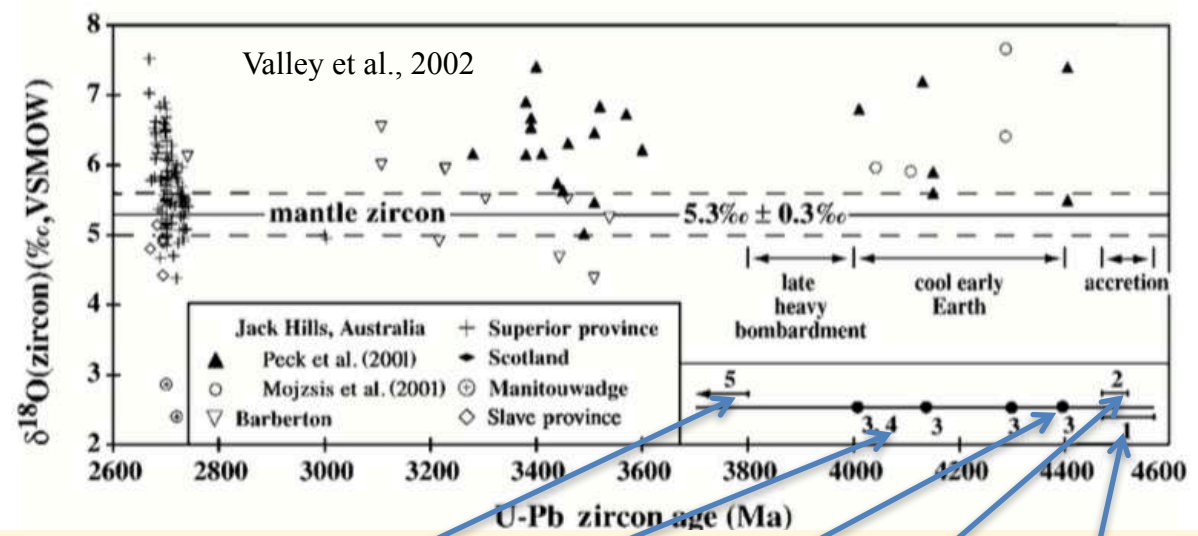
Quando è arrivata l'acqua sulla Terra?

Osservazione: l'acqua della Luna ha un rapporto D/H simile (e quindi una originesimile) a quello della Terra

Implicazione: **l'acqua era presente sulla Terra prima dell'impatto che ha generato la Luna**



Quando il primo oceano sulla Terra?



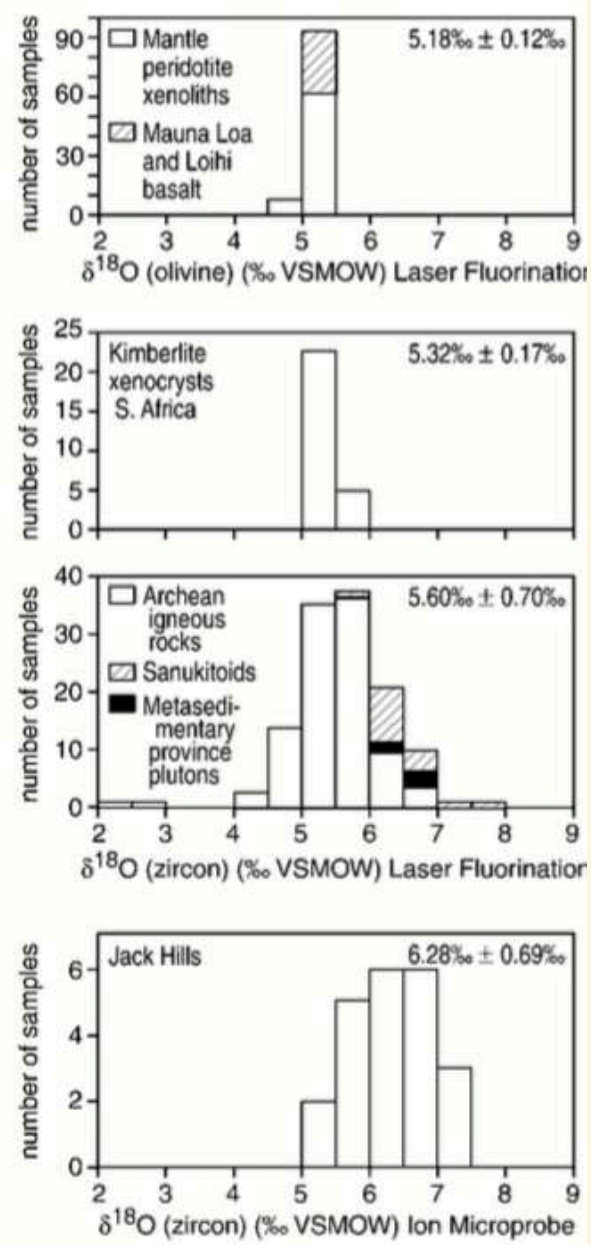
Sedimenti marini di Isua

Gneiss di Acasta

Presenza di Acqua Indicata da Zirconi con Alto $\delta^{18}O$

Formazione di Luna e mantello

Accrezione Della Terra



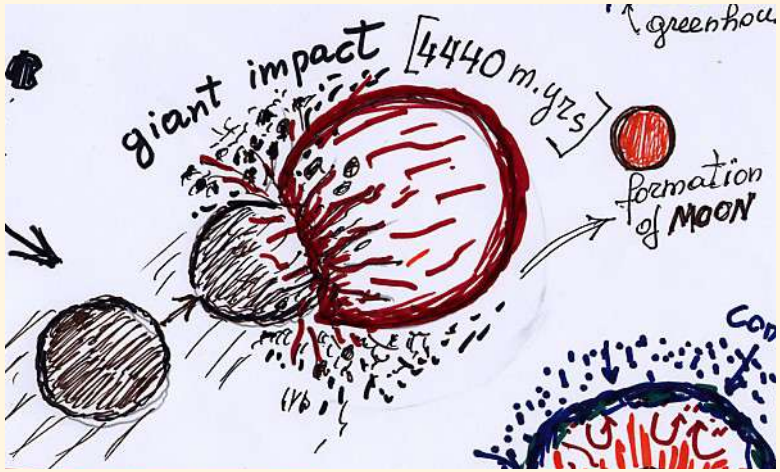
La costanza del $\delta^{18}O$ negli zirconi nel periodo 4.4–2.6 Ga suggerisce che processi magmatici e protoliti a 4.4-4.0 Ga fossero simili a quelli di 3.8–2.6 Ga, quando si sono deposti sedimenti carbonatici in ambiente marino.
Pertanto **gli oceani erano probabilmente presenti già 4.4 Ga fa, cioè subito dopo la formazione della Luna**

Quando la prima atmosfera?

La prima atmosfera si è formata per **degassazione** di gas intrappolati nell'interno della Terra, un processo ancora attivo.

- Azoto (N_2): 78,084%
- Ossigeno (O_2): 20,946%
- Argon (Ar): 0,934%
- Anidride carbonica (CO_2): 0,0407% (407 ppm)[
- Neon (Ne): 0,0018% (18 ppm)
- Elio (He): 0,000524% (5 ppm)
- Metano (CH_4): 0,00016% (2 ppm)
- Kripton (Kr): 0,000114% (1,1 ppm)
- Idrogeno (H_2): 0,00005% (0,5 ppm)
- Xeno (Xe): 0,0000087% (0,08 ppm).

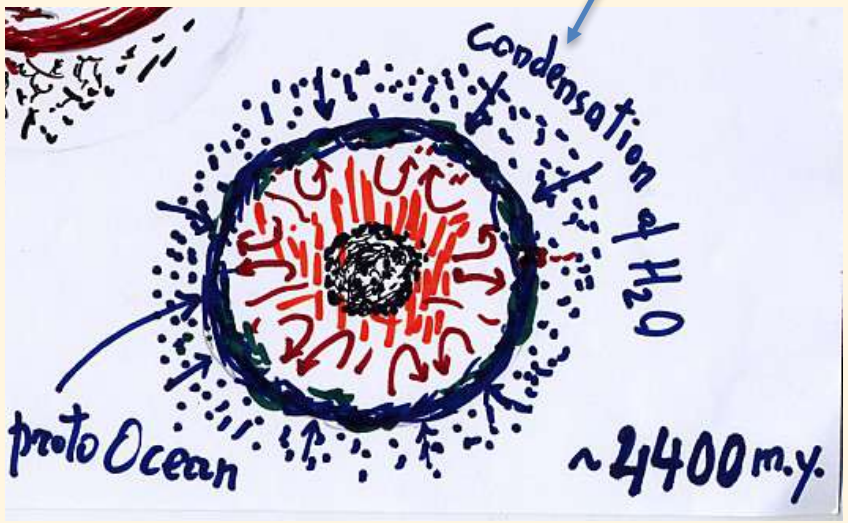
Idrogeno e Elio, a bassa densità fuggono continuamente dall'atmosfera. Tuttavia **l'assenza di gas nobili** più densi (Kripton, Xeno, Radon) **nell'atmosfera attuale** implica un processo drammatico: l'impatto che ha generato la Luna.



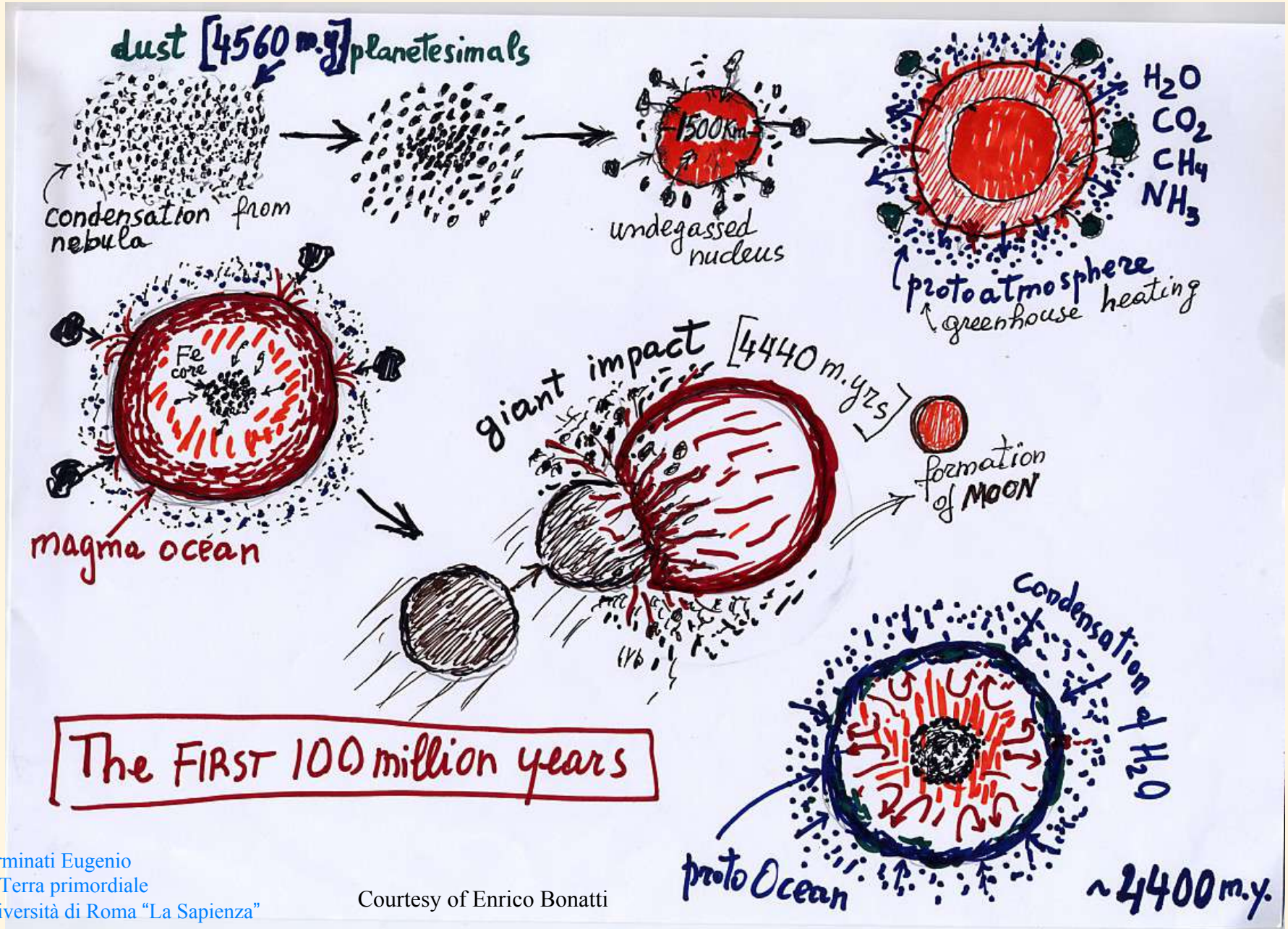
Quando la prima atmosfera?

L'impatto ha provocato la **vaporizzazione di una parte delle rocce terrestri**, generando una atmosfera di vapore di roccia e di gas che erano intrappolati nelle rocce vaporizzate. Il **vapore di roccia è condensato** (pioggia di roccia incandescente) entro circa 2000 anni dalla collisione **lasciando una atmosfera molto densa**, ricca in anidride carbonica, idrogeno e acqua. E l'ossigeno????

A seguire si è **condensata anche l'acqua a formare gli oceani**, lasciando l'atmosfera molto ricca in anidride carbonica. L'acqua poteva esistere allo stato liquido nonostante le altissime temperature (200°C più di quelle attuali?) a causa della elevata pressione atmosferica dovuta alla grande quantità di anidride, densa poco meno del doppio dell'aria che forma l'atmosfera attuale.



I primi 100 Ma della Terra



Courtesy of Enrico Bonatti

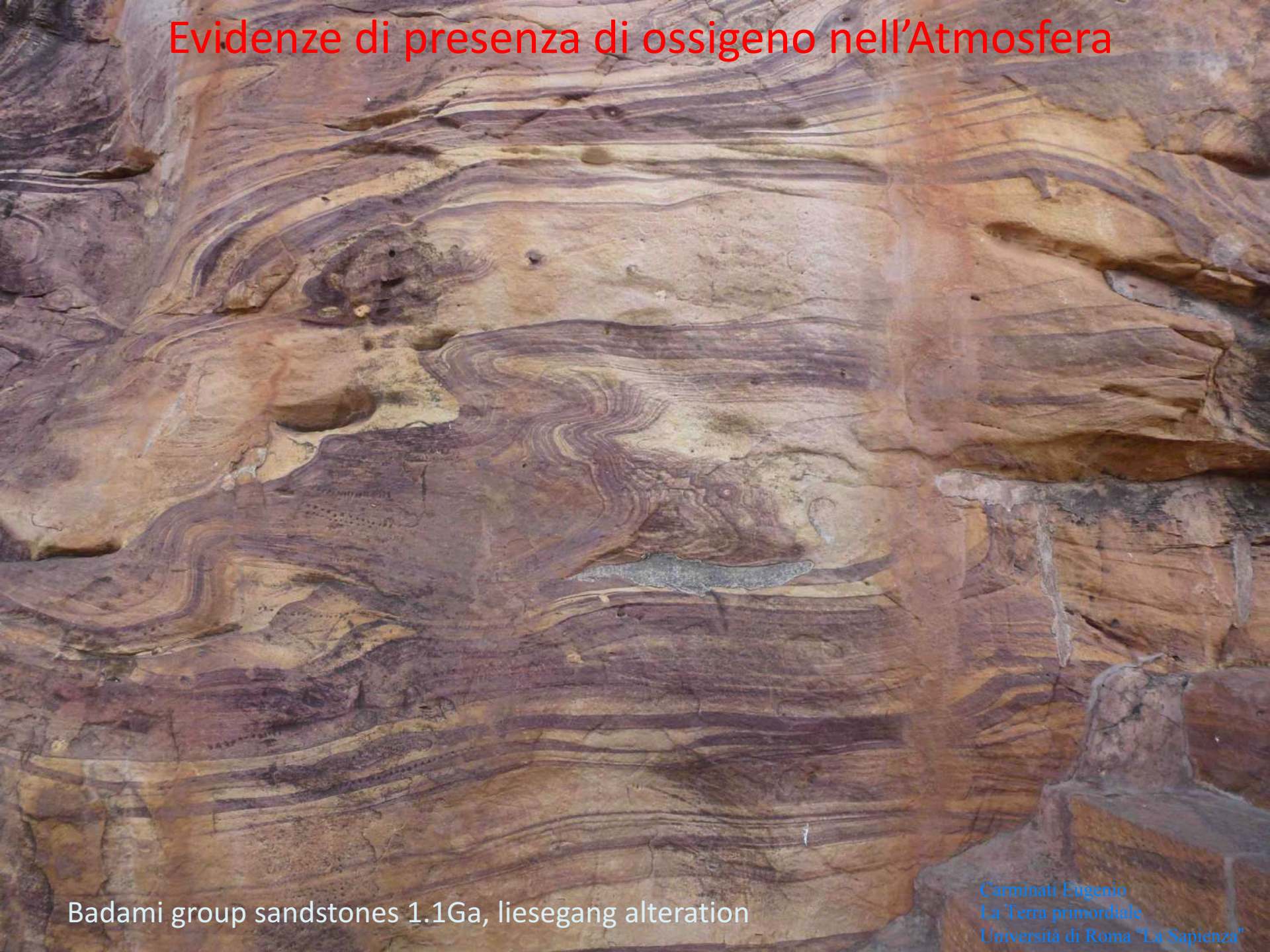
L'Ossigeno nell'atmosfera

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Evidenze di presenza di ossigeno nell'Atmosfera

Devonian Old red Sandstone, Scotland

Evidenze di presenza di ossigeno nell'Atmosfera



Badami group sandstones 1.1Ga, liesegang alteration

Assenza di ossigeno nell'Atmosfera

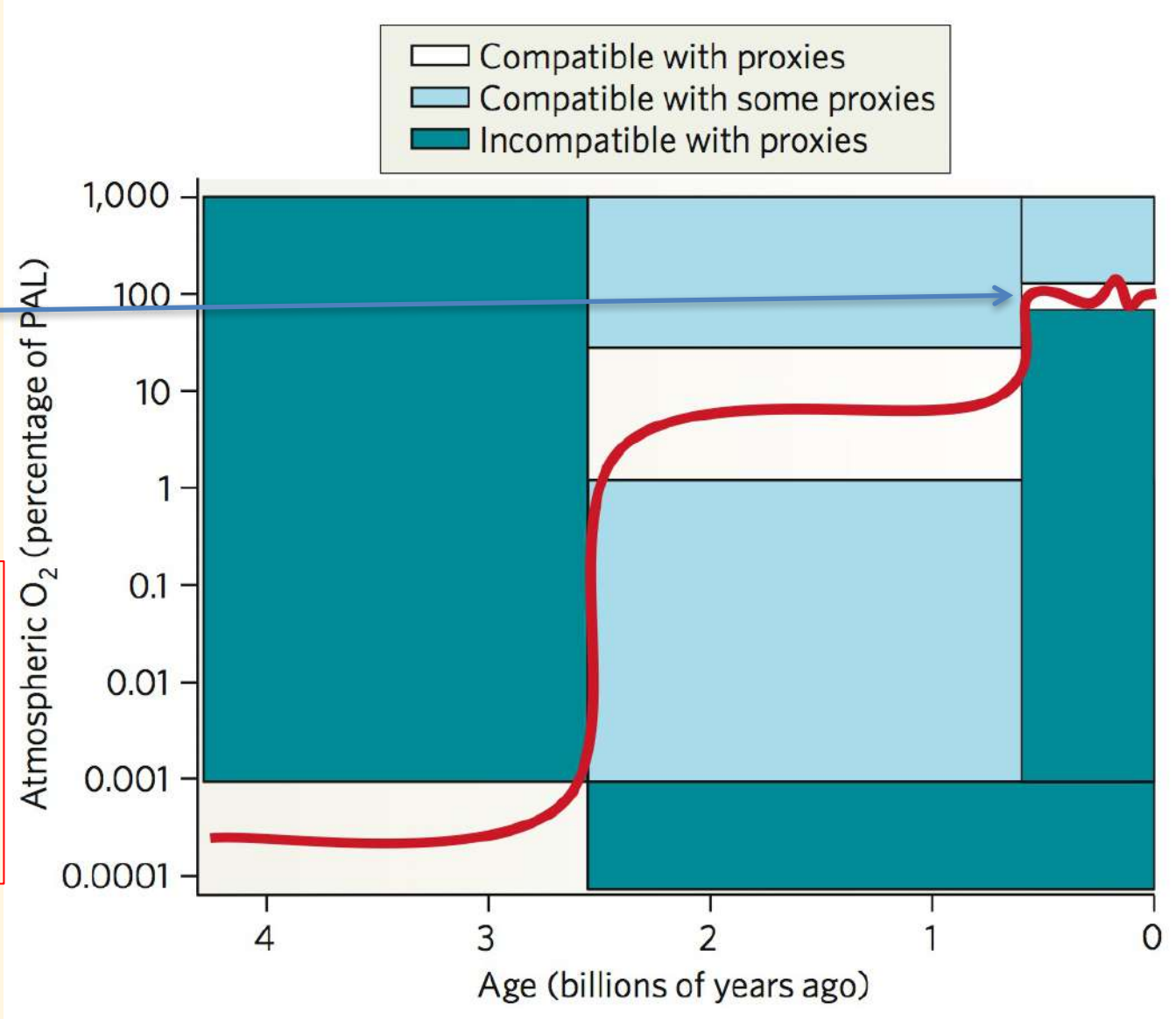
Conglomerate
2.7 Ga, Dharwar
craton

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Il grande evento di ossidazione a 2.45 Ga

Livello di Ossigeno (21%) nell'atmosfera attuale

L'ossigeno ha iniziato ad essere prodotto tra 2.7 Ga e 2.8 Ga. E' diventato parte dell'atmosfera circa 2.45 Ga fa



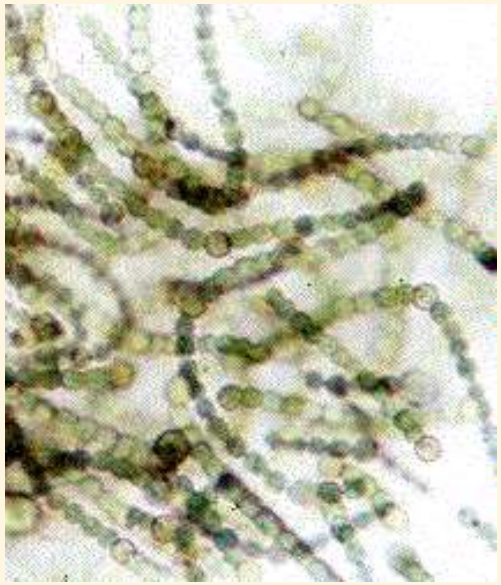
Cause del grande evento di ossidazione

Fotosintesi di Cianobatteri

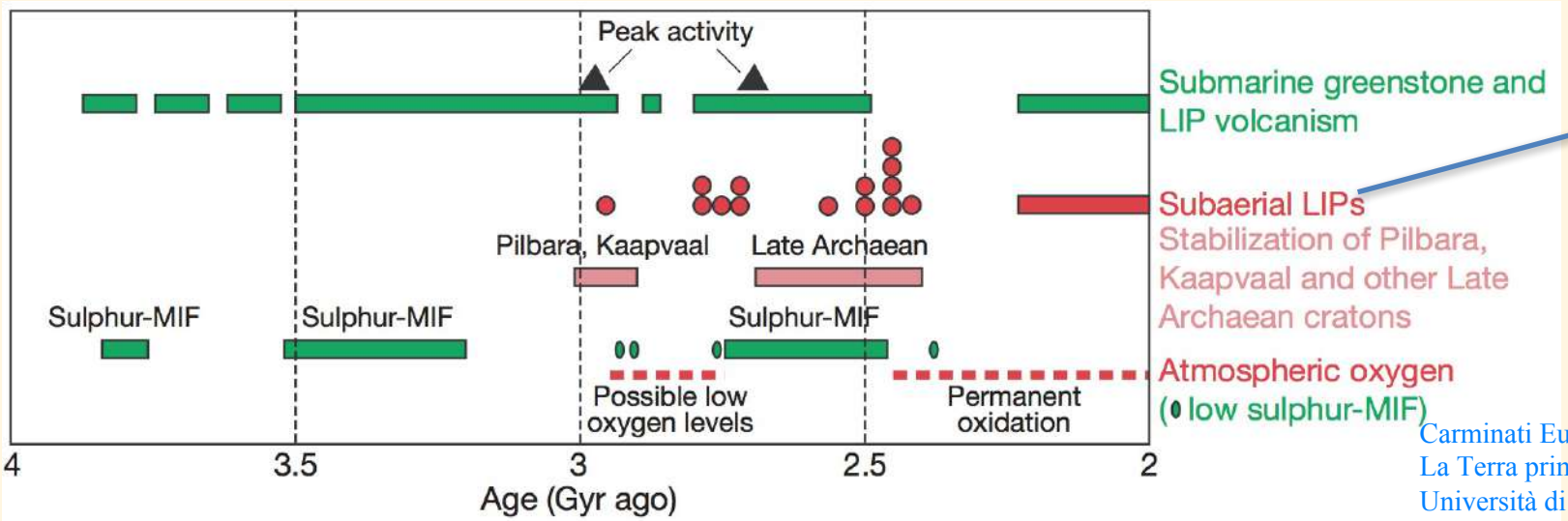
I Cianobatteri sono stati I primi organismi che hanno usato H_2O invece di H_2S (acido solfidrico) o altro per fissare la CO_2. Rilasciando Ossigeno (invece di Zolfo) come prodotto di scarto della fotosintesi hanno cambiato l'atmosfera terrestre.

C'è stato un grande intervallo di tempo tra la comparsa di Cianobatteri (Archeano) e l'ossidazione dell'atmosfera: Questo richiede che vi sia stata qualche forma di immagazzinamento di ossigeno.

I principali processi di immagazzinamento potrebbero essere stati la reazione dell'ossigeno con gas vulcanici e metamorfici ridotti e con Fe^{2+}, durante l'alterazione idrotermale di basalti oceanici o come Fe^{2+} disciolto nell'acqua di mare anossica.

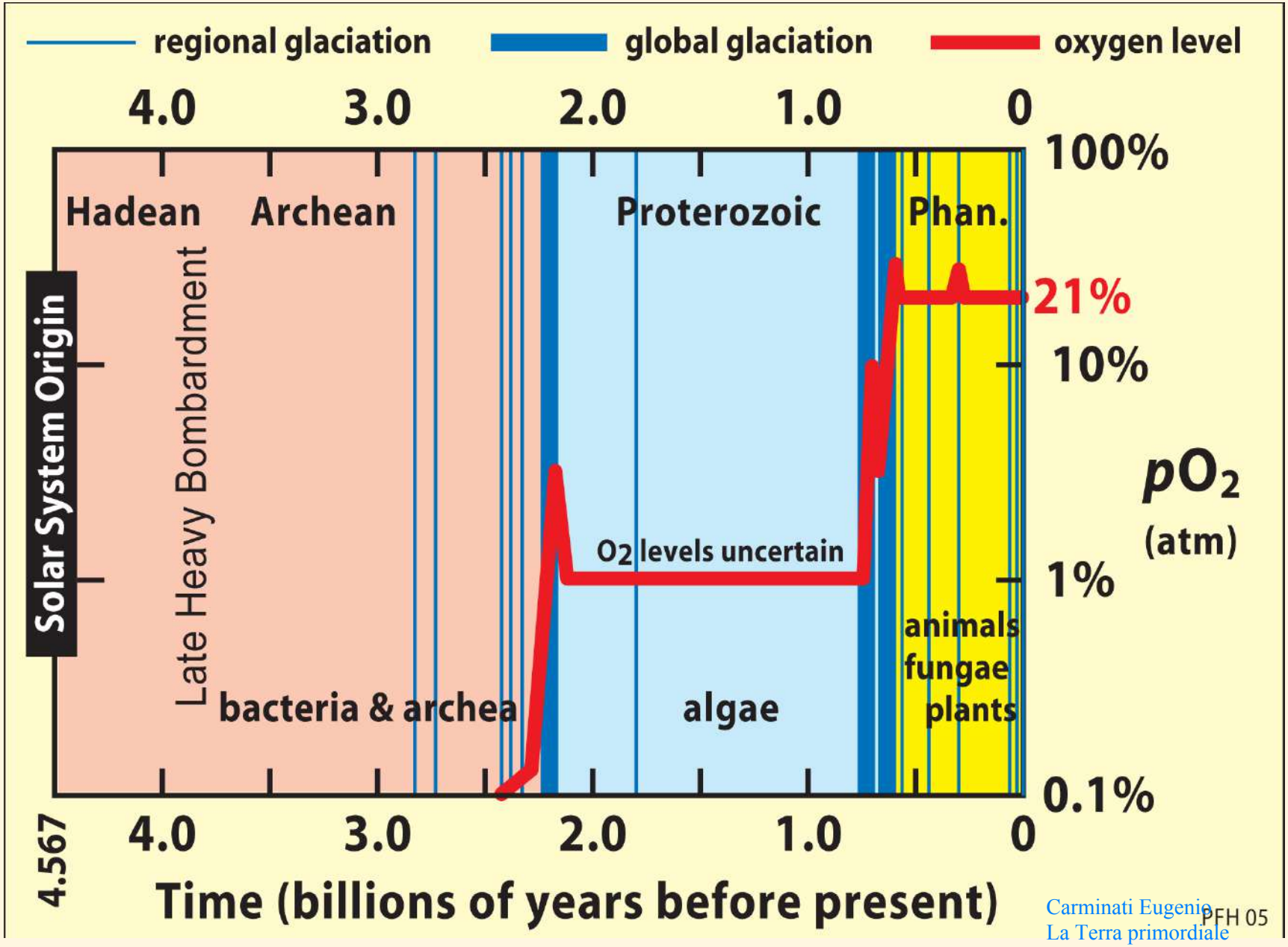


Vulcanismo subaereo



Large Igneous Provinces

La vita e l'ossigeno



Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

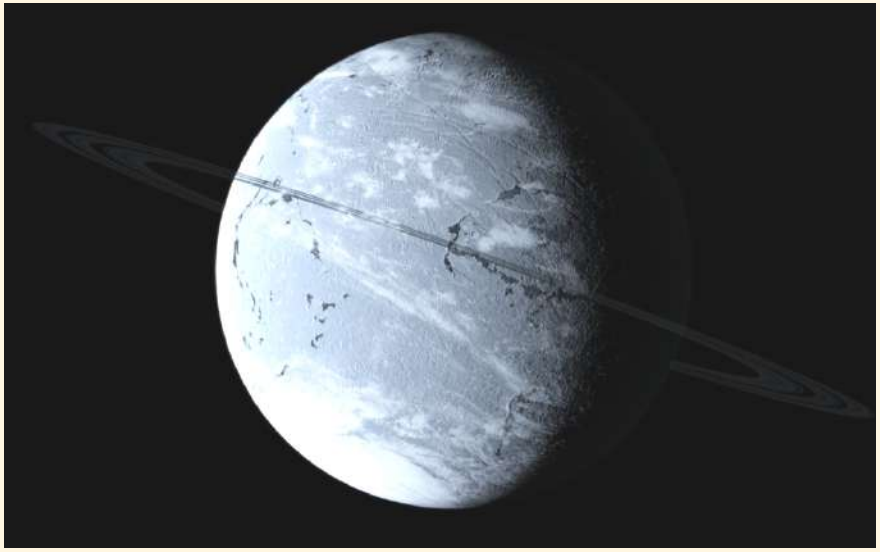
L’origine della vita

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

La Terra a 3.8-3.7 Ga?

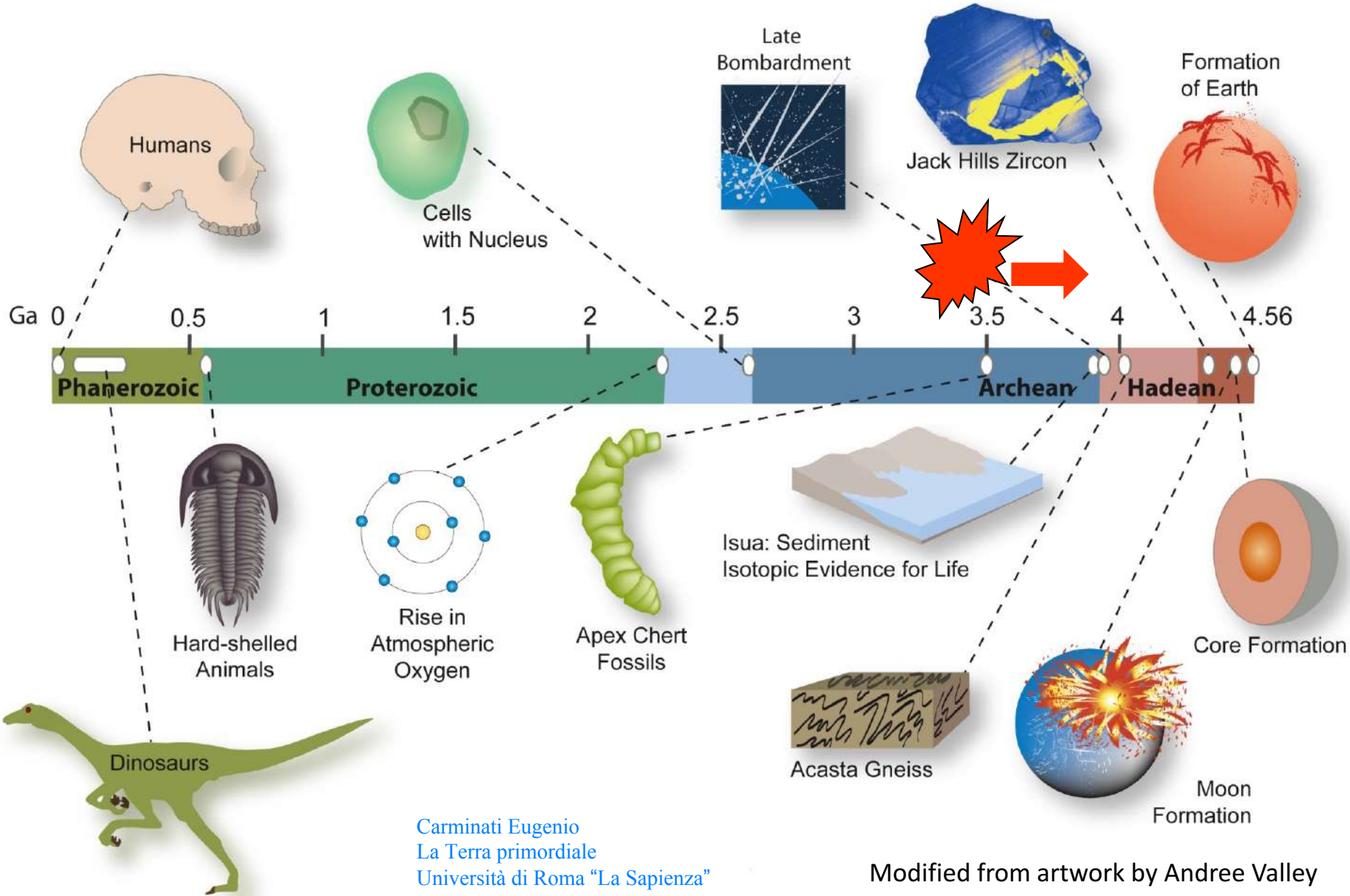
Benigna
con vita?

A palla di neve?



Infernale?

Quando inizia la vita? Prima di 3.5 Ga; ma quando? Da 3.5 Ga in poi tutto diventa più "semplice"

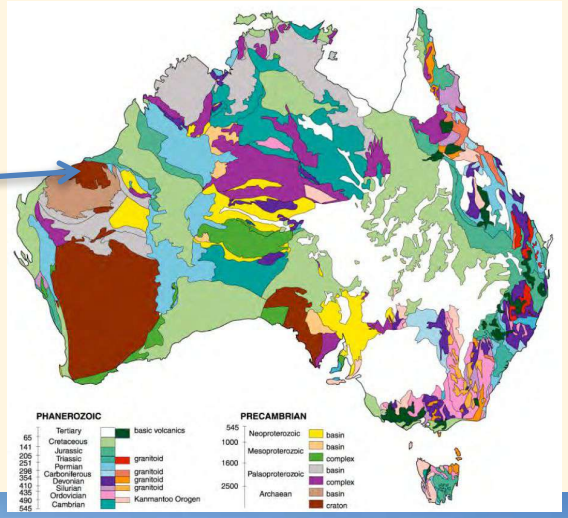


Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Modified from artwork by Andree Valley

Perchè da 3.5 Ga la geobiologia diventa piu “semplice”?

Nella regione di Pilbara (Autralia) ci sono stromatoliti di ~3.5 Ga – sono forme costruite da micro organismi che vivono in acque basse

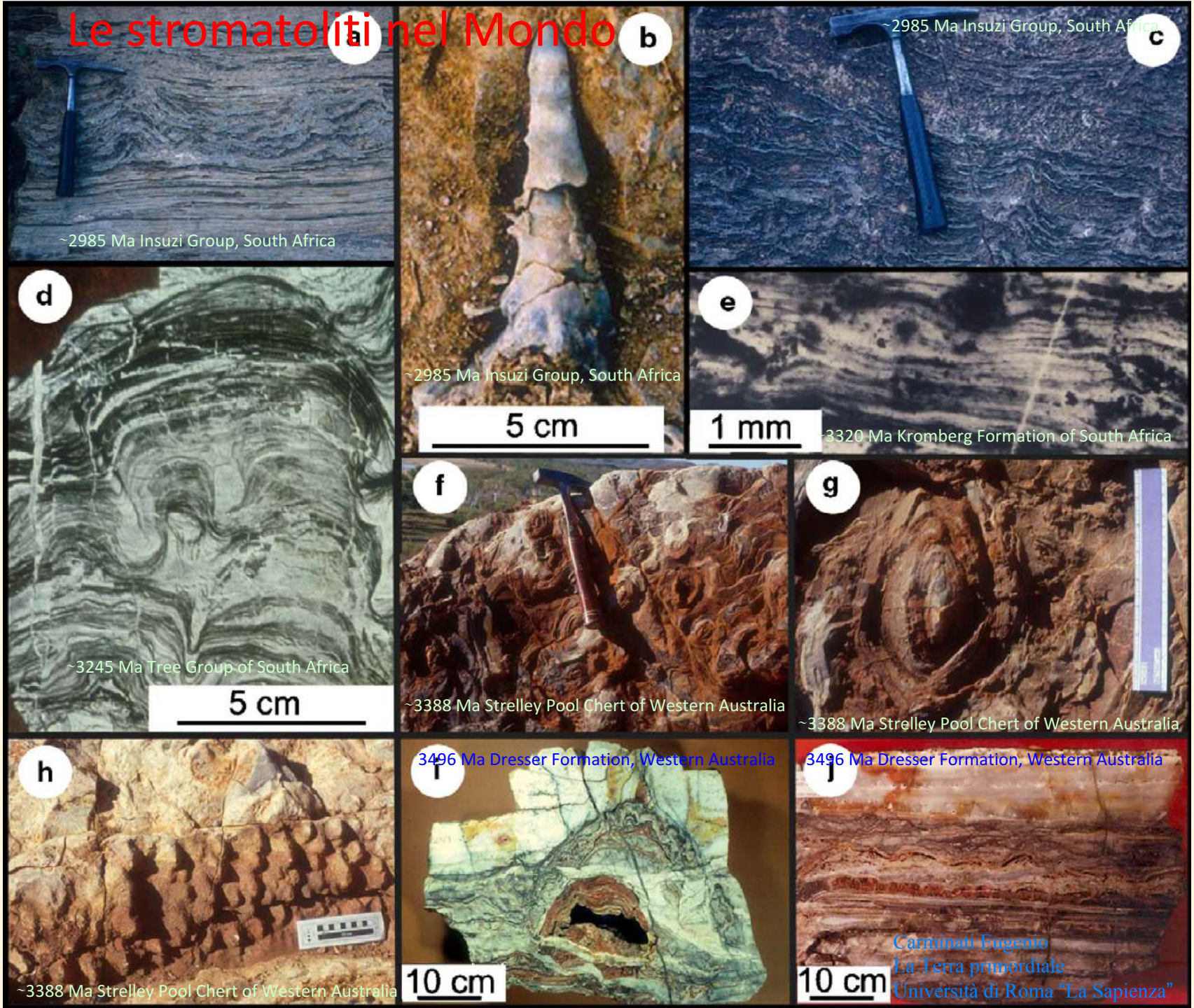


antiche (Pilbara)

moderne (Shark Bay)

James Hutton (1785) ‘the present is the key to the past’

Le stromatoliti nel Mondo



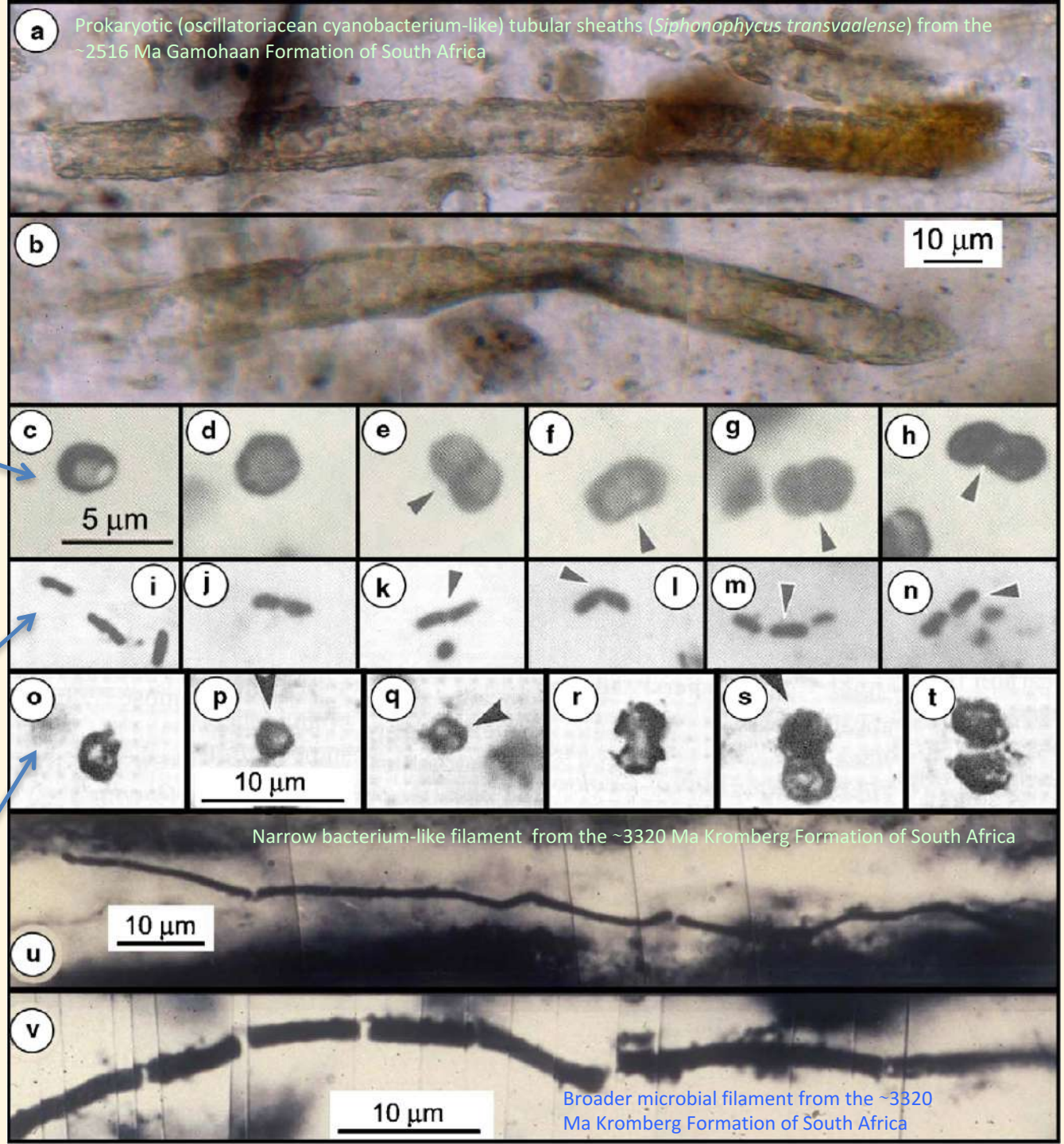
Schopf et al., 2007

Le più antiche forme di vita post 3.5 Ga

Organismi microbiali coccoidali di ~2600 Ma Monte Cristo Formation of South Africa

Organismi simili a batteri a forma di bacchetta di~2600 Ma (Monte Cristo Formation of South Africa)

Organismi microbiali coccoidali di ~3260 Ma (Swartkoppie Formation of South Africa)



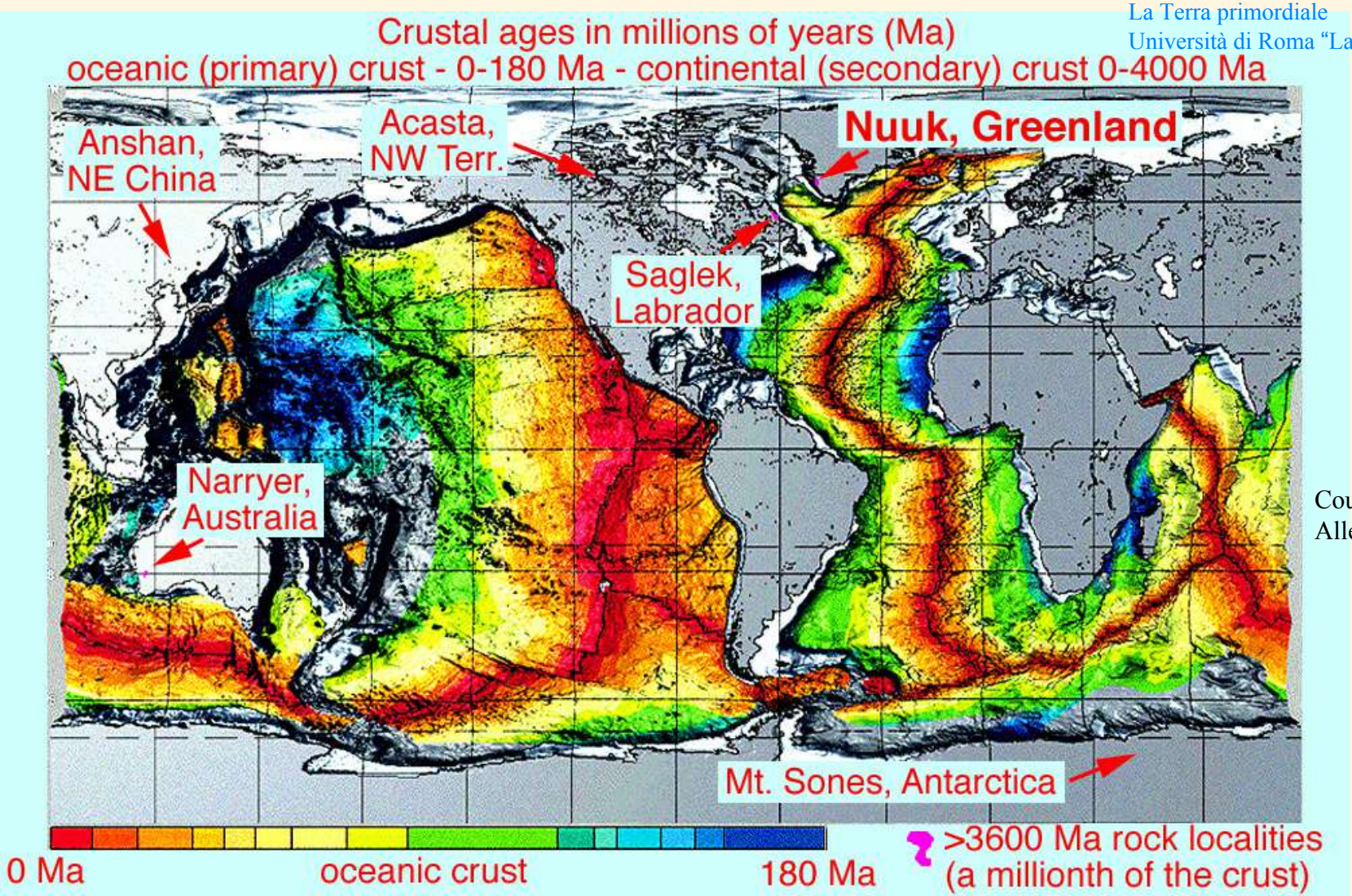
Schopf et al., 2007

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Perchè la geobiologia è difficile prima di ~3.5 Ga?

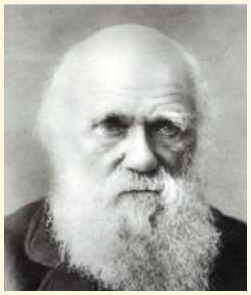
Perchè ci sono pochissime rocce così antiche (<1 milionesimo della crosta)

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

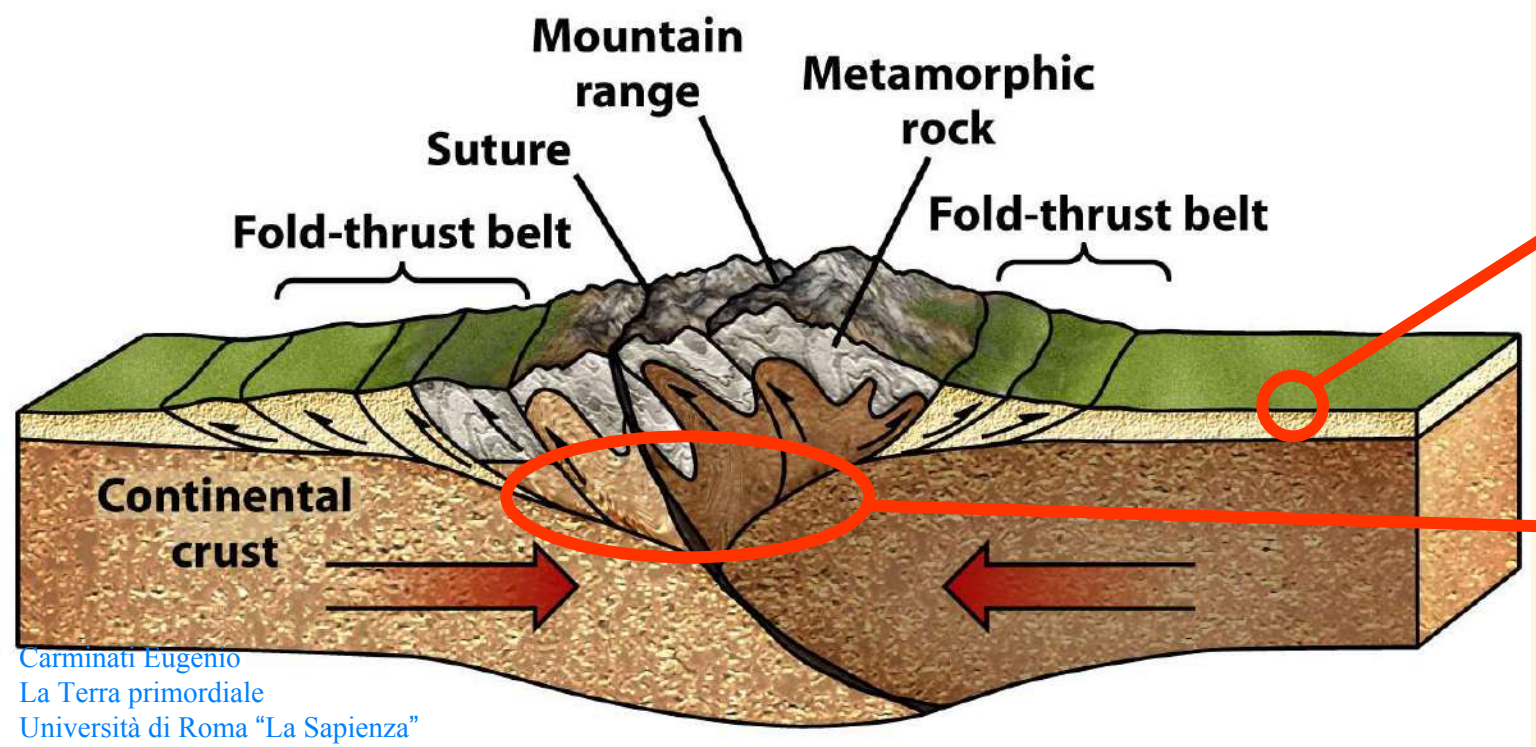


Courtesy of Allen Nutman

La maggior parte di queste rocce è stata interessata da cicli orogenici. Il che vuol dire che sono state soggette ad temperature (>600°) e pressioni e sono state deformate in modo duttile



Una moderata deformazione duttile rende irriconoscibili le forme di vita



Poche rocce > 3.5 Ga Come quelle di Pilbara

Quasi tutte le rocce >3.5 Ga

Courtesy of Allen Nutman

L'area di Isua (Greenland) è il miglior luogo dove andare a cercare vita pre-3.5 Ga perchè le rocce sono state poco deformate e sono state scaldate a "soli" 500-550ºC

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Sopravvivenza casuale di strutture originarie come in meno dello 0.01% delle rocce di 3.7 & 3.8 Ga (ad esempio Isua)

Courtesy of Allen Nutman

Rocce di circa 3.7 Ga messe in evidenza dallo scioglimento dei ghiacci

Courtesy of Allen Nutman

3700 Ma: cosa sono le strutture in questi livelli??
La migliore interpretazione è che sono stromatoliti

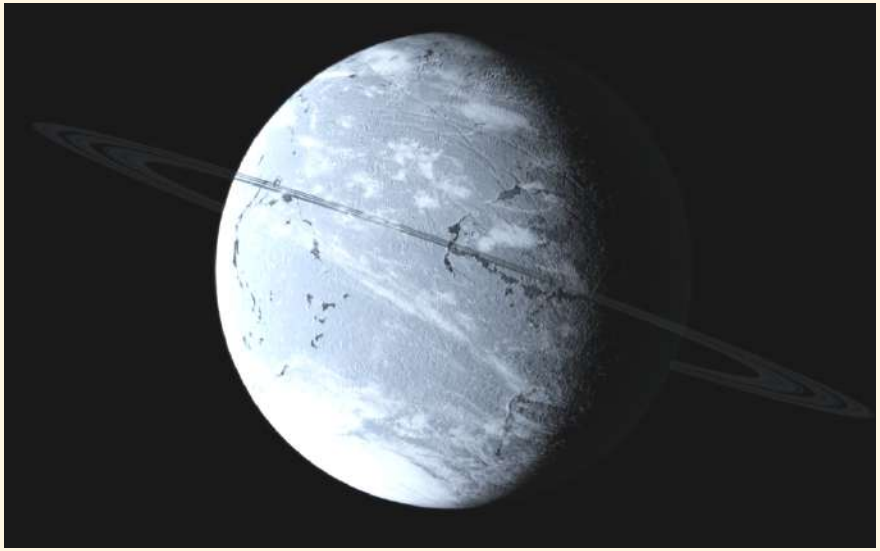
Courtesy of Allen Nutman

…quindi la Terra a 3.8 - 3.7 Ga……

Benigna e con vita √

Courtesy of Allen Nutman

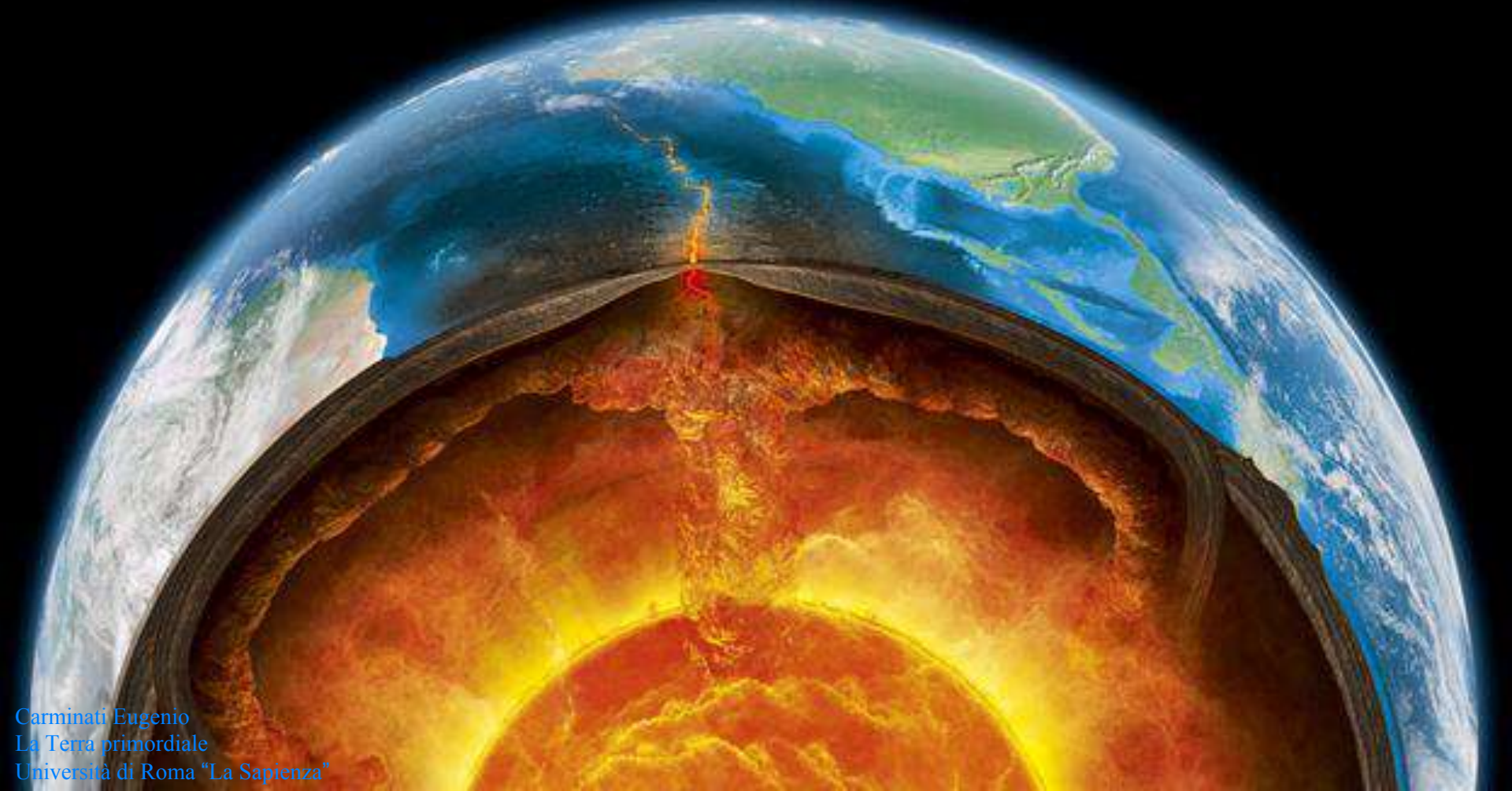
~~Palla di neve~~



~~Infernale~~

e……la vita è iniziata prima che venissero preservate le rocce che possiamo studiare

L’inizio della tettonica delle placche



Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

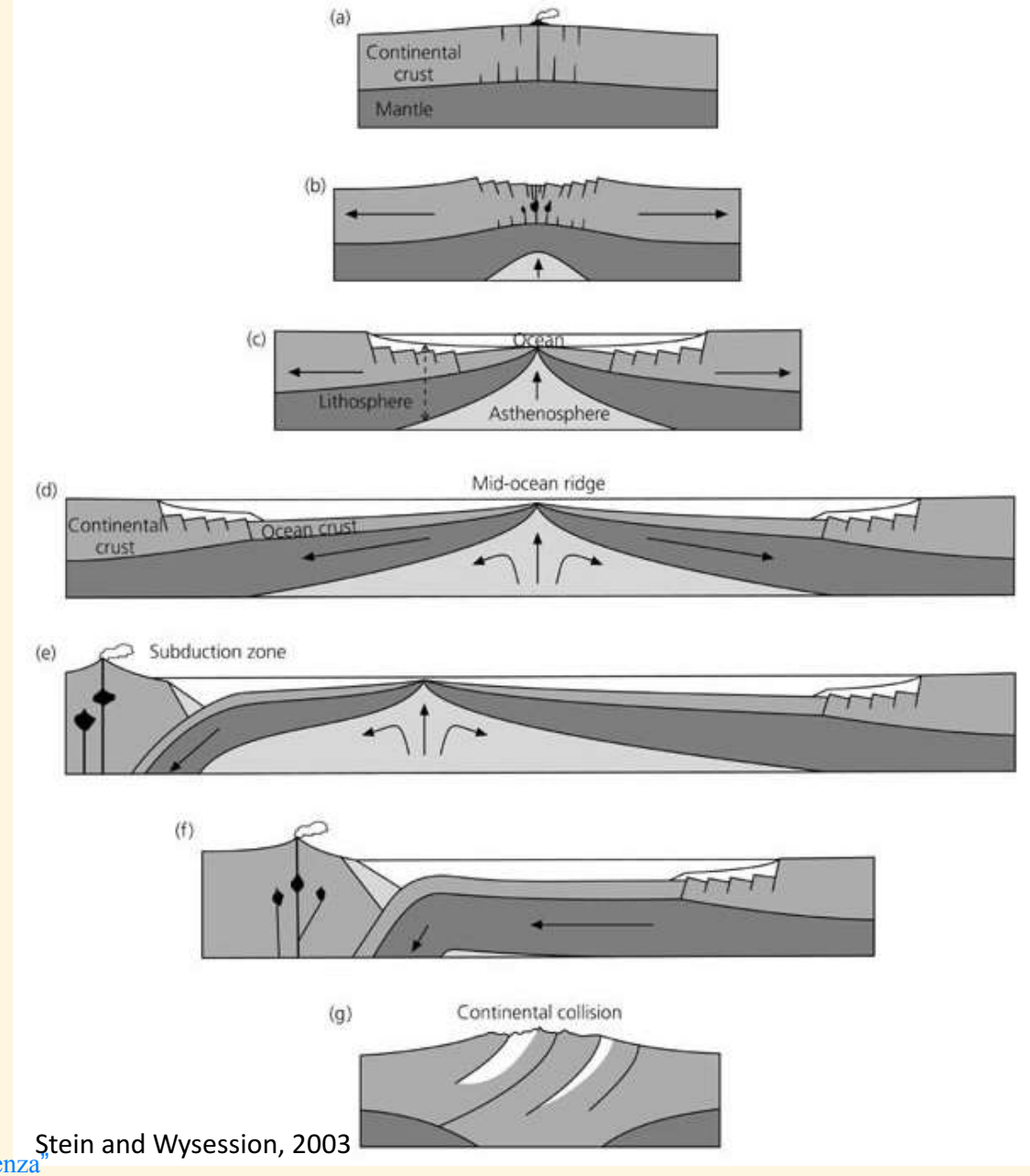
La tettonica delle placche

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

La tettonica delle placche: Il ciclo di Wilson

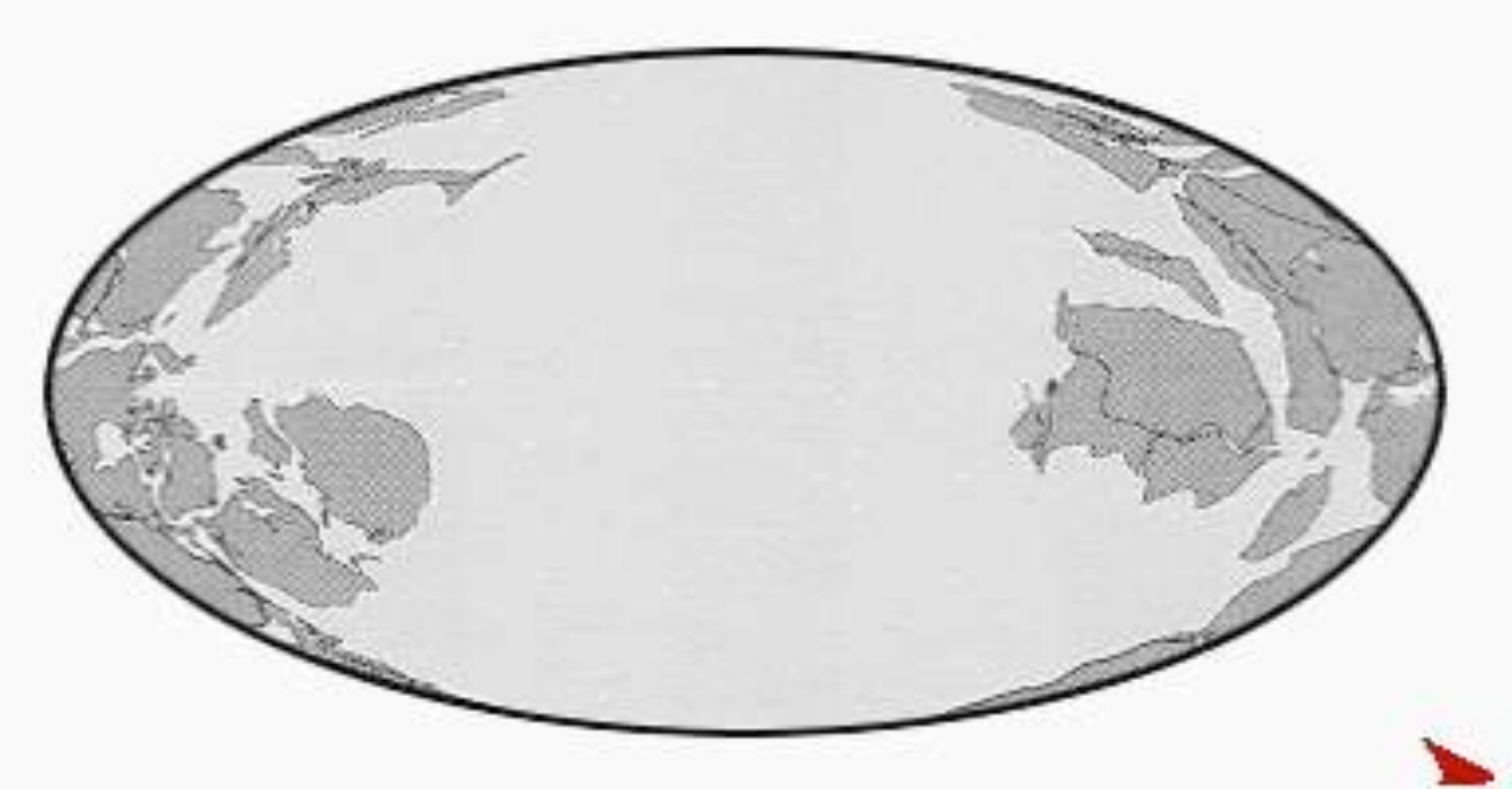
Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma “La Sapienza”

Il ciclo di Wilson



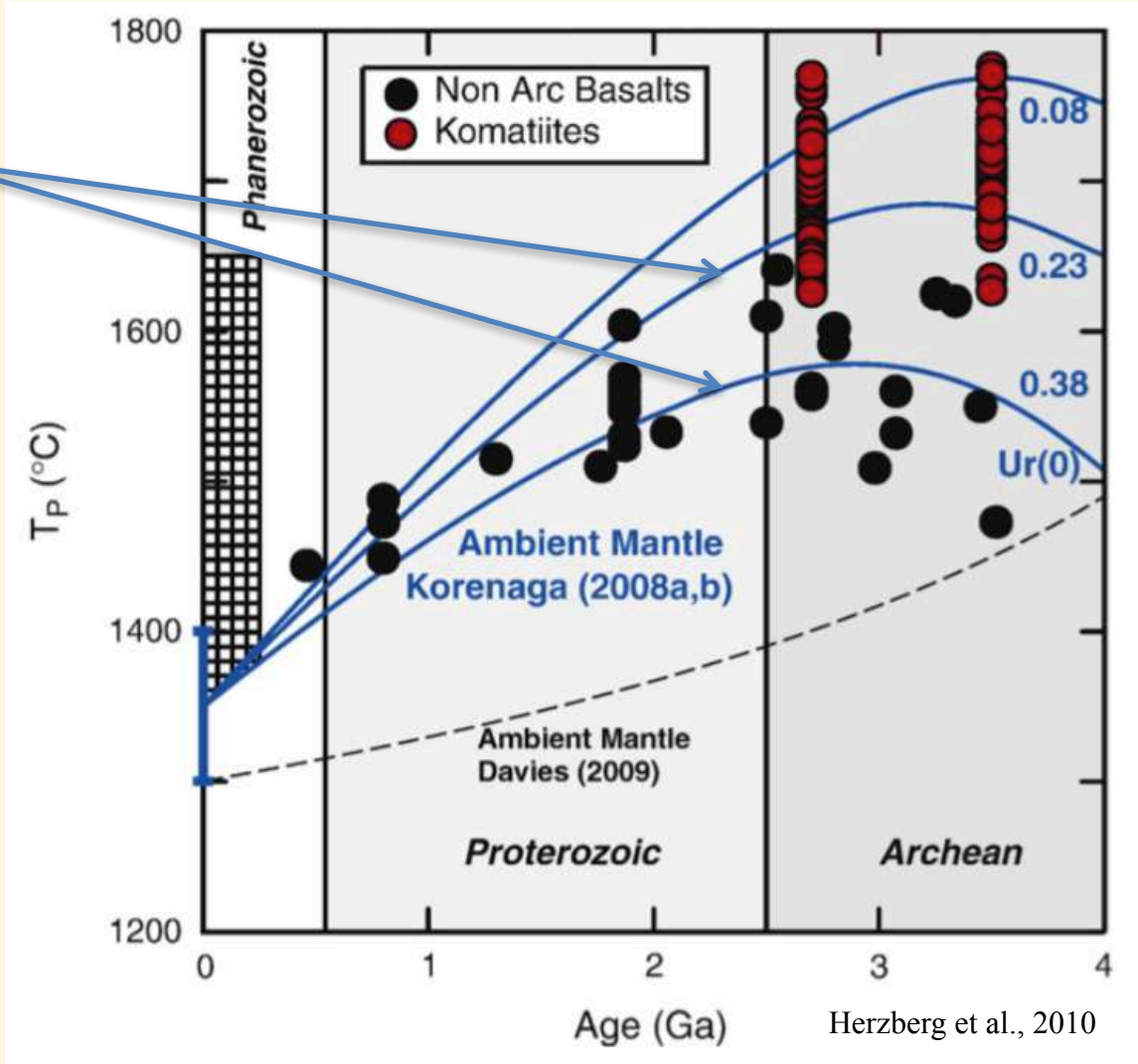
Stein and Wysession, 2003

La Pangea e la sua suddivisione



Com'era la terra nell'Archeano?

Il mantello era 200°-300° più caldo



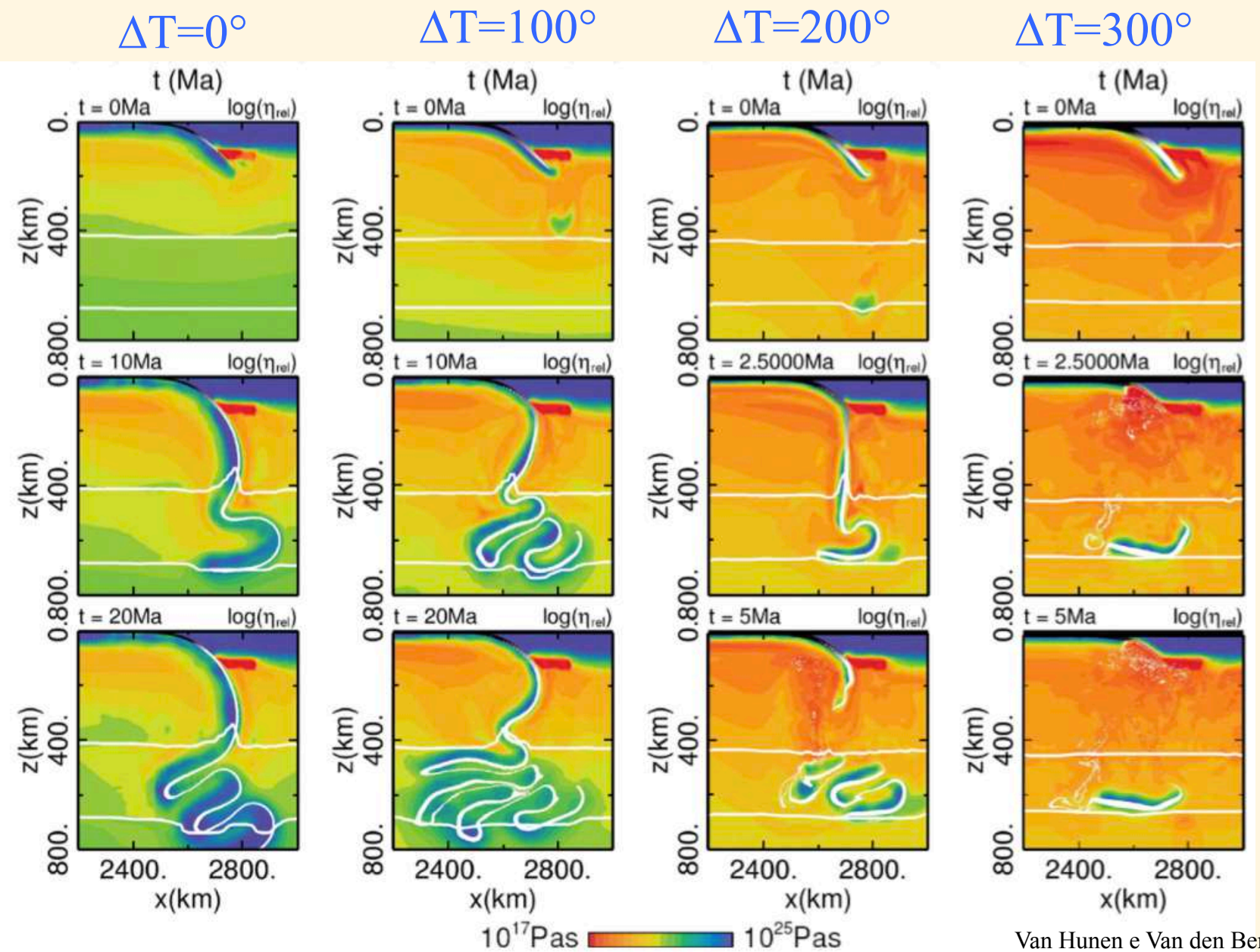
Herzberg et al., 2010

Conseguenze

Le rocce erano più deboli:
1) Placche e slab meno rigidi
2) Convezione più vigorosa?

Maggiore fusione del mantello:
1) Crosta (basaltica, tipo oceanico) più spessa (25-40 km)
2) Litosfera meno densa

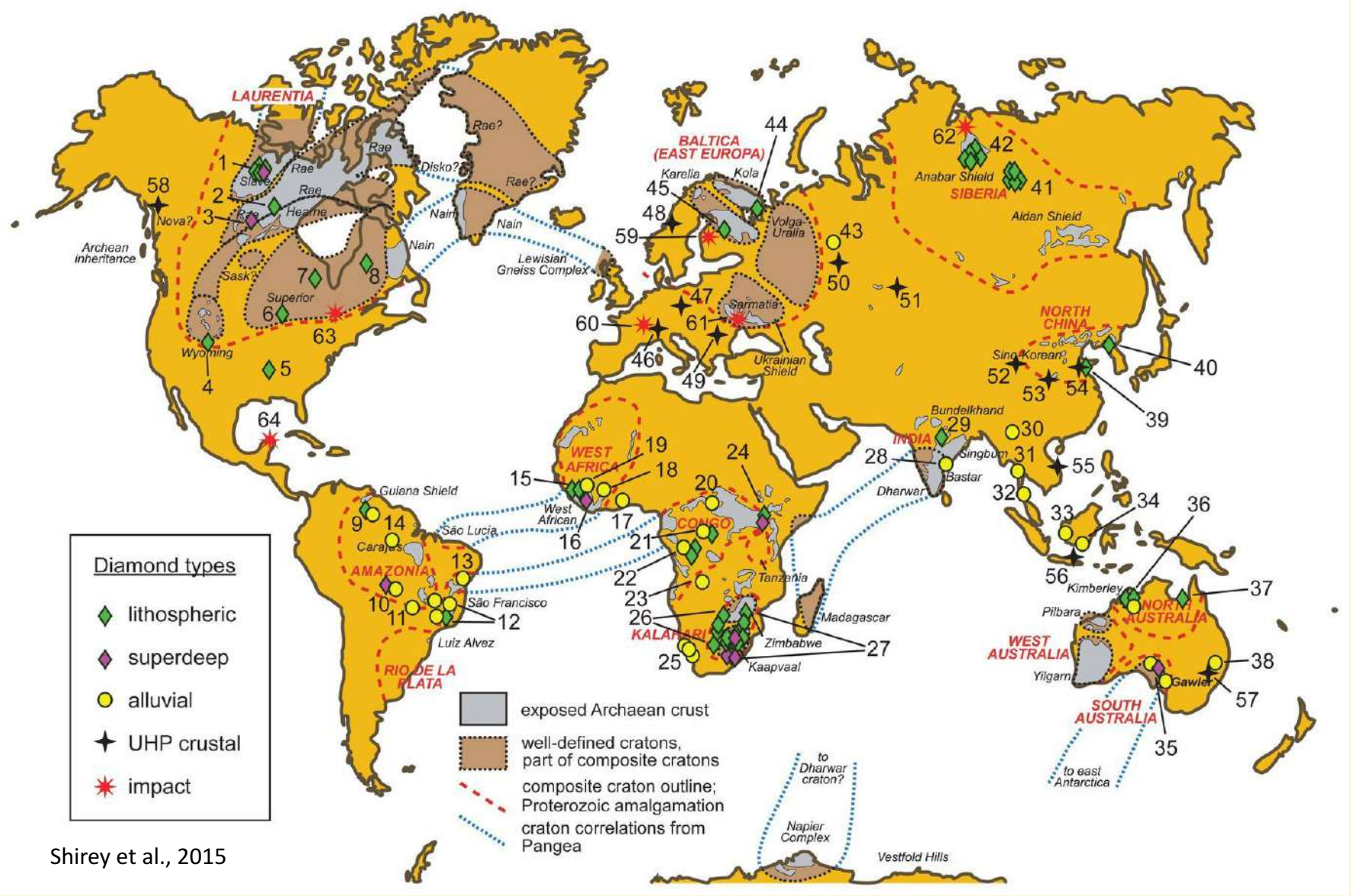
Conseguenze delle temperature più elevate



Van Hunen e Van den Berg, 2008

Diamonds
Are a
Girls
Best Friend.
Marilyn Monroe
By: Ben Bischop

Dove si trovano i diamanti? Come si formano?



Shirey et al., 2015

Cosa ci insegnano i diamanti?

Struttura compatta del Carbonio: necessitano di 50000 atmosfere (150 km sotto la superficie) e 1100°C.

Di solito nel mantello a 150 km ci sono 1600°C. **1100°C possono essere trovati a 150 km** dove la crosta è molto ispessita, cioè **alla base dei cratoni**

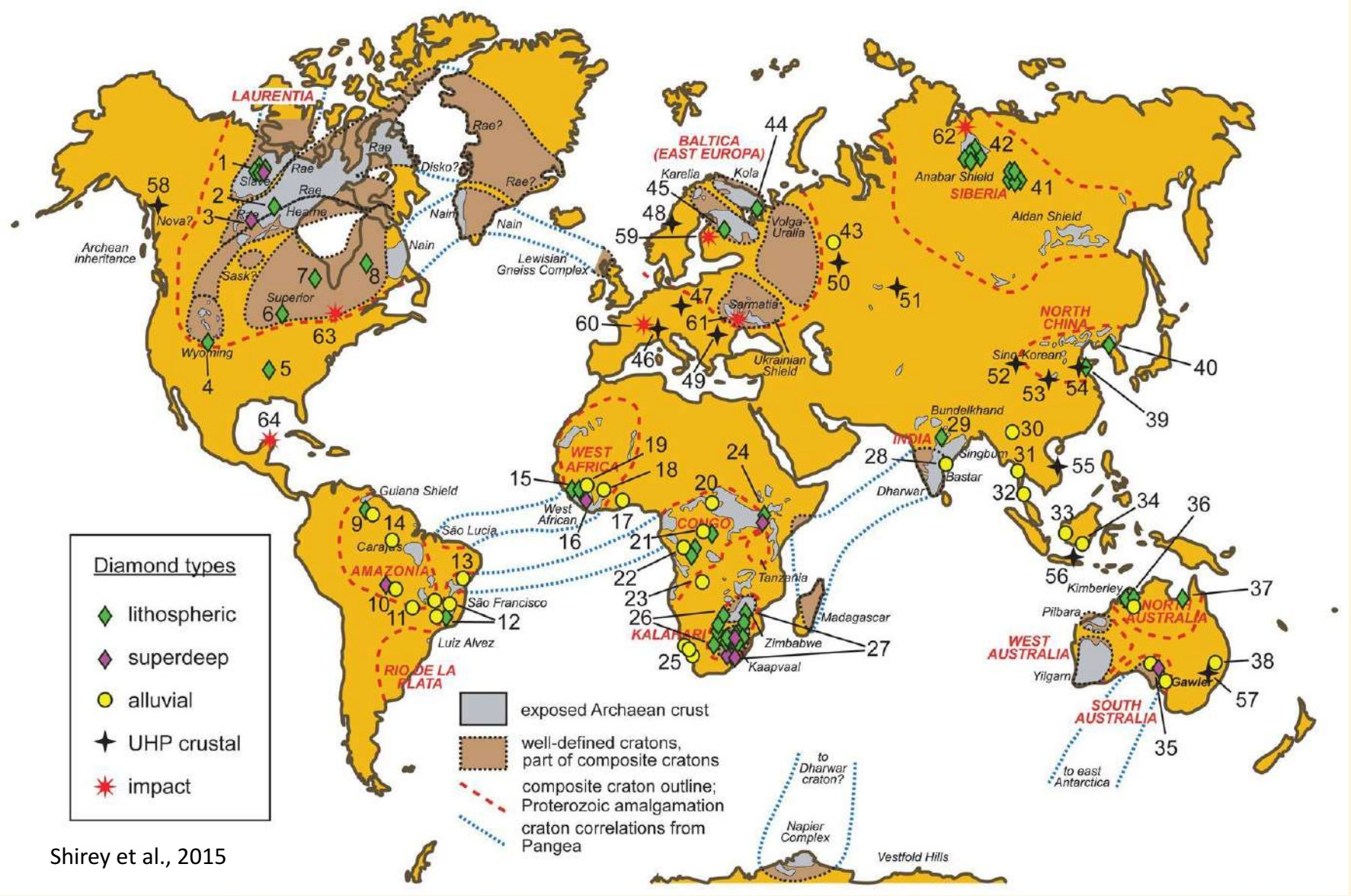
I diamanti più antichi hanno 3.5 Ga

I cratoni si sono formati almeno a partire da 3.5 Ga

Dove sono i cratoni?

Sapienza"

I cratoni coincidono con le zone diamantifere

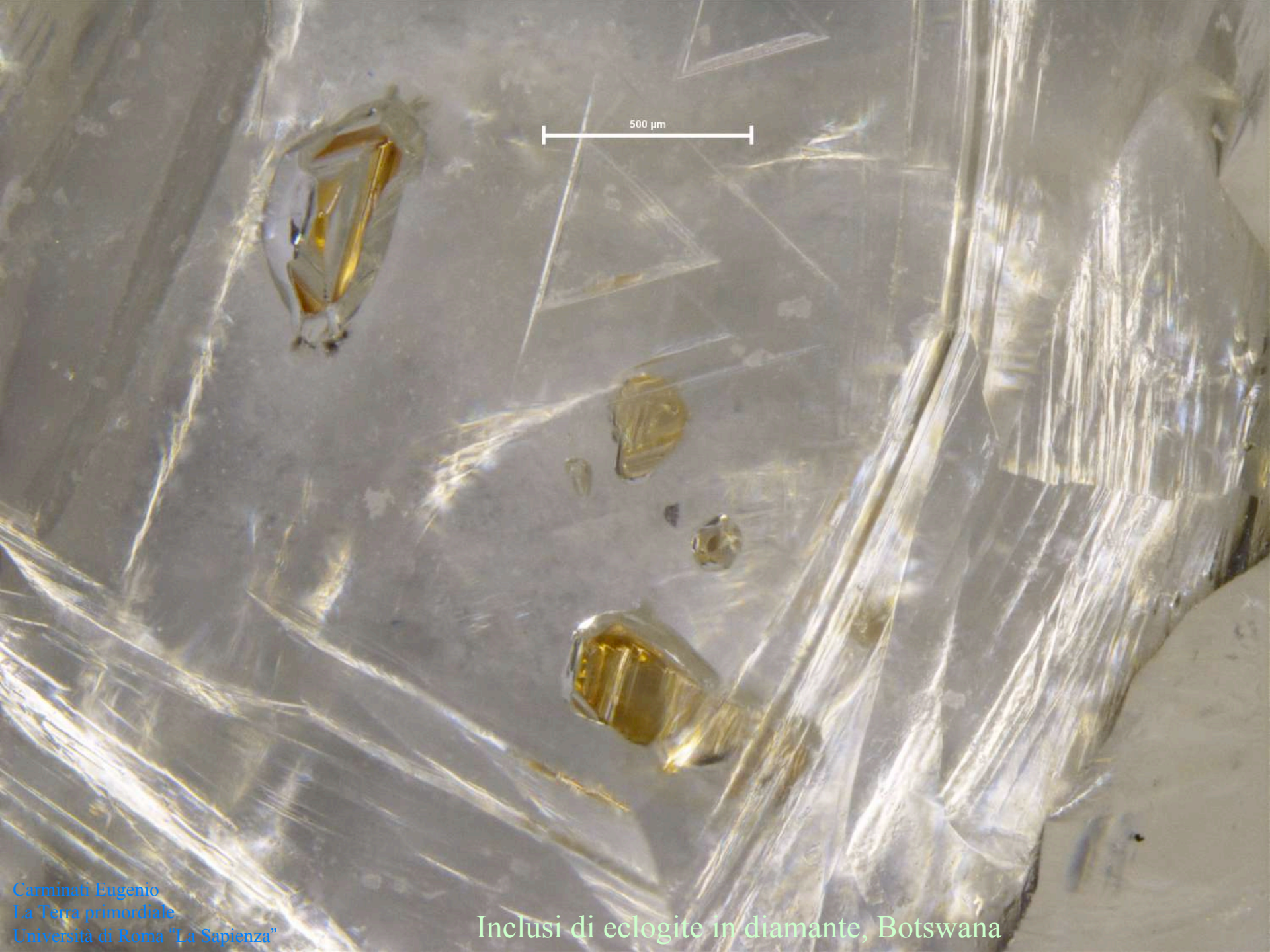


Shirey et al., 2015

Cos'altro ci insegnano i diamanti?

Incluso di olivina in diamante, Russia

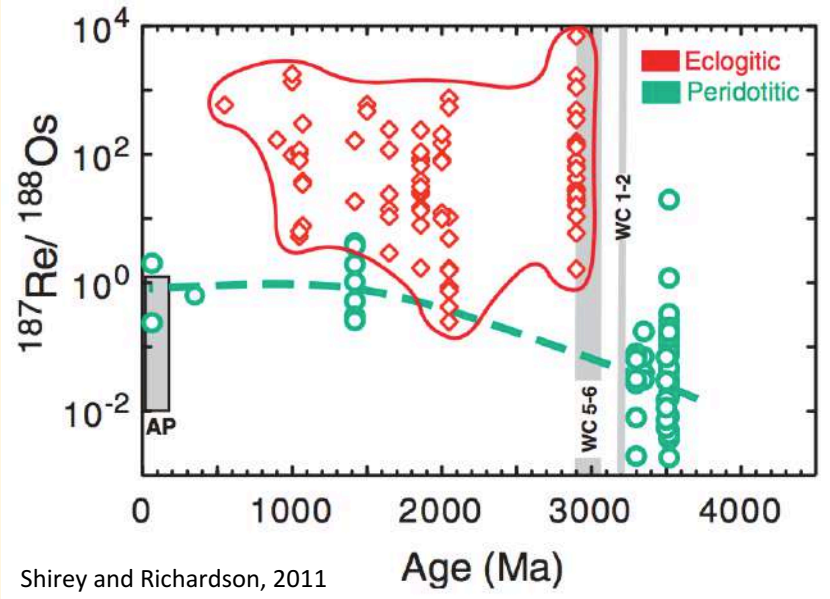
Inclusi di granato in diamante, Russia



Inclusi di eclogite in diamante, Botswana

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

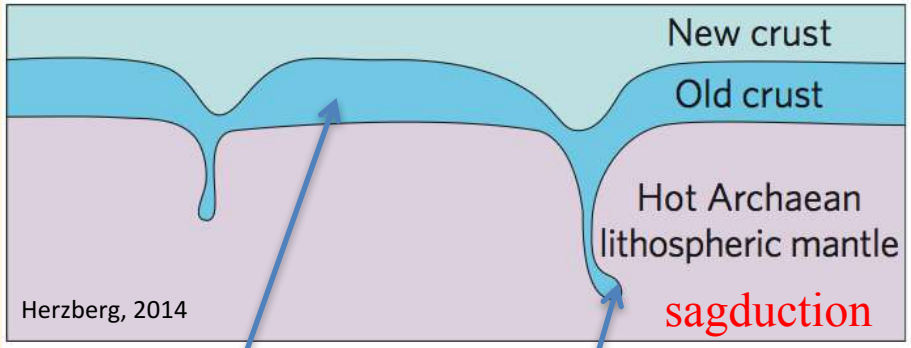
L'inizio della terronica delle placche



Shirey and Richardson, 2011

Prima di 3 Ga

Calda: no plate tectonics?



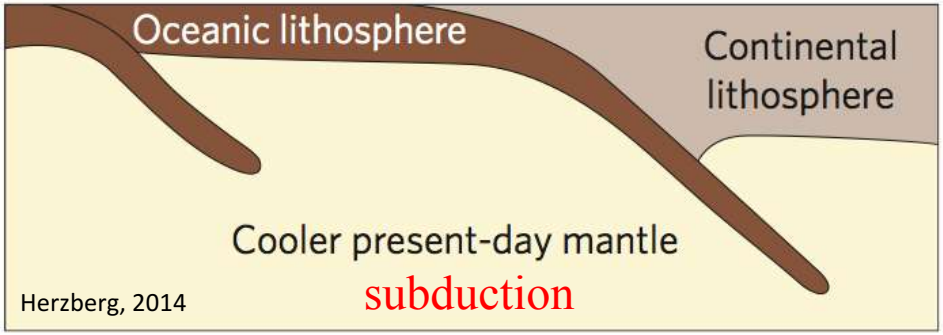
Herzberg, 2014

Crosta basaltica molto spessa (25-40 km) proveniente da fusione del mantello

Delaminazione e fusione parziale: formazione di crosta granitica-tonalitica

Dopo 3 Ga

Fredda: plate tectonics



Herzberg, 2014

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

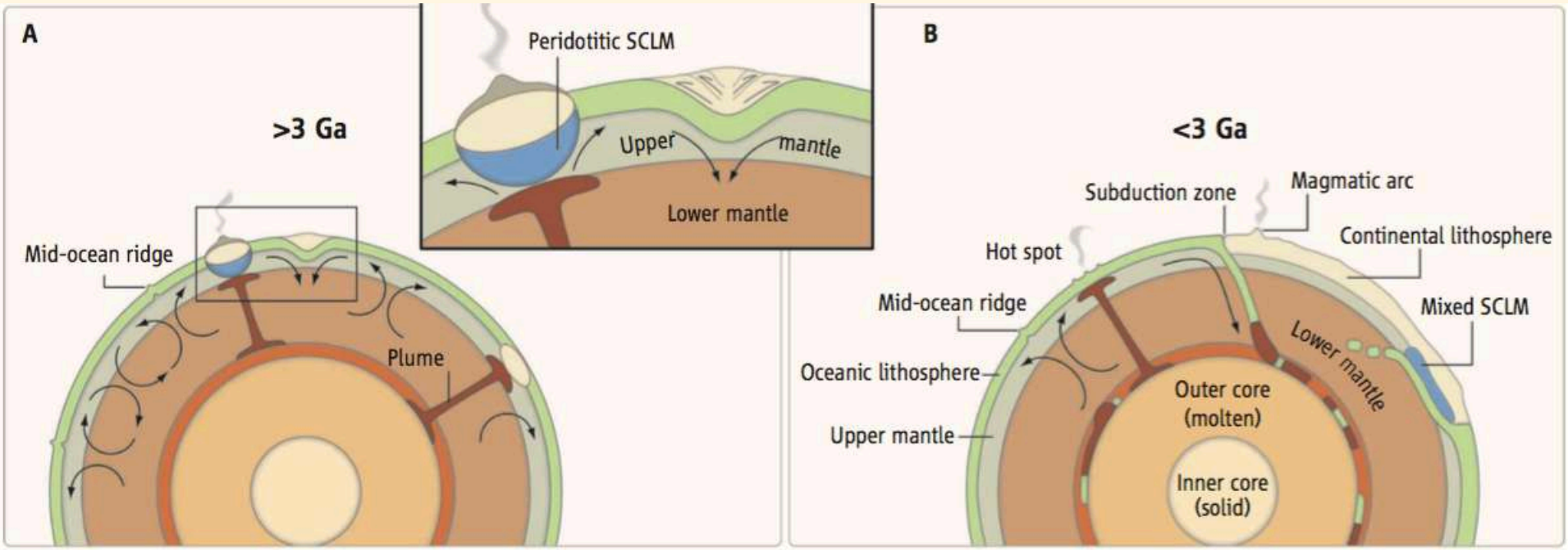
Dimensione dei continenti e inizio della subduzione

Prima di 3 Ga

Dopo 3 Ga

Cratoni immobili

Cratoni mobili

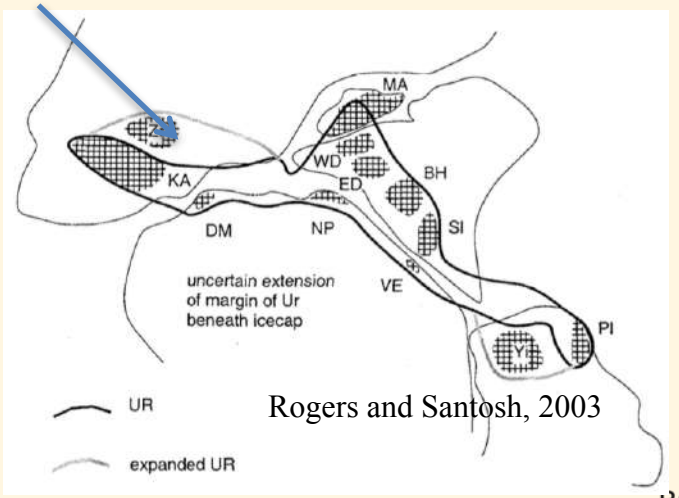


Van Kranendonk, 2011

L'assemblaggio di cratoni in megacontinenti

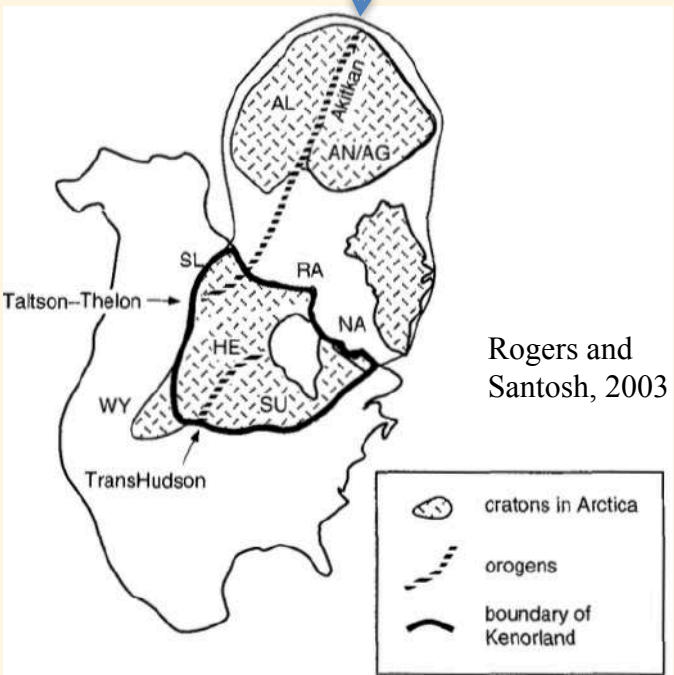
A seguito del loro movimento i cratoni hanno iniziato ad assemblarsi in megacontinenti circa 3000 Ma fa.

Il continente più antico, Ur (o Vaalbara, 3000 Ga) era formato dai cratoni Pilbara e Kapvaal



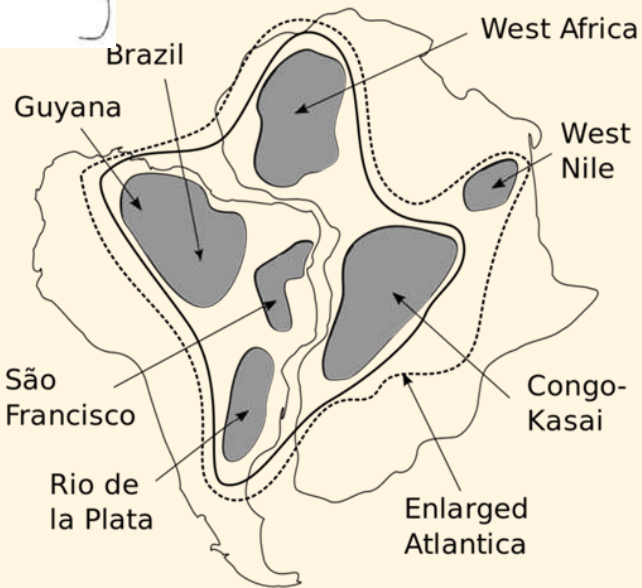
Rogers and Santosh, 2003

Arctica a -2500 Ma formato dai cratoni Siberiano e Canadese



Rogers and Santosh, 2003

Atlantica a -2000 Ma.



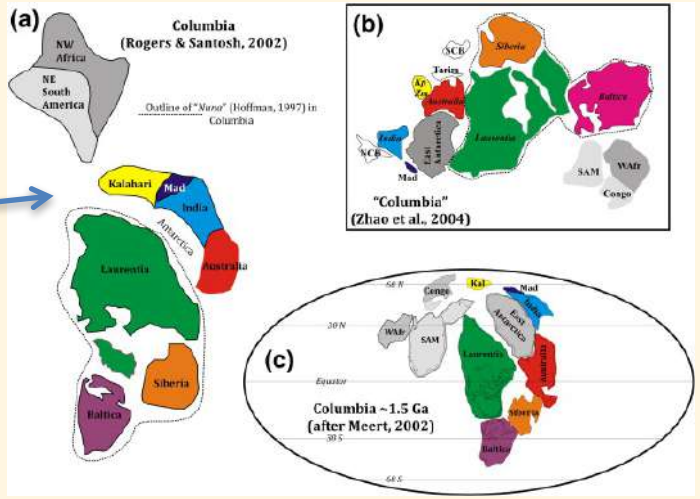
L'assemblaggio di cratoni in megacontinenti

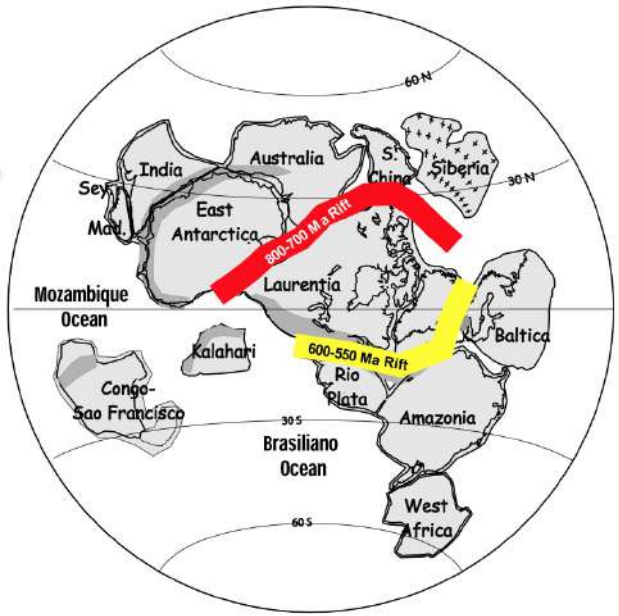
Quasi tutti i blocchi continentali si sono ritrovati uniti in almento 3 momenti.

Columbia, si è formato -1800 Ma fa e ha iniziato a separarsi -1500 Ma fa.

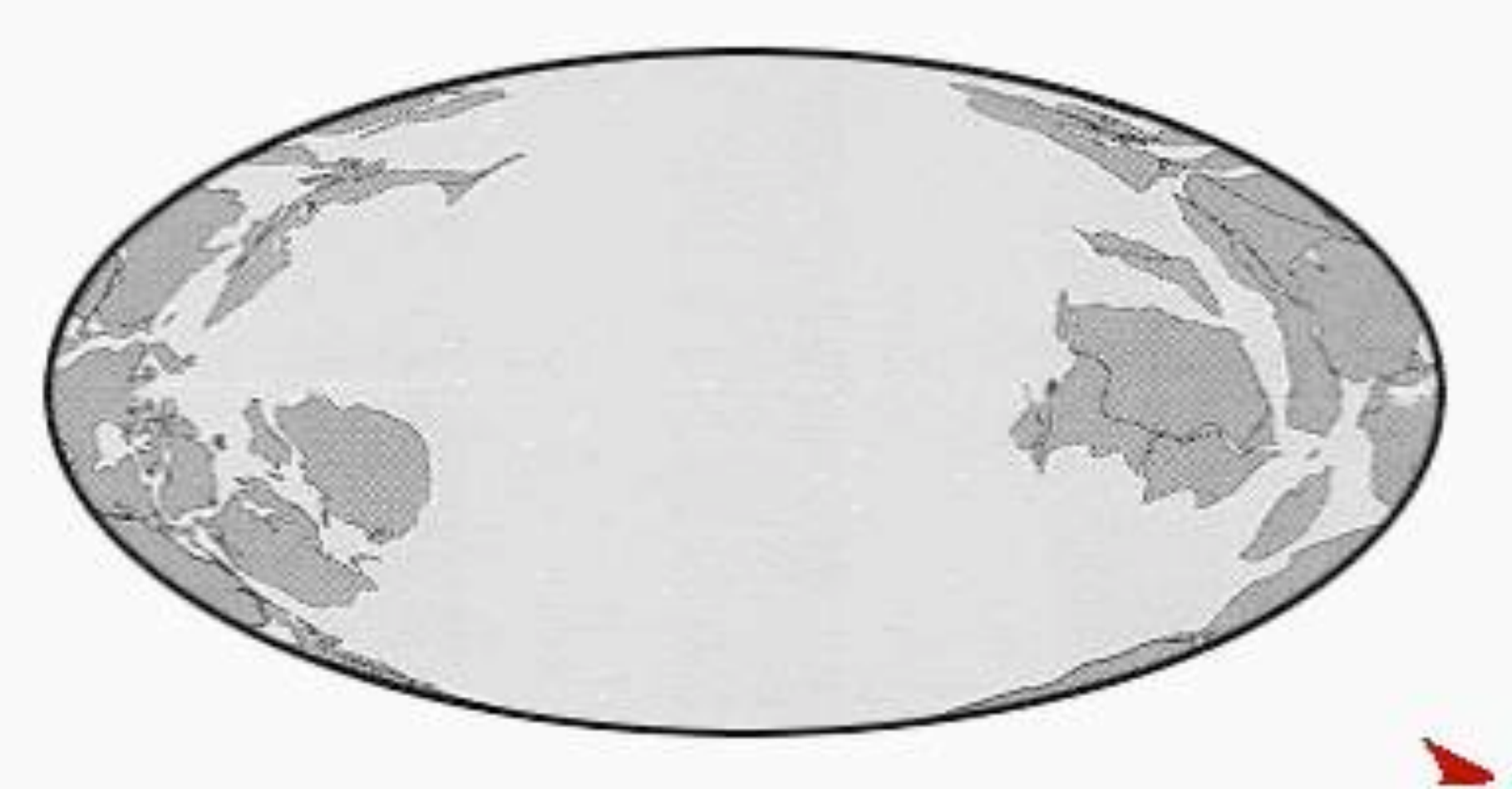
Rodinia è durato da -1100 Ma a 700 Ma.

Pangea si è formata -250 Ma e ha iniziato a dividersi 230 Ma fa.



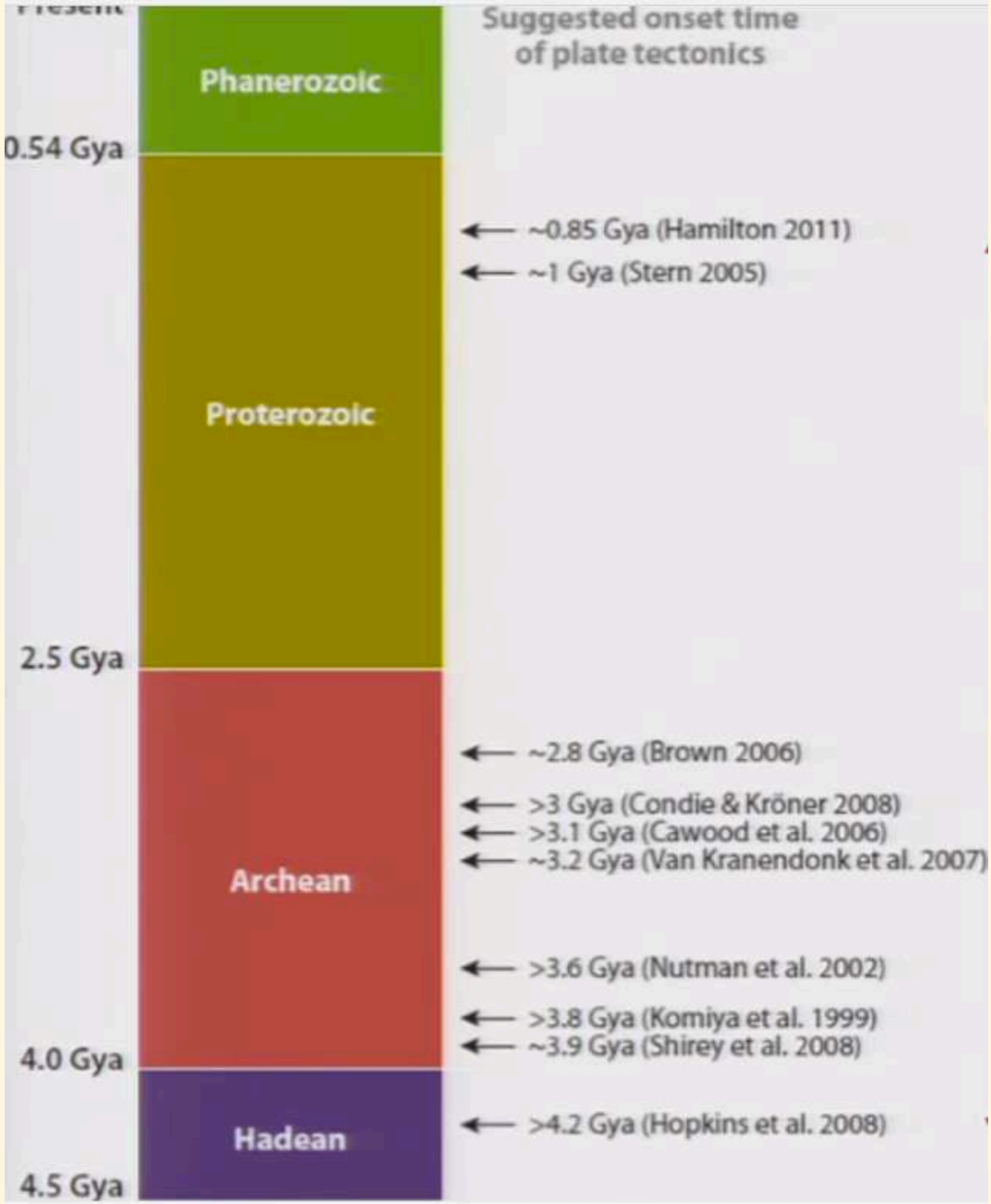


….e siamo arrivati alla Terra che conosciamo meglio.....



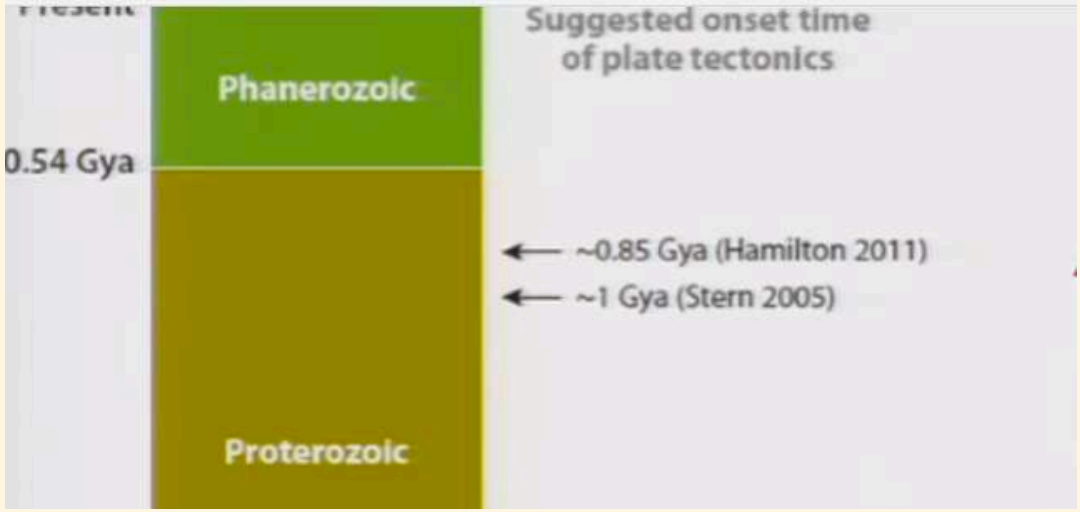
E' tutto così chiaro?

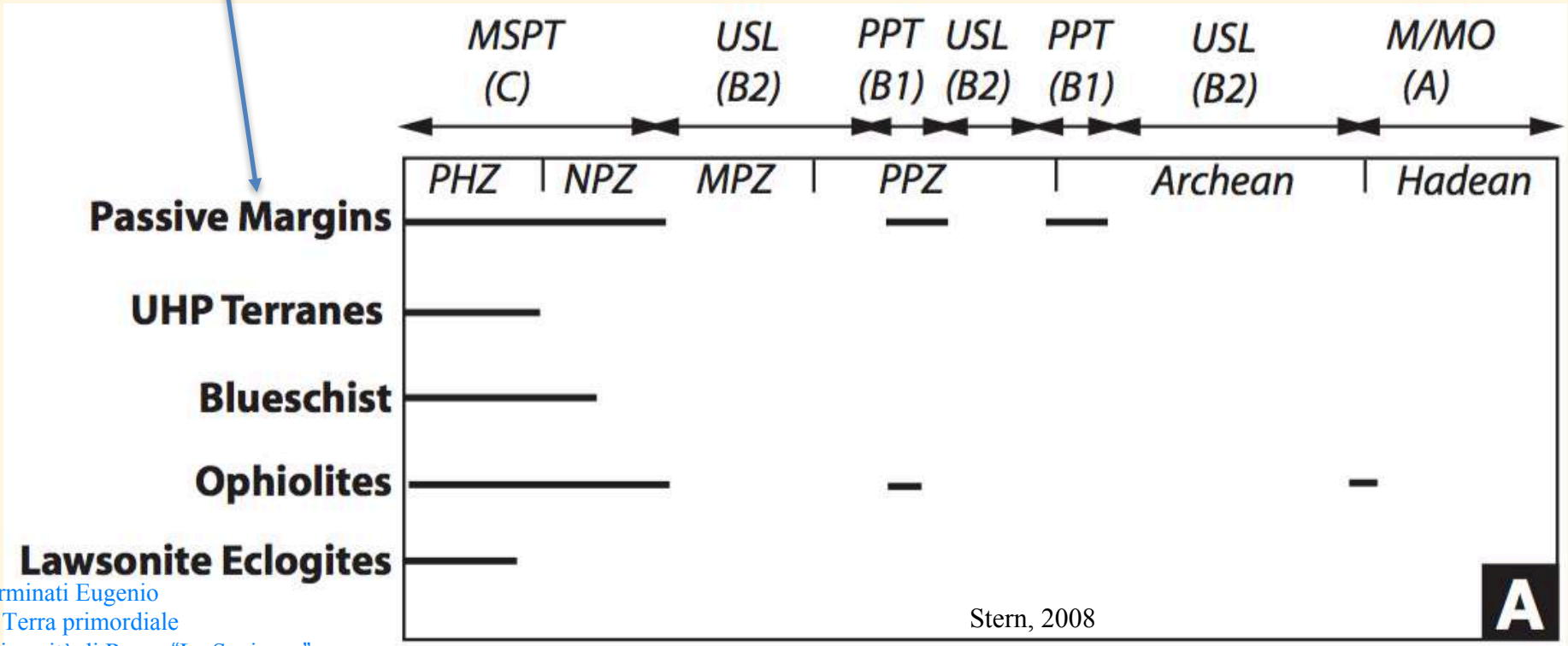
L'inizio della tettonica delle placche secondo diversi autori



Perché per alcuni inizia più tardi?

Perchè alcune caratteristiche della tettonica delle placche attuale compaiono solo nel tardo proterozoico





Stern, 2008

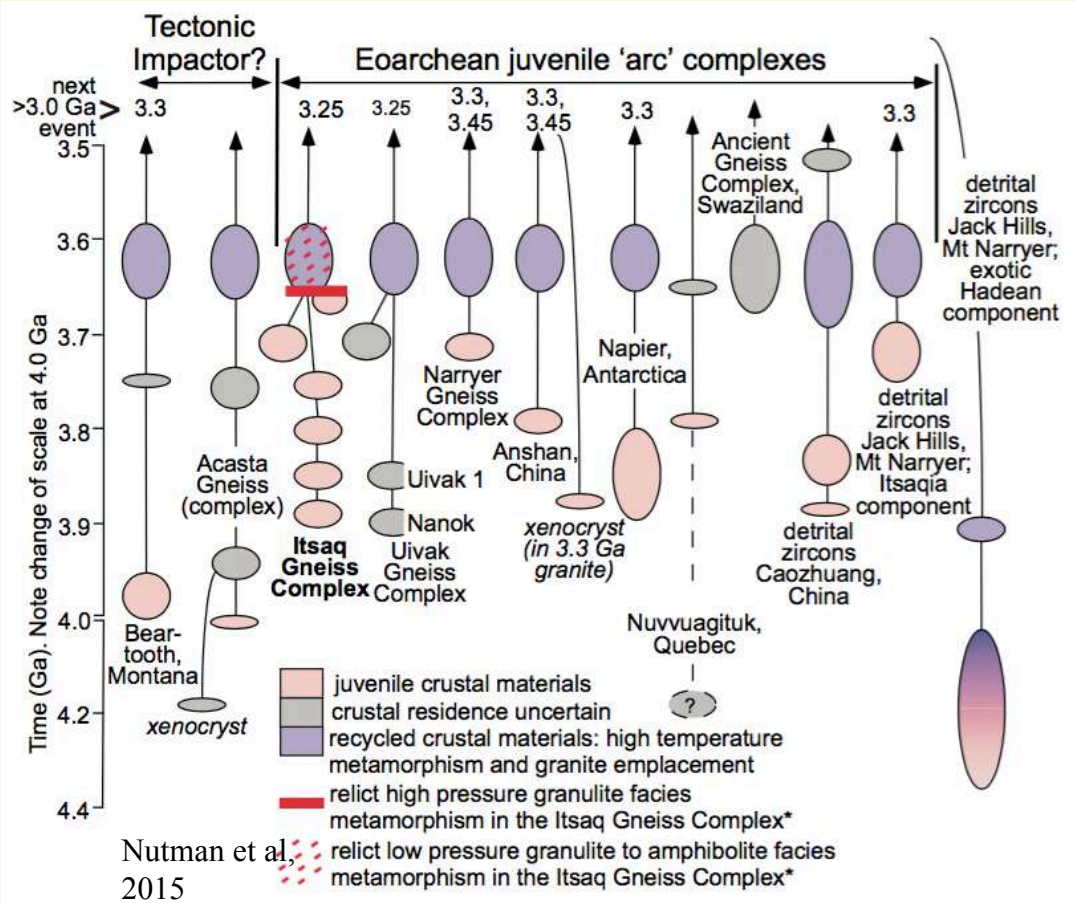
Perché per alcuni inizia prima di 3Ga?

Perchè già nell'archeano inferiore c'è evidenza di assemblaggio di cratoni in un continente e di rifting.

Il che fa un ciclo di Wilson!

Quali le evidenze di continente (Itsaquia) prima di Ur?

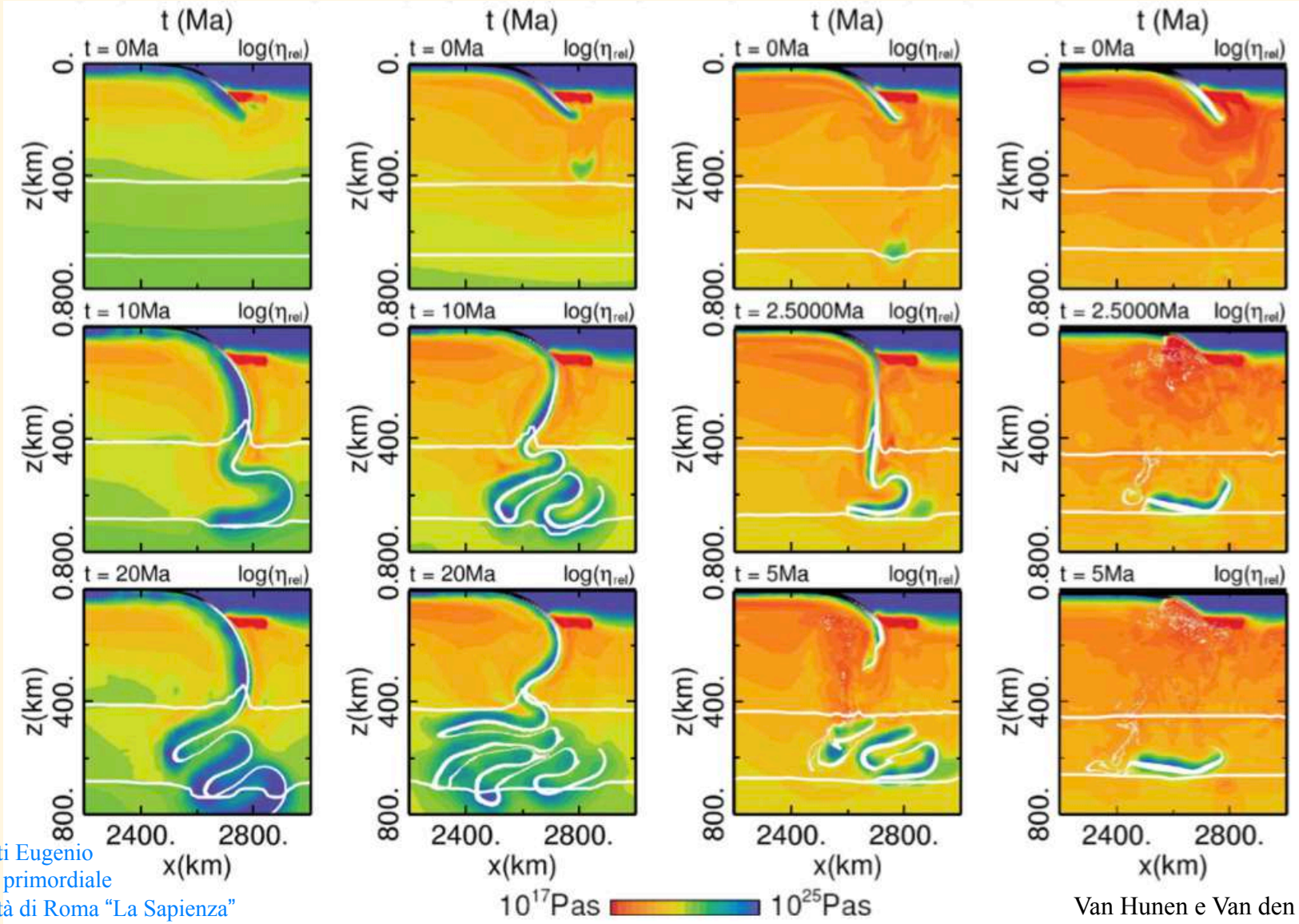
Il record geologico delle 10 aree della Terra in cui ci sono i più antichi complessi di rocce gneissiche (con età > 3.6 Ga) rivelano una storia comune, con una collisione a 3.66 Ga e rifting a 3.53 Ga.



Nutman et al., 2015

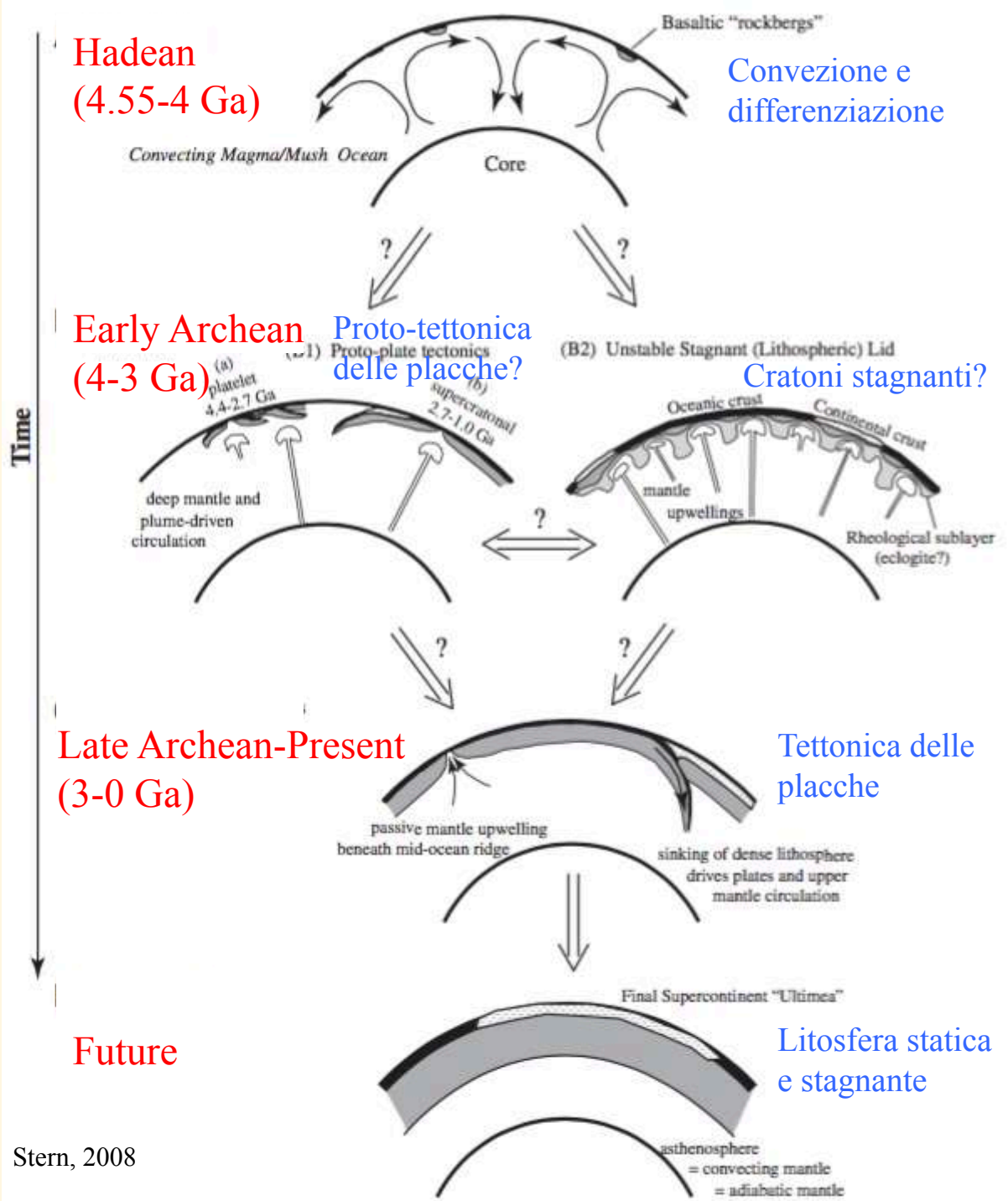
Tettonica delle placche episodica prima di 3 Ga e uguale all'attuale solo da 1 Ga?

ΔT=0° ΔT=100° ΔT=200° ΔT=300°



Van Hunen e Van den Berg, 2008

Evoluzione della dinamica terrestre: un riassunto e una previsione



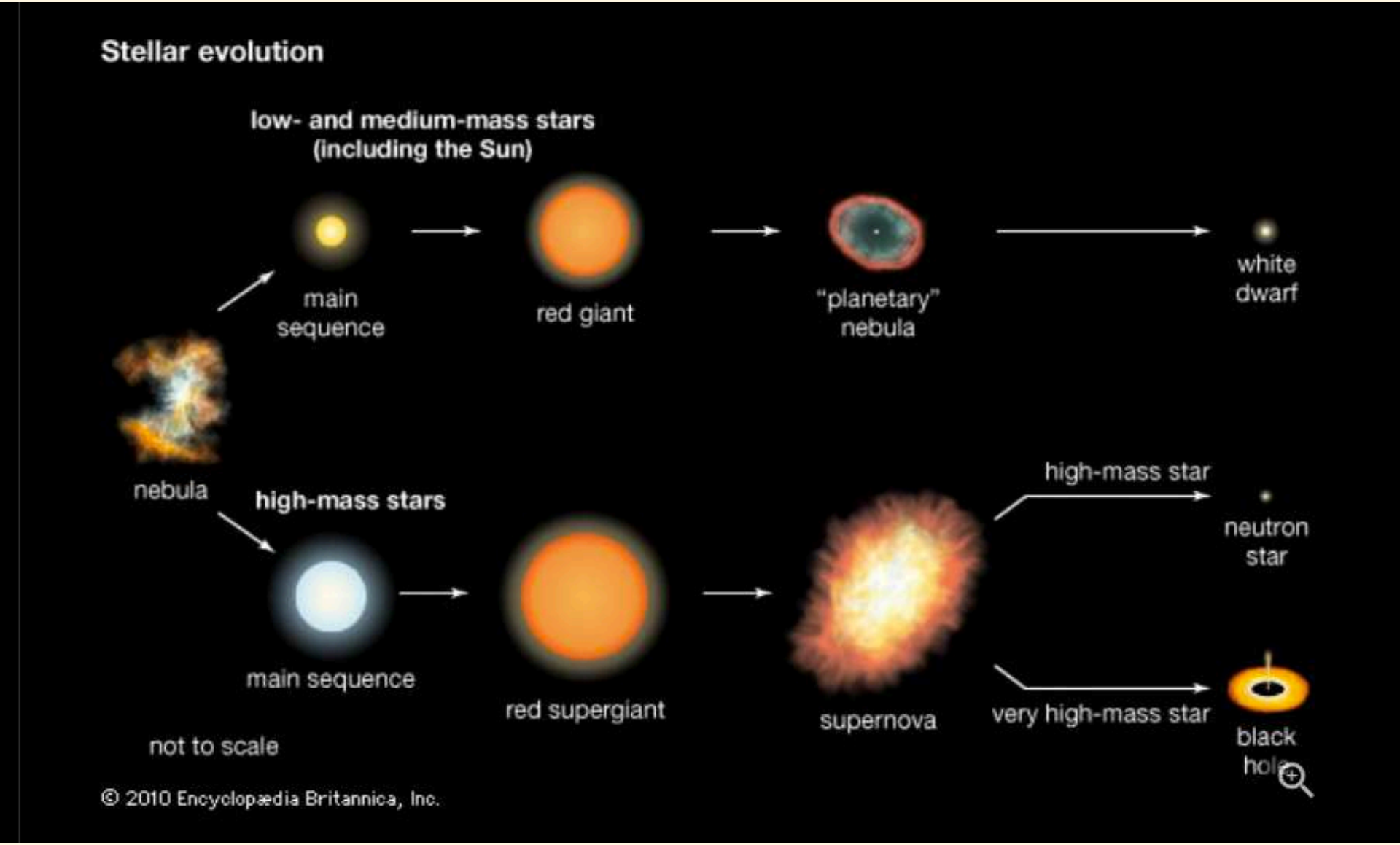
Stern, 2008

Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

"That's all Folks!"

NON USATE

Le galassie e le stelle



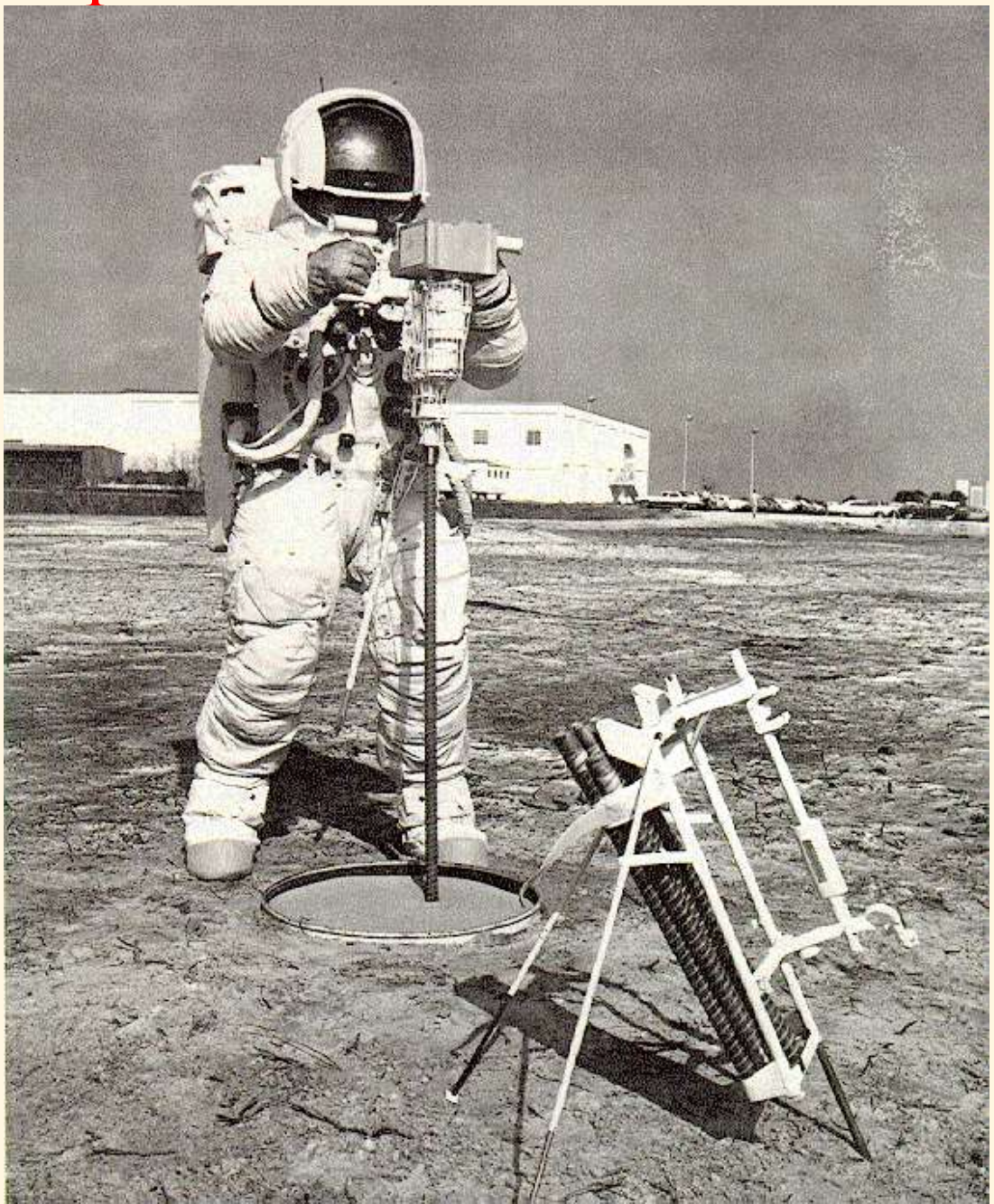
L’esplorazione della Luna

Core tubes were used to obtain samples from below the Moon's surface. These tubes were either 2 or 4 centimeters in diameter and were pounded into the surface with a hammer. Such core tubes reached a maximum depth of about 70 centimeters, requiring about 50 hammer blows.

Apollo 12 photograph AS12-49-7286.

http://www.lpi.usra.edu

L'esplorazione della Luna

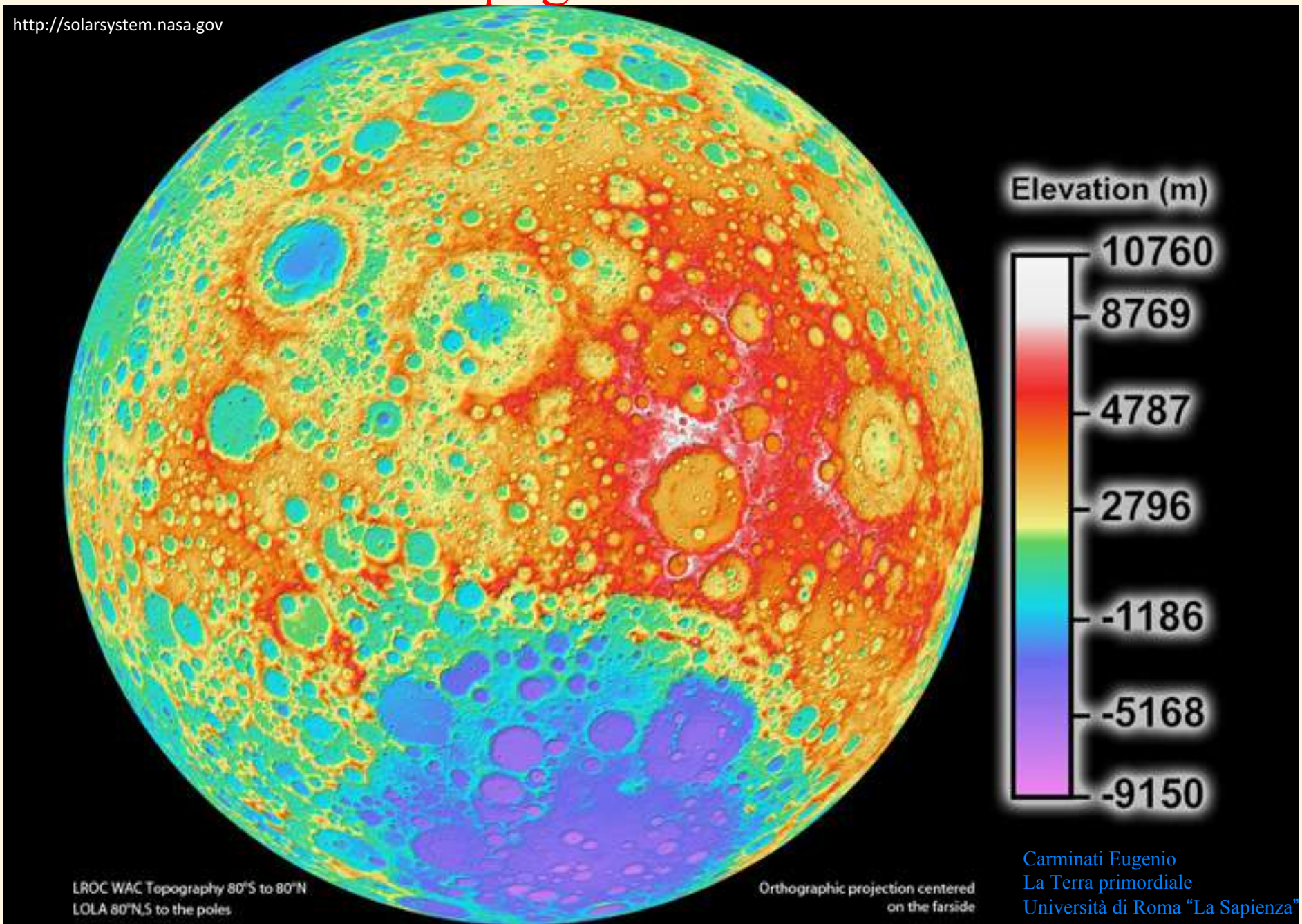


To obtain material from greater depths, an electric drill was used on *Apollos 15, 16, and 17*. This drill collected a core that was 2 centimeters in diameter and up to 3 meters deep. In this photograph, the drill is used in crew training on Earth.

NASA/Johnson Space Center photograph S70-29673.

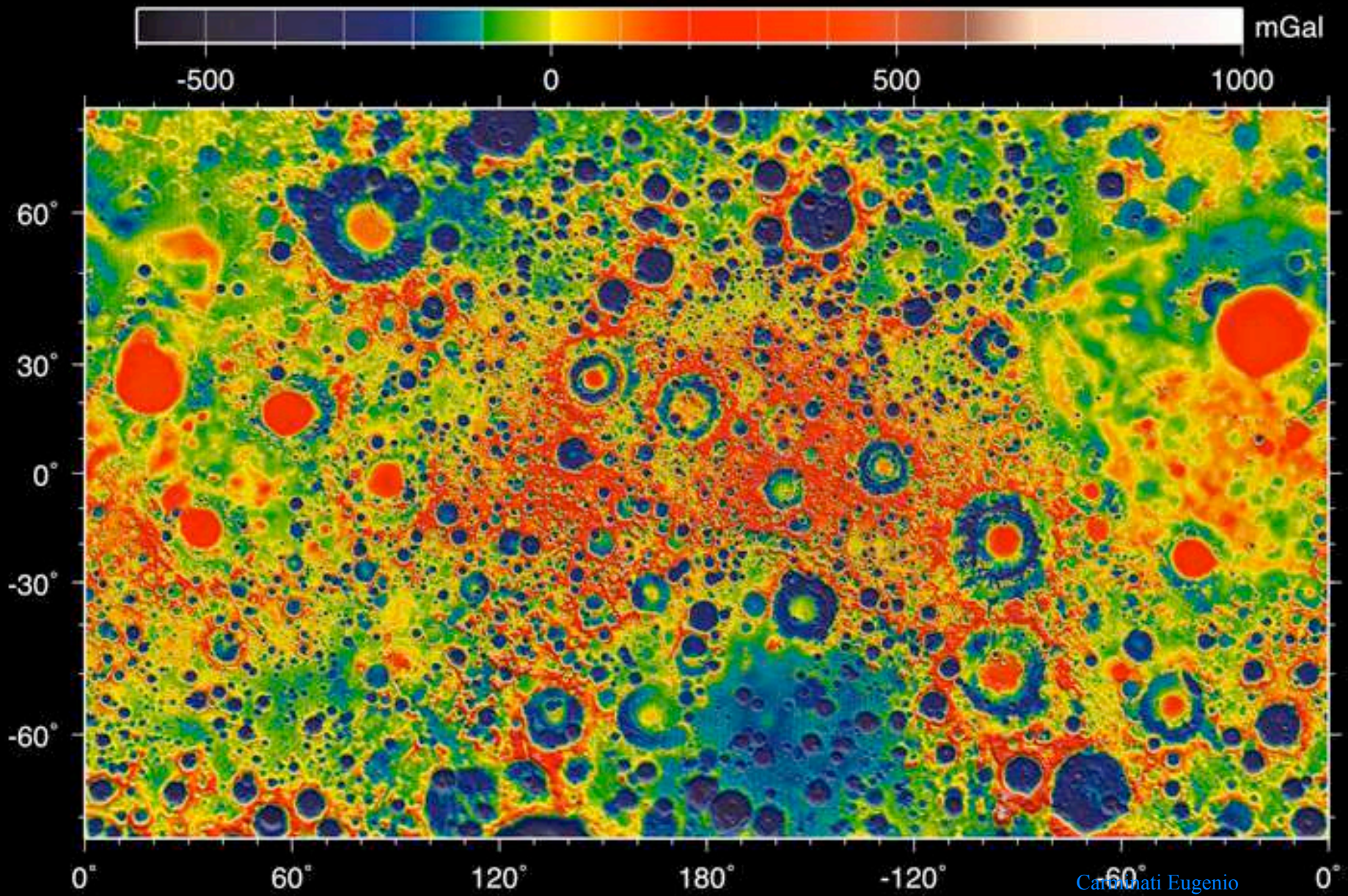
http://www.lpi.usra.edu

La topografia della Luna



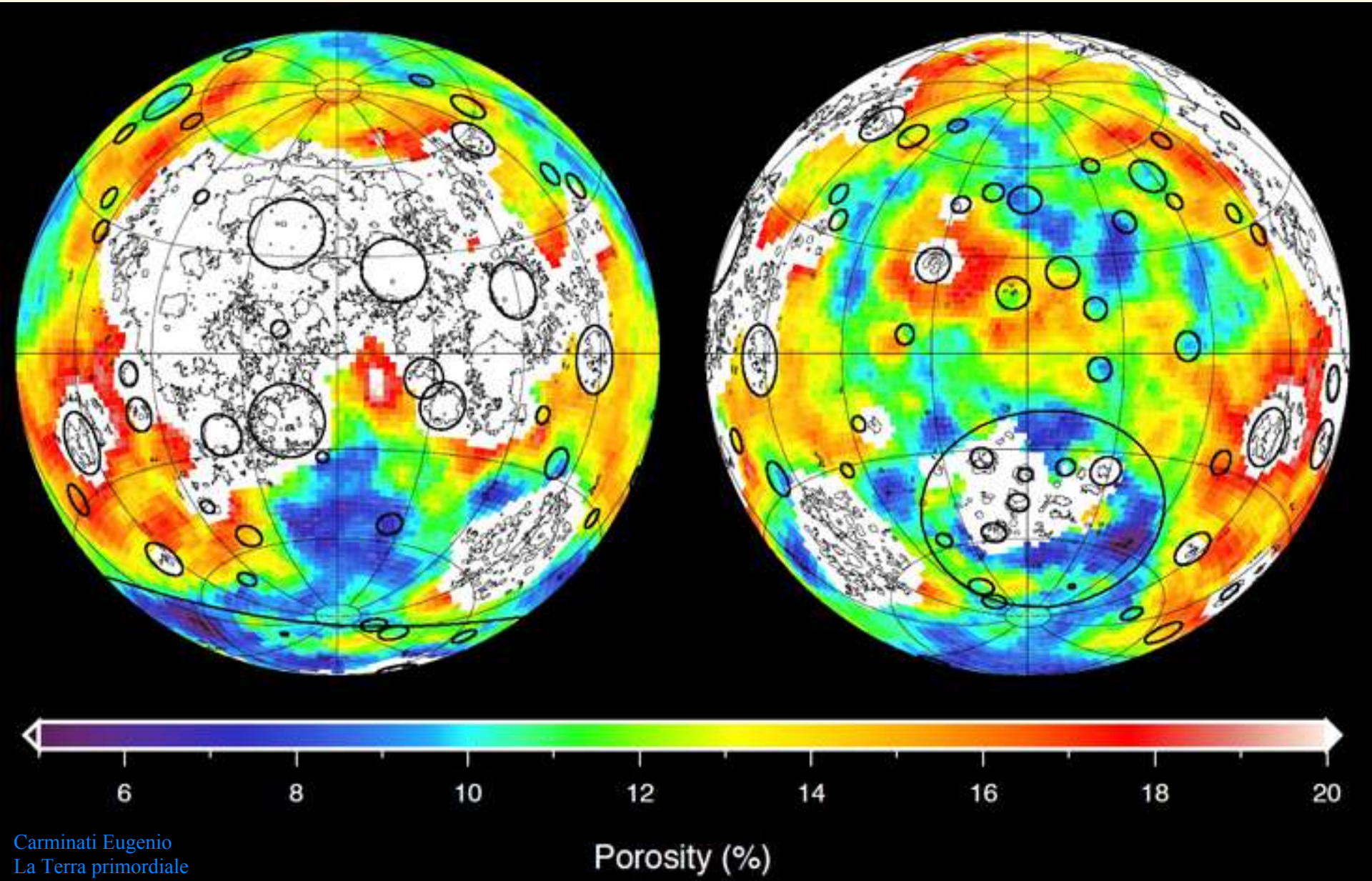
Carminati Eugenio
La Terra primordiale
Università di Roma "La Sapienza"

Campo gravitazionale della Luna



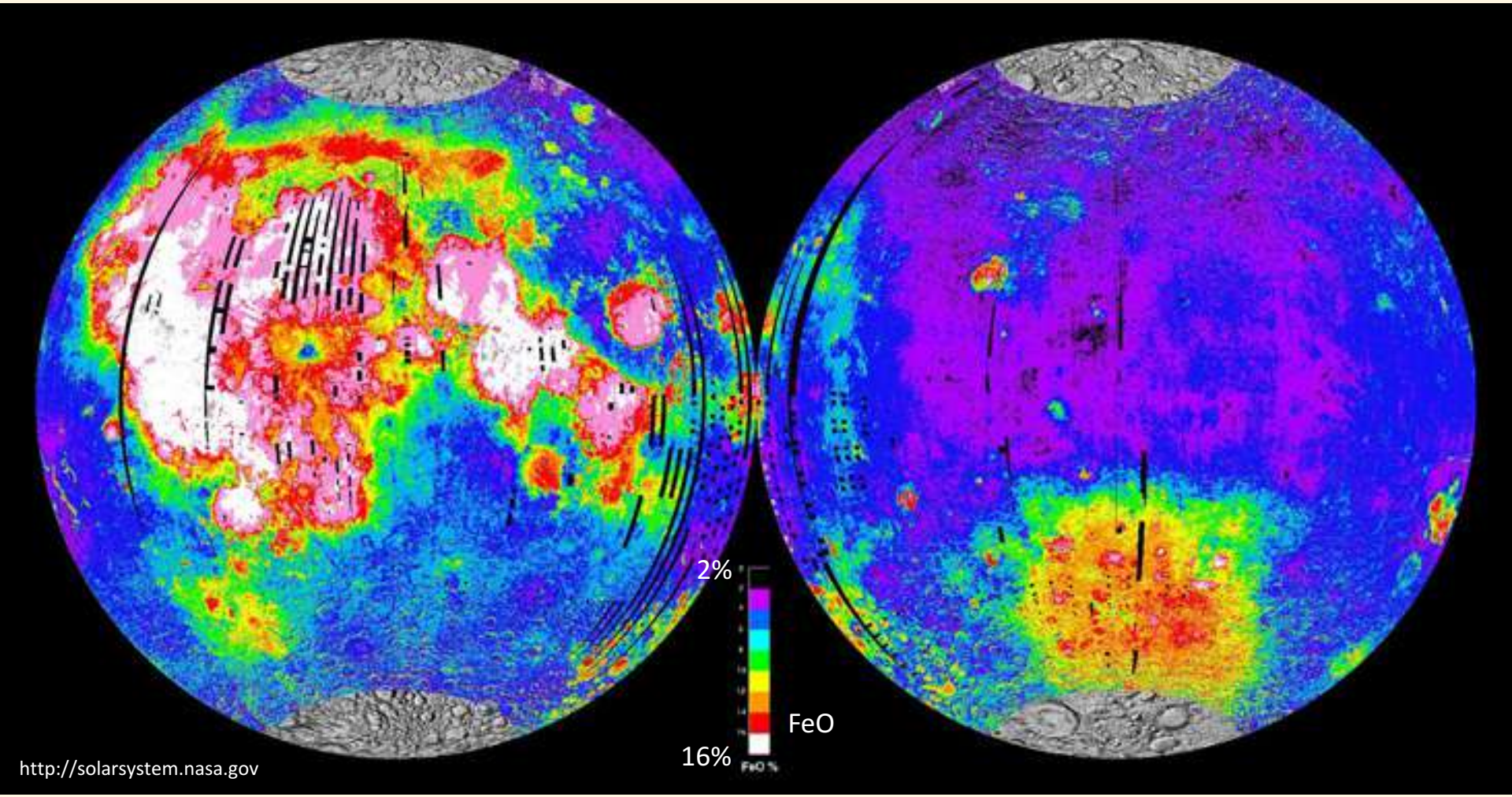
http://solarsystem.nasa.gov

Porosità della superficie della Luna

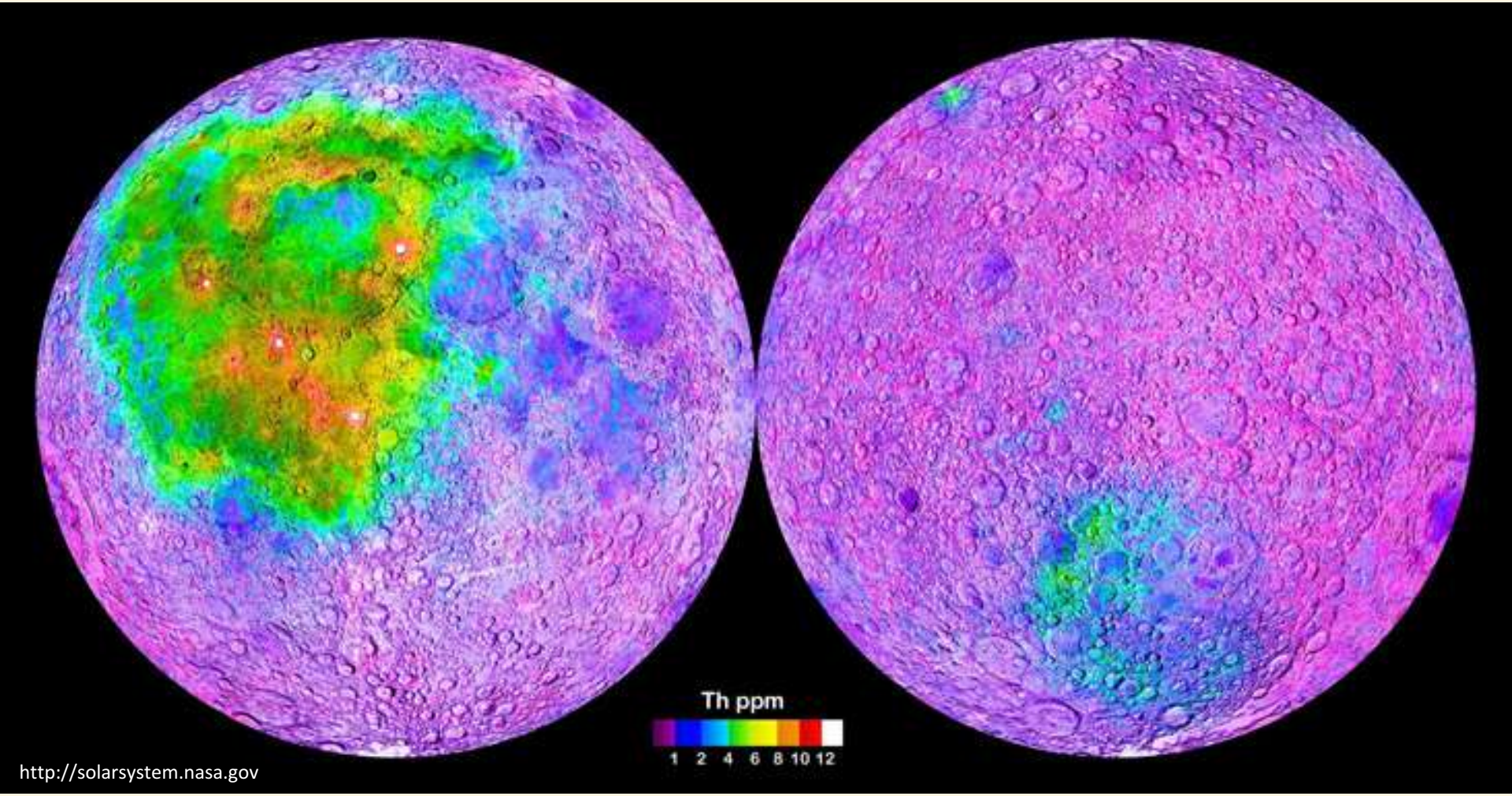


http://solarsystem.nasa.gov

Contenuto in ferro delle rocce della Luna



Contenuto in Thorio delle rocce della Luna



http://solarsystem.nasa.gov