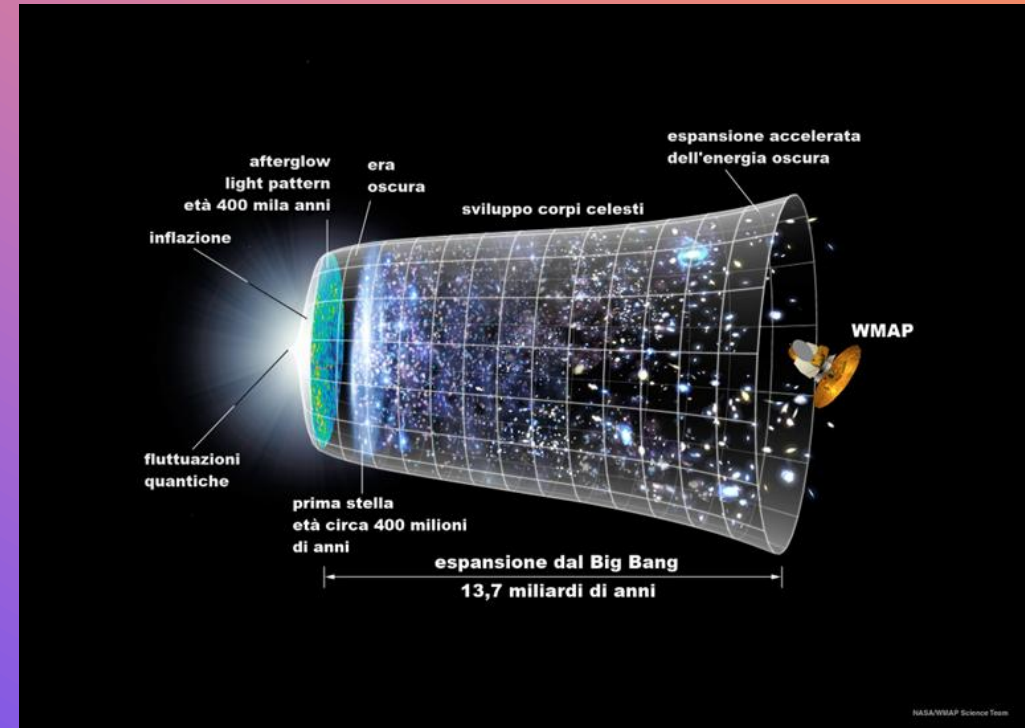
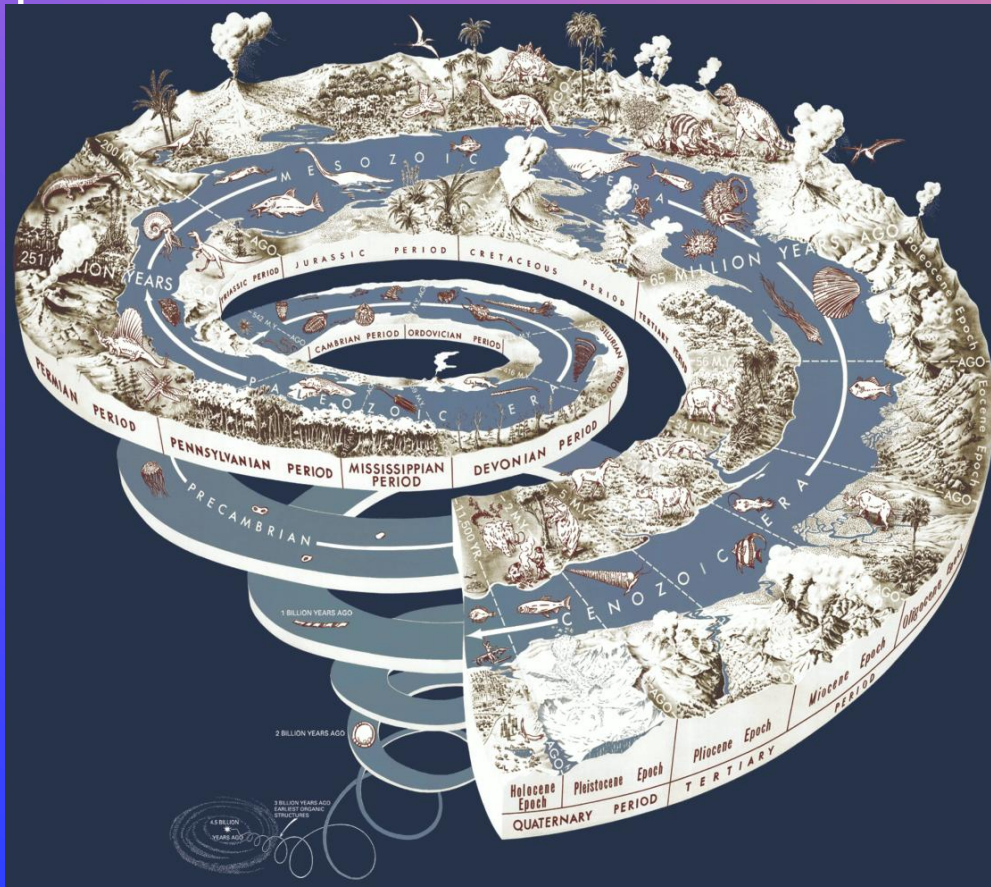


TEMPO GEOLOGICO E COSMOLOGICO

A cura di Ubaldo Ferri

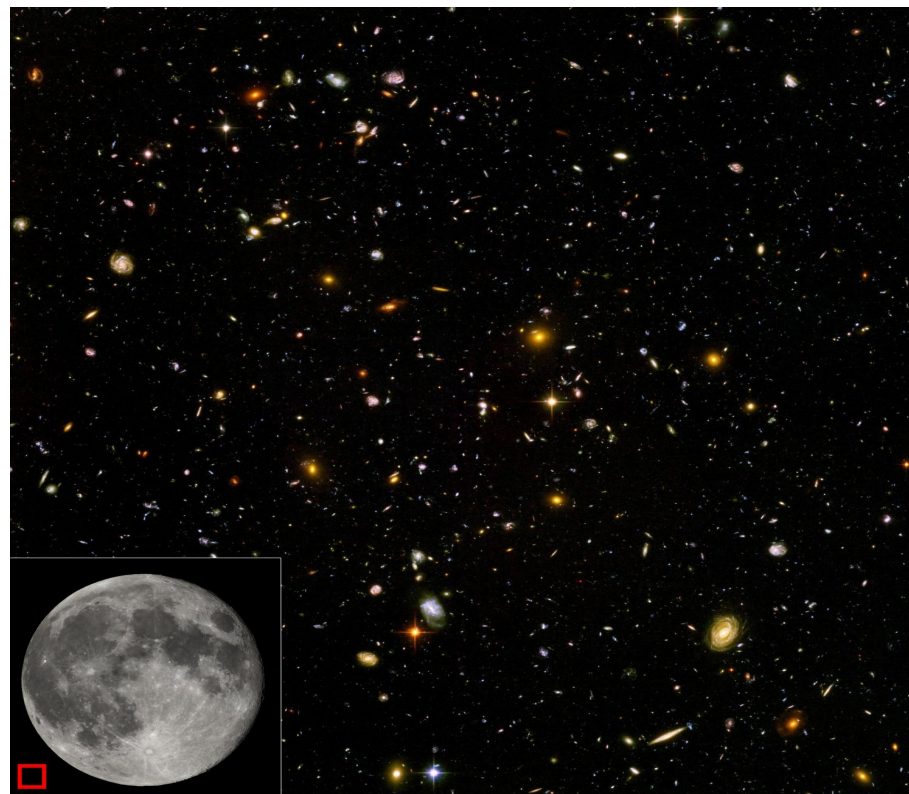


Savignano, 28/03/2025



- Qual è l'età della Terra?
- Qual è l'età dell'Universo?
- Come siamo arrivati a ricostruirle?

OGGI PARLEREMO DI...

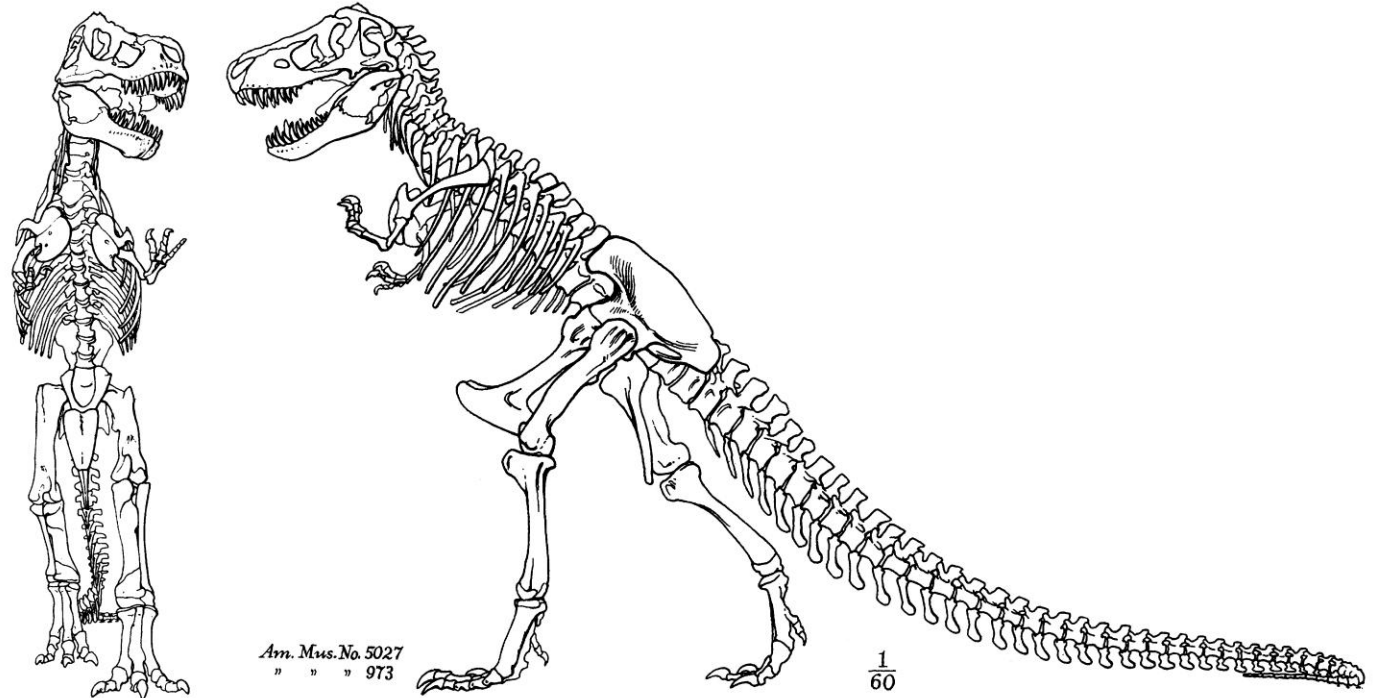


STORIA ARCHEOLOGIA

Il periodo più recente, fino a qualche
migliaiaio di anni fa



JURASSIC PARK



PRIME IPOTESI SULL'ETA' DELLA TERRA



L'Arcivescovo **James Ussher** alla metà del '600 calcolò la nascita della Terra nel 4004 a.C., in base al numero di generazioni che si erano succedute da Adamo a Gesù Cristo



La scoperta dei **fossili** pone dei dubbi sulla reale età della Terra (erano organismi estinti? Ma quando?)



1667: **Niccolò Stenone** (Niels Stensen) dimostra che le glossopetre sono denti di squali del passato

In una ricostruzione della geologia della Toscana pone le basi della **Stratigrafia**

PRINCIPI DELLA STRATIGRAFIA

Orizzontalità originaria: i sedimenti si depositano a causa della gravità in strati orizzontali

Sovrapposizione: ogni strato è più giovane di quello sottostante e più antico di quello sovrastante

Continuità laterale: gli strati di rocce sedimentarie, al tempo della loro deposizione hanno una loro estensione laterale





Credit: travelwayoflife - <https://www.flickr.com/photos/travelwayoflife/6164348161/in/photostream/>, CC BY-SA 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24779211>



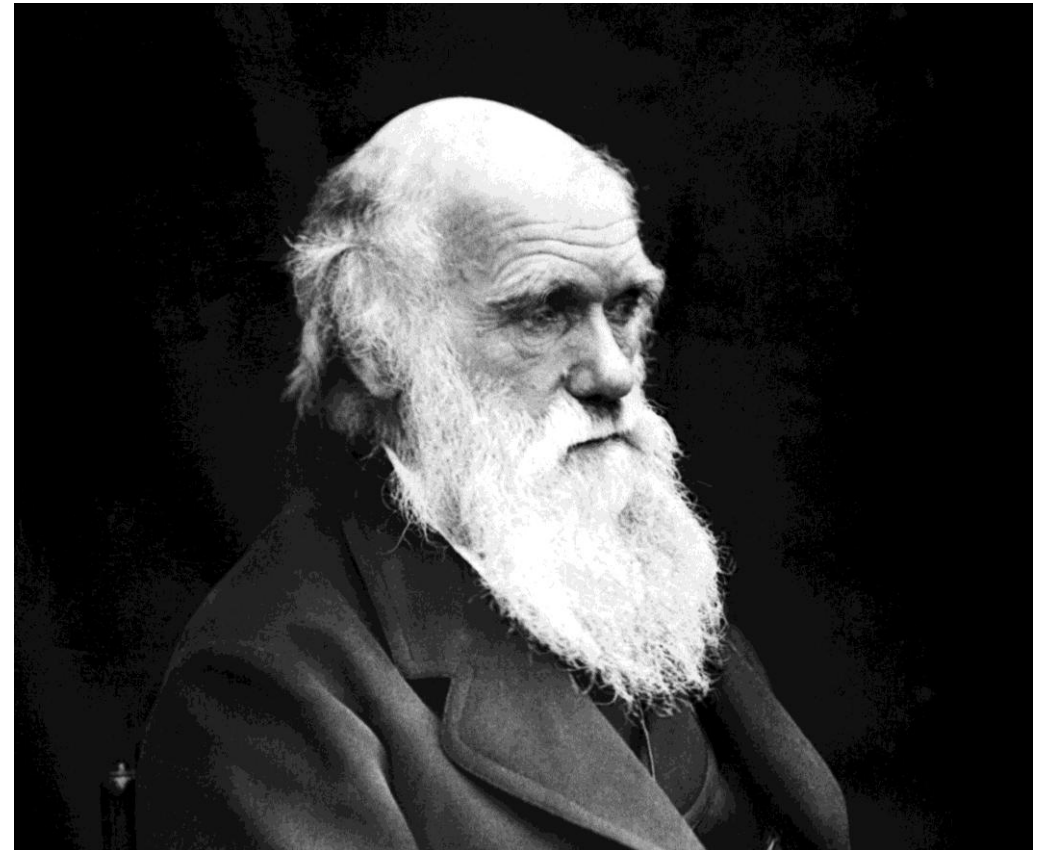
I FOSSILI E LA LORO SUCCESSIONE

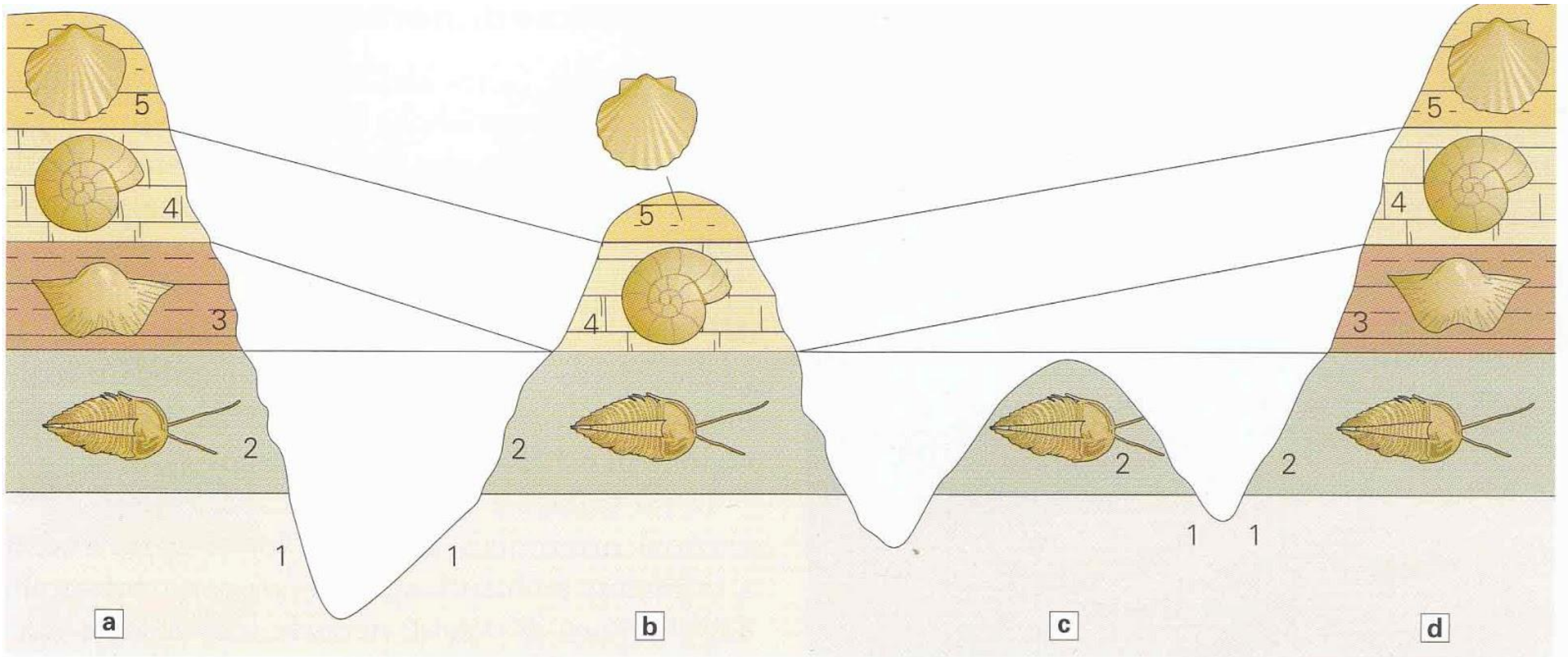
Nel 1793 **William Smith** notò che strati diversi contenevano fossili diversi, perciò si aveva una successione faunistica

La teoria dell'evoluzione di **Charles Darwin** del 1859 suggerisce che questa successione testimonia l'evoluzione biologica delle specie

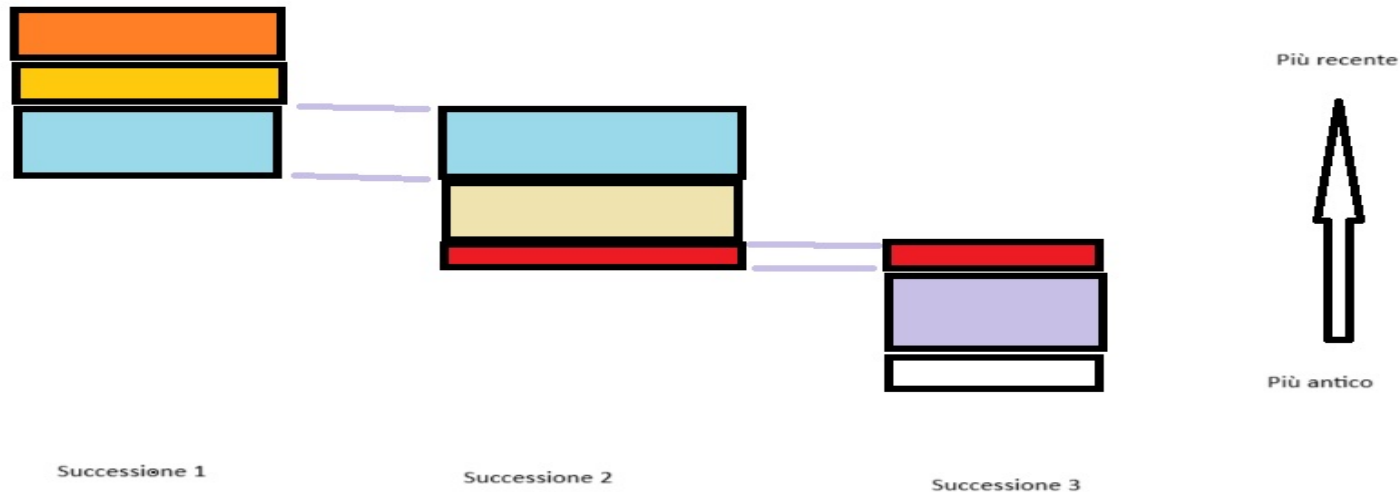
Se si trova la stessa **successione faunistica** in diverse località, queste possono essere correlate (correlazioni biostratigrafiche) ed appartengono alla stessa età

Le specie fossili più utili per le correlazioni sono quelle che si sono evolute in un breve intervallo di tempo, ma si sono diffuse su di un vasto territorio (es. i pollini)





- Mettendo insieme sequenze stratigrafiche di diversi affioramenti, si può avere una stratigrafia più estesa nel tempo
- Questa stratigrafia può dirci soltanto se uno strato si è formato prima o dopo di un altro, in base al principio di sovrapposizione: **cronologia relativa**



- Alla fine del XIX secolo, si è potuta costruire una scala stratigrafica globale degli eventi geologici: la **scala cronostratigrafica**



ALCUNE CONSIDERAZIONI...

In geologia si applica il principio dell'**Attualismo**, proposto da James Hutton (1726-1797) e ripreso da Charles Lyell (1795-1875), secondo il quale i processi geologici del passato avvennero alla stessa velocità di quelli odierni (es.: quanto tempo ci vuole perché l'accumulo di sedimenti ed i processi di sollevamento formino una montagna?)

L'**evoluzione biologica** teorizzata da Darwin richiede tempi molto lunghi per avvenire, considerando il lento accumulo di mutazioni necessario con la selezione naturale per portare alla formazione di una nuova specie

Le stime dei **tassi di erosione** delle montagne e di **accumulo dei sedimenti** suggerirono ai geologi dell'Ottocento che si trattasse di tempi molto lunghi, forse di milioni di anni

Teorie sulla **formazione della Terra e del Sole** basate sul loro raffreddamento richiedevano una grande estensione temporale

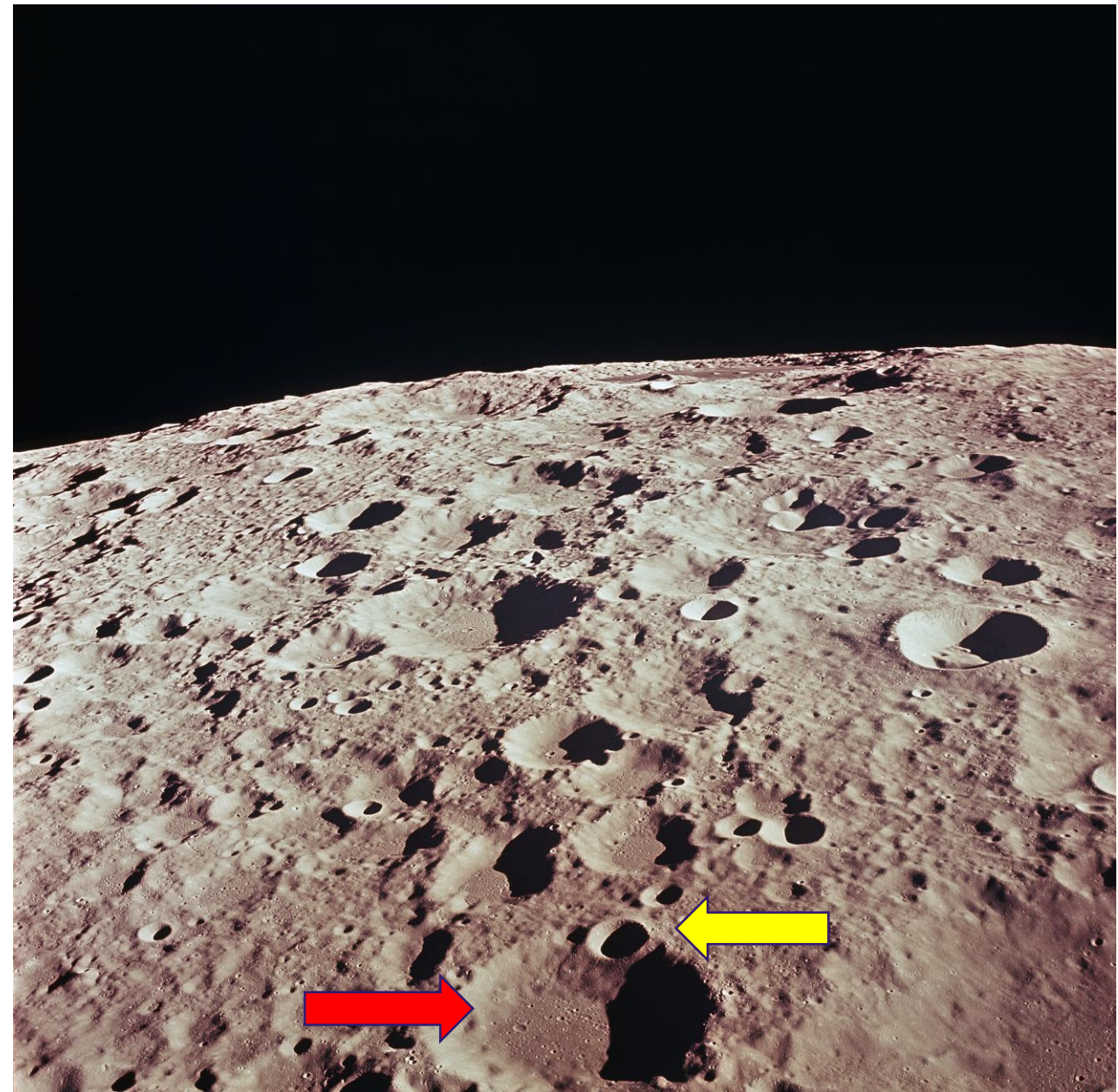
Perciò è proprio necessario ipotizzare **tempi molto lunghi**

SULLA LUNA & CO.

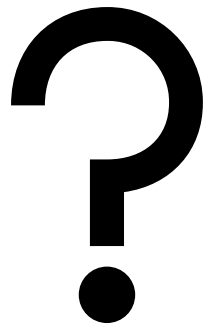
I crateri si formano dal bombardamento meteorico e si sommano nel tempo, perché non c'è erosione significativa

Più crateri ci sono in una determinata area, più quel terreno è considerato antico

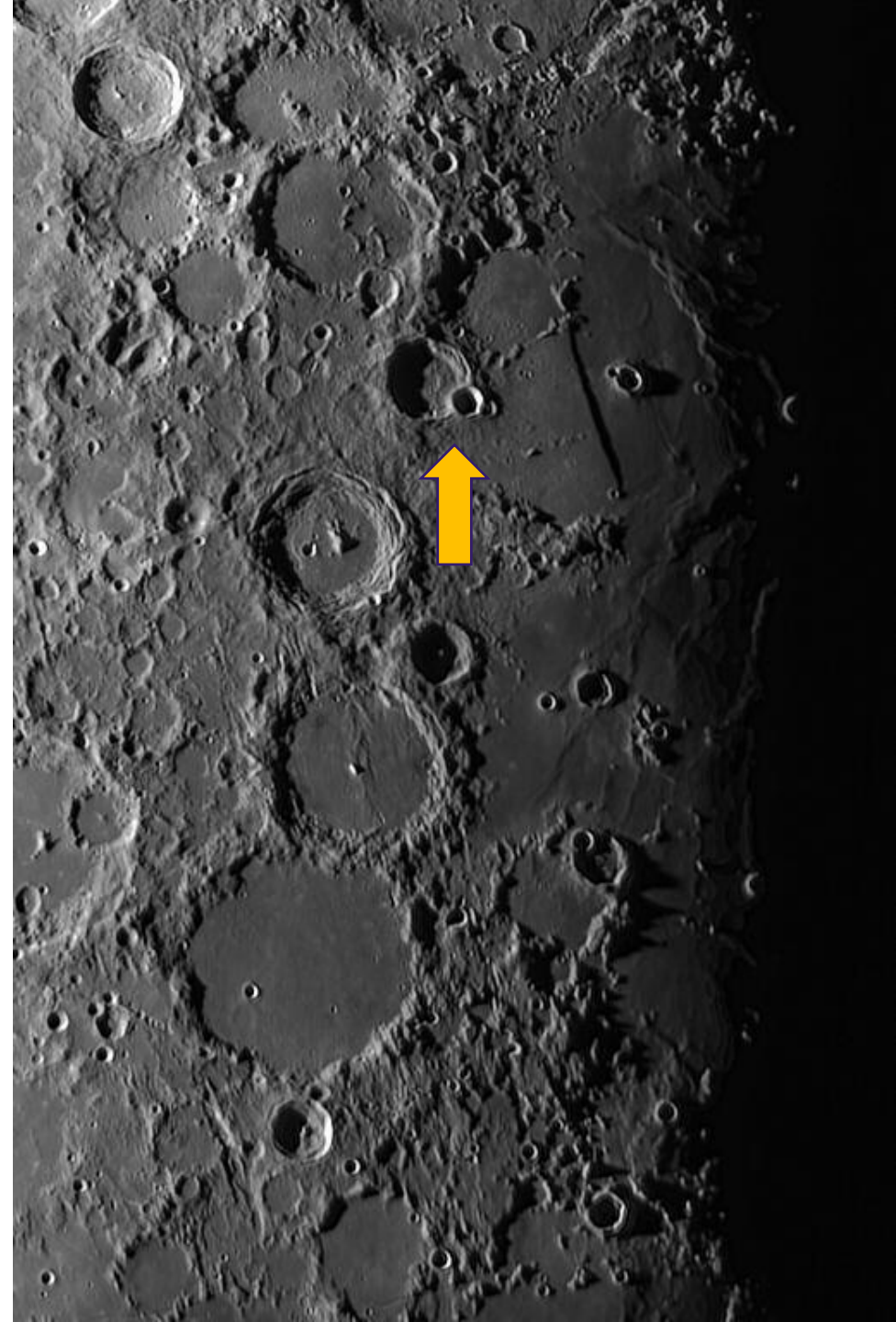
ESERCIZIO: quale dei due crateri è il più recente?



ALTRO ESERCIZIO...

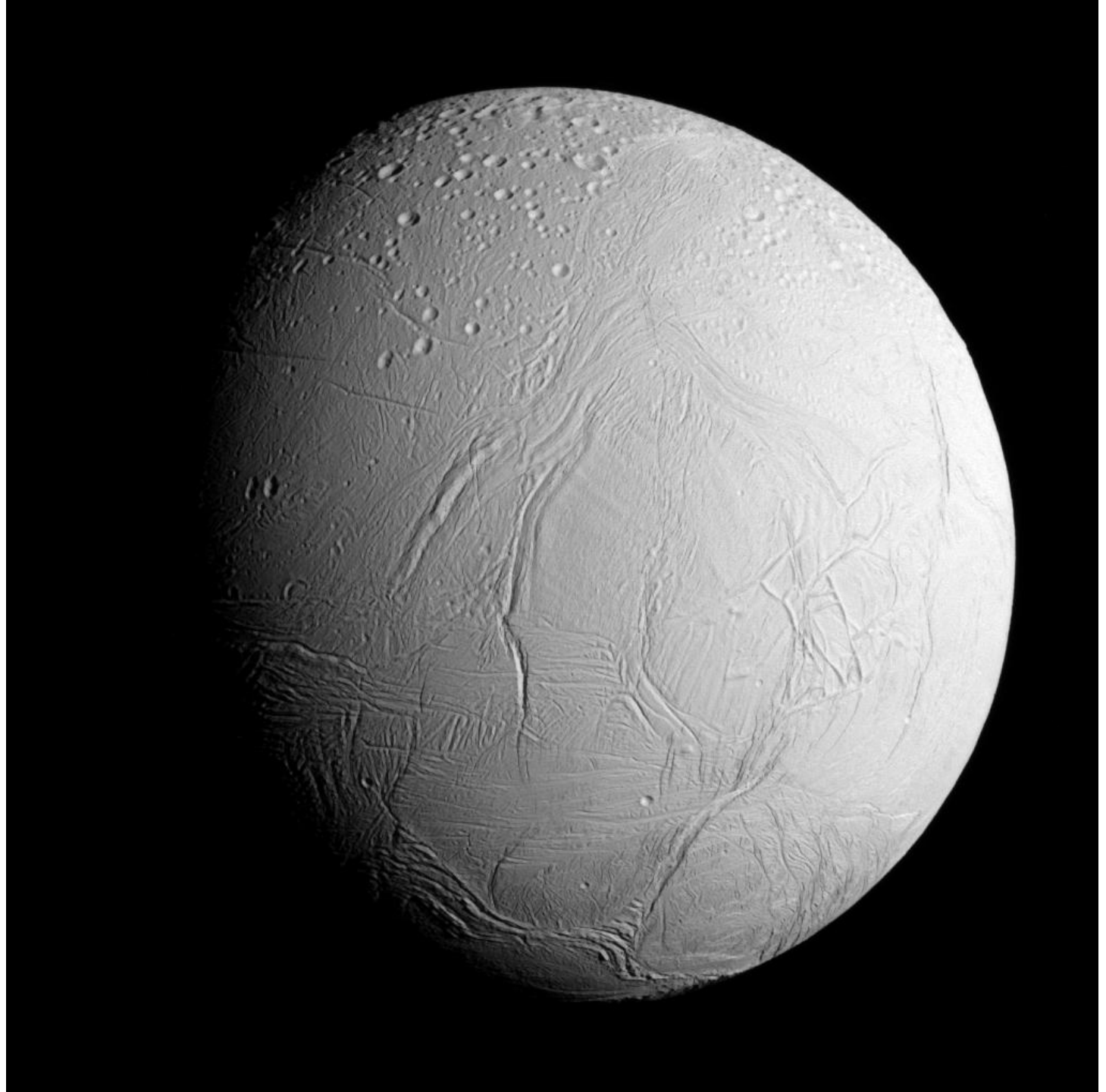


Di Lorenzo Premoli - Opera propria, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=115471988>



ENCELADO

Crediti: NASA, sonda Cassini-Huygens



DALLA DATAZIONE RELATIVA A QUELLA ASSOLUTA

La scala cronostratigrafica basata sulla successione degli strati rocciosi e delle faune fossili è **relativa**, perché ci dice solo che una roccia o un fossile è più antico o recente di un altro



Ma di quanto?

PROVIAMO CON LA TERMODINAMICA

Per George-Louis Leclerc, conte di Buffon (1707-1788), i pianeti si sarebbero formati dal raffreddamento di globi incandescenti

Fece realizzare dieci sfere di ferro di diametro variabile, le riscaldò fino all'incandescenza e le lasciò raffreddare.

Misurando il tempo necessario perché si raffreddassero e rapportandone la massa a quella della Terra, supposta fatta soprattutto di ferro all'interno, calcolò per il nostro pianeta un'età di 74832 anni

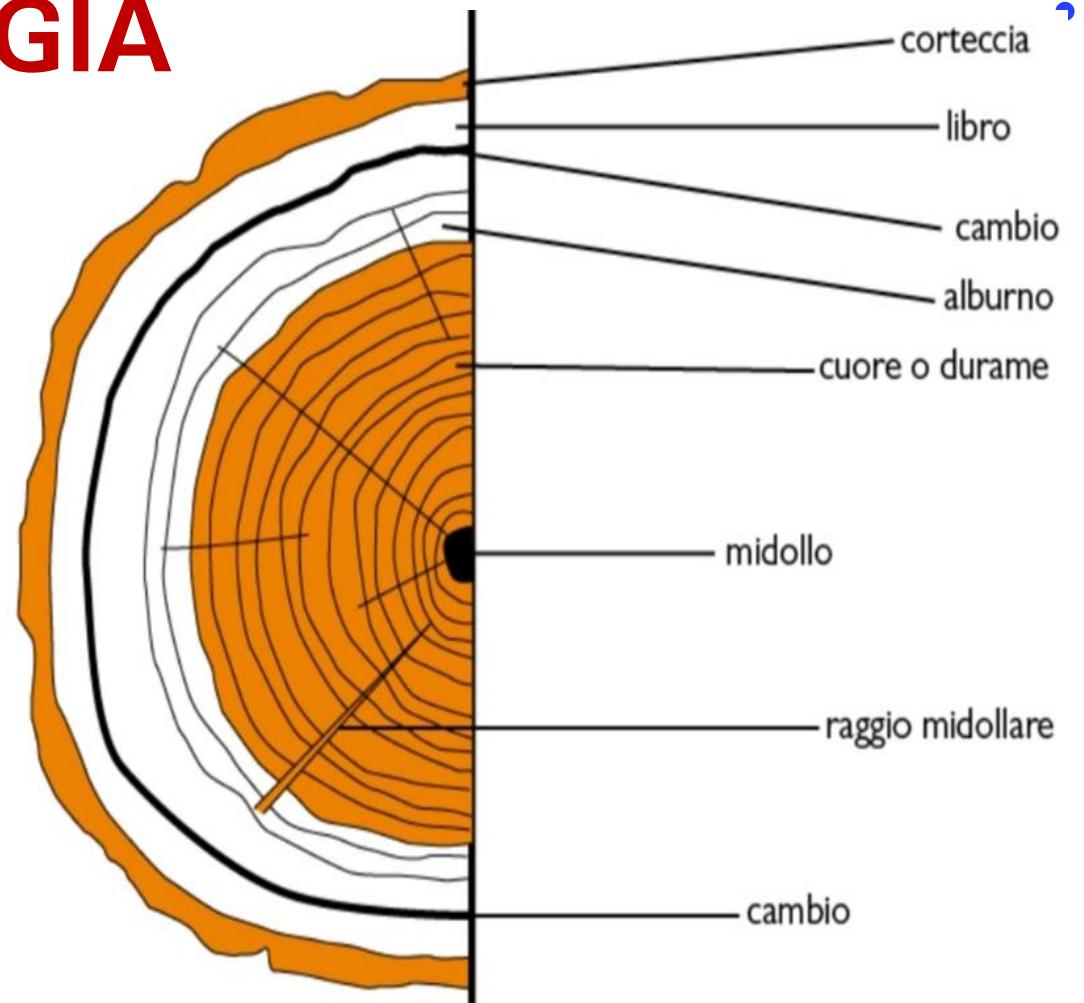
Ma per gli evolucionisti come Darwin non bastava di certo!

LA DENDROCRONOLOGIA

Il **legno** è un tessuto vegetale prodotto dal cambio verso l'interno del fusto.

Nei climi temperati, viene prodotto un nuovo **anello** ogni anno, il cui spessore è influenzato da diversi fattori (età, disponibilità di acqua, nutrienti, ecc.)

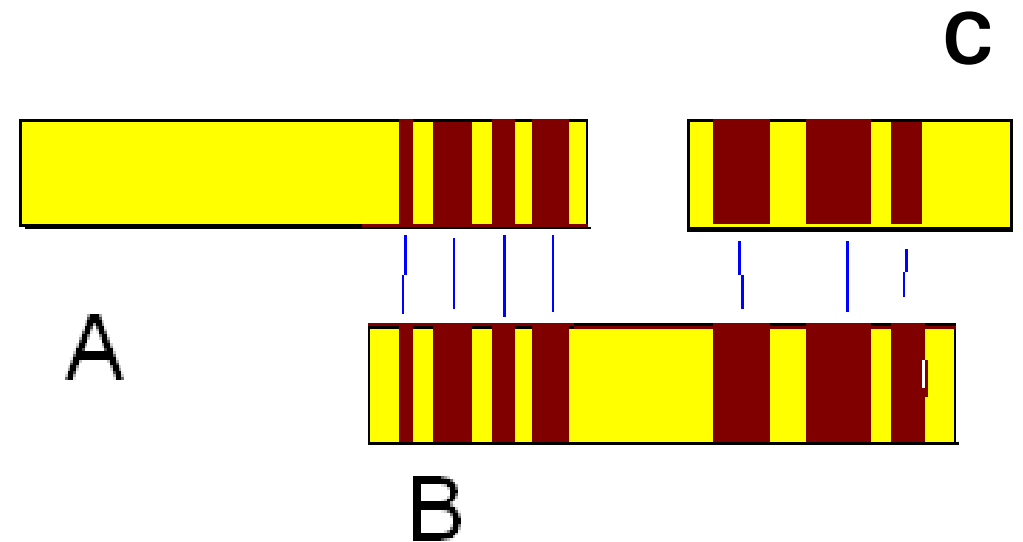
In ciascun anello si distingue il legno primaverile, all'interno, e quello estivo, all'esterno



Di Al*from*Lig - Opera propria, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=144185465>

CORRELAZIONI

Si possono correlare sequenze di anelli di piante vissute in epoche parzialmente diverse per coprire intervalli cronologici più ampi, fino a migliaia di anni





LE VARVE GLACIALI

Strati annuali di sedimenti deposti sul fondo di alcuni laghi

Ogni strato è composto da:

un livello più chiaro (sedimenti più grossolani deposti durante il disgelo)

Un livello più scuro (argille deposte nel periodo invernale)



DATAZIONE RADIOMETRICA ASSOLUTA



Radioattività naturale: a seguito dell'emissione di particelle e raggi gamma, un elemento o isotopo capostipite instabile si trasforma in un altro elemento stabile (figlio o radiogenico). Il tempo necessario affinché la quantità degli atomi del capostipite diventi la metà è caratteristico per ogni isotopo ed è detto **tempo di dimezzamento** ed indicato con $T/2$.



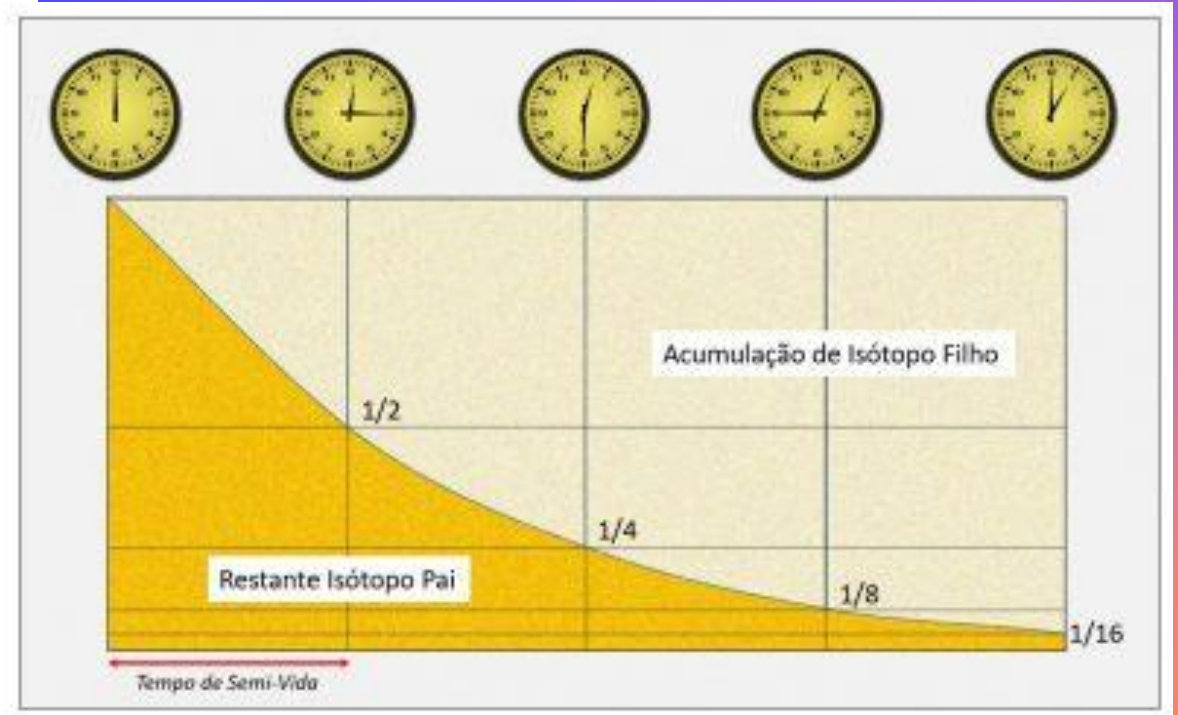
Il numero totale di atomi resta inalterato.



In questo modo, si può calcolare il tempo trascorso dalla formazione del minerale, se non ci sono più stati scambi di materia con l'esterno

1. All'intervallo di tempo 1 il numero di atomi si dimezza, cioè diventa $\frac{1}{2}$
2. All'intervallo 2 diventa $\frac{1}{4}$
3. All'intervallo 3 diventa $\frac{1}{8}$
4. ...

Proporzionalmente cresce la percentuale dell'elemento figlio: $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$...



I METODI RADIOMETRICI PIÙ COMUNI

CAPOSTIPITE	FIGLIO	T/2
Rubidio 87	Stronzio 87	49 miliardi di anni
Uranio 238	Piombo 206	4,5 mld
Potassio 40	Argon 40	1,3 mld
Uranio 235	Piombo 207	0,7 mld
Carbonio 14	Azoto 14	5730 anni

Si possono usare più coppie di isotopi contemporaneamente, per verificare le datazioni in maniera incrociata

IL CARBONIO 14

Il carbonio è il costituente fondamentale della **materia vivente**

Esiste in due isotopi: carbonio-12 e carbonio-14, entrambi entrano a far parte degli organismi viventi, ad esempio una pianta

Il C-14 ha un **tempo di dimezzamento di 5730 anni circa**, e si può usare per datare materiali come ossa, conchiglie, legno fino a qualche decina di migliaia di anni (40-60mila)

Quando la pianta muore, il rapporto C-14/C-12 è identico a quello dell'atmosfera

In seguito, esso diminuisce perché il C-14 decade e si trasforma in azoto-14 che è un gas e quindi esce dal sistema

Perciò la datazione si effettua confrontando la quantità di C-14 rimasta nei tessuti con quella presente in atmosfera quando la pianta era viva



Datazione al C-14 dei rotoli del Mar Morto, che ne ha verificato l'autenticità

LA STORIA DI UNO ZIRCONO

Silicato di Zircono ($ZrSiO_4$), uno dei materiali più duri in natura, può resistere a tutte le trasformazioni delle rocce nel tempo durante la storia della Terra

Quando cristallizza per la prima volta dal magma, può incorporare fino all'1% di uranio, che si dimezza ogni 4,5 miliardi di anni

Nel promontorio delle Jack Hills, nell'Australia occidentale, sono stati trovati dei piccolissimi cristalli di zircono risedimentati

Misurando la quantità di uranio e piombo di uno di essi, si è ricavata l'età di 4,4 miliardi di anni



CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=415984>

METEORITI

Una parte dei meteoriti che cadono sulla Terra sono i residui dei **planetesimi** che aggregandosi hanno formato i pianeti

In particolare le **condriti** conservano minerali che si sono formati all'origine del sistema solare e derivano direttamente dall'aggregazione delle polveri della nebulosa protosolare

Utilizzando **isotopi dell'uranio** in esse contenuti, si è stabilito che l'aggregazione dei planetesimi è iniziata circa 4,560 miliardi di anni fa

Il **meteorite marziano** Allan Hills 84001 ha fornito un'età di 4,091 miliardi di anni



Di H. Raab (User:Vesta) - Opera propria, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=226918>

ROCCE LUNARI

Secondo la teoria oggi più accreditata, la Luna si sarebbe formata dall'aggregazione dei frammenti derivati dall'impatto avvenuto poco dopo la loro formazione, fra la Terra ed un pianeta delle dimensioni di Marte, chiamato Theia.

L'**età relativa** è stata stimata con il conteggio dei crateri, il cui numero cresce con il tempo, quella **assoluta** usando la datazione radiometrica:

Le **terre alte** sono più antiche, da 4,4 a 3,2 mld/anni

I «**mari**» di basalto sono più recenti, da 4 a 3,2 mld/anni

Genesis rock, prelevata dall'Apollo 16, è stata datata a 4,08 mld/anni →



ETA' DEI PRINCIPALI EVENTI DELLA STORIA DELLA TERRA

IN MILIONI DI ANNI

- 4560 formazione della Terra e degli altri pianeti
- 4510 formazione della Luna
- 4470 rocce lunari più antiche
- 4000 rocce continentali più antiche
- 3900 intenso bombardamento tardivo
- 3800 prime testimonianze di sedimenti
- 3500 microfossili più antichi
- 3400 prime stromatoliti
- 2700 prime tracce di fotosintesi, aumenta l'ossigeno in atmosfera
- 2500 si completa la formazione della prima crosta continentale
- 2300 primi strati rossi
- 1800 le più antiche alghe fossili

1000-700 origine degli animali
580 secondo incremento di ossigeno
esplosione cambriana degli animali

542-251 era paleozoica

400 comparsa dei pesci

450 prime piante terrestri

444 estinzione in massa

420 primi animali terrestri

251 estinzione permiana

251-65 era mesozoica

230 comparsa dei dinosauri

125 prime piante con fiori

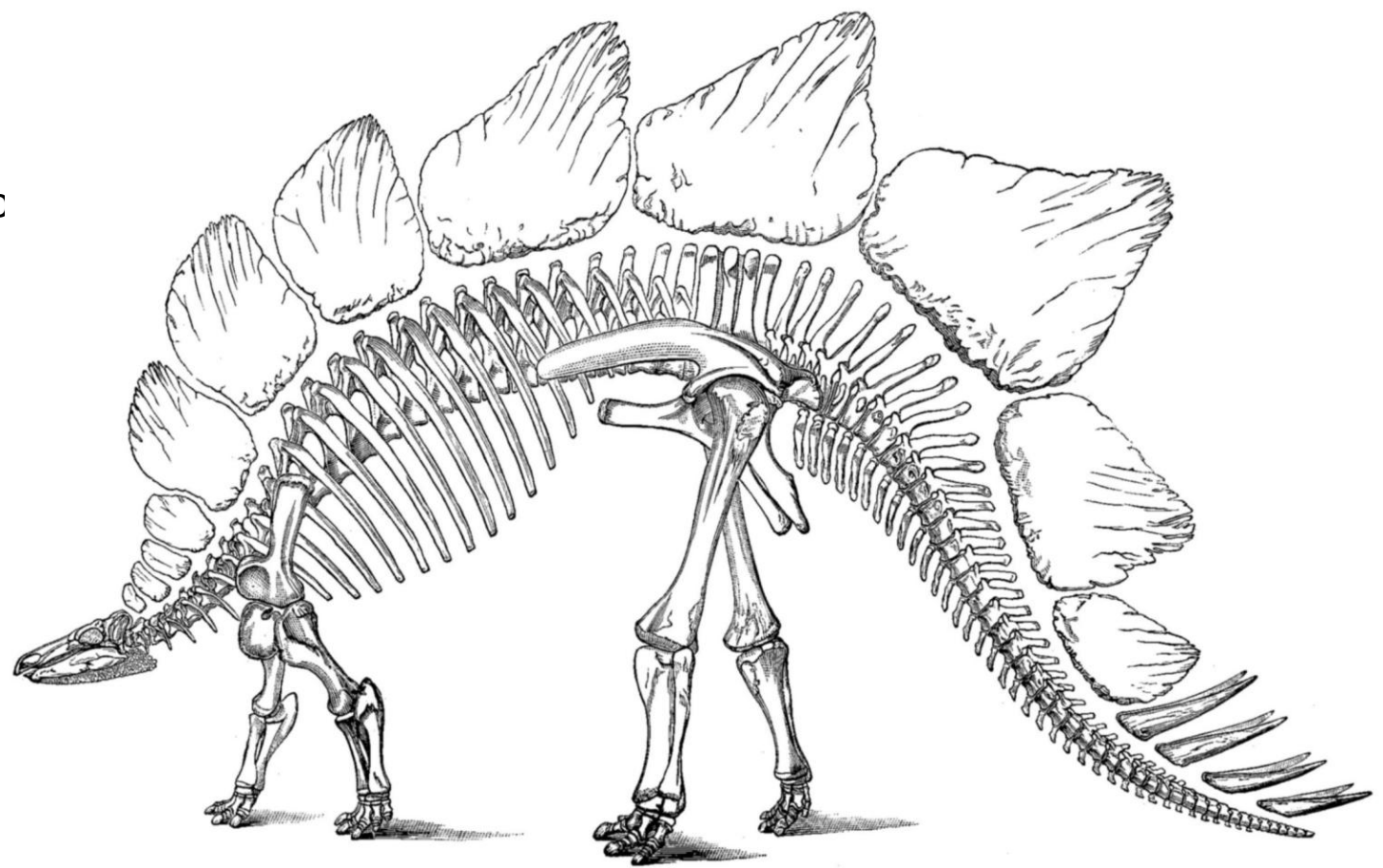
65 estinzione in massa compresi i dinosauri

65-1,8 era cenozoica

5 primi ominidi

1,8 era neozoica

0,2 comparsa di Homo sapiens



Stegosauo illustrato da Marsh (1896)



IUGS

INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

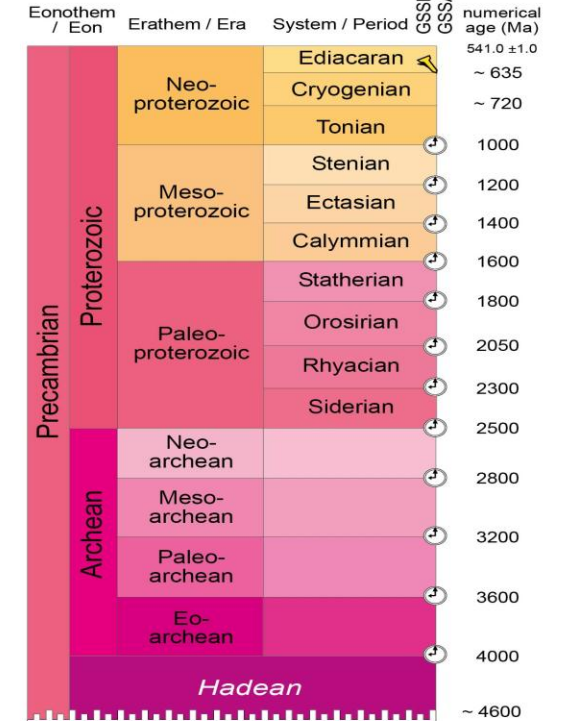
v 2016/04



Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)		
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	present			0.0117	
				Upper			0.126	
			Pleistocene	Middle			0.781	
				Calabrian			1.80	
				Gelasian			2.58	
			Pliocene	Piacenzian			3.600	
				Zanclean			5.333	
			Neogene	Miocene	Messinian			7.246
					Tortonian			11.63
					Serravallian			13.82
	Langhian					15.97		
	Burdigalian					20.44		
	Aquitanian					23.03		
	Oligocene	Chattian					28.1	
		Rupelian					33.9	
	Paleogene	Eocene			Priabonian			37.8
					Bartonian			41.2
			Lutetian			47.8		
			Ypresian			56.0		
			Thanetian			59.2		
	Paleocene	Selandian			61.6			
		Danian			66.0			
	Mesozoic	Cretaceous	Upper	Maastrichtian			72.1 ± 0.2	
				Campanian			83.6 ± 0.2	
			Santonian	Santonian			86.3 ± 0.5	
				Coniacian			89.8 ± 0.3	
				Turonian			93.9	
			Cenomanian	Cenomanian			100.5	
				Albian			~ 113.0	
			Lower	Aptian			~ 125.0	
Barremian						~ 129.4		
Hauterivian						~ 132.9		
Valanginian						~ 139.8		
Berriasian						~ 145.0		

Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)		
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian			152.1 ± 0.9	
				Kimmeridgian			157.3 ± 1.0	
			Middle	Oxfordian			163.5 ± 1.0	
				Callovian			166.1 ± 1.2	
				Bathonian			168.3 ± 1.3	
				Bajocian			170.3 ± 1.4	
				Aalenian			174.1 ± 1.0	
			Lower	Toarcian			182.7 ± 0.7	
				Pliensbachian			190.8 ± 1.0	
				Sinemurian			199.3 ± 0.3	
			Hettangian	Hettangian			201.3 ± 0.2	
				Rhaetian			~ 208.5	
			Triassic	Upper	Norian			~ 227
					Carnian			~ 237
	Ladinian					~ 242		
	Middle	Anisian				247.2		
		Olenekian				251.2		
	Lower	Induan				252.17 ± 0.06		
		Changhsingian				254.14 ± 0.07		
	Paleozoic	Permian	Lopingian			259.8 ± 0.4		
			Wuchiapingian			265.1 ± 0.4		
			Guadalupian			268.8 ± 0.5		
			Wordian			272.3 ± 0.5		
			Roadian			283.5 ± 0.6		
		Carboniferous	Pennsylvanian	Cisuralian			290.1 ± 0.26	
				Kungurian			295.0 ± 0.18	
				Artinskian			298.9 ± 0.15	
				Sakmarian			303.7 ± 0.1	
				Asselian			307.0 ± 0.1	
	Mississippian	Upper	Gzhelian			303.7 ± 0.1		
Kasimovian					307.0 ± 0.1			
Moscovian					315.2 ± 0.2			
Bashkirian					323.2 ± 0.4			
Serpukhovian					330.9 ± 0.2			
Lower	Middle	Visean			346.7 ± 0.4			
		Tournaisian			358.9 ± 0.4			

Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)		
Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian			372.2 ± 1.6	
				Frasnian			382.7 ± 1.6	
			Middle	Givetian			387.7 ± 0.8	
				Eifelian			393.3 ± 1.2	
				Emsian			407.6 ± 2.6	
			Lower	Pragian			410.8 ± 2.8	
				Lochkovian			419.2 ± 3.2	
			Silurian	Upper	Pridoli			423.0 ± 2.3
					Ludlow			425.6 ± 0.9
					Gorstian			427.4 ± 0.5
					Homerian			430.5 ± 0.7
					Sheinwoodian			433.4 ± 0.8
					Llandovery			438.5 ± 1.1
					Telychian			440.8 ± 1.2
	Ordovician	Upper	Aeronian			443.8 ± 1.5		
			Rhuddanian			445.2 ± 1.4		
			Hirnantian			453.0 ± 0.7		
			Katian			458.4 ± 0.9		
			Sandbian			467.3 ± 1.1		
	Cambrian	Middle	Darriwilian			470.0 ± 1.4		
			Dapingian			477.7 ± 1.4		
			Floian			485.4 ± 1.9		
			Tremadocian			~ 489.5		
			Furongian			~ 494		
	Lower	Series 3	Stage 10			~ 497		
			Jiangshanian			~ 500.5		
			Paibian			~ 504.5		
			Guzhangian			~ 509		
			Drumian			~ 514		
	Terreneuvian	Series 2	Stage 5			~ 521		
Stage 4					~ 529			
Stage 3					~ 529			
Stage 2					~ 529			
Fortunian					541.0 ± 1.0			



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Numerical ages for all systems except Lower Pleistocene, Permian, Triassic, Cretaceous and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Lower Pleistocene, Permian, Triassic and Cretaceous were provided by the relevant ICS subcommissions.

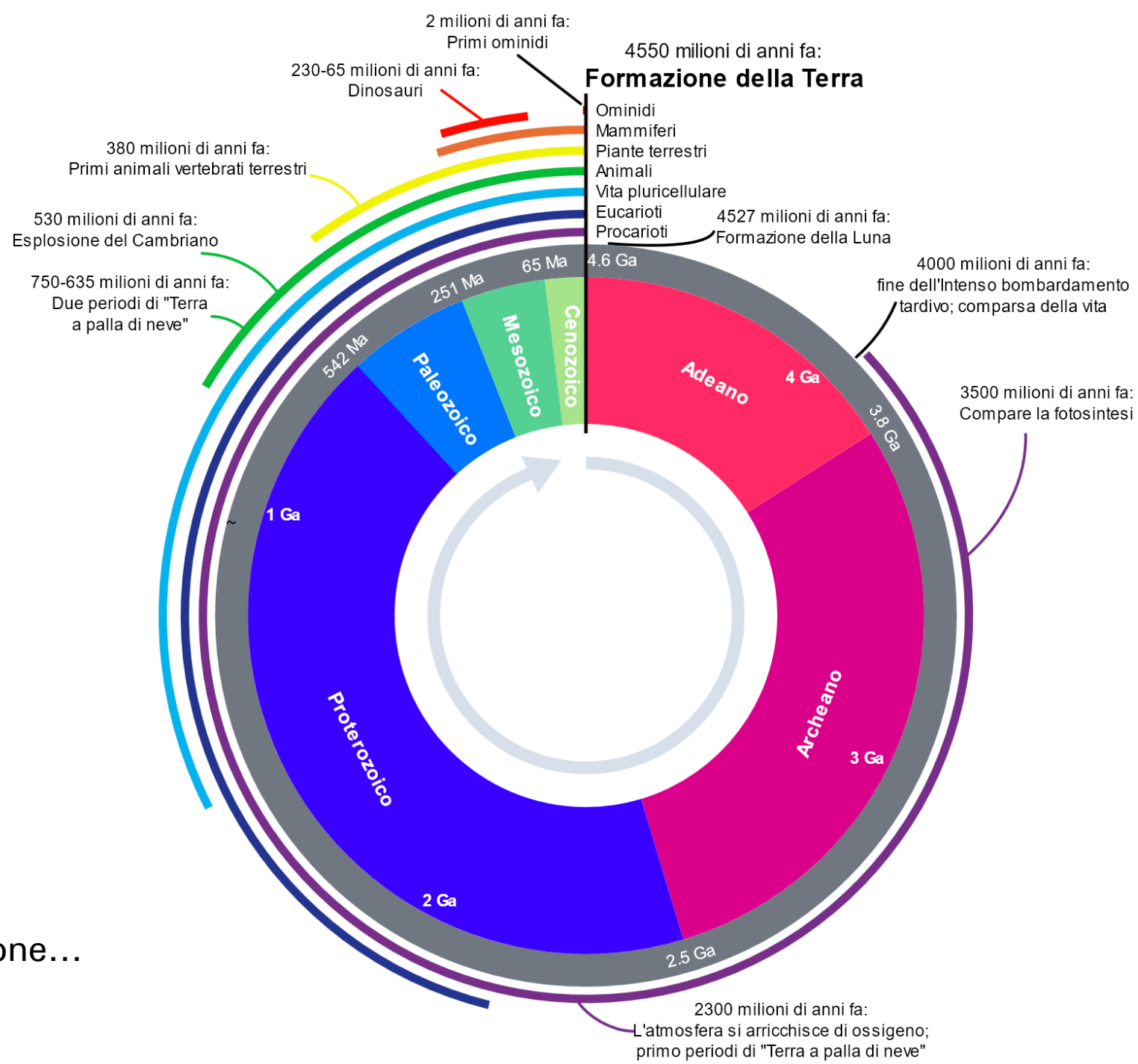
Coloring follows the Commission for the Geological Map of the World (<http://www.cgmw.org>)



Chart drafted by K.M. Cohen, S.C. Finney, P.L. Gibbard (c) International Commission on Stratigraphy, April 2016

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

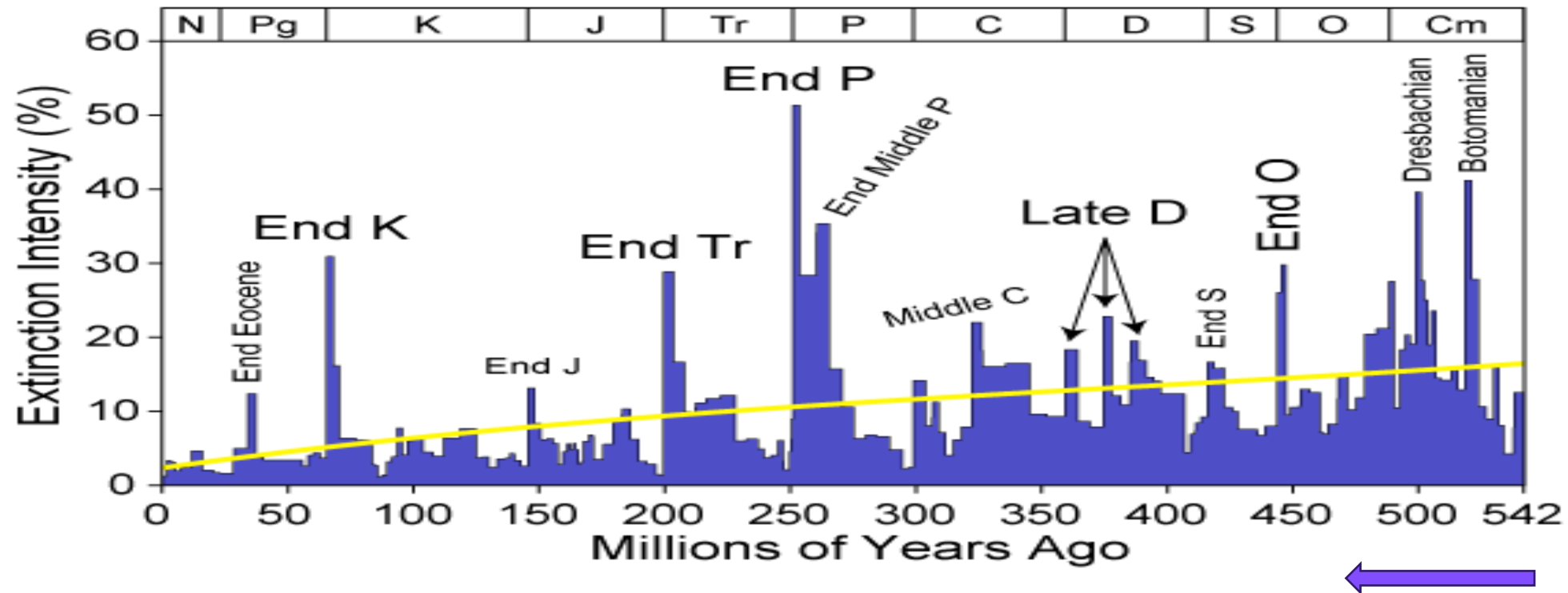
URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-04.pdf>



In proporzione...

ESTINZIONI IN MASSA

Marine Genus Biodiversity: Extinction Intensity



- Dragons flight, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1447588>

IL PRECAMBRIANO, QUESTO SCONOSCIUTO

Eone	Età	fenomeno
Adeano	0	Formazione della Terra
	0-50mln	Formazione della Luna
	50-100	Prima crosta di basalto
	100-200	Formazione degli oceani
	200-500	Prima crosta di granito
Archeano	500-1mld	Origini della vita
Proterozoico	1-2,7mld	Fotosintesi e grande evento ossidativo
	2,7-3,7	Rivoluzione minerale
	3,7-4	Palla di neve e riscaldamento globale
Fanerozoico	4-4,5 (oggi)	Sviluppo della biosfera

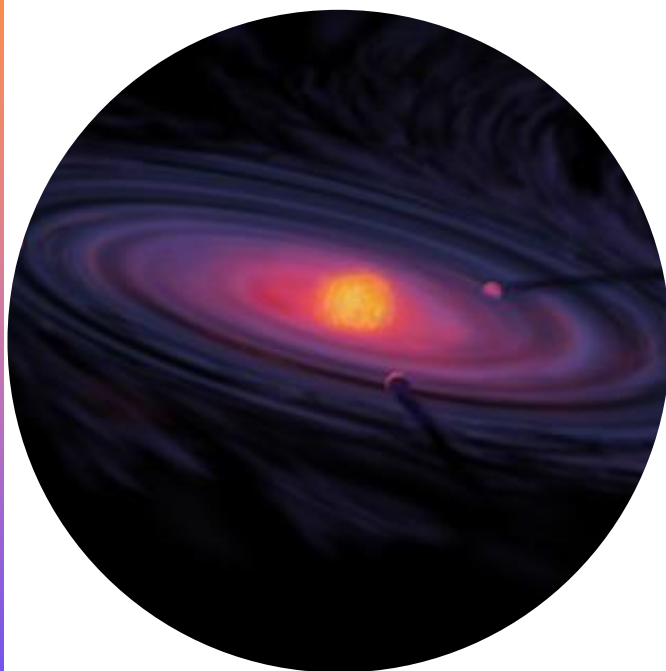
L'ANNO DELLA TERRA

- 1 gennaio = 4,5 miliardi di anni fa
- Prima settimana: la Terra si struttura in crosta, mantello e nucleo
- 13 gennaio: cristallizzazione dello zirconio delle Jack Hills
- 14 febbraio (3,5 mld)-Metà di marzo: primi organismi viventi
- 27 ottobre (700 mln/a): nascono i pluricellulari
- 18 novembre: comparsa degli organismi con guscio
- 22 novembre (439 mln/a): le piante sbarcano sulla terraferma
- 27 novembre (380 mln/a): sbarcano gli invertebrati
- 29 novembre (355 mln/a): primi anfibi (*Ichtyostega*)
- 5 dicembre: inizio evoluzione dei rettili
- 10 dicembre (225 mln/a): affermazione dei dinosauri
- 23 dicembre: prime piante con fiori
- 25 dicembre (65 mln/a): estinzione dei dinosauri
- 31 dicembre, ore 23,50 (80mila anni fa): *Homo sapiens sapiens*
- 3 secondi e mezzo prima della mezzanotte: Cristoforo Colombo approda in America





ANCORA PIÙ INDIETRO...NEL TEMPO



Il **Sole** è diventato «adulto», cioè è entrato nella Sequenza principale» **5 miliardi di anni fa**, evolvendosi da una nube molecolare di gas e polveri che conteneva già gli elementi chimici che si possono formare solo nelle stelle



Quindi, era esistita almeno un'altra generazione di stelle, che esplodendo ha reso disponibili quegli elementi



Perciò l'universo è ancora più antico, quindi entriamo nel **tempo cosmologico**

DALL'EVOLUZIONE STELLARE SAPPIAMO CHE...

Gli elementi chimici che conosciamo sono stati prodotti nelle stelle durante la loro vita

Le stelle da 0,8 ad 8 masse solari producono per fusione nucleare elio, azoto ed un po' di carbonio e vivono da parecchi miliardi di anni a 30 milioni

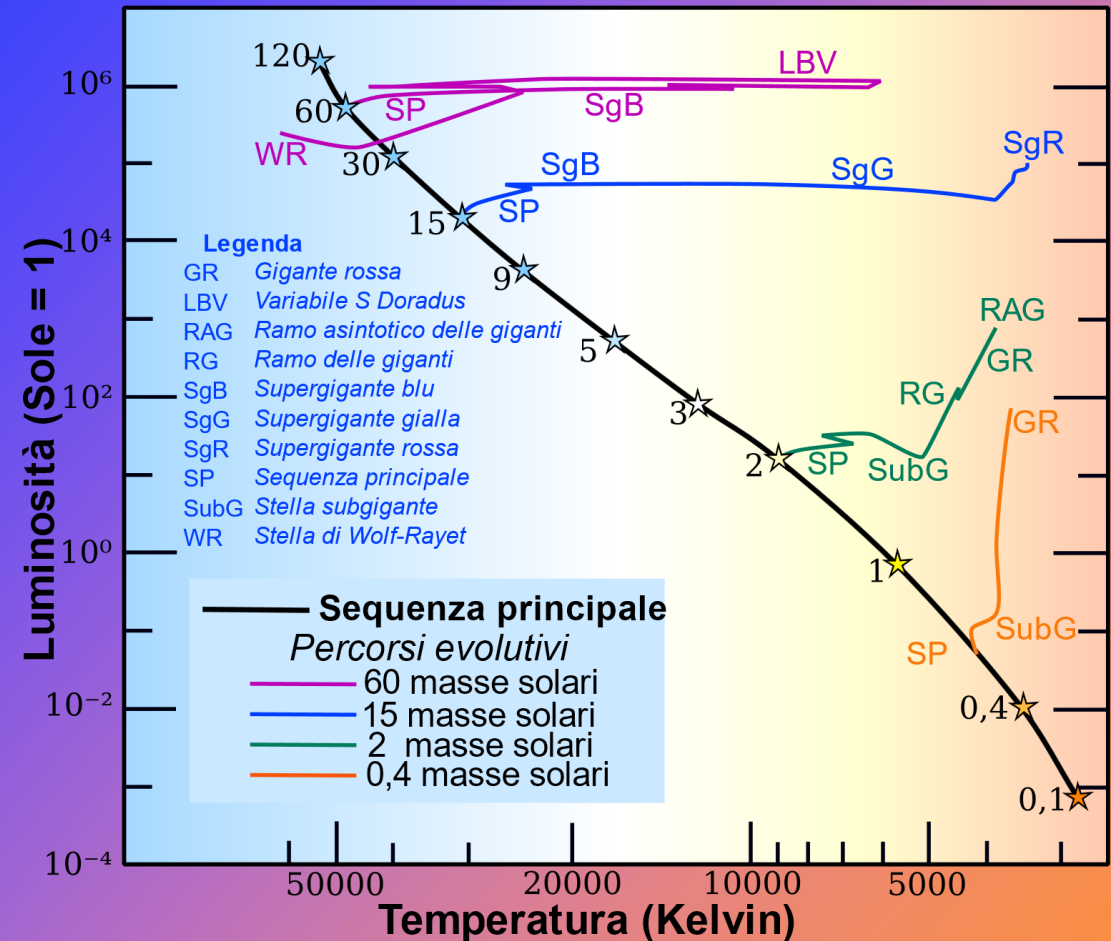
Stelle con massa maggiore di 8 masse solari fabbricano gli elementi fino al ferro

Gli elementi più pesanti sono stati generati nell'esplosione come supernove delle stelle di massa più grande, che vivono per meno di 30 milioni di anni

Si suppone che le prime stelle fossero di grande massa

Quante generazioni stellari ci sono state prima del Sole?

Che età hanno le galassie?



MASSE SOLARI	TEMPO DI VITA (ANNI)
60	3 milioni
30	11 milioni
10	32 milioni
3	370 milioni
1,5	3 miliardi
1	10 miliardi

PRIME IPOTESI SULL'EVOLUZIONE DELL'UNIVERSO

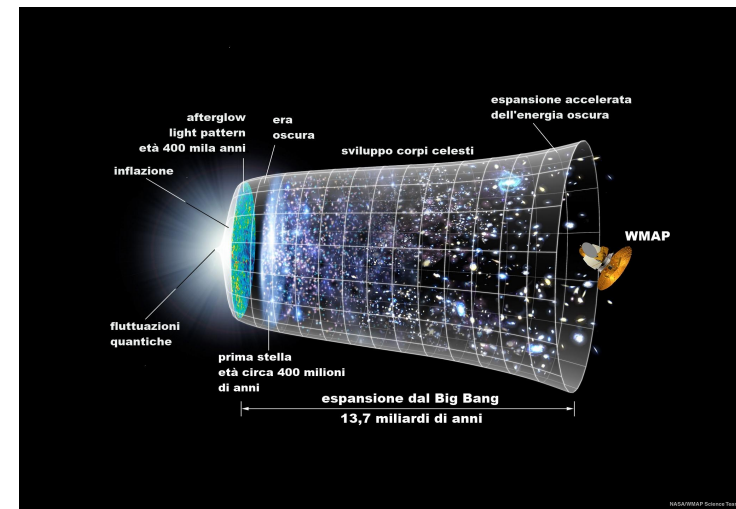
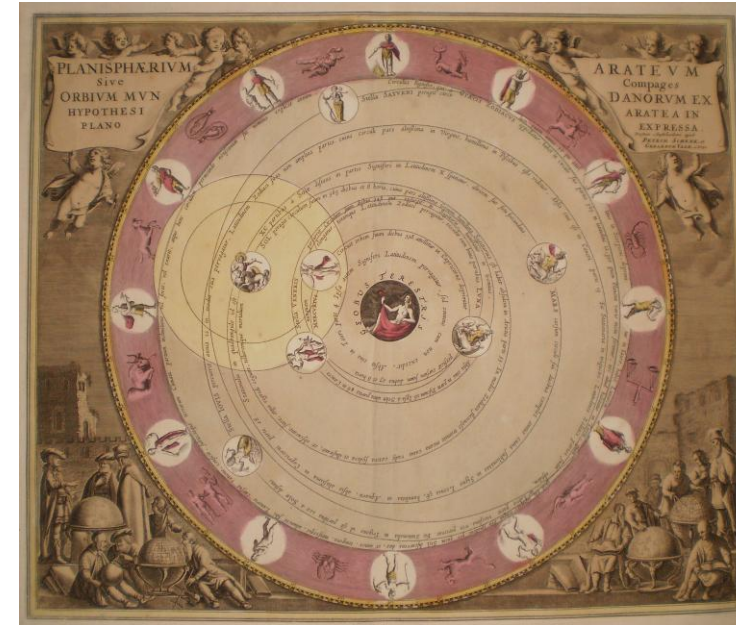


Universo statico: non si espande e non cambia

Universo chiuso: si espande poi la gravità prevale e si contrae di nuovo

Universo stazionario: sostenuta da Fred Hoyle, presuppone un universo che si espande, ma la densità rimane costante a causa della creazione di nuova materia

Universo aperto: si espande indefinitamente



GALASSIE IN FUGA

Le galassie mostrano uno spostamento degli spettri verso il rosso, interpretato a partire da Edwin Hubble come un allontanamento delle une dalle altre

Secondo la teoria della Relatività, è tutto il tessuto dello spazio-tempo che si dilata

Immaginando una velocità di espansione costante, avremo che:

$$V = H_0 d \text{ Legge di Hubble-Lemaitre}$$

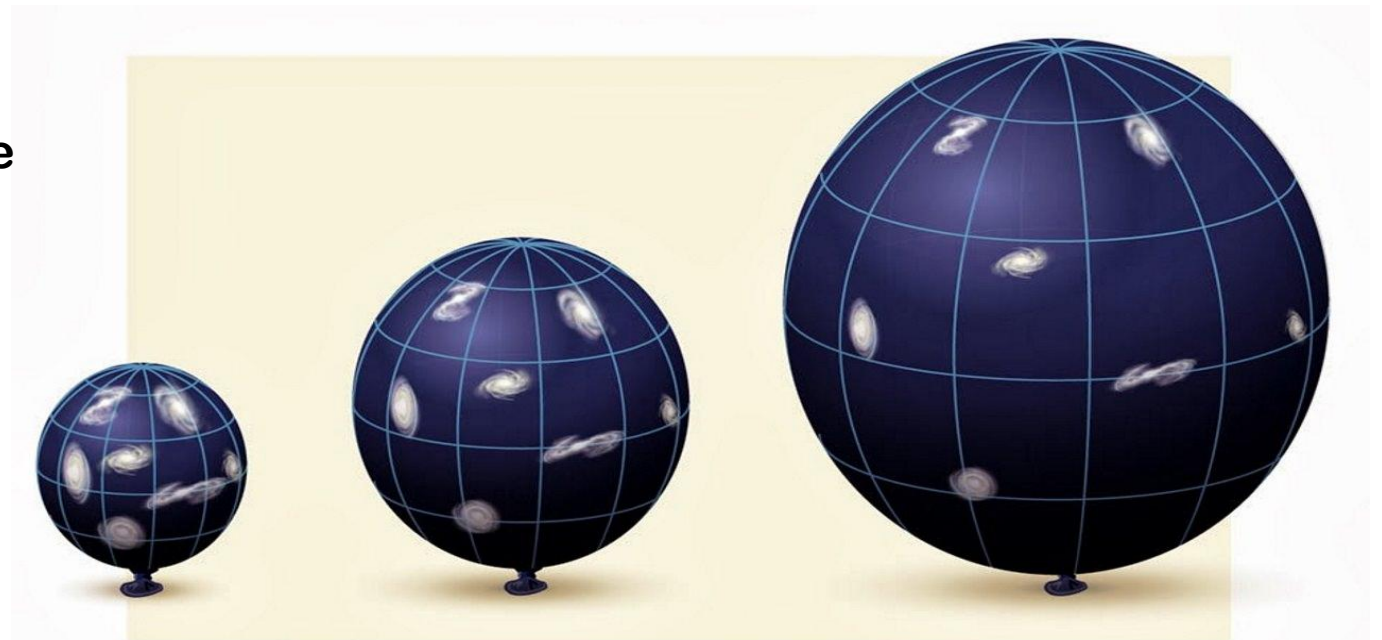
Dove

H_0 = costante di Hubble (70 Km/S/Mpc)

d = distanza tra le galassie

Siccome $V = S/t$, avremo che:

$$t_0 \sim 1/H_0$$



+

UNA PRIMA STIMA DELL'ETÀ DELL'UNIVERSO

La stima del tempo di espansione dipende dalla precisione nella determinazione di H_0

Procedendo indietro nel tempo ci sarà stato un istante iniziale nel quale $t_0=0$ e $d=0$

Le prime misure di Hubble e coll. stabilirono un'età di 2 miliardi di anni fa per t_0 : troppo poco, sarebbe un universo più giovane della Terra! C'era un errore nella valutazione delle cefeidi nelle galassie.

Una stima più precisa indicò un'età di 10 miliardi di anni

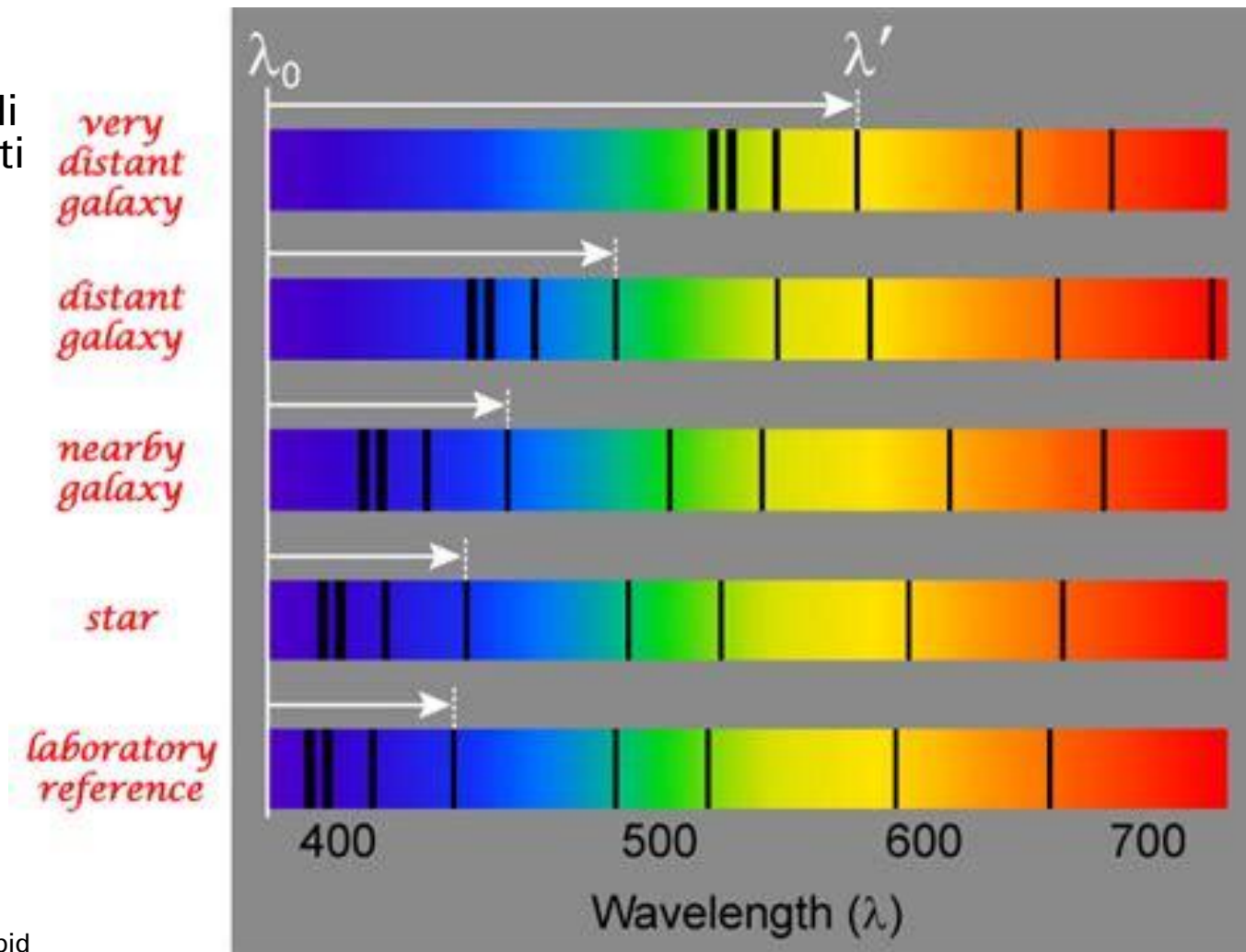
In realtà l'età dell'Universo non dipende solo da H_0 , ma anche dai parametri di densità, che quantificano i contributi di radiazione, materia ordinaria e oscura, energia oscura.

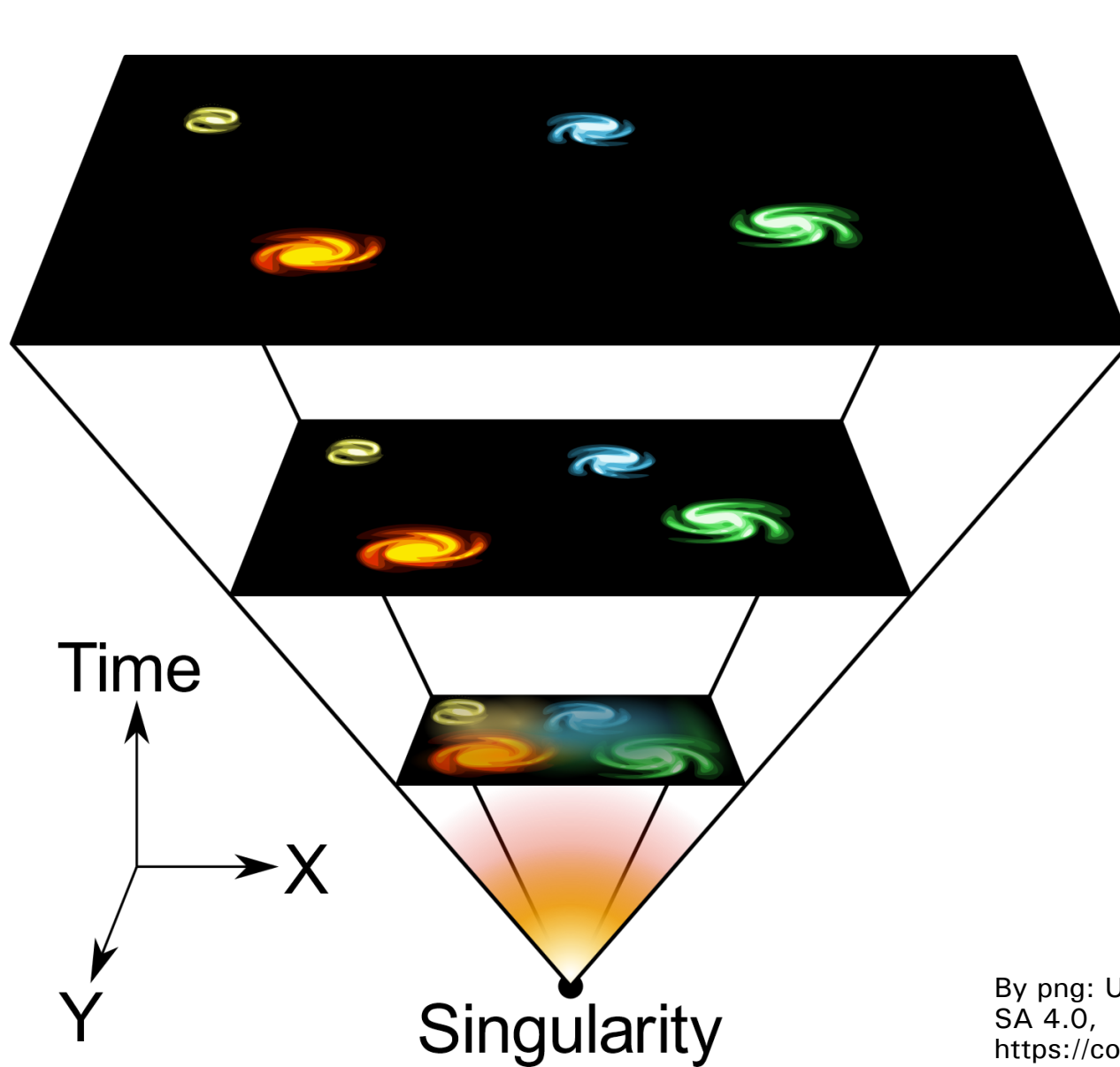
UNIVERSO IN ESPANSIONE



Espansione (Big bang) da uno stato iniziale di temperatura e densità tendenti a valori infiniti e dimensione tendente a 0, chiamato **singolarità**, non descrivibile dalle leggi ordinarie della fisica

Descritto per la prima volta da Georges Lemaître Aleksandr Friedman ed Edwin Hubble, ha trovato conferma con la misura dello **spostamento verso il rosso delle righe spettrali** delle galassie, tanto più accentuato quanto esse sono distanti da noi





By png: User:Fredrik; vectorized:Waterced - Opus proprium, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=70283721>

UN PARAGONE... G-ASTRONOMICO



Possiamo paragonare l'**Universo in espansione** ad un ... panettone che lievita

I canditi rappresentano le galassie, la pasta è il tessuto tridimensionale dello spazio-tempo

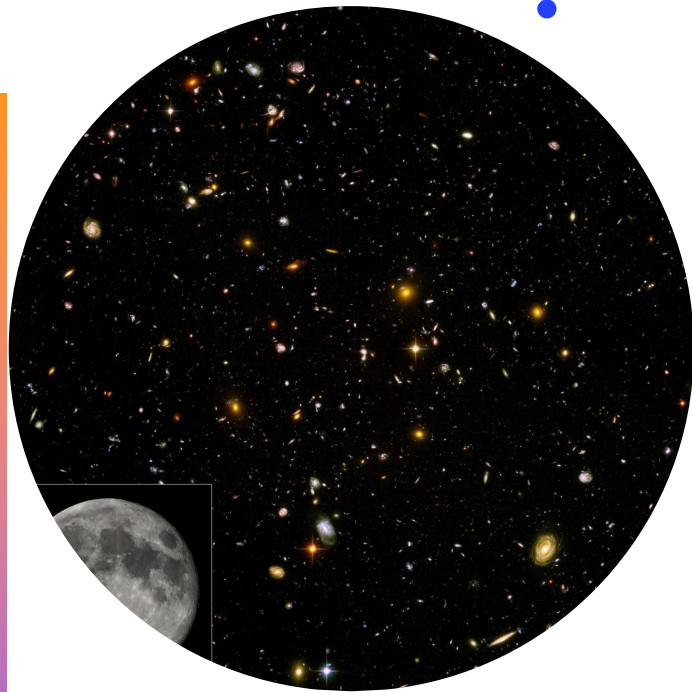
Quando la pasta lievita, trascina le galassie-canditi nella sua espansione



Crediti: Andreas Kaiser (Anka), Neu-Ulm Pfuhl, Germania







LUCI LONTANE

Le galassie più lontane osservabili sono a circa 13 miliardi di anni luce

È stata scoperta negli anni '60 una **radiazione cosmica di fondo** a microonde che proviene da tutte le direzioni e corrisponde ad una temperatura di $2,7^{\circ}\text{K}$ (circa -270°C)

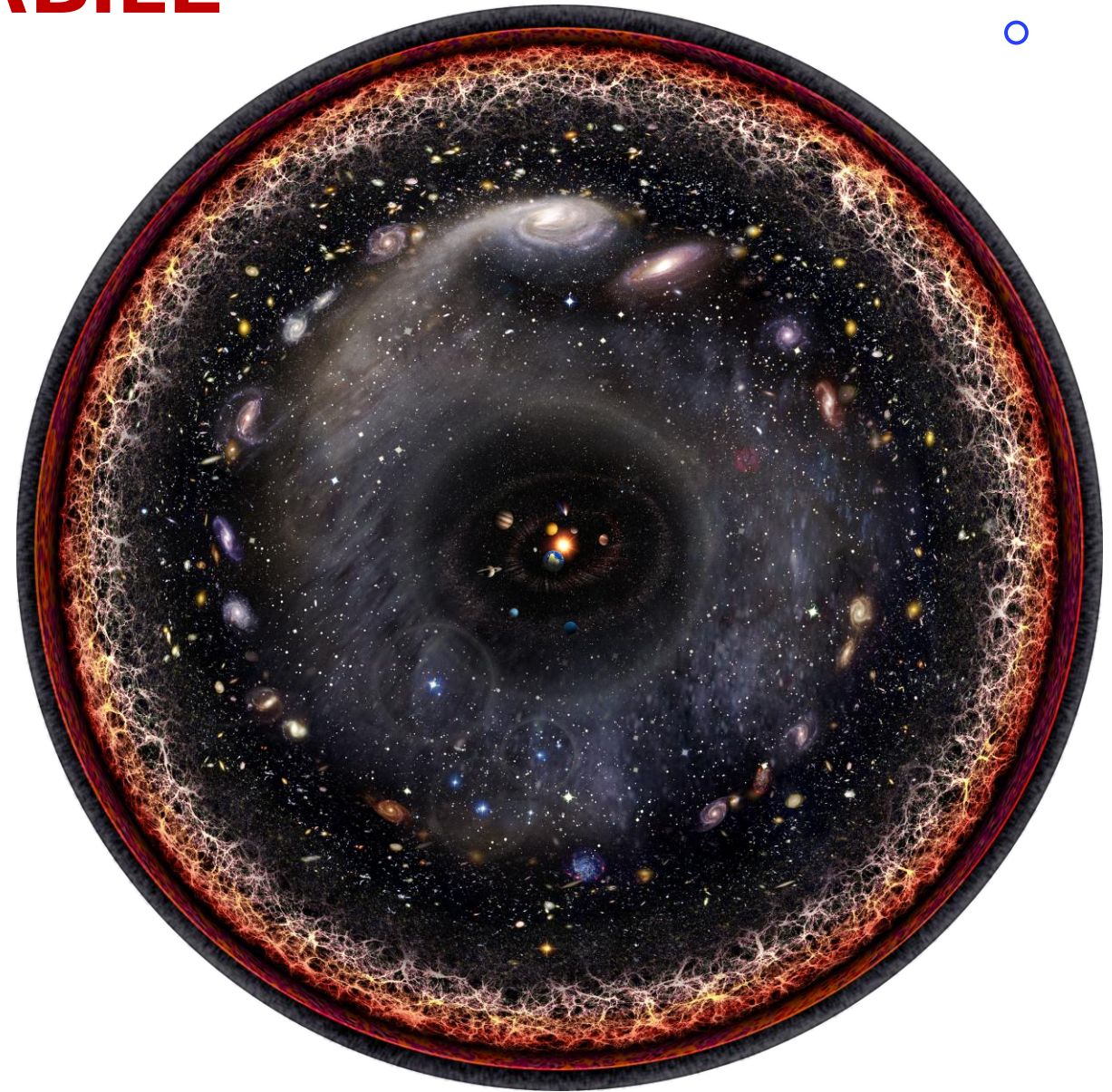
Questa scoperta è considerata la prova fondamentale dell'**espansione dell'universo**

Questa radiazione è stata infatti interpretata come il residuo dei fotoni di alta energia presenti nell'universo primordiale

Con l'espansione dello spazio, l'universo primordiale si è raffreddato, la densità è diminuita e la lunghezza d'onda della luce si è allungata (**red-shift cosmologico**)

L'UNIVERSO OSSERVABILE

Rappresentazione in scala logaritmica di come appare l'universo ad un osservatore posto in un qualunque punto di esso.



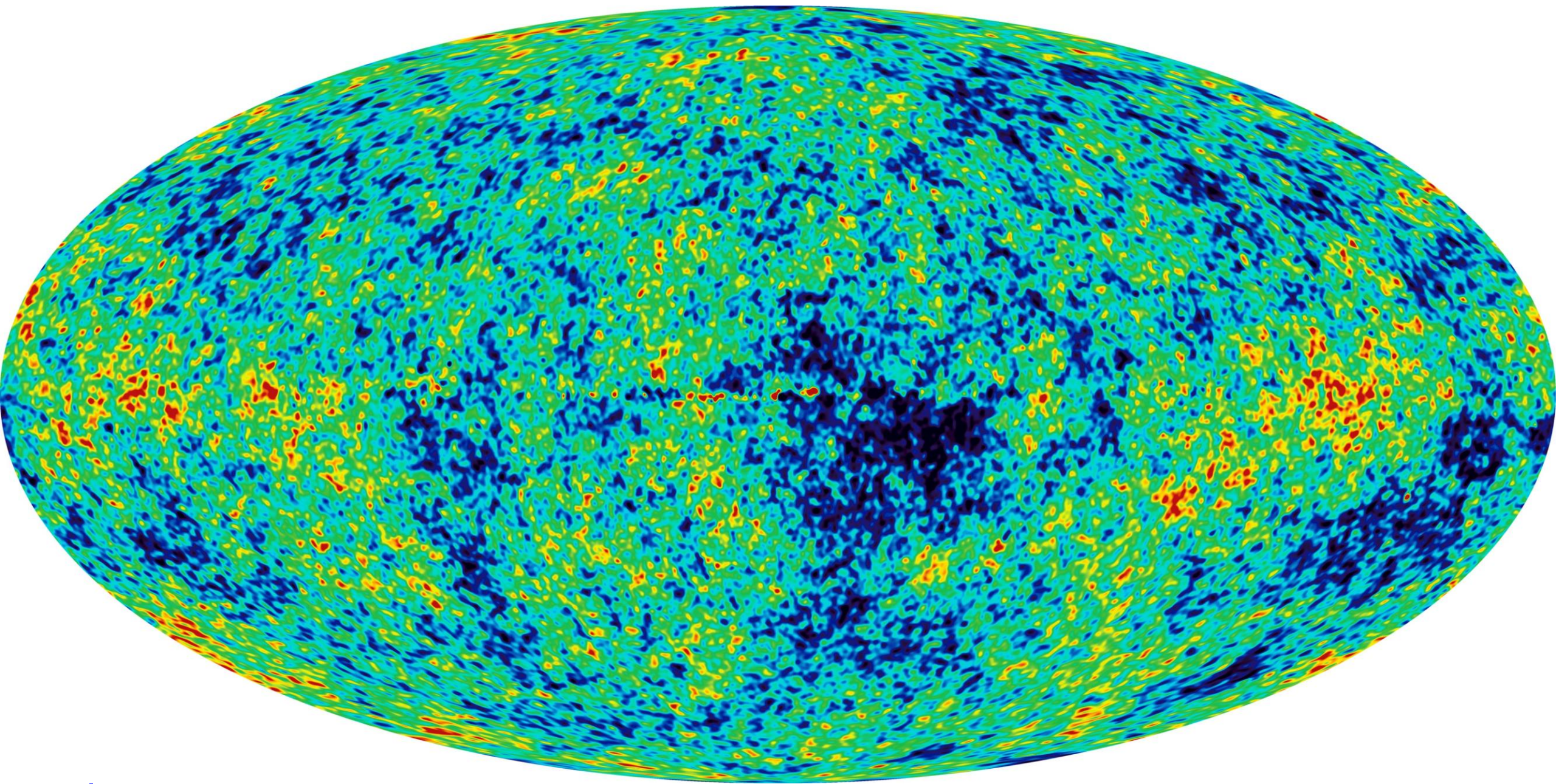
Di Unmismoobiettivo - Opera propria, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26788359>
Di Unmismoobiettivo - Opera propria, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26788359>

...E IL TEMPO?

- Sulla base di queste teorie ed osservazioni, si è costruito un modello che descrive la nascita e l'evoluzione dell'Universo. La sua storia è suddivisa in diverse epoche, di durata diversissima tra di loro.
- **Istante 0: Big Bang**
- **Fino a 5×10^{-43} secondi**: era di Planck: tutte le forze erano unificate, un unico tipo di particelle elementari
- **10^{-35} secondi** dopo l'istante iniziale: le forze forti diventano distinte, fase di **inflazione**, al termine plasma di quark e particelle elementari di materia ed antimateria. **Con l'espansione, la temperatura e l'energia delle particelle diminuisce**
- **10^{-6} secondi** dopo: si formano **protoni e neutroni**
- **1-180 sec**: $p+n \longrightarrow D$
- **3-12 minuti** dopo l'istante iniziale, quando la temperatura era all'incirca 10^9 K (un miliardo di gradi kelvin) e la densità paragonabile a quella dell'aria, i neutroni si combinarono con i protoni, formando i primi **nuclei** di idrogeno ed elio

TEMPI ANTICHISSIMI

- 380mila anni dopo il big bang, la temperatura era di 3000°K
- Da 380mila a 200milioni di anni Elettroni e nuclei si combinano e formano **atomi** neutri e l'universo diventa trasparente alla luce, che si può propagare liberamente: è l'inizio della radiazione cosmica di fondo
- *A quell'epoca, i fotoni erano molto energetici ed avevano una lunghezza d'onda di circa 1 micrometro (milionesimo di metro o millesimo di millimetro), ma l'espansione ed il raffreddamento l'hanno allungata di circa 1000 volte, portandola a circa 1 millimetro, appunto nel campo delle microonde. La loro energia è così diminuita fino a raggiungere la temperatura attuale di 3°K*
- Sono state misurate piccolissime variazioni nel fondo a microonde, forse dovute a variazioni di densità che avrebbero portato alle prime aggregazioni di materia

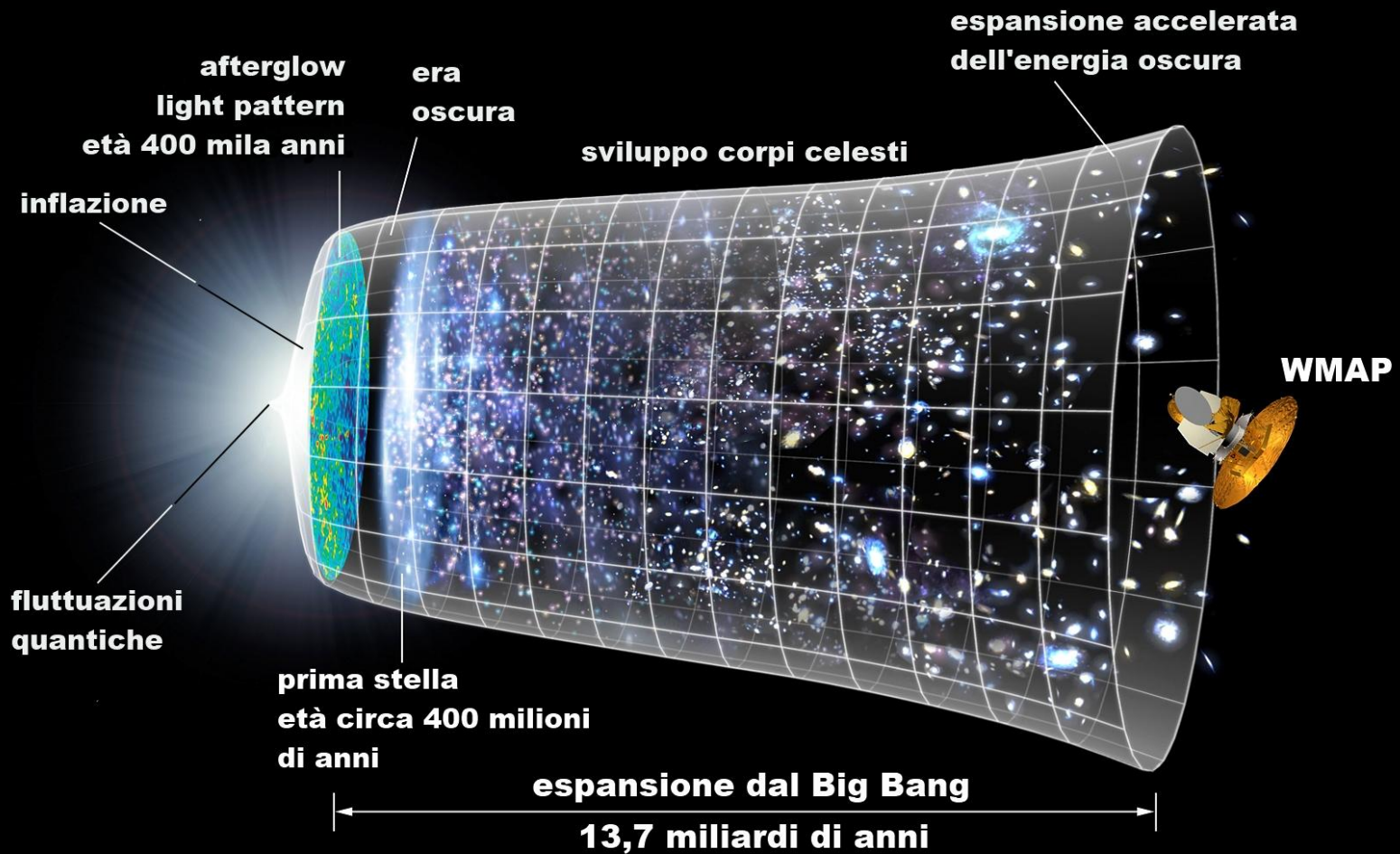


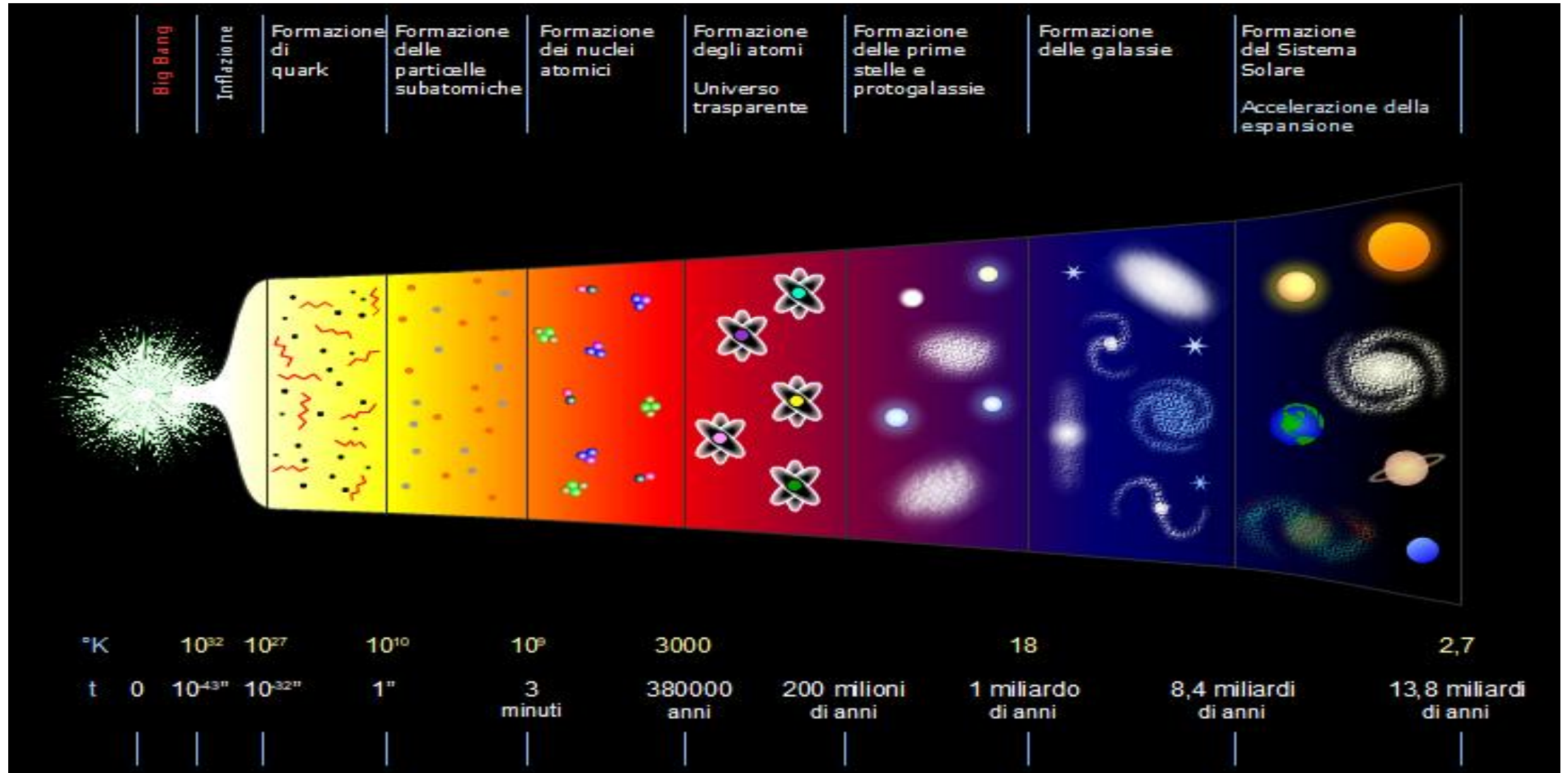
TEMPI «RECENTI»

- Da 200 milioni a 1 miliardo di anni dal Big bang formazione delle prime stelle e protogalassie
- Da 1 miliardo a 8,4 miliardi formazione delle galassie
- Da 8,4 miliardi a 13,8 miliardi formazione del sistema solare

Perciò l'universo avrebbe

13,8 miliardi di anni





E IL FUTURO?

Osservando supernove in galassie lontane, nel 1998 Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt e Adam Riess notarono che l'espansione dell'Universo sta **accelerando**. Per spiegare questo fenomeno è stata ipotizzata una forma di energia chiamata **energia oscura**, che avrebbe cominciato a prevalere sulla gravità circa 4 miliardi di anni fa.

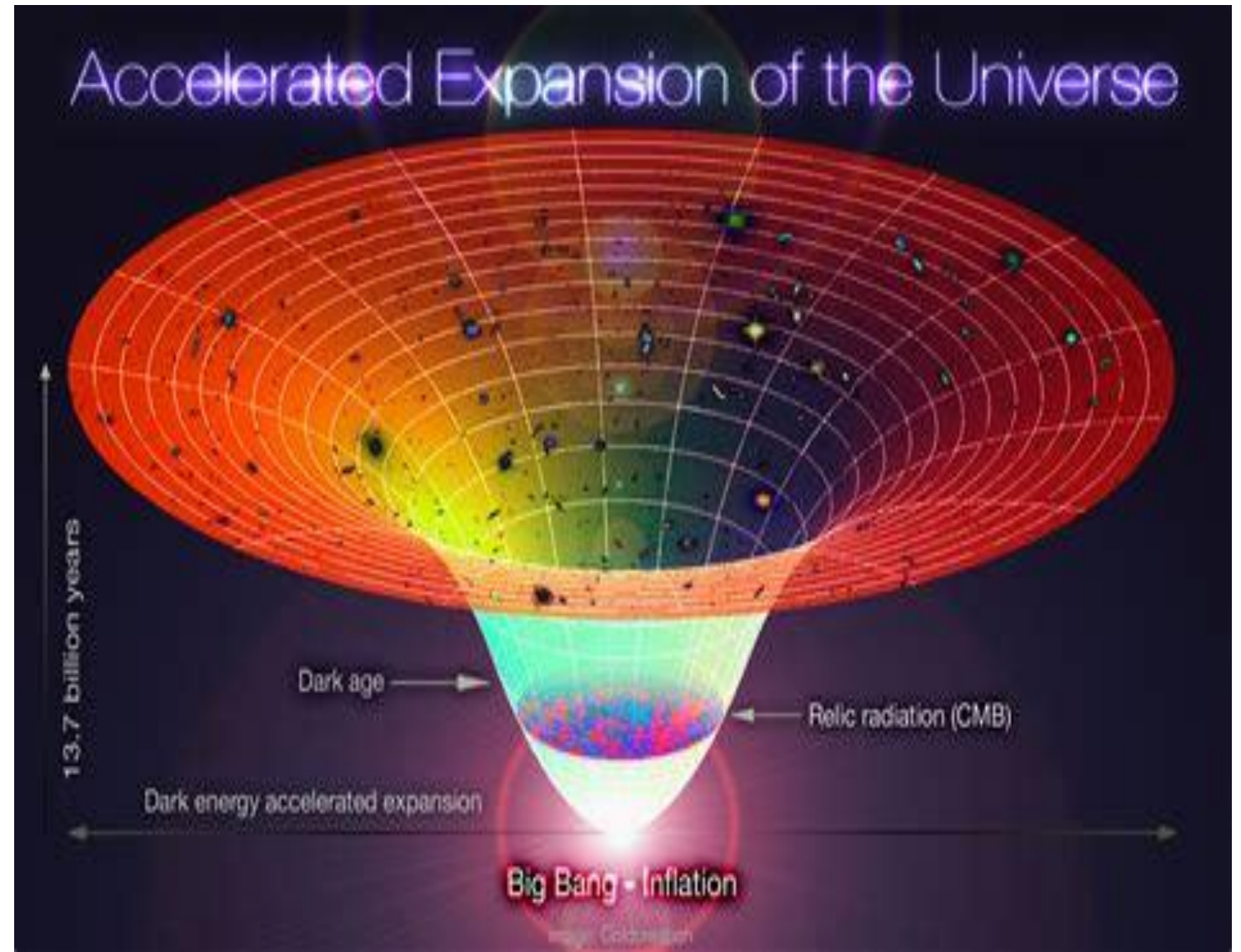
Ma allora, l'Universo quale destino avrà?

Si raffredderà?

Diventerà buio?

Ai posteri l'ardua sentenza!

(A. Manzoni)



LETTURE CONSULTATE

- R. M. Hazen – Breve storia della Terra – Milano: il Saggiatore, 2017
- J. P. Grotzinger, T. H. Jordan – Capire la Terra – Bologna, Zanichelli, 2016
- G. Bellini, M. Bersanelli, E. Bonatti - Dai quark alle galassie – Milano: Hoepli, 2022
- S. Weinberg – I primi tre minuti – Novara: Mondadori-De Agostini, 1994
- Piero e Alberto Angela – La straordinaria storia della vita sulla Terra
- M. Hack – L'universo nel terzo millennio – Milano: BUR, 2017

SITI CONSULTATI

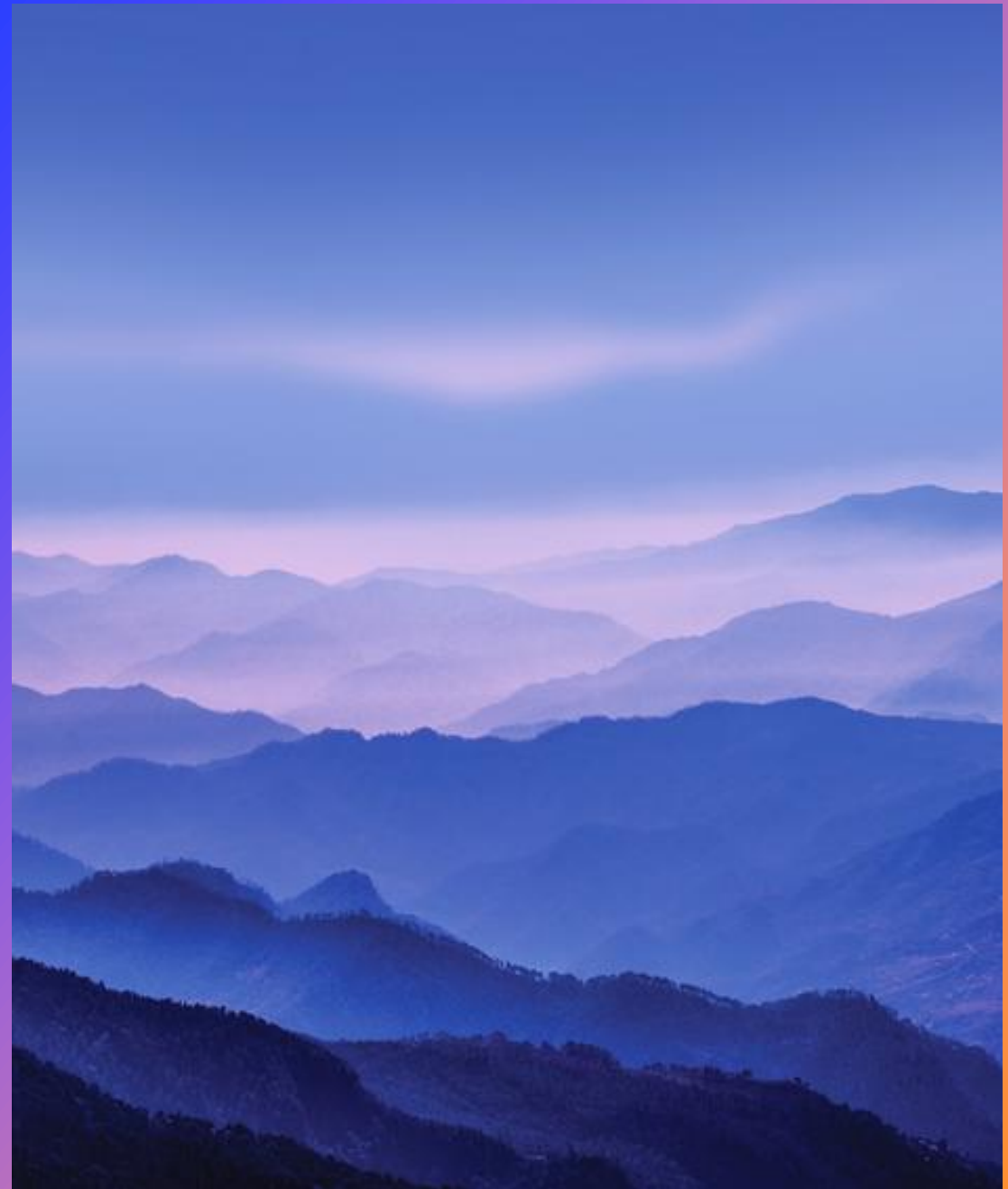
<https://ingvambiente.com/2020/03/31/eta-della-terra/>

<https://know.net/ciencterravida/geologia/datacao-radiometrica/>

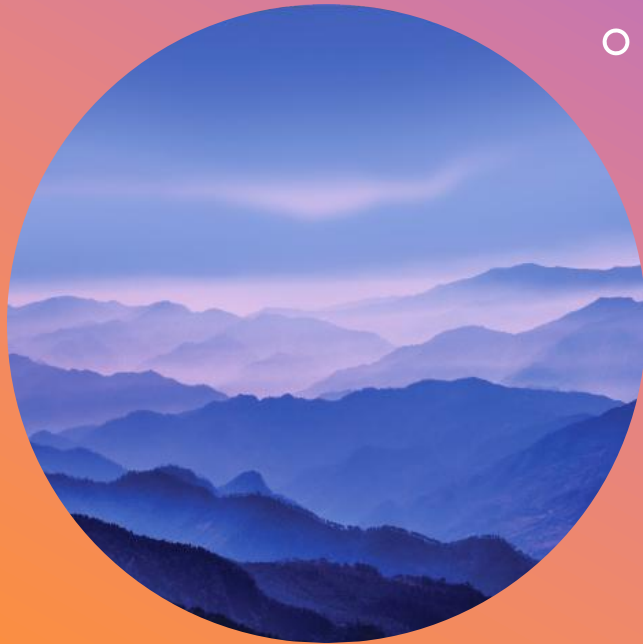
[Tempo astronomico, astrofisico e cosmologico \(2019\)](#) di Sandro Bardelli su www.astrofilirubicone.it

www.nasa.gov

Voci su Wikipedia



GRAZIE



x

•

o