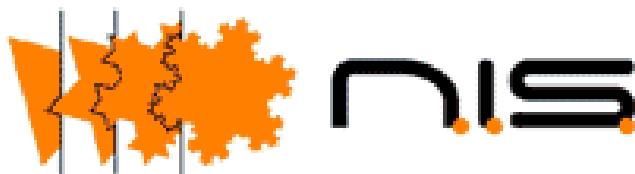




Ipotesi chimica sull'origine della vita: dal Big Bang alla comparsa dei primi organismi viventi

Piero Ugliengo

**Università di Torino
Dip. Chimica IFM**



Nanostructured Interfaces and Surfaces
Centre of Excellence

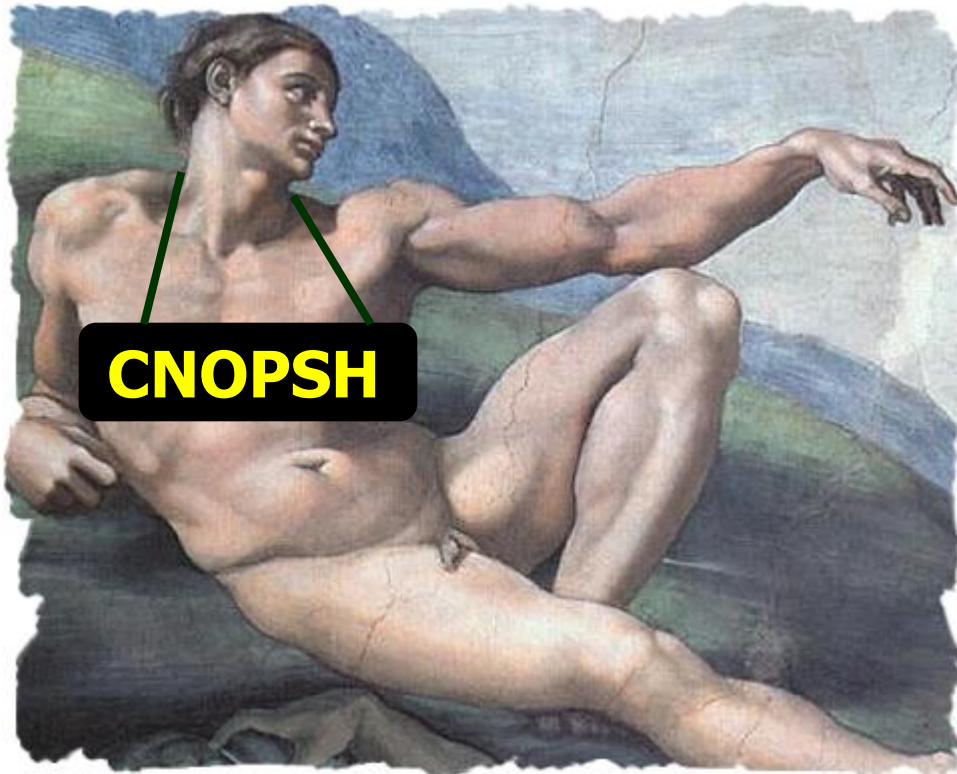


Alcune domande fondamentali

- **Da dove abbiamo avuto origine?**
- **Come è sorta la vita?**
- **Quanto è antica la vita?**
- **Si può sintetizzare una cellula?**

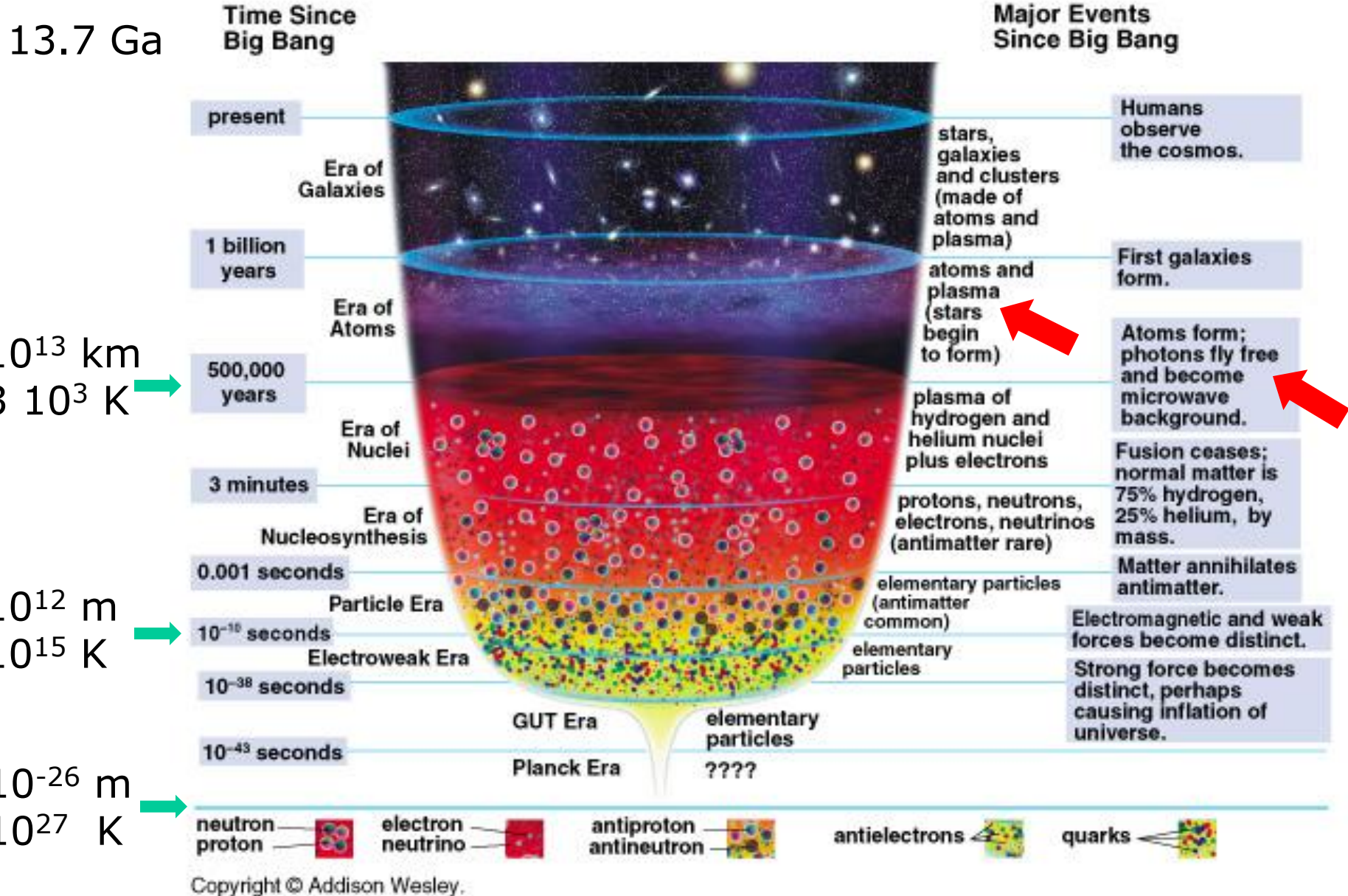
Sono domande troppo grandi per la scienza?

Caratteri comuni agli organismi



Il **98%** della massa di un organismo è costituita da **C, N, O, P, S** e **H**. Una spolverata di K, Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Si e Cl è però necessaria perché tutto funzioni

Origine dell'universo: il Big Bang



La tabella periodica degli elementi

All'inizio solo H



Dmitrij Mendelejev

All inizio solo H																																Alla fine solo He					
hydrogen 1 H 1.0079		beryllium 4 Be 9.0122				scandium 21 Sc 44.956		titanium 22 Ti 47.867		vanadium 23 V 50.942		chromium 24 Cr 51.996		manganese 25 Mn 54.938		iron 26 Fe 55.845		cobalt 27 Co 58.933		nickel 28 Ni 58.693		copper 29 Cu 63.546		zinc 30 Zn 65.39		boron 5 B 10.811		carbon 6 C 12.011		nitrogen 7 N 14.007		oxygen 8 O 15.999		fluorine 9 F 18.998		helium 2 He 4.0026	
sodium 11 Na 22.990		magnesium 12 Mg 24.305				yttrium 39 Y 88.906		zirconium 40 Zr 91.224		niobium 41 Nb 92.906		molybdenum 42 Mo 95.94		technetium 43 Tc [98]		ruthenium 44 Ru 101.07		rhodium 45 Rh 102.91		palladium 46 Pd 106.42		silver 47 Ag 107.87		cadmium 48 Cd 112.41		aluminium 13 Al 26.982		silicon 14 Si 28.086		phosphorus 15 P 30.974		sulfur 16 S 32.065		chlorine 17 Cl 35.453		argon 18 Ar 39.948	
potassium 19 K 39.098		calcium 20 Ca 40.078				lutetium 71 Lu 174.97		hafnium 72 Hf 178.49		tantalum 73 Ta 180.95		tungsten 74 W 183.84		rhenium 75 Re 186.21		osmium 76 Os 190.23		iridium 77 Ir 192.22		platinum 78 Pt 195.08		gold 79 Au 196.97		mercury 80 Hg 200.59		gallium 31 Ga 69.723		germanium 32 Ge 72.61		arsenic 33 As 74.922		selenium 34 Se 78.96		bromine 35 Br 79.904		krypton 36 Kr 83.80	
rubidium 37 Rb 85.468		strontium 38 Sr 87.62		57-70 ★		lawrencium 103 Lr [262]		rutherfordium 104 Rf [261]		dubnium 105 Db [262]		seaborgium 106 Sg [266]		bohrium 107 Bh [264]		hassium 108 Hs [269]		meitnerium 109 Mt [268]		ununillium 110 Uun [271]		unununium 111 Uuu [272]		ununbium 112 Uub [277]		indium 49 In 114.82		tin 50 Sn 118.71		antimony 51 Sb 121.76		tellurium 52 Te 127.60		iodine 53 I 126.90		xenon 54 Xe 131.29	
caesium 55 Cs 132.91		barium 56 Ba 137.33				francium 87 Fr [223]		radium 88 Ra [226]		89-102 ★ ★																thallium 81 Tl 204.38		lead 82 Pb 207.2		bismuth 83 Bi 208.98		polonium 84 Po [209]		astatine 85 At [210]		radon 86 Rn [222]	

*Lanthanide series

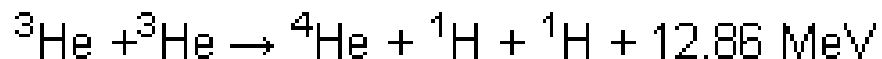
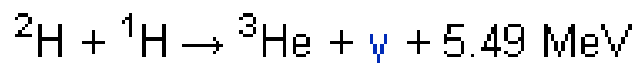
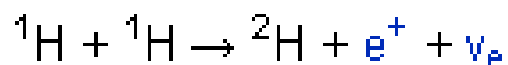
* * Actinide series

lanthanum 57	cerium 58	praseodymium 59	neodymium 60	promethium 61	samarium 62	euprium 63	gadolinium 64	terbium 65	dysprosium 66	holmium 67	erbium 68	thulium 69	ytterbium 70
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
138.91	140.12	140.91	144.24	[145]	150.36	151.96	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04
actinium 89	thorium 90	protactinium 91	uranium 92	neptunium 93	plutonium 94	americium 95	curium 96	berkelium 97	californium 98	einsteinium 99	fermium 100	mendelevium 101	nobelium 102
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
[227]	232.04	231.04	238.03	[237]	[244]	[243]	[247]	[247]	[251]	[252]	[257]	[258]	[259]

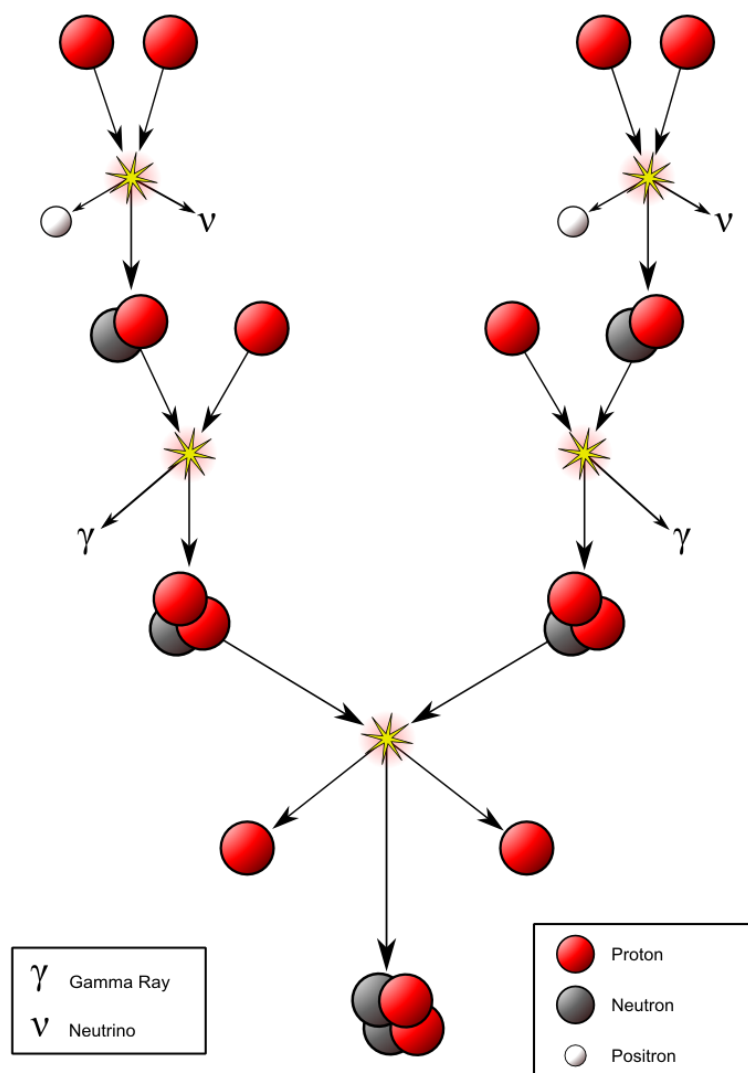
Le stelle: fucine di elementi chimici

A causa della attrazione gravitazionale la nebula fatta da H si contrae e si riscalda. La temperatura sale a 20 MK

Reazione pp

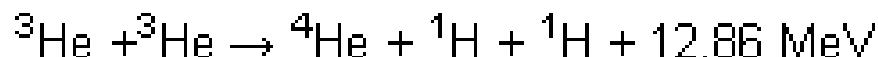
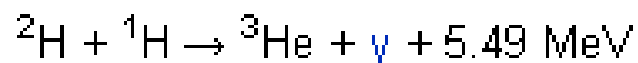
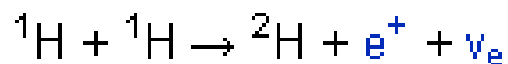


1 p si converte in 10^{10} anni. La temperatura è 10-14 MK. Difetto di massa

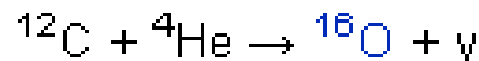
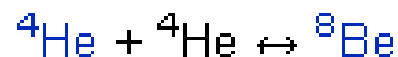


Le stelle: fucine di elementi chimici

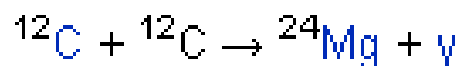
Reazione pp 15 мк



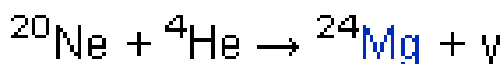
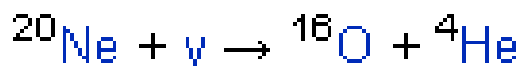
Reazione triplo- α 20 мк



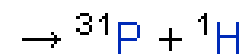
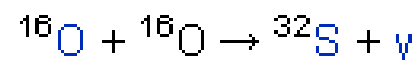
Fusione C 600 мк



Fusione Ne



Fusione O 1500 мк



Fusione di Si 3000 мк



Elementi chimici formatisi nelle giganti rosse

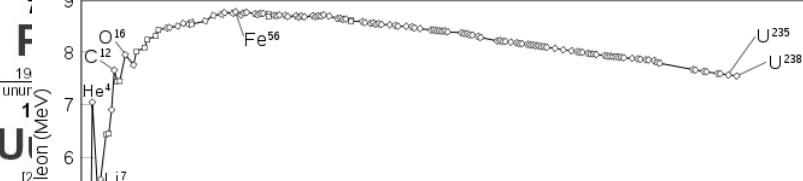


Dmitrij Mendelejev

hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026						
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122																	boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305																	aluminium 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078	scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.39	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.80						
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62	yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.94	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	palladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29						
caesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	lanthanum 57-70 ★	lutetium 71 Lu 174.97	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]					
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	actinium 89-102 ★ ★	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	darmstadtium 110 Ds [271]	roentgenium 111 Rg [272]	copernicium 112 Cn [285]	nihonium 113 Nh [284]	flerovium 114 Fl [289]	tennessine 115 Ts [289]	oganesson 116 Og [294]							



Dmitrij Mendelejev

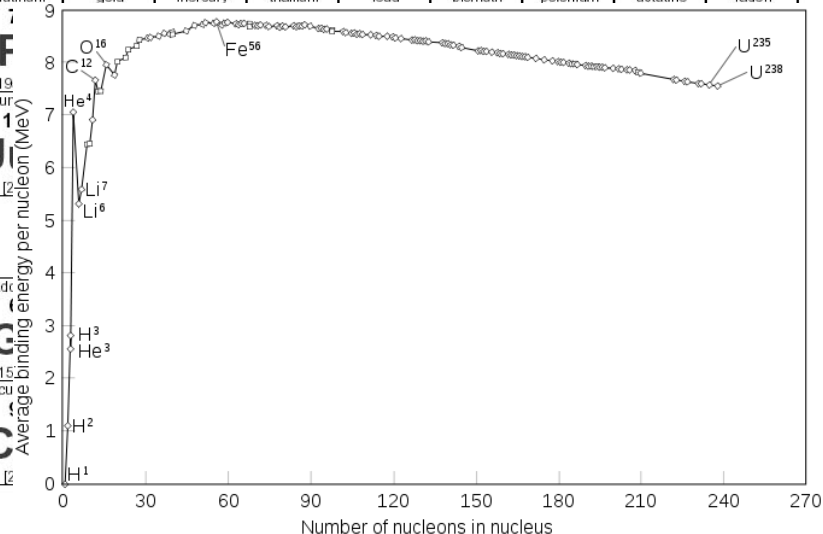


Graph showing the energy of alpha particles (MeV) versus atomic number (Z) for various isotopes. The curve illustrates the decay chain of U-238, showing the energy of alpha particles emitted during the decay process. Key points include He-4 (Z=2, E=0), He-3 (Z=2, E=0.02 MeV), and Fe-56 (Z=26, E=1.0 MeV).

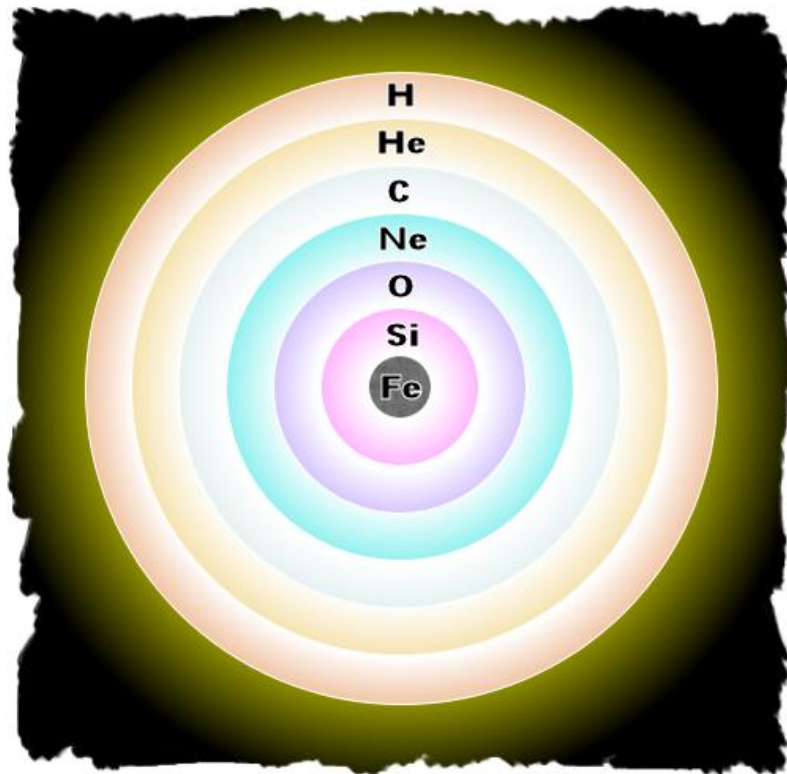
* Lanthanide series

** Actinide series

lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]

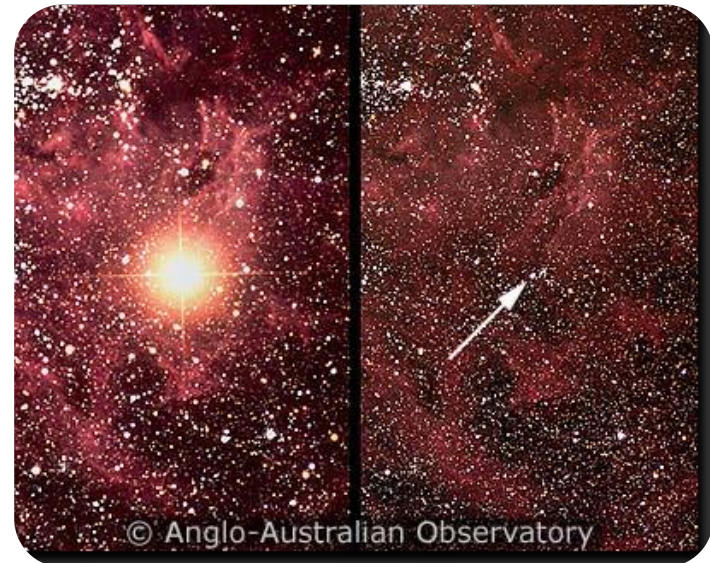


La struttura a cipolla delle giganti rosse (15 Ms)



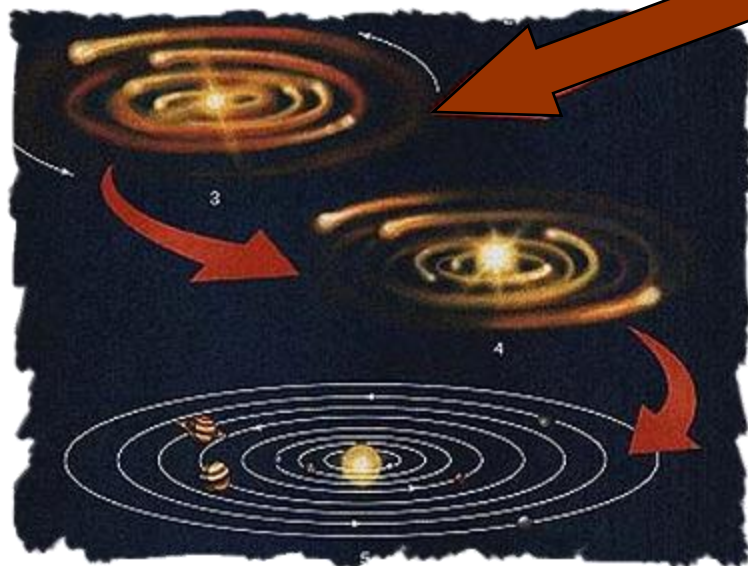
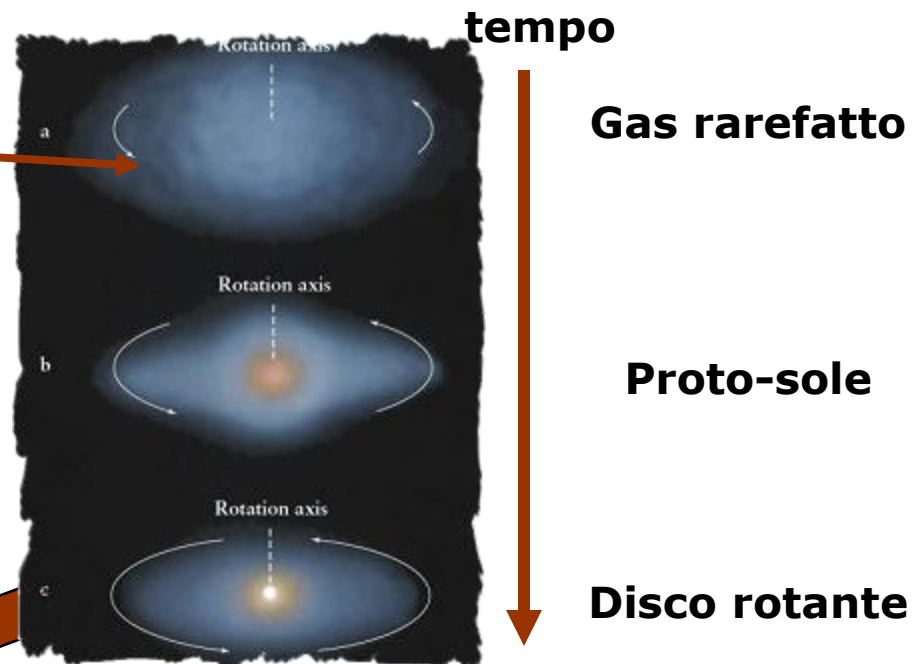
<i>Reazione</i>	<i>Tempo</i>
Idrogeno (H)	10 Ma
Elio (He)	1 Ma
Carbonio (C)	300 anni
Ossigeno (O)	200 giorni
Silicio (Si)	2 giorni

Supernova 1987A



L'esplosione delle supernove "insemina" l'universo di elementi chimici in forma di nubi di polvere. Si completa la tavola periodica degli elementi

Dalla polvere stellare al sistema solare

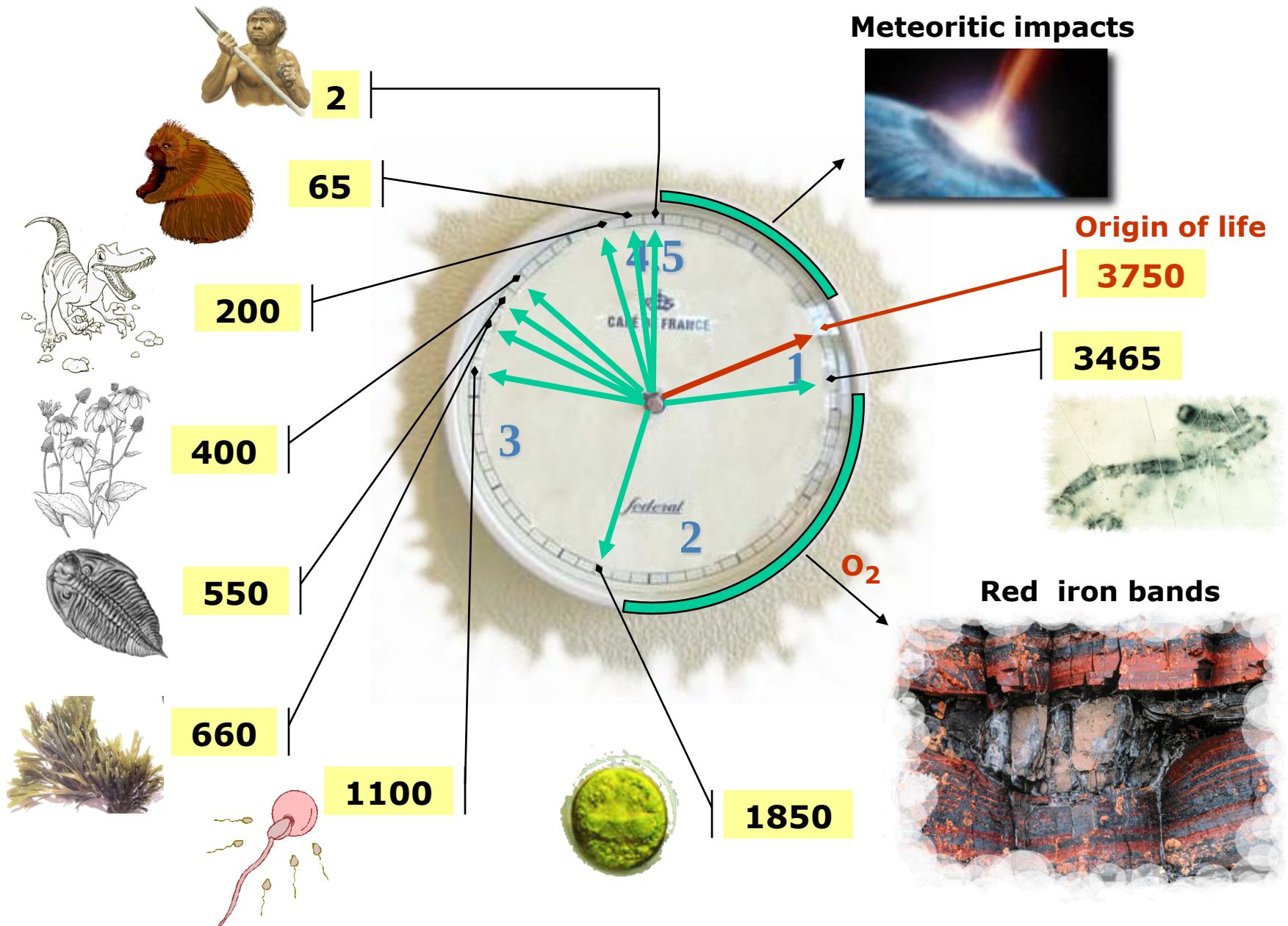


Dalla polvere stellare + H & He per attrazione gravitazionale e formazione di planetesimi si arriva al Sole e i suoi pianeti

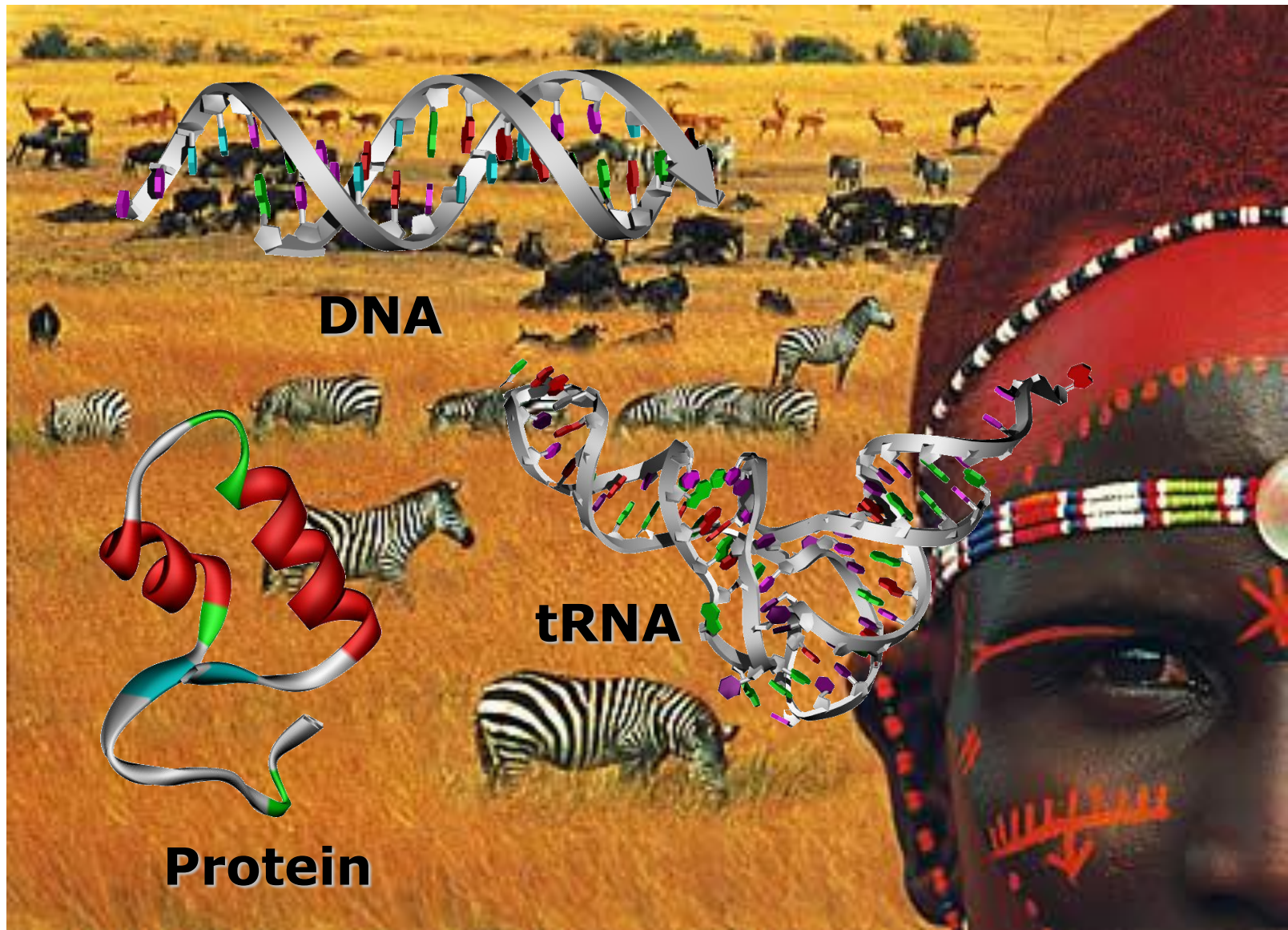
La Terra è vecchia di $\approx$ **4.5 Ga**

E la vita quanto è vecchia?

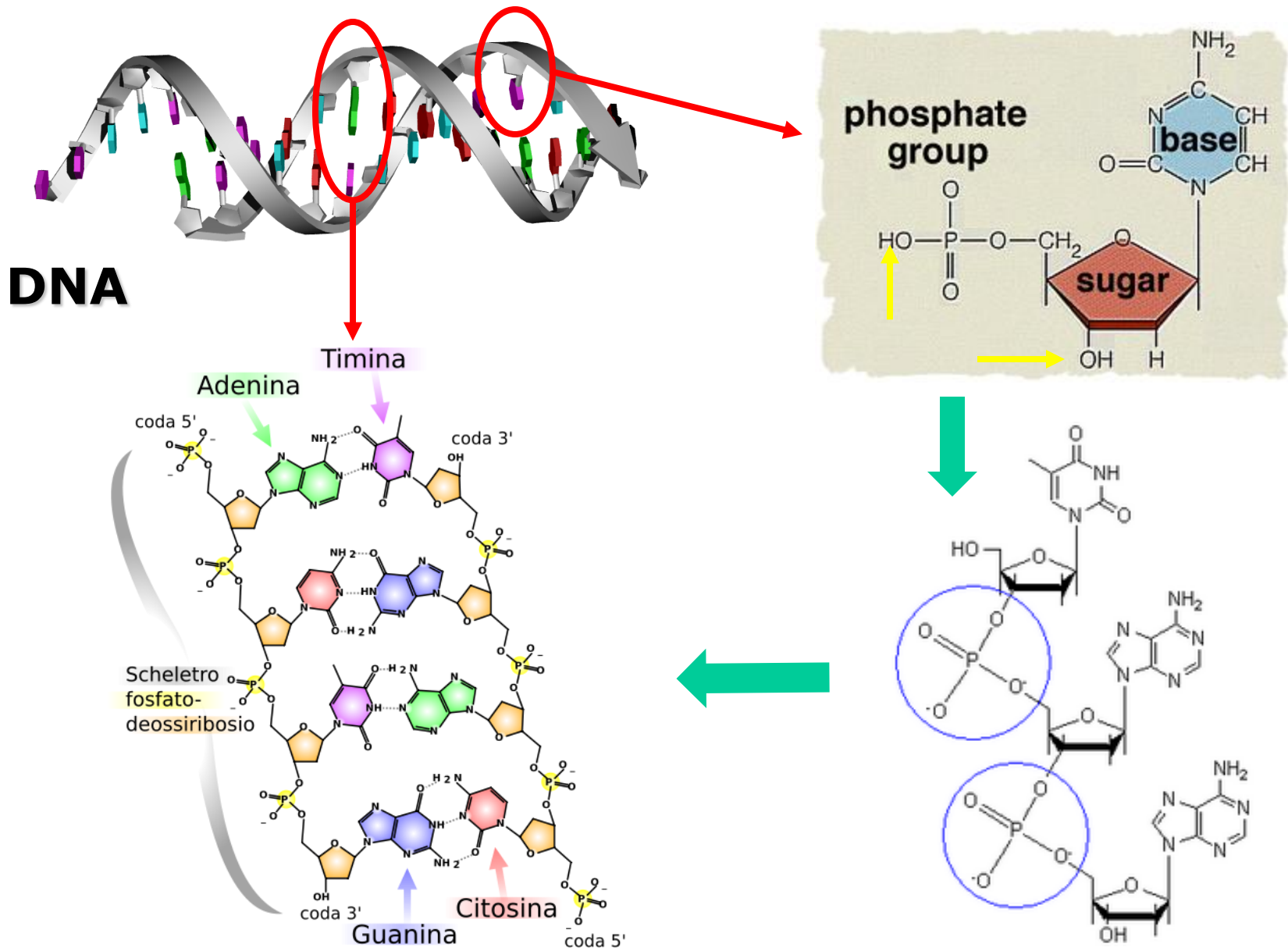
La vita sulla Terra: il crono-programma



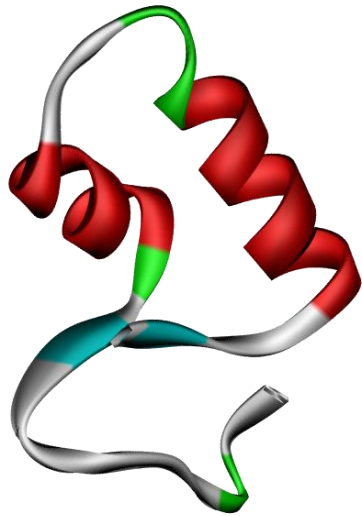
Il mondo vivente oggi



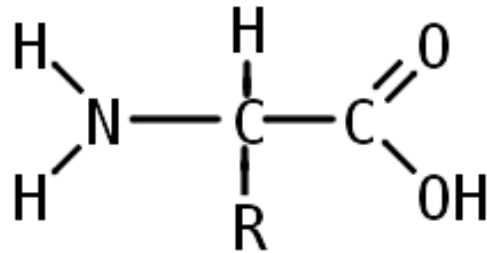
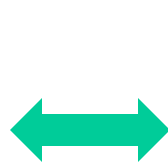
Le macromolecole della vita: DNA e RNA



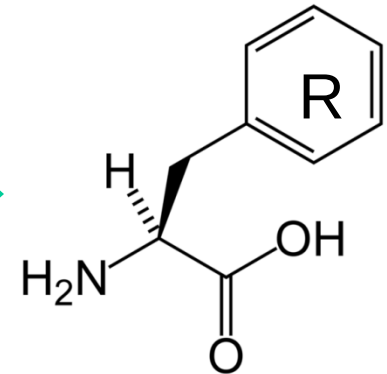
Le macromolecole della vita: proteine & enzimi



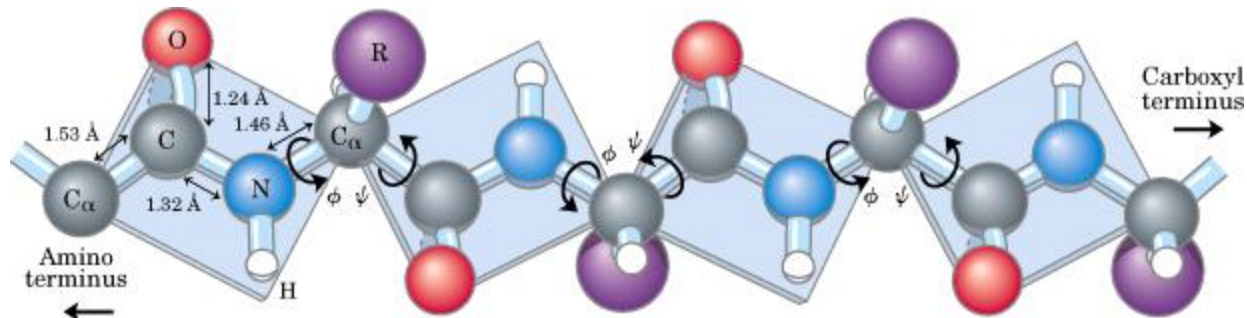
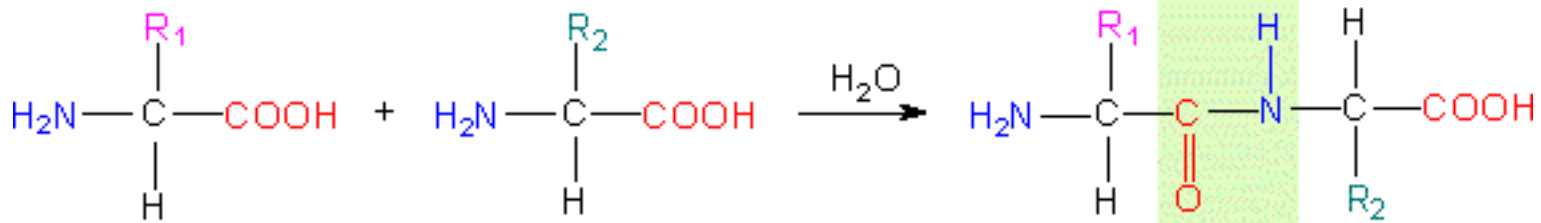
Proteina



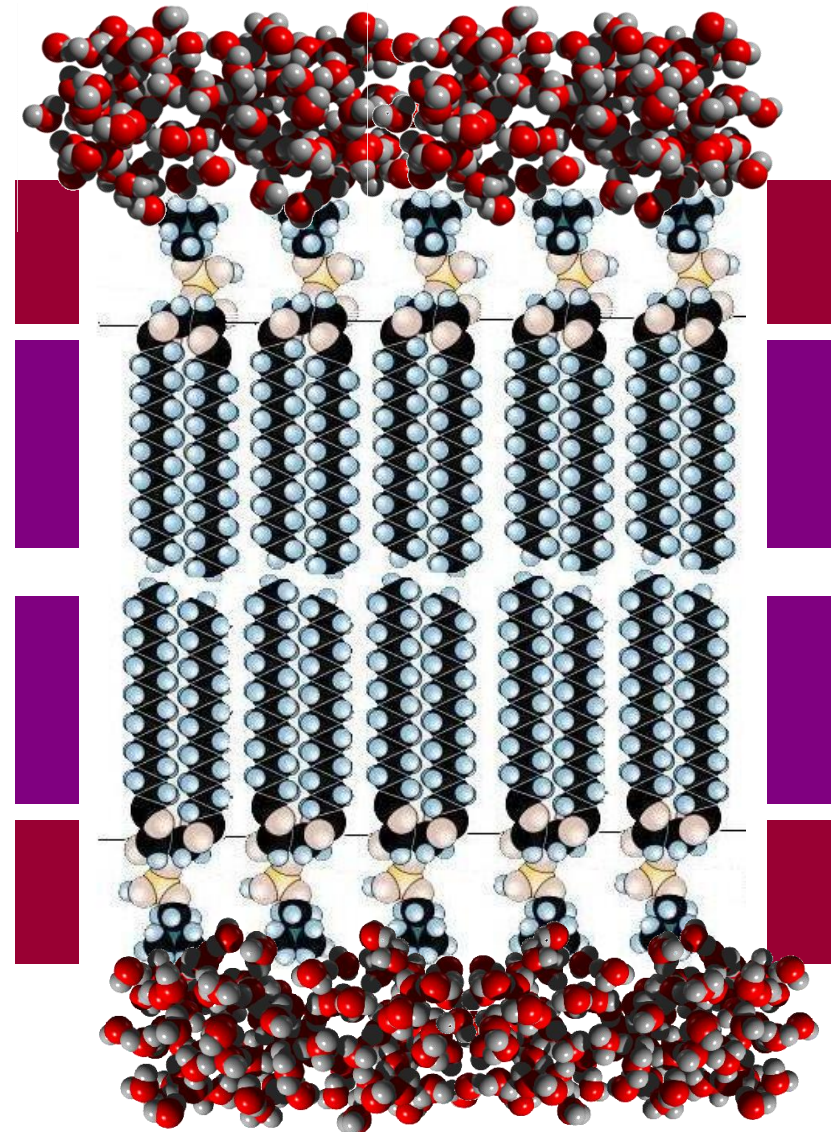
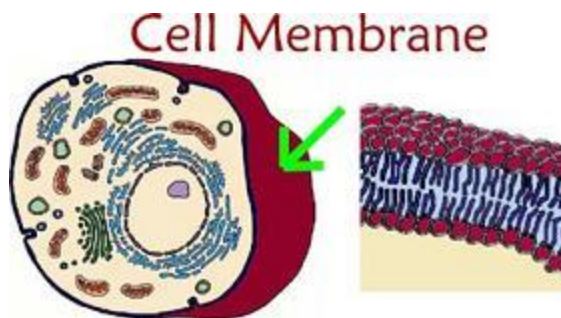
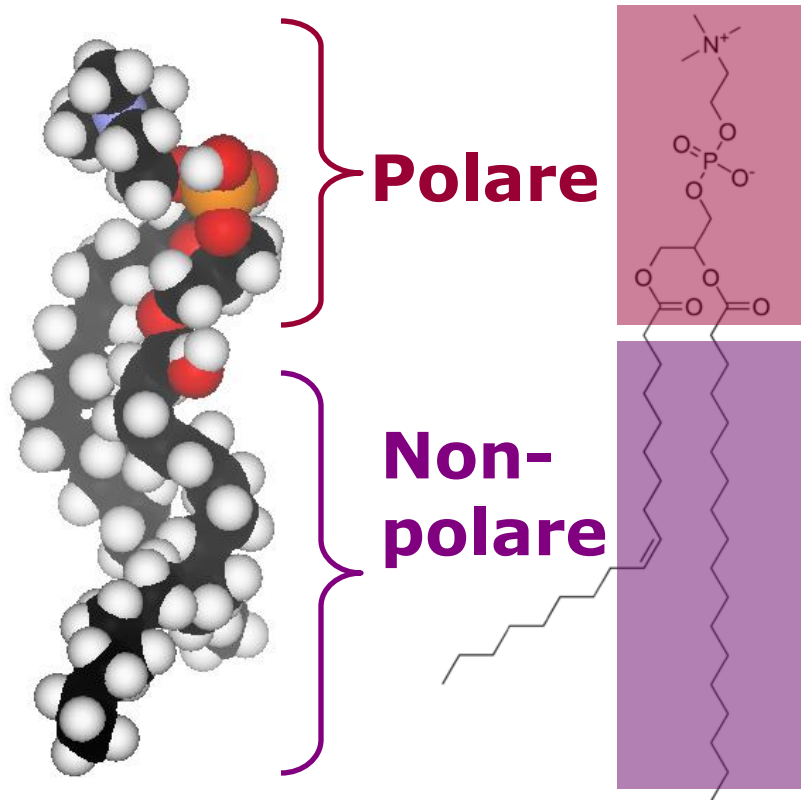
Aminoacido (20)



Fenilalanina

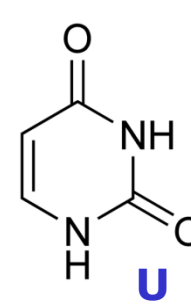
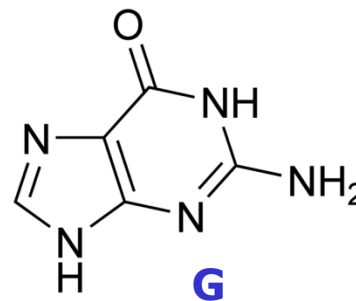
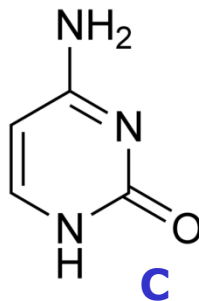
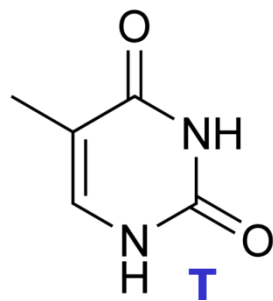
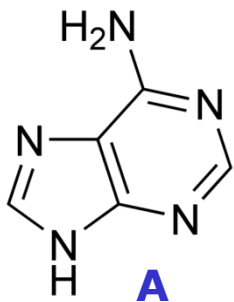


Le macromolecole della vita: fosfolipidi

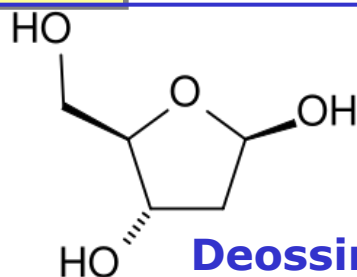
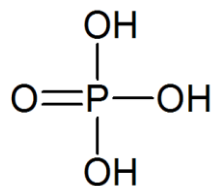


I mattoni molecolari della vita

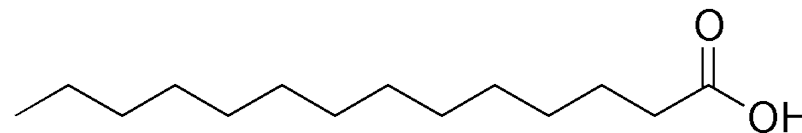
Nucleobasi



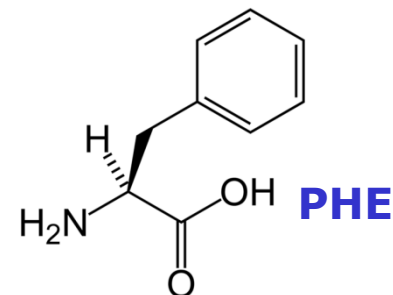
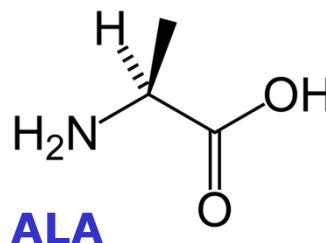
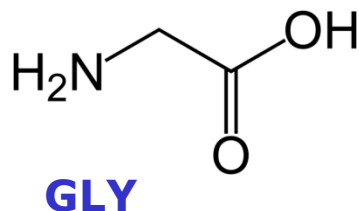
Zuccheri & Fosfati



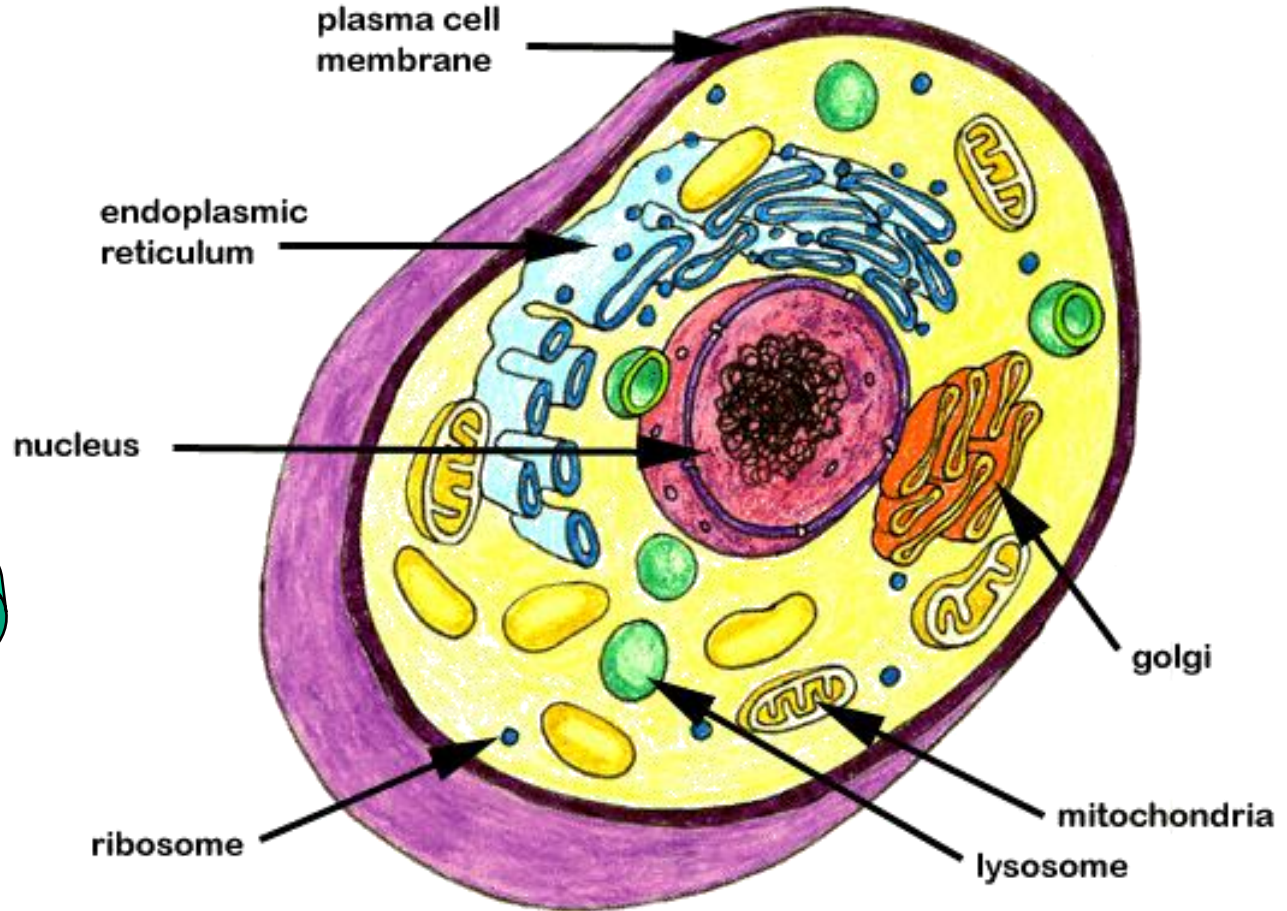
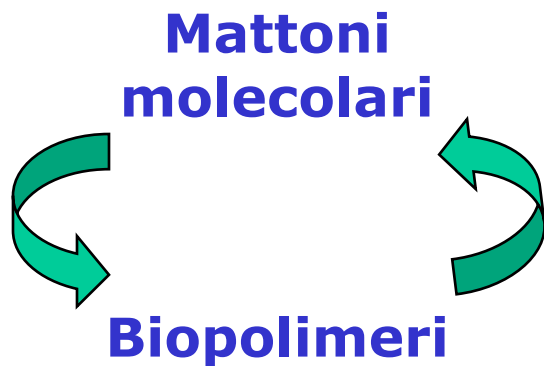
Lipidi & P-lipidi



Aminoacidi



La fabbrica della vita sono le cellule



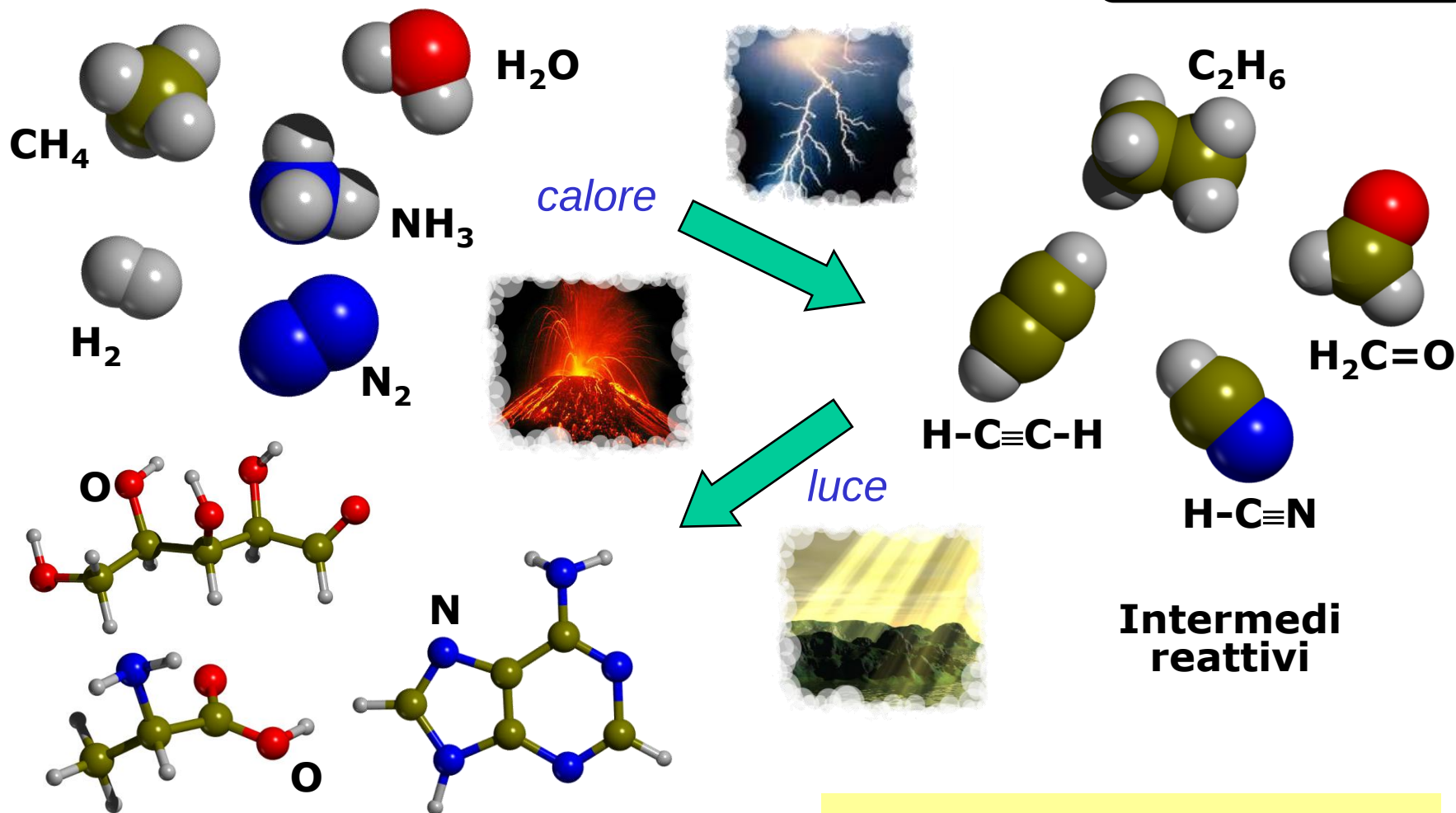
Come sintetizzare i mattoni molecolari senza le cellule?

Quanto è vecchio il metabolismo?

Sintesi abiotica di molecole organiche

Atmosfera primitiva?

3.9-4.2 Gys



Mattoni biochimici

E' davvero possibile?

Eyjafjallajökull volcano Iceland 2010

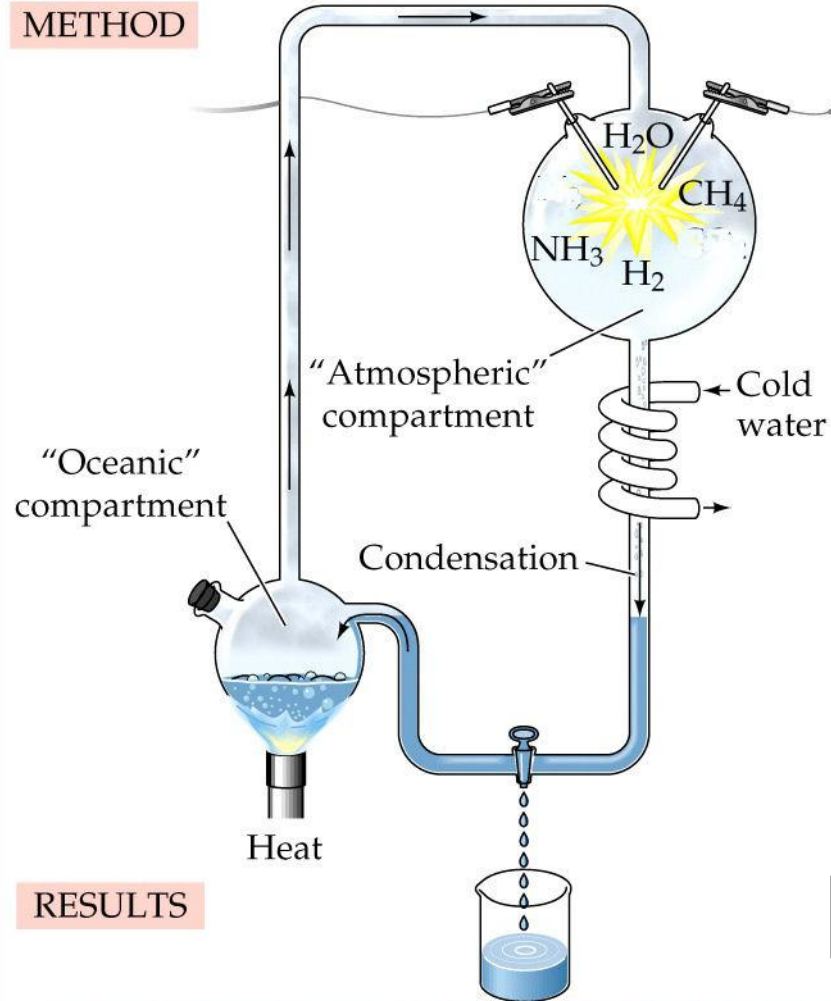


L' esperimento di Stanley Miller del 1953

EXPERIMENT

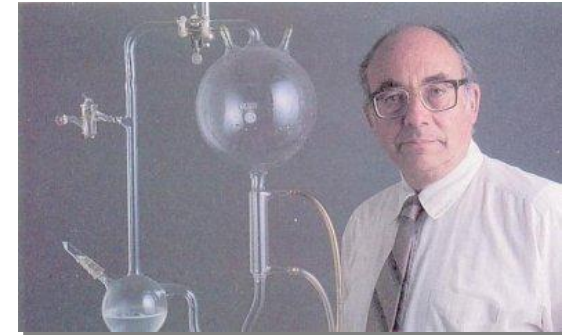
Question: Can organic compounds be generated under conditions similar to those that existed on primeval Earth?

METHOD



RESULTS

Conclusion: The organic building blocks of life are generated in the probable atmosphere of early Earth.



Miller S.L.

Production of amino acids
under possible primitive Earth
conditions

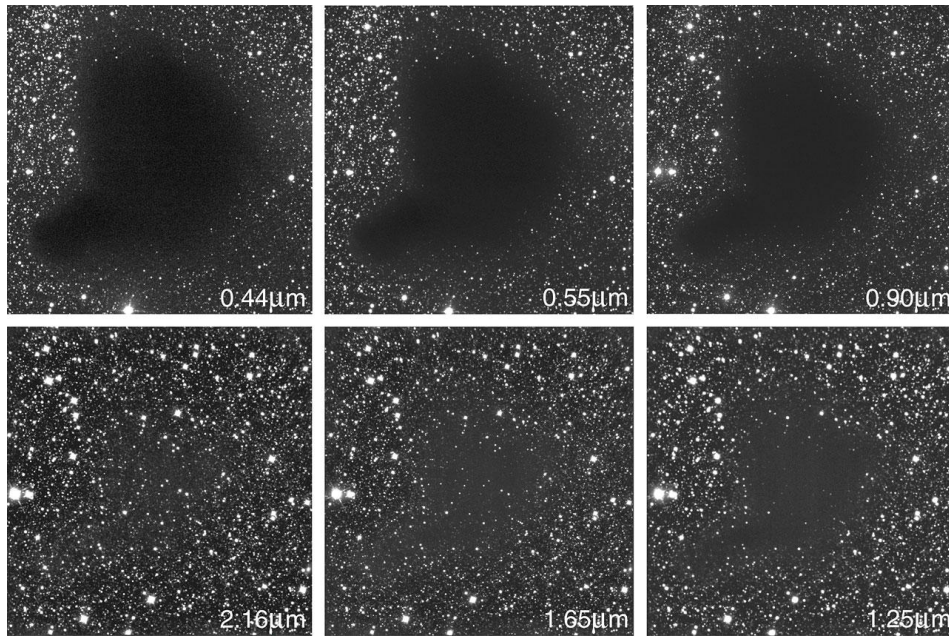
Science 117:528, **1953**

Atmosfera meno riducente

CH₄ CO CO₂ H₂O N₂ H₂S

- **17 dei 20 amino acidi**
- **tutte le purine e pirimidine**
- **riboso molto difficile**
- **nucleosidi molto difficili**
- **sintesi di Strecker**

Sintesi negli spazi profondi: le polveri interstellari



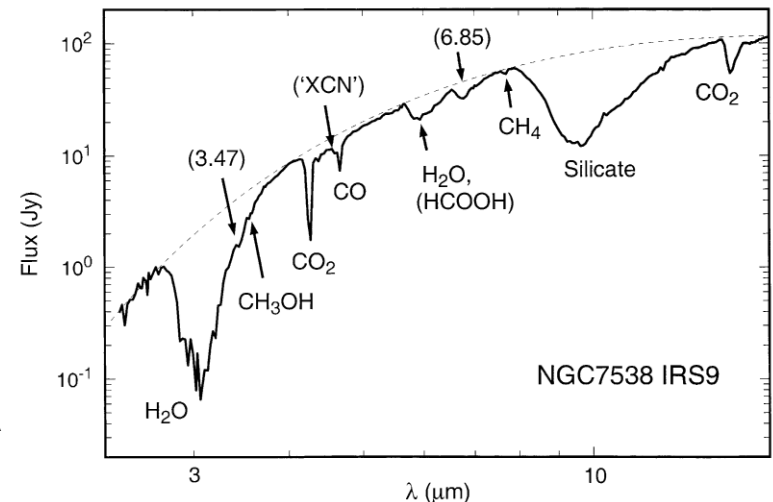
La "Nube nera" B68. Le particelle di polvere diffondono la luce visibile delle stelle remote. Lunghezze d'onda più lunghe penetrano la nube

Copyright by ESO. <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap990511.html>

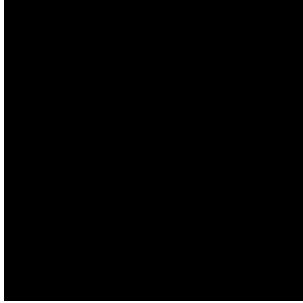
Lo spettro infrarosso dello osservatorio spaziale dell'oggetto stellare NGC7538 IRS9.
Copyright ASPCS, 122, San Francisco CA



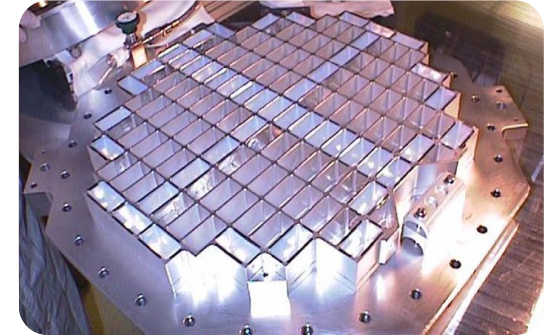
Polvere cosmica della *Nebula Testa di cavallo* (Hubble Space Telescope).
Courtesy by NASA and ESA.



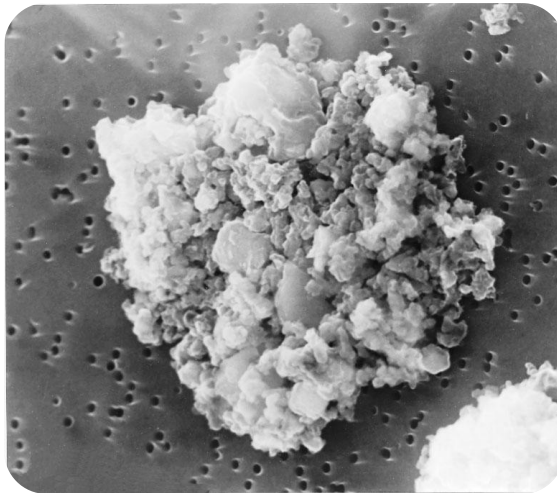
La missione NASA Stardust sulla cometa 81P/Wild 2



Il 2 Gennaio 2004, la sonda spaziale *Stardust* della NASA vola attraverso la coda (polvere e gas) della cometa 81P/Wild 2, e cattura migliaia di **particelle cometary**.



Supporto di Aerogel montato su Stardust per catturare le particelle di polvere



Stardust ha ritornato la capsula di aerogel sulla Terra



Particelle di polvere cometaria intrappolate nell'aerogel

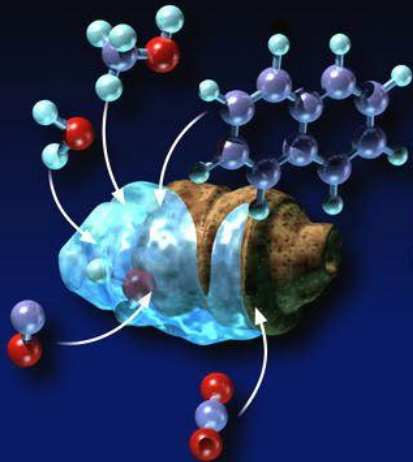
Scienziati della NASA trovano la Glicina nei granuli

J. E. Elsila et al *Meteoritics & Planetary Science* 44, Nr 9, 1323–1330 (2009)

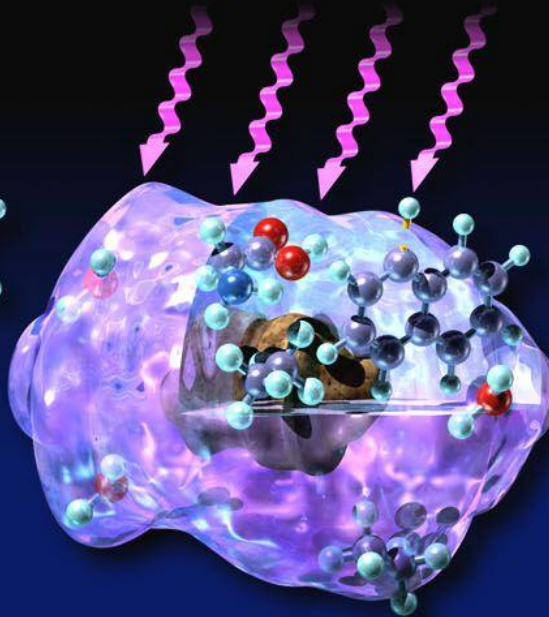
Courtesy by JPL NASA

Struttura delle Interstellar dust particle (IDP)

IDP con uno strato di ghiaccio e molecole varie H_2O , CO_2 , CO , CH_3OH , and NH_3



IDP con strato di ghiaccio; la particella è bombardata da radiazione UV e particelle ad alta energia



Nel mantello di ghiaccio delle IDP possono avvenire reazioni fotochimiche

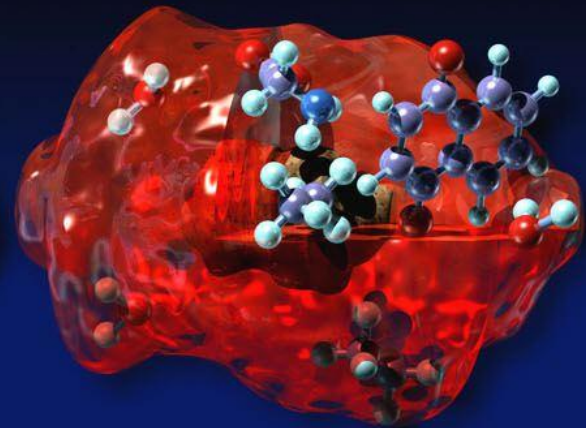
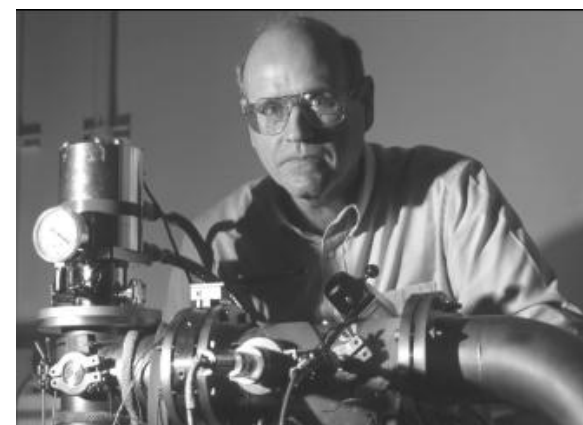
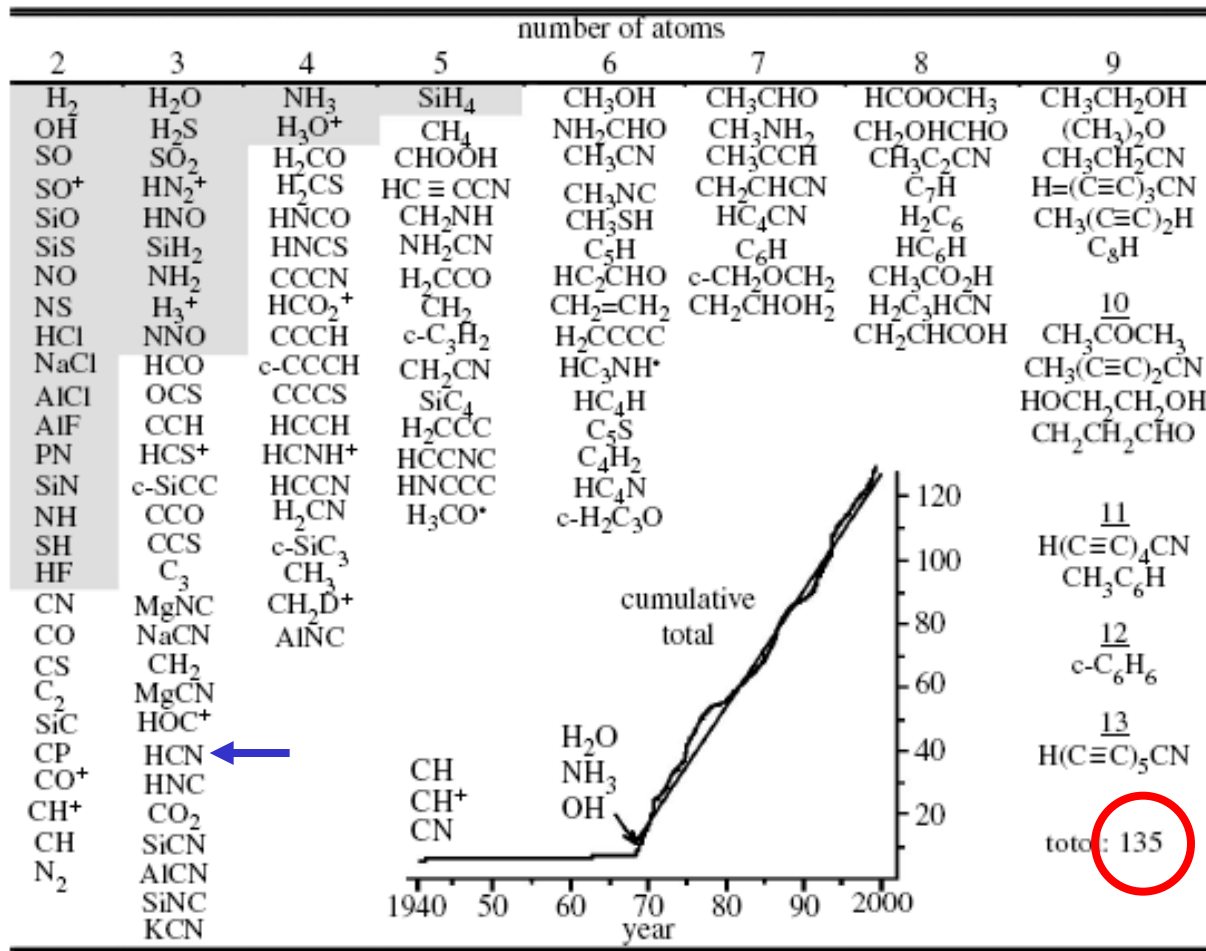


Image courtesy of Andy Christie, Slimfilms.com, Scientific American.

Sintesi molecolare nelle nubi interstellari



L.J. Allamandola et, 2003

**Nitrili, eteri, alcoli,
idrocarburi ciclici, aminoacidi**

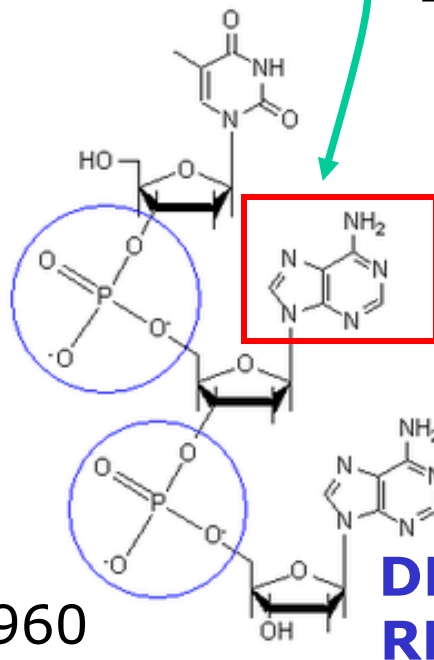
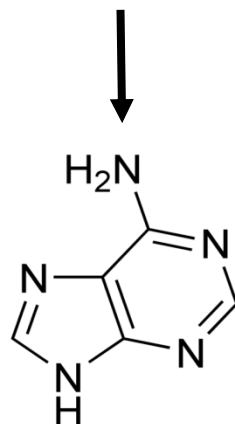
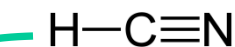
T = -100 °C

UV+ghiaccio

**CO HC₃N NH₃ HCHO
H₂O HCN**

Le comete: riserve di acqua e molecole organiche

Halley Giotto 1986



**DNA
RNA**

C-H

C-N-H

C-O-H

Pentyne

Hydrocyanic acid

Formaldehyde

Hexyne

Acetonitrile

Acetaldehyde

Butadiene

Propanenitrile

Formic acid

Pentadiene

Iminomethane

Acetic Acid

Cyclopentene

Iminoethane

Isocyanic acid

Cyclohexene

Iminopropene

Methanol imine

Cyclohexadiene

Imidazole

Oximidazole

Benzene

Pyridine, Pyrimidine

Oxypyrimidine

Toluene

Purine, Adenine

Xanthine

**Comete: palle di neve
sporche di molecole
organiche + silicati
(IDP)**

Le comete potrebbero
aver apportato circa
 10^{20} Kg di materia
(tutta H_2O della Terra)

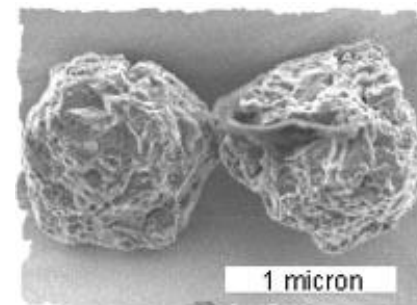
J. Oró Houston 1960

Le meteoriti carbonacee condritiche

Murchison 1969



Arizona crater



**Table 1. Soluble Organic Compounds
Murchison Meteorite⁹**

Class of Compounds	ppm
aliphatic hydrocarbons	> 35
aromatic hydrocarbons	15–28
polar hydrocarbons	< 120
carboxylic acids	> 300
amino acids	60
imino acids ⁴⁷	nd ^b
hydroxy acids	15
dicarboxylic acids	> 30
dicarboximides	> 50
pyridine carboxylic acids	> 7
sulfonic acids	67
phosphonic acids	2
N-heterocycles	7
amines	13
amides	nd ^b
polyols	30



S. Pizzarello,
Arizona

**Più di 70 aminoacidi
individuati. Si
presentano tutti come
racemi a parte 4 in
cui si è osservata una
preferenza L**

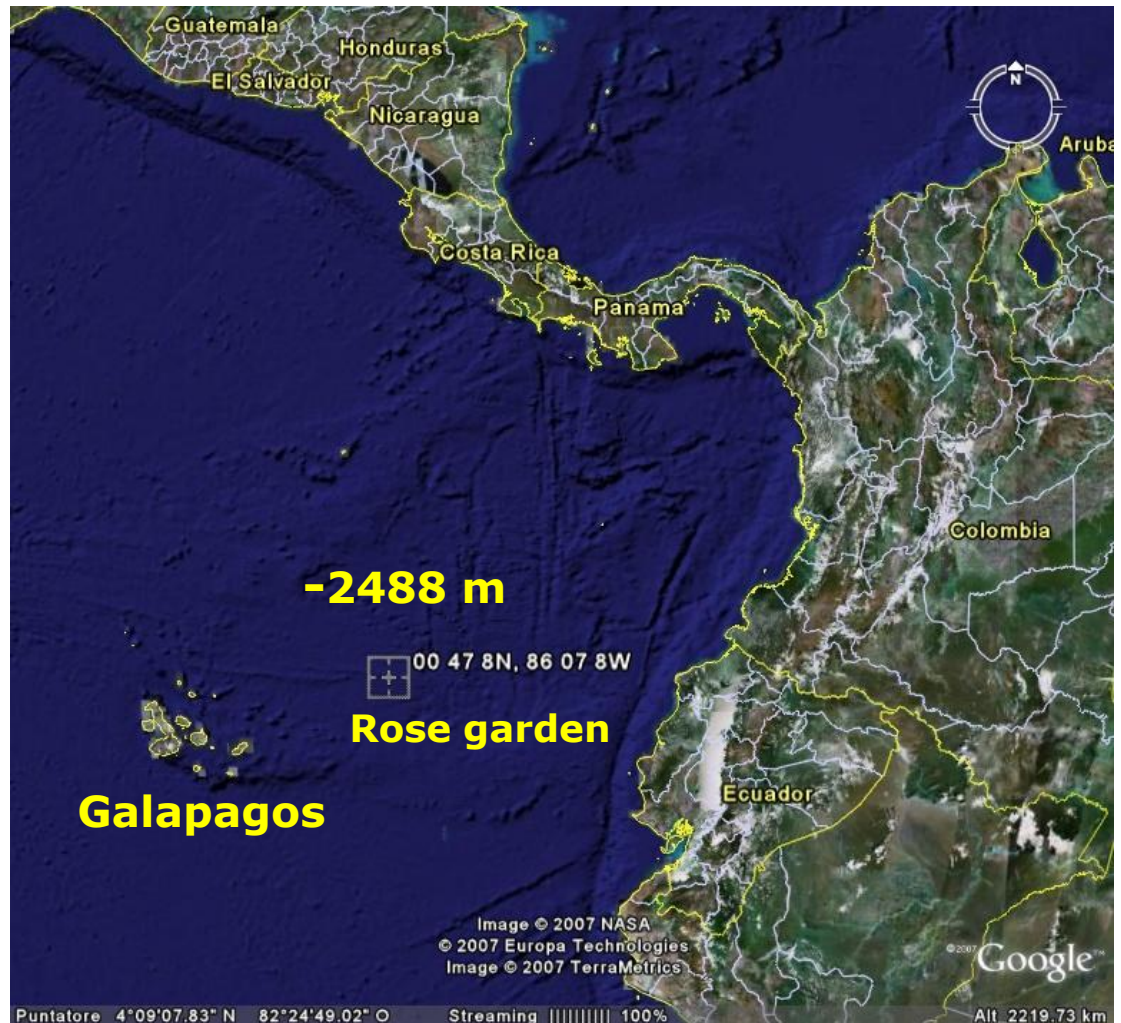
Il batiscafo Alvin e i fondali oceanici



ALVIN

Woods Hole
Oceanographic Institution
J. Corliss

Oregon State University
1977



La spedizione del 1977 ha cambiato radicalmente le idee sulla origine della vita in superficie. Infatti a -2800 m non c'è luce, quindi la fotosintesi non è possibile, però...

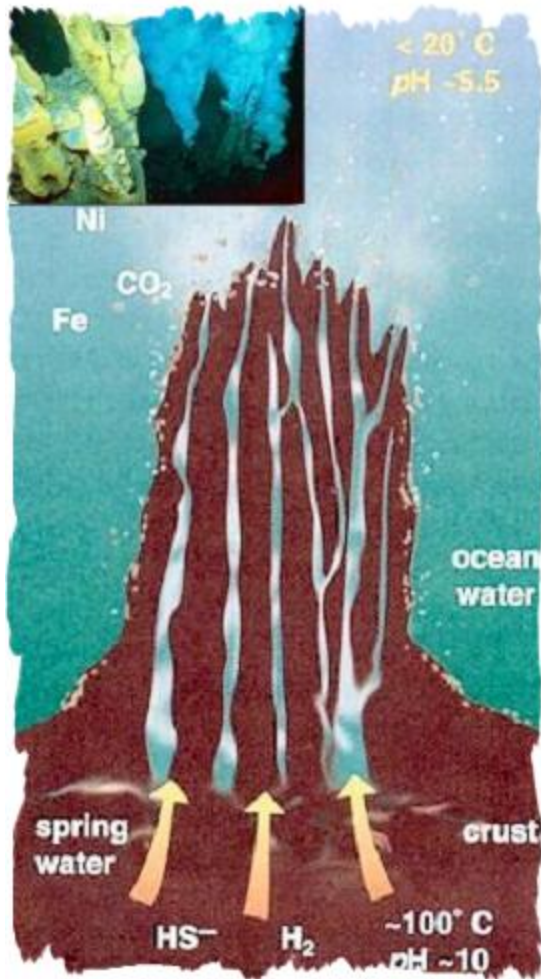
Ecologia ai “camini neri” sul fondale oceanico



Camini neri: esce H_2O a 350°C , ricca di solfuri metallici, CaSO_4 , SiO_2 , H_2S e CO_2 con $\text{pH} < 3$

I vermi tubolari sono pieni di batteri e il colore rosso delle piume indica una quantità di sangue (30% in peso) ricca di emoglobina che cattura H_2S e O_2 consentendo ai batteri che vivono all'interno dei vermi di trasformarli in nutrienti per l'organismo del verme (simbiosi)

Le bocche oceaniche idrotermali: un mondo a FeS?



**I fumatori neri
contribuirono a
formare i primi mattoni
bio-molecolari nella
Terra primitiva**



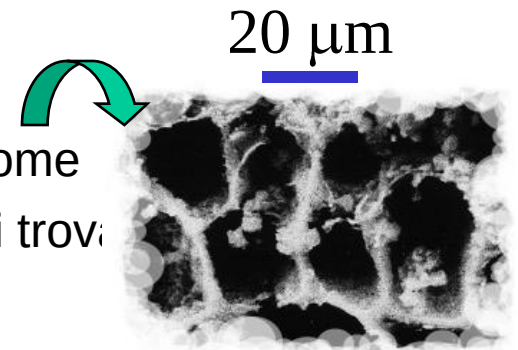
G. Wächtershäuser
Micr. Review 52:452, **1988**

Vita era autotrofica ("auto-alimentante")

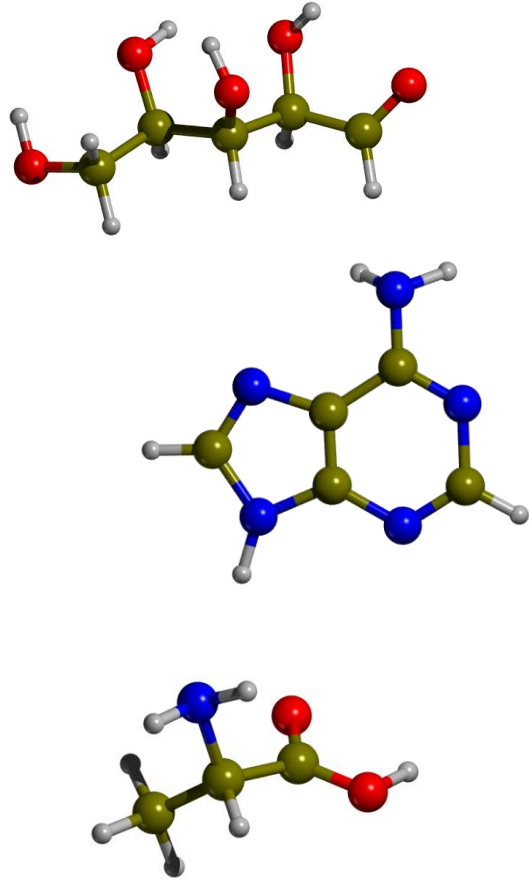
Vita si basava sull'energia dei minerali



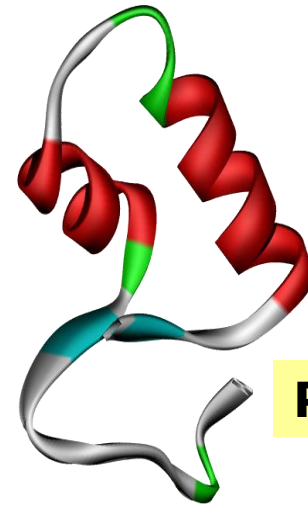
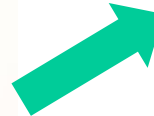
M. Russell e A. Hall si basano sui solfuri (Fe,Ni)_{1+x}S come membrane e su Fe₃S₄ e FeNi₂S₄ come catalizzatori (Fe-Ni-S si trova nella ferrodossina e nella CO deidrogenasi)



E' possibile creare le macromolecole vitali in vitro?



Mattoni biochimici



Proteine

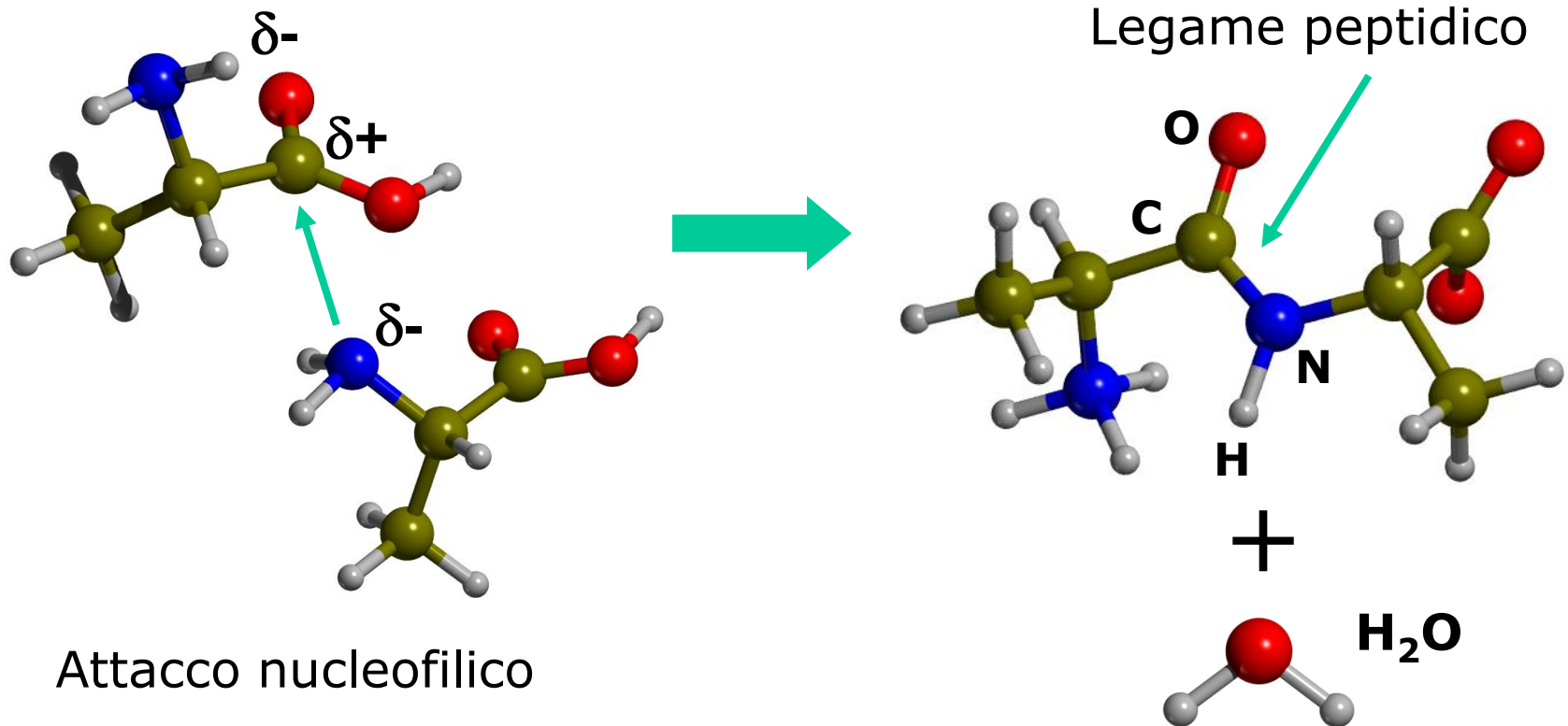


DNA

Fino ad ora nessuno è riuscito a farlo in modo efficiente

Dai mattoni monomerici → biopolimeri

La formazione dei biopolimeri implica sempre una reazione di condensazione:

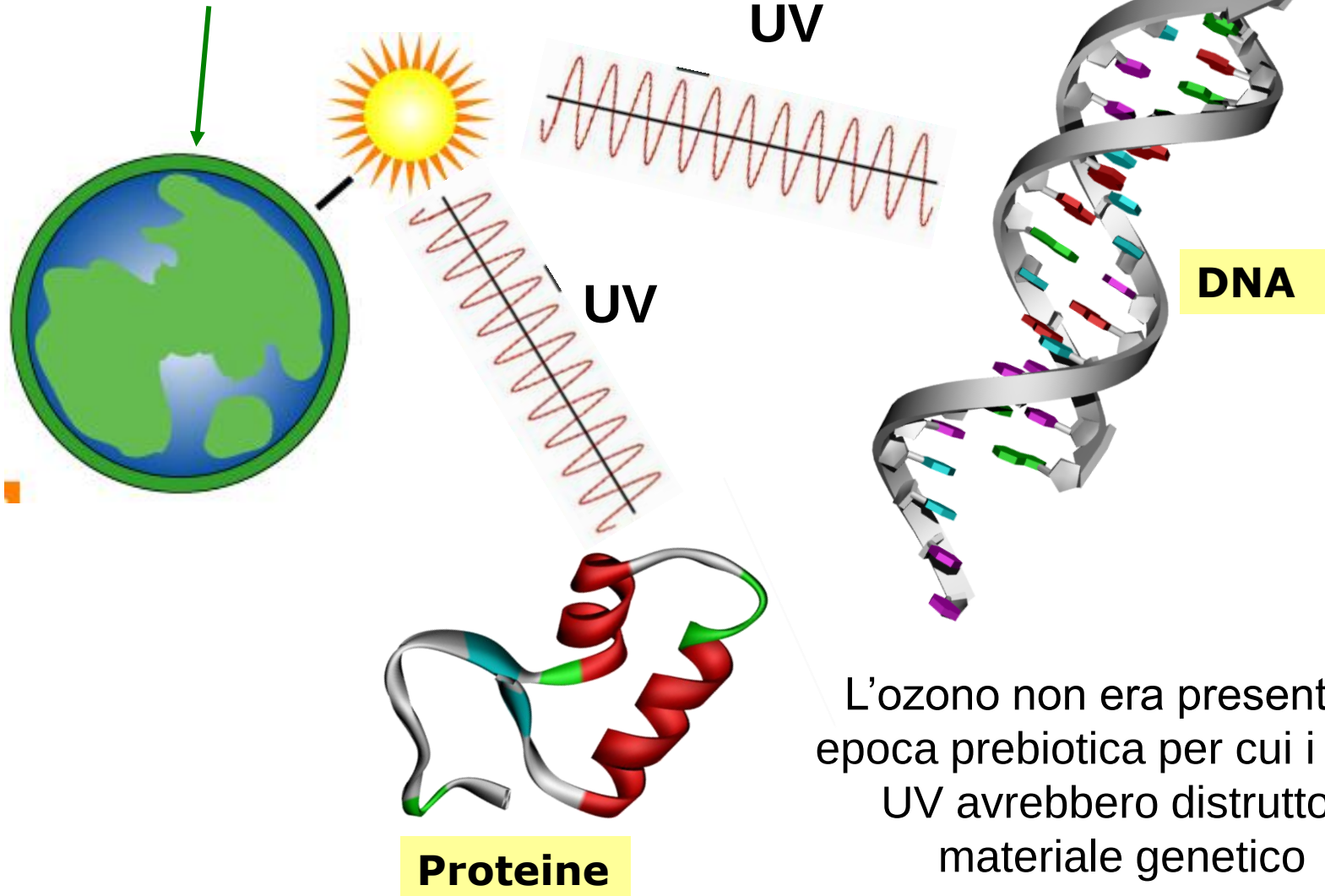


La reazione è quasi isoergonica in fase gas ed è sfavorita in acqua. La stessa cosa capita per gli altri biopolimeri

I passi chiave sono ancora da chiarire

Le macromolecole vitali sono delicate

Strato protettivo di ozono

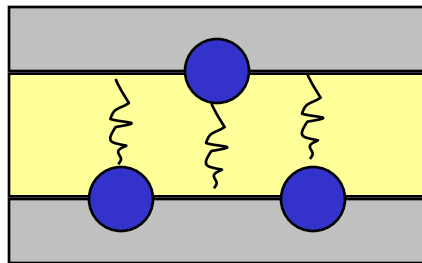


Il ruolo protettore/catalitico delle superfici dei minerali

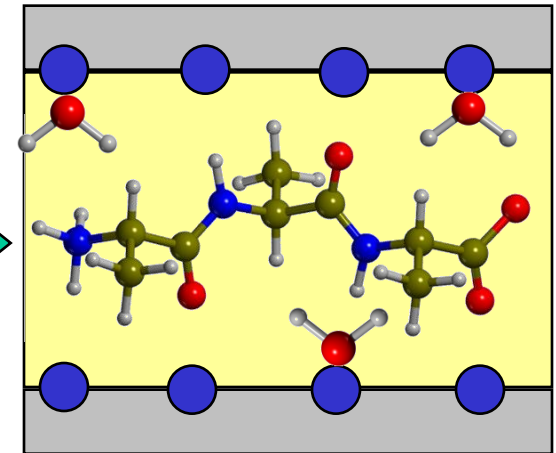
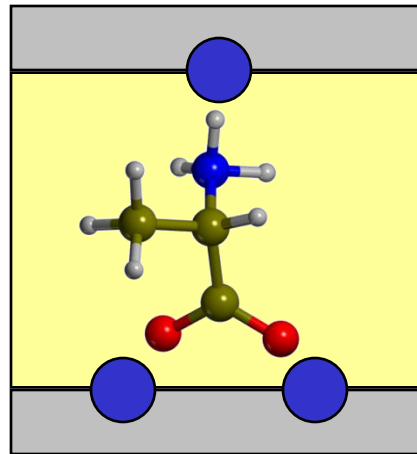
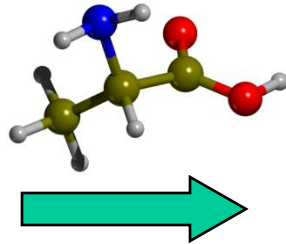


Bernal, J. D. 1949. *The Physical Basis of Life*. Proc. Royal Soc. 62A: 537

Suggerì un possibile ruolo delle superfici interne delle argille come luogo in cui potesse avvenire la cattura, attivazione e condensazione dei biopolimeri



Gli strati nelle argille interagiscono debolmente



Una argilla può **adsorbire i monomeri e concentrarli. Può anche **attivare** l'attacco nucleofilico tra i monomeri?**

Minerali più rilevanti della crosta terrestre



Talco (SiO_2 , Mg, OH)



Ornoblenda (SiO_2 , Na, Ca, Fe)



Muscovite (SiO_2 , Al, K)



Olivina (SiO_2 , Ca)



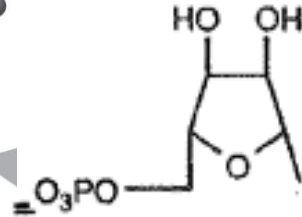
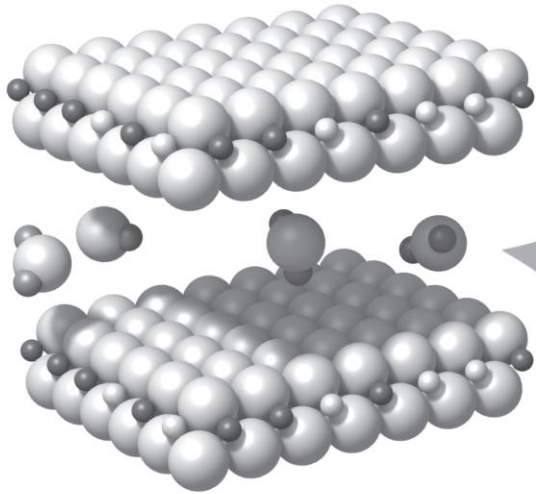
Sanidino (SiO_2 , Al, K)



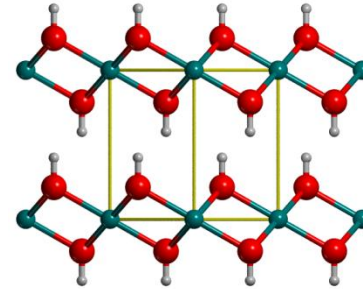
Anortite (SiO_2 , Al, Ca)

I minerali a strati

Idrotalcite $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$

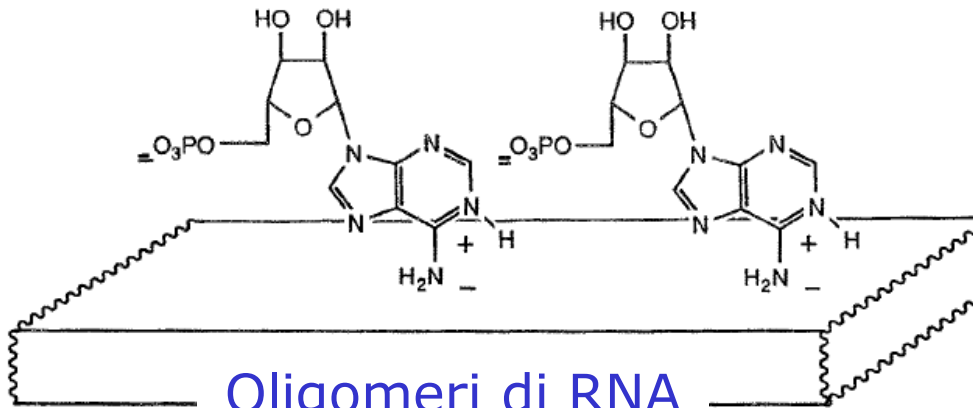


Zucchero-fosfati

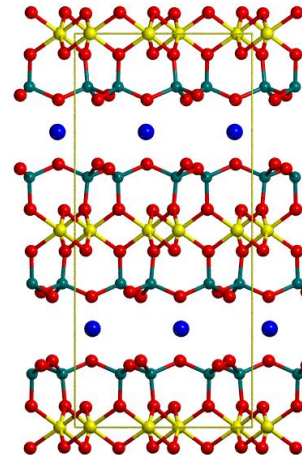


Arrhenius G La Jolla

Montmorillonite $(\text{Na,Ca})_0,3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\cdot n(\text{H}_2\text{O})$



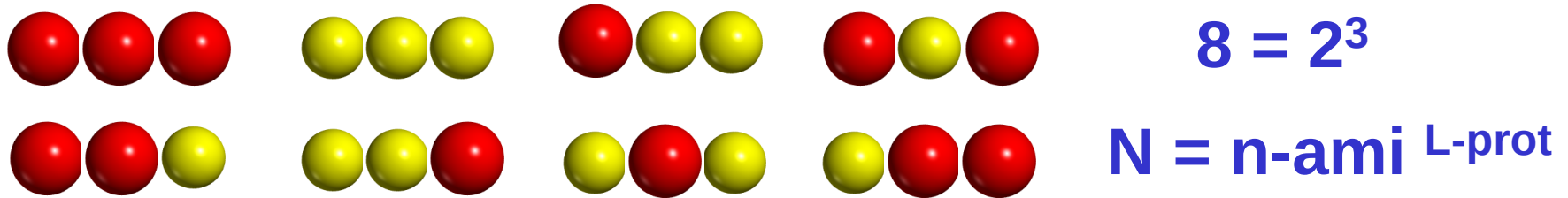
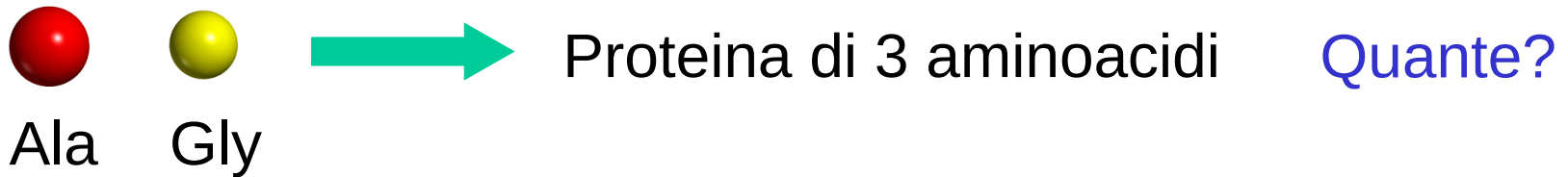
Oligomeri di RNA
da nucleotidi



Ferris JP New York

Riusciamo a fare i biopolimeri della vita?

Solo un **piccolissimo** insieme di potenziali proteine è usato da una cellula per codificare le funzioni vitali



$n\text{-ami} = 20$ $L\text{-prot} = 100$ $N = 20^{100}$

In un organismo vengono codificate circa 10^5 proteine e
il numero di tutte le proteine esistenti è 10^{13}

A livello pre-biotico la selezione è stata immensa

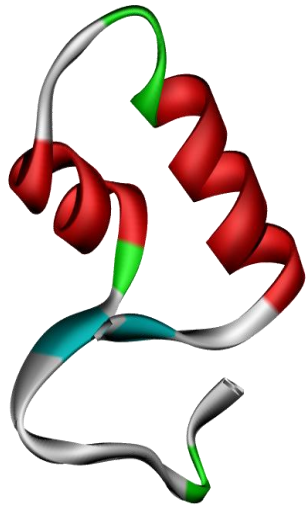
Quanto è grande 20^{100} ?



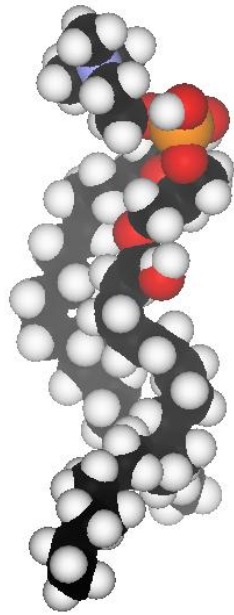
$20^{100}/10^{13}$ corrisponde alla rapporto tra il numero di tutti i granelli di sabbia del Sahara e un singolo granello!

Per riprodurre le attuali proteine dobbiamo trovare un sistema che sia capace di selezionare chimicamente un singolo granello nell'intero deserto!

Possiamo creare la vita partendo dalle macromolecole?



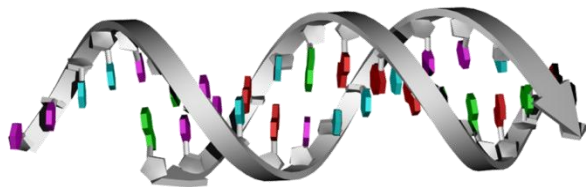
Proteine



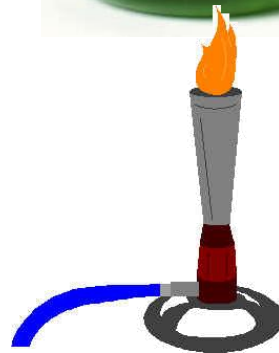
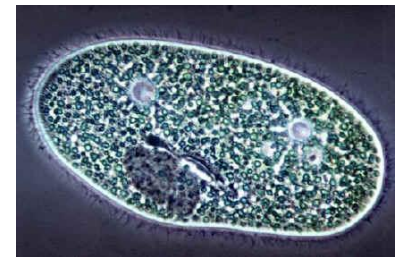
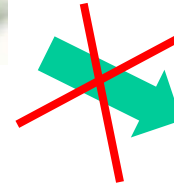
P-lipidi



?



DNA



Nessuno conosce come questo si possa realizzare
Nemmeno per una singola cellula

Il gioco della vita

Vivente	Non vivente
Mosca	Radio
Albero	Auto
Mulo	Robot
Bambino	Cristallo
Fungo	Luna
Amoeba	Computer
Corallo	Carta

Domanda: Cosa discrimina il **vivente** dal non-vivente?

Quali sono le qualità presenti in tutti gli organismi **viventi** (colonna a sinistra) ma non nei non-viventi?

Un sistema è vivo se è capace di servirsi del flusso esterno di materia/energia per i suoi processi interni di auto-mantenimento e produzione dei suoi propri componenti

Sommario e prospettive

Il fatto di essere “polvere di stelle” ci farà apprezzare ancora di più le notti stellate



I cosmologi e i fisici teorici si sono spinti fino a 10^{-43} s dal Big Bang per comprendere il cosmo

Riusciranno i chimici a spingersi (più modestamente) fino a 500 Ma dalla nascita della Terra per comprendere l'evoluzione chimica prebiotica?



Quanto dovremo aspettare per sintetizzare una cellula basata su un genoma minimale?

Esperimenti veri e “finti”

Esperimenti “reali”



Esperimenti “virtuali”

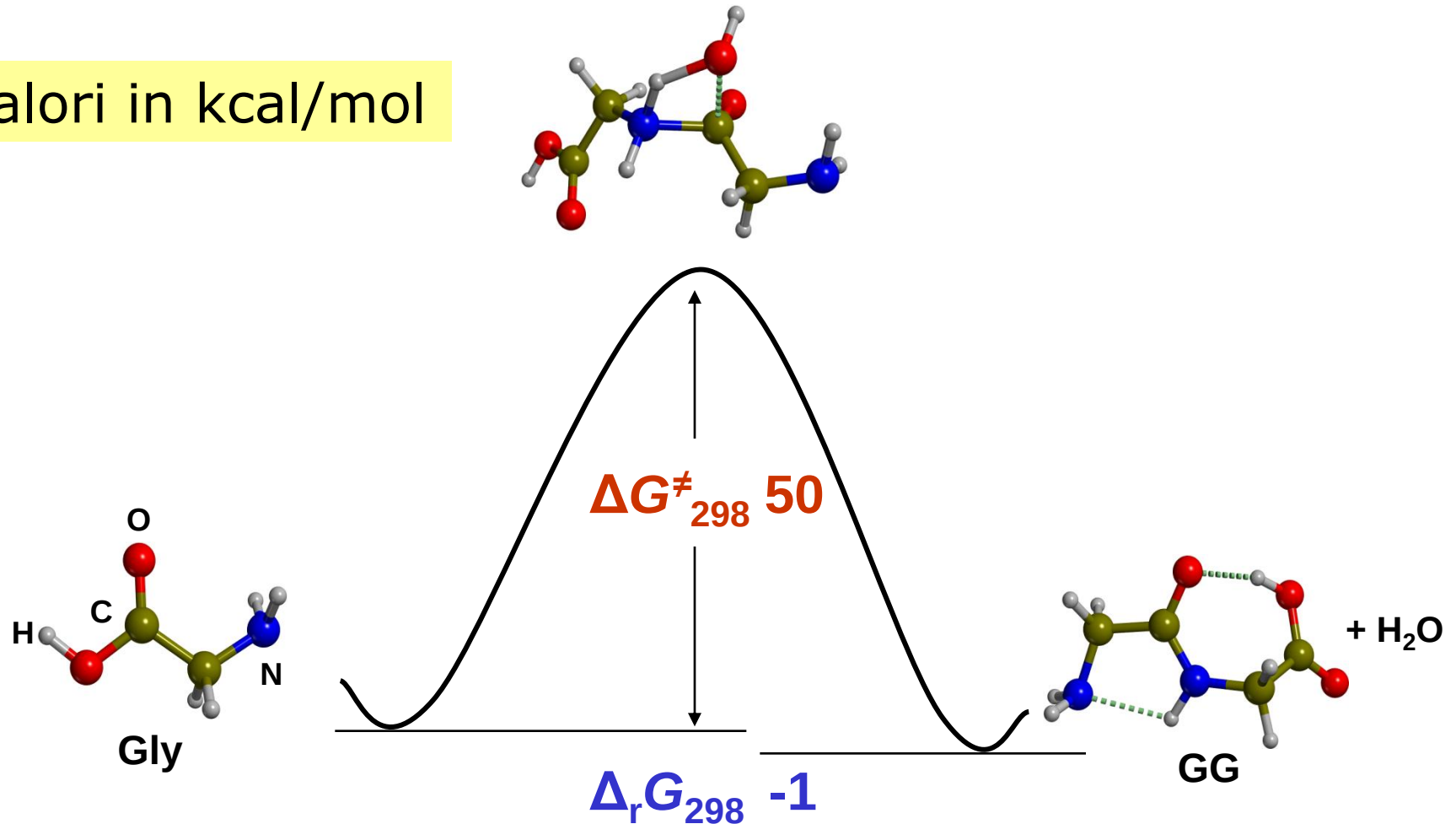


$$H \Psi = E \Psi$$

Il mondo molecolare viene
simulato nel computer secondo
le leggi della meccanica
quantistica

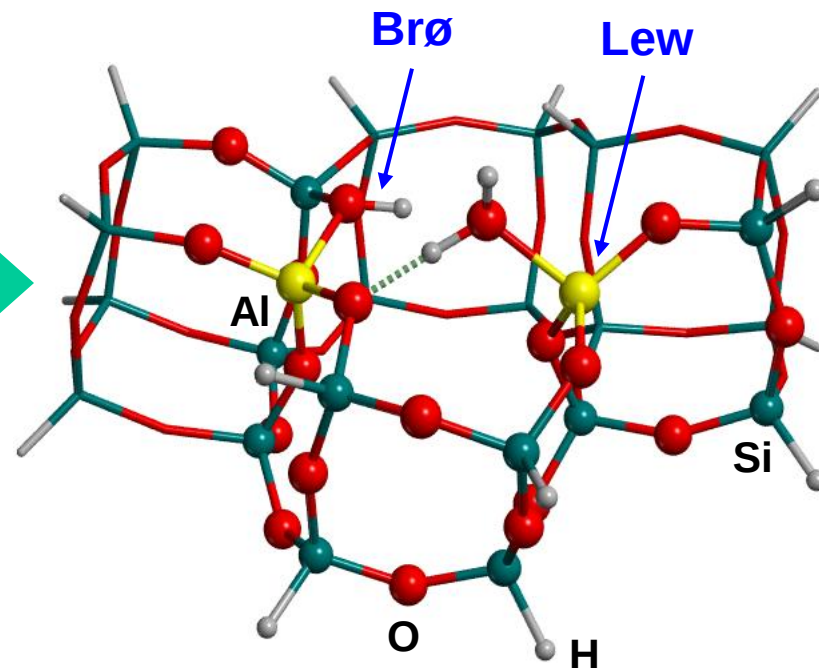
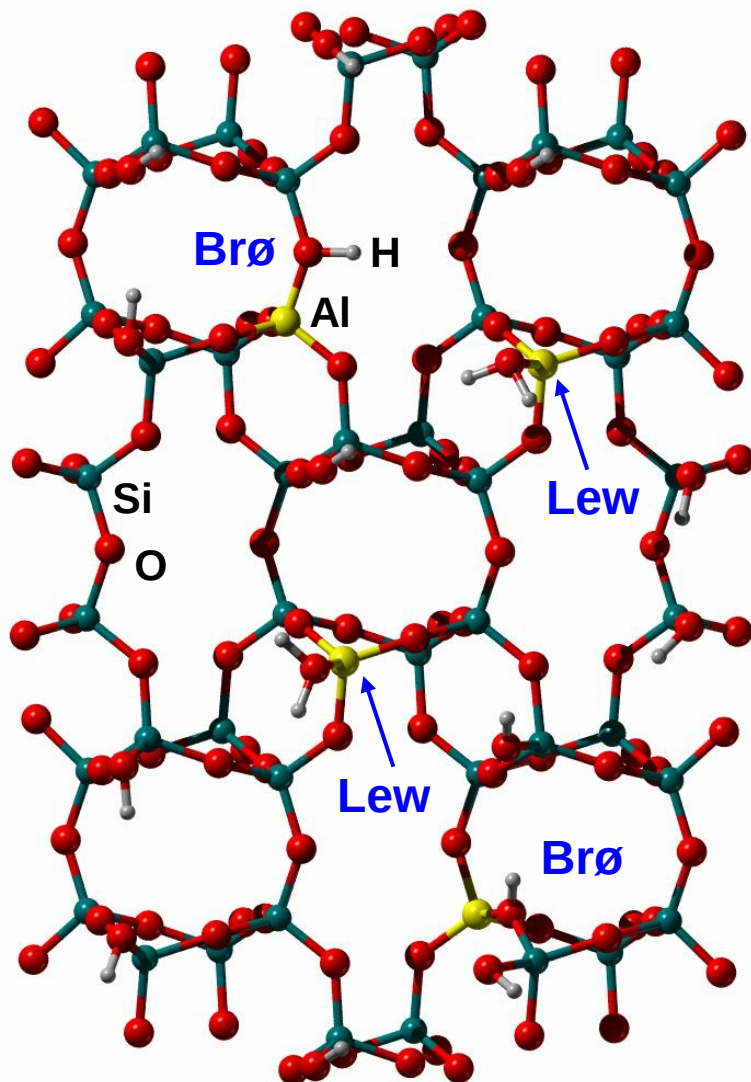
La formazione della di-glicina in fase gas

Valori in kcal/mol



Può una superficie minerale accelerare la reazione e stabilizzare il prodotto?

Feldspati: la superficie della sanidina ($K \rightarrow H$)



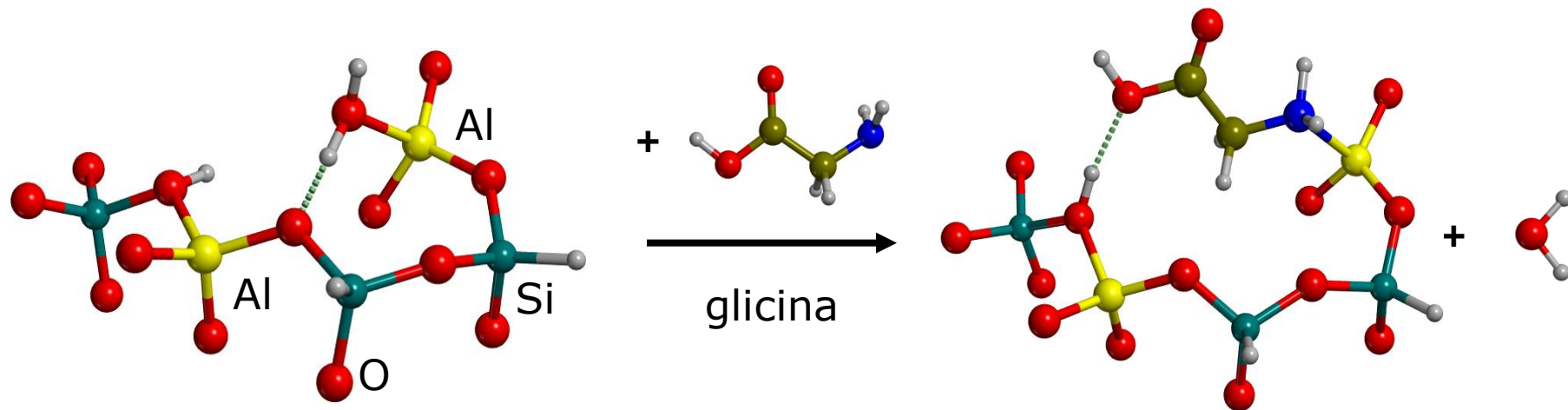
ONIOM[B3LYP/6-31+G(d,p):MNDO]

B3LYP/6-31+G(d,p)//ONIOM

Dispersione alla Grimme

Spostamento dell'acqua coordinata

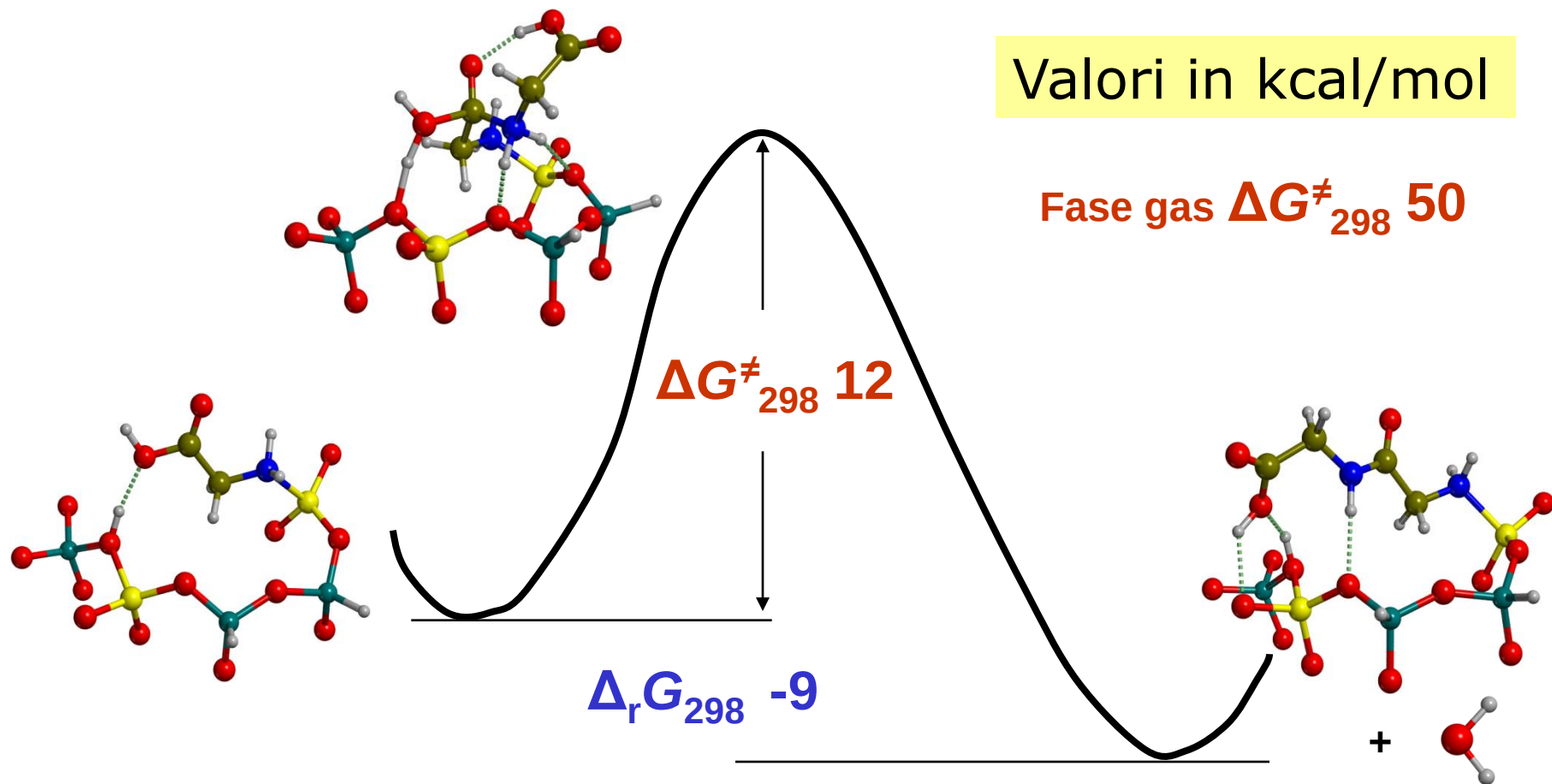
Valori in kcal/mol



La reazione di spostamento dell'acqua è molto favorita: $\Delta_r G_{298} = -9$.
Questo assicura che la superficie di feldspato catturi e concentri la glicina del “brodo primordiale” molto diluito.

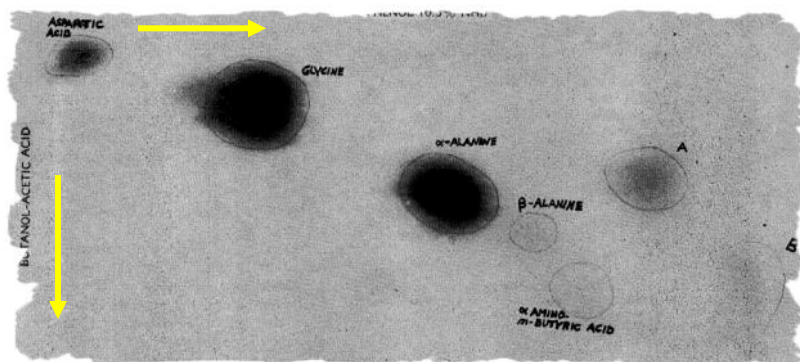
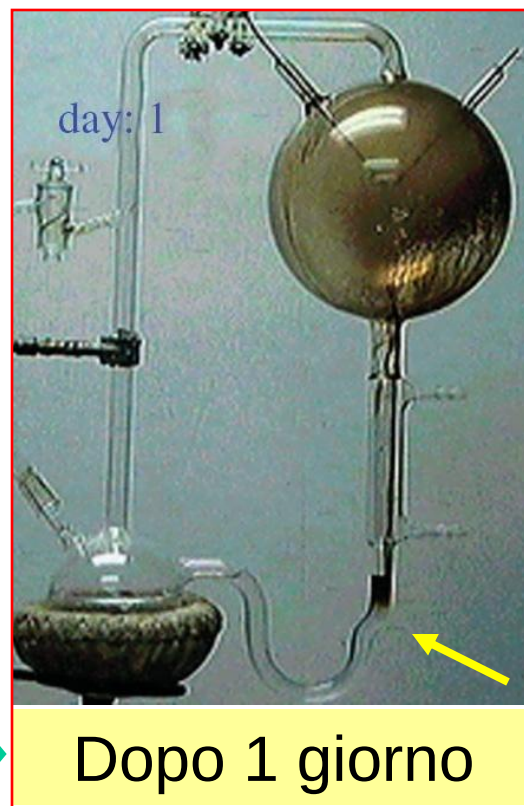
La glicina così agganciata alla superficie sarà anche attivata rispetto alla formazione del legame peptidico con un'altra molecola di glicina?

Il feldspato accelera la reazione e stabilizza il di-peptide



Il feldspato velocizza la reazione di 27 ordini di grandezza! La superficie stabilizza la diglicina e inibisce la reazione di idrolisi che ha una barriera cinetica di 21 kcal/mol.

Risultati dell'esperimento di Miller



Glicina, α -alanina, β -alanina,
acido aspartico e acido
 α -amino-*n*-butirrico

