

corso di  
ASTROBIOLOGIA  
lezione 4

Modulo prof. Paola Di Donato  
[paola.didonato@uniparthenope.it](mailto:paola.didonato@uniparthenope.it)

# L'ORIGINE DELLA VITA

## ARGOMENTI

- Gli ingredienti della vita
- Il mondo a RNA

- Gli ingredienti della vita

Le forme di vita primordiale verosimilmente si sono basate su tre tipologie di molecole deputate alle seguenti funzioni:

- ✓ Replicazione

- ✓ Catalisi

- ✓ Isolamento dall'ambiente esterno

- Acidi nucleici

- Proteine

- Membrane

- Gli ingredienti della vita



In che modo si sono originate le molecole che hanno consentito tali funzioni?

In che modo si sono originati i costituenti di queste molecole (building blocks)?

- Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks



In che modo si sono originati i costituenti delle molecole che hanno consentito tali funzioni?

Molecole quali amminoacidi, acidi grassi, basi azotate (building blocks) sono state rinvenute o identificate in meteoriti o come componenti di gas interstellari

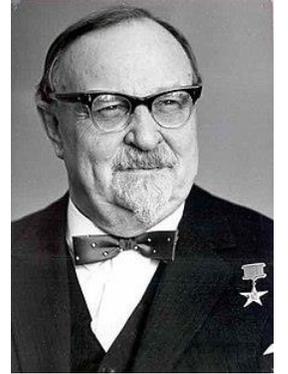
Dunque è ipotizzabile una loro origine abiotica ovvero una sintesi non mediata da forme di vita quali le cellule

- **Gli ingredienti della vita: l'ipotesi di Oparin e Haldane**

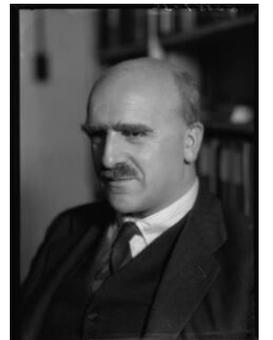
Oparin e Haldane ipotizzano tra il 1920 e il 1930 che le prime forme di vita sulla Terra si fossero generate a partire da molecole a loro volta generate nel corso di processi chimici avvenuti in un'atmosfera ricca di sostanze riducenti (composti contenenti idrogeno).

Questo tipo di atmosfera è notevolmente diversa da quella attuale, dove le molecole di ossigeno possono sostenere forti processi di ossidazione.

L'ipotesi di Oparin venne messa alla prova sperimentalmente negli anni '50 da Harold Urey e dal suo laureando Stanley Miller, che provarono a simulare in laboratorio la composizione chimica di quella credevano essere l'atmosfera primitiva terrestre in presenza di oceani.



Alexander Ivanovich  
Oparin  
(1894-1980)  
biochimico russo



John Haldane  
(1892 – 1964)  
biologo e genetista inglese

# • Gli ingredienti della vita: l'esperimento di Miller e Urey

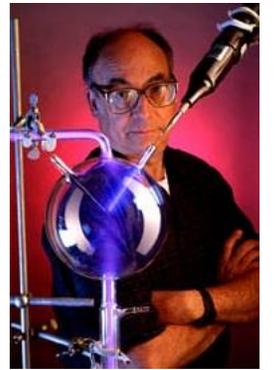
L'esperimento fu condotto nel 1953 inserendo  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e vapore di acqua in un recipiente chiuso all'interno del quale furono generate scariche elettriche



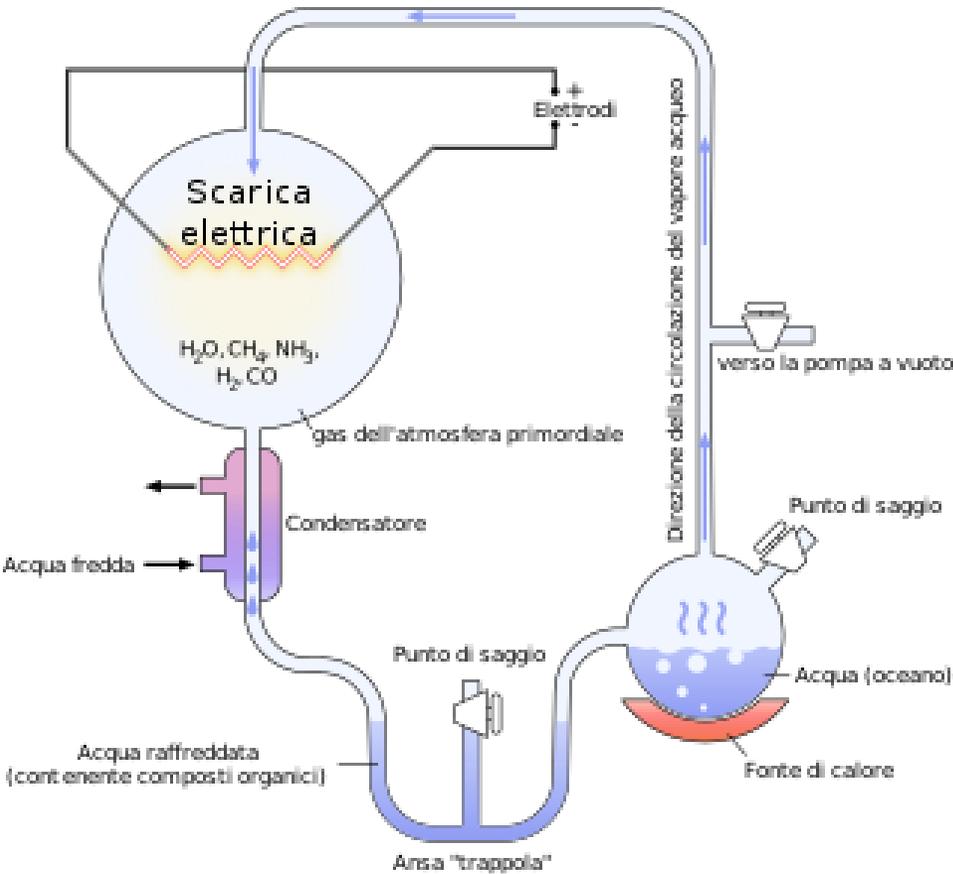
Harold Urey  
(1893 – 1981)  
chimico statunitense

Le miscela di gas doveva riprodurre l'atmosfera primitiva, l'acqua avrebbe dovuto rappresentare gli oceani primordiali e le scariche elettriche eventuali fulmini

La miscela preparata in tal modo da Miller fu denominata **brodo primordiale**



Stanley Lloyd Miller  
(1930 – 2007)  
biochimico statunitense

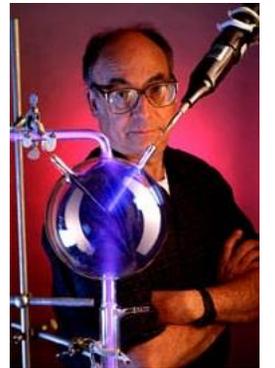


# • Gli ingredienti della vita: l'esperimento di Miller e Urey

L'esperimento fu condotto nel 1953 inserendo  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e vapore di acqua in un recipiente chiuso all'interno del quale furono generate scariche elettriche



Harold Urey  
(1893 – 1981)  
chimico statunitense



Stanley Lloyd Miller  
(1930 – 2007)  
biochimico statunitense

## A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions

Stanley L. Miller<sup>1, 2</sup>

G. H. Jones Chemical Laboratory,  
University of Chicago, Chicago, Illinois

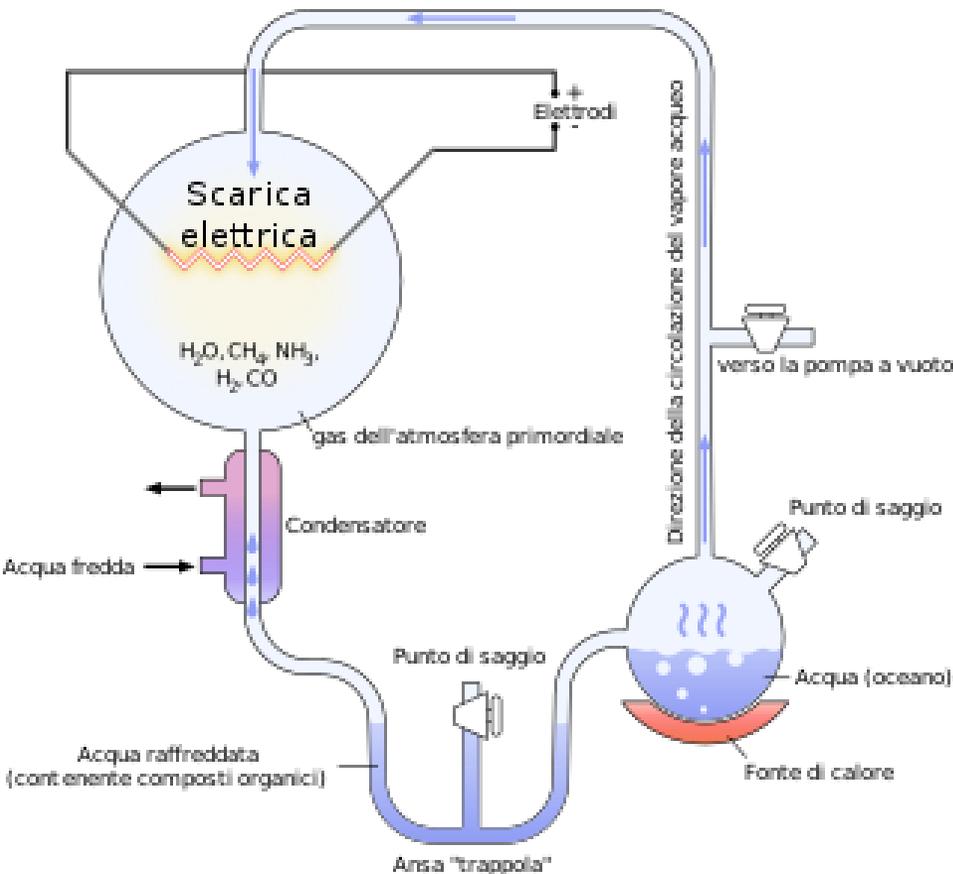
The idea that the organic compounds that serve as the basis of life were formed when the earth had an atmosphere of methane, ammonia, water, and hydrogen instead of carbon dioxide, nitrogen, oxygen, and water was suggested by Oparin (1) and has been given emphasis recently by Urey (2) and Bernal (3).

In order to test this hypothesis, an apparatus was built to circulate  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{H}_2$  past an electric discharge. The resulting mixture has been tested for amino acids by paper chromatography. Electrical discharge was used to form free radicals instead of ultraviolet light, because quartz absorbs wavelengths short enough to cause photo-dissociation of the gases. Electrical discharge may have played a significant role in the formation of compounds in the primitive atmosphere.

The apparatus used is shown in Fig. 1. Water is boiled in the flask, mixes with the gases in the 5-l flask, circulates past the electrodes, condenses and empties back into the boiling flask. The U-tube prevents circulation in the opposite direction. The acids

<sup>1</sup> National Science Foundation Fellow, 1952–53.

<sup>2</sup> Thanks are due Harold C. Urey for many helpful suggestions and guidance in the course of this investigation.



# • Gli ingredienti della vita: l'esperimento di Miller e Urey

Le scariche elettriche servivano a produrre radicali liberi che invece sulla superficie della Terra primordiale si sarebbero formati per effetto dei raggi UV: Miller verificò, per analisi cromatografica della miscela di reazione, la formazione di alcune fondamentali biomolecole.

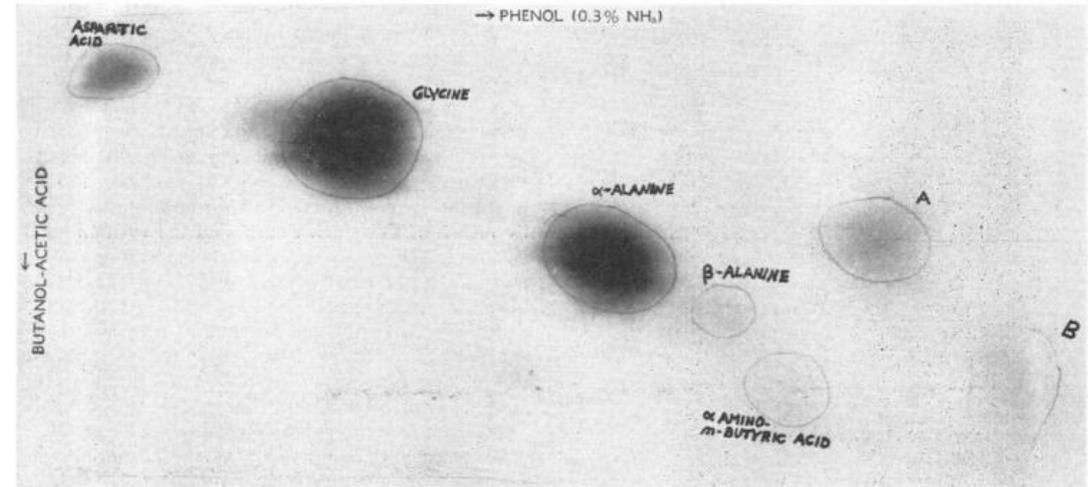
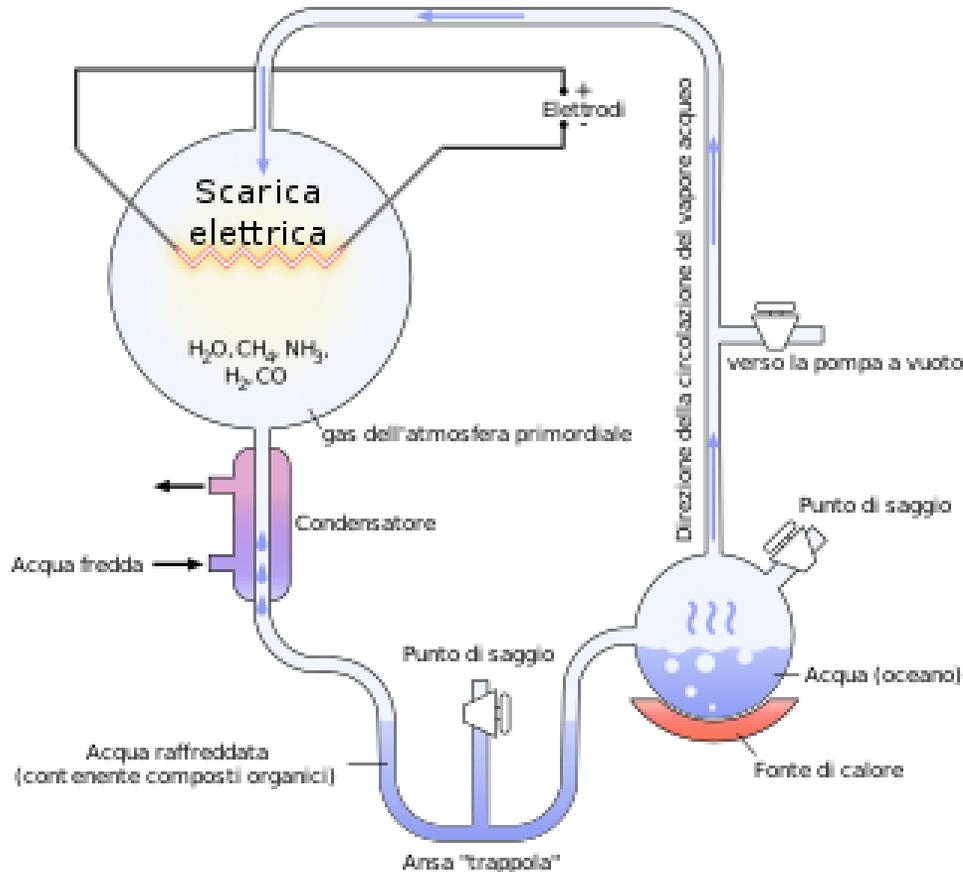


FIG. 2.

Analisi TLC della miscela di reazione

Link al video dal titolo "What Was The Miller-Urey Experiment?"

<https://youtu.be/NNijmxsKGbc>

- **Gli ingredienti della vita: l'esperimento di Miller e Urey**

Elenco completo dei prodotti che si possono generare facendo reagire  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e vapore di acqua in un recipiente chiuso in presenza di scariche elettriche

<b>Principali prodotti finali</b>			
<b>Nome</b>	<b>Formula</b>	<b>Nome</b>	<b>Formula</b>
acido formico	$\text{CH}_2\text{O}_2$	acido $\alpha$ -ammino-n-butyrico	$\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$
glicina	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$	acido $\alpha$ -ammino-isobutyrico	$\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$
acido glicolico	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$	acido $\alpha$ -idrossi-butyrico	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_3$
$\alpha$ -alanina	$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$	acido succinico	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$
acido lattico	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	urea	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$
acido acetico	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	N-metil-urea	$\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$
$\beta$ -alanina	$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$	N-metil-alanina	$\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$
acido propionico	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	acido glutammico	$\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$
acido imino diacetico	$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_4$	acido aspartico	$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_4$
N-metil glicina (sarcosina)	$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$		

- **Gli ingredienti della vita: l'esperimento di Miller e Urey**

Gli esperimenti di Miller possiedono sia diversi **punti deboli**

- non conducono direttamente alla produzione di tutti gli amminoacidi ma solo della glicina (scoperta nel gas interstellare, nelle meteoriti carbonacee e nelle comete)
- gli altri amminoacidi si ottengono solo a partire da acido cianidrico, dopo un'ebollizione prolungata o attraverso la loro estrazione dalla soluzione usando acidi forti

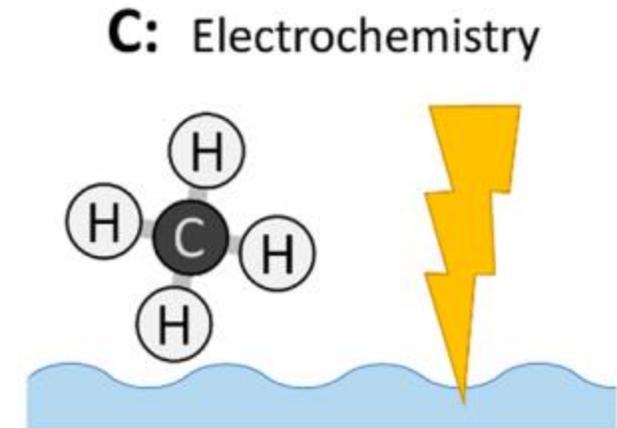
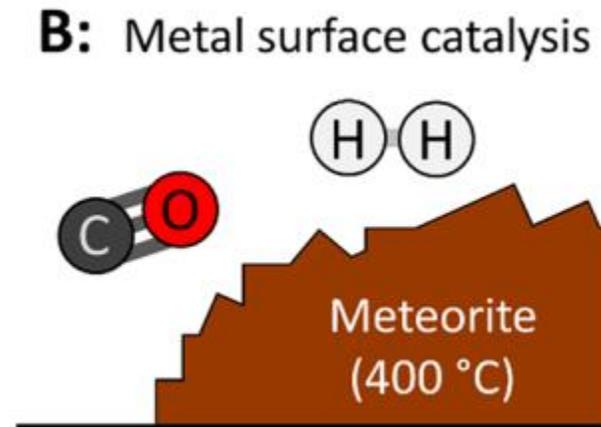
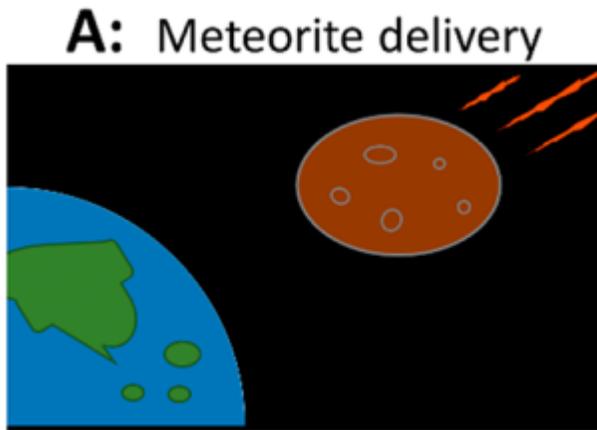
che **punti di interesse**:

- possono descrivere un meccanismo plausibile per la nascita delle sostanze prebiotiche
- hanno consentito di comprendere che per la formazione dei **composti prebiotici** (molecole componenti delle cellule prodotte per via abiotica) è necessario un ambiente fortemente riducente

- **Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks**

In esperimenti simili a quello di Miller, ovvero che riproducano le condizioni della Terra primordiale, è possibile produrre anche altre molecole essenziali per la vita cellulare

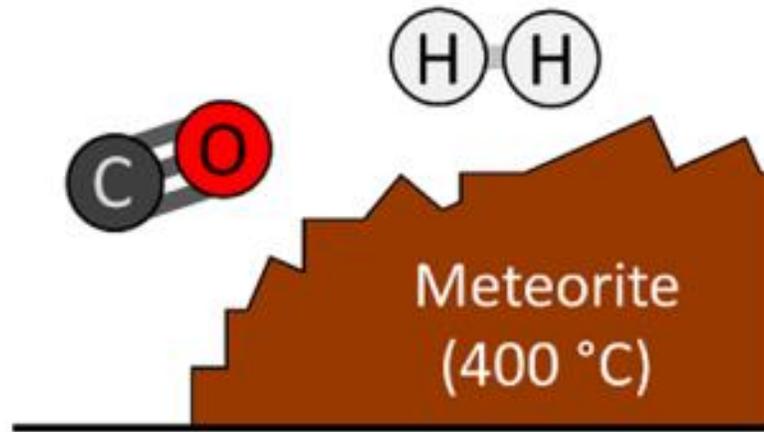
**ES: Acidi grassi**



- Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks

In esperimenti simili a quello di Miller, ovvero che riproducano le condizioni della Terra primordiale, è possibile produrre anche altre molecole essenziali per la vita cellulare

ES: Acidi grassi su superfici metalliche

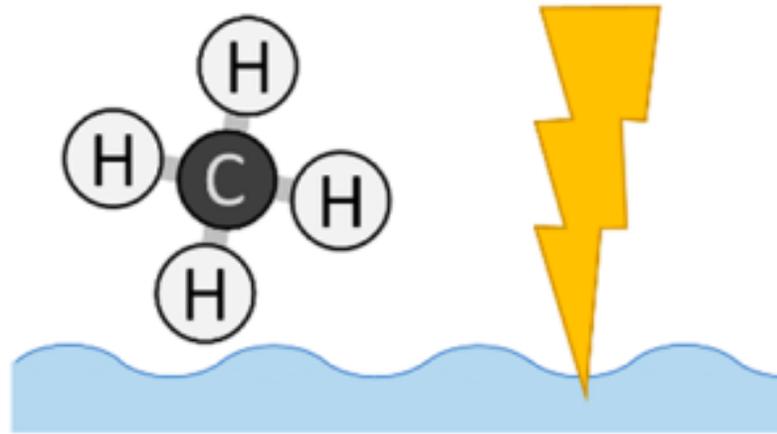


La sintesi degli acidi grassi può avvenire anche su superfici ricche di metalli quali meteoriti contenenti Fe e Ni, facendo reagire idrogeno e monossido di carbonio in fase gassosa ad una temperatura di 400 °C

- Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks

In esperimenti simili a quello di Miller, ovvero che riproducano le condizioni della Terra primordiale, è possibile produrre anche altre molecole essenziali per la vita cellulare

ES: Acidi grassi per elettrochimica

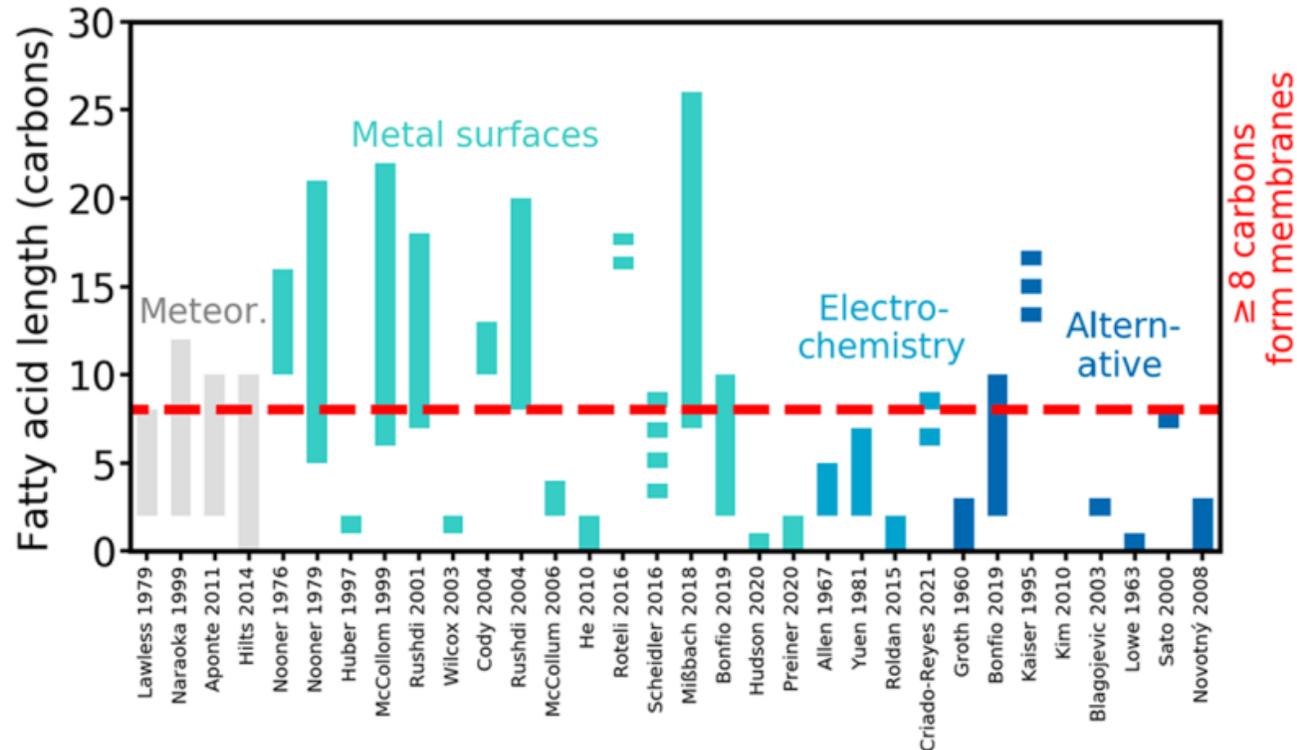


La sintesi degli acidi grassi può essere effettuata a partire da metano a temperatura ambiente e pH = 8,7, alternando scariche elettriche per 14 giorni: in tal modo si ottengono catene di 6 o 9 atomi di Carbonio

# • Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks

In esperimenti simili a quello di Miller, ovvero che riproducano le condizioni della Terra primordiale, è possibile produrre anche altre molecole essenziali per la vita cellulare

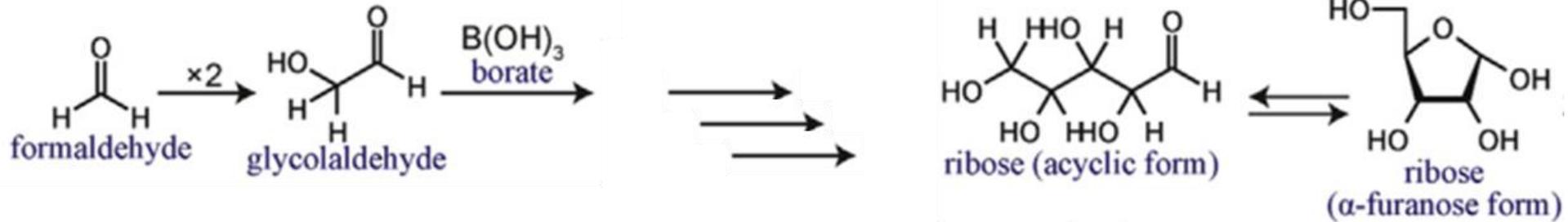
Lunghezza degli Acidi grassi ottenibili in laboratorio con i vari metodi sperimentali



- Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks

In esperimenti simili a quello di Miller, ovvero che riproducano le condizioni della Terra primordiale, è possibile produrre anche altre molecole essenziali per la vita cellulare

ES: ribosio

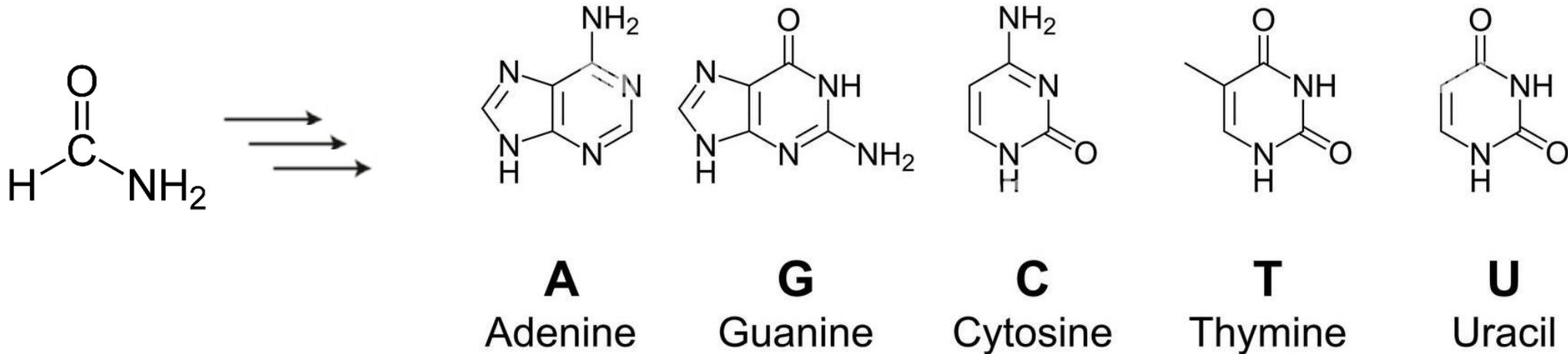


La sintesi degli acidi grassi può essere effettuata a partire da formaldeide usando ioni inorganici (ad esempio borato) come catalizzatori

- **Gli ingredienti della vita: origine dei building blocks**

In esperimenti simili a quello di Miller, ovvero che riproducano le condizioni della Terra primordiale, è possibile produrre anche altre molecole essenziali per la vita cellulare

**ES: basi azotate**



La sintesi delle basi azotate che ritroviamo negli acidi nucleici può essere effettuata a partire da formammide, una molecola diffusa nello spazio interstellare, usando come catalizzatori polvere di meteoriti di vario tipo e irradiando con fasci di protoni ad alta energia che a loro volta simulano i raggi cosmici

*Dettagli di queste reazioni si possono trovare in Kitadai et al., Geoscience Frontiers 9 (2018) 1117e1153; disponibile nella cartella "Materiale integrativo" su e-learning, nome del file "LEZ\_4\_LIFEBuildingBlockSynthesis"*

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA



In che modo si sono originate le molecole che hanno consentito le funzioni essenziali per la vita cellulare?

- ✓ Replicazione
- ✓ Catalisi
- ✓ Isolamento dall'ambiente esterno

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

Secondo tale ipotesi, gli organismi viventi che oggi conosciamo si sarebbero evoluti a partire da un Sistema più semplice che ha utilizzato un unico acido nucleico ovvero l'RNA.

Nel mondo ad RNA, le sequenze geniche sarebbero state ricopiate da altre molecole di RNA con funzione catalitica.

# • L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

L'ipotesi del mondo ad RNA fu proposta nel 1986 da Walter Gilbert sulla base della scoperta della attività catalitica posseduta da alcune molecole di RNA detta per questo ribozimi

618

NEWS AND VIEWS

NATURE VOL. 319 20 FEBRUARY 1986

## Origin of life

# The RNA world

from Walter Gilbert

UNTIL recently, when one thought of the varied molecular processes at the origin of life, one imagined that the first self-replicating systems consisted of both RNA and protein. RNA served to hold information, whereas protein molecules provided all the enzymic activities needed to make copies of RNA and to reproduce themselves. The cycle that developed a self-replicating system out of the primitive soup of amino acids and nucleotides had two radically different components<sup>1</sup>

useful exon to pass from one replicating structure to an unrelated one.

This picture of the RNA world is one of replicating molecules that reassort exons by transposable elements created by introns. This process builds and remakes RNA molecules by chunks and also permits the useful distinction between information and function. Information storage needs to be one-dimensional, for ease of copying, but molecules with enzymic functions tend to be tight three-

by arranging them according to an RNA template using other RNA molecules such as the RNA core of the ribosome. This process would make the first proteins, which would simply be better enzymes than their RNA counterparts. I suggest that protein molecules do not carry out enzymic reactions of a different nature from RNA molecules but are able to perform the same reactions more effectively and rapidly, and hence will eventually dominate. These protein enzymes are encoded by RNA exons, thus they, in turn, are built up of mini-elements of structure.

Finally, DNA appeared on the scene, the ultimate holder of information copied from the genetic RNA molecules by reverse transcription. After double-stranded DNA appeared there exists a



Walter Gilbert (21/3/1932)  
biochimico e fisico statunitense,  
premio Nobel nel 1980 per le  
scoperte sul DNA

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

The Nobel Prize in Chemistry 1980

## The Nobel Prize in Chemistry 1980

Paul Berg  
Walter Gilbert  
Frederick Sanger

Share this



Photo from the Nobel Foundation archive.

**Paul Berg**

Prize share: 1/2



Photo from the Nobel Foundation archive.

**Walter Gilbert**

Prize share: 1/4



Photo from the Nobel Foundation archive.

**Frederick Sanger**

Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Chemistry 1980 was divided, one half awarded to Paul Berg "for his fundamental studies of the biochemistry of nucleic acids, with particular regard to recombinant-DNA", the other half jointly to Walter Gilbert and Frederick Sanger "for their contributions concerning the determination of base sequences in nucleic acids"

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

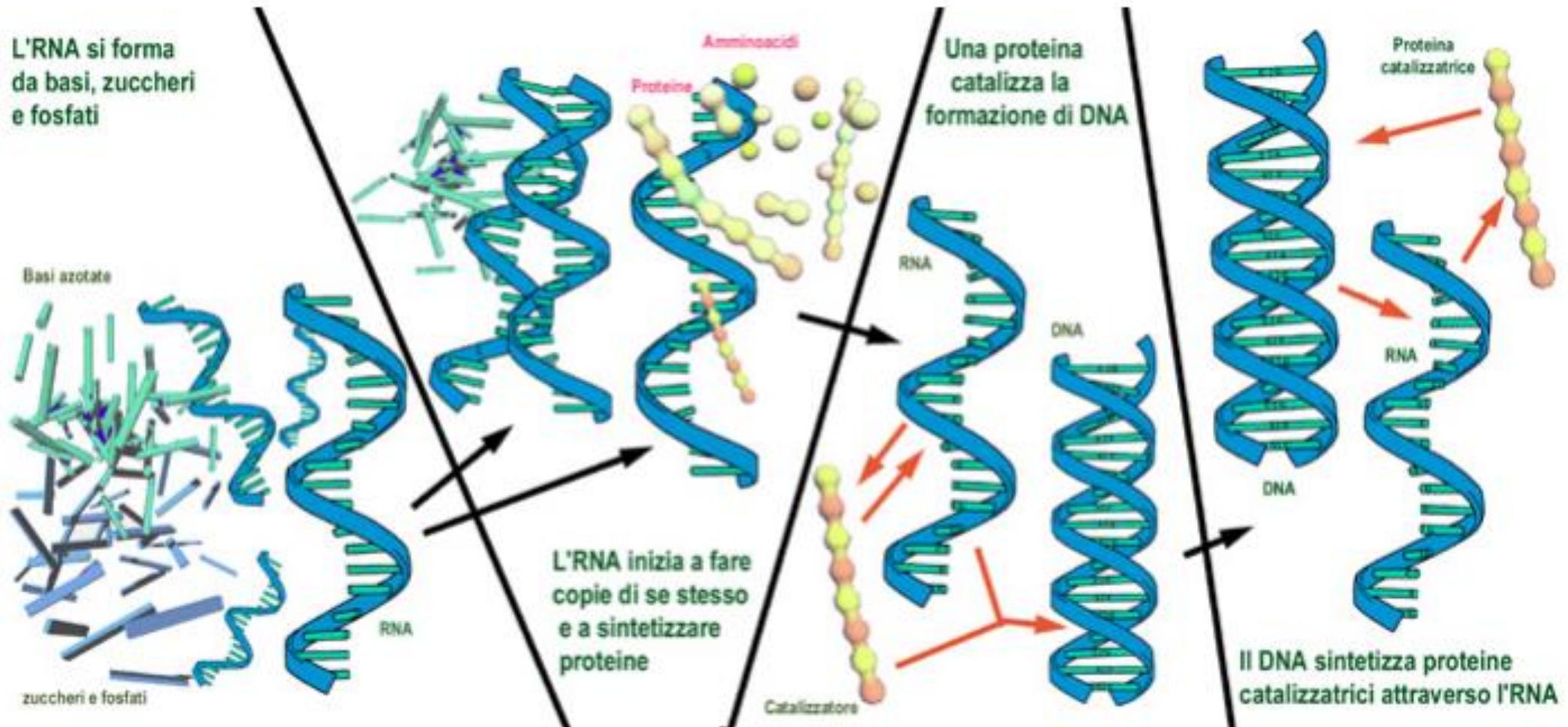


Figura 6.1 – Una possibile evoluzione del “Mondo a RNA” (Immagine: G. Galletta).

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

Prima fase: formazione dei nucleotidi e loro polimerizzazione

Le basi azotate e le molecole di ribosio (presumibilmente formatesi mediante processi simili a quelli proposti nelle slides precedenti) si combinano con molecole di fosfato inorganico per dare luogo ai nucleotidi

I nucleotidi neo-formati si legano tra di loro chimicamente e quando i filamenti raggiungono la lunghezza di circa 100 basi, essi si ripiegano assumendo le conformazioni che consentono loro di svolgere diverse funzioni (tra cui la compartimentazione e la formazione di strutture simili ai ribosomi)

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

Seconda fase: l'RNA si auto-duplica e inizia la sintesi delle proteine

La costruzione di un filamento di RNA a partire da singoli mono-nucleotidi potrebbe essere stata condotta da tratti intronici, ovvero parti della sequenza nucleotidica che non entrano a far parte della molecola finale, che si distaccano spontaneamente (autodistacco dell'introne) favorendo il trasferimento di nucleotidi, in un processo simile a quello catalitico svolto dalle proteine.

Un processo simile è mostrato da alcuni virus e viroidi, nei quali si verificano casi di modifiche spontanee dopo la replicazione. Questi fenomeni potrebbero essere residui di antiche attività ribozimiche rimaste incorporate in strutture biologiche attuali.

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

Seconda fase: l'RNA si auto-duplica e inizia la sintesi delle proteine

La sintesi delle proteine parte grazie all'attività catalitica dei ribozimi che, usando i singoli amminoacidi generati a partire da molecole semplici secondo una chimica alla Miller, catalizzano la formazione dei legami peptidici tra amminoacidi.

Le proteine così prodotte, dotate di una attività catalitica più potente, avviano la sintesi del DNA che soppianta l'RNA nella funzione di conservazione della informazione genetica.

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

Terza fase: le proteine avviano la sintesi del DNA

Le combinazioni dei 20 amminoacidi biologici avrebbero garantito una gamma di attività enzimatiche molto più ampia di quella offerta dalle combinazioni delle quattro basi azotate dell'RNA.

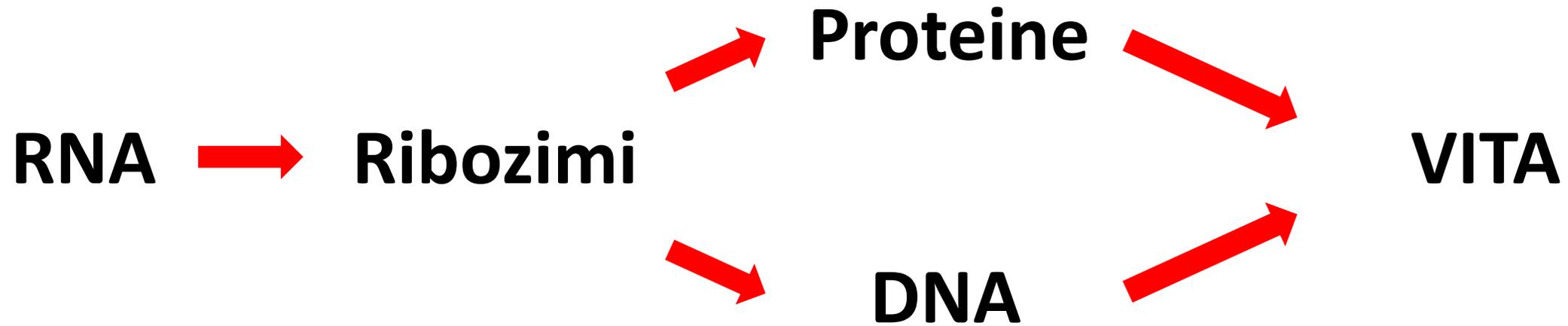
Secondo il meccanismo di selezione naturale, il processo enzimatico guidato dalle proteine sarebbe riuscito a soppiantare gli altri, affermandosi come cardine del processo di riproduzione.

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA

Quarta fase: inizia la sintesi proteica basata sull'uso di DNA come stampo

L'evoluzione ha selezionato il meccanismo di sintesi delle proteine come lo conosciamo oggi ovvero basato sull'uso di DNA, come portatore della informazione, e sull'uso di RNA, che trasferisce dal DNA alle cellule l'informazione genica.

- L'origine delle macromolecole: ipotesi del mondo ad RNA



- L'origine della vita. Una miscela speciale.

Riassumendo.....

Possiamo immaginare in che modo si siano originate le molecole biologiche e come queste abbiano potuto riprodursi ed interagire con l'ambiente, eventualmente schermandosi con strati di sostanze organiche come fanno oggi i batteri, ma non abbiamo elementi che ci consentano di capire in che modo sia invece avvenuta l'acquisizione di una **struttura molto selettiva**, con precise regole, che devono essersi trasmesse invariate nel tempo fino alle specie attuali, a partire da LUCA fino ad oggi.

- L'origine della vita. Una miscela speciale.

### Struttura molto selettiva

- Amminoacidi proteici: tutte le forme di vita terrestre usano lo stesso set di soli 20 alfa-amminoacidi, tutti in configurazione L
- Monosaccaridi costituenti degli acidi nucleici: solo pentosi, gli zuccheri a 6 atomi di carbonio non sono in grado di formare nucleoidi nelle simulazioni di laboratorio
- Omochiralità: negli esperimenti di simulazione delle condizioni chimiche della terra primordiale, laddove compaia la chiralità si formano sempre miscele racemiche e mai un solo enantiomero.

- L'origine della vita. Una miscela speciale.

### Struttura molto selettiva

- Abbondanza relativa dei PONCHS: tutte le forme di vita terrestre sono formate da molecole a loro volta composte di questi 6 elementi; tuttavia due di essi ovvero zolfo e fosforo sono tra i meno abbondanti nello spazio e sulla Terra: il P in particolare ha un ruolo cruciale come componente degli acidi nucleici o dei lipidi di membrana, oltre ad essere spesso presente nelle proteine come importante modifica post-traduzionale.
- Unicità del codice genetico: tutti gli organismi viventi trasmettono l'informazione genetica usando le medesime combinazioni di basi del DNA, ovvero le triplette dette codoni