

Claudio Liberstell

DA O ALL'EVOLUTO: UN VIAGGIO SCONOSCIUTO

Una guida alla chimica prebiotica,
il percorso della materia alla vita

GMOPRESS

Finito di stampare nel mese di Luglio 2021
presso GMG PRESS - Albaredo d'Adige - Verona

COPYRIGHT © 2021, CLAUDIO GNACCARINI

Prima edizione: Luglio 2021

Tutti i diritti riservati. Senza l'autorizzazione scritta dell'autore è vietata la riproduzione, anche parziale, del presente volume, l'inserimento in circuiti informatici, la trasmissione tramite qualsiasi mezzo elettronico e meccanico, la fotocopiatura, la registrazione e la duplicazione con qualsiasi mezzo. Secondo la "Legge sulla stampa" l'eventuale citazione deve fare esplicito riferimento all'autore, al titolo e all'editore.

Claudio Gnaccarini

www.claudiognaccarini.com

La corrispondenza va indirizzata a:
info@claudiognaccarini.com

Da 0 all'evoluto: un viaggio sconosciuto

Prefazione	3
-------------------	----------

Introduzione	4
---------------------	----------

La materia si organizza senza vivere	7
Gli elementi della tavola periodica la loro origine nell'universo	7
La struttura degli atomi	10
Gli orbitali e l'organizzazione elettronica degli atomi	12
Gli atomi si organizzano senza vivere: le molecole	14
I legami chimici	14
Ossidante e riducente, le implicazioni nello sviluppo della vita	18
Formule chimiche come chiave di lettura delle biomolecole	19
Le basi energetiche delle reazioni chimiche	20
La chimica dell'acqua alla base della vita e la sua origine sulla terra	23
I legami deboli e le loro implicazioni nell'organizzazione delle biomolecole	25
Legame ad idrogeno e la struttura delle molecole dalla vita	27
Interazioni idrofobiche e la formazione di compartimenti prebiologici	27
Alla base della vita, il pH, gli acidi, le basi, i sali e le loro definizioni	31
La chimica organica: il carbonio coordina le biomolecole	35
Breve prontuario di chimica organica, come si formano le molecole della vita	37
La chiralità e la sua origine sulla terra, la vita ha preso un senso, perché?	41
Bibliografia capitolo 1	51

La cellula: unità vivente e punto di partenza per un'indagine a ritroso	53
I batteri: dopo una probabile protocellula	53
Strutture di contenimento delle unità viventi	54
Il dogma centrale dell'attuale biologia: DNA-RNA-Proteine	56
Gli acidi nucleici: DNA e RNA in competizione per la vita, un confronto	58
L'RNA: perché è stato probabilmente il primo?	60
Le proteine: perché sono apparse?	62
Implicazioni nella vita di: metalli, cofattori e loro origine	66
Gli enzimi alla base della biocatalisi	70
L'espressione genetica come paradigma della vita	77
La trascrizione	77
La traduzione	81
Il codice genetico: "a frozen accident"	84
Vacillamento e la degenerazione del codice genetico	87
L'origine del codice genetico, perché ne esiste uno ed è quindi universale?	89
Teoria dell'incidente congelato	90
Teoria stereochimica	91
Teoria coevolutiva	92
Teoria della minimizzazione degli errori	93
Teoria della quarta colonna (per noi riga)	94

La replicazione del codice genetico: il DNA una tappa dopo l'inizio della vita	96
Virus e viroidi: loro origine nelle prime fasi della vita	102
Bibliografia capitolo 2	107

I requisiti della vita **113**

Dagli elementi chimici alla vita	113
Storia di una lunga speculazione: dall'antichità ad oggi	115
L'origine della chimica prebiotica	119
I livelli di organizzazione dalla materia alla vita	119
Le basi energetiche della vita	121
La vita come sistema lontano dall'equilibrio	126
Cos'è LUCA? The last universal common ancestor	133
Ipotetici requisiti per la formazione delle protocellule	135
Ipotesi sugli ambienti in cui la vita potrebbe essersi generata	139
Il brodo primordiale o zuppa prebiotica	139
Le sorgenti idrotermali	142
L'origine extraterrestre	145
Le tappe per arrivare alla protocellula	149
Bibliografia capitolo 3	155

Dalla formazione delle biomolecole ai biopolimeri **159**

Dall'azoto minerale all'azoto organico: la fissazione dell'azoto prebiotico	159
Dal fosforo minerale al fosforo organico: la fissazione del fosforo prebiotico	165
Il carbonio nella formazione delle biomolecole	172
Dal carbonio agli acidi grassi e le membrane	172
Formazione di molecole anfifiliche come costituenti delle membrane	178
Dal carbonio agli aminoacidi	181
Polimerizzazione non enzimatica degli aminoacidi	186
Formazione dei nucleotidi, dagli zuccheri alle basi azotate e loro condensazione	192
Il ribosio	192
le basi azotate	196
Da qui in avanti più nulla dallo spazio	202
Formazione dei nucleotidi	202
Formazione degli oligonucleotidi verso il codice genetico e la catalisi	211
Nucleotidi attivati come 5' fosforimidazolidi	216
Bibliografia capitolo 4	219

Dall'evoluzione chimica ad mondo auto replicante **227**

Un mondo autoreplicante a RNA	227
Dai filamenti di RNA ai ribo-organismi	238
La formazione dei peptidi prima dei ribosomi	240
La formazione di nucleosidi in cellule e protocellule	242
La fosforilazione di nucleosidi in cellule e protocellule	245
L'RNA replica l' RNA: le replicasi	248
Le protocellule: inizia l'evoluzione darwiniana?	253
Le protocellule	256
Le protocellule a RNA	258
Le protocellule a RNA e a peptidi	260
Le protocellule a RNA e a proteine	261

Le protocellule a DNA, a RNA e a proteine	262
I ribosomi: origine o chiave di lettura?	265
Cercando l'evento perfetto, gli elementi, le condizioni e un possibile sospetto: il ferro	270
Conclusione	278
Bibliografia capitolo 5	280

La dedica in un libro è necessaria e di solito va alle persone che ti hanno motivato e ispirato. In questo credo di essere debitore a chi mi ha preceduto in questi studi, producendo una mole grandiosa di dati, ipotesi ed elaborazioni.

Sento di essere stato motivato anche dalle menti più brillanti con le quali ho avuto il piacere di interagire, ma anche dall'insegnamento, quindi dalle mie alunne e dai miei alunni a cui ho pensato quando ho scritto il testo ed ho elaborato le immagini, nella speranza di rendere i concetti semplici e comprensibili.

Un sincero ringraziamento va alla professoressa Maria Federica Piccinelli per l'attenta rilettura del testo e per i suggerimenti.

Ringrazio poi Giuseppe e Maurizio, come anche tutto il personale di GMG press per la collaborazione e professionalità.

Prefazione:

Il titolo presenta in estrema sintesi il contenuto del testo, che vuole tentare di ricostruire il viaggio della materia che l'ha portata da zero alla prima cellula autonoma, detta anche **LUCA** (Last Universal Cellular Ancestor) e che io vorrei ribattezzare **l'evoluto**, il primo frutto di un percorso evolutivo sconosciuto, ovvero quello della **materia inanimata**. Come la vita sia iniziata sulla Terra o altrove è ancora oggetto di studio, ma anche di una estrema fascinazione, determinando speculazioni e dibattiti che, da quando sono iniziati, non hanno mai avuto fine. Anche la filosofia e la religione dibattono, perché, se anche un giorno si potrà chiarire come e cosa abbia fatto scaturire la vita, rimane sempre affascinante interpretare il perché l'inanimato abbia deciso di animarsi e come la vita sia riuscita a mantenersi irrefrenabile. Alla base di questa spinta, è evidente, fin dall'inizio deve aver agito una qualche forma di **energia**. L'organizzazione non è mai sembrata frutto del caso e nella vita di organizzazione ve n'è davvero molta; la più parte, è vero, è il frutto dell'evoluzione. Qualsiasi sia stato il modo, la materia organica, seppur fragile, in un ambiente ostile e priva di ogni protezione, deve essere riuscita non solo a mantenersi, ma anche a replicarsi; il che, non vuol dire semplicemente moltiplicarsi, bensì produrre copie di se stessa con tutto il suo ordine, senza errori. Tale organizzazione deve essere stata inizialmente molto inferiore a quella della vita attuale. Persino la struttura di una membrana cellulare sembra troppo complessa per essersi generata spontaneamente, sia essa di una cellula eucariota, che di una procariota, la quale è persino provvista di una parete per resistere all'ambiente esterno. L'intento di questo volume è quello di voler essere **una guida alla chimica prebiotica**; quindi non una trattazione chimica minuziosa sull'argomento, ma leggibile da chiunque, non solo da persone in possesso di una laurea in materie chimiche e biologiche. Tuttavia, non vorrebbe nemmeno liquidare, come spesso accade, gli aspetti chimici come dei semplici fatti compiuti che, messi in fila con una logica ipotetica, seppur plausibile, ma priva di ogni dimostrazione scientifica, dia il risultato sperato come scontato, ma non dimostrato. Verrà quindi fornita una breve introduzione alla chimica e alla biologia di base in cui saranno introdotti gli argomenti propedeutici ad una comprensione della vita attuale e del suo sviluppo. In questo modo, anche chi si trovi poco fornito dei mezzi specialistici o li abbia in parte dimenticati potrà progressivamente entrare nell'argomento, fino comprendere le parti più avanzate degli esperimenti volti a dimostrare l'origine della vita.

Percorreremo quindi un affascinante viaggio nella biologia cellulare per come la conosciamo oggi, scomponendola nei suoi singoli elementi biochimici di base, per capire come questi mattoni possano essersi formati e poi in qualche modo assemblati, seppure la dicitura "**in qualche modo**" sarà per quanto possibile evitata, perché poco consona ad un ambito scientifico.

Introduzione

All'origine della vita ci sono due grandi questioni, entrambe ancora aperte, che a loro modo ci lasciano in uno stato di incertezza e speranza allo stesso tempo: siamo soli in questo universo o siamo una grande famiglia di entità vitali? Di questo non vi è risposta e segnali dallo spazio non ne provengono. Se non siamo soli, forse, potremmo essere i più evoluti. Se sia un caso o l'altro l'orizzonte nel quale ci collochiamo è diverso, seppure la realtà non cambia. Sapere di essere soli, creature pensanti e coscienti in questa immensità, ci pone come unici testimoni dell'universo intorno al quale, è inutile negarlo, si pone l'antropocentrismo. Al contrario, essere uno dei tanti viventi dell'universo pone l'uomo in una grande famiglia, togliendoci il primato di testimoni unici. Invece la cosa non cambia molto da un punto di vista scientifico e nemmeno religioso; in entrambi i casi, non viene negata e nemmeno confermata la presenza di Dio, che resta un atto di fede. Certamente filosoficamente parlando, le cose cambiano: sapere di essere uno fra tanti pianeti abitati o essere l'unico, cambia la consapevolezza, la necessità di avere una responsabilità o poterci deresponsabilizzare di fronte all'intero cosmo, sia stato Dio o il caso a volerlo. Seppure tutto potrebbe essere iniziato per volontà, per caso o per errore, resta il fatto che siamo qua e per quanto vedremo in seguito, questo arrivo non sembra essere stato tanto facile. Provando a fare un percorso a ritroso, ovvero dalla vita attuale fino all'origine, troviamo numerosi passaggi in un vuoto scientifico, privi di vere dimostrazioni. Persino i pochi punti fermi sono oggetto di un continuo dibattito.

Arrivare a dimostrare l'origine della vita non è facile, non essendo semplice la vita stessa, ma volendo tentare una via, gli approcci potrebbero essere due:

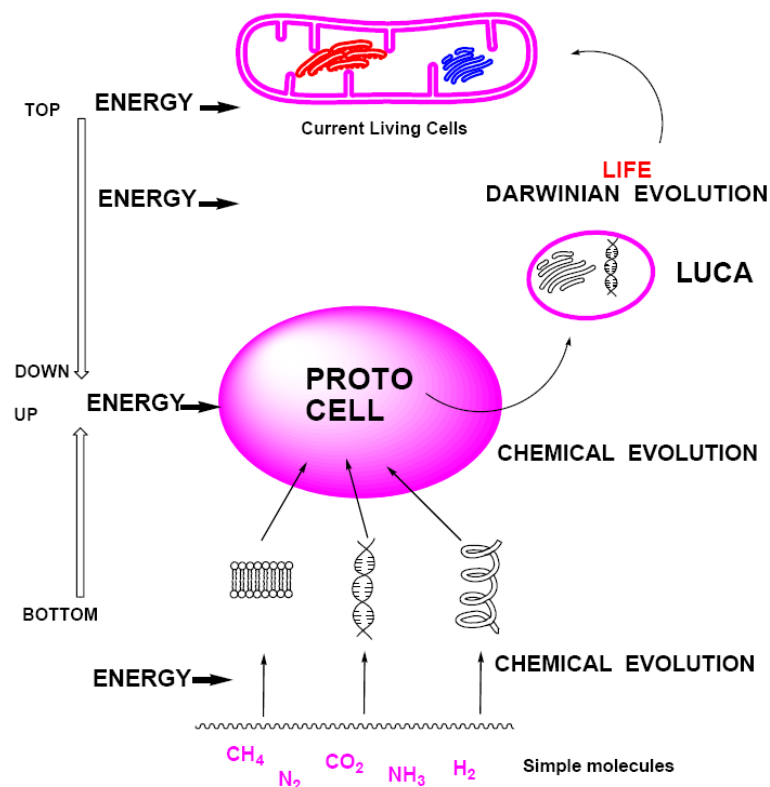
Uno è il **Top-Down**, in cui si prende la vita nelle sue forme più semplici e la si prova a scomporre a ritroso. In questo senso si potrebbero considerare i batteri, microrganismi in generale, dotati di una forma di vita automa, possibilmente autotrofi. Perché se la vita si è generata, è iniziata senza l'aiuto della vita stessa, per questo parliamo di autotrofi (che si nutrono da soli), organismi che vivono senza la necessità di altri organismi. Fra questi ci sono fotoautotrofi che ricavano la loro energia dalla luce, ma appaiono già troppo complessi per gli inizi della vita, mentre i primi organismi erano probabilmente dei litoautotrofi ovvero organismi che ricavano l'energia da fonti minerali [1 – 5]. Riprendendo il filo del discorso, l'operazione che si potrebbe fare è di prendere questi organismi e semplificarli, rimuovendo geni ed elementi superflui, fino ad arrivare all'organismo più semplice possibile, quello che ha ancora le minime parti per dirsi in vita, quindi mantenersi e replicarsi, arrivando così molto vicini a **LUCA** (Last Universal Common Ancestor or Last Universal Cell Ancestor) [6 – 9].

Il problema è che per quanto si è visto, si ottiene un organismo con ancora dai 500 ai 1000 geni [1, 10 – 11], una membrana ecc. quindi molto, troppo complesso per potersi essere formato spontaneamente.

L'altro approccio è partire dal basso (**Bottom-Up**), ovvero da molecole organiche semplici che potrebbero essersi formate spontaneamente, di cui troviamo traccia anche in comete e meteoriti. Lo scopo sarebbe vedere come queste sostanze si siano assemblate, fino ad arrivare ad un aggregato di molecole o anche una sola molecola in grado di replicarsi autonomamente. Il tutto guidato da una qualche spinta

energetica e con il supporto di altre sostanze organiche provenienti dall'ambiente circostante. Iniziando così un processo che viene chiamato **evoluzione chimica** o **“unnatural selection”** [12]. Ovvero, un processo in cui una molecola sia forzata a replicarsi, compiere errori sia deleteri che vantaggiosi, così da permettere l'evoluzione verso nuove molecole ed arrivare a complessi in grado di replicarsi, creare compartimenti in cui definire se stesse, ma soprattutto in grado di conservare e trasmettere informazioni genetiche e avviare così un processo di **evoluzione darwiniana**. Arrivati a questo punto, si parla di **biologia**, quindi di vita e la strada tracciata dalla scienza diventa molto più sicura. Il problema è che fra la materia inanimata e LUCA vi è un salto di complessità, organizzazione enorme, che lascia un vuoto di conoscenza altrettanto vasto.

Gli approcci tentati sono stati entrambi: dall'alto e dal basso, al punto che oggi si parla di cellule artificiali, strutture semi cellulari semplificate, ma anche di evoluzione chimica. In questo testo si darà più spazio al secondo approccio, dal basso verso l'alto, dal semplice verso il complesso, perché è il processo che è stato seguito anche dalla natura per arrivare alla vita, ma non ci dimenticheremo nemmeno di parlare degli approcci Top-Down.



Il testo, pur essendo una guida, non rinuncia al rigore scientifico e fa riferimento a circa 800 pubblicazioni ufficiali, primarie e secondarie. Ciononostante, risulta una selezione delle innumerevoli pubblicazioni sull'argomento. Mi scuso con gli autori che sono stati esclusi per ragioni di sintesi, ma non di importanza. Se nel testo dovessero esserci delle imprecisioni o errori, l'autore sarà lieto di accogliere qualsiasi segnalazione. Mi sarà perdonato il fatto che le immagini hanno spesso le descrizioni in inglese, questo per rimanere coerenti a dei termini che sono stati definiti fin dalla loro origine in tale lingua e sono difficilmente traducibili, come lo sarebbe l'italiano in un testo di musica classica, o il greco in un testo di filosofia antica.