

Nasce l'Istituto Astrobiologico Italiano- Rete dei laboratori Nazionali di Astrobiologia IAI-AstroBioLab

Il ruolo dei composti inorganici nella chimica della vita

Luca Toniatti, Luca De Gioia

Metabolism as we might find it in space

William F. Martin

Encelado e l'oceano che potrebbe ospitare la vita

Daniela Ascenzi

I giochi della vita e la chimica prebiotica

Savino Longo

La vita, l'intelligenza ed il ruolo dell'informazione

Rosario Muleo

Microbes from planet Earth will be needed to pave the way between exploration and space

Colonization

Alexandre Soares Rosado

Variazioni anomale della concentrazione di Ossigeno su Marte

Matteo De Fazio

Inevitable future: space colonization beyond Earth with microbes first

Giovanni Gallo

Nasce l'Istituto Astrobiologico Italiano- Rete dei laboratori Nazionali di Astrobiologia IAI-AstroBioLab

Raffaele Saladino

È un momento importante per l'Astrobiologia Italiana. La Società Italiana di Astrobiologia (SIA), al fine di promuovere le conoscenze di base ed applicate dell'Astrobiologia e con lo scopo di agevolare il coordinamento e lo sviluppo congiunto di diverse discipline scientifiche e dei relativi programmi di ricerca, ha promosso la fondazione dell'Istituto Astrobiologico Italiano-Rete dei laboratori Nazionali di Astrobiologia IAI-ASTROBIOLab

(www.astrobiologia.weebly.com), per il raggiungimento dei seguenti obiettivi nella ricerca fondamentale ed applicata: i) Promuovere il progresso delle conoscenze; ii) Sviluppare e coordinare la ricerca del settore; iii) Stimolare la collaborazione tra i ricercatori di diverse discipline; iv) Favorire lo sviluppo di tecnologie abilitanti per applicazioni terrestri e spaziali. Alla fondazione dello IAI-ASTROBIOLab hanno partecipato numerosi laboratori di ricerca selezionati tramite apposito bando aperto e pubblicato sul sito della SIA da un panel di esperti nazionali ed internazionali che hanno valutato e verificato la qualità delle competenze astrobiologiche dei richiedenti. Lo IAI-ASTROBIOLab rappresenta una struttura di ricerca diffusa e multidisciplinare avente come obiettivo principale lo studio della astrobiologia, alla quale hanno aderito i

seguenti laboratori di ricerca: i) Laboratorio di Chimica Organica e Prebiotica, Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche (DEB), della Università della Tuscia di Viterbo (prof Raffaele Saladino); ii) Laboratorio di Enzimologia degli Estremofili e Glicobiologia, Dipartimento di Biologia (DiB), Università degli studi "Federico II" di Napoli (prof Marco Moracci); iii) Istituto di Biologia e Patologia Molecolari (IBPM) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università la "Sapienza" di Roma (drssa Giovanna Costanzo); iv) Laboratorio di Astrobiologia INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri (dr John Robert Brucato); v) Laboratorio di Astrobiologia e Biologia Molecolare dei Cianobatteri, Dipartimento di Biologia dell'Università di Tor Vergata di Roma (prof Daniela Billi); vi) Laboratorio di Chimica Teorica (TEO) e Chimica Fisica delle Superfici e delle Interfacce (SURFIN) e del Centro delle Interfacce e Superfici Nanostrutturate (NIS) del Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino (prof Piero Ugliengo); vii) Istituto di Bioscienze e BioRisorse del Consiglio Nazionale delle Ricerche -Sede di Napoli (drssa Beatrice Cobucci Ponzano); viii) Laboratorio di Genomica Funzionale e Proteomica dei Sistemi Modello, Dipartimento di Biologia e Biotecnologie C. Darwin (BBCD), Università la "Sapienza" di Roma (prof Rodolfo Negri); ix) Laboratorio di Spettroscopia Rotazionale e Computazionale, Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician", Università di Bologna (prof Cristina Puzzarini); x) Laboratorio di Chimica dei Sistemi e dei prodotti Bioispirati del

Dipartimento di Scienze Chimiche (DSC) della Università degli studi "Federico II" di Napoli (prof Marco d'Ischia); xi) Laboratorio di Biofisica delle Radiazioni e Fisica Medica, Dipartimento di Fisica, Università di Trento (prof Chiara la Tessa); xii) Laboratorio di Chimica Organometallica e Catalisi, presso il Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC), Università dell'Aquila (prof Marcello Crucianelli); xiii) Laboratorio di strumentazione elettronica del dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologia della Informazione della Università degli studi "Federico II" di Napoli (prof Andrea Irace); xiv) Laboratorio di Sintesi Farmaceutica, Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco, Università degli Studi di Parma (prof Marco Radi). Questi laboratori sono coinvolti con elevata competenza e professionalità nella ricerca fondamentale ed applicata nei principali settori della astrobiologia, che comprendono l'origine della vita, l'astrochimica, la chimica prebiotica, la radiobiologia, la biologia sintetica, gli estremofili, l'abitabilità, la ricerca della vita nello spazio, la ricerca della vita nei pianeti extra-solari, la panspermia, lo sviluppo di nuove procedure analitiche, e l'identificazione di biomarcatori della vita. I risultati già conseguiti nell'ambito di questi studi sono testimoniati dai numerosi progetti di ricerca Nazionali ed Internazionali attualmente in corso i cui risultati trovano importanti applicazioni oltre che in ambiente spaziale anche nello sviluppo della tecnologia terrestre e nella definizione di nuovi protocolli e procedure per la salute e il benessere

umano, tra i quali Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) Originale Chemiae in Antiviral Strategy-Origin and Modernization of Multi-component Chemistry as a source of Innovative Broad Spectrum Antiviral Strategy; Progetti finanziati dalla Agenzia Spaziale Italiana (ASI) anche in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) condotti in ambiente terrestre, su satelliti, o sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) tra i quali i) Vita nello Spazio - origine, presenza e persistenza della vita nello spazio, dalle molecole agli estremofili; ii) BIOlogy and Mars Experiment and Biofilm Organisms Surfing Space; iii) BIO-Signatures and habitable Niches; iv) MARS-PRE MARcatori biologici e funzionali per la medicina aStronautica di PREcisione; v) Measurements of neutron production in thick passive shielding and assessment of LET distribution for radiobiological effects; vi) ABCS (AstroBio CubeSat); Progetti finanziati dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) FOOT-Fragmentation of Target per lo sviluppo di sistemi di radioprotezione; Progetti della Comunità Europea H2020 AstroChemical Origin (ACO) pensato per rivelare la storia passata del Sistema Solare usando l'Astrochimica come strumento di indagine. Di rilevante interesse risulta anche essere la partecipazione a diverse missioni spaziali, tra le quali la missione OSIRIS-REx (Origins, Spectral Interpretations, Resource Identification, Security - Regolith Explorer) diretta verso l'asteroide 1999 RQ36 (Bennu), e la missione missione Exo-Mars. L'Istituto Astrobiologico Italiano-Rete dei laboratori

Nazionali di Astrobiologia IAI-ASTROBIOLab avrà anche l'importante funzione di educare alla ricerca una nuova generazione di esperti di Astrobiologia con una formazione interdisciplinare e multisetoriale.

Un nuovo ed importante stimolo per la ricerca del settore, ed un valido regalo per le sfide del domani.

Buone Feste!



Raffaele Saladino

Presidente della SIA

Università della Tuscia, Viterbo

Un nuovo Comitato Editoriale

Il bollettino della SIA "Astrobiologia" ha da questo numero un nuovo Comitato Editoriale. Un saluto ai neo-redattori *Bruno Mattia Bizzarri, Andrea Strazzulli, Claudia De Micco* e *Luca Tonietti*. A tutti un augurio di buon lavoro!



Bruno Mattia Bizzarri

Bruno Mattia Bizzarri è attualmente ricercatore presso il dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche dell'Università degli studi della Tuscia (Viterbo). Nel 2013 si è laureato in Chimica e Tecnologie Farmaceutiche presso l'Università degli studi Siena ed ha conseguito il Ph.D nell'ambito del Dottorato in Chimica Ecosostenibile presso l'Università degli studi della Tuscia nel 2017. La sua attività di ricerca si concentra principalmente sulla estrazione, caratterizzazione e sintesi organica di prodotti naturali biologicamente attivi mediante lo sviluppo di metodologie eco-sostenibili e sull'investigazione di sistemi chemomimetici nel campo della chimica multi-componente e della chimica prebiotica.



Andrea Strazzulli

Sono un ricercatore in biochimica e faccio parte del gruppo di Enzimologia degli Estremofili e Glicobiologia, presso il Dipartimento di Biologia (DiB), Università degli studi di Napoli "Federico II". I miei interessi di ricerca sono principalmente (ma non esclusivamente) rivolti all'enzimologia, alla biologia molecolare e alla microbiologia degli estremofili, con particolare interesse nello studio del ruolo degli ambienti estremi nell'origine ed evoluzione della vita mediante approcci di tipo "-omico".

Ho mosso i miei primi passi nell'astrobiologia durante il primo anno di dottorato partecipando al "Primo Workshop della Società Italiana di Astrobiologia" a Cortona nel 2008. Da allora ho partecipato attivamente a diversi meeting nazionali sul tema e a diversi gruppi di lavoro su progetti supportati dall'Agenzia Spaziale Italiana, mentre, più recentemente, ho fatto parte del comitato organizzatore del 6° Workshop della Società Italiana di Astrobiologia che si è tenuto a Napoli nell'ottobre 2018. Far parte del Comitato Editoriale del Bollettino della Società rappresenta per me una stimolante opportunità per comunicare al pubblico (sia addetto ai lavori che non) i più recenti studi e scoperte d'interesse nel campo astrobiologico.



Claudia De Micco

La mia passione per l'astrobiologia è sempre stata forte, sin dal primo anno di università. Mi ci sono imbattuta frequentando un corso tenuto dalla Prof.ssa Barbara Cavalazzi all'Università di Bologna. In questi anni di studio ho approfondito diversi aspetti della biologia e delle biotecnologie che hanno alimentato il mio crescente interesse verso la ricerca della vita oltre la Terra, lo studio delle biosignatures e di come la vita si sia adattata a condizioni estreme e come possa farlo in condizioni outer space. Mi sono laureata in Biotecnologie presso l'Università del Salento con una tesi sperimentale in Biologia Cellulare dei Vegetali. Ho scelto questo campo per il mio internato poiché ho sempre trovato affascinante studiare forme di vita "aliena" come piante, funghi e batteri, organismi viventi che funzionano per alcuni versi in un modo così affascinante e sorprendente rispetto alle cellule animali. Sono molto interessata allo studio degli organismi capaci di sopravvivere a condizioni estreme, non solo per riuscire a capire come la vita si sia potuta evolvere sulla Terra, ma anche per implicazioni tecnologiche. Ad esempio, attraverso l'identificazione di enzimi potenzialmente utili per diverse applicazioni biotecnologiche a supporto dell'uomo nella permanenza e nell'esplorazione spaziale. Attualmente sono studentessa di

Biotecnologie Industriali ed Ambientali presso l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro.

Ho partecipato all'AbGradE 2018 con un talk "Communicating astrobiology in the era of fake news", ho frequentato il corso di "Astrochimica e all' Astrobiologia" tenuto dal Professor Savino Longo dell'Università di Bari; ho frequentato e completato il corso on-line "Super-Earths and Life" offerto dalla Harvard University. Curo da un anno e mezzo la creazione di contenuti e la pubblicazione per la pagina Facebook "Astrobiologia per Tutti". Da ottobre di quest'anno sono diventata membro ordinario della Società Italiana di Astrobiologia e membro del Comitato Editoriale della stessa.



Luca Toniatti

L'interesse per l'astrobiologia, l'astrochimica e per l'origine della vita deriva in realtà da una pura casualità cercando un campo di studi che unisse la vita con la fisica dello spazio. Un amico laureato in fisica mi ha raccontato l'esistenza di queste discipline. Da quel momento è stato tutto un crescendo di scoperte di interessi fino a che non ho affrontato nei miei percorsi di studi alcuni corsi di evoluzione e relazione funzione-struttura. Grazie a questi ho scoperto che esistono discipline che studiano il ruolo di molecole prettamente inorganiche

all'interno di proteine ed enzimi. L'energetica molecolare e la chimica quanto-meccanica sono diventate da quel momento la mia passione, quello che volevo fare, sia dal punto di vista meccanicistico che evolutivistico. Come fanno gli esseri viventi a contenere atomi metallici certe volte anche abbastanza rari? Capire come funziona la vita sulla Terra è il primo passo per comprendere come la vita si possa formare nello spazio. È impossibile non pensare e non sognare di incontrare un domani altri enti biologici nell'Universo.

La passione per l'astrobiologia ed il fatto che molti come me non sono a conoscenza della sua esistenza mi ha portato poi a creare un sito web (astrobio.it) che tenta di divulgare questa materia a tutti quelli che potrebbero essere interessati.

Articolo

Il ruolo dei composti inorganici nella chimica della vita

Luca Toniatti, Luca De Gioia

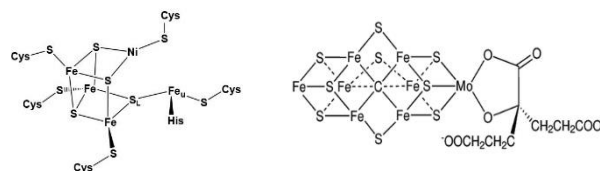
*Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze,
Università degli Studi di Milano-Bicocca*

Fin da quando, sulla Terra primordiale, l'acqua, le rocce e le correnti idrotermali si incontravano per loro stessa natura sul fondo dell'oceano, un elemento forniva i presupposti chimico-fisici necessari al futuro sviluppo della vita. Tra questi vi erano e vi sono tuttora i metalli, come il ferro ed il nichel.

In apparente contrasto con il secondo principio della termodinamica, che prevede una naturale degradazione della materia, l'esistenza della vita è garantita da un flusso costante di materia ed energia (che tiene il sistema lontano dall'equilibrio chimico) necessario a permettere le reazioni chimiche essenziali per la costruzione, il mantenimento ed il funzionamento degli esseri viventi. Il metabolismo, ossia l'insieme delle reazioni chimiche fondamentali per la vita, è un processo catalitico che necessita di alcune macromolecole specifiche per rientrare in tempi compatibili con l'esistenza degli organismi. Queste molecole, bio-chimicamente, prendono il nome di enzimi, ovvero delle strutture molecolari proteiche deputate alla catalizzazione dei processi biologici. Il funzionamento di queste proteine (arc. fermenti) è spesso garantito dalla presenza di un composto inorganico, spesso metallico, nella loro struttura. Ad oggi, pare chiaro che sia nel mondo dei viventi che in quello dei non viventi i metalli giocano spesso un ruolo fondamentale. Ad esempio, nella sfera abiotica i composti inorganici necessari a catalizzare le reazioni chimiche si possono riscontrare nel processo noto come serpentinizzazione, il quale prevede alcuni passaggi fondamentali: i minerali contenenti Fe(II) in presenza di acqua diventano magnetite, contenente Fe(III), e idrogeno molecolare. L'idrogeno molecolare può, grazie alle sue proprietà riducenti, a sua volta dare origine a metalli nativi e minerali come l'awaruite, la taenite e la kamacite, i quali contengono Ferro e Nichel, cruciali nella trattazione.

L'awaruite (Ni₃Fe) catalizza la riduzione della CO₂ a CH₄ e carburi servendosi principalmente di un gradiente

elettronico fornito dall'idrogeno molecolare. I singoli componenti di questo minerale sono noti alla scienza per essere in grado di catalizzare la formazione di prodotti organici come il formiato, il metanolo, l'acetato ed il piruvato: intermedi fondamentali nel ciclo dell'AcCoA. Si evince di conseguenza che



1. Struttura del sito attivo della CODH (sx) e della Nitrogenasi (dx)

negli stadi ancestrali della Terra, sui fondali oceanici, in presenza di elementi metallici e di un gradiente protonico i prodotti organici e le altre molecole fondamentali per lo sviluppo della vita erano sintetizzati a partire da componenti inorganiche come la CO₂ e azoto molecolare (fonti primordiale di atomi di carbonio e azoto per alcune biosintesi). Oltre ai minerali sopra-elencati, ne esistono altri con caratteristiche simili, che possono effettuare processi simili, tra questi le olivine e i pirosseni: cristalli in grado di effettuare l'ossidazione da Fe(II) a Fe(III) in assenza di Silicio (Si), il quale funziona da inibitore.

I minerali, e le strutture necessarie alla sintesi organica dei componenti della vita si possono ritrovare anche oggi negli organismi viventi. Alcuni esempi sono gli enzimi presenti nei batteri acetogeni e metanogeni, i quali hanno conservato come ricordo ancestrale Nichel e Ferro metallico. Le monossido di carbonio deidrogenasi (CODH), ad esempio, sono in grado di ridurre la CO₂ a CO (necessario nel ciclo dell'AcCoA) per mezzo di un processo catalitico mediato da un sito attivo contenente un atomo di Ni(0) legato

ad un cubo di atomi di Fe(II) e zolfo, chiamato comunemente cluster Fe-S. Un processo simile si può riscontrare anche nelle nitrogenasi, una classe di enzimi in grado di ridurre principalmente l'azoto bi-molecolare (N_2) ad ammoniaca (NH_3) servendosi di un gradiente elettronico e protonico. Queste ultime all'interno del loro centro catalitico possiedono anch'esse dei cubi (o cubani) di Fe e S, con un peculiare anione carburo a ponte tra due cubani distorti. Probabilmente, ad oggi, è l'unico esempio di enzima contenente tale atomo in questo stato di ossidazione. Le nitrogenasi contengono, inoltre, in funzione delle condizioni ambientali di crescita dell'organismo, anche un atomo di Molibdeno (Mo) o di Vanadio (V e Mo da *Azotobacter vinelandii*) o di Ferro (Fe) all'interno del sito catalitico.

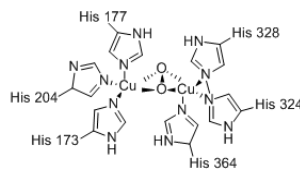
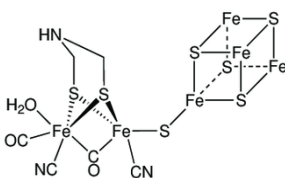
Fin qui si può già notare, che alcuni atomi prettamente caratteristici del mondo della chimica inorganica si ritrovano anche, e sorprendentemente, nel mondo degli esseri viventi. Esistono inoltre enzimi contenenti atomi di Tungsteno (W) o addirittura, secondo le ultime scoperte, enzimi di *Methylococcus ferrooxidans* contenenti atomi di Europio (Eu), un metallo del gruppo "f" della tavola periodica.

Tornando alle CODH, queste possiedono un meccanismo catalitico molto antico che coinvolge un atomo di

Le CODH sono probabilmente coinvolte in una via metabolica molto più antica dell'enzima stesso, ossia quella dell'Acetil-coenzima-A (AcCoA). La reazione esoergonica che catalizzano permette agli organismi acetogeni e metanogeni di generare un flusso di ioni transmembrana in un processo che coinvolge presumibilmente un meccanismo di biforcazione elettronica basato sulle flavine, al fine di fissare la CO_2 . Il potenziale medio dell' H_2 che sta intorno ai $-414mV$ non è sufficientemente negativo per generare un basso potenziale in grado di ridurre la ferrodossina ($-500mV$) che a sua volta può ridurre l'anidride carbonica. A tal fine gli acetogeni ed i metanogeni si sono serviti del meccanismo di biforcazione elettronica, che in breve si può spiegare così: la coppia elettronica della molecola di idrogeno viene trasferita a delle flavoproteine; le flavine separano il doppietto elettronico e mandano un elettrone verso la ferrodossina, ed un elettrone ad un accettore di elettroni più positivo come il NAD^+ ($-320mV$) o un etero-disolfuro ($-140mV$). La riduzione dell'accettore di elettroni più positivo finanzia energeticamente la riduzione dell'accettore a potenziale più negativo (che nel nostro caso è la ferrodossina), permettendo così la fissazione della CO_2 nel pathway desiderato.

Per formare AcCoA è però necessario prima di tutto un intermedio fondamentale, ovvero il CO, che viene prodotto dalla sopracitata CODH; la conversione avviene passando per un intermedio in cui il carbonio del substrato si trova legato al Nichel.

Un discorso simile può essere fatto per le nitrogenasi che coinvolgono un carburo nella riduzione dell'azoto



2. Struttura del sito attivo delle idrogenasi (sx) e dell'emocianina (dx)

nichel metallico all'interno del sito attivo dell'enzima, che ha lo scopo di catalizzare la sintesi del monossido di carbonio (CO).

molecolare ad ammoniaca (o ione ammonio NH_4^+).

Le nitrogenasi come ricordo o relitto del mondo abiotico posseggono principalmente un cluster 7Fe-9S legato ad un C^4 e ad un atomo metallico che può essere Fe, Mo o V. Il carburo, non viene formato da un processo di serpentinizzazione, ma si trova alla fine in una struttura che morfologicamente ricorda quella dei minerali sopracitati. In questo caso, questo particolare anione deriva da un processo biologico che include la maturazione della nitrogenasi stessa con la donazione di un gruppo metilico ad un centro di Fe-S da parte della SAM (S-adenosilmetionina), la quale in seguito alla donazione diventa SAH (S-adenosilomocisteina). Il carburo si lega allo zolfo del K-cluster formando un radicale $\text{H}_2\cdot\text{H}$. Il radicale si sposta poi sull'atomo di carbonio e si perdono due ioni H^+ formando l'L-Cluster, il quale lega il molibdeno dando origine all'M-cluster catalitico. Le nitrogenasi sono enzimi molto antichi, forse addirittura risalenti a LUCA (Last Universal Common Ancestor), e analisi genomiche suggeriscono che si siano conservate durante il corso dell'evoluzione. La presenza di questo ione carburo pare, ad oggi, essere fondamentale per la riduzione catalitica del triplo legame dell'azoto bimolecolare, in un complicato processo che si riassume in otto intermedi.

Ad oggi, è noto anche che le nitrogenasi, sia quelle contenenti Mo, che quelle contenenti V e Fe, sono in grado di ridurre anche la CO_2 a idrocarburi. Il meccanismo nello specifico non è ancora noto, ma attualmente ci sono delle ipotesi basate su studi di chimica computazionale.

Si può notare un parallelismo tra il Ni(0) delle CODH e il C^4 delle nitrogenasi nel fatto che sono pochi, se non gli unici pathways naturali per la riduzione di molecole come la CO_2 e l' N_2 .

Il ruolo dei metalli negli enzimi non si ferma però solo agli esempi sopra esposti. Numerose altre proteine catalitiche e -non contengono ioni metallici al proprio interno che sono fondamentali per le reazioni chimiche coinvolte. Il citocromo P450, un enzima in grado di ossidare praticamente tutte le molecole organiche, contiene all'interno del suo anello porfirinico un atomo di Fe che nel ciclo catalitico raggiunge anche lo stato di ossidazione di Fe(V). L'emocianina contiene del rame (Cu), la metanol-deidrogenasi contiene l'europio, etc.

Nel mondo delle molecole biologiche, i metalli giocano un ruolo estremamente importante, analogamente a quanto dedotto dallo studio delle rocce primordiali che hanno dato origine ai primi composti organici. Molti ioni metallici o metalli nativi possono per cui essere un punto di collegamento tra il mondo dei non viventi e quello dei viventi (sia sulla Terra che su altri corpi celesti), o quanto meno essere un ricordo di come si è originata la vita stessa. La sintesi ed il trasporto di numerosi composti avviene oggi come avveniva 4 miliardi anni fa, solo che le condizioni "sperimentali" sono migliorate, non servono più alte pressioni ed alte temperature, ma bastano le condizioni fisiche standard. In questo senso lo sfruttamento dei flussi si è ottimizzato nel tempo. La vita ha trovato un modo di sfruttare gli atomi inorganici a proprio favore per continuare a produrre composti organici cruciali nello sviluppo della biosfera.

Comprendere alcuni tasselli riguardanti l'origine e le caratteristiche della vita sul nostro pianeta permetterà magari in un futuro non troppo remoto di comprendere se e come questo straordinario fenomeno possa originarsi su altri pianeti sia nel nostro sistema solare sia nello spazio profondo.

Bibliografia:

-Jared A. Wiig, Yilin Hu & Markus W. Ribbe. Refining the pathway of carbide insertion into the nitrogenase M-cluster. *Nature Comm.* **2015**, 6, 8034.

-Martina Preiner, Joana C. Xavier, Filipa L. Sousa, Verena Zimorski, Anna Neubeck, Susan Q. Lang, H. Chris Greenwell, Karl Kleinermanns, Harun Tuysuz, Tom M. McCollom, Nils G. Holm and William F. Martin. Serpentinization: Connecting Geochemistry, Ancient Metabolism and Industrial Hydrogenation. *Life* **2018**, 8,41;

-Baross, J.A.; Hoffman, S.E. Submarine hydrothermal vents and associated gradient environments as sites for the origin and evolution of life. *Orig. Life Evol. Biosph.* **1985**, 15, 327-345.

-Lancaster, K.M.; Roemelt, M.; j Ettenhuber, P.; Hu, Y.; Ribbe, M.W.; Neese, F.; Bergmann, U.; DeBeer, S. X-ray emission spectroscopy evidences a central carbon in the nitrogenase iron-molybdenum cofactor. *Science* **2011**, 334, 964-977.

-Horita, J.; Berndt, M.E. Abiogenic methane formation and isotopic fractionation under hydrothermal conditions. *Sci. Rep.* **1999**, 285, 1055-1057.

-Buckel, W.; Thauer, R.K. Flavin-based electron bifurcation, ferredoxin, flavodoxin, and anaerobic respiration with protons (Ech) or NAD⁺(Rnf) as electron acceptors: A historical review. *Front Microbiol.* **2018**, 9, 401.

-Dos Santos, P.C.; Igarashi, R.Y.; Lee, H.; Hoffman, B.M.; Seefeldt, L.C.; Dean, D.R. Substrate interactions with the nitrogenase active site. *Acc Chem. Res.* **2005**, 38, 208-214.

-Burgess, B.K.; Lowe, D.J. Mechanism of molybdenum nitrogenase. *Chem. Rev.* **1996**, 96, 2983-3011.

-Jahn B.; Pol A.; Lumpe.; Barends T. R. M.; Dietl A.; Hogendoorn C.; Op den Camp H. J. M. and Daumann L. J.; Similar but not the same: first kinetic and structural analyses of methanol dehydrogenase containing a europium ion in the active site. *ChemBioChem* **2018**, 19, 1147-1153.



Luca De Gioia

Università di Milano-Bicocca. Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze.



Luca Toniatti

Università di Milano-Bicocca. Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze

Articolo

Metabolism as we might find it in space

William F. Martin

Institute for Molecular Evolution, Heinrich Heine University Düsseldorf, Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf, Germany. bill@hhu.de

Life is a chemical reaction. In terms of thermodynamics, the main thing that life does is to catalyze exergonic reactions and to harness a portion of the energy

thereby released to synthesize molecules that serve as energetic currencies. This process is called energy metabolism. Energy metabolism is essential to stay alive even if the cell is not growing, dividing or otherwise proliferating, that is called maintenance energy. Energy metabolism is also required for net growth, because the assimilation of nutrients and their conversion into the constituents of life requires energy input, which usually means hydrolysis of a phosphoanhydride bond in ATP into ADP and phosphate (P_i), or in some reactions AMP and PP_i . ATP expenditure in the form of phosphoanhydride hydrolysis means that the anhydride bond in ATP has to be resynthesized, the job of energy metabolism. In the overall scheme of things, energy harnessing is the most important reaction that cells perform, because without energy conservation, all else is immaterial. There are other energy currencies besides ATP, but ATP is by far the most important.

In an astrobiological context, it is easy to imagine that there exist other life forms that arose and inhabit places beyond Earth. They might have a different energy currency than terrestrial life, something other than ATP. But it is not possible to imagine anything that we would recognize as a life form, or call a life form, that does not harness environmentally available energy. It is energy harnessing that makes life alive. Without energy flux, the cell is just a collection of molecules that is doomed to eventual decay. All cell activities – metabolic, sensory or otherwise – require energy conversion, and that energy has to be supplied on some form that can be used by other processes in the cell. All life we know uses

phosphate, mainly as ATP, but also as GTP, phosphoenolpyruvate and acyl phosphates.

Life is not only about energy it is also about carbon. By dry weight, the main thing that cells do when growing is assimilate carbon. One might argue that life need not be based on carbon, that silicates would also work. But silicates will not work, the structures are too rigid, and the stability is too high (Wald, 1962): Silicates make excellent rocks, carbon makes excellent cells. Prokaryotic cells are about 50% carbon and 10% nitrogen by dry weight. The empirical formula for the elemental composition of *E. coli* as a representative bacterium is $C_{1.77}H_{1.77}O_{0.49}N_{0.24}$ (Grosz and Stephandopolous, 1983). A typical prokaryotic cell is about 55% protein, 15–20% RNA, 3% DNA and 10% lipids by weight (Schönheit et al., 2016).

Energy conservation (ATP synthesis) and utilization (ATP hydrolysis) means that a lot of phosphate is being recycled by the cell. A prokaryote like *E. coli* needs about 20 billion ATP per cell division during exponential growth under aerobic conditions (Stouthamer, 1978), that corresponds to 14×10^{-12} g, or 14 times the mass of the cell, because *E. coli* has a mass of about 1 pg. The ATP demand is probably less under anaerobic conditions, because about 13x less energy is required to synthesize cell mass in anoxic conditions as compared to cell mass synthesis in the presence of 21% oxygen (McCollom & Amend, 2005; Lever et al., 2015). The reason is that in the presence of oxygen, the equilibrium in the reaction of O_2 with organic carbon lies far on the side of water and CO_2 , which is where the energy release in the respiratory reaction

in our mitochondria comes from. Phosphorous is roughly 10% of nucleic acids by weight and roughly 5% of phospholipids by weight, corresponding to 0.8–3% P w/w depending on nutrient limitation (Vrede et al., 2002), or a total of about 2% of the cell by weight on average, corresponding to $C_1H_{1.77}O_{0.49}N_{0.24}P_{0.016}$ for a rough formula, or a molar ratio of about 60:1 C:P, which reaches roughly 100:1 in modern marine plankton, where phytoplankton produce polysaccharides on their surface that are very low in P.

Despite its low contribution to dry weight, P is widespread in metabolism. P_i comprises about 1/5 the mass of ATP, so we can say that *E. coli* liberates 3 times its bodyweight in P_i from ATP per generation. *E. coli* harbors roughly 1714 metabolites, of which 650 contain phosphate. That is, P comprises about 2% of *E. coli*'s cell mass, and almost all of that 2% contribution is sequestered in phospholipids and nucleic acids, but phosphate occurs in almost 40% of the metabolites that exist as intermediates en route to the synthesis of an *E. coli* cell. That means that phosphate resides on each metabolic intermediate for just a very short period of time. Phosphate furthermore occurs in 2165 out of about 17,812 molecules that participate in global metabolism across all cells, as measured by the KEGG metabolic database. Phosphate not only activates compounds for further reactions, it marks compounds as intermediates metabolites until it ends up deposited in nucleic acids or lipids. Phosphate is a cofactor, the vitamin of energy.

The reactions that a cell harnesses to satisfy its energy needs is called energy metabolism. The way that a cell satisfies its

carbon needs is called carbon metabolism. The question of life elsewhere and how it might get started leads directly to the question of how life on Earth, with its two main pillars, carbon and energy metabolism, got started. That is, what is the origin of carbon end energy metabolism? That is not an astrobiological question (life in space), it is an evolutionary question (life on Earth). But since life on Earth serves as the only model for what to expect elsewhere, there are clear astrobiological implications.

For the origin of carbon and energy metabolism there are basically two options. Either they somehow arose independently and later merged or they arose together. The simplest suggestion for the origin of carbon and energy metabolism, in my view, is that carbon and energy metabolism did not evolve independently, later merging so that the reactions of life could become possible, rather that they were ancestrally one and the same pathway: Exergonic, H_2 dependent CO_2 reduction generating thioesters and acyl phosphates via the acetyl-CoA pathway (Martin and Russell, 2007). There are six pathways of CO_2 fixation (Fuchs, 2011; Berg et al., 2010; Hügler and Sievert, 2011), five of them require energy input in the form of ATP. Only one of them, the acetyl-CoA pathway, releases energy when H_2 is the electron donor, so that cells using it for carbon assimilation can synthesize ATP while reducing CO_2 (Fuchs 1986; Ragsdale, 1991).

There are many reasons why the acetyl-CoA pathway is the most ancient of CO_2 fixing pathways known (Fuchs, 2011). It is linear and exergonic (Martin and Russell, 2007), it occurs in archaea and

bacteria (Berg, 2011), it is a strictly anaerobic pathway (Fuchs, 2011), it is replete with Fe and Ni atoms functioning as transition metal catalysts (Sousa and Martin, 2014), its enzymes trace to the last universal common ancestor LUCA (Weiss et al., 2016) and it emerges as central in reconstructions of ancestral metabolism (Goldford et al., 2017; Xavier et al., 2019).

Moreover, the backbone of the acetyl-CoA pathway entails the H₂ dependent reduction of CO₂ to generate formate, acetate, and pyruvate. Precisely this reaction sequence unfolds in the laboratory overnight without enzymes, using only Fe and Ni minerals as catalysts: In the presence of Fe and Ni as transition metal catalysts there is a pronounced natural tendency for CO₂ and H₂ to self-organize into exactly the backbone of the acetyl-CoA pathway, the most ancient pathway of carbon and energy metabolism (Preiner et al., 2019).

In acetogens, which are strictly anaerobic autotrophs and perhaps the most ancient lineage of bacteria (Sousa and Martin, 2016), phosphate is incorporated via phosphorylysis of an acetyl thioester (acetyl-CoA) yielding acetyl phosphate, which can phosphorylate almost anything in the cell that needs activation, including ADP. This led to the suggestion that acyl phosphates were the precursors of ATP in evolution and that ATP only rose to prominence as the universal energy currency because of the substrate specificity of the ancestral rotor stator ATP synthase (Martin and Russell, 2007). The proposal that the ancestral ATP synthase could harness energy from geochemical gradients is not without staunch critics but it is a viable

proposal in energetic terms (Lane and Martin, 2012) and it explains why the protein machinery of chemiosmotic energy harnessing is conserved across all life forms, but the machinery to generate ion gradients is not (Martin and Russell, 2007; Lane, Allen and Martin, 2010).

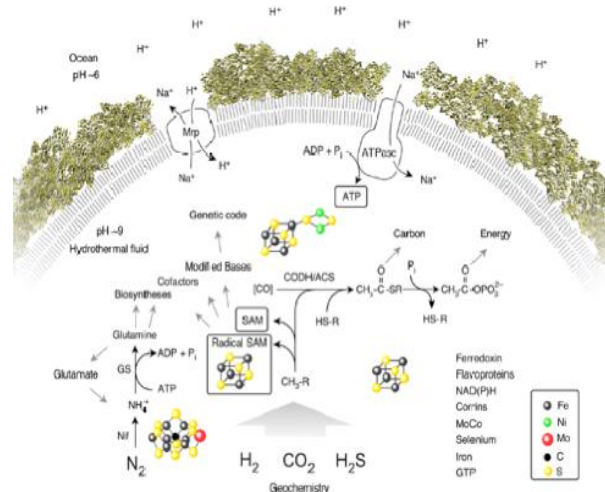


Figure 1. A reconstruction of the last universal common ancestor from genomes sequence data. Figure reprinted from Weiss et al. (2018) under the Creative Commons attribution license. For details concerning the physiology of Luca see Weiss et al. (2016) and Weiss et al. (2018). Transition metal clusters are symbolized. Methyl groups: CH₃-R; CODH/ACS, carbon monoxide dehydrogenase/acetylCoA synthase; GS, glutamine synthetase; HS-R, organic thiols; LUCA, last universal common ancestor; Mrp, MrP type Na⁺/H⁺ antiporter; Nif, nitrogenase; SAM, S-adenosyl methionine.

Acetyl-P is an interesting energy currency. Its concentrations can reach 3 mM in *E. coli* cells (Klein et al., 2007). That is roughly 1000-fold higher than the phosphate concentration in modern oceans or modern hydrothermal vent effluent (Wheat et al. 1996). The low availability of phosphate lies to some extent to its sequestering by life and to some extent to the low solubility of apatite, a calcium phosphate mineral. The latter factor has been referred to in the early evolution literature as "the phosphate problem"

(Schwartz, 2006; Pasek et al., 2017; Dass et al., 2018). How did life solve the phosphate problem? Perhaps at life's origin PO_4^{3-} levels were always close to their current value of 3 μM and perhaps that was sufficient for incorporation as acyl phosphate. Perhaps the state of phosphate in the primordial crust was such that when rock water interactions set in phosphate was not fully sequestered as apatite and easily mobilized in primordial rock-water interactions, yielding much higher phosphate concentrations. Today, life sequesters phosphate by cleaving phosphoanhydride bonds with residues in small organic molecules, generating phosphoesters. Maybe it has always been that way. Whatever the phosphate problem was, if there was one, incipient life solved it.

If we ever see evidence for life elsewhere, chances are that it will look chemically very similar to life we know, because of the constraints imposed by the conversion of chemical energy via metastable bonds. If we were to observe new life arising somewhere, it might look like the last universal common ancestor of all life on Earth, LUCA, the physiology and habitat of which has been reconstructed from genome data, as outlined in Figure 1 (Weiss et al., 2016; 2018). In brief, LUCA appears to have inhabited a hydrothermal vent environment with a carbon and energy metabolism based on the acetyl-CoA pathway. Its carbon metabolism was based on exergonic, H_2 dependent CO_2 reduction. Its energy metabolism likely involved acyl phosphates and, because it clearly had genes and proteins, ATP via the ATPase appears to have played a role in its energy metabolism.

Because it had genes and proteins, it had the genetic code, meaning that it had ribosomes, meaning that it had enough phosphate. Among the elements, there are no genuinely good alternatives to carbon or phosphorus for biomass and energy (Wald, 1962). The only other place beyond Earth where we have seen carbon chemistry in action is on Enceladus. There is serpentinization on Enceladus (Waite et al., 2017) and evidence for the existence of small organic compounds (Khawaja et al. 2019). That is a hint perhaps, that the same kinds of reactions and similar kinds of condition that gave rise to life on Earth might give rise to life elsewhere. The chances that anything similar to life is arising now on Enceladus or might do so soon is very low in my view because most of the carbon on Enceladus appears to be polyaromatic hydrocarbons (Postberg, 2018). Enceladus is much smaller than Earth, and it was never molten, meaning in an origins context that its polyaromatic hydrocarbons were not converted to CO_2 by magma, as happened on the early Earth (Preiner et al., 2019). That means that it has a much weaker H_2 - CO_2 redox couple, hence probably not enough energy for life.

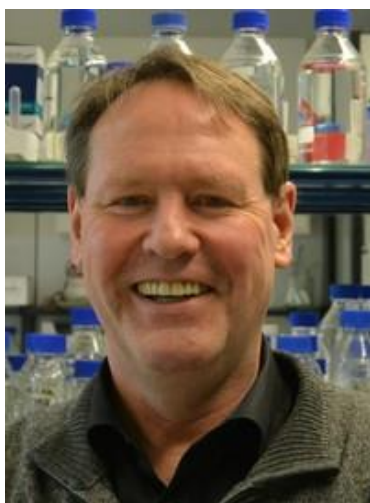
Acknowledgement. I thank Joana Xavier, who extracted the numbers about phosphorylated compounds from the database, and Verena Zimorski, who helped prepare the paper. I thank ERC (666053), DFG (MA 1426/21-1) VW (93 046 and 96 742) for funding.

References

- Berg IA. Ecological aspects of the distribution of different autotrophic CO_2 fixation pathways. *Appl Environ Microbiol* (2011) 77: 1925–1936.

- Berg IA, Kockelkorn D, Ramos-Vera WH, Say RF, et al. Autotrophic carbon fixation in archaea. *Nat Rev Microbiol* (2010) 8: 447–460.
- Dass AV, Jaber M, Brack A, Foucher F, Kee TP, Georgelin T, Westall F. Potential role of inorganic confined environments in prebiotic phosphorylation. *Life* (2018) 8: 7.
- Eickenbusch P, Takai K, Sissman O, Suzuki S, Menzies C, Sakai S, Sansjofre P, Tasumi E, Bernasconi SM, Glombitza C, Jørgensen BB, Morono Y, Lever MA. Origin of short-chain organic acids in serpentinite mud volcanoes of the mariana convergent margin. *Front Microbiol* (2019) 10: 1729.
- Fuchs G. CO₂ fixation in acetogenic bacteria: Variations on a theme. *FEMS Microbiol Rev* (1986) 39: 181–213.
- Fuchs G. Alternative pathways of carbon dioxide fixation: Insights into the early evolution of life? *Annu Rev Microbiol* (2011) 65:631–658.
- Goldford JE, Hartman H, Smith TF, Segrè D. Remnants of an ancient metabolism without phosphate. *Cell* (2017) 168: 1126–1134.
- Grosz R, Stephanopoulos G. Statistical mechanical estimation of the free energy of formation of *E. coli* biomass for use with macroscopic bioreactor balances. *Biotechnol Bioeng* (1983) 25: 2149–2163.
- Hügler M, Sievert SM. Beyond the Calvin cycle: Autotrophic carbon fixation in the ocean. *Annu Rev Mar Sci* (2011) 3: 261–289.
- Khawaja N, Postberg F, Hillier J, Klenner F, Kempf S, Nölle L, Reviol R, Zou L, Srama R. Low-mass nitrogen-, oxygen-bearing, and aromatic compounds in Enceladean ice grains. *Mon Not R Astron Soc* (2019) 489: 5231–5243.
- Klein AH, Shulla A, Reimann SA, Keating DH, Wolfe AJ. The intracellular concentration of acetyl phosphate in *Escherichia coli* is sufficient for direct phosphorylation of two-component response regulators. *J Bacteriol* (2007) 189: 5574–5581.
- Lane N, Allen JF, Martin W. How did LUCA make a living? Chemiosmosis in the origin of life. *BioEssays* (2010) 32:271–280.
- Lane N, Martin WF. The origin of membrane bioenergetics. *Cell* (2012) 151:1406–1416.
- Lang SQ, Früh-Green GL, Bernasconi SM, Brazelton WJ, Schrenk MO, McGonigle JM. Deeply-sourced formate fuels sulfate reducers but not methanogens at Lost City hydrothermal field. *Sci Rep* (2018) 8: 755.
- Lever MA, Rogers KL, Lloyd KG, Overmann J, Schink B, Thauer RK, Hoehler TM, Jørgensen BB. Life under extreme energy limitation: A synthesis of laboratory-and field-based investigations. *FEMS Microbiol Rev* (2015) 39: 688–728.
- Martin W, Russell MJ. On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent. *Philos Trans R Soc Lond B* (2007) 362: 1887–1925.
- McCollom TM, Amend JP. A thermodynamic assessment of energy requirements for biomass synthesis by chemolithoautotrophic microorganisms in oxic and anoxic environments. *Geology* (2005) 33: 135–144.
- Pasek MA, Gull M, Herschy B. Phosphorylation on the early earth. *Chem Geol* (2017) 475: 149–170.
- Postberg F, Khawaja N, Abel B, Choblet G, Glein CR, Gudipati MS, Henderson BL, Hsu HW, Kempf S, Klenner F, Moragas-Klostermeyer G, Magee B, Nölle L, Perry M, Reviol R, Schmidt J, Srama R, Stolz F, Tobie G, Trieroff M, Waite JH. Macromolecular organic compounds from the depths of Enceladus. *Nature* (2018) 558: 564–568.
- Preiner M, Xavier JC, Sousa FL, Zimorski V, Neubeck A, Lang SQ, Greenwell HC, Kleinermanns K, Tüysüz H, McCollom TM, Holm NG, Martin WF. Serpentinization: Connecting geochemistry, ancient metabolism and industrial hydrogenation. *Life* (2018) 8: 41.
- Preiner M, Igarashi K, Muchowska KB, Yu M, Varma SJ, Kleinermanns K, Nobu MK, Kamagata Y, Tüysüz H, Moran J, Martin WF. A hydrogen dependent geochemical analogue of primordial carbon and energy metabolism. *bioRxiv* (2019) 682955.
- Ragsdale SW. Enzymology of the Acetyl-CoA Pathway of CO₂ fixation. *Crit Rev Biochem Mol Biol* (1991) 26: 261–300.
- Schönheit P, Buckel W, Martin WF. On the origin of heterotrophy. *Trends Microbiol* (2019) 24: 12–25.
- Sousa FL, Martin WF. Biochemical fossils of the ancient transition from geoenergetics to bioenergetics in prokaryotic one carbon compound metabolism. *Biochim Biophys Acta* (2014) 1837: 964–981.
- Schrenk MO, Brazelton WJ, Lang SQ. Serpentinization, carbon and deep life. *Rev Mineral Geochem* (2013) 75: 575–606.
- Schuchmann K, Müller V. Autotrophy at the thermodynamic limit of life: A model for energy conservation in acetogenic bacteria. *Nat Rev Microbiol* (2014) 12: 809–821.
- Schwartz AW. Phosphorus in prebiotic chemistry. *Phil Trans R Soc B* (2006) 361: 1743–1749.
- Thauer RK, Kaster AK, Seedorf H, Buckel W, Hedderich R. Methanogenic archaea: Ecologically relevant differences in energy conservation. *Nat Rev Microbiol* (2008) 6: 579–591.
- Martin WF, Sousa FL. Early microbial evolution: The age of anaerobes. *Cold Spring Harb Perspect Biol* (2016) 8: a018127.
- Stouthamer AH. Energy-yielding pathways. In: *The Bacteria Vol VI: Bacterial Diversity*. Gunsalus, IC

- (ed), Academic Press, New York, (1978) pp. 389-462.
- Vrede K, Heldal M, Norland S, Bratbak G. Elemental composition (C, N, P) and cell volume of exponentially growing and nutrient-limited bacterioplankton. *Appl Environ Microb* (2002) 68: 2965-2971.
 - Waite JH, Glein CR, Perryman RS, Teolis BD, Magee BA, Miller G, Grimes J, Perry ME, Miller KE, Bouquet A, Lunine JI, Brockwell T, Bolton SJ. Cassini finds molecular hydrogen in the Enceladus plume: Evidence for hydrothermal processes. *Science* (2017) 256: 155-159.
 - Wald G. Life in the second and third periods; or why phosphorus and sulfur for high-energy bonds? In: *Horizons in Biochemistry*. Kasha M and Pullman B (eds), Academic Press, New York, (1962) pp.127-142.
 - Weiss MC, Sousa FL, Mrnjavac N, Neukirchen S, Roettger M, Nelson-Sathi S, Martin WF. The physiology and habitat of the last universal common ancestor. *Nat Microbiol* (2016) 1: 16116.
 - Weiss M, Preiner M, Xavier JC, Zimorski V, Martin WF. The last universal common ancestor between ancient Earth chemistry and the onset of genetics. *PLoS Genetics* (2018) 14: e1007518.
 - Wheat CG, Feely RA, Mottl MJ. Phosphate removal by oceanic hydrothermal processes: An update of the phosphorus budget in the oceans. *Geochim Cosmochim Acta* (1996) 60: 3593-3608.
 - Xavier JC, Hordijk W, Kauffman S, Steel M, Martin WF. Autocatalytic chemical networks preceded proteins and RNA in evolution. *bioRxiv* (2019) 693879.



William F. Martin.

*Institute for Molecular Evolution, Heinrich Heine
University Düsseldorf*

Articolo

Encelado e l'oceano che potrebbe ospitare la vita

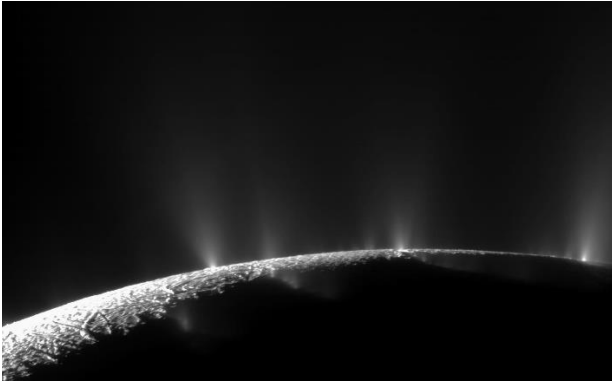
Daniela Ascenzi

Dipartimento di Fisica.

Università di Trento

Encelado è una delle lune minori di Saturno, la sesta in termini di grandezza con un diametro di circa 500 chilometri. Assieme all'altra luna "sorella maggiore", Titano, anche Encelado è stato oggetto della missione NASA/ESA Cassini-Huygens, che è giunta al suo "Gran finale" con un tuffo nell'atmosfera di Saturno nel settembre 2017, dopo quasi venti anni di carriera spaziale costellati da scoperte eccezionali [Missione Cassini e Gran finale].

Quando si parla della missione Cassini-Huygens alla mente tornano le immagini dei monti, dei fiumi di idrocarburi e delle nebbie rossicce rivelate sulla superficie e nell'atmosfera di Titano, la più grande delle lune di Saturno. Titano è certamente anche la luna più famosa, tra gli astrobiologi, per la presenza di molecole organiche potenzialmente prebiotiche, e per il fatto che la sua atmosfera, composta essenzialmente di azoto e metano, assomiglia molto all'atmosfera primordiale del nostro Pianeta, prima che si accumulasse ossigeno al suo interno [C.A. Nixon et al. 2018, Hörst 2017].

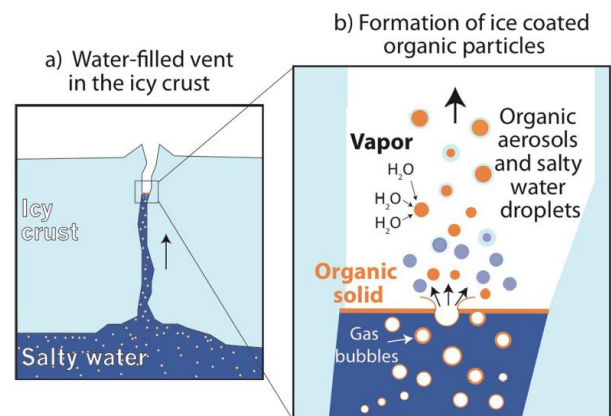


In questa immagine presa da Cassini sono ben visibili, in quanto retroilluminati dalla luce solare, i getti di acqua e ghiaccio che costituiscono il pennacchio di Encelado. Fonte: NASA/JPL-Caltech/SSIA

Ma anche Encelado, il piccolo satellite ghiacciato, si è rivelando un oggetto estremamente interessante l'astrobiologia. Cassini ha infatti permesso di rivelare che questa luna potrebbe essere un ambiente ideale in cui investigare le condizioni che portano all'emergere di alcune semplici forme di vita. Cosa estremamente sorprendente in quanto, prima della missione Cassini, Encelado era considerato alla stregua di uno dei tanti oggetti nel nostro sistema solare: freddo, inattivo e ben al di fuori della cosiddetta zona abitabile; insomma non proprio il luogo ideale dove andare a ricercare condizioni adatte alla vita, passata o presente. Ciononostante, gli scienziati lo ritenevano degno di uno sguardo più attento. E Cassini non li ha delusi!

Encelado ha affascinato ricercatori e pubblico fin dal 2005 in seguito alle spettacolari immagini ottenute da Cassini del suo cosiddetto "pennacchio" (Enceladus' plume), uno sbuffo di particelle di ghiaccio e vapore acqueo, paragonato ad una grande piuma bianca, che si erge nella regione polare sud della luna [J. R. Thompson 2017], molto simile

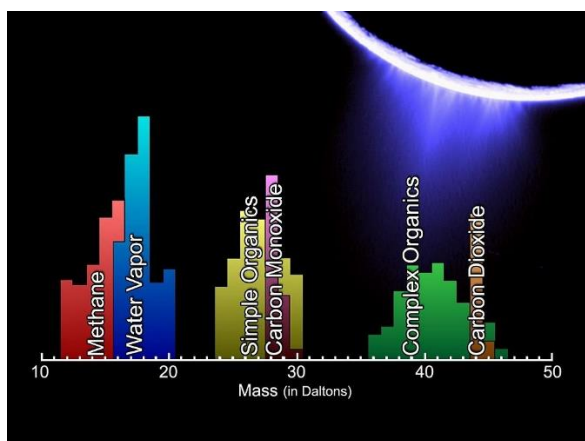
ad un potente geyser. Nel corso della sua lunga esplorazione la sonda Cassini si è avvicinata più volte a Encelado, in alcuni casi fino a circa 50 km dalla superficie in una serie "incontri ravvicinati" (i cosiddetti "flybys" nel gergo dei responsabili della missione) che hanno permesso di investigare in dettaglio la "plume". Incrociando i dati provenienti da vari strumenti di bordo, è stato possibile stabilire che questo soffione ha origine nel sottosuolo, da un **oceano sotterraneo** ricoperto da una coltre di ghiaccio di spessore variabile dai 10 ai 40 km, ma che nella regione del polo sud potrebbe essere più sottile, anche meno di 5 km [Čadek et al. 2016, Thomas et al. 2016, Iess et al. 2014].



Meccanismo di formazione delle particelle ghiacciate contenenti composti organici HMOCs rivelate nella plume di Encelado. Fonte: Postberg et al. 2018

Cassini dimostra quindi la presenza di uno dei requisiti indispensabili affinché la vita abbia una chance di manifestarsi e prosperare: la presenza di **acqua liquida**. Ma non finisce qui. Lo strumento INMS (Ion and Neutral Mass Spectrometer), uno spettrometro di massa in grado di misurare sia specie neutre che a carica positiva, ha rivelato la composizione chimica del pennacchio: acqua (per oltre il

90%), anidride carbonica (ca 3%), una specie a massa 28 che potrebbe essere sia N₂ che CO, vista la sovrapposizione nel loro rapporto massa/carica (ca 4%) e metano (ca 1.6%). In aggiunta a questi composti sono stati anche identificati, in tracce, molecole organiche quali acetilene (C₂H₂) e propano (C₃H₈) [Waite et al 2006]. Anche l'azoto è presente sotto forma di ammoniaca (NH₃) ed ammine, mentre lo zolfo si ritrova sotto forma di acido solfidrico (H₂S) [Waite et al. 2009, F. Postberg et al. 2015]. La presenza di sodio (Na) nelle particelle emesse dalla "plume" ha permesso inoltre di stabilire che il grado di salinità dell'oceano sommerso è tra lo 0.5 e il 2%.



Spettro in massa che mostra la composizione chimica delle specie neutre rivelate nella plume di Encelado dallo strumento INMS di Cassini durante un flyby del marzo 2018. Fonte: NASA https://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/multi-media/pia10356.html

Cassini rivela quindi la presenza di **tutti gli elementi necessari alla vita**: carbonio (C), idrogeno (H), azoto (N), ossigeno (O) e zolfo (S). In realtà è più corretto dire "quasi tutti" in quanto manca il fosforo (P). Quest'ultimo potrebbe originarsi, all'interno dell'oceano, da interazione tra le rocce e l'acqua. Purtroppo però la risoluzione in massa di INMS non è adeguata a separare il P da altro

materiale con un equivalente rapporto massa/carica pari a 31.

Oltre all'acqua e alle sostanze contenenti gli elementi essenziali per la costruzione delle biomolecole, un terzo requisito indispensabile per lo sviluppo di forme di vita è la presenza di **fonti di energia**. Ma quali possono essere tali fonti nell'oceano sommerso di Encelado? Una possibile risposta arriva dalla recente scoperta, sempre nel pennacchio e sempre grazie a INMS, di idrogeno molecolare (H₂) [Waite et al. 2017, vedi anche il post su [astrobiology.com](http://astrobiology.com/2017/04/hydrothermal-activity-in-the-seas-of-enceladus-implications-for-habitable-zones.html) <http://astrobiology.com/2017/04/hydrothermal-activity-in-the-seas-of-enceladus-implications-for-habitable-zones.html>].

Gli autori dello studio suggeriscono che la fonte più plausibile di H₂ siano le reazioni idrotermiche tra acqua e rocce contenenti minerali in forma ridotta e materiale organico. L'abbondanza di H₂ relativamente elevata, e la già menzionata presenza di CO₂, segnalano uno stato di disequilibrio termodinamico che potrebbe rappresentare la sorgente di energia chimica in grado di supportare la vita. Un paragone con quanto è noto avvenire negli oceani della Terra permette di comprenderne il meccanismo. La produzione primaria di energia per vasti ecosistemi negli abissi oceanici terrestri viene sostenuta in assenza di luce solare grazie all'energia chimica disponibile dai fluidi acquosi che fuoriescono dalle sorgenti idrotermali. Alcune delle vie metaboliche più primitive utilizzate dai microbi in questi ambienti implicano la riduzione di CO₂ da parte di H₂ per formare CH₄ tramite un processo noto come **metanogenesi**: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 4\text{H}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$. Un meccanismo simile potrebbe sostenere la vita anche

nell'oceano nascosto sotto la crosta ghiacciata di Encelado, come suggeriscono alcuni esperimenti e modellazioni effettuati sulla Terra su archeobatteri metanogeni in condizioni simili a quelle del satellite di Saturno [Taubner et al. 2018].

Ma Encelado e Cassini non finiscono di stupire. È del 27 giugno del 2018 la notizia [Postberg et al. 2018, Lemonick S. 2018 vedi anche post su astrobiology.com

<http://astrobiology.com/2018/06/evidence-of-complex-organic-molecules-in-plumes-from-enceladus.html>] che un team di scienziati ha identificato la presenza di granelli ghiacciati contenenti **molecole organiche complesse** nei geysers emessi dalle crepe nei ghiacci che nascondono l'oceano sommerso. I campionamenti sono stati effettuati sia nei pennacchi che nell'anello E di Saturno, un disco di materiale ghiacciato e polveroso che sfugge alla gravità di Encelado. I dati analizzati sono quelli acquisiti dai due spettrometri di massa a bordo di Cassini: il Cosmic Dust Analyzer (CDA) e il già citato INMS. Lo strumento CDA ha registrato spettri di cationi fino a circa 2000 uma (unità di massa atomica), sebbene con una risoluzione in massa alle alte masse (> ~200 uma) troppo bassa per caratterizzare in dettaglio le molecole. L'integrazione con i dati ottenuti da INMS (strumento che lavora fino a 100 uma ma risoluzione migliore) ha però permesso di identificare frammenti molecolari a basse masse indicativi della presenza di **composti organici ad alto peso molecolare**. Infatti, a differenza dello strumento CDA che è in grado di rivelare direttamente specie cariche, l'INMS rivela composti neutri, sia presenti come tali in fase gassosa che

generati per evaporazione dai grani ghiacciati durante la formazione del "pennacchio" e poi ionizzati all'interno della sorgente dell'INMS

Ma quali sarebbero le strutture di queste macromolecole organiche? Per individuarle i ricercatori hanno lavorato come veri e propri detective, mettendo assieme tanti differenti indizi provenienti sia dagli strumenti di Cassini, sia da misure effettuate in laboratorio. Ad esempio, le sequenze di picchi in massa registrate dal CDA suggeriscono la presenza di **catene idrocarburiche**. Mentre un intervallo di 14 uma tra due picchi successivi è indicativo della presenza di gruppi-CH₂ e quindi di catene alifatiche sature, la differenza di massa media effettivamente osservata è pari a 12.5 uma e il confronto con spettri di frammentazione di polimeri organici (e.g. polistirene) misurati in laboratorio ha permesso di ipotizzare la presenza di **catene carboniose prevalentemente insature**. Inoltre, la presenza di frammenti caratteristici alle masse 30, 31, 44 e 45 non compatibili con frammenti idrocarburici, fa supporre che le macromolecole contengano anche **atomi di O**, nella forma di gruppi funzionali di tipo idrossile (CH₂OH⁺, CH₃-CH-OH⁺), etossile (CH₃CH₂O⁺), carbonile (COOH⁺) oppure **atomi di N** (ad esempio CH₂NH₂⁺ e CH₃-CH-NH₂⁺). Alcuni picchi inoltre fanno sospettare la presenza di anelli aromatici, ma non fusi come quelli presenti nei cosiddetti PAH (idrocarburi policiclici aromatici) [1], bensì facenti parte di strutture macromolecolari in cui singoli anelli aromatici siano collegati tra loro tramite catene alifatiche.

Mettendo assieme i vari pezzi del puzzle i ricercatori suggeriscono che il

materiale organico sia di natura polimerica, costituito da catene carboniose prevalentemente insature con un numero crescente di atomi di C (da C₇ a C₁₅), a cui sono collegati gruppi funzionali aromatici e gruppi contenenti atomi di O e/o N. Varie evidenze sperimentali confermano che i composti organici rivelati provengono effettivamente da Encelado e non sono un prodotto dell'evoluzione via fotolisi di semplici molecole organiche nella regione dell'anello E di Saturno. Gli autori di questa eccezionale scoperta escludono inoltre che le evidenze sperimentali possano essere il risultato di contaminazione strumentale (ad esempio di INMS durante i precedenty flybys nell'atmosfera di Titano, anch'essa ricca di materiale organico).

Ci sono quindi numerosi indizi per poter avanzare l'interessante ipotesi che l'oceano di Encelado sia abitabile e che le particelle nella plume siano dei preziosissimi campioni che permettono di rivelare la composizione di questo oceano e l'eventuale presenza di molecole prodotte durante processi biologici.

La successiva domanda è quindi: come si sono originati questi composti organici provenienti dall'oceano di Encelado? Sebbene ci possano essere una moltitudine di opzioni speculative, i dati di Cassini dimostrano che la formazione di grani ghiacciati arricchiti di materiale organico avviene in condizioni abbastanza specifiche. In particolare, i composti organici non sono stati rivelati in tutti i tipi di grani, ma solo in quelli con un contenuto basso di sale. Tale evidenza non è compatibile con l'ipotesi che il materiale organico si trovi disciolto nelle profondità dell'oceano e sia stato spruzzato in superficie sotto forma di spray. Se così

fosse, il rapido congelamento dell'acqua durante l'ascensione in superficie attraverso le fratture presenti nella calotta polare, avrebbe preservato il contenuto di sale nelle particelle. I ricercatori propongono invece che le macromolecole siano presenti sotto forma di **film galleggianti sulla superficie oceanica**, e che il meccanismo di formazione delle particelle nella plume sia simile a quello con cui si formano gli **aerosol marini** (sea sprays) dagli oceani sulla Terra. Tali aerosol sono emessi in atmosfera dalla superficie dell'acqua, come goccioline costituite da composizione marina e arricchite da composti chimici che provengono dal film che può coprire la superficie d'acqua. Il meccanismo principale di formazione degli aerosol marini terrestri è la rottura di bolle d'aria prodotta dall'impatto con le onde (bubble bursting). Il fenomeno è ampiamente studiato negli oceani terrestri, dove il sea spray contenente materiale organico (ma anche batteri e virus) funge da efficiente centro di nucleazione per la formazione di nuvole ghiacciate nel boundary layer sopra i mari artici e antartici. In maniera simile possiamo ipotizzare, su Encelado, la formazione di bolle di gas volatili (CO₂, CH₄, H₂) nell'oceano sommerso che salgono per decine di chilometri lungo i camini nella calotta polare prima di raggiungere la superficie, dove si rompono, disperdendo il materiale organico accumulatosi sulla superficie delle bolle sotto forma di aerosol. La condensazione di molecole di acqua attorno agli aerosol porta alla formazione dei granelli di ghiaccio e molecole organiche osservati da Cassini.

Uno dei goal dell'astrobiologia è la rivelazione di un oggetto extraterrestre in

cui siano presenti acqua allo stato liquido, una fonte di energia, e molecole organiche. Encelado soddisfa tutte queste condizioni, ed è affascinante speculare sul fatto che le specie organiche possano avere una origine biotica. Pur non essendo un segno della presenza di forme di vita, sarebbe una forte indizio che la vita, o qualche processo biochimico che potrebbe condurre ad essa, possa essere presente su questa piccola luna ghiacciata.

[1] Per PAH, ovvero idrocarburi policiclici aromatici, si intendono quei composti di C e H costituiti da due o più anelli aromatici quali quello del benzene fusi fra loro in un'unica struttura. Si ritiene che i PAH siano ampiamente diffusi nell'Universo e si pensa che queste classi di molecole si siano responsabili delle bande di emissione nell'infrarosso (IR) ancora non identificate (le cosiddette UIR, unidentified infrared bands), osservate in numerose sorgenti galattiche ed extragalattiche. Tuttavia, l'unico composto aromatico identificato senza ombra di dubbio tramite la radioastronomia, ovvero mediante l'identificazione di una serie di transizioni rotazionali in emissione, è il benzonitrile ($c\text{-C}_6\text{H}_5\text{CN}$) che è costituito da un singolo anello in cui un atomo di H è rimpiazzato da un gruppo CN (ciano) [McGuire et al. 2018]

Bibliografia

-Čadež O. et al. "Enceladus's internal ocean and ice shell constrained from Cassini gravity, shape, and libration data" *Geophysical Research Letters* 43(11), 5653–5660 (2016).

-Hörst, S. M. "Titan's atmosphere and climate" *J. Geophys. Res. Planets*, 122, 432–482 (2017)

-Jess et al. "The gravity field and interior structure of Enceladus" *Science* 78, 78–80 (2014)

-Lemonick S. "Ocean geysers on Enceladus harbor large organic molecules" *Chemical & Engineering News*, 96, 27 (2018)

-McGuire B.A. "Detection of the aromatic molecule benzonitrile ($c\text{-C}_6\text{H}_5\text{N}$) in the interstellar medium" *Science* 359, 202–205 (2018)

-Missione Cassini e Gran finale:
<https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/overview/>

-Nixon C.A. et al. "Titan's cold case files - Outstanding questions after Cassini-Huygens" *Planetary and Space Science* 155, 50–72 (2018)

-Postberg F. et al. "Macromolecular organic compounds from the depths of Enceladus" *Nature* 558, 564 (2018)

-Postberg F. et al. "Refractory Organic Compounds in Enceladus' Ice Grains and Hydrothermal Activity" San Francisco: American Geophysical Union (2015)

-Taubner R.-S. et al. "Biological methane production under putative Enceladus-like conditions" *Nature Communications* 9, 748 (2018)

-Thomas et al. "Enceladus's measured physical libration requires a global subsurface ocean" *Icarus* 264, 37–47 (2016).

-Thompson J.R. "The Moon with the Plume" (2017)
<https://solarsystem.nasa.gov/news/13020/the-moon-with-the-plume/>

-Waite Jr. J. H. et al. "Cassini finds molecular hydrogen in the Enceladus plume: Evidence for hydrothermal processes" *Science*, 356, 155–159 (2017)

-Waite Jr. J. H. et al. "Liquid water on Enceladus from observations of ammonia and 40-Ar in the plume" *Nature* 460, 487–490 (2009)

-Waite Jr. J. H. et al. "Cassini Ion and Neutral Mass Spectrometer: Enceladus Plume Composition and Structure" *Science*, 311, 1419 (2006)

Bibliografia (divulgativa, articoli da giornali, in italiano)

-Molecole amiche della vita nel pennacchi di Encelado, *Le Scienze*, 2 luglio 2018
<http://www.lescienze.it/news/2018/07/02/news/macromolecole-organiche-encelado-4033312/>

-La sonda Cassini ha visto molecole organiche nei geysers di Encelado, *La Repubblica*, 27 giugno 2018
https://www.repubblica.it/scienze/2018/06/27/news/la_sonda_cassini_ha_visto_molecole_organiche_nei_geyser_di_encelado-200191036/

-Possibile la vita nell'oceano di una luna di Saturno, di A. Lo Campo *La Stampa*, 13 aprile 2017
<https://www.lastampa.it/2017/04/13/scienza/possibi>



Daniela Ascenzi

Dipartimento di Fisica, Università di Trento.

I giochi della vita e la chimica prebiotica

Savino Longo

Dipartimento di Chimica,

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Uno dei problemi più importanti in origine della vita e astrobiologia è il tentativo di spiegare la predominanza delle molecole biologiche, nonché di interi organismi, che hanno una chiralità ben definita (L levo o D destro).

La chiralità è la proprietà geometrica di una molecola, di essere simile a una mano

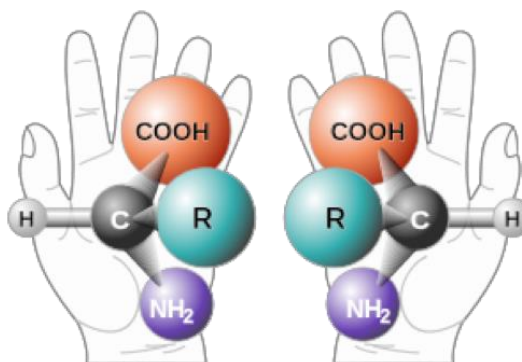


Figura 1: illustrazione delle due forme chirali di un amminoacido.

destra o a una mano sinistra, che come è noto sono immagini speculari l'una dell'altra e non si possono far sovrapporre semplicemente spostandole o ruotandole nello spazio a tre dimensioni: la loro diversità è evidente quando si prova ad usare un guanto sinistro per la mano destra o viceversa (Figura 1).

Gli amminoacidi per esempio hanno una versione L e una versione D, ma solo la prima è impiegata nella costruzione delle proteine sulla Terra, con

rarissime eccezioni. Quindi un processo chiamato “chirogenesi” ovvero la genesi della chiralità, o meglio la sua selezione, è avvenuto sulla Terra poco prima o in concomitanza con lo sviluppo delle prime forme di vita. Le spiegazioni classiche, alcune considerate più plausibili e altre meno, di questa predominanza di una singola chiralità nelle biomolecole includono l'effetto delle superfici cristalline su cui sono state prodotte per la prima volta le biomolecole, la distruzione selettiva da parte di luce polarizzata, l'effetto dei vortici in fluidi primordiali sulla cristallizzazione di alcune proteine.

Alcuni anni fa nell'ambito delle ricerche in astrochimica e astrobiologia computazionale svolte qui a Bari ormai da un decennio, è stata formulata l'idea che la presenza di una sola variante chirale di proteine ed enzimi nelle forme di vita attuali possa derivare da un processo di estinzione selettiva [1].

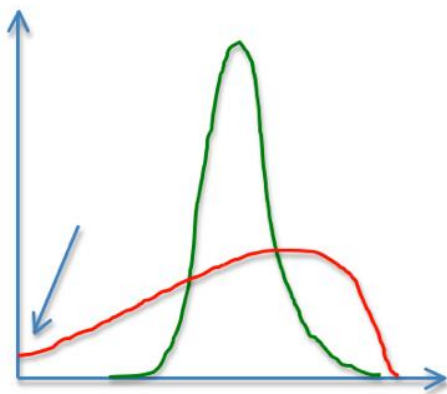
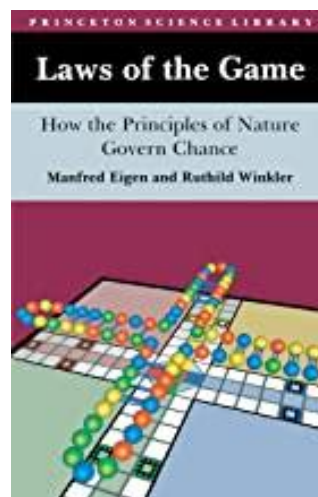


Figura 2: rappresentazione qualitativa delle distribuzioni del numero di replicatori che si osservano in condizioni tipiche (curva verde) ed in presenza di fluttuazioni anomale (curva rossa). La freccia indica l'evento di estinzione.

Ci sono alcuni presupposti alla base di questa idea: Il primo è che siano esistite forme di vita estremamente primordiali, portatrici dell'una o dell'altra variante chirale di una certa molecola. Queste forme di vita sono, in quanto tali, capaci di

riprodursi, e quindi vengono chiamate “replicatori”. Questa è un'ipotesi plausibile, anche se difficilmente potrà mai ottenere conferma o smentita sperimentale dalla analisi dei resti organici nelle rocce, dato che questi



organismi primordiali devono essere stati estremamente semplici e quindi tra le prime forme di vita in assoluto. Un altro presupposto molto importante dell'idea è un concetto formulato dal premio Nobel per la chimica Ilya Prigogine già negli anni 80: la cosiddetta “rottura della legge dei grandi numeri”. La rottura della legge dei grandi numeri implica che le popolazioni delle specie non convergono alla media, ma possono deviare di molto. A causa di queste forti fluttuazioni è possibile che una specie si estingua per un fatto casuale, anche quando le probabilità a priori sono molto basse.

La figura 2 mostra in modo schematico il concetto: la distribuzione che si osserva normalmente del numero fluttuante di replicatori è piuttosto stretta, e di conseguenza l'estinzione è un evento estremamente improbabile a meno di non avere un numero molto piccolo di replicatori. Al contrario, lo sviluppo di fluttuazioni anomale, ovvero la rottura

della legge dei grandi numeri, produce una distribuzione molto ampia che rende possibile l'evento di estinzione, ovvero raggiungere la popolazione zero.

```

1..111.....1..111...101..0111.111111...
...1.1111...1.1.11...10.01.....1.1111...
...1111111...1...1.11...10.01.....1.1111...
111...11.1.11...1.1111111...1.1111...11.111...11.1
...111.1.11...11...11...11...1.1.1...111
...1...1.1.1111111...111...11.1.111.1.1.1
...1.111.1.11...11...11...11...1.1.1.111
11...1.1...11...11...11...1111.1.111...1
1.1...111...1...11...11...111...11.111
...11...11...11...11...11...11.111.11.11.
...1...1110...1.11111...111...11...1
...11...11.11.111...00.1.11...111...1.11.11
...11...1.1...000111...1...1.11.1
...1...1.11...11...000...11111...1...11111
11...1.0...1111...0111111.1.111...1...
...00...00...1...000.0.1111111111...111
111...0.11.1.1.111...1111.111.1.1...1...
...111...0.1111.111...11.00...11.11.1111111
1.11.110...1.1.00...111.0.0...111.111.11.1
1..111111...000...0...1...100...111.1111.1...
11...1111.1...0000.1111.11.00.1.1.11...1.1111
...11111111...0...01...1111111.1.1...
111.1111111...1.011...0.11...11...1.11...
1.1...111.11.111.1.111...0.11111...1111.11...1
...11...111111...111111...1.11...1...1111.1111

```

Figura 3: la copertina di "Laws of the Game" di M.Eigen e R.Winkler.

Ora, è noto che per reazioni chimiche del tipo $A \rightarrow 2A$, $A \rightarrow A$, ovvero reazioni dove una specie A genera sé stessa ("riproduzione") mentre è soggetta ad una probabilità di scomparsa per attacco chimico ("morte"), si osserva effettivamente la rottura della legge dei grandi numeri, e quindi grandi fluttuazioni della popolazione della specie A coinvolta nelle due reazioni. Da qui nasce l'idea, che un meccanismo simile si applichi a popolazioni con due varianti (chiamiamole 1 e 2) portando alla estinzione di una delle due varianti con una rapidità infinitamente superiore di quella prevista non tenendo conto della rottura della legge dei grandi numeri. Per poter verificare la plausibilità dell'idea complessiva, si è pensato di usare una simulazione al computer. In pratica viene quindi ridotta la storia delle prime popolazioni di forme di vita primordiali ad un gioco basato su regole ben definite e su qualche elemento di casualità, che viene poi fatto "giocare" ad un computer

che fa eseguire un programma appositamente realizzato.

Questa non è una idea nuova: già nel 1993 appare infatti la traduzione inglese [2] di un libro che già era stato stampato in tedesco nel 1981 di cui gli autori sono il Premio Nobel per la chimica Manfred Eigen e Ruthild Winkler, chiamato "Das Spiel" ovvero "il gioco", basato sull'idea che i principi costruttivi e dinamici delle forme di vita possano essere simulati mediante giochi su scacchiera con pedine, giochi del genere della dama, purché vengano impiegati occasionalmente dei dadi e vengano formulate delle regole appropriate. Possiamo quindi parlare di un paradigma per la formulazione di nuove ricerche in chimica e biologia basato sui "giochi della vita".

```

000.0000.1111.....11...0.1...1.0.....0...
0.00...1...1111.111...10...11111...0.....
0...0.0...1.1...11000.....
0.0000.....1.1...1...00.....
0.0.0.....1.111.1111111...0.1.11...110
0.0.0.....1.1.11.11111.1...00.0.0.11...110
0.0000...1...111...1111...0000.000000...111
...000...111.1.1.1.11111...11.00.100...00
...000.1...1111.1.11.111.1.11.10...111.0.0.
...00.00...11...11.1...111110000
0.00.000...1...1.11...11111...11.1...0
0...00...1.11...1111111...11...00001...0
0.0...0.11.1.11.11100011...0.0.00...00
00...1111111.10011.000.0.00.11...0.0
0...0...11.00.0.000000.0.00.0.1...0.0
0...11...111...0...00000000...000.00.0
...00111111.1111...100...00...00.0...
0...001.11.1...1.1...1...00...0.000...
0...0.11...1111111.111...000...00.0.0
...0.110...1.1.1.1.1...00.0.000...000
...0.00...0001111.111.1.11.11.00000.0...0.0
0.0...00.0000.1.1111.1.0...0.000...000...
000.0.0.000.11...11.11...00.00...0.0...0000
00.00000.011.1.1111...100...00...00...
00...0000.1...111...111000.110...00...0...0

```

Figura 4: risultati di una simulazione di un gioco della vita con due specie di replicatori. A sinistra dopo 2000 unità di tempo, a destra dopo 5000 unità di tempo.

In una prima versione del gioco, che è stata presentata alla conferenza della società europea di astrobiologia EANA ad Orleans lo scorso settembre [3], la "scacchiera" rappresenti una superficie cristallina sulla quale vivevano i replicatori, e che l'energia chimica arrivi da una soluzione in cui il cristallo era immerso. Si assume che la velocità di

replicazione sia inversamente proporzionale al numero totale di replicatori presenti: lo scopo di questa ipotesi è di tener conto in un modo empirico della limitata disponibilità di energia chimica che giunge dalla soluzione.

Il risultato di un modello di questo tipo è mostrato nella figura 4. All'inizio si osserva un regime di "separazione" nel quale lo spazio disponibile viene suddiviso tra regioni dominate dal replicatore di tipo 1 e regioni dominate dal replicatore di tipo 2. In seguito, si osserva l'estinzione selettiva di una delle due specie. Facendo ripetere il gioco al computer molte volte, si osserva che una delle due specie si estingue sempre, mentre la popolazione totale di replicatori resta costante. In nessun caso entrambe le specie si estinguono, mentre l'estinzione selettiva di una delle due si osserva sempre.

Attualmente, insieme con la Dott.ssa Gaia Micca Longo la laureanda Miriana Carmela Chincoli stiamo realizzando un programma di calcolo molto più complesso. In questo nuovo programma, le molecole che trasportano energia disponibile per il funzionamento dei replicatori vengono simulate in modo esplicito e rappresentate da pedine di tipo diverso, poste casualmente sulla scacchiera.

Grazie allo sviluppo e all'uso di modelli di questo tipo, abbiamo indicazioni della plausibilità di un meccanismo di selezione tra due isomeri L e D inizialmente entrambi presenti in forme primordiali di vita. Una caratteristica molto interessante di questo meccanismo è che non si basa su influenze

chirali esterne. Si spera che questo approccio molto interdisciplinare, che mescola biologia e programmazione di computer, possa fornire nuovi elementi di intuizione riguardo alla natura del processo che ha cambiato le "regole del gioco" della vita, miliardi di anni fa.

Bibliografia

- [1] Longo, S., & Coppola, C. M. (2013). Stochastic models of chiral symmetry breaking in autocatalytic networks with anomalous fluctuations. *Rendiconti Lincei*, 24(3), 277-281.
- [2] Eigen, M., & Winkler, R. (1993). *Laws of the game: how the principles of nature govern chance* (Vol. 10). Princeton University Press.
- [3] Longo, S. (2019). Anomalous fluctuations and selective extinction in populations of primordial, *EANA 2019, Orléans*



Savino Longo

*Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di
Bari Aldo Moro*

La vita, l'intelligenza ed il ruolo dell'informazione

Rosario Muleo

Università degli Studi della Tuscia

La rivista *le Scienze*, nel numero di settembre 2019, ha dedicato la copertina a "Il big bang della vita". Gli articoli si soffermano sull'esplosione delle diverse forme assunte dalla vita, ma non chiariscono il mistero di come essa si sia originata. Per ciascuno di noi è intuitivo indicare che cos'è la vita, una pletera di esempi ci sovengono alla mente: un sasso, l'acqua, i gas, gli artefatti umani come le macchine, non sono vita; invece, *Homo sapiens*, animali, piante, funghi sono vita. Con questa comparazione però non spieghiamo cos'è la vita ma, semmai, indichiamo solamente cosa essa non è.

In realtà, a livello scientifico e ancor prima a livello filosofico è da millenni che l'uomo cerca di spiegare cosa distingue la vita. Tralasciando le spiegazioni religiose - che considerano la vita il dono di una entità suprema che si manifesta con l'anima - che per millenni hanno condizionato l'ambiente della filosofia e quello della nascente moderna indagine scientifica, dobbiamo assumere che non esiste un'affermazione semplice ed esauriente che spieghi integralmente la vita. Non abbiamo, cioè, un significato della vita nel vero senso letterale del termine. Ovviamente, spiegare la vita come un accadimento "speciale" dovuto ad un'anima intangibile che dà la "scintilla vitale" è molto elegante e rasserenante. Ma il mistero scientifico e filosofico resta.

Diversi sono gli attribuiti che possono essere riferiti alla vita, a seconda se si esaltino gli aspetti energetici, biochimici, genetici di un essere vivente. Navigando nel mondo del web, alla ricerca di una definizione, rimaniamo sorpresi poiché ne troviamo un centinaio, tra queste, quella della NASA definisce la vita come "un sistema chimico autosufficiente capace di evoluzione darwiniana". Il riferimento darwiniano forse implica, ma non esplicita chiaramente la capacità intrinseca di replicazione, autoriproduzione e trasmissione delle caratteristiche. Queste capacità della vita senza interventi esterni, di natura intellegibili, sono basate sull'esistenza del patrimonio genetico, ossia un insieme di basi nucleotidiche presenti in ciascuna cellula vivente, strutturate in unità biologiche discrete: i geni, con i quali è trasmessa l'informazione da un organismo ad un altro.

L'informazione trasmessa rende l'individuo ricevente autonomo, in grado di seguire un proprio precorso di vita indipendente dal donatore. La nuova vita possiede intrinsecamente l'insieme delle informazioni che, interagendo con l'ambiente, regolano i processi dello sviluppo e le risposte adattative, permettendo la vita in una molteplicità di nicchie ambientali, anche estreme.

L'insieme dell'informazione genetica è stato paragonato ad un programma informatico: una serie di algoritmi definiti. Le recenti conoscenze acquisite, tuttavia, indicano che pur essendo organizzato in strutture definite e discrete, l'insieme non è statico, definito, inerte, ma plastico ed auto-rimodellante, tale che sotto l'influenza di stimoli riarrangia l'insieme dell'informazione

genetica, producendo risposte e nuove istruzioni, che generano comportamenti e forme - fenotipi - diversi. Il riarrangiamento può insorgere in ciascun individuo e non è solo genetico (mutazioni di basi) ma è anche epigenetico (epimutazione), cioè non presente e non determinabile sin dall'origine dell'individuo, anche se l'individuo sin dalla sua prima cellula (zigote) possiede le potenzialità affinché si attui. In base a ciò, la vita non è solo la possibilità di autoriprodursi, ma è anche la possibilità di modificarsi per adattarsi agli ambienti che cambiano continuamente; è anche la possibilità di evolversi con un processo continuo ed iterativo (fitness).

Anche questa spiegazione però non è esauriente, poiché la vita non può fare a meno del metabolismo che sottende il continuo scambio tra mondo vivente e non vivente, alla sintesi e all'impiego di composti chimici e biochimici, e non può fare a meno dell'attività fisica delle molecole e delle loro attività termodinamiche.

La vita su Gaia non può prescindere dalle leggi della fisica e della chimica, poiché essa emerge dalla materia non vivente secondo queste stesse leggi, che regolano il comportamento dei componenti più semplici ed elementari della materia. La vita è, quindi, un "salto" rispetto alla materia non vivente poiché la organizza in maniera specifica e la plasma in vari modi.

La pluralità di forme della vita esiste perché esistono modi diversi in cui stati di energia si organizzano formando bosoni e fermioni, da questi emergono modi diversi di organizzarsi, formando così la pluralità di atomi, i quali, a loro volta, si organizzano in una pluralità di forme che generano molecole inorganiche

e organiche differenti. Insomma, la vita assume forme diverse, poiché ha in sé la proprietà di produrre organizzazioni diverse che, iterandosi e combinandosi nello spazio, nel tempo e in quantità differenti, come un sistema di mattoncini "Lego" costruisce forme diverse adatte all'ambiente (selezione).

Gli studi paleontologici ci dicono che la vita è esplosa nel tempo, in un numero inimmaginabile di forme, in gran parte estinte, delle quali, quindi, è andata perduta l'informazione genetica, se non per tratti che ancora sopravvivono nelle forme esistenti. L'insieme di tutte le forme che sono esistite e che esistono sono tutte coerenti con lo stato delle leggi della fisica e della chimica che, pur essendo universali, di volta in volta assunsero, hanno assunto ed assumono intensità ed importanza relativa diverse secondo le nicchie geografiche ed ecologiche succedutesi. La vita è quindi un insieme di molecole ed informazioni che impiega energia, in grado di assemblarsi in modi diversi sfruttando le proprietà fisico-chimiche di ciascun componente. Inoltre, la vita organizza anche il proprio processo vitale per replicare, modificare ed impiegare le molecole e le informazioni con il fine di riprodurre sé stessa, adattarsi all'ambiente ed evolversi.

Quanto detto può apparire semplice e sufficiente per definire la vita, ma anch'esso non è esaustivo. Ci sono molte cose che non si possono definire vita, pur manifestando comportamenti tipici degli esseri viventi: il movimento, la respirazione, la sensibilità, la crescita, la riproduzione, l'escrezione e la nutrizione (nella terminologia inglese l'insieme dei sette comportamenti definiti con l'acronimo MRS GREN). Per esempio, alcuni cristalli, proteine infettive come i

prioni e, in tempi recenti, alcuni algoritmi impiegati come programmi per l'intelligenza artificiale hanno attività riconducibili ai comportamenti MRS GREN. Ma il caso più paradigmatico è quello dei virus e retrovirus: materiale organico costituito da un core di acidi nucleici (DNA, RNA) rivestito da proteine che proteggono e guidano virus e retrovirus verso un organismo vivente che lo colonizza e ne impiega il metabolismo per replicarsi e produrre prole. Il virus, quindi, è borderline alla vita: non è una cellula con un proprio metabolismo ma, pur non essendo vita *sensu stricto*, costituisce un punto di partenza per la vita.

La vita emerge dalla materia, la modella e la modifica e nel farlo genera nuove condizioni per una ulteriore differenziazione ed evoluzione; replica e ricompone le molecole e nel riprodurle può commettere errori. Se queste molecole errate mantengono la compatibilità con la vita generano nuove forme di vita e nuovi percorsi evolutivi. Gli organismi sono ed appaiono diversi, complessi, ciascuno con un altro grado di adattamento, ma qualunque organismo, per quanto efficiente e complesso sia, se messo in un crematorio darà origine a calore e cenere, ossia molecole per lo più inorganiche. Cessa, così, qualsiasi informazione organizzata in materia vivente, scompare la singolarità del fenotipo, scompare la vita. La vita, quindi, emerge dalla materia inorganica con un "salto informativo". La molteplicità delle forme viventi indica che esistono moltissimi "salti" che determinano la ricchezza delle forme della vita.

La vita emerge dal contesto chimico e fisico in cui si trova ed è in grado di interagire con esso, poiché nelle diverse

forme assunte ha sviluppato la sensibilità. Ogni organismo vivente, infatti, ha recettori ambientali, che traducono le informazioni fisiche e chimiche presenti nell'ambiente in informazione biochimica che interagisce con quella genetica, attivando la trascrizione genica, la sintesi di proteine e di nuovi metaboliti, che, a loro volta, generano risposte adattative complesse tali da mantenere la vita in svariate condizioni ambientali, anche estreme. La sensibilità, come proprietà di un organismo vivente, ha basi recettoriali comuni, che sono organizzati in maniera diversa generando sensibilità differenti.

La sensibilità di una cellula, allorché è integrata in una comunità quale quella di un organismo pluricellulare, è mantenuta nella sua integrità senza entrare in conflitto con la sensibilità e le funzioni dell'organo e/o dell'organismo? Esiste un coordinamento delle sensibilità delle singole cellule che è funzionale alla sensibilità di un organo pluricellulare? E qui si apre un mistero della moderna biologia, che è anche dibattuto nel contesto filosofico e religioso: la sensibilità di un organo e di un organismo può evolversi in intelligenza? Qual è la relazione tra vita, sensibilità ed intelligenza? Che cos'è l'intelligenza? Come possiamo definire l'intelligenza? Essa trascende la materia organica e la sensibilità, anche se è generata dalla prima ed impiega la seconda.

L'intelligenza è la proprietà di un organismo di interpretare il presente e di analizzare il passato, fino a comprendere come si è evoluto, di immaginare scenari futuri e agire sul presente per realizzarli. Intelligenza è una delle forme di adattamento ed è capace di plasmarlo, ponendo così essa stessa al ciclo selezione/evoluzione; sotto questo

aspetto essa presenta due nature, una biologica ed una culturale. Quella biologica permette all'organismo, tra l'altro, di costruire artefatti, che gli permettono di progredire culturalmente. L'evoluzione culturale, a sua volta, ha profonde ripercussioni sui processi biologici, rendendo l'organismo indipendente dai processi evolutivi dettati dalle leggi della biologia, o quantomeno di provarci. Ma questa è una storia a sé! Una storia che richiede un "altro salto": la memoria mentale!



Rosario Muleo

Università degli Studi della Tuscia

Articolo

Microbes from planet Earth will be needed to pave the way between exploration and space colonization

Alexandre Soares Rosado^{1,2}

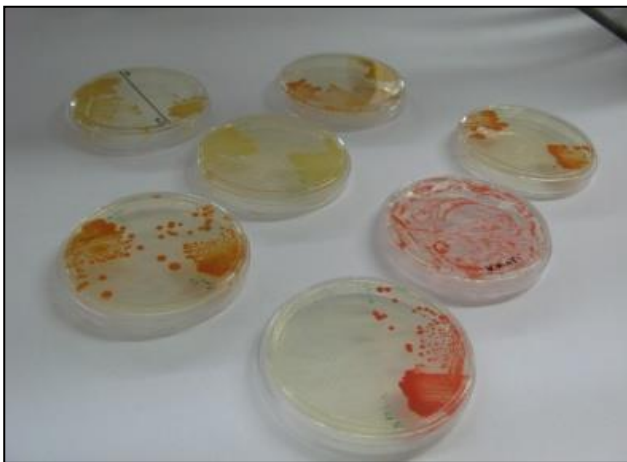
¹*Institute of Microbiology Federal University of Rio de Janeiro- UFRJ*

²*Department of Land, Air, and Water Resources, University of California -Davis, CA, USA*

We are living through a time of great technological advances and research into space exploration. In addition to advances in space exploration, space agencies in many countries agree that the next step will be the probable colonization of other planets (or moons) for the future establishment of human colonies. Moreover, some billionaires like Elon Musk (Tesla owner among others) and Jeff Bezos (Amazon owner among others) have launched independent projects with different visions for the future of humanity in space. Musk is the founder of SpaceX, which aims to send people to Mars, establish a self-sustaining city there, and use the red planet as a base to further explore the solar system. Meanwhile, Bezos owns a rocket company, Blue Origin, and intends to place a permanent base on the moon, build huge space colonies and eventually have people living and working in space.

In parallel (and timely), we increasingly understand that microbiomes are key to the functioning of virtually all living systems on Earth. Every day new

discoveries confirm and broaden our understanding of the importance of microorganisms in maintaining all life forms on our planet. In particular to the Astrobiology field, we have seen the discovery of many organisms that are capable of inhabiting extreme environments considered lethal to humans and other forms of life, increasingly expanding the known limits of living beings (Schultz & Rosado, 2019).



Extremophiles (Bacteria) on Agar plates.

Microbial policy in space

International space microbial policy started with the 1967 United Nations Outer Space Treaty (OST) and was further elaborated upon in the Committee for Space Research's (COSPAR) Planetary Protection Guidelines (<http://w.astro.berkeley.edu/~kalas/ethics/documents/environment/COSPAR%20Planetary%20Protection%20Policy.pdf>).

These conservative guidelines comprise a well-intentioned set of actions meant to avoid unintentional contamination of extraterrestrial habitats during the exploratory phase of the solar system with earthly organisms (e.g. microbes).

In a recent publication by our group (Lopez et al., 2019), we propose a major revision in current space exploration philosophy and planetary protection policy, especially regarding microorganisms in space. In an intentionally provocative way, we argue that current planetary protection protocols can be considered a financially costly and perhaps futile "disadvantage" since space vehicles are likely to pick up viable microbial spores and hitchhike the Earth's stratosphere. These activities highlight the need for a broader discussion of microbes in space.

The Gaia microbiome (here defined as "the complete set of microbes living on planet Earth and living creatures") are key elements in sustaining life, health and quality, as it - both by composition and activity - drives biogeochemical and life sustaining processes. Clearly, microbiome parameters must be included as major factors in the equation to achieve sustainable colonization of other planets and moons. The microbes will be essential for food production and several other trades etc.

This paradigm shift stems partly from the overwhelming evidence of microorganisms' diverse roles in sustaining life on earth, such as symbioses and ecosystem services. Therefore, we propose a framework for new discussion based on the scientific implications of future colonization and terraforming: (i) focus on methods to track and avoid accidental delivery of Earth's harmful microorganisms and genes to extraterrestrial areas; (ii), begin a rigorous program to set up and explore "Proactive Inoculation Protocols" (PIP). We outline a rationale and solicit feedback to drive a

public and private research agenda that optimizes diverse organisms for potential space colonization (Lopez et al., 2019). However, it is important to stress that we do not promote or advocate to the unleashing of microbes in space. It is worthy to note that many microbial life forms are still - unfortunately - still poorly understood and explored in the ecosystems of planet Earth. Again we rather argue to promote in depth studies to perhaps allow controlled release.

We need to discuss the ethical and scientific details for the rational use of earthly microbes to bridge the gap between space exploration and colonization. It is important not be naïve and realize that countless microbial transfers do not take place without adequate monitoring around the globe every day even in large metropolitan centers. For example, there are few restrictions on the dumping of ballast water from one port to the next around the world. The problem of invasive eukaryotic species has been better recognized recently, but the authors know of no systematic microbial testing of ballast water, which would be very expensive for shipping companies to carry out. Millions of people travel and shuffle in and out of airplanes, which are efficient vectors for microbial transfer, but no one is routinely screened or quarantined unless there is a large or potentially lethal outbreak.

In fact, we are far from developing a proper concept around this. We still need much more basic research on Earth - under responsible and controlled conditions (Blaser et al., 2016). This is why we propose a systematic and large scale programs - proactive inoculation protocols (PIP), which will require MUCH

more effort, funding and analyses that should be done on earth first. PIP should be developed under controlled conditions.

We consider, perhaps untimely, to send people to space at this point now, when we have so much more to learn about what microbes could do in space first. Sending people to Mars does not promote "colonization per se", but only would show that they could travel the distance and hopefully return intact. But viability of life exposed to space conditions have been already performed while in orbit (and should continue like this) closer to home with the better chance of rescue should an emergency arise.

Apparently, the new approach chosen by space agencies has a strong prospect of moving toward projects that aim for space colonization. If this new strategy is really taken seriously, the concept of "terraforming" (the hypothetical practice of geo-engineering a planet to make it more Earth like, especially so it can support human / terrestrial life) should be widely discussed in the future. To date, only a few academic papers have considered this activity scientifically rigorous and the use of microbiomes has been approached, in our view, in a timid almost scared manner by space agencies. If the purpose of space agencies and billionaire groups is to actually colonize space, it is fundamental and essential that microorganisms are indeed placed in this equation. This exercise will involve the deliberate or random identification and introduction of desirable beneficial microbes, preceded by many studies, simulations and tests using micro and mesocosms (Lopez et al., 2019).

Moreover, advancements in microbiome modulation methods could eventually point to a way forward (Foo et al., 2017). It may be helped by using principles from synthetic biology, in which microbes may be designed that have desired trait combinations for help in projects of space colonization (e.g. agricultural applications, food processing etc.). Bioinformatics tools now allow us to identify members and features of "core microbiomes", which can be used to organize uncontrollable dynamics of resident microbiomes. The integration of other techniques from non-biology disciplines, such as microfluidics, robotics and machine learning, may provide new ways of harnessing the microbiomes in order to increase resource efficiency and resistance to stress factors on planet Earth (Rosado et al., 2019) as well as in any other planetary ecosystems.

We are experiencing a great momentum in developments in the area of Astrobiology and space exploration. The large multidisciplinary arsenal of techniques that is now available will enable understanding of the functioning of Earth's microbiomes and could help to promote sustainability in any serious effort of space colonization

References

Blaser, M.J., Cardon, Z.G., Cho, M.K. et al. 2016. Toward a predictive understanding of Earth's microbiomes to address 21st century challenges. *mBio* 7, e00714-16.

Foo, J. L., Ling, H., Lee, Y. S. and M.W. Chang. 2017. Microbiome engineering: Current applications and its future. *J. Biotechnol.* 12, 600099. doi:10.1002/biot.201600099

Lopez, J. V., Peixoto, R. S., & Rosado, A. S. (2019). Inevitable future: space colonization beyond Earth with microbes first. *FEMS microbiology ecology*, 95(10), fiz127. doi:10.1093/femsec/fiz127

Rosado, A.S.; Nannipieri, P.; Van Elsas, J.D. "Management strategies for agricultural soil, including modulation of the soil microbiome " In: *Modern Soil Microbiology*, 3th Edition. Van Elsas, J.D., Trevors, J., Rosado, A.S., Nannipieri, P. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A. 2019.

Shultz, J.; Rosado, A.S. "Use of Microbes from Extreme Environments for Biotechnological Applications." In Yergeau, E. (Org). *Advanced Techniques for Studying Microorganisms in Extreme Environments*. De Gruyter GmbH. Berlin. 2019.



Alexandre Soares Rosado
Institute of Microbiology Federal University of
Rio de Janeiro- UFRJ
Department of Land, Air, and Water Resources,
University of California -Davis, CA, USA

Variazioni anomale della concentrazione di Ossigeno su Marte

Matteo De Fazio

C'è ossigeno sul Pianeta Rosso e non si comporta come previsto dai modelli atmosferici. Questa è la scoperta della NASA, che grazie allo strumento "Sample Analysis at Mars" (SAM) equipaggiato dal rover Curiosity ha potuto analizzare per tre anni marziani (quasi sei terrestri) la composizione dell'atmosfera nella zona del cratere Gale, osservando come l'ossigeno sia presente in quantità maggiori di quelle che si aspettavano i ricercatori. Lo studio, pubblicato sul "Journal of Geophysical Research: Planets", ha confermato come le concentrazioni dei principali gas dell'atmosfera superficiale siano del 95% di CO₂, 2.6% di N₂ e 1.9% di Ar. L'ossigeno molecolare è presente solamente al 0.16%, una percentuale esigua confrontandola con quella terrestre che corrisponde al 20.9%, ma dovuta in gran parte a processi biologici in atto sul nostro pianeta.



Curiosity rover self-portrait. Tratto da NASA/JPL-Caltech/MSSS (2019)

La concentrazione di ossigeno su Marte però non segue la stessa curva degli altri gas, che si mescolano e ricircolano nell'aria

a causa delle variazioni di pressione durante l'anno: circa il 30% della CO₂ marziana si congela in prossimità dei poli durante l'inverno, creando uno spesso strato di un metro, per poi evaporare in primavera ed estate, rimescolandosi ed aumentando nuovamente la pressione in tutto il pianeta. In questo scenario l'azoto molecolare e l'argon si comportano come ci si aspetterebbe, aumentando e diminuendo in base allo stato chimico dell'anidride carbonica. Questo non avviene per l'ossigeno che nelle stagioni più calde ha fatto registrare un picco di 400 parti per milione, circa il 30% in più di quello che si aspettavano i ricercatori, per poi tornare a dei livelli simili a quelli degli altri gas in autunno. La nostra conoscenza dell'atmosfera marziana era limitata alle osservazioni effettuate da telescopi terrestri o sonde orbitanti intorno al pianeta e l'ossigeno era già stato studiato: la produzione abiotica di questo gas è dovuta all'impatto della luce ultravioletta con anidride carbonica e vapore acqueo nell'atmosfera. L'ossigeno molecolare così ottenuto costituisce circa lo 0.13% del totale presente su Marte e tramite un'altra serie di reazioni completa il ciclo formando CO₂, ma nel mentre può rimanere in forma stabile per decenni nell'atmosfera. Proprio per via di questa stabilità l'andamento previsto della sua concentrazione doveva essere in linea con quello di un gas inerte e non reattivo, come argon e anidride carbonica, ma a causa di condizioni limitanti per lo studio da remoto ci si è affidati ai dati rilevati dal rover Curiosity. Quest'ultimo, in funzione dal 2012, non solo ha riportato l'andamento anomalo della concentrazione descritto in precedenza, ma anche una irregolarità annuale nei picchi stessi, osservando come in realtà il comportamento del gas risulti molto più simile a quello del metano, che sulla Terra è spesso associato a dei processi biologici.

Melissa Trainer, lo scienziato della NASA a capo di questa ricerca, suggerisce la possibile presenza di una fonte sulla superficie del pianeta, ma non essendo ancora in possesso di dati chiari non possono definire se la sorgente sia la stessa.

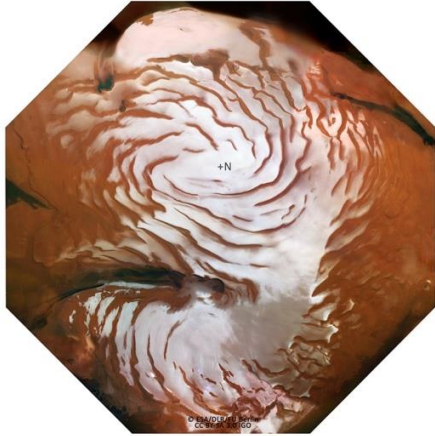


Immagine a mosaico colorata del polo nord marziano. Tratto da ESA.int (2017)

Questa correlazione tra ossigeno e metano è di notevole rilevanza per gli studi biologici sul Pianeta Rosso in quanto entrambi possono essere prodotti sia biologicamente che abioticamente (a causa delle interazioni acqua-rocce).

Tuttavia, quando si approccia lo studio di un nuovo pianeta (tra le altre cose con una composizione del suolo molto diversa da quella terrestre) la vita deve essere presa come ultima ipotesi possibile.

Gas come bio-firme

Questo concetto deve essere preso come regola nell'utilizzo del telerilevamento dei gas nell'atmosfera di un pianeta per la ricerca di "bio-firme". Circa a metà del secolo scorso ci si rese conto che i segni della vita potevano essere riconosciuti su un pianeta distante tramite questa tecnica. Un presupposto chiave è che la vita utilizza la chimica per immagazzinare e sfruttare l'energia, emettendo prodotti

metabolici, in parte in forma gassosa. Tali gas possono essere suddivisi in due categorie: La prima è costituita dai gas prodotti sulla Terra da reazioni metaboliche che utilizzano l'energia dei potenziali gradienti energetici chimici di ossido- riduzione (come il CH_4 della metanogenesi), probabilmente abbondanti ma sempre carichi di falsi positivi, perché creati da sostanze chimiche molto diffuse. Una seconda categoria sono i prodotti chimici dovuti a processi diversi dalla cattura di energia o dalla costruzione dei componenti base della vita. Saranno prodotti in quantità minori ma avranno una più ampia varietà e possibilità molto più basse di falsi positivi rispetto ai precedenti, perché non direttamente collegati alla situazione chimica e termodinamica dell'ambiente esterno (Seager, 2014).

Un gas con una evidente difficoltà di produzione abiotica nell'ambiente preso in esame, se rilevato in quantità elevate, rappresenterebbe una ipotetica bio-firma aliena.

L'ossigeno fa parte (così come il metano) della prima categoria, ma non è ancora chiara la fonte che causa il picco di concentrazione. Di sicuro il processo guidato dalla luce solare nell'atmosfera marziana non è così rapido da garantire delle variazioni repentine, per questo l'attenzione dei ricercatori della NASA si è rivolta alla superficie del pianeta dove sono presenti dei composti contenenti ossigeno e quindi individuati come potenziale causa. I perclorati per esempio vengono trasformati in composti reattivi dalla radiazione cosmica che colpisce Marte e successivamente possono rilasciare ossigeno, ma neanche questo processo non è abbastanza veloce da giustificare i dati raccolti (circa un milionesimo di quella necessaria). Un'altra ipotesi è basata sul perossido di

idrogeno, che viene anch'esso prodotto nella reazione tra raggi ultravioletti, CO₂ e vapore acqueo descritta in precedenza. Può diffondere nel suolo marziano fino alla profondità di 3 metri e costituire un serbatoio di ossigeno sepolto e schermato dalle radiazioni cosmiche. Ma i ricercatori affermano che questo potrebbe giustificare solamente un decimo della concentrazione totale di O₂ osservata. Va considerato che l'atmosfera superficiale di Marte a differenza di quella terrestre non garantisce nessuna protezione da qualsiasi radiazione provenga dallo spazio (dalla radiazione cosmica ai raggi UV) e non si conoscono ancora a fondo né le reali proprietà chimiche del suolo marziano né tutte le reazioni che possono essere innescate. A ciò tenterà di dare una risposta Exomars 2020, una missione che il prossimo maggio porterà sul pianeta un rover in grado di effettuare carotaggi per accedere allo studio del sottosuolo, prelevando campioni da analizzare *in situ* grazie ad un laboratorio on-board. Nello specifico, la missione ha come obiettivo quello di indagare le tracce di vita passata e presente su Marte e la caratterizzazione geochimica del pianeta, in modo da migliorare la conoscenza dell'ambiente marziano e dei suoi aspetti geofisici. Il rover sarà inoltre equipaggiato, tra gli altri, con strumenti di telerilevamento dei gas superficiali come O₂ e CH₄ nell'ottica della ricerca di bio-firme (ASI, 2019).

Questa missione, così come tutte quelle future sul Pianeta Rosso, permetterà di approfondire ricerche come quella presa in esame in questo articolo.

Trainer e colleghi della NASA sottolineano infine come sulla Terra questi processi si sovrappongono agli effetti della biosfera (Trainer et al., 2019). Studiando il comportamento dell'ossigeno su Marte e comparandolo con quello che avviene nel nostro pianeta si evince che è

la mancanza stessa di informazioni complete sul substrato dove tali processi avvengono a rendere anomale le osservazioni. Per questo il prossimo passo dovrebbe essere l'aumento dei siti di osservazione e della frequenza dei dati raccolti, per permettere lo studio di Marte come un unico sistema.

Bibliografia

-Trainer, M. G., Wong, M. H., McConnochie, T. H., Franz, H. B., Atreya, S. K., Conrad, P. G., et al. (2019). Seasonal Variations in Atmospheric Composition as Measured in Gale Crater, Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 124.

-Seager, S. (2014). The future of spectroscopic life detection on exoplanets. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(35), 12634–12640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1304213111>

-ASI (2019). Exomars www.asi.it/esplorazione/sistema-solare/exomars/



Matteo De Fazio
Sapienza Università di Roma

Inevitable future: space colonization beyond Earth with microbes first

Giovanni Gallo

Articolo originale: Lopez, Jose V., Raquel S. Peixoto, and Alexandre S. Rosado. *FEMS microbiology ecology* 95.10 (2019): fiz127. doi: 10.1093/femsec/fiz127

Basato sulla moderna microbiologia, la teoria del Prof. Jose Lopez, pubblicata su *FEMS Microbiology Ecology* nell'ottobre 2019 propone un'importante revisione dell'attuale filosofia di esplorazione dello spazio e della politica di protezione planetaria; in particolare per quanto riguarda i microrganismi nello spazio.

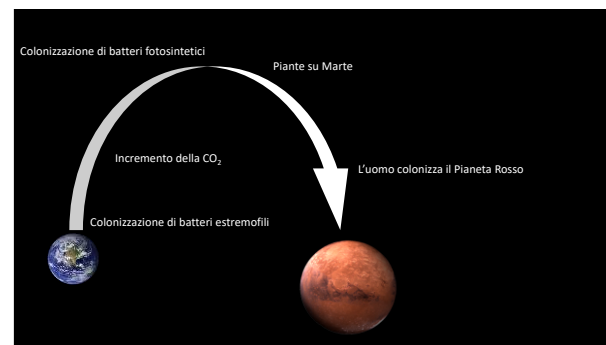
Secondo i firmatari di questa ricerca, per rendere davvero abitabile Marte occorre cambiare completamente approccio all'esplorazione spaziale e affidare l'avanguardia della colonizzazione a batteri, virus e funghi capaci di fare da catalizzatori ai molti dei processi essenziali alla nostra vita.

Questo cambiamento di paradigma deriva in parte dalla schiacciante evidenza dei diversi ruoli dei microrganismi nel sostenere la vita sulla Terra, come simbionti e come responsabili di alcuni processi indispensabili per la vita (decomposizione, effetti dell'atmosfera, fissazione dell'azoto, ecc.).

Secondo questa teoria, per diffondere la vita e sopravvivere su un pianeta "ritenuto sterile" è necessario partire dalle basi, infatti il Prof. Lopez e colleghi sostengono che l'introduzione dei microrganismi giusti potrebbe aiutare

l'uomo ad avviare il processo di terraformazione di Marte proprio com'è avvenuto sul nostro pianeta miliardi di anni fa.

La terraformazione è un ipotetico processo che ha come scopo il rendere abitabile per l'uomo un pianeta, intervenendo sull'atmosfera, in modo da renderla simile a quella della Terra ed in grado di sostenere un ecosistema. Allo stadio attuale, la terraformazione è al di là delle possibilità della tecnologia odierna e gli studi su di essa sono solo speculativi.



Schema di un possibile processo di terraformazione di Marte

Per perseguire l'obiettivo della colonizzazione e terraformazione è pertanto necessario ricercare metodi per tracciare ed evitare la dispersione accidentale di microrganismi dannosi della Terra nelle aree extraterrestri e avviare un rigoroso programma per sviluppare ed esplorare i "Protocolli di inoculazione proattiva"; che preveda la diffusione di microrganismi fondamentali per la vita. In questo modo il Pianeta Rosso potrebbe prepararsi ad accogliere la vita.

Focalizziamoci per un momento sul "Pianeta Rosso", che è inabitabile perché la sua atmosfera, estremamente rarefatta, è quasi priva di ossigeno e ha una temperatura media molto inferiore a quella terrestre. Un esempio di progetto

per la terraformazione di Marte prevede di liberare grandi quantità di gas serra nell'atmosfera del pianeta, innalzandone la temperatura. Questo causerebbe la sublimazione di anidride carbonica dalle calotte polari, aumentando ancora l'effetto serra e facendo fondere il ghiaccio presente nel sottosuolo marziano.

Il ghiaccio, con l'aumento della temperatura, creerebbe grandi distese di acqua, che rimarrebbe liquida nelle stagioni estive o intermedie. Ciò porterebbe Marte ad avere acqua liquida, un clima più simile a quello terrestre e un'atmosfera più densa, a base di anidride carbonica. Infine, si importerebbero sul pianeta microorganismi fotosintetici e, successivamente, piante che arricchiscano di ossigeno l'atmosfera tramite la fotosintesi.

Secondo i ricercatori, i primi organismi da inviare su Marte dovrebbero essere microorganismi estremofili, sia perché da un punto di vista evolutivo si pensa che siano stati i primi microorganismi a colonizzare la terra e sia perché sono capaci di vivere per periodi lunghissimi in condizioni particolarmente avverse. Quello che i ricercatori auspicano è quindi un cambio di paradigma nel futuro dell'esplorazione spaziale: questo non vuol dire sganciare su Marte delle bombe batteriologiche, ma selezionare i microorganismi giusti a seconda degli obiettivi. Tra l'altro, quando l'uomo sarà su Marte, inevitabilmente porterà con sé una gran quantità di microorganismi, che sarà impossibile tenere separati dall'ambiente. I ricercatori concludono dicendo che effettivamente per milioni di anni gli unici abitanti della Terra sono stati degli organismi unicellulari, che tutto

sommato hanno fatto un ottimo lavoro, rendendo abitabile il pianeta!



*Giovanni Gallo
Dipartimento di Biologia
Università di Napoli "Federico II"*

Sulla Vita: Definizione, Caratteristiche, Nascita e Curiosità

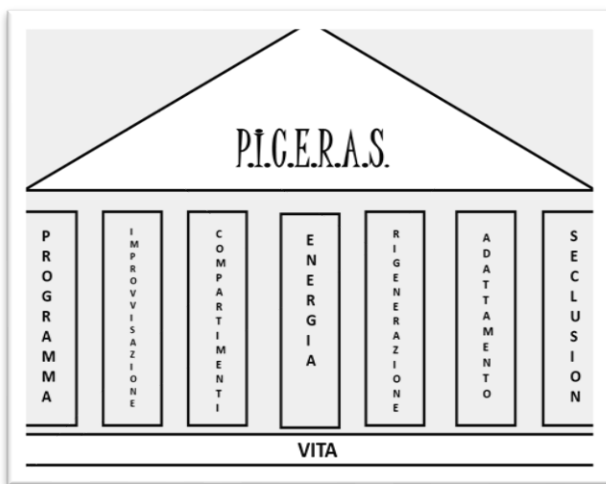
*Luca Toniatti, riflessioni dal Corso di Evoluzione dei
Genomi Animali del Professore Maurizio Casiraghi
(Milano-Bicocca)*

Il concetto di Vita è sempre stato uno di quelli più complessi da enunciare; dare una definizione di Vita è come dare la definizione esatta di Energia, una cosa pressoché impossibile. Fin dall'antichità numerosi pensatori si sono dibattuti su quale fosse la vera definizione di questa parola. Non solo biologi hanno tentato di darne una chiara ed esaustiva visione, ma anche filosofi, matematici, fisici, e quant'altro. A tal fine durante il corso dei secoli sono stati proposti numerosi modelli per definire il concetto filosofico e scientifico di essere vivente.

Secondo Aristotele nel 350 a.C. la Vita è definita come "un corpo che si nutre e poi declina in un tempo definito". Una definizione decisamente macroscopica, valida, ma tuttavia generica. Passano più di due millenni in cui i grandi pensatori si confrontano e nel 1894 arriva Engels (filosofo e sociologo tedesco) che la definisce come "l'esistenza di forme strutturali proteiche con componenti chimiche rinnovabili". I progressi scientifici dell'epoca non comprendevano ancora la centralità degli acidi nucleici e del DNA nella fisiologia cellulare. Nel 1944 Schrodinger (fisico austriaco), aggiunge il concetto di "leggi che ordinano la materia" e definisce la Vita come "entità ordinate e materia sottoposta ad un ordine esistente che le mantiene ad uno stato stazionario". Pochi anni dopo,

nel 1949, Von Neumann (matematico, fisico e informatico ungherese), con la sua fine mente calcolatrice, e anche un po' visionaria, definisce gli organismi viventi come "semplici automi in grado di replicarsi". Passano quasi quaranta anni e nel 1986, Maynard-Smith (biologo e genetista inglese) dichiara che gli organismi pensanti sono "entità con proprietà di moltiplicazione, variazione ed eredità". Nel 1994 Gerald Joyce (ricercatore della NASA) definisce la Vita come un "sistema auto-sostenibile capace di sottoporsi all'evoluzione Darwiniana". Questa pare essere una definizione abbastanza soddisfacente, una critica può tuttavia essere mossa nei confronti del termine "auto-sostenibile". Un organismo è realmente in grado di sostenere un processo autonomo di flusso energetico? Gli animali come noi li conosciamo si alimentano dall'esterno nutrendosi di piante o di altri animali, le piante, viste in senso lato, si alimentano principalmente con il Sole, alcuni parassiti, dipendono fortemente dall'organismo in cui si trovano e via dicendo. Utilizzando strettamente questa definizione si rischia di considerare non-vivi molti organismi che altresì lo sono. Passano ancora alcuni anni e nel 2004 Ruiz Mirazo propone una nuova definizione "la vita è un sistema autonomo con capacità evolutiva open-ended", simile a quella precedente gli si possono porre all'incirca le stesse critiche. Dal 2009 in poi, la comunità scientifica sceglie una definizione abbastanza unanime adottata anche oggi dalla NASA nei suoi progetti di esplorazione spaziale; "la vita è caratterizzata da materia organizzata che è capace di sottostare alla riproduzione e alla selezione naturale".

In questo dibattito che dura da millenni, nel 2002 Daniel E. Koshland Jr. tenta di chiudere la questione riguardo le possibili caratteristiche che un organismo deve possedere per essere considerato vivo pubblicando sulla nota rivista "Science" un articolo nel quale elenca sette possibili prerequisiti che un ente fisico necessita per entrare nel cerchio della vita. Al fine di rendere tutto più chiaro il Signor Koshland si immagina che ci siano sette pilastri fondamentali che sorreggono la volta di un tempio greco a quale da il nome di "Tempio di PICERAS".



Il primo pilastro (P), corrisponde al termine "programma", un'entità definita viva deve essere caratterizzata da qualcosa che ne renda stabile la morfologia, il comportamento e la fisiologia. È necessario un programma che possa trasmettere l'informazione genetica (acidi nucleici) per il corretto funzionamento di tutto l'organismo. Il secondo pilastro (I), corrisponde al termine "improvvisazione", una forma di vita deve possedere un programma in grado di improvvisare in funzione dell'ambiente e delle condizioni esterne senza in prima istanza adattarsi, il concetto di adattamento viene dopo l'improvvisazione. Il terzo pilastro (C),

corrisponde al termine "compartimentalizzazione". La Vita, per avere origine, deve svilupparsi in spazi delimitati. Oggi, possiamo osservare la cellula, la quale è un compartimento delimitato dalla membrana plasmatica. Questa pare tuttavia solo un punto di arrivo, il punto di partenza è stato probabilmente nelle rocce porose degli stadi giovanili della Terra. Il quarto pilastro (E) è l'energia. Ogni organismo vivente necessita di mantenere un flusso di energia che corrisponde al suo metabolismo. Il quinto pilastro (R), corrisponde al termine "rigenerazione". Il programma di un essere vivente deve essere in grado di ripararsi poiché sottoposto ad usura. Da questo concetto si deriva quello di riproduzione e di duplicazione. Il sesto pilastro (A) corrisponde al termine "adattamento". Qui, entra in gioco il processo evolutivo, il programma diventa variabile grazie all'improvvisazione, la quale da origine all'adattamento. Un organismo si adatta all'ambiente in cui si trova nel miglior modo possibile. Il settimo ed ultimo pilastro (S) non trova una traduzione in italiano, ma può essere descritto come "seclusion". È un concetto complesso che si può riassumere nel fatto che nei sistemi viventi esistono delle reti di processi che sono sempre rispettate nella loro direzionalità. Da A si arriva a C passando per B, con una certa e discreta dose di elasticità. Mai, se non in tempi consoni

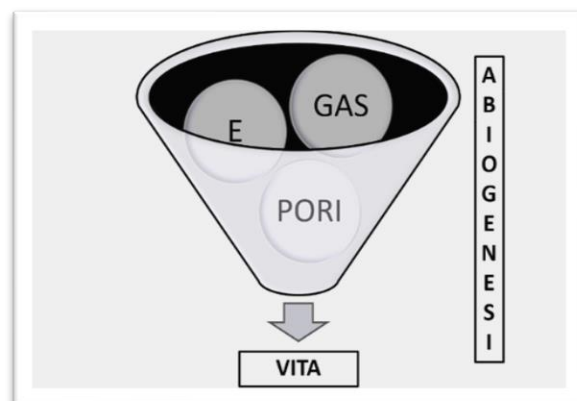
all'evoluzione, si passa da A a C partendo da B.

Se un ente possiede tutte queste caratteristiche, con una buona approssimazione può essere considerato vivo per la maggior parte della comunità scientifica. Queste qualità elencate non definiscono il concetto di Vita, ma solo le caratteristiche necessarie per poterne fare parte.

Fin qui si è parlato del lato semantico e filosofico della Vita, ma da dove origina questo fenomeno unico? Nel tempo sono state proposte diverse teorie, dall'abiogenesi, alla Panspermia, al mondo a RNA, DNA, Amiloidi e quant'altro. Nessuna di queste è stata per ora confermata con assoluta certezza. Di mondo a RNA e DNA si sente parlare spesso, lo stesso vale per le teorie sulla Panspermia, il concetto di abiogenesi viene invece spesso dimenticato, ma nella storia della biologia e dell'evoluzione ha giocato un ruolo fondamentale.

La Vita sulla Terra ha probabilmente avuto origine dalla materia inorganica. Attraverso reazioni chimiche di sintesi avvenute sul nostro pianeta tra i 4.4 e i 2.7 miliardi di anni fa si potrebbero essere create le prime molecole biologiche che oggi noi tutti conosciamo come gli acidi nucleici e le proteine. Intorno al 1920 Ivanovich Oparin (biochimico russo) e John Haldane (genetista inglese) iniziano ad ipotizzare che l'atmosfera terrestre primordiale sia ricca di materiale "inorganico" (ammoniaca, metano, anidride carbonica e acqua) che nelle opportune condizioni sarebbe in grado di trasformarsi in materiale organico. Le reazioni necessarie a questa incredibile trasformazione richiedevano elevate dosi di energia che all'epoca venivano fornite dalle radiazioni ultraviolette, dall'intensa

attività vulcanica, dalle tempeste di fulmini e dalle tempeste magnetiche.



Grazie a queste condizioni sperimentali probabilmente si sono formate numerose quantità di composti organici primitivi i quali si sono poi accumulati nei mari ed in pozze d'acqua poco profonde. Qui, insieme alla giusta composizione del suolo, come le rocce porose citate in precedenza, hanno avuto origine le prime vere e proprie molecole biologiche (lipidi, amminoacidi, purine e pirimidine). Questa ipotesi ha consentito di superare il concetto che per avere un vivente sia necessario partire da un vivente. Chiaramente il passaggio da sistema non-vivente ad organismo vivente non è stato un singolo evento, ma un processo lento e graduale che ha sempre di più aumentato la complessità del sistema.

Le ipotesi di Oparin e Haldane sono state poi "dimostrate" dal famoso esperimento di Miller e Urey in cui nelle giuste condizioni sperimentali le molecole organiche come gli amminoacidi si possono formare spontaneamente a partire da sostanze inorganiche presenti nell'ambiente.

Stanley Miller (biochimico statunitense) e Harold Urey (premio Nobel statunitense per la chimica) negli anni '50 del 1900 sono riusciti a ricreare le condizioni ambientali che si pensava

componessero l'atmosfera primordiale della Terra. Con una miscela di gas come ammoniaca, metano, idrogeno e acqua e una fonte di energia data da scariche elettriche i due scienziati sono riusciti, per mezzo di un semplice complesso sperimentale (composto da varia vetreria) a trasformare il 15% del carbonio presente nella loro atmosfera in composti organici, tra i quali, alcuni amminoacidi, acido formico, acido lattico, acido acetico, etc. All'epoca questo esperimento, apparentemente senza precedenti, subisce però una forte critica. Miller viene aspramente criticato poiché le sue condizioni sperimentali non assomigliano effettivamente a quelle presenti sulla Terra ai suoi albori e perché i suoi risultati sono scarsi in termini di resa. L'importanza dell'esperimento non risiede tuttavia in quantità finali di composti o in altre critiche pure, ma nel fatto che con apparecchiatura rudimentale in poco più di una settimana due uomini siano riusciti a "dimostrare" l'abiogenesi e produrre materia organica dalla materia inorganica. In una settimana sono riusciti a fare quello che la Terra ha impiegato milioni di anni. Il nostro pianeta ha avuto risultati migliori, tuttavia la critica mossa a Miller e Urey è stata più dura del necessario. Una curiosità magari non ancora considerata è che di tutto quello di cui è stato discusso nell'articolo è sempre stato dato per scontato che la Vita si basa, per noi, sul carbonio. Questo assunto che viene dato per scontato prende il nome di sciovinismo del carbonio, ossia la tesi secondo la quale, di tutti gli elementi che compongono la tavola periodica, solo il carbonio sia in grado di costruire un'ossatura molecolare stabile da permettere la Vita. Questa tesi deriva dagli studi effettuati negli anni sulle

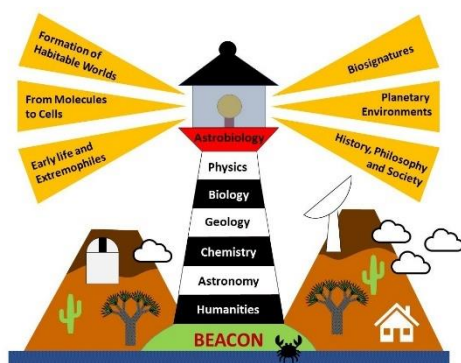
biochimiche ipotetiche come quelle mostrate nei film di fantascienza. Ad oggi, questa teoria non è affatto dimostrabile perché richiederebbe in linea di principio di poter descrivere e studiare tutte le possibili disposizioni di tutti gli elementi in tutti gli ambienti naturali possibili. Secondo Carl Sagan, coniatore del termine e padre di questa filosofia, gli esseri umani, in quanto forme di vita basate sul carbonio, trovano complesso, se non impossibile, considerare altre biochimiche, rendendo quasi impossibile l'imbattersi in altre forme di vita sviluppate al di fuori dell'ambiente della Terra.

Bibliografia:

- Nature review* (microbiology), vol 7 Aprile **2009**;
- Astrobiology* vol 15, **2015**. DOI:10.1089/ast.2015.1113 (A strategy of Life Research);
- Science Magazine*, vol 295, 22 Marzo **2002**;
- PNAS* (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), 5 Aprile **2015**
- Primordial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H₂S-rich spark discharge experiment.

Biennial European Astrobiology Conference

(La Palma Island, Canaries, Spain 20-24 September 2020)



Dal 20-24 aprile 2020 presso l'Isola di La Palma nelle Canarie si terrà la Conferenza Europea Biennale di Astrobiologia. Il luogo della conferenza è il Teneguia Princess Hotel. La sessione scientifica dell'evento comprenderà i seguenti temi: formazione ed evoluzione dei sistemi planetari e rilevazione di mondi abitabili, i percorsi complessi: dalle molecole semplici alla prima vita, ambienti planetari abitabili, storia, filosofia ed etica dell'astrobiologia, etc.

L'incontro è aperto a tutti gli studenti e scienziati interessati.

L'isola di La Palma offre una moltitudine di rilevanti infrastrutture di ricerca (telescopi) e locations interessanti come vulcani attivi, paesaggi analoghi a quello Marziano, etc, visitabili durante il periodo di permanenza.

Per ogni ulteriore informazione si può consultare il sito europeanastrobiology.eu/BEACON2020

A cura della Redazione.



Che Cos'è la Vita?

Erwin Schrodinger

A cura di Fabio Rizza, MD Milano-Bicocca

Un classico sull'argomento, scritto da uno dei più autorevoli fisici teorici del '900, scopritore della teoria ondulatoria e considerato tra i padri fondatori della meccanica quantistica. Con questo volumetto, tratto da una serie di conferenze tenute nel 1943 dallo stesso autore, il premio Nobel Erwin Schrodinger si pone il problema di definire la *vita* dal punto di vista di un "fisico ingenuo".

Motivato dal fatto che, secondo lui, la vita possa effettivamente essere spiegata in termini fisici e chimici, nonostante la complessità intrinseca che ne rende difficile la trattazione matematica, vengono affrontati temi quali la stabilità degli organismi viventi, la natura del materiale genetico e l'apparente violazione del secondo principio della termodinamica. In particolare, l'autore

introduce i concetti di cristallo aperiodico per spiegare la struttura e il funzionamento del materiale genetico, e di entropia negativa come fonte di sostentamento degli organismi viventi.

Continua con una breve revisione dei principali concetti di genetica in modo da fornire le basi alla formulazione della prima idea originale del lavoro: il cristallo aperiodico. Questo garantirebbe contemporaneamente stabilità (resistenza alle mutazioni) e capacità di trasportare informazione al cromosoma, identificato come portatore dell'informazione ereditaria.

Passa quindi al secondo problema affrontato dall'autore, ovvero il fatto che gli organismi viventi preservano sé stessi per tutta la durata della loro vita contrastando la naturale tendenza a degradarsi, aumentando l'entropia. Schrodinger propone che essi si nutrano di entropia negativa.

L'opera è di fondamentale di importanza tanto dal punto di vista scientifico quanto da quello storico. Non solo infatti presenta delle soluzioni originali a problemi aperti nell'ambito delle scienze biologiche dell'epoca ma possiede un'influenza tale da ispirare i giovani scienziati dell'epoca ad interessarsi di biologia. Tra questi, i più famosi sono probabilmente James Watson e Francis Crick. In pratica da questo piccolo volumetto sarebbe nata la biologia molecolare.

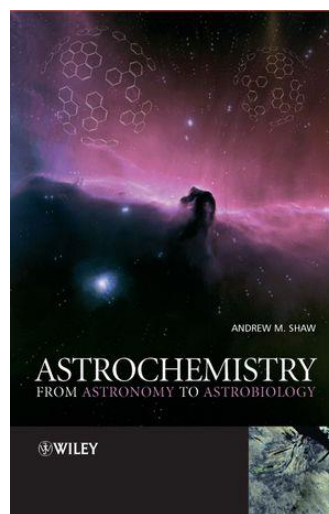
Una singolarità è un meccanismo tramite cui una caratteristica comune a tutte le forme di vita, di per sé altamente improbabile, potrebbe essersi originato una sola volta nella storia evolutiva. L'autore ne individua sette: necessità

deterministica, collo di bottiglia selettivo, collo di bottiglia restrittivo, pseudo collo di bottiglia, accidente congelato, fortuna fantastica, disegno intelligente.

UN APPUNTAMENTO DA NON MANCARE



Libri sullo Spazio



Astrochemistry: From Astronomy to Astrobiology

Andrew M. Shaw

Il Professor Andrew M. Shaw, associato di Chimica-Fisica presso la Exter University (UK), si cimenta nel redigere un libro che, come da titolo, tenta di unire diversi campi di studi. Astrochemistry

esplora la chimica in vari ambienti fisici inclusi il mezzo interstellare, le comete, i meteoriti, etc. Include anche una trattazione sulla formazione dei pianeti e sulla chimica prebiotica richiesta per la formazione dei primi organismi. Il libro si fonda sul corso che il Prof. Shaw tiene all'Università di Exter. Più nello specifico, il libro inizia introducendo il concetto di *Molecular Universe* coprendo successivamente temi come la formazione degli elementi, piccoli e semplici modelli di stelle con rispettiva classificazione. Nel continuo si focalizza sul tema dell'origine della vita studiando la chimica interstellare, la chimica delle comete, dei meteoriti e dei pianeti.

Da un punto di vista di accessibilità, Astrochemistry prevede una basilare familiarità con i principi della fisica e della chimica organica, ma nessuna conoscenza pregressa di biologia e astrofisica.

È un libro ideale per i laureandi nei corsi di Astrobiologia e Astrochimica e anche per chi si sta avvicinando a questo mondo partendo circa da "zero".

A cura della Redazione.

Note sugli autori

Luca Toniatti

si laurea in Scienze Biologiche nel 2018 (Milano-Bicocca) con una tesi in Biofisica intitolata "Sintesi di peptidi prebiotici basata su un modello replicativo amiloide". Durante il percorso triennale lavora come insegnante di laboratorio di chimica sperimentale presso l'I.S.S. Vittorio Bachelet a Lecco. Nell'autunno 2018 si iscrive alla Laurea Magistrale in Biologia sempre presso l'Università degli studi di Milano-Bicocca. Nel Luglio 2019 inizia il percorso di tesi sperimentale nel laboratorio di Modellistica Molecolare e Chimica QM in cui si occupa di studi struttura-funzione (ruolo dei metalli di transizione del blocco "d") in metallo-enzimi (V-Nitrogenasi) tramite approcci DFT (Density Functional Theory). Nello stesso anno si occupa anche di attività didattiche curricolari, come professore a contratto, relative ai laboratori di Chimica Generale per il Corso di Studio in Scienze e Tecnologie Chimiche presso il Dipartimento di Scienze dei Materiali e di Tutoraggio delle matricole del primo anno della Laurea Triennale in Scienze Biologiche.

Da Febbraio 2019 gestisce, come fondatore, un sito web di divulgazione scientifica a tema Astrobiologico chiamato: "astrobio.it". Dal 2018 è Socio Ordinario presso la SIA (Società Italiana di Astrobiologia).

Luca De Gioia

è professore ordinario di chimica generale e inorganica, presso il Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze dell'Università di Milano Bicocca. L'attività di ricerca del gruppo coordinato dal Prof. Luca De Gioia è attualmente indirizzata allo studio delle relazioni tra le proprietà stereoelettroniche e la reattività in sistemi bioinorganici, con particolare riferimento alle proprietà catalitiche di enzimi contenenti metalli di transizione e dei loro modelli biomimetici di derivazione sintetica. Il gruppo del Prof. De Gioia è anche attivamente coinvolto in ricerche riguardanti le proprietà strutturali, dinamiche e catalitiche di sistemi proteici di rilevanza biotecnologica, medica e farmacologica, e nello studio della loro interazione con ligandi organici e inorganici.

William F Martin

PhD thesis: 1985-1989, Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, Cologne;
Postdoc: 1989-1999, Institut für Genetik, Technische Universität Braunschweig;
Full professor: 1999- present for "Molecular Evolution" (C4), Universität Düsseldorf.
Honours and Awards:
2019 - Elected Corresponding Foreign Member, Accademia delle Scienze di Bologna;
2018 - Klüh Foundation Award for Science and Research;
2018 - President, Society for Molecular Biology and Evolution;
2017 - Spiridion Brusina Medal, Croatian Society for Natural Sciences, Zagreb, HR;
2017 - Distinguished Lectureship Award, Ministry of Science and Technology, Taiwan;
2015 - European Research Council Advanced Investigator Grant;

2013 - Visiting Professor, Instituto de Tecnologia Química e Biológica, Oeiras, Portugal;

2012 - Elected Member of EMBO (European Molecular Biology Organisation);

2009 - European Research Council Advanced Investigator Grant;

2008 - Elected Member of the Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften;

2006 - Elected Fellow of the American Academy for Microbiology;

2006-2009 - Julius von Haast Fellow, New Zealand Ministry for Research, Science & Technology;

Referee service for 46 different research funding agencies and 111 different journals;

Editorial board service for 17 different journals in microbiology and evolution;

Invited presentations: 305 since 2004 (80 others 1989-2003);

Publications: 350 peer reviewed papers, 32000 citations, h-index 87 (Google Scholar) ID O-5446-2015.

Daniela Ascenzi

È professore associato di Chimica Generale e Inorganica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento. Si laurea in Chimica presso l'università di Perugia nel 1993. Nel 1995 sempre presso l'Università di Perugia prende l'abilitazione alla Professione di Chimico e nel 1998 prende il Dottorato di ricerca in Chimica. I suoi interessi di ricerca sono l'astrochimica e l'astrofisica molecolare, la dinamica di reazione in fase gas, l'astrobiologia, la chimica dell'atmosfera e dei plasmi, processi di fotodissociazione e fotoionizzazione e spettrometria di massa. E' Socio della Società Chimica Italiana, Componente del Comitato Scientifico del simposio internazionale SASP e componente del Consiglio Scientifico della SIA dal 2018. E'

inoltre componente del comitato di programma del Computational Astrochemistry, delegata del Dipartimento per le politiche di Equità e Diversità di Ateneo dell'Università di Trento, componente del comitato esecutivo della scuola di Dottorato in Fisica, chairperson e componente del comitato organizzativo del MOLEC XVI e Referee per riviste scientifiche internazionali (Journal of Physical Chemistry, Journal of the American Chemical Society, National Science Foundation USA ed ASI)

Savino Longo

è professore ordinario di Chimica Generale ed Inorganica presso l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro. Dal 2018 tiene un corso di introduzione all'Astrochimica e Astrobiologia. La sua attività di ricerca riguarda la simulazione al computer dei fenomeni in gas ionizzati, le proprietà chimico-fisiche delle meteoriti e la chimica primordiale.

Rosario Muleo

è professore ordinario nell'Università degli studi della Tuscia (Viterbo) ed insegna discipline biotecnologiche e di coltivazioni delle piante arboree. È membro della Società Orticola Italiana, della Società Italiana di Genetica Agraria, dell'American Association for the Advancement of Science, dell'Accademia Nazionale dell'Olio e dell'Olio e dell'Accademia dei Georgofili. L'attività di ricerca riguarda la fisiologia e il miglioramento genetico (classico e biotecnologico), la comprensione biologica dei sistemi sensoriali degli organismi, dei sistemi di comunicazione tra organismi, e dell'acquisizione dell'informazione acquisita e la

memorizzazione nel DNA; sistemi alla base dell'interazione tra organismi e tra questi e l'ambiente. Indaga, inoltre, la relazione tra informazione genetica e comportamento biologico degli organismi, in particolare: l'evoluzione e la conservazione dell'adattamento e resistenza all'asfissia e al freddo, della percezione della luce e della visione degli altri individui, nonché gli scambi di materiale informativo (small RNA) tra le specie appartenenti al regno vegetale ed animale, compreso *Homo sapiens*.

Alexandre Soares Rosado

Prof. Alexandre Soares Rosado is a full Professor at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Brazil and Visiting Professor at the Department of Land, Air and Water Resources, University of California - Davis, USA. He is the former the Director of the Institute of Microbiology at UFRJ (IMPG-UFRJ), where he leads a productive laboratory, with more than 20 years of experience working with multidisciplinary research groups. He was also the Vice-President of the Brazilian Society of Microbiology (SBM) and led different research consortia and international projects by raising funds from different sources. He received his bachelor's degree in Biology, and Master and PhD in Microbiology from the Federal University of Rio de Janeiro (and part of his thesis developed at the Wageningen University & Research, WUR, The Netherlands). Prof. Rosado has mentored over 60 graduate students and post-docs. During the past 20 years he published more than 200 peer reviewed manuscripts, book chapters and books (including the new edition of the "Modern Soil Microbiology", one of the most frequently cited and used textbooks in soil

microbiology, Released in April 2019). His background is on environmental microbiology, with focus on molecular microbial ecology, soil ecogenomics and biotechnology, extreme environments, evolution of metabolisms and new metabolic pathways and bioremediation.

Matteo De Fazio

Ha conseguito il titolo di laurea triennale in scienze biologiche presso la 'Sapienza' Università di Roma nel 2019, con una tesi compilativa dal titolo "Astrobiologia: origine della vita sulla Terra ed ambienti nel Sistema Solare potenzialmente adatti ad ospitarla". Il lavoro di tesi, sviluppato in ambito ecologico, è stato incentrato sullo studio della biosfera e sul limite ecologico dell'esplorazione spaziale.

Frequenta la laurea magistrale di Ecobiologia presso la stessa università.

Ha partecipato a diversi workshop e congressi di argomento astrobiologico, come, ad esempio, al convegno 'Exomars 2016' (presso la sede dell'Esa), e al workshop della Società Italiana di Astrobiologia nel 2018 (presso l'Università Federico II di Napoli). Inoltre, ha frequentato corsi formativi sul tema dell'educazione ambientale e sulla salvaguardia degli ecosistemi ambientali (in particolare marini) organizzati da onlus, come ad esempio l'organizzazione 'Marevivo' (che lavora nella protezione del mare e delle sue risorse).

Giovanni Gallo

Dottore magistrale in Biologia ed attualmente Dottorando in Scienze Biotecnologiche, indirizzo Biotecnologie Industriali e Molecolari presso l'Università degli Studi di Napoli Federico

II. La sua attività di ricerca è focalizzata sullo sviluppo di biosensori per il monitoraggio ambientale di metalli tossici partendo dallo studio dei meccanismi molecolari di resistenza ai metalli pesanti dei batteri termofili. È membro giovane della SIB (Società Italiana di Biochimica e Biologia Molecolare).