



LEGGERE LA COMPLESSITÀ
Manuale intergalattico

Dello stesso autore con Asterios:

- *De Rebus Natura. Una riflessione sulla conoscenza, sulla nostra posizione nel tempo e nell'universo, sul senso della vita.*
 - *Pandora, amore mio.*
- *Essere. La scienza e gli spazi della filosofia.*
- *Gaia Universalis. L'universo è un organismo vivente.*
 - *La Mente umana e la mente artificiale.*
- *Il Golem che ci attende. Un'etica per ogni cosa.*
 - *Sulla natura. Περί φύσεως*

Ernesto Di Mauro

Manuale intergalattico

*Istruzioni per riconoscere la vita dove la
incontriamo, e per apprezzare meglio la
nostra qui sulla Terra*



Asterios Editore

Trieste 2020

Prima edizione nella collana PB: Ottobre 2020

©Ernesto Di Mauro, 2020

©Asterios Abiblio editore 2020

posta: asterios.editore@asterios.it

www.asterios.it

I diritti di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento totale o parziale
con qualsiasi mezzo sono riservati.

Stampato in UE.

ISBN: 978-88-9313-191-9

Indice

CAPITOLO I IL METODO

*Per sondare l'ignoto è opportuno scegliere
il metodo adatto, 9*

1. Cartesio. 2. Guglielmo di Ockham. 3. Kant. 4. Cicerone e i suoi. 5. Gli altri. 6. Metròdoro di Chio. 7. I Senza-metodo.

CAPITOLO II PANSPERMIA, FERMI, DRAKE.

I presupposti recenti, 21

1. Iniziando dalla Panspermia. 2. Fermi e Drake. 3. L'equazione di Drake. 4. Il Big Bang?

CAPITOLO III ENERGIA E MATERIA DALLE STELLE

I presupposti materiali, 31

1. Trasformazioni atomiche. 2. La composizione delle nubi interstellari. 3. Nubi di formamide. 4. Formazione endogena. 5. Immaginiamo un imbuto cosmico. 6. Su un Pianeta. 7. Una via sperimentale. 8. Uno scenario globale. 9. La Nube Nera. 10. Ambiente e Catalizzatori. 11. Pietre di Luna e di Sole. 12. Torniamo alla chimica prebiotica, e concludiamo questa parte del discorso. 13. Princìpi di biologia generale. 14. Alcuni scenari correnti sulla origine della vita, da un miope punto di vista antropocentrico. 15. LUCA. 16. Rizoma. 17. Panspermia.

CAPITOLO IV
 LA CASSETTA DEGLI ATTREZZI
I presupposti sistemici, 71

1. Dimensioni. 2. Flatlandia. 3. Gravità. 4. Punto, linea, superficie. 5. Una ingiustificata divisione netta. 6. Definizione di livello mesoscopico. 7. Definizioni di vita.
8. Cosa è l'informazione. 9. Claude Shannon. 10. Shannon, algebra booleana, DNA, cristalli. 11. Emersione.

CAPITOLO V
 CRISTALLO/NON-CRISTALLO,
 VIVENTE/NON-VIVENTE
I dati che abbiamo sul sistema più fertile, 99

1. Come si organizza il carbonio. 2. Cristalli di carbonio.
3. Iki. 4. Le dimensioni della vita. 5. Dove possiamo allora andare a cercare forme di organizzazione che potremmo considerare viventi. 6. I biomorfi. 7. I satelliti. 8. Stelle: Nane Gialle, Nane Arancione, Nane Rosse, Nane Brune e Nane Blu. 9. Cristallo/non-cristallo, vivente/non-vivente.

CAPITOLO VI
 ELOGIO DELLA TERRA
Le conclusioni possibili, 131

1. Puntiamo dunque i nostri radioscopi e dirigiamo la nostra astronave 2. Chiudiamo e ritiriamo le antenne dei nostri radioscopi e dirigiamo indietro la nostra astronave 3. Elogio della Terra. 4. Il ciclo del carbonio. 5. Il cuore della trasformazione della materia biologica ruota in senso orario. 6. Il cuore della trasformazione della materia biologica ruota anche in senso *anti*-orario. 7. Il Grande Ciclo ed i piccoli cicli.

CAPITOLO I

Il metodo

*Per sondare l'ignoto è opportuno scegliere
il metodo adatto*

1. 1. Cartesio

Se facciamo parte della cultura occidentale il nostro metodo dovrebbe essere quello cartesiano. René Descartes ha pubblicato il suo *Discours de la méthode* nel 1637. Nelle sue parole : “*Ciò che intendo per metodo sono delle regole certe e facili attraverso la cui osservazione si può essere sicuri di non prendere mai un errore per una verità, e, senza sprecare inutilmente le forze della propria mente, ma accrescendo il proprio sapere con un progresso continuo, di giungere alla conoscenza vera di tutto ciò di cui si sarà capaci*”. Quali siano queste regole è l'oggetto di tutta la sua opera filosofica, difficilmente riassumibile, ormai comunque base dell'imperfetto metodo scientifico moderno.

Il principio cartesiano è adatto ad affrontare e risolvere problemi che trattano dati quantitativi e basati su fatti certi o accertabili. Cartesio aspirava a misure possibili e solide. In qualche modo può sembrare oggi che Cartesio volesse far piovere sul bagnato. Ma se il problema è incerto, se abbiamo davanti a noi un quesito del quale non si intravede a priori la possibilità di una soluzione, se i dati di partenza non sono stabiliti né stabilibili né misurati, se esiste solo la domanda, se bisogna affidarsi almeno in parte alla intuizione ed affrontare situazioni

non dimostrabili matematicamente e meccanicamente, allora: quale è il metodo di elezione?

Per trovare qualcosa, non dobbiamo forse già sapere in generale che c'è? (Martin Heidegger, *Che cos'è metafisica?*). Nel nostro caso anche l'oggetto della ricerca è incerto.

1. 2. Guglielmo di Ockham

Un paio di secoli prima di Cartesio e molti secoli prima di Hawking, Guglielmo di Ockham aveva stabilito un principio meno rigoroso, se vogliamo, ma più operativo e di portata più ampia. È possibile che se ci stiamo occupando della esistenza di altre forme di vita, se ci stiamo chiedendo se esiste qualcosa che non sappiamo come è fatta, e della cui esistenza non abbiamo alcun indizio solido se non il nostro pensiero, è possibile che il metodo di Ockham sia più adatto di quello di Cartesio?

Guglielmo di Ockham formulò dunque nel XIV secolo il principio del Rasoio, che da lui prese il nome: il Rasoio di Ockham; anzi, dato che all'epoca i filosofi si esprimevano in latino: *Novacula Occami*. Con questo nome si intende il principio metodologico che suggerisce di scegliere ai fini della risoluzione di un problema quella più semplice tra più ipotesi possibili. Il principio favorisce la partenza da principi dimostrati, e fa in modo che si arrivi alla conclusione con solide e semplici deduzioni. Il principio evita le biforcazioni logiche e favorisce la consequenzialità e sviluppa al proprio interno una sorta di auto-validazione: una teoria che si appoggi a principi o prove sempre più evanescenti deve essere rigettata per la sua stessa inconsistenza (questo è un punto importante). Sembra quindi che Ockham possa fornire il sistema metodologico ideale nel nostro caso, che poi è una ricerca in cui incoerenza, arbitrarietà ed eccesso di interpretazione sono i rischi maggiori.

In breve e nella formulazione originaria: "*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*" (questo ci

riguarda da vicino), a volte enunciata anche come “*A parità di fattori la spiegazione più semplice è da preferire*”.

I principi di razionalizzazione del ragionamento indotti da frate Guglielmo non furono da lui utilizzati per affrontare, cosa che era il suo vero scopo, il tema dell'esistenza di Dio, argomento all'epoca quant'altri delicato. Secondo Ockham, Dio è solo oggetto di fede perché il principio di causalità non può essere utilizzato nella prova della sua esistenza, non essendo possibile escludere un regresso all'infinito.

L'approccio basato sulla selezione operativa dei processi in funzione della loro semplicità è entrato in uso nella teoria dell'informazione per ragioni che, a posteriori, appaiono ovvie. Un calcolo avviene tanto più rapidamente quanto minori sono le digressioni e le verifiche non necessarie. Questo è anche il modo di funzionamento per approssimazione verificata del nostro cervello, ed è la chiave dei sistemi di *retrieval* tipo Google. Un metodo sviluppato in ambiente francescano tanti secoli fa per risolvere problemi filosofici per i quali non era possibile ricorrere all'evidenza (chiamiamoli: problemi extra-cartesiani) trova oggi applicazione in informatica (l'inferenza sulla minima lunghezza di descrizione, *minimum description length*, ad esempio) e, soprattutto, nella impostazione che il pensiero scientifico-filosofico contemporaneo anglosassone (Stephen Hawking, Lawrence Krauss, Richard Dawkins) usa per abbozzare scenari di sfondo.

Il nucleo di questo pensiero è “l'universo è nato dal Big Bang – il Big Bang è un probabile effetto quantistico – gli effetti quantistici sono sempre esistiti”. È immediato il parallelo con tutto il pensiero filosofico pregresso, basta sostituire i termini tecnici (termini che in effetti sono, a ben guardare, semi-scientifici) con le parole Dio, Sfera, Logos, a seconda del proprio livello di empatia con il pensiero classico o di fede. Non c'è molto di più nella enciclopedia della scienza contemporanea.

1. 3. Kant

L'obiettore più noto dell'approccio del Rasoio è Immanuel Kant, che rigettava la riduttività intrinseca nella logica occamiana. Per lui la spiegazione corretta della realtà non è necessariamente la più semplice, quella cioè che non ha bisogno di ipotizzare l'esistenza di Dio.

L'argomento sulla eventualità che esistano abitanti su altri pianeti è sempre presente in Kant, dalla *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (*Storia universale della natura e teoria del cielo*) del 1755 fino all'*Opus postumum*. Nella *Allgemeine*, Kant espone l'ipotesi cosmogonica della nebulosa solare primitiva, che egli condivide con Buffon e desunse da altre fonti, in particolare dal materialismo di Democrito, Epicuro e Leucippo. L'opera ebbe molta fortuna e gli diede fama anche nel campo dell'astronomia, fino ad essere ripresa da Laplace che la rielaborò e la rilanciò nel 1796 nella *Exposition du système du monde* (*Esposizione del sistema del mondo*). Per quanto riguarda la pluralità della vita, Kant parte dalla teoria fontanelliana (ne ripariamo più avanti) della pluralità dei mondi approvandola con argomentazioni che lui stesso vorrebbe di natura scientifica e non metafisica. In *Allgemeine*, Kant dice della sua opera che "contiene un tentativo di un paragone degli abitanti di diversi pianeti, basato sulle analogie della natura", e che gli argomenti trattati "anche se non mancano di una base di probabilità, non apportano tuttavia un ampliamento della nostra conoscenza". Il che non gli impedisce di sviluppare paralleli e considerazioni sul genere di vita sui diversi pianeti e sulle differenze tra i loro possibili abitanti. Sempre rimanendo conscio che esiste un "limite dove cessa il ben fondato regno del raziocinio ed incominciano le affermazioni arbitrarie". Nella *Critica della Ragion Pura* (1781), 26 anni più tardi, è ancora dello stesso parere: "Se fosse possibile stabilire ciò per mezzo di qualche esperienza io potrei scommet-

tere ogni mio avere, che almeno in qualcuno dei pianeti che noi vediamo vi siano abitanti. Quindi io dico: non è una semplice, ma una più salda fede (sulla cui esattezza io arrischierei molti dei vantaggi che mi da la vita) che vi siano anche abitanti di altri mondi". Verso la fine sembra però che Kant abbia indebolito e messo in discussione questa "fede" (foglio 10 del Convolut VII, del 1800): *"Anche la proposizione della pluralità dei mondi conterrebbe in se stessa una contraddizione, perché la totalità dell'insieme delle cose esistenti, vale a dire il concetto di mondo, contiene già il concetto della singolarità. La questione della de pluralitate mundorum è in se stessa contraddittoria, e ci sono così poco più mondi come ci sono così poco più dèi"*.

È comunque evidente che il problema di cui ci stiamo occupando noi qui lo abbia accompagnato per tutta la sua vita. Al punto che sulla lapide del suo piccolo mausoleo nella Cattedrale di Königsberg il famoso epitaffio che recita l'explicit della *Critica della ragion pratica* dice: *"Due cose riempiono la mente con sempre nuova e crescente ammirazione e rispetto, tanto più spesso e con costanza la riflessione si sofferma su di esse: il cielo stellato sopra di me e la legge morale dentro di me"*. Diventa allora particolarmente illuminante leggere la spiegazione che Kant stesso dava del perché le due cose andassero insieme. Le riporto perché queste parole chiariscono molto sulla natura del nostro rivolgere lo sguardo verso il cielo, sguardo che in realtà risulta essere rivolto dentro di noi:

"Queste due cose io non ho bisogno di cercarle e semplicemente supporle come se fossero avvolte nell'oscurità, o fossero nel trascendente, fuori del mio orizzonte; io le vedo davanti a me e le connetto immediatamente con la coscienza della mia esistenza. La prima comincia dal posto che io occupo nel mondo sensibile esterno, ed estende la connessione in cui mi trovo, a una grandezza interminabile con mondi e mondi, e sistemi di sistemi; e

poi ancora ai tempi illimitati del loro movimento periodico, del loro principio e della loro durata. La seconda comincia dal mio io indivisibile, dalla mia personalità, e mi rappresenta in un mondo che ha la vera infinitezza, ma che solo l'intelletto può penetrare, e con cui (ma perciò anche in pari tempo con tutti quei mondi visibili) io mi riconosco in una connessione non, come là, semplicemente accidentale, ma universale e necessaria. Il primo spettacolo di una quantità innumerevoli di mondi annulla affatto la mia importanza di creatura animale che deve restituire nuovamente al pianeta (un semplice punto nell'universo) la materia del quale si formò, dopo essere stata provvista per qualche tempo (e non si sa come) della forza vitale. Il secondo, invece, eleva infinitamente il mio valore, come di una intelligenza, mediante la mia personalità in cui la legge morale mi manifesta una vita indipendente dall'animalità e anche dall'intero mondo sensibile, almeno per quanto si può riferire dalla determinazione conforme ai fini della mia esistenza mediante questa legge: la quale determinazione non è ristretta alle condizioni e ai limiti di questa vita, ma si estende all'infinito.” [1]

1. 4. Cicerone e i suoi

Chissà se Kant aveva letto Cicerone, che, a proposito di molteplicità e rivolgendosi (*Primae Academicæ*) all'amico Quinto Lutazio Catulo: “... da cui Democrito afferma che (...) negli altri mondi, che sono davvero innumerevoli, non solo si sarebbero potuti formare innumerevoli Quinti Lutazi Catuli, ma che è successo davvero.”

Cicerone riassumeva nelle sue parole, come filosofo stoico, il concetto di infinito. Un infinito che non poteva non essere culla di una moltitudine di mondi, visione che contemplava universi paralleli nel tempo e nello spazio, come è oggi in parte nella fisica contemporanea. La descrizione di vita altrove nei cieli da parte di Anassagora

è nota attraverso le parole di Diogene Laerzio; Talete ed Anassimandro affermavano lo stesso. Leucippo, Democrito ed Epicuro sostennero la pluralità della vita. Ed anche per Platone, parlando dell'etereo: *“Lì vi sono anche boschi sacri e templi, dove realmente abitano gli dei e si avverano oracoli e profezie, per cui, veramente, quegli uomini hanno contatti visibili e rapporti concreti con le divinità. E il sole, la luna e le stelle essi li vedono come sono in realtà e v'è ogni altra beatitudine che s'accompagna a queste cose.”* (Fedone, LVIII-LIX). Lucrezio aveva le idee chiare, e li riassume tutti. Nel *De rerum natura* scrive: *“Pertanto dobbiamo capire che esistono altri mondi in altre parti dell'Universo, con tipi differenti di uomini e di animali”*.

1. 5. Gli altri

La Chiesa seguì la posizione negazionista di Aristotele, ed una lettera di papa Zaccaria I (741-752) menziona che un certo presbitero Virgilio stava insegnando una dottrina sulla pluralità di mondi abitati. Zaccaria ricusa l'idea che vi siano abitanti sulla Luna o sul Sole, o ai nostri antipodi, cosa che avrebbe messo in discussione l'unità del genere umano. Ma la Chiesa non rimase sempre coerente, se è vero che Alberto Magno accettava la plausibilità di altri mondi, mentre il suo allievo Tommaso d'Aquino negava quella di altri universi (diversi dall'unico creato da Dio). Il che contribuì molto a portare Giordano Bruno sul rogo. Quasi contemporaneo di Alberto, il vescovo di Parigi Étienne Tempier nel 1277 pose, nell'elenco delle 219 proposizioni da rigettare, quella che negava a Dio la possibilità di aver creato o di creare altri mondi diversi dal nostro. La sua apertura all'infinito fu ripresa da Nicola Cusano che in *De docta ignorantia* (1440) ammetteva la possibilità che Dio potesse avere creato in uno spazio senza limiti altri mondi con altri esseri razionali. Basate su metafisica evanescente vediamo, a ripro-

va della necessità di un metodo saldo, quanto ondivagassero le posizioni basate su ragionamento e non su osservazioni. E continuarono a ondivagare nelle incertezze possibilistiche e compromissorie di Galileo, Copernico e Keplero, che non avevano molta voglia di finire sul rogo dell'ortodossia aristotelico-vaticana come Giordano Bruno. Il quale sosteneva un universo infinito, popolato da un'infinità di stelle (Giordano Bruno, *De immenso et innumerabilibus, seu de universo et mundis*, in *Opera latine conscripta*) come il Sole, ciascuna circondata da pianeti su taluni dei quali crescono e prosperano esseri intelligenti. Ma forse Giordano non andò incontro al proprio destino solo per questo.

Dal momento di quel rogo in poi hanno detto la propria in tanti. Per ricordarne alcuni: Bernard le Bovier de Fontenelle, le cui *Conversazioni sulla pluralità dei mondi* (*Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686) ebbe enorme successo e fu ripreso da

“Per il resto, la notte prima ci aveva indicato, nella sua lingua e senza esitare, il nome della maggior parte delle stelle brillanti che gli mostravamo; avemmo da allora la certezza che conosceva perfettamente le fasi della luna (...). Una delle loro opinioni, che ci aveva enunciata con chiarezza, era che credevano fermamente che il sole e la luna erano abitati. Quale Fontanelle aveva insegnato loro la pluralità dei mondi?”

Sono le parole di Monsieur de Bougainville che narra di Aotourou, il giovane tahitiano che si era imbarcato sulla Boudeuse per accompagnarlo nella parte di ritorno del suo viaggio intorno al mondo (1766-1769).

Kant e da Cuvier; Vincenzo da Sant'Eraclio con il suo *Esame teologico-fisico del sistema di chi sostiene abitati da ragionevoli creature i pianeti* (1760), Giovanni Cadonici, William Derham, John Locke, William Herschel, John Adams, Benjamin Franklin, Camille Flammarion; alcuni pro, alcuni contro. Flammarion è particolarmente importante nella evoluzione della perce-

zione dell'argomento perché non solo la sua opera (*La pluralità dei mondi abitati*, 1862) ebbe molto successo, ma anche perché fu tra i primi a proporre l'idea che gli esseri extraterrestri fossero davvero alieni, e non semplicemente variazioni delle creature terrestri.

È su queste basi che siamo tenuti a ragionare, ora che telescopi, fisica e biologia molecolare ci indicano ancorché confuse direzioni. Ed è utile ribadire che affrontare questi problemi richiede necessariamente umiltà e la scelta del metodo giusto, perché non c'è nulla che ci dica come sono andate le cose e cosa significhi veramente essere vivi.

Umiltà etica, perché ce lo insegna l'antropologia e perché non era affatto necessario a priori che fossimo vivi. Un mito degli indiani Coeur-d'Alêne racconta che "una donna sorprese i suoi figli gemelli mentre discutevano nascosti. Uno di loro diceva: «È meglio essere vivi» e l'altro: «È meglio esser morti». Accortisi della presenza della madre, i due gemelli tacquero e d'allora in poi, ogni tanto, qualcuno muore. C'è sempre qualcuno che nasce e qualcuno che, nello stesso momento, muore. Se, senza mostrarsi, la donna avesse lasciato che i suoi figli finissero la loro discussione, uno dei due gemelli avrebbe avuto la meglio sull'altro, e non ci sarebbe stata la vita, o non ci sarebbe stata la morte" (ripreso da *L'ideologia bipartita degli indiani d'America*, in *Histoire de Lynx* di C. Lévi-Strauss, cap. XIX).

Un altro mito è particolarmente suggestivo riguardo al rapporto tra vita e non-vita. Lo racconta Mircea Eliade, traendolo dalla analisi della cosmogonia degli Aranda, lo studiatissimo popolo del centro dell'Australia:

Nei tempi in cui il Grande Padre e la sua famiglia vivevano in Cielo una specie di esistenza paradisiaca e senza responsabilità, esistevano da sempre sulla superficie della Terra delle massa amorfe, semi-embrionali, di bambini che non erano giunti a maturità. Non potevano svilupparsi, ma nemmeno potevano invecchiare o

morire, perché né la vita né la morte erano ancora conosciute. Non era che sotto la Terra che la vita esisteva già nella sua pienezza, sotto forma di migliaia di Esseri Soprannaturali, anch'essi increati. (D'altronde il loro nome è "nati dalla loro propria eternità"). Essi si destarono infine dal loro sonno e bucarono la superficie della Terra. I luoghi dove sono emersi restano impregnati di vita e di potenza. Il Sole è uno di questi Esseri; quando lui apparve, la terra fu bagnata di luce.

Il racconto continua fino alla emersione degli umani che partecipano, nelle loro Vie dei Canti, con quegli Esseri soprannaturali che, stanchi dopo i loro atti creativi, si sono trasformati in elementi del paesaggio. Di quel paesaggio dei quali gli uomini continuano ad essere parte. (Da *La nostalgie des Origines*, cap. V). Nelle illuminate parole di Eliade: "l'antropogonia ripete la cosmogonia".

E *umiltà della ragione*, come ci insegna Metròdoro di Chio.

1. 6. Metròdoro di Chio

Metròdoro di Chio scrisse un *Sulla Natura* come tanti altri filosofi, opera della quale non ci resta quasi nulla. Dalle scarse notizie indirette (Diogene Laerzio, *Vite e dottrine dei filosofi illustri*, IX, 58; Clemente Alessandrino, *Miscellanea*, I, 64; Simplicio, *Fisica*, 28, 27) sappiamo che si interessò a fenomeni fisici come la meteorologia, che fu astronomo, e che seguì ed elaborò la teoria democritea degli infiniti mondi. Fu considerato tradizionalmente uno scettico per la frase introduttiva al suo *Sulla Natura* che ci ha tramandato Cicerone: "Io affermo che noi non sappiamo se sappiamo o ignoriamo qualche cosa; e che non sappiamo neppure se sappiamo o non sappiamo questa cosa stessa né assolutamente se esista qualche cosa o no" (Cicerone, *Accademica priora*, II, 23).

La sua frase che ho riportato in incipit ("*Considerare la*

Terra come l'unico mondo abitato in uno spazio infinito è assurdo come ritenere che in un intero campo seminato a miglio germogli un solo granello) è particolarmente suggestiva e significativa, e va accostata ad un altro pensiero che di lui ci resta *“Esiste tutto ciò che si può”*. Questa frase (da Eusebio, *Preparazione evangelica*, XIV, 19, 8) è stata interpretata come affermazione di una conoscenza che è basata esclusivamente sulla ragione e che respinge la ricezione della realtà attraverso le sensazioni. Questa fede nella ragione la ritroveremo in Kant, così come in Kant ritroveremo il credere in infiniti mondi, ed abitati. A ben guardare, non mi sembra però che Kant avesse sull'argomento la stessa lucidità e coerenza di pensiero (tanto che alla fine cambiò idea).

A proposito di percezioni: Stephen Hawking disse nel corso di una intervista che *“there is no model-independent test of the reality”*. A prima vista sembra giusto, molto convincente, senza alternative. Nel primo capitolo del suo *The great design* Hawking spiega meglio: *“La nostra ingenua visione della realtà è dunque incompatibile con la fisica moderna. Per oltrepassare questi paradossi dovremo adottare un approccio che porta il nome di “realismo modello-dipendente”. Esso poggia sull'idea che il nostro cervello interpreta i segnali ricevuti dai nostri organi sensoriali formando un modello del mondo che ci circonda. Quando questo modello permette di spiegare gli avvenimenti, abbiamo allora tendenza ad attribuirgli, a lui e agli elementi o concetti che lo compongono, lo stato di realtà o di verità assoluta. Esistono pertanto numerosi modi di modellizzare una stessa situazione fisica, modi nei quali ogni modello fa appello ai propri elementi o concetti fondamentali.”* Anche queste parole sembrano giuste, molto convincenti, senza alternative; esse però mettono la mente umana e le sue percezioni al centro della interpretazione della realtà, ci confinano dentro noi stessi. Hawking si rivela essere un cartesiano modello, e questo ragionamento è

molto simile al *cogito ergo sum*. Ma una cosa è essere, altro è pensare. E una cosa è la realtà, altro il modo in cui la costringiamo in un modello.

Ecco dunque, alla fine della fiera, chi ci suggerisce il metodo corretto per compilare un manuale intergalattico: Ockham e Metròdoro.

1. 7. I Senza-metodo

Esiste poi un altro metodo, quello che chiamerei Metodo Münchhausen. Sostanzialmente questo metodo fa ricorso ad estensione del reale basato su suggestioni ripetitive o fantasiose. Questi due aggettivi non sono usati a caso. Il barone di Münchhausen volò seduto su una palla di cannone, e andò sulla Luna arrampicandosi su una pianta di fave. A questo tipo di metodo sono ricorsi molti e da molto tempo. La lettura delle *Avventure meravigliose* di Luciano di Samosata è un esempio straordinario della descrizione degli abitanti della Luna, del Sole e di altri luoghi dell'empireo. Se ne percepisce memoria nel Calvino de *Le cosmicomiche*. Il metodo continua ad essere frequentato in apparente generosità.

CAPITOLO II

Panspermia, Fermi, Drake

I presupposti recenti

2. 1. Iniziando dalla Panspermia

L'ipotesi della Panspermia come meccanismo della diffusione della vita nell'universo è stata proposta nell'800 prima da Lord Kelvin, poi da Hermann von Helmholtz. È però solo dagli inizi del Novecento che la proposta ha trovato forma compiuta ad opera prima di Berzelius, poi dal chimico e premio Nobel svedese Svante Arrhenius, i quali immaginavano che la vita possa essere stata diffusa in tutto il cosmo da spore di batteri presenti nello spazio. Anticipazioni classiche non mancano, Anassagora. Ripresa più recentemente dagli astronomi Fred Hoyle e Chandra Wickramasinghe, la Panspermia non ha trovato finora alcuna prova sperimentale. Quello che si è osservato sono solo tracce di materiale organico in meteoriti e comete, e malintesi biomorfi (5. 6); entrambi non stanno ad indicare vita, ma solo chimica prebiotica e morfologia minerale. Ed è sotto questa luce che sarà utile esaminare meglio la Panspermia, dopo aver percorso il confine tra chimica e vita. Vedremo un po' meglio in (3. 17).

2. 2. Fermi e Drake [2-8]

Il cosiddetto paradosso di Fermi è del 1950, e pone una questione empirica e diretta: "*Dove sono tutti quanti?*" "Se ci sono così tante civiltà evolute, perché non sono ancora state raccolte prove di vita extraterrestre come trasmissioni di segnali radio o navi spaziali? Il paradosso

di Fermi è basato su ragionamenti quantitativi (logica cartesiana), sui quali si innestano calcoli di frequenza, valori numerici assoluti, distanze di spazio e tempo (due civiltà vicine possono molto difficilmente raggiungere nello stesso tempo uno stadio paragonabile di evoluzione, tale da riuscire a comunicare tra di loro).

Questo modo di impostare il problema ha validità iniziale, serve a definire il quesito, ma appare rapidamente invecchiato. Ha però il merito di aver portato al primo tentativo di porre il problema in termini in parte cartesiani, quello che va sotto il nome di Equazione di Drake (1961). Frank Drake, che propose un metodo di calcolo per stimare il numero di civiltà extraterrestri esistenti nella nostra galassia ed in grado di comunicare, giunse a risultati ottimisti e fornì argomenti a favore della ricerca delle intelligenze extraterrestri tramite radiosegnali. Il problema di fondo è che i dati di partenza sono talmente incerti e fluttuanti a seconda delle assunzioni che i risultati (se vogliamo considerarli tali) sono soggetti ad un enorme errore assoluto.

2. 3. L'equazione di Drake

L'equazione di Drake, cosiddetta per essere stata formulata nel 1961 dall'omonimo astronomo e astrofisico statunitense, è dunque una formula matematica pensata per stimare il numero di civiltà extraterrestri esistenti nella nostra galassia in grado di comunicare. Le precisazioni contenute in quest'ultima frase sono importanti per capire il quadro preciso all'interno del quale si vogliono trarre conclusioni.

La formula dell'equazione di Drake è la seguente:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

dove: N è il numero di civiltà extraterrestri presenti oggi nella nostra galassia con le quali si può pensare di stabilire una comunicazione; R^* è il tasso medio annuo con cui si formano nuove stelle nella Via Lattea;

f_p è la frazione di stelle che possiedono pianeti;

n_e è il numero medio di pianeti per sistema planetario

in condizione di ospitare forme di vita;

f_l è la frazione dei pianeti n_e su cui si è effettivamente sviluppata la vita;

f_i è la frazione dei pianeti f_l su cui si sono evoluti esseri intelligenti;

f_c è la frazione di civiltà extraterrestri in grado di comunicare;

L è la stima della durata di queste civiltà evolute.

La logica usata consiste nel mettere in relazione i fattori tempo, spazio, ed evoluzione della nostra galassia con criteri di tipo socio-biologico, intesi in senso ampio. Il prodotto dei primi sei fattori dà il numero di civiltà extraterrestri che nascono ogni anno; moltiplicando poi per la loro durata (L) si ottiene il numero di tali civiltà esistenti in un dato momento. Il problema di fondo di questa impostazione consiste nella determinazione dei valori dei fattori che figurano nell'equazione; le divergenze sul valore da attribuire a ciascun parametro sono grandi, il che si traduce in un profondo disaccordo sul valore finale di N . Entriamo nell'esame di questi fattori, nell'ottica usata da Drake ed i suoi colleghi 60 anni fa, e tenendo conto delle conoscenze acquisite nel frattempo.

R^* – tasso di formazione stellare nella Via Lattea. Il valore stimato da Drake è di 10 stelle nuove all'anno (valore inteso come media lungo tutta la durata della vita della Via Lattea). Questo valore è basato su dati astronomici ragionevolmente ampi ed accurati. Le stime più recenti di NASA ed ESA indicano che il tasso di formazione stellare attuale nella nostra galassia è di 7 stelle all'anno.

Assumiamo allora $R^* = 7$

f_p – la frazione di tali stelle che possiede pianeti. Negli anni '60 del secolo scorso non erano note stelle con sistemi planetari, né erano stati scoperti pianeti circumstellari singoli o libero-vaganti. È interessante la preveggenza di Drake nell'inserire un valore di $f_p = 0.5$, come se già sapesse che pianeti sarebbero stati trovati in grande, crescente numero. La ricerca attuale valuta

che almeno il 40% delle stelle tipo Sole abbiano pianeti, stima per difetto data la limitazione delle tecniche di misura che permette di rilevare solo i pianeti più grandi. Mantenere il valore 0.5 è plausibile.

$$f_p = 0.5$$

n_e – il numero medio di pianeti (o satelliti) per sistema planetario che presentano condizioni potenzialmente compatibili con la vita. In assenza di conoscenze precise (non si conoscevano pianeti al di fuori del Sistema Solare), il valore attribuito 2 sembra ancora essere ragionevole. Il problema di fondo è ovviamente su cosa si intenda con il termine “vita”; del che ci occupiamo più avanti.

I sistemi planetari osservati che presentano caratteristiche simili a quello Solare sono numerosi anche se, man mano che le informazioni sul tipo di pianeti presenti intorno alle stelle della nostra galassia si accumulano, ci si rende conto che il nostro Sistema Solare è in qualche modo speciale. In primo luogo la maggior parte dei pianeti osservati ha altrove orbite molto eccentriche, o troppo vicine al Sole per garantire temperature adatte alla vita. I diversi sistemi planetari che assomigliano maggiormente a quello solare tra quelli scoperti finora sono HD 70642, HD 154345, Gliese 849 e Gliese 581. In particolare, l'attenzione sulla possibile abitabilità è stata rivolta a Gliese 581 d e Gliese 581 g, un pianeta di 3,1 volte la massa della Terra, al centro della zona abitabile di Gliese 581. Va inoltre notato che: (i) non tutti i pianeti potenzialmente presenti nelle zone abitabili sono stati scoperti, a causa dei limiti degli attuali metodi di misura. E che (ii) la ricerca non va limitata esclusivamente alle stelle simili al Sole e ai pianeti simili alla Terra: pianeti vincolati a Nane Rosse in modo da rivolgere alla stella sempre la stessa faccia potrebbero anch'essi avere zone abitabili. Di nuovo, il punto principale è posto dalla definizione di vita, quindi di abitabilità.

$$n_e = 2$$

f_l – la frazione di essi che effettivamente sviluppa la vita. Valore Drake = 1. La complessità della domanda è

molteplice. A) Il valore 1 è *in eccesso* perché: (i) molte stelle sono in un momento della loro evoluzione tale da non poter permettere fenomeni biogenici (ad esempio, le numerose Nane Rosse durante i primi turbolenti 1,2 miliardi di anni, *vide infra*). (ii) Moltissimi pianeti scoperti sono di tipo gioviano, gassosi, molto vicini alla loro stella, quindi instabili. La composizione del nostro Sistema Solare (pianeti piccoli e rocciosi vicini alla Stella, pianeti grandi e gassosi all'esterno) sembra essere un'eccezione piuttosto che una regola. B) Il valore 1 è *in difetto* perché: (i) la vita si può sviluppare sui satelliti come e meglio che sui pianeti, e satelliti non mancano. (ii) La chimica prebiotica in generale (ovvero: negli spazi circum- ed inter-stellari, e sui corpi siderali: meteoriti, comete, satelliti, pianeti) dimostra che i processi di creazione di informazione chimica complessa sono diffusi e spontanei. Vedremo meglio. Un valore $f_l = 1$ significa che tutti i pianeti in grado di farlo, a un certo punto sviluppano la vita. Comunque, in generale 1 seguita ad essere ragionevolmente vicino ad un valore reale e si potrebbe, per il momento, mantenere.

$$f_i = 1$$

f_i – la frazione di essi che effettivamente sviluppa vita intelligente. Valore Drake = 0,01. È qui che il discorso diventa altamente arbitrario. Assumiamo per semplicità Occamiana che la capacità e l'interesse di comunicare con un altrove rispetto alla Terra sia un aspetto intrinseco della vita che ha una qualche forma di intelligenza, definita come *Intelligence is the mental ability to adapt to new environment(s) for a goal, to learn, and to understand* (l'intelligenza è la capacità mentale di adattarsi a nuovi ambienti con uno scopo, di imparare, e di capire) [9]. Ed assumiamo per la stessa ragione che questa definizione sia applicabile a tutti i sistemi nei quali l'evoluzione raggiunge una complessità sufficiente. I mezzi tecnici per poter comunicare con l'esterno sono a disposizione di *Homo sapiens* diciamo da 100 anni. Comparsa di strutture cere-

brali sufficientemente complesse, comparsa di strutture sociali compatibili e comparsa dei mezzi tecnici adatti sono dunque, nel loro insieme, una frazione molto piccola del tempo trascorso dalla apparizione della vita sulla Terra. Calcolare il tempo come parte integrante dell'equazione è corretto ed importante se si vuole stimare la possibilità qui ed ora, nel tempo, di far ascoltare la nostra voce o di ascoltare quella altrui. Oggi, considerando che l'evoluzione biologica è iniziata molto presto dopo il raffreddamento e solidificazione del pianeta diremmo piuttosto, per f_i , 100/4 miliardi di anni = 2.5×10^{-8} .

Un grande grado di incertezza riguarda l'assunzione che intelligenza corrisponda a voglia di comunicare con un esterno lontano. Lo è meno riguardo il fatto che tutti gli esseri viventi siano, ognuno a modo proprio, intelligenti. Se il mondo fosse popolato da una società sottomarina di polpi intelligenti, e sappiamo bene quanto lo siano, avrebbero voglia di sapere se su Andromeda c'è qualcuno, o rimarrebbero intenti e privi di domande, seguendo propri stimoli estetici verde-blu, incuranti della luminescenza delle pietre di Luna e del sorgere delle stelle della Cintura di Orione sull'orizzonte?

$$f_i = 2.5 \times 10^{-8}$$

f_c – la frazione di essi che è in grado e decide di comunicare. Nel modo in cui sto articolando questa analisi, questo termine è compreso, nel precedente, nel quale abbiamo introdotto il fattore tempo. Valore Drake = 0.01

L – la durata media della fase comunicativa di ognuna di queste civiltà. Valore Drake = 10.000. L'arbitrarietà è totale. La durata delle singole culture umane che hanno preceduto la nostra attuale è stata molto minore (e già queste parole sono in grado di aprire un dibattito senza uscita). Lo spirito di auto-distruzione della nostra specie (ormai valutabile solo in termini di globalizzata intelligenza, priva di possibili nicchie di provinciale sopravvivenza) è forte quasi quanto lo spirito di auto-conservazione dell'individuo. Finché i due fattori non troveranno un

equilibrio e rimarranno in contrapposizione, l'equazione di Drake non ha soluzione, rimane una equazione aperta di grado incerto. Inserire nel discorso elementi di ragionamento quali: una volta scomparsa, una civiltà può ricomparire sotto un'altra forma; e: l'estinzione di una specie può essere seguita dalla comparsa di un'altra specie intelligente (se un pianeta è biogenico, tende a rimanerle a lungo. Tipo: il pianeta delle scimmie) non sembra molto appropriato.

Dunque: $L = ?$ Forse sarebbe corretto indicare qualcosa in più di 100, il numero di anni trascorsi durante i quali abbiamo avuto possibilità, e per un po' anche la voglia, di comunicare; e non considerare il futuro, di cui non c'è certezza.

$$L = > 100$$

I valori di Drake così rivisti producono un valore $N = 7 \times 0,5 \times 2 \times 1 \times 2,5 \times 10^{-8} \times > 100 = > 1,75 \times 10^{-5}$. Il valore indicato da Drake è di 10. È opportuno sottolineare di nuovo l'instabilità di questa equazione, ogni piccola variazione di impostazione e di valutazione porta grandi cambiamenti nel valore finale, non ci sono fattori di bilancio e di correzione interna. Va però sottolineato il fatto che Drake stesso aveva indicato che la sua equazione aveva più un valore iniziale, impostare un problema più che darne una possibile soluzione. Di nuovo, e segnatamente in questo caso, è molto più importante ed interessante la domanda di quanto possa esserlo la risposta.

Una obiezione sensata sarebbe quella di supporre che il risultato dovrebbe essere almeno uguale ad 1, dato che almeno noi terrestri ci siamo. Questo però dipende da come si imposta la domanda: "*Quante altre civiltà esistono che ...*".

Alla luce del problema sul metodo da adottare in questo tipo di ragionamenti, va notata la eterogeneità dei fattori invocati per formulare una risposta, di tipo quantizzabile (quanti pianeti, ecc), di tipo probabilistico (quanti possono generare e sostenere vita, ecc), di tipo altamen-

te arbitrario (quanto tempo una civiltà, ecc). E va notato come stiamo dando per scontato che la vita possa esistere solo in forme sostanzialmente simili a quelle a cui siamo abituati sulla Terra; se così non fosse il calcolo porterebbe ad un grande aumento del numero finale. In molti casi, ogni parola apre una logica di sentieri che si biforcano nel bosco della mente. Sostanzialmente, molti termini della formula sono in gran parte completamente congetturali. Moltiplicare dati incerti genera incertezza.

Non c'è, a ben guardare, una logica pre-definita che si adatti a questo problema, se non la combinazione dello scetticismo di Metròdoro con l'empirismo di Ockham.

2. 4. Il Big Bang ? [10-14]

All'inizio ... , all'inizio non si sa. A qualsiasi fisico venga posta la domanda, la risposta che si riceve è che se la domanda non può avere risposta per mancanza di dati, allora quella è una domanda che non può essere posta. In questo caso è vero a metà, perché i dati per la seconda parte della storia li abbiamo, sappiamo quello che è successo dopo il Big Bang. Non avere dati per quello che c'era prima, e che verosimilmente ha causato quello che c'è stato dopo, impedisce di formulare modelli verificabili. È comunque d'aiuto il fatto che i concetti stessi di *prima* e *dopo*, che implicano l'entità tempo, riguardano un sistema basato sulla relatività, normale e speciale. E che quindi la domanda è effettivamente priva di soluzione. Non aiuta il fatto che, nell'Universo generatosi dal Big Bang, avvenuto esattamente $13,798 \pm 0,037$ miliardi di anni fa, il quadro dell'osservabile e descrivibile in termini euclidei (il livello macroscopico) non segue leggi uguali a quelle definite per il livello quantico (il livello microscopico). I due livelli si fronteggiano a livello mesoscopico, quello che comprende i fenomeni che avvengono tra 5 e 100 nanometri, e che sarà importante analizzare con una certa cura (4. 6). Ma una legge, in termini Cartesiani,

deve essere valida sempre, altrimenti non è una legge.

In alternativa al Big Bang sono stati proposti modelli che molto sembrano detrarre alla natura metafisica dell'evento. Questi modelli sono in gran parte abbandonati, a causa delle prove sperimentali accumulate a favore del Big Bang come la migliore teoria sull'origine e sull'evoluzione dell'universo, ed a causa della mancanza di prove contrarie. La prima di queste teorie era quella dello stato stazionario di Fred Hoyle, in base alla quale nuova materia doveva essere creata per compensare l'espansione. In questo modello l'universo è approssimativamente lo stesso in ogni istante di tempo. Personalmente la trovo particolarmente attraente, ma non sembra incontri più molto favore. Queste "cosmologie non-standard" comprendono il modello di Milne, l'universo oscillante, ideato originariamente da Friedmann e supportato da Einstein e da Richard Tolman, e l'ipotesi della luce stanca di Fritz Zwicky [15].

Il problema di fondo ("è vero o non è vero") non è però risolvibile in modo assoluto perché il Big Bang richiede ed implica una singolarità gravitazionale. Una singolarità gravitazionale è un punto dello spazio-tempo in cui l'energia del campo gravitazionale tende ad un valore infinito, così come la densità e la curvatura. Questa è dimostrata dai teoremi di Penrose-Hawking, che provano matematicamente l'esistenza di questa singolarità all'inizio del tempo cosmico, ma lo fanno assumendo la validità della relatività generale. Che però non è applicabile prima del tempo in cui l'universo raggiunse la temperatura di Planck. In breve: per il momento troppe assunzioni per avere una certezza che non sia pura presunzione cartesiana, e non ci consola che una teoria di gravità quantistica potrebbe portare a soluzioni prive di singolarità. Ancora altre assunzioni. La singolarità lascia aperto il problema di quale sia la causa dell'espansione iniziale e della nascita dell'universo dal "nulla", e costituisce una violazione della legge di conservazione dell'energia, risolvibile solo ricorrendo ad un modello di universo a energia totale

nulla, nato da una fluttuazione del vuoto quantistico senza violare il principio di conservazione dell'energia.

La singolarità di Penrose-Hawking ha il pregio di suggerire la possibilità dell'esistenza di uno spazio-tempo precedente. Il che non sarebbe male, perché lascia aperta la possibilità di un futuro di rinascita, dopo la vittoria finale dell'entropia che ci aspetta con il modello corrente.

In conclusione, del Big Bang ci interessa il fatto che questo segna, per estrapolazione a ritroso, un punto zero a partire dal quale si possono descrivere una serie di processi. Ripartendo dal punto 0 che il Big Bang segna, c'è accordo nel dire che gli eventi che si sono succeduti nella direzione temporale che porta verso di noi sono, in un quadro di espansione: a 10^{-43} secondi, inizio dell'Era della gravità quantica; a 10^{-36} secondi, inizio dell'Era di inflazione; a 10^{-5} secondi, formazione di protoni e neutroni dai quarks; a 3 minuti, sintesi di nuclei atomici; a 300.000 anni, formazione dei primi atomi.

Dopo 300.000 anni di espansione, il sistema si era raffreddato abbastanza da permettere la formazione dei primi atomi stabili, in grandissima parte idrogeno H, peso atomico 1.00794, ma anche quantità minori di atomi fino a litio e berillio. Niente altro, se non forse tracce di boro, prodotto in seguito con il processo detto di "cosmic ray spallation". Non il carbonio, perché questo elemento si forma dall'elio ma ne richiede una alta densità, ed ha luogo nelle stelle attraverso il processo triplo-alfa, scoperto da Fred Hoyle. La prima descrizione di questi fenomeni di nucleosintesi è in [16].

A partire da questa nucleazione il destino dell'Universo è, in termini meccanicistici, ancorché complessi, segnato. La distribuzione degli atomi di idrogeno, la loro quantità, e la gravità hanno fatto in modo che cominciassero a condensarsi punti di reazione, che chiamiamo stelle, al cui interno l'idrogeno reagisce con se stesso a dare elio, e questo si trasforma in carbonio, e così via, in una serie di trasformazioni atomiche che sono state definite in dettaglio, a partire dall'opera pionieristica di Fred Hoyle negli anni '50.

CAPITOLO III
Energia e materia dalle stelle
I presupposti materiali

3. 1. Trasformazioni atomiche

Il Big Bang segna dunque l'inizio di processi descrivibili in termini di fisica classica che hanno portato alla formazione di nuclei reattivi, accensione di processi che hanno causato la evoluzione di atomi via via più complessi. È stato valutato che nelle stelle in vita si producono, lungo questa serie di reazioni successive, atomi fino alla complessità 26, 27, 28, gli atomi di ferro, cobalto e nickel. La formazione di atomi più pesanti richiede più energia, sono necessarie supernovae, è necessario che stelle alla fine del loro ciclo si contraggano su se stesse ed esplodano.

La composizione atomica del Sistema Solare è stata determinata. Le abbondanze relative, rispetto all'idrogeno, sono:

$H = 1$, $He = 0.1$, $C = 2.9 \cdot 10^{-4}$, $O = 5.8 \cdot 10^{-4}$, $N = 7.9 \cdot 10^{-5}$,
 $Mg = 4.17 \cdot 10^{-5}$, $Si = 4.07 \cdot 10^{-5}$, $S = 1.82 \cdot 10^{-5}$, $P = 3.47 \cdot 10^{-7}$,
 $Cl = 2.14 \cdot 10^{-7}$, $Na = 2.34 \cdot 10^{-8}$, $F = 3.39 \cdot 10^{-8}$.

Questa composizione è caratterizzata in primo luogo dall'abbondanza di idrogeno, come ovunque nel nostro ancora giovane universo; poi si nota come la sequenza di abbondanze relative di elio, carbonio, ossigeno, azoto segua con precisione la sequenza di successione delle trasformazioni atomiche Hoyle, descritta in [16]. L'origine degli atomi del Sistema Solare è solo marginalmente dovuta all'attività del Sole, in buona parte

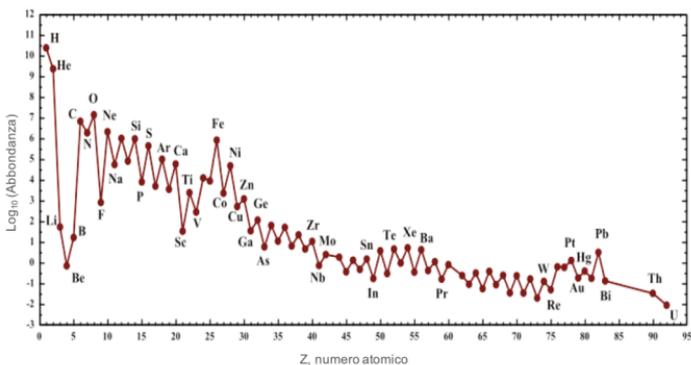


Figura 1. La composizione del Sistema Solare. Da notare la scala logaritmica verticale, che comprime la valutazione visiva dell'andamento. L'abbondanza degli elementi diminuisce man mano che questi diventano più pesanti, seguendo un'alternanza che dipende dal loro avere un numero atomico pari o dispari. Dopo i più comuni idrogeno ed elio, i tre elementi seguenti litio Li, berillio Be e boro B, sono rari perché non sono stati prodotti in grande quantità durante il Big Bang né vengono prodotti in modo stabile nelle stelle. All'interno dell'andamento generale fa eccezione l'abbondanza di ferro e nickel, che sarebbe più evidente in una scala logaritmica più espansa. Crediti: adattato da Wikimedia Commons.

deriva da materiale precedente prodotto da stelle che avevano già terminato il proprio ciclo. Il Sistema Solare segue le regole, è fatto degli atomi più abbondanti disponibili sul mercato cosmico, non è una nicchia particolare, è Occamiano.

Durante la loro vita le stelle emettono, sotto forma di venti stellari, parte dell'energia che deriva da queste trasformazioni atomiche, accompagnata dalla emissione di atomi; ed energia ed atomi le stelle emetteranno poi per esplosione finale, fino a disperdere e seminare nel loro intorno il frutto delle reazioni avvenute. Gli atomi reagiscono tra loro (quasi tutti) e formano molecole. Alcune molecole sono termodinamicamente e strutturalmente

forzate a reagire con altre molecole, quando le incontrano e se l'energia è sufficiente.

Da notare, di grande suggestione, il fatto che i quattro atomi più abbondanti H, C, O, ed N (con l'eccezione del nobile ed inerte elio He) sono quelli di cui è composta la materia che chiamiamo vivente. La vita sa quello che c'è di più abbondante, quello che è più semplice trovare, in pura logica Occamiana.

Come risultato della attività delle stelle, lo spazio interstellare (InterStellar Medium, ISM) è dunque pieno di materia, ed è caratterizzato da chimica diversificata e complessa. Questa chimica viene studiata con ottimi risultati attraverso la determinazione di spettri radioastronomici, molti dei quali non sono stati ancora assegnati. I risultati di queste analisi hanno portato alla identificazione di un crescente numero di molecole, alcune di pochi atomi, altre contenenti più di cinque atomi almeno uno dei quali è un atomo di carbonio (le cosiddette molecole organiche complesse interstellari), che possono aver avuto un ruolo rilevante nella chimica della vita. Come possono essersi generate queste molecole nelle dure condizioni dell'ISM? La reattività chimica dell'ambiente spaziale interstellare è un campo di studio in via di espansione. Guardiamo meglio.

3. 2. La composizione delle nubi interstellari

Partiamo da una prima analisi dei risultati della composizione della materia interstellare, descritti nella Tabella (Figura 2). Questa Tabella è datata 2004, riporta cioè i dati noti fino a quel momento. Da allora la Tabella viene continuamente aggiornata ed i risultati vengono resi noti sul sito www.astrochemistry.net. Viene qui riportata (divisa in due parti, composti organici e composti inorganici) la compilazione di 16 anni fa perché da allora la Tabella è rimasta immutata nella rappresentazione delle specie principali, e cresce soltanto per aggiunta continua

Molecole interstellari organiche							
Numero di atomi							
2	3	4	5	6	7	8	9+
CH+	HCN	H ₂ CO	HC ₃ N	CH ₃ OH	HC ₅ N	HCOOCH ₃	HC ₇ N
CH	HCN	H ₂ CS	C ₄ H	CH ₃ OH	CH ₃ CCH	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ OCH ₃
CN	HCO	HNCO	CH ₂ NH	CH ₃ CN	CH ₃ NH ₂	CH ₃ COOH	CH ₃ CH ₂ OH
CO	OCS	HNCS	CH ₂ CO	CH ₃ SH	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	CH ₃ CH ₂ CN
CS	HCO+	c-C ₃ H	NH ₂ CN	NH ₂ CHO	CH ₂ CHCN	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C ₄ H
C ₂	HOC+	1-C ₃ H	HOCHO	HC ₂ CHO	C ₆ H		CH ₃ C ₅ N
CO+	HCS+	C ₃ N	c-C ₃ H ₂	C ₅ H	c-C ₂ H ₄ O		CH ₃ COCH ₃
	C ₂ H	C ₃ O	CH ₂ CN	H ₂ CCCC	CH ₂ CHOH		HC ₉ N
	C ₂ O	C ₃ S	H ₂ CCC	HC ₃ NH+			HC ₁₁ N
	C ₂ S	H ₂ CN	HCCNC				OCH ₂ CH ₂ OH
	CO ₂	C ₂ H ₂	CH ₄				
	C ₃	HOCO+	H ₂ COH+				
		HCNH+					

Molecole interstellari inorganiche							
Numero di atomi							
2	3	4	5	6	7	8	9
H ₂	H ₂ O	NH ₃					
OH	H ₂ S	H ₃ O+					
SO	SO ₂						
SiO	HNO						
SiS	NH ₂						
NH	N ₂ H+						
NO	N ₂ O						
NS	H ₃ +						
PN							
HCl							
SO+							
HF							

Figura 2. Composizione delle nubi interstellari, divisa per materiale organico ed inorganico (Modificato, da Millar, [17]).

di specie nuove e meno frequenti. Vengono cioè scoperte sempre più specie, sempre più complesse, sempre più rare, spesso esotiche dal punto di vista terrestre, e la Tabella si è complicata fino ad essere diventata di difficile presentazione. Oggi 2020 il numero di specie osservate ammonta a circa 300, delle quali soltanto il 25% sono molecole inorganiche, prive di carbonio. La complessità raggiunta è alta, fino alla poli-formaldeide ed alla molecola a 13 atomi HC₁₁N. A queste vanno aggiunti policar-

huri complessi (PAHs) e le molecole di C_{60} e C_{70} , forme di organizzazione molecolare precisa del carbonio che meritano un discorso a parte (5. 1). A questo tipo di considerazione si accompagna il fatto che lo sguardo di un biologo va subito, di fronte a questa Tabella, alla ricerca di molecole organiche simili a quelle che siamo abituati a considerare biologiche: amino acidi, acidi carbossilici, basi nucleiche, catene alifatiche. Con l'eccezione della glicina, la cui identificazione sembra essere controversa, molecole di questo tipo, libere nello spazio, non ci sono.

Ecco quindi un primo tipo di confine tra vita e non-vita. Anche se questo tipo di riflessione può apparire antropocentrico ed autoreferenziale (e non freddamente analitico, non piacerebbe a Metròdoro) essa è in qualche modo giustificato dalla forza con cui ci poniamo la domanda iniziale: da dove veniamo? Fino a che punto la sorgente della nostra vita è nelle nubi del materiale interstellare? Una prima parte della risposta a questa domanda è che nelle condizioni dell'ISM si raggiunge una definita complessità chimica (dettata e limitata dalle condizioni generali: materiale di partenza, concentrazioni, energia, tempo, strutture), e che questa complessità chimica non ha molto a che fare *direttamente* con la composizione della materia vivente. Teniamo per il momento in sospenso la parola "*direttamente*".

Lo spazio cosmico è un laboratorio di grandezza smisurata, molto vario, molto variabile. Esiste uno spazio circum-stellare, lì dove giunge il prodotto della respirazione e traspirazione delle stelle (che, sappiamo bene, sono di tante classi differenti) durante il loro ciclo vitale; ed esiste uno spazio inter-stellare, lì dove giungono soprattutto i prodotti delle supernovae, alla fine del loro ciclo. Non ci proponiamo qui di entrare in maggiore dettaglio nella descrizione della cosmologia chimica e delle sue complessità. Riporto a mò di esempio le caratteristiche di ciò che avviene intorno ad una stella di classe AGB, da uno studio di Tom J. Millar [18].

Quello che viene descritto è l'equilibrio molecolare della fotosfera per una stella di tipo AGB (con $T_{\text{eff}} = 2215$). T_{eff} è la temperatura superficiale misurata in Kelvin. Una stella cioè non molto diversa dalla nostra. A partire dalla superficie della stella si incontra prima una zona dove ha luogo chimica di shock; poi una zona dove si ha formazione di polveri, soprattutto grani di silicato (ricchi di ossigeno) o carbonacei (ricchi di carbonio); poi una ampia zona di chimica lenta, nella quale la velocità di reazione raggiunge lo stato stazionario; infine una zona esterna dove si ha foto-dissociazione delle molecole per irraggiamento da UV, chimica complessa e rarefatta. La dimensione delle zone è espressa in UA (1 Unità Astronomica corrisponde alla distanza media tra Terra e Sole, circa 150 milioni di Km); 1, 10, 100 AU, poi lo spazio aperto.

In termini generali, quello che succede è che intorno alla stella troviamo prima una zona sferica di attivazione, dove la chimica è soprattutto creazione di plasma nella regione prossimale seguita poi, allontanandosi dalla superficie, dalla formazione di specie radicaliche altamente reattive. A questa segue una zona dove ha luogo condensazione di polveri di vario tipo, siti di elezione per la formazione di strutture sulle cui superfici e all'interno delle quali potranno avvenire le reazioni della terza zona, quelle più interessanti e variegate. Queste reazioni avvengono anche in fase gassosa. In questa terza zona le molecole si formano e si disfano secondo dinamiche complesse e raggiunti equilibri. Al di fuori della terza zona, lo stato creativo ed in parte stazionario è perso, e prendono il sopravvento la disgregazione e la degradazione causata dalle radiazioni che giungono dall'esterno.

Poi, al di fuori, è lo spazio profondo, dove altri fattori ed altri tipi di energie entrano in gioco. Ed è importante aver presente sia che il sistema è altamente dinamico, sia che le forme di energia che pervadono questi spazi sono le più varie. Le strutture sulle quali avvengono le reazioni potenzialmente biogeniche sono le polveri che si crea-

no nella seconda fascia. Spesso queste polveri sono ricche di silicio, magnesio e ferro combinati in vario modo, composti che vanno in genere sotto il nome di olivina.

Torniamo ai dati oggettivi di partenza, torniamo alla Tabella che riassume ciò che forma le nubi cosmiche. La prima considerazione è che nella Tabella il materiale organico mostra di essere molto più ricco e complesso del materiale inorganico, pur riguardando quest'ultimo tutti gli altri tipi di atomi. Il carbonio è chiaramente più combinatorio, un atomo contro tutti gli altri. Una importante conseguenza di questa proprietà è la facilità di dar luogo a processi di doping, di creare cioè strutture complesse regolari ma in grado, al tempo stesso, di avere al proprio interno punti chimicamente diversi, lì dove prendono il sopravvento reazioni alternative, tra le tante possibili di quelle del carbonio.

Le ragioni di questa ricchezza combinatoria del carbonio sono ben comprese. Brevemente: il carbonio (numero atomico 6), è un elemento non metallico, tetravalente (e raramente bivalente), insolubile, ha una grande affinità per i legami chimici con atomi di altri elementi a basso peso atomico (e con se stesso) e le sue piccole dimensioni lo rendono in grado di formare legami multipli (proprietà che viene definita "desmalusogenia"). Queste proprietà permettono la formazione di 10 milioni di composti diversi. L'organizzazione del carbonio è multiforme (5.1, 5.2): può essere amorfo o organizzato in forme geometriche perfette e conchiuse, i fullereni; può fare i composti più morbidi la grafite, o più duri, il diamante.

Focalizziamoci qui sulle specie chimiche organiche che hanno già percorso una prima parte della sequenza di reazioni cui la loro struttura le ha predestinate, e che da un atomo di partenza sono diventate prima a due atomi, poi a tre (oppure, a volte, direttamente a tre); esaminiamo cioè quelle molecole che hanno già percorso una prima parte obbligata nella loro via di sviluppo

di complessità, di accumulo di informazione. La molecola più abbondante a tre atomi, dei quali uno è un carbonio, è l'acido cianidrico HCN. Per quanto riguarda i composti inorganici, la molecola più abbondante a tre atomi è l'acqua H_2O .

La complessa chimica che avviene nello spazio è sostenuta soprattutto dalla interazione dei gas con i protoni dei raggi cosmici. L'azione di questi ultimi crea ionizzazione che a sua volta nutre una ricca e complessa chimica non-ionica. Questo tipo di chimica, che avviene anche sui e nei ghiacci delle particelle fatte di silicati e di composti carboniosi, è caratterizzata, alle temperature di qualche decina di gradi al di sopra dello zero assoluto, dalla stabilità dei prodotti. Questa stabilità, i tempi lunghissimi di vita media delle nubi interstellari e le loro enormi dimensioni fanno sì che, nonostante la bassa densità, le quantità coinvolte siano enormi.

I processi che portano alla generazione delle molecole che vengono definite "mattoni della vita" iniziano a partire da molecole ad un atomo di carbonio. Quelle rilevanti sono acido cianidrico HCN, acido formico HCOOH, formaldeide CH_2O , metanolo CH_3OH , formiato d'ammonio $NH_4^+ HCOO^-$ e, soprattutto, formamide NH_2CHO . Queste molecole sono collegate tra loro dalla loro natura chimica, possono l'una diventare l'altra, a seconda delle condizioni di temperatura, della presenza di altri reagenti semplici quali metano CH_4 , ammoniaca NH_3 , acqua H_2O , e della instabilità indotta dal tipo di energia nella quale sono immerse. Un esempio: Stanley Miller ha riportato nel 1953 la sintesi di aminoacidi a partire da una miscela di gas semplici (CH_4, NH_3, H_2O, H_2) sottoposti a scarica elettrica [19]. In uno degli studi successivi [20] è stata notata la presenza, nello stesso tipo di reazione, di una grande quantità di acido formico. È oggi appurato che al di sopra di $200^\circ C$ acido formico ed ammoniaca non reagiscono stabilmente, che abbassando la temperatura tra 200 e $120^\circ C$ reagiscono diventando formiato d'ammonio, che al di sotto dei $120^\circ C$

diventano formamide. È da questi composti che si generano gli amino acidi.

La formamide si forma in tante condizioni fisiche differenti e a partire da diverse miscele di molecole semplici ($\text{CO} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$, oppure $\text{NH}_3 + \text{HCOOH}$, oppure $\text{NH}_3 + \text{CO}$, o altri), ma soprattutto dalla reazione dell'acido cianidrico HCN con l'acqua H_2O . Notiamo di nuovo che HCN ed H_2O sono le molecole a tre atomi che la Tabella di composizione delle nubi cosmiche riporta come più abbondanti, rispettivamente della componente organica l' HCN e di quella inorganica l' H_2O .

Un richiamo alla logica Occamiana: la soluzione più semplice è quella favorita. Qui ne abbiamo una prova: le molecole più abbondanti reagiscono tra loro in modo preferenziale.

3. 3. Nubi di formamide

Nel 2013 un gruppo di astrofisici della NASA ha pubblicato uno studio che aveva come oggetto la misurazione della formamide nella nostra Galassia [21]. Lo studio, condotto con i telescopi dell'Arizona Radio Observatory, ha identificato 7 zone di presenza massiccia di formamide (W51M, M17 SW, G34.3, DR21(OH) e nella regione di Orion-KL, W3(OH), and NGC 7538). Da queste osservazioni è stato dedotto che le densità colognari della formamide erano nell'ambito compreso tra 1.1×10^{12} e $9.1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, con temperature rotazionali di 70–177 K. La molecola è quindi presente in gas relativamente caldo, con abbondanze relative rispetto a H_2 comprese tra 1×10^{-11} e 1×10^{-10} . La formamide sembra quindi essere un costituente comune delle regioni che formano stelle e che favoriscono la formazione di sistemi planetari all'interno della zona di abitabilità della Galassia, presente in quantità comparabile a quella riscontrata, ad esempio, nella cometa Hale-Bopp. La Figura 3 mostra la localizzazione di queste nubi di for-

toni ed elettroni perdono localmente e momentaneamente la loro organizzazione ordinata. Le reazioni delle molecole gassose circostanti sono favorite. Quando cade un meteorite sul fronte del suo impatto nell'atmosfera succedono gli stessi fenomeni. Come prima teorizzato da Carl Sagan e poi dimostrato sperimentalmente, si formano allora quelle molecole ad un atomo di carbonio potenzialmente biogeniche che abbiamo già visto nelle nubi cosmiche. Si forma soprattutto il molto reattivo acido cianidrico, poi i prodotti della sua stabilizzazione, acido formico, formamide, e tutti gli altri. Questo quadro di possibili sintesi può sembrare raro ed occasionale, a noi che viviamo su un pianeta relativamente stabilizzato. Bisogna però immaginare la Terra durante e subito dopo il suo raffreddamento, all'epoca del Grande Bombardamento di meteoriti, quando l'attività eruttiva era continua e diffusa; e sappiamo che durante le eruzioni le nubi di vapori e ceneri sono avvolte di fulmini, e che i fulmini generano plasma reattivo.

Abbiamo parlato di meteoriti. Sono gli oggetti più vari; la loro funzione principale è quella di cadere ogni tanto sulla Terra. Si dividono in quattro classi: ferrosi, sasso ferrosi, condritici, acondritici. Vengono dall'interno del Sistema Solare e dal suo esterno, sono antichissimi o relativamente giovani, hanno subito una lunga esposizione alle radiazioni dell'esterno, o hanno vissuto protetti dall'involucro della bolla formata dal Vento Solare. Il Vento Solare impedisce alle radiazioni forti che permeano lo spazio esterno di entrare nel Sistema Solare, una sfera protettiva che finisce poco dopo l'ultimo pianeta. La composizione molecolare dei meteoriti è stata molto studiata, alcuni sono carichi di sostanze organiche complesse, altri sono fatti con qualcosa di semplice ed iniziale. Tutto sommato, non sembra che abbiano contribuito molto alla massa organica della Terra. A volte cade dal cielo qualcosa di eccezionale, come Orgeuil.

Orgueil è un meteorite condrite del gruppo CI1 caduto nella Francia del sud ovest nel 1864. Questo gruppo

di meteoriti è notevole per il fatto di avere una composizione essenzialmente identica a quella del Sole, senza però gli elementi volatili idrogeno ed elio; inoltre è ricco, oltre che di carbonio, in mercurio volatile, di un tipo differente per composizione isotopica dal mercurio presente nella nebula solare. Altrettanto peculiare è il tipo di xenon che contiene, anch'esso isotopicamente anomalo. Orgeuil viene dunque da fuori, o da prima. Il suo interesse vero è però il fatto che il suo xenon è contenuto in polvere di diamante in grani estremamente fini, più antica del sistema solare stesso, nota come grani presolari. Sarà interessante discutere un pò meglio le forme di organizzazione del carbonio (5. 1). È presente olivina. Richard Hoover, ricercatore della NASA (che si è dissociata da queste affermazioni), ha sostenuto che il meteorite Orgeuil contiene fossili, alcuni dei quali somiglierebbero a fossili terrestri; affermazione simile a quella fatta in precedenza anche per il meteorite Murchison. Questa logica, così come quella dei licheni su Marte (5. 5), sembra essere molto simile alla logica delle avventure del Barone di Münchhausen. Alcuni meteoriti sono pieni di fullereni e nanotubi di carbonio, come vedremo (5. 1) lì dove accenneremo a queste strutture. Il discorso non sarebbe completo senza qualche parola sulla composizione delle comete, nei loro esempi più noti. La figura 4 riporta la composizione di due tra le comete analizzate: Haley-Bopp e Hyakutake. Si noti la differenza della loro composizione, il fatto che entrambe hanno acido cianidrico, che Hale Bopp ha sia formamide che glicina, che entrambe sono ricche di composti contenenti carbonio. Le comete sono polvere stellare aggregata e solidificata. Con la sua composizione Hale-Bopp racconta la sua storia.

3. 5. Un imbuto cosmico

Immaginiamo un imbuto cosmico, alla bocca del quale

Molecole	Hyakutake	Hale-Bopp	Molecole	Hyakutake	Hale-Bopp
H ₂ O	100	100	CH ₃ CN	0.01	0.02
H ₂ O ₂	>0.04	-	HC ₃ N	-	0.02
CO	6-30	20	NH ₂ CHO	-	0.01
CO ₂	< 7	6	Glicina	-	< 0.5
CH ₄	0.7	0.6	CH ₂ NH	-	< 0.032
C ₂ H ₂	0.5	0.1	HC ₅ N	-	< 0.003
C ₂ H ₆	0.4	0.1	H ₂ S	0.8	1.5
CH ₃ C ₂ H	-	<0.045	OCS	0.1	0.3
CH ₃ OH	2	2.4	SO	-	0.2-0.8
H ₂ CO	0.2-1	1.1	CS ₂	0.1	0.2
HCOOH	-	0.08	SiO ₂	-	0.1
HCOOCH ₃	-	0.08	H ₂ CS	-	0.02
CH ₃ CHO	-	0.02	S ₂	-	0.1
H ₂ CCO	-	< 0.032	NaCl	-	0.0008
C ₂ H ₅ OOH	-	< 0.05	NaOH	-	< 0.0003
NH ₃	0.5	0.7			
HCN	0.1	0.25			
HNCO	0.07	0.06			
HCN	0.01	0.04			
CH ₃ CN	0.01	0.02			

Figura 4. La composizione molecolare delle comete Hale-Bopp e Hyakutake (Modificato, da Millar, [17]).

regni la necessità (termodinamica) ed alla cui uscita prevalga il caos combinatorio, una apparente casualità. All'entrata troviamo i composti più semplici, H₂, H₂O, NH₃, CH₄. Poi, man mano che ci addentriamo, cominciamo a trovare composti un poco più complessi, HCN, HCOOH, H₂O, NH₃; sono i composti che devono necessariamente essere fatti a partire da quelli iniziali sotto l'effetto dell'energia che li pervade. La strada verso la complessità è iniziata, ed informazione chimica comincia ad accumularsi. Man mano che si procede appaiono NH₂COH, NH₃+ HCOOH, forse qualche molecola di glicina, poi le prime basi nucleiche, qualche zucchero

semplice, poi i nucleosidi prodotti dalla loro interazione. Subito prima dell'uscita dell'imbuto troviamo altri aminoacidi, nucleotidi, lunghe catene alifatiche. Ma ormai siamo usciti dall'imbuto, siamo caduti sulla superficie di un pianeta, uno dei tanti.

3. 6. Su un Pianeta

Qui sulla superficie di un corpo celeste di grandi dimensioni le regole della necessità termodinamica non funzionano più soltanto in modo astratto, qui c'è anche un ambiente. L'ambiente impone le sue regole, e le molecole che si formano obbediscono ad un principio nuovo: quello del Darwinismo molecolare, un processo fatto di selezione funzionale, ambientale, evolutiva, dinamica, impregnato di complessità. Comunque sempre senza uno scopo. Le regole termodinamiche continuano ad essere ineludibili, ma i prodotti delle reazioni dipendono dai composti di partenza, dalla loro quantità relativa, dalle condizioni chimico-fisiche nelle quali si trovano. Dipendono dal Pianeta (o satellite, o cometa, o meteorite) sul quale i venti cosmici li hanno depositi. Qui sulla Terra gli aminoacidi si stabilizzano legandosi tra loro a formare proteine, i nucleotidi sopravvivono al proprio destino di disgregazione formando RNA (che più avanti nel tempo diventerà DNA), le catene alifatiche obbediranno alle leggi di solubilità relativa e daranno, se c'è acqua, le membrane che racchiudono proteine e acidi nucleici. I costituenti delle cellule sgorgano dall'imbuto cosmico non per caso, ma per necessità. Il Pianeta ed il tempo guidano il resto del percorso.

3. 7. Una via sperimentale

Lungo l'arco di venti anni abbiamo cercato, e trovato, una verifica sperimentale ad alcune delle idee esposte finora. La formamide sintetizza praticamente tutti i com-

ponenti necessari a formare RNA, proteine, membrane e componenti dei cicli metabolici. In collaborazione con Raffaele Saladino sono state studiate le reazioni alle quali va incontro la formamide se posta nelle condizioni della Terra primigenia. Le condizioni di energia analizzate sono state: il calore (tra i -20 ed i $+200^{\circ}\text{C}$); oppure le radiazioni ultraviolette; oppure raggi protonici, usati come analogo del Vento Solare; oppure radiazioni più forti (boro o carbonio accelerati). Come catalizzatori sono stati analizzati praticamente tutti i minerali possibilmente presenti sulla Terra primigenia: ossidi minerali, minerali di zolfo, di ferro, di zirconio, fosfati, argille, analoghi delle polveri spaziali, minerali di boro, di calcio, di silicio, e molti altri; e moltissimi meteoriti, rappresentativi di tutti i loro tipi [22-24]. I risultati hanno dimostrato numerosi punti di principio:

la formamide (che rimane in forma liquida tra i 4 ed i 210°C) produce *sempre* una grande varietà di prodotti potenzialmente biogenici. Non esiste una condizione nella quale la formamide, in presenza di una sorgente di energia, non dia luogo a forme chimiche più complesse.

Quindi: la Terra primitiva non poteva non generare informazione potenzialmente evolutiva. Ed ovviamente lo stesso non può non succedere ovunque nell'universo ci siano le condizioni adatte.

La miscela di composti prodotti *cambia* a seconda della sorgente di energia e del catalizzatore presente. Il principio della catalisi è di permettere che avvengano rapidamente ed efficientemente reazioni che avverrebbero comunque. Quindi energia e catalizzatori favoriscono e determinano le reazioni successive, dando loro una direzione definita. La catalisi introduce competizione, e cambia le regole combinatorie delle reazioni. Le combinazioni di minerali ed energia sono potenzialmente moltissimi.

me; moltissime sono dunque le possibili combinazioni della popolazione di quella che potremmo chiamare, in omaggio a Darwin che per primo la ha così definita [25], *la pozza primigenia*.

La miscela di composti prodotti è spesso, in molte combinazioni, *molto ricca*. Sono spesso presenti tutte le basi nucleiche (adenina, guanina, citosina, uracile, timina), molti amino acidi, molti degli acidi carbossilici che negli organismi a venire faranno parte dei cicli metabolici che controlleranno la raccolta e l'uso della energia.

La complessità raggiungibile è maggiore se le sintesi avvengono sotto lo stimolo di raggi protonici, simili per intensità e qualità al Vento Solare delle origini (e che comunque è simile a quello che ancor oggi il dio Sole ci offre). Si generano nucleotidi, i precursori diretti dell'RNA, che da questi possono iniziare a polimerizzare [26]; si generano amino acidi, che daranno proteine; le catene alifatiche sintetizzate sotto questi stimoli, precursori delle membrane, raggiungono la lunghezza di 20 unità, già adatti a fare una membrana.

3. 8. Uno scenario globale

Questi studi sono culminati nella scoperta di una reazione che è in grado di indicare uno scenario globale in senso planetario. Il processo di raffreddamento della Terra consisteva essenzialmente nella formazione di rocce per serpentizzazione. La Terra era praticamente un laboratorio nel quale avveniva una unica reazione. I minerali di partenza sono le olivine, di cui sono ricchissime le polveri stellari. La abbiamo già incontrata nel meteorite Orgeuil. Mi si perdoneranno le semplificazioni estreme di questi brevi ma necessari cenni chimici. L'olivina è fatta di fayalite + fosterite, la reazione di serpentizzazione è la seguente:

la fayalite (Fe_2SiO_4) reagisce con l' H_2O nella reazione

$3 \text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ e diventa $2 \text{Fe}_3\text{O}_4$ (magnetite) + $3 \text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2$; la fosterite (Mg_2SiO_2) reagisce con SiO_2 e H_2O nella reazione $3 \text{Mg}_2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$ e diventa serpentina $2 \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; la fosterite inoltre reagisce con l'acqua nella reazione $2 \text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$ e diventa serpentina ($2 \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) + brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

L'acqua che si produce come essudato di queste reazioni è gran parte dell'acqua degli oceani.

Durante queste trasformazioni (che in buona sostanza sono state la stabilizzazione-maturazione della crosta terrestre) si ottengono soluzioni sature di silice. Questa è uno dei prodotti del silicio che, come già indicato, è uno degli atomi più abbondanti del Sistema Solare, e in questo caso diventa un ossido. Quest'ossido di silicio si ottiene direttamente dall'acqua in ambienti di serpentizzazione, oppure per percolazione attraverso le rocce contenenti minerali ricchi di silice formati direttamente dalla reazione, oppure quando il tasso di dissoluzione è maggiore di quello di precipitazione delle argille. Dove ci sono argille sono avvenute queste reazioni, e le argille sono ubiquitarie.

Nelle soluzioni di silice si formano giardini chimici e microsfele. I giardini chimici sono strutture inorganiche auto-assemblate prodotte per reazione di sali metallici solidi con una soluzione di silicato di sodio. Mostrano forme tubulari vuote che somigliano ad alberi o a piante acquatiche di differente forma e spessore. Sia i tubuli dei giardini chimici che le microsfele sono costituiti di membrane di metallo-silicati idrati amorfi o parzialmente cristallini, a secondo del catione presente. Le microsfele sono della stessa natura, ma con forma differente. I giardini chimici classici sono formati da soluzioni concentrate di silice in ambiente molto alcalino con cristalli di CoCl_2 , FeCl_2 , FeCl_3 o CaCl_2 , mentre i metalli che danno luogo a formazione di microsfele possono essere, tra gli altri, ZnCl_2 ,

$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, and MgSO_4 . Cioè, i più vari, praticamente tutto.

Quando reagiti con la formamide in presenza di calore, i giardini chimici e le microsfere producono per condensazione termica sostanze organiche sia al proprio interno che al loro esterno. Queste sostanze sono sempre le stesse: basi nucleiche, amino acidi, acidi carbossilici, catene alifatiche, zuccheri [27-29].

In questo sistema tutto è il più abbondante possibile. La scala della produzione delle prime molecole biogeniche è planetaria. Veramente Occamiana.

A questo punto il messaggio è chiaro: le sostanze ad un atomo di carbonio (acido cianidrico, acido formico, formaldeide, e soprattutto formamide) tendono a reagire facilmente. In questo caso la reazione è globale, è un prodotto secondario del processo di raffreddamento di un intero pianeta.

Le reazioni che generano i precursori della materia vivente sono facili da fare, usano i materiali più abbondanti disponibili sul mercato planetario, seguono sentieri chimici obbligati, si producono sempre le stesse cose, che poi sono quelle delle quali sono fatti i batteri e delle quali siamo fatti noi.

Ma, si dirà, arrivare alla generazione di amino acidi e nucleotidi allora è facile. È solo chimica. Certo. Per avere una giraffa è necessario un pianeta, un ambiente complesso, e miliardi d'anni di evoluzione. Allora il discorso continua in modo coerente col dire che sulla Terra si è creato uno di questi ambienti complessi, il che ha permesso una evoluzione lunga ed altrettanto complessa. Ed alla fine sono comparse le giraffe.

La morale finale di questa parte del discorso è che la chimica della formamide è estremamente robusta e produttiva, Occamiana, fornisce tutte le risposte alle domande che l'ambiente pone. La risposta finale è la biosfera che vediamo intorno a noi e della quale siamo parte. Altrove possono prendere, perché no, il sopravvento la

chimica dell'acido formico, o quella dell'acido cianidrico. Dipende dall'ambiente. Sempre però tenendo presente che la chimica del carbonio è la stessa in tutto l'Universo, e che i principi di organizzazione della materia non cambiano, nel Sistema Solare o in quello di Andromeda, Nana Rossa o Blu o Bianca che sia.

Quanto di questi ragionamenti (olivine, formamide, calore; nel loro insieme generano complessità) sono estendibili altrove? Lo sono almeno a tutti i pianeti di tipo terrestre? Dove dobbiamo cercare? E cosa dobbiamo cercare? Una prima incompleta risposta è: dappertutto, perché intorno ad una stella di Classe G come è il Sole, o intorno ad una Nana Rossa, sempre per avere vita un fenotipo dovrà obbedire alle informazioni di un genotipo.

3. 9. La Nube Nera

È difficile sostenere la tesi che le nubi di formamide osservate e misurate siano viventi. Le suggestioni però non mancano. L'idea di nubi interstellari viventi è stata concepita da Fred Hoyle.

Fred Hoyle, astrofisico di grande e meritata fama, è colui che ha definito intorno agli anni '50 le trasformazioni atomiche che avvengono nel cuore delle stelle. Forse fondendo le due visioni, quella delle nubi di Magellano (immense ed informi Galassie di idrogeno che circondano la nostra Galassia ed hanno le sue stesse dimensioni) e quella delle trasformazioni atomiche, Fred Hoyle ha concepito il romanzo *The Black Cloud* (1957): una enorme nube nera di carbonio, forma aliena di vita intelligente che si sposta negli spazi interstellari assorbendo e trasformando l'energia delle stelle e di ogni forma di vita. La Nube Nera che stava succhiando il nostro Sole percepisce ad un certo punto la scomparsa di altre nubi della sua specie. Il che è molto interessante perché pone con chiarezza il problema: le nubi intergalattiche di idrogeno che sono presenti dappertutto nell'Universo e che circondano ad esempio anche

la Via Lattea (le nubi di Magellano), sono viventi, o no? Le Nubi Nere possono perfino morire? Possono avere qualcosa di equiparabile a quello che in noi definiamo *coscienza*? La risposta non può che basarsi sul fatto che la loro informazione è termodinamica, non genetica. *La Nube Nera* è un ottimo esempio di reazioni iniziali, rese complesse dalla loro vastità, che non si sono indirizzate verso una complessità locale e differenziata, quella che per noi è la vita.

3. 10. Ambiente e Catalizzatori

Uno degli aspetti importanti delle sintesi che da molecole ad un atomo di carbonio generano complessità è la composizione della risultante zuppa primigenia. È qui una delle chiavi per rispondere alla domanda di Fermi “*dove sono tutti gli altri?*”. La miscela di composti che la formamide genera in presenza di minerali di boro è differente da quella che si genera in presenza di minerali di ferro, ad esempio. E così via; per ogni combinazione di materiale di partenza (acido cianidrico, acido formico, formamide, ecc), di tipo di energia (termica, ultravioletto, flusso protonico o comunque radicalizzante, ecc); di catalizzatore (minerali di ferro, di fosforo, di boro, di zirconio, e così via; terrestri o meteoritici delle più varie origini); per tempi brevi e per tempi lunghi, ... ad ogni combinazione corrisponde una zuppa differente. Morale: l'ambiente (parola che contiene e riassume l'insieme di quanto appena detto) determina il risultato, stabilisce il punto di partenza verso la vita. Esaminiamo uno dei punti più variabili del sistema, i catalizzatori.

Abbiamo visto (3.7 e 3.8) che questi vanno sempre bene, che funzionano sempre, ciascuno a suo modo. La logica Occamiana vuole che l'attenzione si fermi sui minerali fatti degli atomi più facili da trovare. Se mettiamo da parte elio e xenon perché sono gas nobilmente inerti, e se consideriamo come ancillari idrogeno, ossigeno e carbonio stesso, abbiamo nella provetta silicio e