

# Le nubi nere interstellari, culla della vita nell'universo ? <sup>1</sup>

## Introduzione.

Durante gli ultimi cinquant'anni, la visione dell'universo ha subito cambiamenti più che drastici. Da Tolomeo e dagli antichi egizi avevamo ereditato il quadro rassicurante di un mondo placido, bucolico, con al centro una terra tranquilla, baciata dal sole e venerata dagli altri pianeti. Copernico ci ha brutalmente risvegliati da questa visione idilliaca durata millenni e la terra è stata di colpo costretta a correre a perdifiato attorno al sole e con esso su e giù per l'universo. Oggi abbiamo compiuto un salto ulteriore verso un cosmo nevrotico, verso un universo che tende alla dispersione o alla regressione infinita, frutto improvviso di una catastrofe immane dal nome mostruoso: Big Bang .

Al di là della provinciale via Lattea, che avevamo frainteso per espressione immutabile dell'ordine eterno, si susseguono apocalittici drammi: esplosioni stellari, collisioni di astri e comete, scontri tra gigantesche galassie. Il sole e le stelle, le sfere eterne e perfette che accompagnarono fiduciosi carovanieri, mercanti e naviganti durante millenni, sono oggi bombe all'idrogeno, pazienti ma dall'esito certo: prima o poi finiranno come sono nate, nella catastrofe. La paura dell'apocalisse ha ceduto il passo alla matematica, fredda, razionale certezza dell'inevitabile fine: la divina provvidenza ha fatto fagotto, la speranza è morta, per sempre sepolta. Le galassie

---

<sup>1</sup> In parte tratto dai lavori :

Bruno J. R. Nicolaus, Rodolfo A. Nicolaus, Marco Olivieri < *Riflessioni sulla chimica della materia nera interstellare* > Rend. Acc. Sc. Fis. Mat., Vol. LXVI, 113-129, 1999;

Bruno J. R. Nicolaus, Rodolfo A. Nicolaus < *Lo scrigno oscuro della vita* > Atti della Accademia Pontaniana, Napoli Vol. XLVIII, 355-380.

nascono, muoiono e scompaiono come animali preistorici, come dinosauri del cosmo. L'universo, una volta immutabile, perfetto nella sua infinità, fatto solo di ordine e pace, oggi bolle si agita si dibatte tra gli spasimi della genesi e le convulsioni dell'agonia. Il profondo del cielo tinto di azzurro, nel quale avevamo trasferito il pacifico olimpo degli dei, è oggi teatro di novae, supernovae e delle loro esplosioni. Particelle elementari impazzite, quark atomi ioni e molecole senza fissa dimora si alternano a tempeste di raggi micidiali. Condensazione di energia in materia e viceversa, annichilimento di energia e materia sono all'ordine del giorno. Lampi di luce mortale balenano tra dense nubi di materia oscura, di gas e polvere cosmica che offuscano la vista: queste nubi prima o poi collasseranno, dando vita a stelle e pianeti. Questo quadro allucinante non è frutto di una mente paranoica: esso fu concepito e costruito poco alla volta sui recenti progressi di astro-chimica e fisica, assieme alle tecnologie dei nuovi vettori spaziali. La spettroscopia, già impiegata per studiare la struttura fine della materia e la radioastronomia abituata a scrutare gli spazi lontani, hanno dimostrato che lo spazio interstellare vuoto non è, ma che contiene alla rinfusa svariate molecole, inorganiche e organiche. Risultati eclatanti, raggiunti di recente grazie a misurazioni effettuate violando l'atmosfera terrestre, finora filtro provvidenziale di micidiali radiazioni spaziali.

Così oggi finalmente sappiamo, che a milioni di anni luce da noi, si ritrovano tanti dei composti necessari alla sintesi di macromolecole complesse come i polipeptidi, le proteine e i carboidrati. Prodotti che giocano un ruolo di tutto rilievo nella comparsa della vita sul nostro pianeta e forse altrove nell'universo.

Oggi sappiamo, che alcuni di questi < **mattoni biologici** > esistevano nello spazio già prima del nostro sistema solare e del nostro pianeta. Quindi, la vita approdò sulla terra forse venendo da lidi lontani, oppure si sviluppò su terra ed altri pianeti ospitali, partendo dagli stessi mattoni. La materia vivente mostra una struttura modulare, nella quale i singoli mattoni vengono assemblati, secondo schemi ripetitivi, in moduli di crescente complessità.

Resta aperto il discorso su come sorse la vita e cosa sia essa stessa, in effetti. Ma questo è un altro discorso.

\*\*\*

### **La culla spaziale.**

Lo spazio non è vuoto, come credevano gli antichi, ammirando nelle notti stellate il profondo del cielo. Lo spazio è occupato da materia, seppur rarefatta e distribuita in modo non uniforme tra stelle pianeti e galassie.

La materia interstellare della nostra galassia e forse dell'intero universo è composta da idrogeno (70%) ed elio (28%) allo stato gassoso. Solo una piccolissima parte (2%) è formata da particelle solide piccolissime, chiamate polvere cosmica o grani interstellari. Tra questi sono stati identificati elementi chimici, come O ossigeno, C carbonio, N azoto, Ni nichelio, S zolfo, Al alluminio, Fe ferro ed anche svariate molecole organiche.

Un ruolo importante nell'evoluzione della materia, viene svolta da questi grani interstellari, responsabili di assorbimento e diffrazione delle radiazioni, collisioni grano/grano, assorbimento di varie sostanze in superficie e conduzione elettrica. Questa ultima proprietà permette di trasferire cariche elettriche all'interno delle nubi molecolari spaziali, regolando le interazioni ione/molecola, fonti a loro volta di ulteriori reazioni. Grazie alle loro proprietà ottiche, i grani svolgono un ruolo di filtro: essi proteggono le molecole organiche dall'azione demolitrice di radiazioni elettromagnetiche e corpuscoli vari.

I grani sono amorfi ed eterogenei. Secondo analisi spettroscopiche, essi risultano formati da: ossidi del silicio, ghiaccio d'acqua e d'ammoniaca e da carbonio in varie forme, la fuliggine, la grafite, i fullereni, gli idrocarburi policiclici aromatici o PAH, il carburo di silicio e gli ossidi metallici.

Tra tutti questi prodotti, i più interessanti per noi sono certamente quelli carbonici, dai quali prima o poi prese forma la vita. I grani sono soggetti ad accrescimento e riduzione: si direbbe che essi <vivano> una loro <vita> organizzata. La loro

dimensione aumenta nelle nubi dense, per reazione chimica con altre specie gassose adsorbite in superficie. La diminuzione della dimensione avviene invece per aumento della temperatura del mantello, irradiazione di raggi cosmici, collisioni grano-grano, avvicinamento ad una stella appena formata. La superficie dei grani rappresenta una mirabile sede di sintesi, attraverso foto frammentazioni ed associazioni fra atomi e radicali.

Le reazioni chimiche in fase gassosa sono svantaggiate a causa dell'alta rarefazione dei componenti e della bassa temperatura, che rende improbabili le interazioni binarie e ternarie tra molecole neutre. Le reazioni sulla superficie dei grani diventano quindi una necessaria alternativa per la chimica spaziale.

La nostra culla sembra sia proprio in queste nuvole sterminate, nei grani: veri **piccoli laboratori spaziali**. Gli organismi viventi sono composti da quattro elementi chiave C carbonio, H idrogeno, O ossigeno, N azoto, mentre vari altri sono presenti in piccole quantità, S zolfo, P fosforo, Fe ferro o altri in tracce. La comparsa delle prime forme di vita, seppur semplici e primitive, presuppone che questi quattro elementi si siano incontrati tra di loro, forse molto prima, nel luogo ed al momento giusti.

Oggi alcuni pensano, che questo incontro a quattro, evento possibile seppur improbabile, sia avvenuto nei grani interstellari e che PAH, H<sub>2</sub>O acqua ed NH<sub>3</sub> ammoniacca siano così i tre ingredienti, dai quali derivano le prime molecole organiche, alla base di ogni ulteriore reazione.

Prototipo dei polimeri organici neri può venir considerato il nero di acetilene, formato da una catena lineare, presente nelle melanine cellulari ed in molti neri sintetici e dotato di ottima conduttività elettrica. L'acetilene si forma facilmente da idrogeno e carbonio ad alta temperatura ed è presente nello spazio. Sembra quindi verosimile, che nelle nubi si trovi anche del nero di acetilene, suo prodotto di trasformazione diretta. Questo polimero nero potrebbe giocare anche un ruolo di rilievo nel trasferimento di cariche elettriche nelle nubi interstellari. Esso rappresenta inoltre un magazzino potenziale di carbonio, dal quale ricavare, con l'azione della luce, frammenti molecolari essenziali per la sintesi di molecole biogene. E' stato

inoltre ipotizzato, che molte delle fotoreazioni nei grani, portino a composti ossigenati: prodotti chiave per la sintesi ulteriore di biomonomeri e polimeri ossigenati, come proteine e carboidrati.

\*\*\*

### **La fucina spaziale.**

Le possibilità di reazione tra carbonio ed altri elementi semplici come idrogeno, solfo, ossigeno ed azoto sono state ampiamente studiate ed appartengono al repertorio della chimica classica. Sul piano teorico, sembra perciò verosimile che prodotti organici azotati ed in particolare eterocicli azotati (anche solforati ed ossigenati) si formino negli spazi interstellari. E' anche verosimile che molti di questi eterocicli poco stabili ed altamente reattivi, una volta formati in prossimità delle stelle, si trasformino subito in stabili polimeri neri.

La grafite, quale forma allotropica del carbonio, è un prodotto stabile, seppur molto sensibile all'azione dei raggi laser. Questi riescono a far esplodere la sua struttura, formando frammenti più piccoli con la caratteristica conformazione a gabbia dei fullereni . Nello spazio interstellare, la grafite ed i polimeri neri (nero di indolo, nero di pirrolo, nero di acetilene, ecc.) vengono sottoposti al bombardamento di radiazioni ad altissima energia, in grado di demolirli in frammenti più piccoli. In analogia con quanto sperimentato sulla terra, è verosimile che essi vengano trasformati nello spazio in frammenti azotati, a struttura fullerenico – granitica.

I polimeri neri sono ottimi conduttori dell'elettricità, proprietà importante secondo gli astrofisici per l'evoluzione delle nubi molecolari, il cui colore scuro potrebbe essere anche causato dalla presenza di questi pigmenti.

La verifica sperimentale di queste affermazioni, che hanno per ora giocoforza carattere speculativo, potrebbe essere possibile a scadenza relativamente breve (primo decennio del 2000), quando si riuscirà a metter le mani su campioni di materia interstellare.

I polimeri neri possono venir considerati dei moduli compatti, delle astronavi chimiche spaziali, con le quali è possibile trasportare simultaneamente nello spazio miscele ternarie a base di carbonio, idrogeno e azoto. Da questi moduli è possibile ricavare, nel luogo ed al momento giusto, per fotodissociazione e ricombinazione, molecole organiche semplici, del tutto identiche a quelle che compongono gli organismi viventi.

\*\*\*

### **I mattoni della vita.**

Sulla terra, partendo da pochi prodotti semplici, sorge a cascata il fiume delle molecole organiche e da queste la vita. Nella sintesi biologica di biopolimeri, l'energia solare viene trasformata in energia chimica. Consumando questi prodotti, gli organismi acquisiscono i mattoni della materia vivente e recuperano parte dell'energia accumulata. Seguendo questa interpretazione biochimica dei fenomeni vitali, possiamo immaginare che le macromolecole svolgano in natura un triplice ruolo, come:

Strutture di supporto per gli organismi,

Accumulatori di energia,

Magazzini (serbatoi) dei mattoni della materia vivente.

E' su questi semplici principi che è costruita la vita terrestre.

Qualcosa di analogo accade nel cosmo. Quando le stelle sintetizzano gli elementi di base e poi i polimeri organici, esse hanno trasformato di fatto energia nucleare in energia chimica. La chimica degli spazi interstellari è la chimica del freddo: si svolge nei grani a temperature vicine allo zero assoluto, in sistemi solidi (ghiaccio), sotto l'azione di raggi cosmici, in presenza dell'ossigeno delle molecole d'acqua ghiacciate. E' una chimica nella quale i legami si scindono e riformano molto lentamente ma con gran precisione. Lo schermo della materia oscura, la bassa temperatura, l'assenza di ossigeno libero gassoso e gravità permetteranno la sopravvivenza di radicali e molecole anche molto reattive. E' il regno del radicale.

La chimica dell'era biotica, invece, è una chimica anti radicalica. E' una chimica che ama temperature moderate, ambiente acquoso, atmosfera ricca di ossigeno: è la chimica che ha addomesticato l'ossigeno, il più aggressivo tra gli elementi terrestri.

Nonostante le differenze vistose, queste tre chimiche sono accomunate dagli stessi principi: "*natura enim simplex est*". Sembra quasi che un ordine cosmico abbia improntato il mondo biologico, plasmando il mondo vivente secondo un principio architettonico unico. Ovunque si volgano gli occhi nel mondo, avvengono reazioni chimiche: le piante e certi batteri fissano l'energia solare sintetizzando da materiali semplici sostanze complesse; altri organismi decompongono in strutture più semplici questi materiali, sfruttando l'energia contenuta. In ogni cellula si susseguono processi chimici intensi.

La composizione chimica del pianeta è semplice; l'architettura biochimica degli esseri viventi è basata su pochi pilastri carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, zolfo, fosforo, etc. Questo sparuto drappello si ramifica in una miriade di composti molecolari: quelli *binari* a base di solo carbonio idrogeno (gli idrocarburi), quelli *ternari* a base di carbonio idrogeno ossigeno (i carboidrati, i saccaridi, i polisaccaridi, i grassi, ecc.), quelli *quaternari* a base di carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto (gli amminoacidi, i peptidi, polipeptidi, le proteine, gli acidi nucleici, gli alcaloidi, le lipoproteine, ecc.) e così via.

Gli esseri viventi posseggono una caratteristica unica, la riproducibilità. Un'altra proprietà saliente è la specificità di singole strutture ed il rapporto tra struttura e ruolo biologico. La stupefacente varietà di forme viventi e l'individualità dei vari organismi possono venir ricondotte all'individualità di alcune macromolecole, tra cui le proteine. Eppure queste non sono che combinazioni e permutazioni di pochi amminoacidi: sempre gli stessi da svariati milioni di anni.

In tutti gli organismi, gli alimenti si trasformano in anidride carbonica ed acqua, attraverso poche reazioni. Produzione ed utilizzazione dell'energia, da parte delle cellule, seguono analoghi meccanismi nelle tante specie animali, dai protozoi fino ai mammiferi.

\*\*\*

## **Ordine e caos.**

I materiali neri terrestri, a differenza di quelli spaziali di tipo binario (C, H) o ternario (C, H, N) in genere sono ossigenati. Essi si ottengono facilmente polimerizzando molecole semplici e vengono denominati dalla sostanza che li ha generati, p.e. nero di acetilene. Quelli prodotti da organismi viventi animali (occhi, pelle, capelli, cervello ecc.) o vegetali (semi, fiori, frutti, legno, ecc.) furono chiamati melanine (= nero) <sup>2</sup>.

Il fatto che le melanine (seppur differenti da quelle attuali per la mancanza di ossigeno) potevano già esser presenti sulla terra nell'era prebiotica, ha portato ad ipotizzare un loro ruolo nell'auto assemblaggio delle molecole organiche.

In qualità di matrice, questo materiale offrirebbe molti vantaggi, oltre al semplice assorbimento dei reagenti da parte dei minerali. In contrasto con la monotona simmetria di un reticolo minerale, le particelle nere possono offrire una vasta diversità di configurazioni steriche, quale prototipo di una struttura dal comportamento enzimatico. Le melanine corrispondono a questo modello di enzima primigenio. La conduttività elettrica delle melanine, l'idratazione, l'attività interstiziale, cambiano reversibilmente applicando un potenziale elettrico: la

---

<sup>2</sup> Come altre particelle nere, le melanine sono sensibili alla luce ed al raggio LASER, il quale provoca una vera e propria esplosione della struttura. Questa proprietà trova molteplici impieghi pratici: in dermatologia per trasformare pelle nera in bianca, nel restauro di opere d'arte, nella pulizia di monumenti (restauro della basilica di San Pietro) e tanti altri.

melanina elettroattiva svela così un'altra faccia della propria natura: una faccia flessibile e mutevole, del tutto inaspettata nella rigidità della struttura.

Sotto l'azione di calore, radiazioni potenti e scariche elettriche, la matrice melaninica ci riporta all'era prebiotica, quando derivati del carbonio venivano organizzati in molecole semplici, sempre più complesse, fino ad arrivare agli organismi viventi.

La natura (dai quark alle galassie e dai batteri agli ecosistemi planetari) tende alla complessità, all'auto organizzazione: le particelle subatomiche si sposano in atomi e molecole; queste in biomonomeri prima e polimeri poi; i protobionti in strutture ed organismi pluricellulari, che a loro volta daranno luogo a sistemi sociali ed ecologici.

La nascita in tempi così brevi, di questa pluralità di organismi e strutture, giocoforza riduce la casualità dell'evoluzione ed altera le probabilità di variazione, a favore di esiti ordinati e coerenti.

Sempre più verosimili appaiono quindi le connessioni tra gli ambiti fisici chimici e biologici della natura: sono queste interazioni a far prevalere l'ordine sul caos.

\*\*\*

### **Un principio architettonico globale.**

Le nostre visioni di cosmo e vita sono cambiate dall'inizio delle culture e si sono capovolte nel volger degli ultimi anni, sotto la spinta di tecnica e scienza.

Oggi sappiamo che lo spazio tra stelle e pianeti vuoto non è, come una volta creduto. Esso pullula di materia: vi volteggiano atomi, ioni, molecole semplici ed anche complesse: talune di queste molecole esistono solo nell'ambiente stellare, molte sono ben note nel mondo terrestre. Tra queste vi sono vari composti necessari alla sintesi di proteine, peptidi, carboidrati, lipidi: macromolecole base degli organismi viventi.

Le nebulose hanno smarrito ogni magico aspetto e somigliano sempre dippiù a grosse discariche di spazzatura stellare tinta di nero: cumuli giganteschi di materia rarefatta tutta polvere e grani di varia misura, che vivono una propria <vita inorganica> organizzata. I grani crescono, diminuiscono di numero e mole, sono in evoluzione

perenne. Essi mostrano proprietà ottiche importanti (diffrazione, assorbimento di radiazioni elettromagnetiche e corpuscolari), proprietà elettriche (spostamento di cariche, effetto fotoelettrico), proprietà chimiche (reazioni fotolitiche, fotosintetiche, dissociazioni, combinazioni). Proprietà singolari che si evolvono ed avvicinano a vista.

Nei grani, veri piccoli laboratori spaziali, a temperature vicine allo zero assoluto, avvengono delicate reazioni foto chimiche, di grande rilievo per la futura biogenesi: materiali complessi vengono scissi in frammenti e questi ricombinati in molecole ossigenate e azotate. I polimeri neri sono ottimi conduttori e mostrano un pronunciato effetto fotoelettrico. Questa proprietà è posseduta in misura ancora maggiore dai complessi a trasferimento di carica, che facilmente si formano dai polimeri neri. E' verosimile quindi, che essi giochino un ruolo nella evoluzione delle nubi stellari. Tutto questo assume particolare valore, considerando che stelle e pianeti si formano da nebulose stellari per collasso gravitazionale.

I polimeri neri, nati probabilmente da polimerizzazione di acetilene ed azoto nelle stelle giganti, svolgono nelle nubi un triplice ruolo, come:

- Strutture di supporto: proprietà meccaniche, elettriche ed ottiche (trasferimento di cariche, diffrazione ed assorbimento di radiazioni, trasformazione di luce in corrente);
- Accumulatori e distributori di energia chimica;
- Magazzini spaziali di carbonio, idrogeno e azoto da cui ricavare molecole semplici (“mattoni” per biogenesi).

Analoga triade di ruoli viene svolta sulla terra dai biopolimeri organici, evidenziando come la materia tenda ad organizzarsi e come l'ordine cosmico abbia dato la sua impronta al mondo vivente.

Il carbonio, assieme ad idrogeno, ossigeno, azoto, zolfo e fosforo, rappresenta la base della vita. Affinché vita nasca, questi elementi (oltre ad altri in piccole tracce) devono trovarsi assieme nel luogo giusto, al momento giusto ed in forma appropriata. Essi vengono estromessi dalle fucine delle stelle giganti in forma elementare e combinata:

il carbonio come polvere di carbone, fuliggine, grafite, CO monossido di carbonio, metano  $\text{CH}_4$ , etano  $\text{C}_2\text{H}_2$ ; l'idrogeno come  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ; l'ossigeno come  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ; l'azoto come  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , NO ossido nitroso, ecc. I polimeri neri rappresentano le forme più condensate di C, H, N: ordinatamente impacchettati in moduli solidi, questi elementi possono così intraprendere il loro viaggio interstellare senza disperdersi (idrogeno e azoto, gassosi per natura sono intrappolati nelle maglie della materia solida). Con la polimerizzazione si raggiunge un duplice scopo: compattare gli elementi chiave ed accumulare energia chimica. Nelle nubi, i polimeri verranno quindi scissi sotto l'azione delle radiazioni, ed i loro frammenti opportunamente ricombinati con radicali ossigenati ed ammoniaci (ricavati dai ghiacci).

La formazione del nero cellulare è una reazione radicalica complessa, che porta alla formazione di polimeri neri cosmici e melanine terrestri. Il processo segue un modello universale valido per i materiali neri sia terrestri che spaziali.<sup>3</sup> Grazie a particolari proprietà (conduttività, struttura grafiteo-fullerenica, proprietà di superficie, attività interstiziale), le melanine prebiotiche terrestri potrebbero aver giocato un ruolo notevole nell'auto assemblaggio delle molecole organiche primigenie, fungendo da prototipi di sistemi enzimatici.

La materia carboniosa interstellare formata da strutture eterocicliche policondensate nere, già note sulla terra, esplose per fotolisi in frammenti più piccoli, i quali si ricombinano con radicali ossigenati, formando biomonomeri simili e/o uguali a quelli già conosciuti sulla terra.

Le particelle nere possono esser viste sia come assemblatrici di atomi e molecole sia come generatrici di altre specie molecolari, attraverso il loro annichilimento. Un unico principio architettonico sembra organizzarsi materia vivente e materia interstellare.

---

<sup>3</sup> Nel caso delle melanine terrestri va considerato il ruolo di ossigeno ed enzimi presenti sulla terra.

