

VITA SU MARTE. REALTA' O FANTASIA?

L'**esobiologia**, la neonata branca della biologia che analizza la possibilità che esistano forme di vita extraterrestri intelligenti e non, di differenti livelli di complessità strutturale e funzionale e l'**Areologia** (da Ares, nome greco di Marte), la branca della planetologia che studia la geofisica, la geochimica, la geomorfologia e la fisica dell'atmosfera di Marte, costituiscono le due principali discipline scientifiche di cui mi sono avvalso per valutare l'eventualità che su questo pianeta vi siano le condizioni chimico-fisiche idonee perché si siano sviluppate o possano svilupparsi forme di vita elementari, con struttura cellulare procariotica e, anche se con minori probabilità, eucariotica.

Marte, conosciuto anche come il **Pianeta Rosso** a causa della peculiare colorazione rossastra della sua superficie, colorazione dovuta all'ossidazione di minerali di ferro, è distante dalla Terra da 56 a $399 \cdot 10^6$ Km¹ e circa $228 \cdot 10^6$ Km dal Sole.

Il primo studioso della volta celeste a diffondere l'idea che la superficie di Marte fosse costellata da una fitta rete di canali fu **padre Angelo Secchi**, nel 1859, che in quel periodo era il Direttore della Specola Vaticana. Nel 1877 fu la volta dell'astronomo **Giovanni Schiaparelli**, Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera, a Milano, il cui studio della superficie di Marte venne agevolato in quel periodo dal fatto che il Pianeta Rosso transitò relativamente vicino alla Terra, a circa $64 \cdot 10^6$ Km. L'osservazione della crosta marziana mediante i telescopi astronomici dell'epoca rivelava, difatti, l'esistenza di formazioni regolari che davano l'impressione di essere lunghi canali rettilinei organizzati in un'articolata e complessa rete, così somiglianti a veri e propri canali che Schiaparelli decise di assegnare loro tale denominazione. L'errata traduzione del termine adottato da Schiaparelli per designare le misteriose formazioni superficiali, nell'inglese *canals*, il cui esatto significato è canali artificiali, anziché in *channels* (canali naturali), determinò la nascita di un equivoco che è giunto fino ai nostri giorni, equivoco che ha ingenerato la credenza che Marte fosse solcato realmente da un'anastomizzata e complessa rete di lunghi canali rettilinei di apodittica natura artificiale. Nel 1900 **Percival Lowell**, astronomo ed ex diplomatico, riportò all'attenzione della comunità scientifica internazionale e dell'opinione pubblica mondiale l'esistenza di enigmatici canali su Marte, avanzando l'ardita ipotesi secondo cui formazioni lineari di tale lunghezza e regolarità non potevano essere imputabili ad una causa naturale, dunque dovevano essere artificiali. La coraggiosa e fantasiosa teoria di Lowell si spingeva oltre: l'astronomo dalla fervida fantasia prospettò addirittura la possibilità che la realizzazione di un'opera così monumentale fosse stata messa in atto da un'antichissima ed avanzatissima civiltà aliena ormai estinta da tempo immemorabile, al fine di convogliare, attraverso l'intero pianeta, la scarsa acqua presente nelle calotte polari. A partire dagli ultimi anni del XIX secolo e dai primi del successivo, nasce il mito di Marte, fantastico pianeta popolato nel lontano passato e/o nel presente da fantasiose ed improbabili creature, per lo più di aspetto mostruoso e ripugnante ma tutte o quasi rigorosamente intelligenti. Nel 1898, ad esempio, il celeberrimo scrittore **Herbert George Wells** realizzò la sua opera letteraria più famosa, la **'Guerra dei Mondi'**, in cui un manipolo di mostruose creature marziane sbarca sulla Terra con l'obiettivo di conquistarla. In brevissimo tempo però le creature muoiono una dopo l'altra poiché il loro sistema immunitario si rivela impotente di fronte ai batteri terrestri. Il 30 Ottobre 1938 **Orson Welles** traspose in chiave radiofonica la "Guerra dei Mondi" di HG.Wells, provocando negli States un'estesa ondata di panico che fece anche alcune vittime. Negli anni '50 i marziani dominarono sia il grande che il piccolo schermo e proprio in quel periodo vi furono innumerevoli segnalazioni di avvistamenti di natura ufologica².

¹ **1·10⁶ Km** = un milione di chilometri.

² Da ricordare il **flap** (ondata di avvistamenti di natura ufologica) del **1952** in **Francia** e quello del **1954** in **Italia**. (**Firenze, 27 Ottobre 1954**: avvistamento ufologico di massa durante il quale cadde dal cielo la cosiddetta **bambagia silicea** o **capelli d'angelo** o **filì della Vergine**, sostanza biancastra filamentosa ed amorfa di natura ed origine ignote, la cui composizione chimica è risultata essere prevalentemente costituita da boro, silicio, calcio e magnesio).

Il Pianeta Rosso presenta alcune **similitudini** e **differenze** con la Terra che ritengo sia istruttivo ed utile illustrare in questa sede al fine di agevolare la comprensione della successiva disamina esobiologica. Per quanto concerne le **similitudini**, il **periodo di rotazione** di Marte **intorno al proprio asse** ($24^{\text{h}} 37^{\text{m}}$) è assai simile a quello terrestre ($23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}$) e l'**inclinazione dell'asse** del Pianeta Rosso sul piano dell'orbita, pari a $23^{\circ} 59'$, risulta essere estremamente simile a quella del nostro pianeta ($23^{\circ} 27'$). In ragione di ciò, su Marte, la durata del giorno ed il susseguirsi delle stagioni presentano delle strette similitudini con i rispettivi fenomeni terrestri. Le **differenze**, di contro, comprendono il **periodo di rivoluzione** intorno al Sole, che per Marte risulta essere di circa 687 giorni, il **diametro**, pari a circa la metà di quello terrestre, **la densità media**, minore di quella della Terra e l'**attrazione gravitazionale** alla superficie, pari al 38% di quella del Pianeta Azzurro. Lo **schacciamento ai poli**, inoltre, è maggiore di quello terrestre e le sonde spaziali hanno dimostrato che Marte è caratterizzato da un debole **campo magnetico**. L'organizzazione strutturale interna del Pianeta Rosso è probabilmente assai simile a quella della Luna. Marte è caratterizzato da una crosta di maggiore spessore rispetto a quella terrestre e, qualora esista, da un nucleo di minori dimensioni, a composizione chimica prevalente di Fe-Ni o di solfuro di ferro. La tenue attrazione gravitazionale che contraddistingue il Pianeta Rosso è responsabile della sua esigua atmosfera che, a seguito delle analisi spettrografiche, è risultata essere costituita da **anidride carbonica** o **biossido di carbonio** (CO_2) per il 50%, **ossigeno molecolare** (O_2) per il 3%, **acqua** (H_2O) allo stato aeriforme (**vapore acqueo**) per il 0.5%, **azoto molecolare** (N_2) per il 3% ed infine da altri gas inerti, quali i **gas nobili Argon** (Ar), **Kriptone** (Kr) e **Xenone** (Xe). Alla superficie del pianeta la pressione atmosferica è pari a 1/100 di quella terrestre, equiparabile a quella riscontrabile a 40 Km di altitudine s.l.m. (sopra il livello del mare) sulla Terra. Queste caratteristiche climatologiche suggeriscono che in un remoto passato l'atmosfera di Marte fosse molto più consistente e che questo pianeta possa essere stato oggetto di mutamenti climatici e geologici su scala planetaria. I ricercatori, difatti, ritengono che Marte sia a tutt'oggi un globo in piena attività, tanto che è paragonato da alcuni di essi alla Terra di circa $300 \cdot 10^6$ anni fa.

L'esistenza di un'atmosfera così rarefatta e la conseguente assenza di formazioni nuvolose, presenti in abbondanza, ad esempio, su Venere, hanno indubbiamente contribuito a svelare, prima ai telescopi astronomici da terra e successivamente alle macchine fotografiche delle sonde spaziali americane e sovietiche, le peculiarità geomorfologiche della crosta di Marte. Le nitide fotografie dell'intero disco del Pianeta Rosso, realizzate dalla sonda spaziale americana **Mariner 7** nel 1969, ad una distanza di circa $1 \cdot 10^6$ Km dalla superficie, hanno definitivamente confutato l'esistenza dei famosi canali di Schiaparelli e di Lowell, imputabili in realtà ad illusioni ottiche, semplici apparenze dovute al casuale allineamento di rilievi orografici ed a giochi di luci ed ombre. Una seconda sonda spaziale americana, la **Mariner 9**, tuttavia, prima che un'immensa e violentissima tempesta di sabbia oscurasse l'intera superficie del pianeta, ostacolando per due mesi le rilevazioni topografiche, rivelò l'esistenza di formazioni geomorfologiche estremamente interessanti. Al termine della tempesta, le immagini fotografiche realizzate da Mariner 9 evidenziarono un abnorme vulcano a scudo, il **Mons Olympus** (conosciuto in passato come Nix Olimpica), il più grande vulcano del Sistema Solare, alto circa 24000 metri, con una base di diametro pari a 600 Km (la stessa distanza che separa la città di Milano da quella di Roma) e tre volte più grande, per dimensioni ed altezza, del più alto vulcano terrestre: il Mauna Loa (Hawaii). In prossimità dell'equatore marziano, nella regione di Coprates, le fotografie rilevarono la presenza di un enorme canyon. Quest'ultimo, denominato **Valles Marineris** in onore delle sonde spaziali Mariner, decorre da est a ovest, è lungo oltre 4000 Km (quasi 1/6 della circonferenza del pianeta), in alcuni tratti largo circa 80 Km e profondo circa 1.5 Km. La scoperta più inattesa e sorprendente, tuttavia, scaturì dall'osservazione di veri e propri **canali sinuosi**, enigmatiche formazioni che solcano per centinaia di chilometri soprattutto la fascia equatoriale del pianeta, vere e proprie spaccature nella crosta marziana non correlate in alcun modo ai famosi "canali" di Schiaparelli. La configurazione di queste estese formazioni geologiche sembra essere imputabile ad un'intensa e prolungata erosione, forse determinata da una sostanza molto più fluida della lava: l'**acqua**. Il motivo per cui i canali in

questione sono caratterizzati da una colorazione più scura rispetto a quella delle aree circostanti risiede nel fatto che in corrispondenza di queste spaccature della crosta planetaria è presente una maggiore quantità di umidità. Gli studiosi di Areologia dispongono di altro materiale documentario fotografico, altrettanto interessante ed enigmatico ma di difficile interpretazione, quale ad esempio quello che evidenzia l'esistenza di estese **pianure alluvionali**, che solo l'acqua o al limite un'altra sostanza liquida in grado di scorrere molto fluidamente ed in grande quantità avrebbero potuto realizzare. Alcuni astronomi, tra i quali vi fu anche il compianto **Carl Sagan**, ritengono che Marte stia attualmente attraversando un periodo simile a quello delle grandi glaciazioni che caratterizzarono in passato la Terra, tuttavia, non vi è motivo di escludere l'ipotesi che in futuro l'atmosfera del Pianeta Rosso possa subire delle variazioni nella composizione chimica tali da assumere più consistenza e consentire in questo modo, con l'evaporazione dell'acqua, il ritorno delle piogge. E' altamente probabile che i canyon, i canali sinuosi e le pianure alluvionali che caratterizzano la superficie di Marte, siano state realizzate proprio dall'acqua, che in un passato remoto sarebbe stata presente in abbondanza su questo pianeta, tuttavia, come è noto, a tutt'oggi, non è stata riscontrata alcuna traccia della preziosa sostanza, almeno allo stato liquido.

La scoperta dell'esistenza di **calotte polari** su Marte, formazioni osservate inizialmente con l'ausilio del telescopio e la cui reale natura rimase avvolta da un fitto alone di mistero fino agli anni '70, alimentò la speranza che sul pianeta vi potesse essere acqua allo stato solido, tuttavia, le calotte marziane non sono costituite da ghiaccio dovuto al congelamento di acqua, bensì da anidride carbonica allo stato solido, cioè dal cosiddetto **ghiaccio secco**. La peculiare natura chimica delle calotte polari è responsabile dell'insorgenza di estese e violente tempeste di sabbia e polvere; il ghiaccio secco, difatti, alla pressione di 1 atmosfera ed a temperatura ambiente, sublima, ossia viene interessato da una transizione di fase durante la quale passa direttamente dallo stato solido a quello aeriforme. Quando una calotta polare si contrae progressivamente, con l'avanzare della stagione estiva, sembra che il ghiaccio secco, di cui è costituita, venga interessato da tale transizione di fase, cosicché è ipotizzabile che il biossido di carbonio allo stato gassoso migri da un polo all'altro, alterando così i valori locali della pressione atmosferica e sollevando di conseguenza tempeste di sabbia e polvere. Quest'ultime, caratterizzate da venti di notevole intensità, che raggiungono i 150 Km/h, possono essere circoscritte a determinate regioni oppure interessare l'intera superficie del pianeta e sono inoltre responsabili dell'erosione e del rimodellamento dei numerosi crateri meteorici che punteggiano la superficie di Marte. Alcuni astronomi ipotizzano che sotto la porzione osservabile delle calotte polari, di spessore minimo ed estese fino a 30° dai poli, giacciono alcuni strati di acqua allo stato solido.

Il vapore acqueo atmosferico, di contro, è presente su Marte in quantità estremamente esigua ed in superficie, sino ad ora, non è stata riscontrata alcuna traccia di acqua allo stato liquido, tuttavia, è probabile che in un passato remoto questa preziosa sostanza sia esistita in tale fase, disseminata sull'intera superficie del pianeta.

Recenti osservazioni sembrerebbero smentire i risultati ottenuti dalle analisi chimico-fisiche effettuate dalle sonde **Viking** (Viking 1 e 2), risultati che infirmarono l'ipotesi secondo cui su Marte sia esistita acqua allo stato liquido. Due specialisti, **Stanley Zisk**, dell'Osservatorio di Haystack nel Massachusetts e **Peter Mouginis-Mark**, dell'Università del Rhode Island, difatti, hanno "bersagliato" la crosta del Pianeta Rosso con onde elettromagnetiche, ricevendo in risposta onde radio, tali che, secondo i due ricercatori, potevano essere state riflesse solo da acqua allo stato liquido!! La scoperta sarebbe sensazionale se non si considerasse il fatto che l'acqua allo stato liquido non è visibile in alcuna delle fotografie realizzate dalle sonde spaziali, tuttavia, i due ricercatori replicano che la preziosa sostanza sarebbe in realtà ubicata ad una ventina di centimetri sotto il suolo marziano, in particolare nella regione del **Solis Lacus**. La possibilità che il sottosuolo marziano celi distese acquose è valutata anche da altri astronomi, secondo i quali, nonostante le sonde spaziali non abbiano mai rilevato la presenza di acqua nelle regioni in cui sono ammartate, non è da escludere che negli strati profondi della crosta marziana questa sostanza vitale sia a tutt'oggi congelata in grande quantità.

Nel Settembre del 1976 il settimanale tedesco “**Stern**” pubblicò una notizia strepitosa, secondo la quale il laboratorio microbiologico automatizzato, di cui le sonde Viking erano dotate, aveva accertato la presenza di microrganismi nella cosiddetta “**Terra dell’Oro**”, presenza quantificata addirittura in **1000 unità/m³ di superficie**!! L’incredibile scoperta sarebbe stata effettuata dal Viking 1 e successivamente confermata dal Viking 2, tuttavia, la **N.A.S.A.** avrebbe deciso di occultare l’importantissimo rinvenimento all’opinione pubblica mondiale al fine di evitare eventuali ripercussioni sulla società, la politica, la scienza e la religione. La stessa rivista pubblicava anche una fotografia di un presunto microrganismo marziano ingrandito 200 volte, rassomigliante ad un cristallo di neve. Entro breve tempo però fonti ufficiali smentirono la scoperta. Il Viking 1, in realtà, prelevò, mediante il proprio braccio mobile, un campione di suolo e lo introdusse in un laboratorio microbiologico miniaturizzato ed automatizzato contenente un medium di coltura ed un rivelatore al carbonio 14. Quest’ultimo dispositivo era finalizzato alla rilevazione della presenza di anidride carbonica nel medium, qualora eventuali microrganismi fossero stati prelevati assieme al campione di suolo marziano ed avessero metabolizzato gli elementi nutritivi contenuti in quello che gli scienziati di Pasadena definivano scherzosamente “brodo di pollo”. E avvenne proprio questo. In parallelo a questo esperimento ne venne condotto un altro che consistette nel bombardare la superficie marziana con ossigeno molecolare; il risultato di tale attacco ossigenico fu che dal suolo di Marte venne emesso ossigeno molecolare in forte quantità, almeno 15 volte superiore a quella ipotizzabile qualora non vi fossero stati organismi viventi. Trascorsi tre giorni, tuttavia, la bizzarra attività segnalata dal Viking terminò del tutto.

Alla luce di quanto esposto la conclusione che si può trarre è che sul Pianeta Rosso, fino ad ora, almeno ufficialmente, non è stata rinvenuta alcuna forma di vita, così come noi la intendiamo, nonostante, come dichiarò il **Dott. Harold Klein**, Direttore della Divisione di Esobiologia di Pasadena: “*abbiamo quanto meno una prova preliminare dell’esistenza di materiale di superficie estremamente attivo*”. Il Viking quindi potrebbe avere rilevato una sorta di “*imitazione di attività biologica*”.

Condivido in parte le osservazioni del **Dott. Michael McElroy**, dell’Università di Harvard, secondo le quali su Marte vi sarebbero i presupposti chimico-fisici perché forme di vita basate sulla chimica del carbonio possano svilupparsi. Tali presupposti sono qui di seguito riportati:

- ? **energia**, veicolata dalla **componente ultravioletta dei raggi attinici**³. La quasi totale assenza di ossigeno molecolare atmosferico non consente la formazione dello strato di ozono che schermerebbe i raggi ultravioletti, i quali quindi giungono al suolo con maggiore intensità apportando una notevole quantità di energia.
- ? **acqua**, presumibilmente presente su Marte allo **stato solido** sotto le calotte polari e nella crosta marziana. Esiste anche la possibilità che nello spessore di quest’ultima vi sia acqua allo **stato liquido**.
- ? **N₂**, 3% nell’atmosfera.
- ? **carbonio (C)**, presente in notevole quantità.
- ? **fosforo (P)** e **fosfati (PO₄³⁻)**, ambedue quasi sicuramente presenti nelle rocce marziane.

Non vi è alcun motivo, quindi, di escludere aprioristicamente la possibilità che Marte abbia assistito alla nascita di una qualche forma di vita né che esistano le condizioni chimico-fisiche perché essa si possa sviluppare in futuro.

³ **Raggi attinici**: raggi solari comprensivi della **componente ultravioletta (U.V.A., U.V.B. e U.V.C.)** ed **infrarossa**.

La rivista dell'ex Unione Sovietica "**Sputnik**", alcuni anni or sono, riportò l'interessante notizia secondo cui l'**Istituto di Microbiologia dell'Accademia delle Scienze** dell'ex U.R.S.S. aveva riprodotto in una camera speciale la composizione chimica dell'atmosfera marziana. All'interno dell'apposito contenitore, difatti, furono realizzate le stesse condizioni chimico-fisiche dell'atmosfera marziana, ossia le basse temperature (all'equatore la temperatura può superare lo **0°C**, tuttavia la media è più bassa, da **-73°C** a **-43°C**, con massime invernali, nei pressi delle calotte polari, che raggiungono i **-110°C!!!**) e pressioni, l'intensa irradiazione ultravioletta, la bassissima umidità e l'elevata percentuale di anidride carbonica, al fine di valutare la possibilità che microrganismi terrestri potessero sopravvivere in tali condizioni. La maggioranza di essi non sopravvisse, tuttavia, alcune specie di **muffe microscopiche** e di **batteri** non solo sopravvissero ma conservarono inalterata anche la capacità di riprodursi!!!

Una prova circostanziale della possibilità che il suolo o come ritengo più probabile, il sottosuolo di Marte, ospiti forme di vita elementari con struttura cellulare procariotica è stata fornita dalla recente scoperta di due microrganismi batterici terrestri: un **batterio rosso**, che due geologi statunitensi, **James McKinley** e **Todd Stevens**, hanno rinvenuto all'incredibile profondità di 1000 metri nella crosta terrestre durante una perforazione e battezzato con il nome poco dignitoso di **Slime** (che in inglese significa melma, fanghiglia) ed un secondo batterio, a cui è stato inizialmente assegnato il nome scientifico di **Deinococcus Radiodurans** (fig.1).

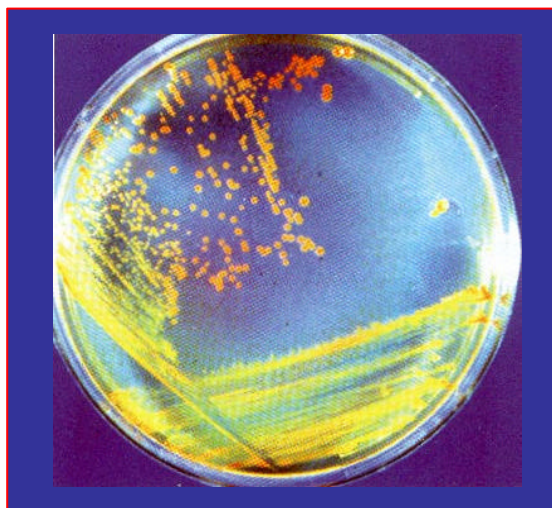


Figura 1. Coltura cellulare in Piastra di Petri di **Deinococcus Radiodurans**.

Questo batterio, successivamente ribattezzato con il nome di **Conan**, a causa della sua stupefacente resistenza, è stato isolato dai ricercatori dell'**Institute for Genomic Research**, i quali ne hanno anche mappato l'intero patrimonio genetico. Ambedue le forme di vita estreme succitate sono caratterizzate da alcune sorprendenti peculiarità che non hanno mancato di stupire gli stessi ricercatori che li hanno scoperti e studiati, peculiarità che dovrebbero possedere anche eventuali microrganismi marziani qualora la vita si fosse sviluppata su Marte. Slime, difatti, è una delle rare forme di vita in grado di sopravvivere senza utilizzare, neanche indirettamente, in modo analogo alle creature degli abissi oceanici, la luce del Sole ed i ricercatori ritengono che il batterio rosso avrebbe tutte le carte in regola per potersi adattare alla vita nei gelidi deserti di Marte. Il **Deinococcus Radiodurans**, se possibile, è ancora più sorprendente, in quanto è in grado di sopravvivere e riprodursi in condizioni ambientali assolutamente proibitive per qualunque altra forma di vita. Conan, difatti, resiste a temperature altissime e bassissime, a bombardamenti di raggi ultravioletti, all'estrema siccità e fatto ancora più incredibile, si trova perfettamente a proprio agio in ambienti fortemente contaminati da sostanze chimiche tossiche ed in cui i livelli di radioattività ucciderebbero all'istante un essere umano. Uno studio pubblicato sulla prestigiosa rivista scientifica **Science** evidenzia quanto siano straordinarie le future applicazioni pratiche della scoperta di Conan,

in quanto sarà possibile, ad esempio, ripulire con esso acqua e terreno inquinati da scorie radioattive. Grazie ad una mirata alterazione del patrimonio genetico di questo batterio mediante le tecniche dell'ingegneria genetica, difatti, il *Deinococcus Radiodurans* acquisisce la capacità di neutralizzare alcune sostanze chimiche tossiche presenti nel sottosuolo, quali il toluene ed alcuni metalli pesanti, quali il mercurio (Hg). Il segreto biologico dell'incredibile resistenza di Conan risiede nella capacità di riparare il proprio patrimonio genetico qualora una parte di esso venga danneggiata da un agente fisico o chimico mutageno, capacità che rimane immutata nel tempo anche dopo un bombardamento radioattivo 3000 volte superiore a quello fatale per l'uomo. Gli esobiologi della N.A.S.A. ritengono che questo batterio costituisca il miglior modello di una possibile forma di vita su un pianeta come Marte. Le applicazioni pratiche di Conan sul Pianeta Rosso potrebbero essere molteplici, come ad esempio diffonderlo sulla superficie con l'obiettivo di depurare l'atmosfera da sostanze tossiche per gli esseri umani.

Alcuni ricercatori hanno persino postulato che la vita su Marte possa essersi sviluppata su basi chimiche diverse da quelle terrestri, ossia sulla chimica del **silicio** (Si) anziché su quella del carbonio. Alla luce di tale considerazione il motivo per cui le sonde Viking non rilevarono tracce di vita sul Pianeta Rosso consisterebbe nel fatto che non erano tecnologicamente predisposte per scoprire forme di vita basate sulla chimica di elementi diversi dal carbonio. Questa teoria, indubbiamente affascinante e suggestiva, mi riporta con la memoria indietro nel tempo, alla mia adolescenza, quando assaporai una puntata della gloriosa vecchia serie di **Star Trek** in cui l'equipaggio dell'astronave interstellare Enterprise si trova a dover affrontare una curiosa forma di vita aliena ipogea, una sorta di gigantesco armadillo la cui chimica risulta essere basata proprio sul silicio. Sebbene non escluda a priori la possibilità che forme di vita aliene possano basarsi sulla chimica di elementi diversi dal carbonio, il cui candidato migliore sembra essere rappresentato comunque dal silicio, ritengo che le probabilità a favore di ciò siano basse in quanto la chimica del carbonio è caratterizzata da una proprietà che differenzia tale atomo, non solo dagli altri del IV gruppo, di cui il silicio fa parte ma anche da qualunque altro elemento della Tabella Periodica degli Elementi. L'energia chimica contenuta nei legami covalenti **C-C** e **C-H**, difatti, è maggiore di quella presente nei legami C-C-C che il carbonio instaura con quasi tutti gli altri elementi. Questo elemento, quindi, tende fortemente a realizzare composti con concatenazioni di legami **-C-C-C-**, in cui ogni atomo di carbonio a sua volta è legato a due atomi di idrogeno (H). I composti organici che ne derivano sono tra i più semplici in natura e sono denominati **idrocarburi**. Il legame **Si-Si** ha un minor contenuto energetico rispetto a quello dei legami che il silicio instaura con altri elementi, ergo questo atomo ha una scarsa tendenza a realizzare legami con se stesso (tab.1).

X	E (C-X)	E (Si-X)
C	347	285
Si	285	222
H	413	318
O	356	452
N	305	/
Si	272	293
P	264	/
Cl	340	397
F	485	390

Tabella 1. Energia (E in Kj mol^{-1}) di alcuni legami del carbonio e del silicio.

La peculiare natura della configurazione elettronica esterna dell'atomo di carbonio, l'elevato contenuto energetico dei legami covalenti che tale elemento instaura con se stesso in serie e la stabilità energetica che ne risulta garantiscono la sintesi di una grande varietà di strutture, composti

ottenibili combinando variamente catene di atomi di carbonio e gruppi funzionali in modo tale che il numero delle sostanze organiche effettivamente e teoricamente possibili è estremamente elevato. La possibilità che si sintetizzino molteplici catene carboniose non costituisce solo il presupposto chimico perché si formino gli idrocarburi ma anche quello perché abbiano luogo altri composti organici di vitale importanza per l'organizzazione della struttura biochimica di una forma di vita. Gli **acidi grassi**, lunghe catene carboniose, ad esempio, entrano nella costituzione dei **lipidi**, i quali, a loro volta, sono alla base dell'organizzazione strutturale e funzionale delle **membrane cellulari** mentre i **glicidi** o **glucidi** (zuccheri), oltre a rappresentare una fonte di energia chimica facilmente e prontamente metabolizzabile, entrano anche nella costituzione dei **nucleotidi**, i monomeri biologici degli **acidi nucleici**. Gli **amminoacidi**, infine, costituiscono le unità strutturali delle proteine, le quali, a loro volta, svolgono un ruolo essenziale all'interno della cellula in quanto senza di esse non solo non potrebbero svolgersi le reazioni biochimiche del metabolismo cellulare ma non potrebbe strutturarsi neanche la cellula stessa. Il silicio, di contro, essendo caratterizzato da una scarsa tendenza a formare legami con se stesso ed avendo, tali legami, un contenuto energetico minore di quello dei legami C-C, non è in grado di generare catene di lunghezza variabile simili a quelle carboniose né di organizzare lo scheletro strutturale di una varietà di composti chimici. Le caratteristiche chimico-fisiche di questo elemento quindi non consentono l'assemblaggio di un'unità strutturale e funzionale autoreplicante che raggiunga un livello di complessità paragonabile o anche solo accostabile a quello della più elementare forma di vita unicellulare basata sulla chimica del carbonio. Ritengo quindi, pur non escludendo totalmente la possibilità che nello sconfinato universo si siano sviluppate forme di vita basate sulla chimica del silicio, che su Marte la vita, qualora effettivamente esista, sia basata sulla chimica del carbonio e nella fattispecie abbia una struttura cellulare procariotica e sia confinata a **qualche decina di metri** nel **sottosuolo**, là dove sembrerebbe vi fossero strati di acqua ghiacciata o addirittura allo stato liquido.

La recente scoperta dei due batteri presi in esame, Slime e Conan, conferisce credibilità scientifica anche all'ipotesi secondo cui, in determinate regioni del Pianeta Rosso, dove le sonde non sono ammassate, vi possano essere, sul suolo o sotto di esso, **colonie** circoscritte di **microrganismi unicellulari di natura procariotica**, caratterizzati da un metabolismo semplice, da un'estrema resistenza e soprattutto da un apparato biochimico riparatore del DNA estremamente efficace.

Il 7 Agosto 1996 un'unità di ricerca diretta dal paleobiologo **David McKay** annunciò alla comunità scientifica internazionale ed all'opinione pubblica mondiale di avere rilevato la presenza di tracce fossili di vita batterica extraterrestre sul meteorite marziano **ALH84001**. Analisi successive, tuttavia, dimostrarono definitivamente l'infondatezza di quella che era sembrata, in un primo momento, la più sensazionale scoperta della storia dell'umanità. Al contrario di quanto si possa pensare però, i meteoriti sono ricchi di composti del carbonio, tra i quali i più significativi dal punto di vista biologico sono rappresentati dagli **amminoacidi** (sul meteorite di **Murchison**, ad esempio, sono stati individuati ben **35** amminoacidi **diversi**). La maggior parte del carbonio presente in un meteorite è contenuta nel **kerogene**, un materiale costituito in parte da **idrocarburi policiclici aromatici (I.P.A.)**, noti sulla Terra per essere agenti chimici inquinanti e mutageni/cancerogeni. Ora, sul meteorite ALH84001, in realtà, furono riscontrati quest'ultimi e non microfossili batterici, tuttavia, la presenza di questi composti organici su un meteorite di sicura origine marziana suggerisce che sul Pianeta Rosso vi siano comunque le condizioni chimico-fisiche idonee perché possano svilupparsi forme di vita procariotica molto primitive, quali, ad esempio, i cosiddetti **batterioidi**. Gli idrocarburi estratti dai meteoriti, difatti, qualora vengano miscelati con acqua, si autorganizzano in **capsule porose**, strutture, quest'ultime, di forma sferica o sferoidale che ricordano le membrane cellulari. Il ricercatore **Jason Dworkin** ha dimostrato che queste capsule sono costituite da una notevole varietà di molecole organiche complesse. Perché l'assemblaggio spontaneo degli idrocarburi in acqua abbia luogo, è necessario che questi composti organici siano costituiti da almeno **10-12 atomi di carbonio** e siano **anfifilici**, ossia caratterizzati da teste idrofile, che si allineano fronteggiando il mezzo acquoso e da code idrofobe, che si dispongono nello

spessore della membrana. Le capsule porose ottenute dagli estratti di origine meteoritica, inoltre, mostrano **fluorescenza**, proprietà che suggerisce che all'interno di esse sia contenuto altro materiale organico. Ora, alla base della vita, di qualunque natura essa sia, vi è la capacità di metabolizzare e di riprodursi ed ambedue le proprietà sono rese possibili solo dalla **compartimentazione**. Questa è una strategia vincente che la natura ha adottato al fine di ovviare al problema costituito dal fatto che molecole sintetizzate in condizioni prebiotiche sono presenti a concentrazioni troppo basse perché quelle della stessa specie chimica (amminoacidi, nucleotidi, ecc.) possano interagire mutualmente ed avviare così la formazione di una catena. Il meccanismo elettivo per promuovere l'incremento di concentrazione delle molecole organiche consiste proprio nella formazione di **goccioline** delimitate da strutture simili a membrane, all'interno delle quali possano svolgersi le iniziali reazioni chimiche ed in cui le molecole organiche siano protette dalla diluizione e dalla distruzione ad opera dell'ambiente circostante. Formazioni prebiotiche, quest'ultime, che il biochimico **Oparin** definì **protobionti** ed ipotizzò essere gli antesignani delle prime forme di vita procariotica apparse sulla Terra primordiale. Il materiale organico contenuto all'interno delle capsule porose, ottenute dagli estratti idrocarburici di origine meteoritica, potrebbe essere costituito da una varietà di molecole complesse quali **alcoli, eteri e chinoni**, composti organici, quest'ultimi, che hanno origine dalla trasformazione chimica degli idrocarburi stessi qualora quest'ultimi vengano interessati da un apporto energetico esogeno rappresentato, ad esempio, dall'irradiazione ultravioletta. I chinoni risultano essere assai significativi dal punto di vista biologico in quanto in grado di stabilizzare e trasportare gli elettroni spaiati, offrendo così alle cellule la possibilità di svolgere numerosi processi di trasferimento energetico. La **fotosintesi clorofilliana**, il processo di conversione dell'energia luminosa solare in energia chimica di legame, è resa possibile dal trasporto di e^- ad alta energia ad opera di queste versatili molecole che, oltre a svolgere un ruolo essenziale in tale processo, sono dotate anche di una seconda proprietà estremamente importante, ossia quella di assorbire la radiazione ultravioletta che rappresenta un grave pericolo per molecole più fragili, quali, ad esempio, gli amminoacidi. I chinoni marziani potrebbero quindi costituire una sorta di scudo protettivo nei confronti dell'intensa irradiazione ultravioletta che interessa la superficie del Pianeta Rosso ed essere, al contempo, utilizzati da primordiali forme di vita procariotica al fine di catturare la luce nell'ambito di una sorta di **protofotosintesi clorofilliana**.

I risultati ottenuti dallo studio delle caratteristiche geofisiche e geochimiche di Marte inducono ad ipotizzare altre due modalità di compartimentazione prebiotica, strategie che potrebbero verosimilmente trovare in futuro un riscontro scientifico nel sottosuolo marziano. La prima modalità, proposta da **Cairns Smith** nell'ambito di uno studio volto ad individuare i possibili meccanismi di compartimentazione che hanno dato origine alla vita sulla Terra, prevede che **microcristalli di argilla** si comportino come modelli e catalizzatori per la formazione di compartimenti prebiotici mentre la seconda consiste in un innalzamento della temperatura di miscugli secchi. Il ricercatore **S. Fox**, difatti, scaldando **miscele secche di amminoacidi** a 130°C, ha dimostrato non solo la sintesi di polipeptidi a partire da singoli amminoacidi ma anche l'organizzazione dei primi in quelli che ha designato con il termine "**proteinoidi termici**", ossia formazioni sferoidali delimitate da una struttura simile alla membrana cellulare ed estremamente rassomiglianti alle capsule porose idrocarburiche ottenute miscelando con l'acqua estratti organici di origine meteoritica (fig.2)!!!

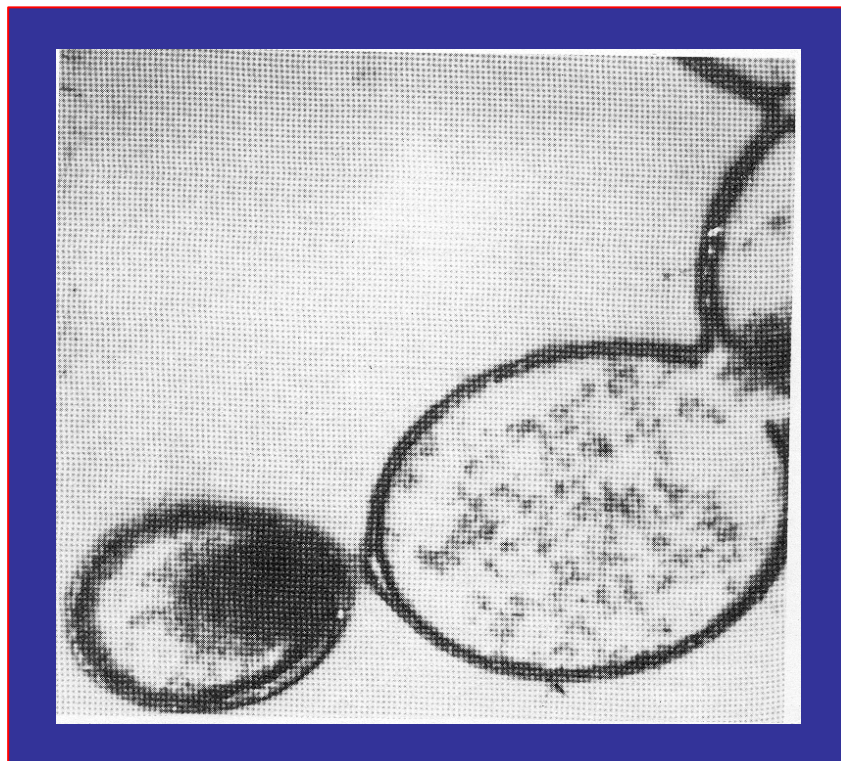


Figura 2. I “proteinoidi termici” studiati da S. Fox ed ottenuti scaldando miscele secche di aminoacidi.

Il modello di compartimentazione postulato da S. Fox, tuttavia, non è scevro da critiche mosse da altri ricercatori, secondo i quali la polimerizzazione osservata non determina la sintesi di molecole proteiche vere e proprie. Supponiamo comunque che tale modello abbia una sua validità scientifica: perché i proteinoidi termici si possano formare è necessario un apporto esogeno di energia termica, tuttavia è stato accertato che le temperature su Marte sono notevolmente basse e l'unica fonte energetica sembra essere costituita dall'irradiazione ultravioletta che peraltro non fornisce calore. La componente infrarossa dei raggi attinici, del resto, è troppo debole per portare la temperatura di un'ipotetica miscela secca di aminoacidi fino a 130°C , a causa della grande distanza di Marte dal Sole, quindi, da queste considerazioni, si dovrebbe evincere che sul Pianeta Rosso non esiste una fonte energetica in grado di apportare calore, almeno non in superficie. Già in superficie ma nel sottosuolo? Al fine di fornire una risposta a questo interrogativo è necessario focalizzare l'attenzione sulle caratteristiche geofisiche di Marte; fino a qualche anno fa gli astronomi ritenevano che il Pianeta Rosso fosse un mondo geologicamente inattivo, tuttavia alcuni ricercatori hanno avanzato l'ipotesi secondo cui su Marte siano ancora in atto **fenomeni di vulcanismo**. Non si tratta ovviamente di vistose manifestazioni quali quelle a cui siamo soliti assistere meravigliati sulla Terra ma potrebbero giustificare talune differenze di temperatura locale che analisi termografiche effettuate dalle sonde hanno rilevato sulla superficie di Marte. Altre fotografie del pianeta suggeriscono l'esistenza di **movimenti tettonici**: alcune fratture ed il materiale roccioso accumulato alla base dei rilievi orografici vengono interpretati come il risultato di contrazioni, tensioni e scosse della crosta marziana. Questi fenomeni tettonici e tellurici non costituirebbero solo una tangibile testimonianza del tormentato passato geologico di Marte ma sarebbero anche il risultato di processi geologici ancora in atto, proprio come avviene sulla Terra. Alla luce di tali considerazioni è possibile teorizzare, con estrema prudenza, che il calore necessario alla formazione dei proteinoidi termici possa essere fornito da fonti di **energia geotermica**, ubicate a profondità variabile nello spessore della crosta marziana. Se una tale eventualità può suscitare inizialmente incredulità e scetticismo, in un secondo momento, quando si considera l'incredibile scoperta di Slime, effettuata

a 1000 metri di profondità nella crosta terrestre e quella di Conan, essa acquista subito una moderata plausibilità scientifica.

Un meccanismo alternativo che non ricorra alla compartimentazione per promuovere l'incremento di concentrazione delle molecole organiche, consentendo così a quest'ultime di interagire mutualmente a costituire macromolecole, è stato proposto per la prima volta in un contesto terrestre da **Bernal** e consiste nell'adsorbimento di molecole sulla superficie di minerali quali le **miche**, la **montmorillonite** e la **caolinite**, minerali costituiti da lamine di silicati sovrapposte con strati di molecole d'acqua interposti. Questa struttura è configurata in modo tale che la superficie esposta sia notevolmente elevata in un ridotto volume, difatti, nella caolinite, ad esempio, **1 cm³** corrisponde ad una **superficie** di circa **2800 m²!!!** Se le analisi chimico-fisiche del sottosuolo marziano comprovassero definitivamente la presenza di acqua allo stato liquido, l'eventualità sopra prospettata acquisirebbe piena plausibilità scientifica. L'aumento di concentrazione delle molecole organiche potrebbe anche essersi verificato per **congelamento di soluzioni diluite**, anche in questo caso senza ricorrere alla compartimentazione. Se si considera che esiste la possibilità, anzi la probabilità, che nel sottosuolo marziano esistano strati di acqua ghiacciata, si comprende quanto sia verosimile che un tale meccanismo concentrativo abbia effettivamente luogo.

E' interessante la notizia secondo cui gli stessi ricercatori, coordinati dal paleobiologo David McKay, che nel 1996 asserirono erroneamente di aver individuato tracce fossili di vita batterica extraterrestre nel meteorite marziano ALH84001, ora sostengono di aver individuato delle tracce molto più consistenti ed evidenti su altri due meteoriti sempre di provenienza marziana, tracce che gli studiosi hanno interpretato come *'forme di vita primitiva molto simili ai batteri terrestri'*. I due nuovi meteoriti sono molto più recenti del ALH84001 che data $4.5 \cdot 10^9$ anni⁴. Uno di questi, piombato dal cielo il 28 Giugno 1911 nei pressi del villaggio di **Nakhla**, in Egitto, risale a $1.3 \cdot 10^9$ anni fa mentre l'altro, precipitato il 25 Agosto 1865 nelle vicinanze di **Shergotty**, in India, ha solo $165 \cdot 10^6$ anni. David McKay ha annunciato che saranno necessarie ulteriori analisi per comprovare che si tratti effettivamente di fossili batterici e che siano di provenienza marziana ma non ha nascosto di essere ottimista a riguardo né di essere quasi sicuro di avere a che fare con dei microfossili marziani.

Dal Libano, inoltre, giunge la notizia del rinvenimento di un ennesimo meteorite di origine marziana, il **quattordicesimo** della serie per la precisione; è una pietra scura di colorazione marrone, ritrovata da un anonimo cercatore di meteoriti a Dar al Gain, nel deserto del Libano. Le analisi preliminari effettuate dal **Dott. Luigi Folco**, del **Museo Nazionale dell'Antartide dell'Università di Siena**, su un frammento del meteorite di 10 g, al fine di valutare la percentuale degli isotopi dell'ossigeno in esso presenti, hanno evidenziato l'esatta corrispondenza tra il valore ottenuto sperimentalmente e quello noto per le rocce marziane. Tali risultati sono stati confermati dal ricercatore **Ian Franchi** dell'**Open University** britannica. Staremo a vedere.

Il fine ultimo di questo lavoro non è tanto quello di dimostrare l'esistenza o l'inesistenza di vita sul Pianeta Rosso né di fornire risposte assolute e definitive a favore di una o l'altra delle possibilità prospettate, quanto piuttosto quello di proporre alcune ipotesi e modelli teorici sulle possibili modalità con cui potrebbero essersi compiuti o con cui potranno compiersi alcuni degli step necessari perché su questo pianeta la materia inorganica si organizzi ed evolva in materia organica e quest'ultima, a sua volta, in forme di vita elementari. Alla luce delle considerazioni di carattere chimico-fisico, biochimico e biologico, ritengo che non sia un atteggiamento intellettualmente e scientificamente onesto escludere la possibilità che nel sottosuolo di Marte, forse a qualche decina di metri dalla superficie, si siano sviluppate forme di vita elementari con struttura cellulare procariotica o al limite protobionti aventi un compartimento organico prebiotico. Comunque, qualora venisse definitivamente dimostrata l'assenza totale di vita su Marte, non si potrebbe egualmente escludere che su questo pianeta sussistano almeno le condizioni chimico-fisiche idonee perché sia le une che gli altri si sviluppino in futuro.

⁴ **1·10⁹ anni** = un miliardo di anni.

ALH84001⁵

Il 27 Dicembre 1984 **Roberta Score**, una ricercatrice del **Johnson Space Center (J.S.C.)** della N.A.S.A., a Houston, Texas, incaricata di effettuare le analisi chimico-fisiche di meteoriti, in particolare di quelli rinvenuti in **Antartide**, durante una spedizione dell'**ANSMET**⁶ (Antarctic Search for Meteorites), rinvenne, alle pendici delle colline di **Allan Hills**, un peculiare meteorite delle dimensioni di 17x9.5x6.5 cm e del peso di circa 2 Kg, caratterizzato da una bizzarra colorazione verde brillante significativamente dissimile dalla tipica colorazione scura di questi corpi rocciosi. Tra i meteoriti rinvenuti ad Allan Hills (**ALH**) nel 1984 (**84**), quello in questione fu il primo (**001**) ad essere analizzato nei laboratori del J.S.C., da qui la denominazione di **ALH84001** (fig.3).

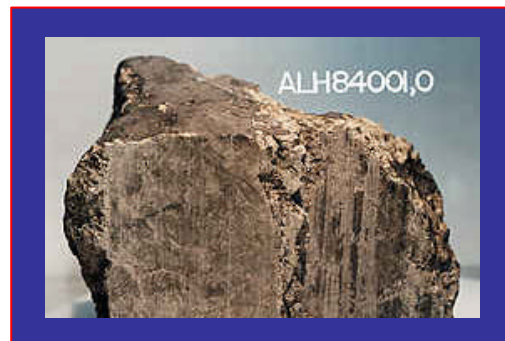


Figura 3. Il meteorite marziano ALH84001.

ALH84001 appartiene alla classe dei **meteoriti basaltici**, costituiti cioè da rocce di natura lavica e la matrice principale è rappresentata dall'**ortopirosseno**. L'impiego di numerose metodiche di datazione, tra cui quella della **radiocoppia Rubidio/Stronzio**, ha consentito di assegnare a ALH84001 l'età di circa **4.5·10⁹ anni**. In un primo momento ALH84001 venne ulteriormente classificato come una **diogenite**, una tipologia meteoritica originaria dell'**asteroide Vesta**, tuttavia, dalle analisi chimico-fisiche preliminari, emerse che il **5%** del volume di questo meteorite è costituito da **carbonati**, normalmente assenti nelle diogeniti, caratteristica, questa, che fu inizialmente ascritta ad un inquinamento terrestre verificatosi durante la permanenza di ALH84001 nei ghiacci antartici. L'utilizzo di una microsonda elettronica consentì di individuare all'interno di ALH84001 singoli granuli di **cromite**, un ossido di ferro (Fe) e cromo (Cr), che, una volta analizzati, evidenziarono un'apparente incongruenza geochemica: il ferro contenuto in essi, difatti, era altamente ossidato (**Fe³⁺**) ed è impossibile che un simile stato di ossidazione si realizzi in un ambiente privo di ossigeno quale quello che caratterizza l'asteroide Vesta. Anche i **solfori**, composti di ferro e zolfo (S), che nelle diogeniti sono a basso stato di ossidazione (**FeS**), sono

⁵ La seconda parte di questo lavoro, riguardante il meteorite marziano ALH84001, è un compendio della relazione effettuata da Cesare Guaita del G.A.T. (Gruppo Astronomico Tradatese) sulle analisi chimico-fisiche condotte su questo meteorite e sulle ipotesi e diatribe accademiche che ne sono seguite.

⁶ **ANSMET**: associazione di volontari che ogni anno effettua spedizioni in Antartide alla ricerca di meteoriti.

risultati essere in ALH84001 ad alto grado di ossidazione (FeS_2), condizione, quest'ultima, tipica di un'altra classe di meteoriti basaltici: le **SNC**⁷.

Mediante l'impiego della metodica di datazione del Rubidio/Stronzio, i ricercatori hanno anche stabilito che questi peculiari meteoriti sono caratterizzati da un'età molto giovane, stimabile intorno ai $1.4 \cdot 10^9$ anni. Tra le **Shergottiti**⁸, sei sono di particolare interesse in quanto all'interno della matrice basaltica sono presenti **inclusioni di materiale vetroso** dovute ad una fusione da impatto e ad una successiva e repentina risolidificazione di alcuni minerali (il **plagioclasio**, ad esempio, è stato in parte trasformato in **maskelinite**). Da notare che l'età delle inclusioni vetrose, stimata con la metodica di datazione del Rubidio/Stronzio, risulta essere sempre inferiore a quella del meteorite. La presenza di tali inclusioni vetrose ha inoltre consentito di accertare la provenienza marziana delle Shergottiti.

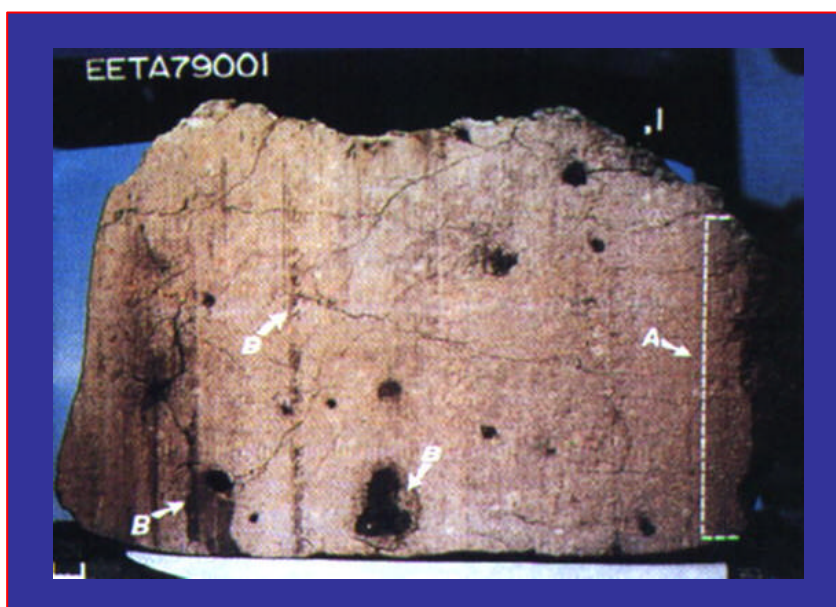


Figura 4. Il meteorite marziano EETA79001.

Il più celebre esemplare delle Shergottiti, l'**EETA79001** (fig.4), anch'esso rinvenuto in Antartide, è chiazzato da alcune formazioni scure, indicate nella figura dalle frecce bianche, che i ricercatori hanno stabilito essere inclusioni di materiale vetroso, al cui interno sono state riscontrate bolle di gas caratterizzate da composizione chimica e rapporti isotopici analoghi a quelli analizzati dalle sonde Viking per l'atmosfera marziana (tipico arricchimento in N15 ed in deuterio per l'acqua).

Anche per ALH84001 è stata accertata la provenienza da Marte, sia sulla base di considerazioni chimiche che isotopiche. Vi sono, tuttavia, due caratteristiche salienti che differenziano significativamente ALH84001 dalle altre meteoriti marziane: l'età di $4.5 \cdot 10^9$ anni (questa roccia proviene, difatti, dall'emisfero meridionale del pianeta dove sono assenti grandi edifici vulcanici geologicamente giovani) e la massiccia presenza di carbonati (presenti nel 5% del volume del meteorite), inclusioni, quest'ultime, infiltratesi in un complesso sistema di fratture a loro volta prodottesi a seguito di un violento impatto meteorico avvenuto $4 \cdot 10^9$ anni fa. L'età di deposizione dei carbonati, stimata tra $3.6 \cdot 10^9$ e $1.4 \cdot 10^9$ anni fa, è ancora oggetto di dibattito, tuttavia, sembra accertato che ALH84001 si distaccò da Marte $17 \cdot 10^6$ anni fa a seguito di un altro violento impatto meteorico. **Nadine Barlow**, una studentessa dell'Università dell'Arizona, ha

⁷ **S.N.C.:** classe di meteoriti di provenienza marziana il cui acronimo è costituito dalle iniziali delle località presso le quali sono stati rinvenuti i primi tre esemplari (**S**hergotty, **N**akhla e **C**hassigny).

⁸ **Shergottiti:** meteoriti appartenenti alla classe delle S.N.C. aventi caratteristiche geochemiche analoghe a quelle dell'esemplare rinvenuto a Shergotty.

passato in rassegna qualcosa come 42283 crateri marziani per individuare quello presumibilmente creatosi nell'impatto che ha eiettato ALH84001 nello spazio. In questa capillare ricerca la studentessa, al fine di restringere il più possibile la cerchia delle possibilità, ha seguito tre criteri analitici, qui di seguito riportati:

1. il **cratere** formatosi nell'impatto meteorico che ha espulso ALH84001 nello spazio extraplanetario deve avere una **forma allungata** in quanto, da una serie di considerazioni di carattere fisico, si evince che i frammenti di suolo marziano originatisi nello schianto acquisiscono sufficiente energia cinetica da raggiungere la velocità di fuga di Marte solo nel caso in cui l'impatto avvenga con un'elevata inclinazione, condizione, questa, che determina proprio la formazione di un cratere dalla caratteristica morfologia allungata.
2. la **regione** in cui era situato ALH84001 doveva essere **anticamente ricca di acqua**, fonte probabile delle inclusioni di carbonati.
3. la **regione** in cui era situato ALH84001 deve essere **geologicamente molto antica** (ALH84001 ha difatti $4.5 \cdot 10^9$ anni).

La regione che possiede contemporaneamente tutti e tre questi requisiti è ubicata nell'emisfero meridionale di Marte ove Nadine Barlow ha individuato **due possibili candidati** (fig.5):

1. un cratere di 11x9 Km situato nella regione di **Hesperia Planitia** (12° S e 243° O).
2. un cratere di 23x15 Km situato nella regione di **Sinus Sabenus** (14° S e 343.5° O).

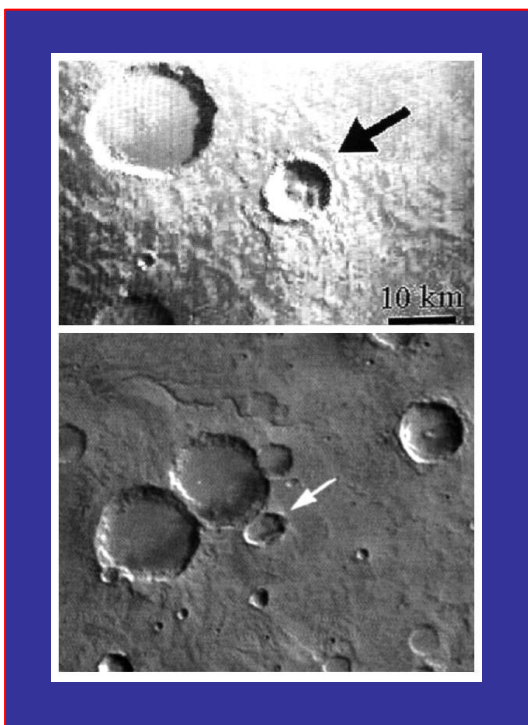


Figura 5.

Sopra: cratere situato nella regione di Hesperia Planitia.

Sotto: cratere situato nella regione di Sinus Sabenus.

Il meteorite, dopo aver vagato nello spazio interplanetario per un periodo di circa $17 \cdot 10^6$ anni, precipitò in Antartide 13000 anni fa.

Il 7 Agosto 1996, durante una conferenza stampa, un gruppo di nove ricercatori, coordinati dal paleobiologo David McKay del J.S.C. della N.A.S.A., presentò uno studio multidisciplinare sui carbonati presenti in ALH84001, giungendo alla conclusione che entro questo meteorite vi fossero

tracce fossili di batteri marziani primordiali. All'interno dei carbonati sono stati rilevati in quantità abbondante I.P.A., la cui presenza può essere giustificata con le seguenti tre spiegazioni:

1. **provenienza interstellare**: gli I.P.A. sono contenuti nello strato di ghiaccio che avvolge i **granuli silicatici** del **pulviscolo interplanetario ed interstellare**, da cui sono nati i meteoriti più primitivi.
2. **provenienza terrestre**: gli I.P.A. costituiscono uno dei prodotti della **combustione** imperfetta e parziale del **petrolio**.
3. **provenienza biologica**: gli I.P.A. possono formarsi anche a seguito della **decomposizione** di complesse **molecole organiche batteriche**.

I carbonati si presentano come granuli sferoidali di diametro medio compreso tra 50 e 100 μm ⁹ (fig.6) e sono costituiti da un **nucleo centrale** o core a sua volta composto da carbonato di calcio (CaCO_3) e di manganese e circondato da **bande alternate** di carbonato di ferro (FeCO_3 , **siderite chiara**) e di carbonato di magnesio (MgCO_3 , **magnesite scura**). All'interno di tali bande si accumulano **granuli** magnetizzabili di **magnetite** (Fe_3O_4) e di **pirrotite** (solfuro di ferro) (fig.7).

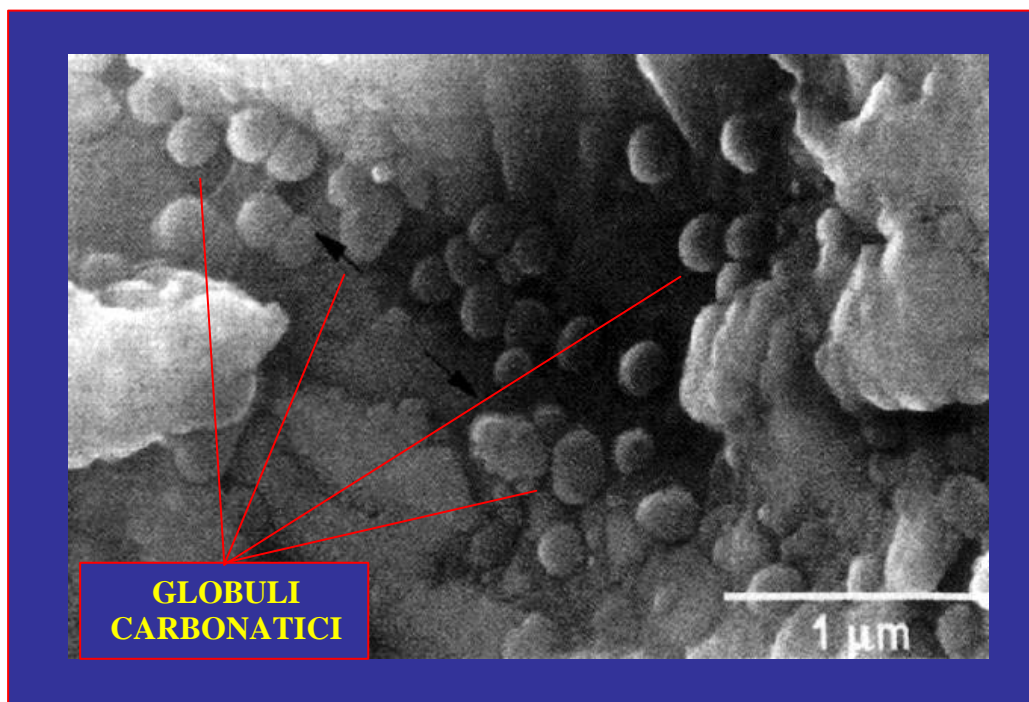


Figura 6. Microfotografia elettronica realizzata con il S.E.M. dei globuli carbonatici presenti all'interno delle fratture del meteorite marziano ALH84001.

⁹ $1\ \mu\text{m} = 1 \cdot 10^{-6}\ \text{m}$.

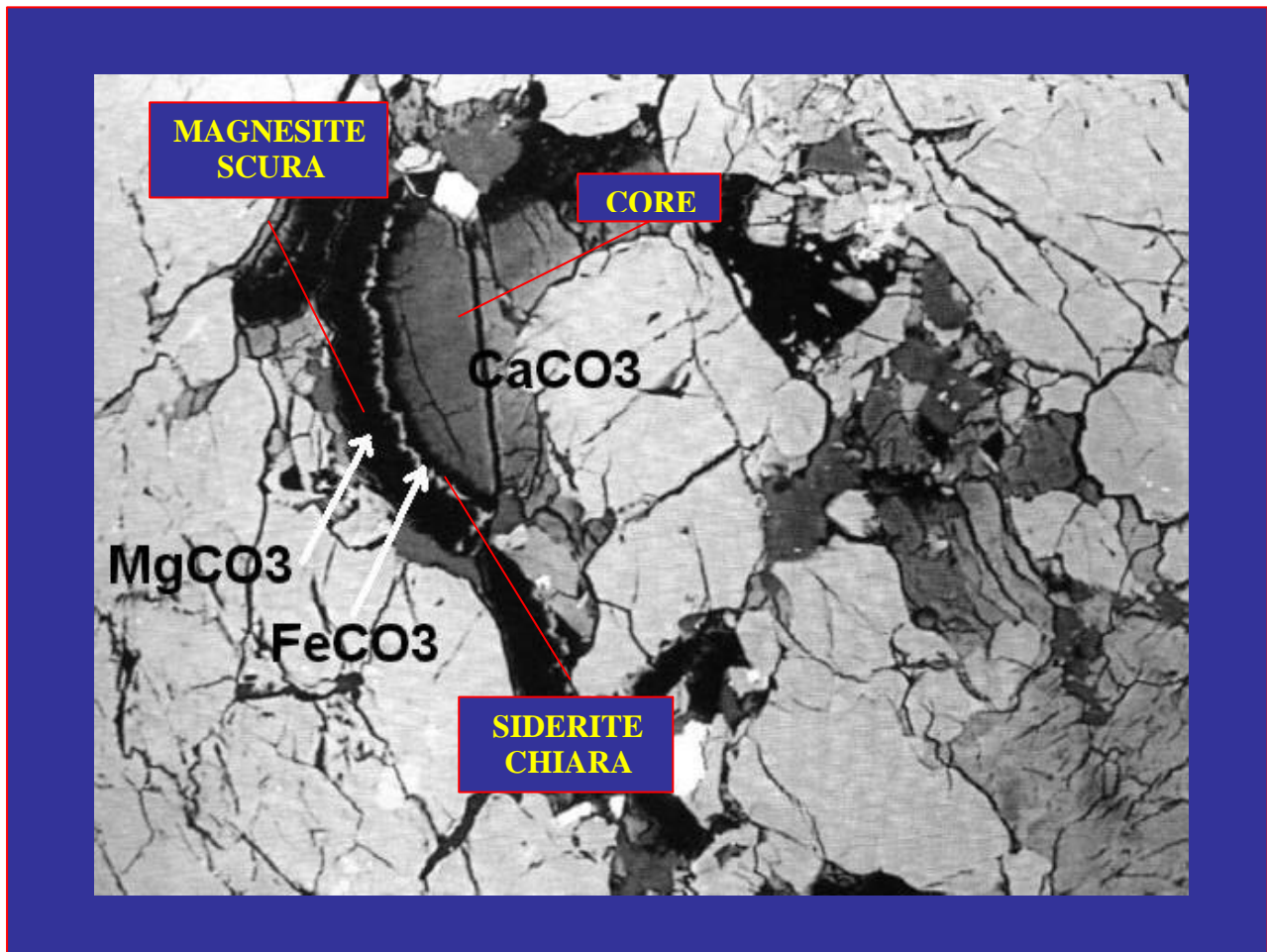


Figura 7. Struttura interna di un globulo carbonatico. Sono evidenti il core di carbonato di calcio e le bande alternate di siderite chiara e di magnesite scura che lo delimitano.

La matrice carbonatica a contatto con la magnetite ed il solfuro di ferro sembra essere estremamente porosa, come se fosse stata interessata da un parziale processo di dissoluzione in un ambiente fortemente acido, tuttavia, qualora si fosse verificata una simile eventualità, la simultanea precipitazione di magnetite e solfuro di ferro sarebbe stata totalmente inibita!!! L'unità di ricerca diretta da David McKay sostiene di aver risolto brillantemente questo apparente paradosso chimico ricorrendo all'ipotesi batterica che sarebbe avallata dall'esistenza in natura di alcuni processi biologici nell'ambito dei quali è possibile riscontrare la contemporanea presenza di magnetite e solfuro di ferro all'interno di una matrice di carbonato parzialmente dissolto. Tale ipotesi biologica coinvolge necessariamente la temperatura (alta o bassa) di deposizione dei carbonati intrameteoritici, tuttavia, i risultati ottenuti dagli studi volti a determinare se quest'ultima sia stata alta o bassa sono fino ad oggi estremamente discordanti poiché ambedue le scuole di pensiero dispongono di evidenze sperimentali che sembrano propendere ora per l'una ora per l'altra possibilità.

Interessante notare che gli I.P.A., concentrati soprattutto all'interno dei globuli carbonatici, si trovano entro il ALH84001 in quantità di **1 ppm** (parte per milione). Nello spettrogramma di massa rappresentato in figura 8 si notano dei picchi che corrispondono agli I.P.A., di diverso peso molecolare (P.M.), rinvenuti all'interno dei granuli carbonatici di ALH84001. Dal grafico risulta che vi sono due distinte categorie di I.P.A.:

1. una **categoria principale**, con P.M. fino a 276 e comprendente I.P.A. con 3-6 anelli senza sostituenti laterali (la specie a 2 anelli, quale il naftalene, è assente).
2. una **categoria meno rappresentata minoritaria**, con P.M. fino a 450 e comprendente I.P.A. con un numero maggiore di anelli e ad alto grado di sostituzione laterale.

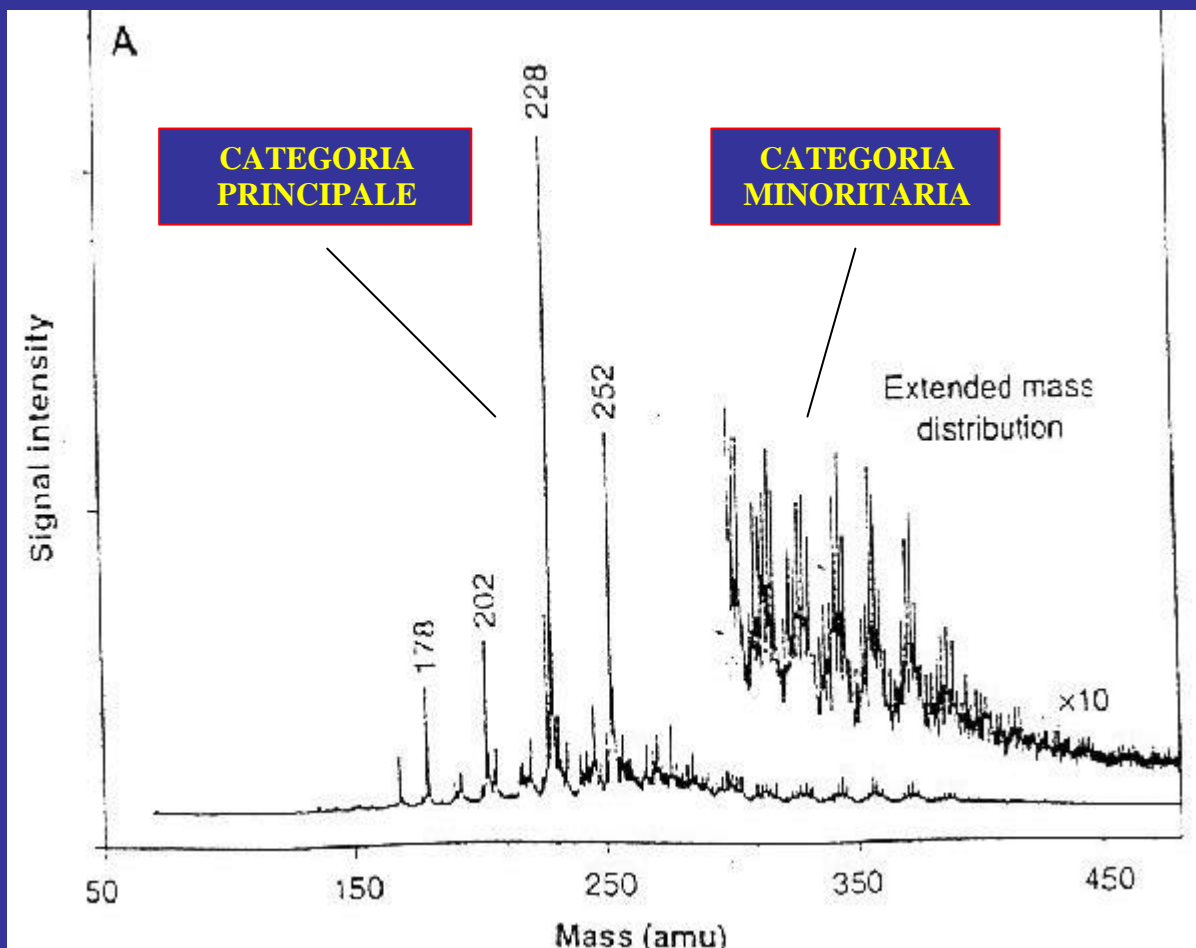


Figura 8. Spettrogramma di massa degli I.P.A. rinvenuti nei globuli carbonatici di ALH84001.

La presenza di I.P.A. entro i granuli di carbonato di ALH84001 potrebbe essere imputabile all'inquinamento terrestre, tuttavia, il gruppo di ricercatori coordinato da David McKay ha dimostrato che questi composti organici sono assenti nei primi 50 μ m di crosta, in corrispondenza dei quali sono stati probabilmente distrutti dalla pirolisi termica determinata dall'attrito con i gas atmosferici. Gli studiosi hanno inoltre stabilito che la concentrazione degli I.P.A. aumenta con la profondità della crosta meteoritica, situazione, questa, diametralmente opposta a quanto ci si dovrebbe aspettare da un inquinamento ambientale. Se questi composti organici fossero effettivamente riconducibili ad un inquinamento terrestre, difatti, sarebbero caratterizzati da estese ramificazioni laterali e dalla presenza di eterocicli a base di zolfo e di naftalene, tuttavia, né le une né gli altri contraddistinguono gli I.P.A. di ALH84001. L'unità di ricerca di McKay ha stabilito che

altri meteoriti antartici, provenienti sia dalla stessa regione di ALH84001 che da molto più lontano, non contengono tracce evidenti di I.P.A. che, tuttavia, sono presenti all'interno del meteorite in questione in quantità superiore a quella massima riscontrabile nello spessore delle distese di ghiaccio dell'Antartide, quantità stimata in circa 1 ppb (parte per bilione), ossia 1000 volte meno abbondante. Per determinare una contaminazione di I.P.A. di tale entità sarebbe stato necessario che il meteorite fosse stato interessato da un processo di percolazione ad opera di 8000 litri di acqua antartica!!! Da esperimenti di laboratorio condotti da **J. Bada** sarebbe emerso che i carbonati sono in grado di assorbire dall'acqua circostante gli I.P.A., concentrandoli fino ad un milione di volte!!! Questa proprietà sarebbe confermata dal fatto che I.P.A. simili a quelli rinvenuti in ALH84001 sono stati rilevati anche in EETA79001, all'interno del quale vennero riscontrate anche tracce di carbonati nel 1985. **S. Clemett**, il ricercatore che per primo rilevò la presenza degli I.P.A. all'interno di ALH84001, ha ribattuto evidenziando come J.Bada abbia utilizzato una miscela di I.P.A. idrosolubili quando, al contrario, la maggior parte di questi composti presenti all'interno di ALH84001 è idrofoba e quindi non trasportabile dall'acqua. In conclusione, dopo numerose ed accese diatribe accademiche, la maggioranza dei ricercatori sembra essersi accordata sul fatto che gli I.P.A. contenuti in ALH84001 siano di natura endogena, ossia originari del meteorite. L'ipotesi biologica proposta da David McKay, secondo cui gli I.P.A. deriverebbero dalla demolizione di complesse molecole organiche sintetizzate da primitivi microrganismi unicellulari procariotici, sembra essere supportata dai risultati ottenuti da analisi chimico-fisiche condotte sul materiale organico, rappresentato soprattutto dagli I.P.A., adsorbito nella matrice carbonatica di ALH84001, materiale rivelatosi essere nettamente arricchito di carbonio 12 rispetto al carbonio 13 e perciò indicante un'attività metabolica batterica.

Ad avvallare tale ipotesi batterica non vi sarebbero solo prove circostanziali di natura chimico-fisica ma anche documenti fotografici impressionanti quanto controversi, quali le microfotografie elettroniche realizzate con il **microscopio elettronico a scansione (S.E.M.)** che mostrano, all'interno dei globuli carbonatici di ALH84001, **formazioni allungate** rassomiglianti a microfossili batterici (fig.9). Queste enigmatiche strutture ovoidali sono particolarmente abbondanti in corrispondenza dei nuclei di addensamento di ferro e zolfo, tuttavia, se la loro morfologia è estremamente simile a quella dei batteri fossili terrestri, le loro dimensioni, al massimo 100 nm¹⁰, risultano essere da 10 a 100 volte minori di quelle del più piccolo batterio terrestre conosciuto. I fautori dell'ipotesi chimico-fisica hanno prontamente fatto presente che potrebbe trattarsi di un errore artefattuale riconducibile alla complessa preparazione dei campioni da sottoporre all'esame microscopico mediante il S.E.M., tuttavia, David McKay ha puntualizzato che queste formazioni ovoidali non sono state evidenziate in altri meteoriti antartici, sebbene quest'ultimi siano stati sottoposti allo stesso trattamento prima di essere analizzati con il microscopio elettronico a scansione. Un'ulteriore elemento oggettivo probante l'infondatezza dell'ipotesi dell'artefatto è fornito da alcune immagini fotografiche delle stesse controverse formazioni ovoidali, ottenute però con uno strumento d'indagine diverso dal S.E.M., ossia un **microscopio a forza atomica (A.F.M.)** il quale scandaglia il campione mediante un sottilissimo pannello elettronico senza introdurre alcuna modifica a livello della superficie. Sembra quindi ormai accertato che le microformazioni ovoidali contenute all'interno dei granuli carbonatici di ALH84001 siano realmente esistenti e probabilmente non riconducibili ad alcun artefatto in corso di preparazione del campione. I detrattori dell'ipotesi batterica sostengono che le dimensioni delle microformazioni ovoidali siano troppo ridotte per ricondurre quest'ultime a microrganismi batterici, in quanto, come ha esaurientemente sottolineato W. Schopf, dell'Università della California (sua è la recente scoperta, in Australia occidentale, di **cianobatteri fossili** risalenti a 3.5·10⁹ anni fa), il volume medio dei presunti batteri marziani risulta essere solo 1/1000 di quello del più piccolo microrganismo terrestre ed in tale volume è improbabile che siano contenuti i principali costituenti del metabolismo cellulare (fig.10).

¹⁰ **1 nm** = 1·10⁻⁹ m.

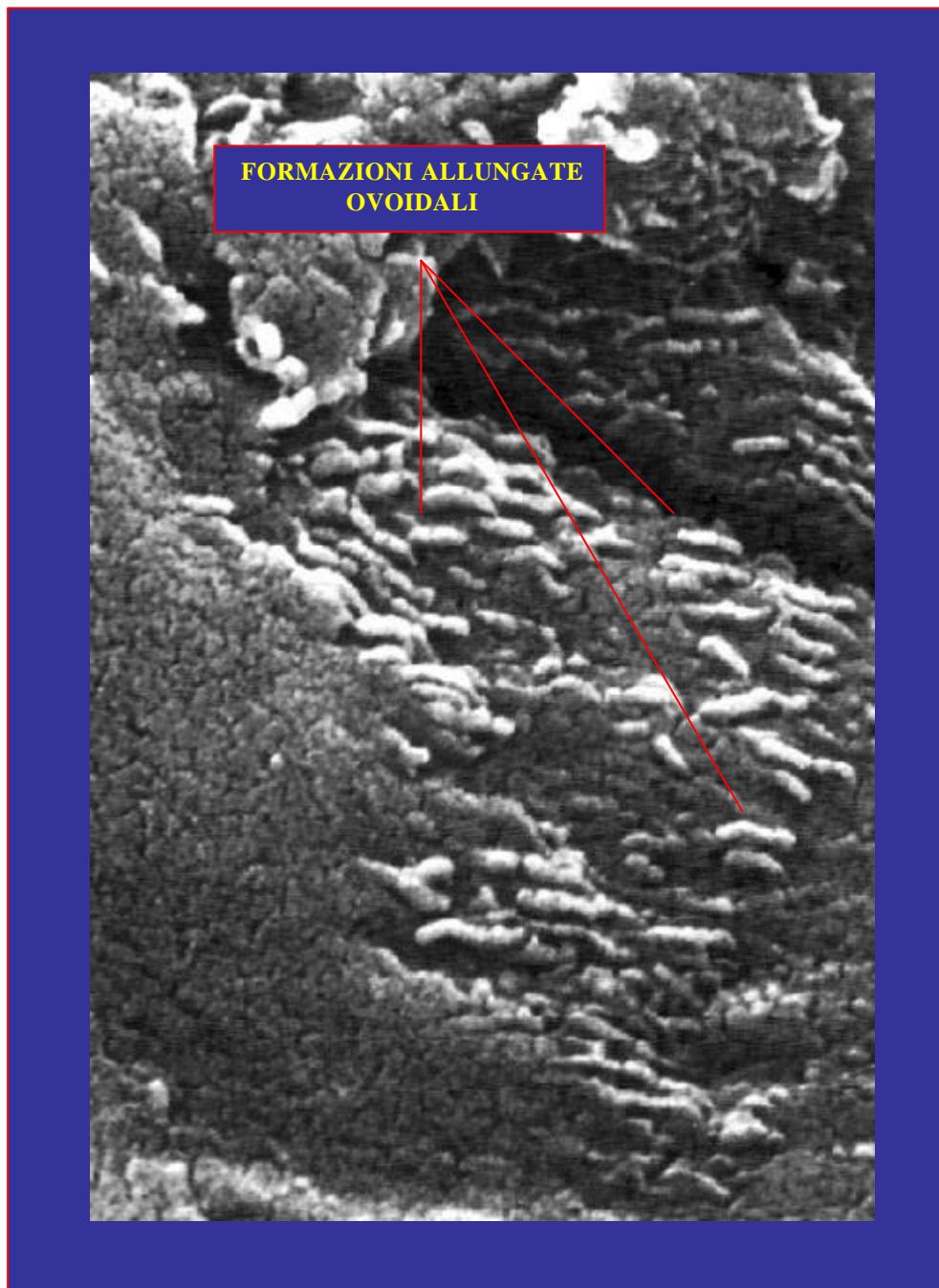


Figura 9. Microfotografia elettronica realizzata con il S.E.M. di nanoformazioni allungate ovoidali presenti all'interno dei globuli carbonatici di ALH84001 e dalla morfologia estremamente simile a quella di presunti nanobatteri terrestri.

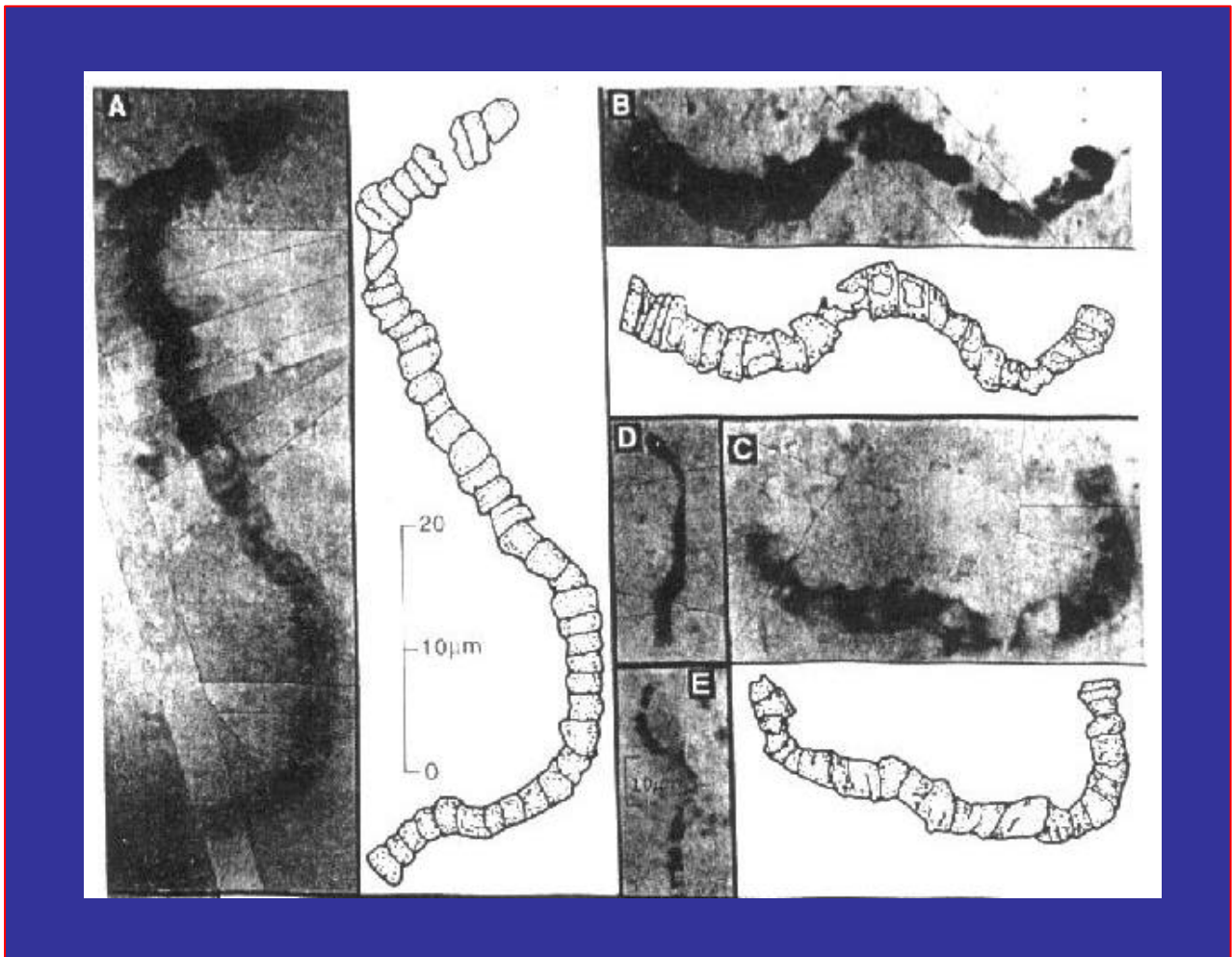


Figura 10. Cianobatteri fossili terrestri rinvenuti da J.W. Schopf nella regione australiana occidentale di Apex e risalenti a $3.5 \cdot 10^9$ anni fa.

Nel 1990 R.L. Folk e F.L. Lynch, dell'Università del Texas, rilevarono, in alcune concrezioni calcitiche del Pleistocene, la presenza di formazioni fossili di ridottissime dimensioni che interpretarono essere l'impronta fossile di antichissimi **nanobatteri**. Se tale interpretazione fosse scientificamente corretta, la scienza disporrebbe di un elemento oggettivo probante che anche sulla Terra sono esistiti microrganismi batterici di dimensioni estremamente simili a quelle dei presunti nanobatteri marziani di ALH84001. Ora, poiché l'età dei presunti nanobatteri marziani coincide con quella di deposizione dei globuli carbonatici, età compresa tra $3.8 \cdot 10^9$ e $1.4 \cdot 10^9$ anni, le probabilità che su Marte si siano sviluppate forme di vita sono apparentemente basse, in quanto l'estremo superiore del range ($3.8 \cdot 10^9$ anni) risulta essere improponibile poiché la vita sul Pianeta Rosso si sarebbe dovuta sviluppare in tempi troppo brevi dalla formazione del pianeta (poco più di mezzo miliardo di anni) mentre per l'estremo inferiore ($1.4 \cdot 10^9$ anni) sembrerebbe egualmente da escludersi una simile eventualità perché le presunte tracce di vita contenute nei granuli carbonatici risalirebbero ad un periodo in cui Marte non era più in grado di offrire le condizioni chimico-fisiche minime per garantire lo sviluppo di una qualunque forma di vita. Nel 1996, contrariamente a quanto

si riteneva fino a quel momento, un'unità di ricerca dell'Università della California dimostrò come le prime forme di vita terrestri risalissero a **3.85·10⁹ anni fa**. Lo studio venne condotto su campioni prelevati dall'interno di rocce antichissime originarie della Groenlandia occidentale e nonostante i ricercatori non avessero rilevato la presenza di forme di vita batterica fossilizzata, le analisi effettuate sul materiale carbonioso proveniente dall'interno delle rocce succitate dimostrarono un arricchimento di carbonio 12 rispetto al carbonio 13, suggerendo un qualche tipo di attività biologica in atto in quel periodo. Le analisi chimico-fisiche effettuate da un gruppo di studiosi inglesi sul materiale carbonioso estratto dal meteorite marziano EETA79001, la cui età è di soli $1.3 \cdot 10^9$ anni, hanno dimostrato un evidente impoverimento in carbonio 13, risultato che, qualora venisse confermato, suggerirebbe che Marte ospitava ancora una forma di attività biologica $1.3 \cdot 10^9$ anni fa.

Argomento di dibattito furono anche i **granuli di magnetite** e di **pirrotite** che si addensano nelle vicinanze dei presunti nanobatteri fossili marziani, granuli che, secondo la biologa **K. Thomas-Keprta** della **Lockheed-Martin**, sono caratterizzati dalla stessa regolarità morfologica e dimensionale (50 nm) che si ritrova nelle particelle di magnetite che si depositano all'interno di determinati batteri quale il **Acquaspirillum Magnetotacticum**. **H. McSween**, tuttavia, ha ribattuto sostenendo di avere individuato un'ingente quantità di granuli di magnetite di morfologia estremamente differenziata e, secondo quanto asserito da **R. Harvey**, una quantità significativa delle particelle di magnetite di ALH84001 è caratterizzata da imperfezioni nella struttura cristallina, tali da escluderne l'origine biologica. **J. Bradley**, dell'Università della Georgia, sostiene, con ferma convinzione, che i presunti nanobatteri fossili marziani non siano altro che **aghi di magnetite** formati all'interno dei globuli carbonatici di ALH84001 per deposizione ad alta temperatura. L'unità di ricerca di J.P. Bradley ha rafforzato le critiche mosse all'ipotesi batterica di David McKay dimostrando come immagini della superficie di una fessura di ALH84001 ricca di carbonati e dei carbonati stessi, realizzate mediante una tecnica di microscopia elettronica ad alta risoluzione (**FE-SEM**), analoga a quella utilizzata da McKay, evidenziassero, qualora l'angolo di incidenza del pannello di elettroni venga inclinato opportunamente, la presenza di strutture parallele disposte nella stessa direzione della frattura. Tali strutture, nonostante presentino impressionanti similitudini con i presunti nanobatteri fossili di McKay, secondo Bradley, sarebbero **lamelle di cristalli di pirosseno** (fig.11).

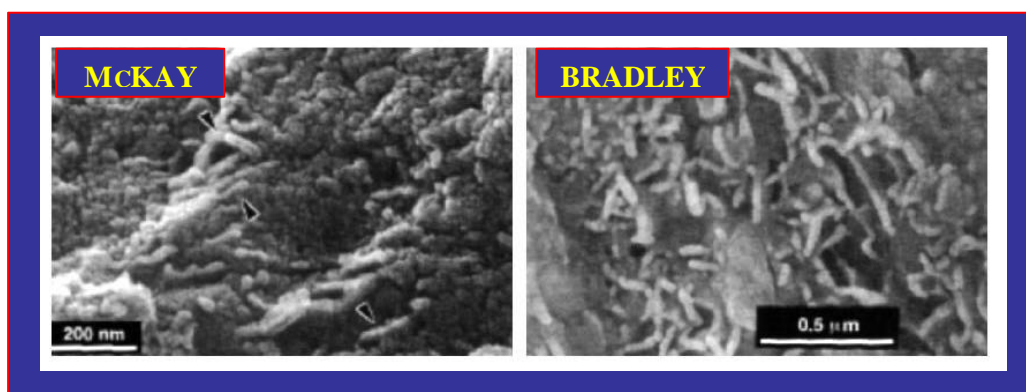


Figura 11. Sinistra: formazioni allungate ovoidali contenute all'interno dei globuli carbonatici di ALH84001 che David McKay interpreta come nanobatteri fossili marziani. Destra: strutture evidenziate da J.P. Bradley e da questo considerate mere lamelle di cristalli di pirosseno.

Ora, nelle microfotografie elettroniche dell'ambiente interno dei globuli carbonatici di ALH84001, si notano, oltre alle formazioni allungate, anche strutture simili ma **segmentate**, estremamente rassomiglianti a **colonie batteriche** (fig.12). Anche in questo caso Bradley sostiene

che tali strutture siano il risultato di un ennesimo artefatto, questa volta imputabile allo **strato conduttivo di oro o oro/palladio** che è necessario deporre sulla superficie dei campioni da sottoporre all'analisi mediante il S.E.M.. Tale strato, essenziale per garantire la riflessione del pannello elettronico che scannerizza la superficie del campione, qualora venga applicato su una superficie angolata e sottile, quale ad esempio quella che caratterizza le lamelle di cristalli di pirosseno, andrebbe incontro ad un **processo di fessurizzazione**, processo che, secondo quanto rilevato da Bradley, verrebbe esacerbato nel caso in cui lo spessore dello strato conduttivo venisse incrementato da 10 a 20 nm.



Figura 12. Microfotografia elettronica realizzata con il S.E.M. di una formazione ovoidale segmentata lunga 200 nm ed estremamente simile ad una colonia batterica primordiale.

L'unità di ricerca di David McKay, tuttavia, non si è lasciata intimorire affatto dalle pesanti critiche mosse da J.P. Bradley ed ha subito motivato esaurientemente ogni asserzione fatta a riguardo. Innanzitutto il team di McKay sottolinea che era già da tempo a conoscenza delle strutture lamellari di cristalli di pirosseno, di cui aveva anche realizzato alcune immagini fotografiche al S.E.M., sia nel caso in cui la superficie del campione fosse rivestita con lo strato conduttivo di oro/palladio che nel caso in cui tale superficie non venisse trattata. Le dimensioni di queste strutture, tuttavia, risultano essere inferiori di almeno un ordine di grandezza ($0.1 \mu\text{m}$ circa) rispetto a quelle delle formazioni considerate di sicura origine batterica ($0.8 \mu\text{m}$). Le strutture lamellari fotografate da Bradley sono parallele e caratterizzate da estrema regolarità mentre i presunti

nanobatteri fossili propugnati da McKay non risultano essere mai paralleli, anzi, sovente, appaiono sovrapposti e talvolta isolati; inoltre, assieme alle formazioni allungate, si riscontrano anche strutture ad S. McKay sostiene che il processo di segmentazione succitato non sia determinato da un'errata applicazione dello strato conduttivo sulla superficie del campione da sottoporre all'analisi con il S.E.M., in quanto lo stesso rivestimento preparatorio, dello spessore di 10 μ m, non ha introdotto alcun artefatto in una serie di campioni di roccia lunare utilizzata come elemento di riferimento. Infine, alla periferia dei globuli carbonatici, dove si riscontra la maggiore concentrazione dei presunti nanobatteri fossili marziani, non si rileva la presenza delle strutture lamellari di Bradley, anche se in questo caso è doveroso puntualizzare che quest'ultimo si riferisce esplicitamente a cristalli aghiformi di magnetite.

La scoperta più recente, che sembra conferire credibilità scientifica alle affermazioni di McKay, consiste in alcune microfotografie elettroniche in cui si notano, all'interno di molti granuli di carbonati di ALH84001, frammenti di una **pellicola carboniosa** simile a quella, denominata **biofilm**, tipicamente secreta dal metabolismo batterico.

Al fine di verificare se le formazioni allungate ovoidali, contenute all'interno dei globuli carbonatici di ALH84001, siano effettivamente riconducibili ad un'attività biologica e quindi identificabili con nanobatteri fossili, occorrerebbe sottoporre tali strutture ad una **microdissezione**, in modo da evidenziare un'eventuale **parete cellulare**¹¹ ed altri **organuli subcitoplasmatici**¹². Gli scarsi tentativi effettuati fino ad oggi per mettere a punto un'efficace tecnica di microdissezione hanno fornito purtroppo risultati incerti, in quanto la procedura succitata è estremamente complessa e laboriosa, al limite del potere di risoluzione degli attuali microscopi elettronici.

Una prova circostanziale, che assieme alle altre passate in rassegna fino ad ora potrebbe contribuire a conferire plausibilità scientifica all'ipotesi biologica di McKay, è costituita dall'eventuale scoperta, nell'ambito del materiale organico di ALH84001, di **amminoacidi** biologicamente significativi (**isomeri di amminoacidi levogiri**¹³).

La conferma definitiva dell'esistenza o dell'assenza di vita su Marte, comunque, dovrà giungere direttamente dal Pianeta Rosso e qualora formazioni ovoidali simili a quelle individuate nei globuli carbonatici di ALH84001 venissero rilevate e fotografate da una sonda spaziale robotizzata all'interno di una delle estese pianure alluvionali prese in esame nella prima parte dello scritto, la scienza disporrebbe di un'ulteriore elemento oggettivo che avvallerebbe l'ipotesi biologica di McKay.

BIBLIOGRAFIA

- ? **Nuova Enciclopedia Universale Curcio**, *delle lettere, delle scienze, delle arti*. Armando Curcio Editore, 1968.
- ? **ASTRONOMIA E GEOFISICA**, **Enciclopedia delle Scienze De Agostini**. Istituto Geografico De Agostini – Novara, 1986.
- ? **CHIMICA**, **Enciclopedia delle Scienze De Agostini**. Istituto Geografico De Agostini – Novara, 1986.
- ? **BIOLOGIA**, **Enciclopedia delle Scienze De Agostini**. Istituto Geografico De Agostini – Novara, 1986.
- ? **Dizionario Enciclopedico Multimediale di Medicina e Biologia** di Le Scienze.
- ? Bertini, I. e Mani, F., **Lezioni di Chimica** (Seconda edizione). Edizioni Cedam – Padova, 1989.
- ? Bertini, I. e Mani, F., **Chimica Inorganica**, *con nozioni di chimica bioinorganica*. Edizioni Cedam – Padova, 1988.

¹¹ **Parete cellulare**: strato esterno alla **membrana citoplasmatica**, in genere rigido, presente nei **batteri, funghi, alghe** e nelle cellule delle **piante superiori**. Questa struttura definisce la forma dell'organismo e lo protegge da danni meccanici e da lisi osmotica. La parete cellulare microbica differisce in composizione e struttura a seconda della specie e del tipo.

¹² **Organuli subcitoplasmatici**: denominati anche intra- o endocellulari. Strutture **membranate**, ossia delimitate da una singola o doppia membrana endocellulare, situate all'interno delle cellule eucariotiche.

¹³ **Isomeri di amminoacidi levogiri**: amminoacidi che ruotano il piano della luce polarizzata che li attraversa verso sinistra.

- ? Checcacci, L., Meloni, C. e Pelissero, G., **Igiene** (Seconda edizione). Casa Editrice Ambrosiana – Milano, 1992.
- ? Polsinelli, M., Buiatti, M., Ottaviano, E. e Ritossa, F., **Genetica** (Seconda Edizione). Sansoni Editore, 1990.
- ? Dickerson, R.E.(1978), **L'evoluzione chimica e l'origine della vita**. In **"Gli albori della vita"**. A cura di A. Minelli. **Le Scienze** S.p.A. Ed., Milano, 1984.
- ? Cavedon, M., **Astronomia** *I pianeti, le stelle, le galassie. Certezze, ipotesi e problemi nello studio del cielo*. Arnoldo Mondadori Editore S.p.A., Milano, 1980.
- ? Kolosimo, P. e C., **I misteri dell'universo**. Oscar Mondadori, 1986.
- ? **Le Scienze. La vita che viene dallo spazio**. N° 373 – Settembre 1999.
- ? **Newton**, N° 3 - Marzo 2000.
- ? **Focus**, N° 46 – Agosto 1996.
- ? **ALH84001: batteri fossili da Marte?** di Cesare Guaita (G.A.T.: Gruppo Astronomico Tradatese), fonte Internet.
- ? **UFO Notiziario**, N° 5 – Ottobre 1999.
- ? **UFO Notiziario**, N° 9 – Febbraio 2000.
- ? **UFO Notiziario**, N° 10 – Marzo 2000.

Dott. Patrizio Caini