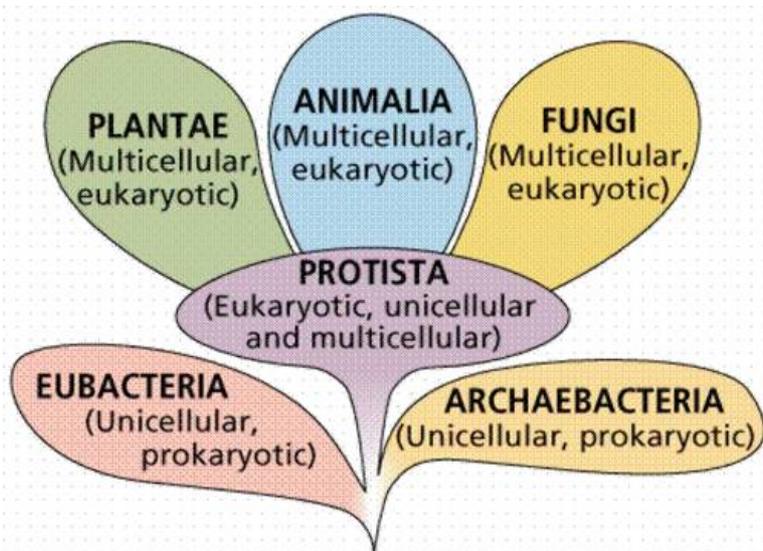


# GLI ESTREMISTI DELLA VITA

Il dominio **Archaea** non è stato riconosciuto come un dominio importante dell'albero della vita se non fino a poco tempo fa. Sino al XX secolo, infatti, la maggior parte dei biologi consideravano tutti gli esseri viventi classificabili o come piante o come animali. Ma tra gli anni '50 e '60, i



tassonomisti sono giunti alla consapevolezza che questo metodo di classificazione non è preciso perché tale raggruppamento non può ospitare funghi, protisti e batteri. Dagli anni '70, dunque, un insieme di **cinque regni** finì per essere accettato come il modello con il quale tutti gli esseri viventi possono essere classificati. In poche parole, fu fatta una distinzione tra i batteri procarioti ed i quattro regni degli eucarioti (piante, animali, funghi e protisti). La distinzione si basa sui tratti comuni che condividono gli organismi eucarioti, come i nuclei, il

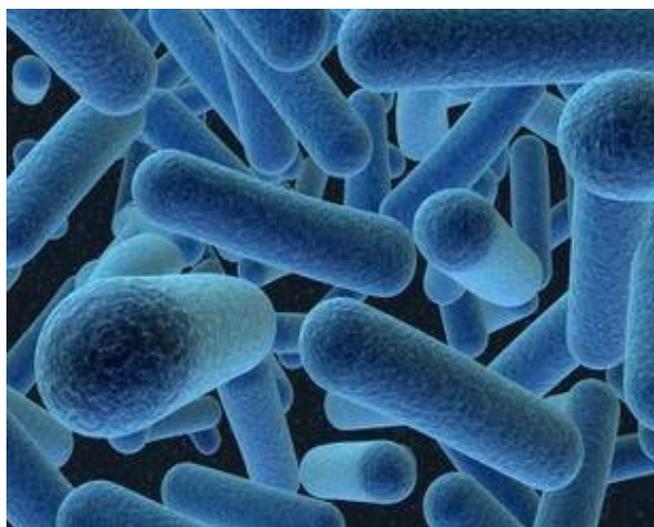
citosteleto e le membrane interne.

La comunità scientifica fu quindi comprensibilmente sconvolta alla fine degli anni '70 dalla scoperta di un nuovo gruppo di organismi: gli Archaea.

Il Dr. Carl Woese e i suoi colleghi dell'Università dell'Illinois hanno studiato le relazioni tra i procarioti utilizzando sequenze di DNA, e hanno scoperto che potevano essere distinti due gruppi nettamente diversi. Quei "batteri" che vivevano

infatti ad alte temperature erano ben lontani dalle caratteristiche filogenetiche dei batteri (procarioti) e dagli organismi eucarioti. A causa di questa grande differenza genetica, Woese ha proposto che gli organismi viventi fossero suddivisi in tre gruppi: Eukaryota, Eubatteri e Archeobatteri. In seguito è stato deciso che Archeobatteri fosse un termine improprio, e ribattezzato come Archaea.

Sebbene la maggior parte degli Archaea non sembrano così diversi dai batteri sotto il microscopio, le condizioni estreme in cui vivono molte di queste specie ha reso difficile la coltura e lo studio. Per questo motivo per lungo tempo non si sapeva nulla della loro esistenza

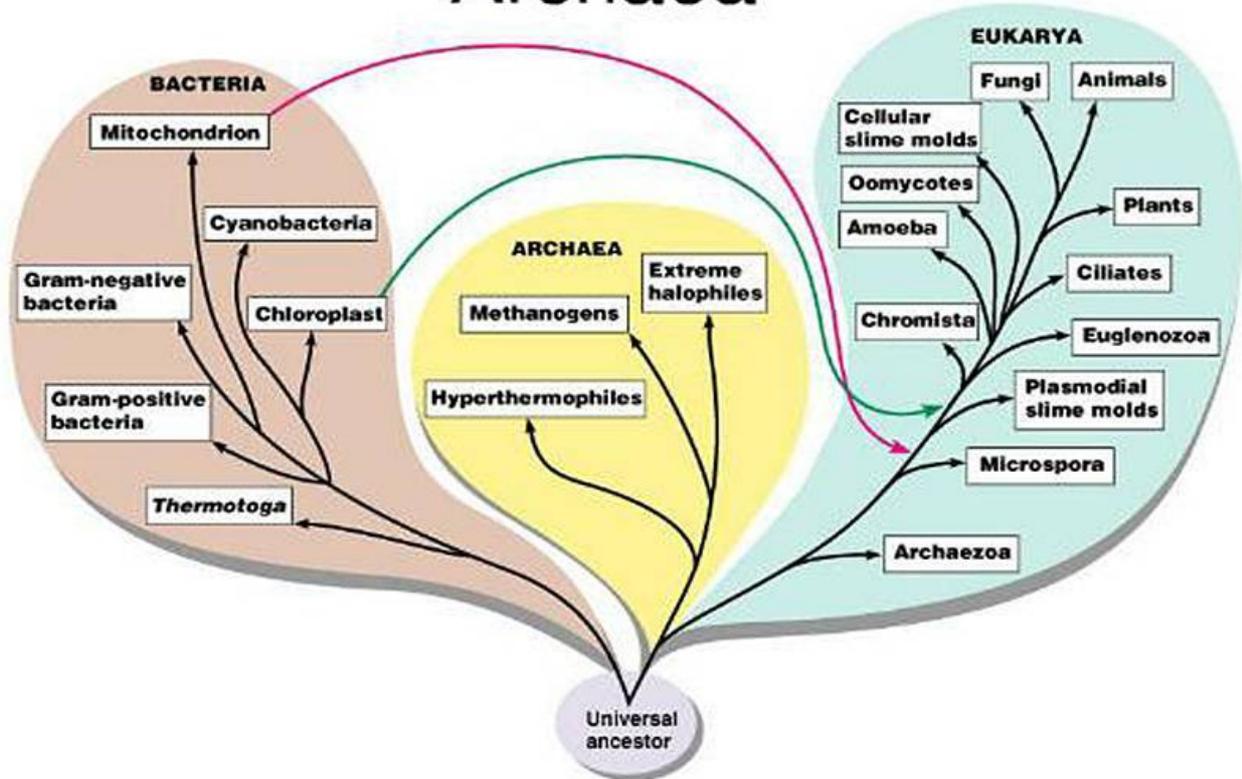


Tuttavia, **biochimicamente e geneticamente, sono molti diversi dai batteri**. Anche se molti libri e articoli si riferiscono ancora a loro come "archeobatteri", quel termine è stato abbandonato perché non sono i batteri, sono Archaea.

Gli Archaea vivono in alcuni degli **ambienti più estremi del pianeta**. Riescono a sopravvivere in ambienti con temperature superiori ai 100°C, nelle profondità del mare a pressioni elevate, dove producono metano. Altri vivono in sorgenti calde, o negli oceani Artico ed Antartico, che rimangono congelati per la maggior parte dell'anno,

o in acque estremamente alcaline od acide. Sono stati trovati all'interno del tratto digestivo delle mucche e delle termiti. Vivono nei fanghi anossici di paludi e prosperano in depositi di petrolio in profondità. Sono stati trovati perfino nelle batterie delle automobili!

# Archaea



Alcuni Archaea possono sopravvivere agli effetti disidratanti delle acque estremamente saline. Un Archaea che è stato studiato in modo approfondito e che vive bene in ambiente salino è il gruppo che comprende il genere *Halobacterium*. Questa primordiale forma di vita è in grado di ricavare energia molecolare sotto forma di ATP (adenosintrifosfato) dalla luce solare attraverso un processo di fotofosforilazione non clorofilliana resa possibile dalla batteriorodopsina, una proteina abbondante nella membrana citoplasmatica. La rodopsina è una proteina di membrana con 7 domini transmembrana ad  $\alpha$ -elica, si trova principalmente nelle cellule a bastoncello della retina umana che permettono la vista in bianco e nero. Queste cellule hanno una forma allungata e nella loro parte apicale hanno numerosi dischi di membrana con molte rodopsine, legate tramite una base di Schiff ad un pigmento, l'11-cis-retinale sensibile alla luce.

Archaea possono essere i soli organismi che possono vivere in habitat estremi come camini termali o acque ipersaline. Possono essere estremamente abbondanti in ambienti che sono ostili a tutte le altre forme di vita. Tuttavia, gli Archaea non sono limitati solo ad ambienti estremi, delle recenti ricerche mostrano che gli Archaea sono molto abbondanti **anche nel plancton** del mare aperto. C'è ancora molto da imparare su questi microbi, ma è chiaro che gli Archaea è un gruppo notevolmente diversificato e di successo.

## I FOSSILI DI ARCHAEA

E' inusuale pensare che la vita potrebbe esistere a temperature vicino al punto di ebollizione, ma alcuni intrepidi Archaea prosperano in queste condizioni estreme. I geysir, come quelli trovati in Yellow Stone Park, sono l'habitat per molti microbi termofili e possono aiutarci a comprendere come la vita esisteva quando la Terra era ancora giovane.

La ricerca di fossili di Archaea affronta una serie di problemi. Prima di tutto, sono organismi molto piccoli e quindi lasciano fossili altrettanto microscopici. Qualsiasi ricerca di fossili di cellule

archaeali richiederebbe molto tempo al microscopio e altrettanta pazienza. In realtà, ci sono microbi fossili conosciuti in tutto il Precambriano, ma c'è un problema: come si fa a distinguere gli Archaea fossili dai batteri fossili? Cellule di Archaea e di batteri possono essere delle stesse dimensioni e forme, così la sagoma microbica di un fossile di solito non aiuta a determinare la sua origine. Allora si tende a trascurare le caratteristiche fisiche e micropaleontologiche dell'organismo, e a valorizzare le caratteristiche chimiche. Tracce chimiche di antichi organismi sono chiamate **fossili molecolari**, e comprendono una vasta gamma di sostanze chimiche. Idealmente, un fossile molecolare dovrebbe essere un composto chimico con le seguenti caratteristiche: si trova in un solo gruppo di organismi, non è soggetto a degrado chimico, decade in prodotti chimici secondari prevedibili e riconoscibili.

Nel caso degli Archaea, vi è un metodo molto buono per individuarne un fossile, tenendo conto delle caratteristiche molecolari della sua membrana cellulare. Le membrane cellulari dell'Archaea non sono formate da lipidi come gli altri microorganismi, ma sono formate da **catene di isoprene**. Poiché queste strutture di isoprene rendono particolari e unici gli Archaea, e non sono così inclini alla decomposizione ad alte temperature, diventano buoni indicatori per determinare la presenza di Archaea antichi. Fossili molecolari di Archaea, sotto forma di residui isoprenoidi sono stati segnalati nel sito di Messel in Germania (Michaelis & Albrecht, 1979). Questi sono depositi dell'epoca del Miocene, la cui storia geologica è ben nota. Materiale prelevato dal sito è stato sciolto ed analizzato utilizzando una combinazione di cromatografia e spettrometria di massa. Questi processi per la separazione dei composti, hanno favorito la realizzazione di un "**impronta digitale chimica**".



L'impronta digitale del sito Messel dimostra una composizione di isoprene identica a quella presenti in alcuni Archaea. Sulla base della storia geologica della zona di Messel, si ritiene che tali organismi, termofili e alofili, non siano mai vissuti lì, quindi è più probabile che ad avere lasciato queste impronte chimiche siano i metanogeni Archaea (metano-produttori).

Fin dalla loro scoperta nei scisti di Messel, composti di isoprene indicativo di Archaea antichi sono stati trovati in numerose altre località (Hahn & Haug, 1986), compresi i sedimenti del Mesozoico, Paleozoico, e Precambriano. Le loro tracce chimiche sono state addirittura trovate nei sedimenti del distretto Isua della Groenlandia occidentale, i sedimenti più antichi conosciuti sulla Terra (circa 3,8 miliardi di anni). Ciò significa che gli Archaea (e la vita in generale) sono apparsi sulla Terra entro un miliardo di anni dalla formazione del pianeta, e in un momento quando le condizioni erano ancora abbastanza inospitali per la vita, come finora era stato ritenuto.

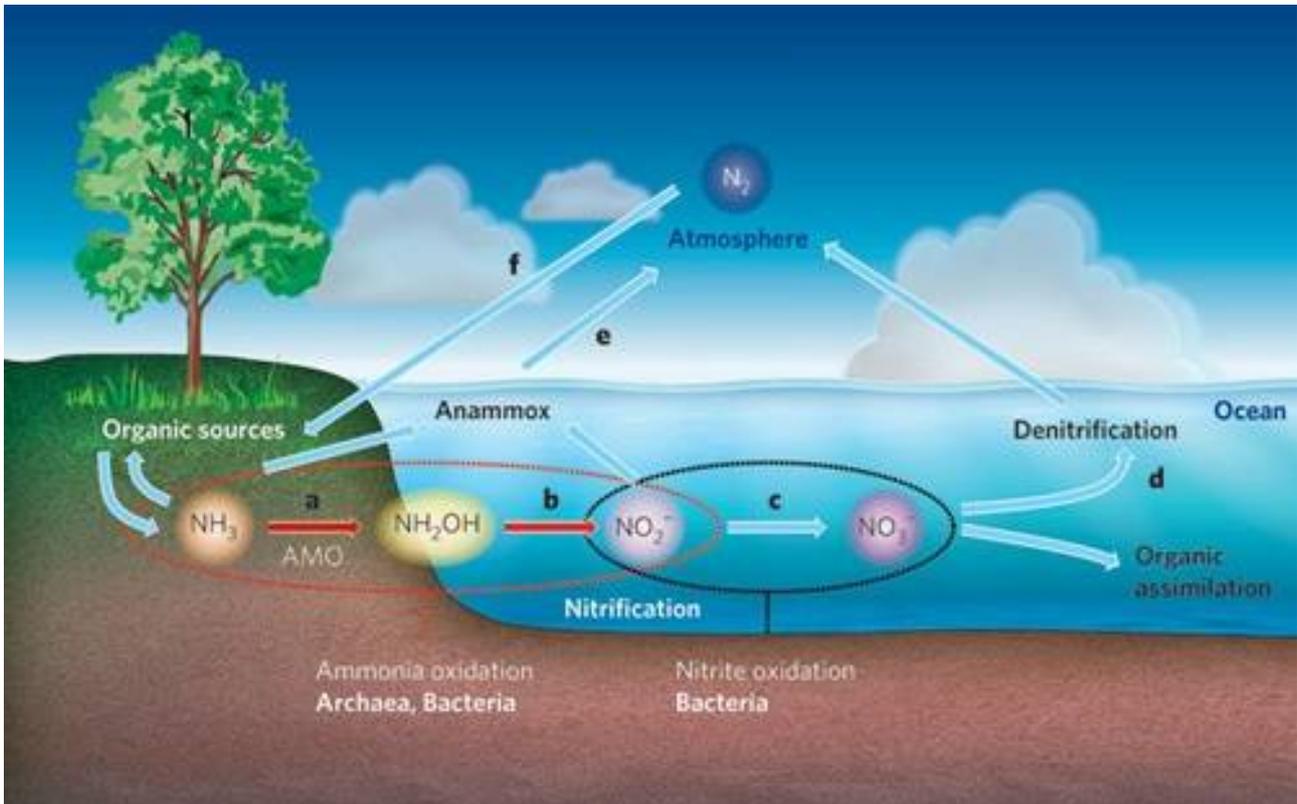
L'atmosfera della Terra giovane era ricca di ammoniaca e metano, e faceva probabilmente molto caldo. Tali condizioni, tossiche per le attuali piante ed animali, possono invece essere state molto accoglienti per gli Archaea. Piuttosto che essere quindi degli stravaganti organismi evolutisi per sopravvivere in condizioni insolite, gli Archaea potrebbero rappresentare i resti di una fiorente comunità biologica, che ha dominato e plasmato sensibilmente il nostro mondo primordiale.

## **BIOLOGIA DEGLI ARCHAEA**

Gli Archaea possono presentarsi in forma sferica, di stelo, a spirale, lobata, rettangolare o di forma irregolare. Una specie insolita, di forma quadrata e piatta vive nelle piscine salate. Alcuni esistono come singole cellule, altri formano filamenti o cluster. La loro parete cellulare differisce nella struttura da quella dei batteri e si è quindi pensato che può essere **più stabile** in condizioni

estreme, contribuendo a spiegare perché alcuni Archaea possono vivere in molti degli ambienti più ostili sulla Terra

Questi microrganismi, che costituiscono un regno a sé, sopravvivono nelle profondità oceaniche, senza luce e con poco carbonio, sfruttando concentrazioni anche bassissime di ammoniaca. Grazie alla loro **capacità di utilizzare l'ammoniaca**, gli Archaea rivestono **un ruolo cruciale nel ciclo globale dell'azoto** e di conseguenza anche nell'ecologia del pianeta. E' questo il risultato pubblicato sulla rivista "Nature" a firma di un gruppo di ricercatori dell'Università di Washington guidati da David Stahl.



L'ammoniaca è un prodotto che può essere tossico per gli animali. Ma diversi vegetali, incluso il fitoplancton che vive negli strati più superficiali del mare, sono in grado di utilizzarla come il modo più efficiente per produrre nuove cellule.

Nei primi anni novanta, una ricerca su campioni di acqua oceanica prelevati in profondità mise in luce la presenza di frammenti di materiale genetico che suggerivano che almeno il 20 per cento dei microrganismi dell'oceano è costituito da Archaea, mentre altre evidenze suggerirono che essi potessero vivere grazie l'ammoniaca.

Nel 2005 il gruppo di Stahl fu il primo a isolare un organismo di questo tipo recuperato da una vasca tropicale dell'Acquario di Seattle, dimostrando come esso possa, in effetti, crescere ossidando l'ammoniaca. Da allora, l'organismo è stato ritrovato in molti ambienti marini, inclusi il Puget Sound e il mare del Nord e si ipotizza che possa essere pressoché onnipresenti nelle acque marine.

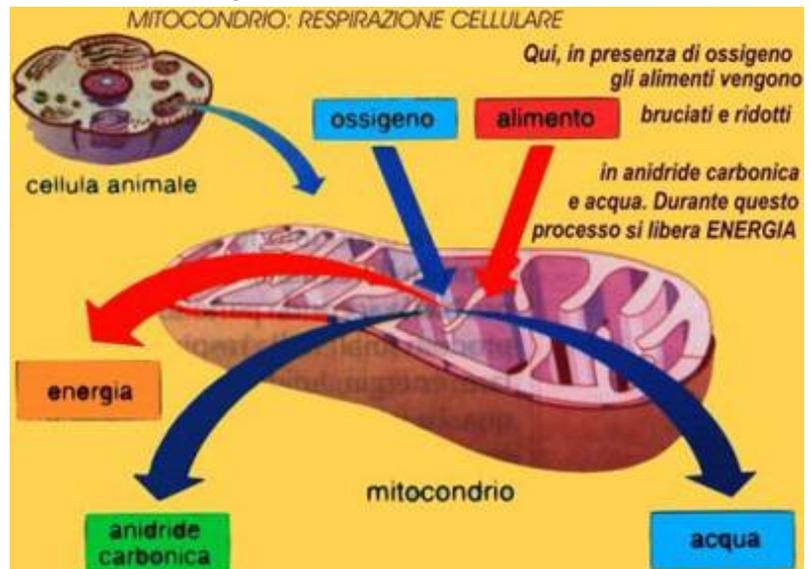
Questo nuovo lavoro mostra come gli Archaea possano sopravvivere in presenza di concentrazioni di ammoniaca **estremamente basse**, dell'ordine di 10 nanomoli per litro d'acqua, equivalenti a un cucchiaino di te di sali ammoniacali in 40 milioni di litri di acqua, risolvendo l'annoso mistero di come questi microrganismi possano sopravvivere nell'ambiente oceanico. Nell'oceano profondo infatti non c'è luce e c'è poco carbonio, e pertanto queste tracce di ammoniaca sono l'unica fonte energetica dell'organismo.

Gli Archaea più in particolare sono protobatteri anaerobi: estraggono dai solfati lo zolfo che legano a due atomi di idrogeno dei tre presenti nell'ammoniaca ( $NH_3$ ), rilasciando l'azoto che gli serve

meno, costituendo una fase necessaria del ciclo dell'azoto, ma rilasciando come rifiuto lo zolfo con i due idrogeni, cioè  $H_2S$ , ovvero acido solfidrico. Sono loro che, vivendo nelle zone di anossia degli oceani, riempiono queste zone di acido solfidrico, gigantesche bolle che, finché sono trattenute dalla pressione di chilometri di acqua, non fanno paura a nessuno, salvo vengano liberate da sconvolgimenti tettonici che, si ipotizza, potrebbero aver causato vere e proprie estinzioni di massa.

## BREVE QUADRO EVOLUTIVO

Quanto suddetto avviene tranquillamente da milioni di anni, infatti è molto probabile che gli Archaea siano proprio **le prime forme di vita che si sono sviluppate nel pianeta**, quasi più di **4,1 miliardi di anni fa**. Poco dopo la formazione del pianeta, tali primitivi organismi si sono evoluti ottimizzando lo sfruttamento di energia disponibile, ovvero quella dei solfati che escono dalle viscere del pianeta tramite potenti eruzioni; per milioni di anni, quindi, va avanti in questo modo l'evoluzione degli Archaea, finché gli antenati delle rodoficee riescono a ritagliarsi una piccola nicchia iniziando a sfruttare nelle zone bentoniche la luce del Sole che filtra dall'atmosfera mediante **la fotosintesi**, producendo come scarto **ossigeno molecolare libero**. Come conseguenza dell'evoluzione casuale, alcuni batteri finiranno per specializzarsi nel catturare ed utilizzare l'ossigeno libero, mentre certi procarioti inglobarono tali batteri nel loro citoplasma senza assimilarli, finché evolveranno negli attuali **mitocondri**. Parallelamente, alcune forme di virus si specializzano ad elaborare acidi nucleici sempre più complessi: prima nei più elementari elementi di **RNA** ed infine nel **DNA**. Siamo ormai a 3,9 miliardi di anni fa. Si sono ormai formati gli Eucarioti che utilizzano l'ossigeno nella respirazione cellulare col **ciclo di Krebs** e nel corso dei milioni di anni finiranno per respingere in nicchie relativamente più ristrette gli Archaea. Per più di 1 miliardo e



mezzo di anni il pianeta è rimasto a disposizione dei phyla che utilizzano ossigeno libero. Una di queste specie ha ormai colonizzato il pianeta, modificandolo ed alterandone gli equilibri di popolazione, creando coi suoi processi industriali molecole nuove che non s'erano mai viste prima sul pianeta, come lo stesso alluminio, prima quasi assente nella crosta terrestre ed ora, se messo tutto assieme, in grado di ricoprire con una pellicola gli interi Stati Uniti. Le attività vitali di questa specie che tutti ben conosciamo, si sono andate specializzando sull'utilizzo della **combustione** che, in linea di principio, si può considerare come un'altra forma di respirazione, ossia quella in grado di combinare ossigeno e carbonio. Tutte le loro attività produttive in ultima istanza rilasciano **anidride carbonica** nell'atmosfera del pianeta. A questo punto abbiamo diversi scenari. Se la concentrazione del diossido di carbonio, ovvero la  $CO_2$ , raggiunge le 500 parti per milione, l'equilibrio delle zone anossiche si sposterà verso la superficie libera dell'acqua. Le bolle di acido solfidrico liberate così nell'atmosfera spazzeranno via tutte le forme di vita respiranti ossigeno. Il pianeta di conseguenza perderà una gran varietà di forme di vita in una gigantesca **estinzione di massa**. Tuttavia gli Archaea produttori di acido solfidrico avranno la possibilità di espandersi numericamente nella nicchia ecologica precedentemente occupata dai colonizzatori respiranti ossigeno. Alcune forme di organismi aerobici ad utilizzo ibrido di ossigeno, come per esempio certe meduse, fioriscono in condizioni di anossia. L'evoluzione sul pianeta continuerà quindi

seguendo una nuova strada adattativa, fino al prossimo disequilibrio, specializzandosi in una atmosfera ormai al 90% formata da anidride carbonica, fino a che un effetto serra globale renderà la Terra invivibile, come è accaduto su Venere.

L'**anossia** che si svilupperà sulla Terra non sarà altro che un meccanismo di risposta della dinamica planetaria, che scatterà quando verrà raggiunta la soglia delle 500 ppm. Noi stiamo



raggiungendo questa soglia. Cosa si farà per evitare che gli umani spingano con le loro emissioni di CO<sub>2</sub> la concentrazione verso questa soglia? Purtroppo sappiamo già la risposta: nulla. Provate a chiedere a tutte le trasmissioni televisive meteorologiche che ci comunichino giornalmente a quanto corrisponde la concentrazione di anidride carbonica in atmosfera su scala planetaria: ci forniscono già tanti dati relativamente

alle temperature quotidiane, perché questo parametro viene nascosto alla popolazione? Il monitoraggio di questo tasso è un indice estremamente importante per la nostra sopravvivenza sul pianeta. Ma a volte è meglio non sapere, se ogni azione viene svolta nel nome del dio denaro e non negli interessi delle collettività.

Probabilmente il nostro destino è già segnato nel grande libro delle estinzioni cicliche di specie, ma, volendo, possiamo magramente consolarci osservando come l'evoluzione non prediliga di per sé una qualche forma di vita come la nostra basata sulla respirazione dell'ossigeno libero o l'utilizzo del carbonio o dell'acqua, ma quanto invece faccia del bricolage con tutto ciò che trova. Probabilmente la nostra Galassia, come l'Universo intero, sono stracolmi di pianeti con forme di vita inimmaginabili adattatesi ed evolutesi alle condizioni più impensabili che nemmeno il più fantasioso degli scrittori di fantascienza esperto di biochimica, come Isaac Asimov, è mai stato in grado di immaginare.