

La crisi dell'ossigeno: l'estinzione che ha permesso lo sviluppo della vita sulla Terra.

*Circa 2.4 miliardi di anni fa, il Grande Evento di Ossidazione sconvolse drammaticamente l'equilibrio ambientale del nostro pianeta, causando una delle più significative crisi biologiche che la Terra abbia affrontato e modificando radicalmente la composizione della sua atmosfera.*

L'ossigeno presente nell'aria è essenziale per la vita sulla Terra per come la conosciamo oggi, ma non è sempre stato così. Oltre due miliardi di anni fa, le prime forme di vita del pianeta si svilupparono in un ambiente anossico, con un'atmosfera largamente priva di ossigeno libero. Diverse evidenze suggeriscono che il passaggio all'attuale atmosfera ossidante abbia causato una delle estinzioni meno note ma più cruciali per moltissimi organismi anaerobici – e proprio per questo da molti viene descritto come "catastrofe".

#### *Andiamo alla scoperta del Grande Evento Ossidativo.*

La composizione dell'atmosfera terrestre. Le molecole di ossigeno (O<sub>2</sub>) costituiscono circa il 21% dell'attuale composizione dell'atmosfera terrestre, mentre il restante 79% comprende molecole di azoto (N<sub>2</sub>) e altri composti, tra cui l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Oggi queste proporzioni sono essenziali per il mantenimento della vita sul pianeta, basti pensare che concentrazioni di O<sub>2</sub> già inferiori al 19,5% sono pericolose per gli esseri umani in quanto compromettono i processi di respirazione. Tuttavia, per oltre 2 miliardi di anni dopo la formazione della Terra, avvenuta circa 4,5 miliardi di anni fa, il pianeta ha mantenuto un'atmosfera leggermente riducente, cioè impoverita in ossigeno libero e arricchita in molecole di azoto, anidride carbonica, metano e vapore acqueo. Ma come era quindi la vita sulla Terra in quel periodo?

#### *L'ambiente della Terra primordiale.*

Durante l'eone conosciuto come Archeano, compreso tra 4 e 2,5 miliardi di anni fa, sia l'atmosfera che l'intera biosfera presentavano un aspetto molto differente da quello attuale. La tettonica delle placche era agli esordi e le terre emerse costituivano solo il 2-3% della superficie del pianeta, mentre il resto della Terra era ricoperta da vasti oceani. Alcuni ricercatori ipotizzano che all'inizio dell'Archeano gli oceani avessero un pallido colore verde a causa dell'alto contenuto di ioni di ferro. Si ritiene infatti che, in mancanza di ossigeno libero, il ferro abbia reagito con idrossidi ed altri elementi presenti nelle acque, come zolfo e cloro, dando origine a sali idrossidi di ferro, noti come "green rust", letteralmente "ruggine verde". Questi composti sono oggi rari in natura, in quanto, reagendo con l'ossigeno libero, il ferro produce ossidi ferro. Tuttavia, si pensa che durante l'Archeano la "green rust" ricoprì interamente i fondali oceanici. Anche la vita sul pianeta era molto diversa rispetto a quella attuale. Non c'erano organismi complessi come piante, animali o insetti. Al contrario, forme di vita primordiale, organismi microscopici, come i batteri, popolavano gli oceani. Si pensa che questi avessero un metabolismo anaerobico, ovvero in grado di produrre energia in assenza di ossigeno. Tuttavia, circa 2.7 miliardi di anni fa, organismi fotosintetici simili ai moderni cianobatteri presero il sopravvento negli oceani, e con loro ebbe inizio la crisi ambientale.

#### *Il Grande Evento Ossidativo.*

Grazie alla fotosintesi, i cianobatteri utilizzano la luce solare per convertire la CO<sub>2</sub> in nutrienti, rilasciando ossigeno come prodotto di scarto. In poco più di 200 milioni di anni, questo processo modificò radicalmente la composizione degli oceani, e in 600 milioni di anni mutò drasticamente la chimica dell'intero pianeta.

#### *L'ossigeno intrappolato nei sedimenti.*

In un primo momento, gli ioni di ferro nelle acque reagirono con l'ossigeno, dando vita a ossidi di ferro idrati, sostanzialmente ruggine, e minerali come l'ematite. Si ipotizza che a causa della loro presenza sui fondali marini, gli oceani avessero un colore rossastro. Le prove di questo processo sono visibili nei depositi marini di quel periodo, come ad esempio nella Banded Iron Formation (o BIF). Si tratta di rocce sedimentarie caratterizzate dall'alternanza di strati di ossidi di ferro (come ematite e magnetite), minerali a composizione silicea (come diaspro e selce) e/o carbonati ricchi in ferro (siderite e ankerite).

Queste rocce oggi affiorano solo in pochi luoghi, tra cui Australia, Canada, USA e Russia. Il processo di formazione della BIF è ancora oggetto di dibattito. Tuttavia, la loro presenza, e in particolar modo gli ossidi di ferro che formano queste rocce, sono una chiara evidenza che, tra 2,7 e 2,5 miliardi di anni fa, una grande quantità di ossigeno fu rilasciata negli oceani.

#### *L'inizio della crisi biologica.*

Con il passare del tempo, l'ossigeno iniziò ad accumularsi negli oceani, creando un ambiente sfavorevole alla vita dei batteri con metabolismo anaerobico, che scomparvero quasi del tutto. Iniziò così la crisi biologica. Solo alcune specie trovarono rifugio in ambienti poco ossigenati, come all'interno dei sedimenti marini, dove tutt'oggi sono confinati.

#### *Il rilascio di ossigeno in atmosfera.*

Senza competitori e in un ambiente ostile ad altre forme di vita, i cianobatteri fotosintetici si diffusero sempre più rapidamente negli oceani. In poco tempo, l'ossigeno saturò le acque. Gli stessi ioni di ferro non furono più in grado di stare al passo con le emissioni e catturare abbastanza ossigeno nei sedimenti. Circa 2,4 miliardi di anni fa, nel Proterozoico, ingenti quantitativi di ossigeno libero fuoriuscirono dagli oceani soprassaturi, raggiungendo l'atmosfera. Ecco il Grande Evento Ossidativo.

#### *La crisi globale e l'estinzione.*

Il Grande Evento Ossidativo, o Crisi dell'Ossigeno, rappresentò un periodo di profondo sconvolgimento dell'equilibrio ambientale terrestre. La crisi durò circa 300 milioni di anni, da 2,4 a 2,1 miliardi di anni fa, e probabilmente avvenne in diverse fasi successive.

Una volta giunto in atmosfera, l'ossigeno iniziò a reagire con il metano, producendo anidride carbonica. Allo stesso tempo, i cianobatteri continuarono a sequestrare CO<sub>2</sub> e rilasciare ossigeno. In poco tempo la concentrazione di entrambi i gas serra, metano e anidride carbonica, diminuì drasticamente, riducendo la capacità dell'atmosfera di trattenere calore e causando una rapida caduta delle temperature su scala globale. La Terra entrò nella prima era glaciale ad oggi conosciuta, la Glaciazione Uroniana, e venne quasi interamente ricoperta da ghiaccio.

Allo stesso tempo, a causa dei cambiamenti climatici e delle diverse condizioni chimiche del pianeta, la vita sulla Terra raggiunse l'orlo dell'estinzione totale. Ciò includeva gli stessi cianobatteri, che si ritrovarono in un ambiente impoverito in anidride carbonica, il carburante della fotosintesi, e arricchito in ossigeno, cioè i loro scarti.

#### *Il mondo dopo la crisi dell'ossigeno.*

Restano ancora molte domande aperte riguardo alla crisi ambientale cominciata nell'Archeano e protratta nel Proterozoico. Ad esempio, ci sono evidenze che i cianobatteri fossero già presenti prima di 3 miliardi di anni fa e non è ancora ben chiaro se la crisi ambientale sia stata innescata dalla comparsa di una particolare specie di questi organismi e/o da un picco di diversificazione e abbondanza negli oceani. Allo stesso modo non è ben chiaro quale ruolo abbiano avuto le grandi province magmatiche dell'epoca nel

determinare i cambiamenti climatici. O ancora, le tempistiche dei vari eventi e i rapporti di causa-effetto sono spesso oggetto di dibattito.

Ciononostante, la comunità scientifica è concorde nell'identificare il Grande Evento Ossidativo come una delle crisi ambientali ed ecologiche più significative che la Terra abbia affrontato. Circa 2,1 milioni di anni fa, alla fine della glaciazione Uroniana, le poche specie sopravvissute all'estinzione ereditarono un pianeta mutato radicalmente, con un'atmosfera contenente concentrazioni di O<sub>2</sub> stimate tra l'1% e il 10% di quelle attuali. Senza la crisi dell'ossigeno, la vita come la conosciamo oggi non potrebbe esistere.

Domenico Ravidà, dal sito GeoPop.