

# FINIRA' LA VITA SUL PIANETA TERRA ?

**Gian Antonio Danieli**

Dipartimento di Biologia, Università di Padova

[danieli@bio.unipd.it](mailto:danieli@bio.unipd.it)

Il problema della fine della vita sul pianeta terra e' oggi posto abbastanza frequentemente, ma in contesti in cui il sensazionalismo prevale su un' analisi scientifica adeguata. Volendo invece affrontare questa problematica in ambito scientifico, il primo ostacolo e' rappresentato proprio dalla definizione di "vita".

Anche negli ultimi decenni molti scienziati hanno affrontato questo punto, cercando di giungere ad una definizione accettabile attraverso l' identificazione delle proprieta' salienti della "vita". Malauguratamente persino due famosi premi Nobel come De Duve e Monod sono arrivati a conclusioni diverse. Un' interessante trattazione di questo problema fondamentale e' stata proposta da M. Rizzotti (1996). La definizione corrente, ed operativamente abbastanza soddisfacente, e' : un sistema in grado di mantenersi in uno stato lontano dall' equilibrio, di crescere e di moltiplicarsi, sfruttando un flusso continuo di energia e di materia proveniente dall' ambiente.

Tuttavia anche un' analisi superficiale rivela che questa definizione e' centrata sulle caratteristiche degli organismi uni- o pluri-cellulari e potrebbe essere adottata ai virus soltanto con non trascurabili forzature. Inoltre la definizione potrebbe essere applicata sia ad insiemi di organismi (popolazioni, ecosistemi) così come a macchine operatrici controllate da computer in grado di riprodurre sia il computer che la macchina, purchè fossero disponibili nel loro ambiente l' energia ed i componenti.

Anche la definizione di "organismo" non e' semplice perchè implica la definizione di vita. Ad esempio, secondo l' Oxford Dictionary un organismo e' " Organized body with connected interdependent parts sharing common life"; analogamente, il dizionario della lingua italiana Palazzi-Folena recita alla voce "organismo" : l' essere vivente in quanto composto da vari organi o parti, disposti armonicamente. La dizione "oggetto biologico" (che preferisco, sia per sottolinearne la materialità, sia perchè, a differenza di "organismo", il termine include anche i virus e potenzialmente i prioni) purtroppo non sfugge alla necessità della definizione di vita, perchè "biologico" deriva dal greco βίος, vita. Quindi mi conviene semplicemente premettere che affronterò il tema proposto limitandomi a considerare gli "oggetti biologici" finora conosciuti ed utilizzando le conoscenze finora disponibili sulle loro caratteristiche funzionali.

Gli oggetti biologici hanno colonizzato tutto il pianeta, dalle profondità oceaniche alle vette delle montagne più alte, dai deserti alle foreste ed alle savane, dalle distese di ghiacci agli ambienti temperati, dagli oceani alle pozze.

Le specie attualmente esistenti sulla Terra sono decine di milioni, ma moltissime sono le specie ancora sconosciute. Se considerassimo non solo le specie attuali, ma anche quelle scomparse nel corso della storia biologica della Terra, la cifra sarebbe dell'ordine dei miliardi. La varietà delle forme e delle dimensioni e' impressionante: escludendo i virus, si va dai micoplasmi, che hanno una massa dell' ordine di  $10^{-13}$  grammi, ai grandi cetacei, che hanno una massa superiore a  $10^8$  grammi. In termini di lunghezza ci sono circa 8 ordini di grandezza di differenza tra il micoplasma (0.3µm) e la balena azzurra (25 m).

Gli oggetti biologici sono tutti costituiti da Carbonio, Ossigeno, Idrogeno ed Azoto. Il Fosforo ha un ruolo fondamentale, in quanto costituente basilare degli acidi nucleici. Sia nelle forme strutturalmente più semplici, di dimensioni ultramicroscopiche, che nelle componenti di forme strutturalmente più complesse, di dimensioni microscopiche o macroscopiche, troviamo aggregati macromolecolari, spesso sotto forma di strutture polimeriche (proteine, acidi nucleici, zuccheri complessi) e di strutture di ordine superiore, risultanti da complessi (nucleo-proteine; lipo-proteine; sfingo-lipidi etc), dotate di peculiari proprietà chimico-fisiche. Ad esempio, lunghe catene polinucleotidiche a doppia elica presentano un' elevatissima stabilità, ma sono in grado di essere

duplicate con relativa facilità grazie alle caratteristiche dei legami idrogeno tra le eliche complementari. Analogamente, la struttura tridimensionale di ciascuna proteina ne determina la proprietà di interazione con altre molecole ed in particolare la proprietà di catalizzare reazioni biochimiche, alla base dei processi di sintesi o di degradazione.

Le relazioni relativamente stabili fra strutture molecolari danno luogo a forme, derivanti dall'occupazione di spazio in modo definibile, così come le forme visibili a livello macroscopico sono dovute a relazioni relativamente stabili tra cellule e/o loro prodotti.

Alla base della struttura e funzione degli oggetti biologici stanno reazioni chimiche; tali reazioni, inclusi gli scambi gassosi, avvengono sempre in ambiente acquoso, in definiti intervalli di temperatura e pressione. Tali intervalli sono tipici per ciascun organismo, ma possono essere molto diversi da organismo ad organismo. Esistono batteri termoacidofili, che vivono in sorgenti termali caldo-acide, in grado di moltiplicarsi a temperature tra 70°C e 75°C ad un pH tra 2.0 e 3.0. Altri batteri trovano condizioni ottimali di sviluppo e riproduzione a 55-59°C ed a pH 1-2. Analogamente, sono noti batteri che vivono e si riproducono in condizioni estreme di salinità; altri che prosperano in prossimità di "black smokers" (sorta di geysers sottomarini che emettono acqua alla temperatura di circa 370°C), ad una profondità in cui la pressione è superiore a 200 bar, ed altri ancora in grado di riprodursi a basse temperature. Va ricordato poi che alcuni batteri sfruttano come sorgente di energia l'ossidazione dello zolfo o del ferro e che molte specie batteriche sono in grado di formare spore, in grado di resistere molto bene all'essiccamento ed alle alte temperature.

Anche tra gli organismi dotati di veri e propri organi, ce ne sono alcuni in grado di resistere a condizioni estreme: i tardigradi (animali lunghi un quarto di millimetro, che abitano i muschi) possono resistere a temperature da -270°C a +150°C mediante una forte riduzione della percentuale di acqua nell'organismo (dall'85% a circa il 3%). In tale condizione, definita "criptobiosi" possono rimanere per anni, per ritornare poi alla vita normale non appena posti in grado di reidratarsi. Va però osservato che mentre i batteri estremofili sono in grado non solo di sopravvivere in condizioni estreme, ma di riprodursi, i tardigradi possono riprodursi soltanto in condizioni ottimali di idratazione.

Diverse sono le modalità di riproduzione, a seconda dei diversi tipi di organismi (unicellulari o pluricellulari), tuttavia si tratta sempre di processi di copia, associati ad una intrinseca ed insopprimibile genesi di variabilità

Il fenomeno universale e più semplice che introduce variabilità in ogni generazione è la mutazione, ossia variazione qualitativa o quantitativa nelle sequenze polinucleotidiche

Poiché l'errore (mutazione) per cause intrinseche è associato al processo materiale di duplicazione del materiale genetico, maggiore sarà il numero di copie prodotte, maggiore la probabilità che tra esse qualcuna contenga una o più nuove mutazioni. Inoltre, poiché molti agenti chimici o fisici sono mutageni, nel tempo che intercorre tra due eventi successivi di copia verranno prodotte altre variazioni, sempre accidentali; essendosi verificate nel DNA, saranno ereditabili dalla generazione successiva

Popolazioni di microorganismi (lieviti, batteri, micoplasmi, virus) sono in genere in grado di adattarsi molto rapidamente al mutare delle condizioni ambientali, in quanto tali popolazioni sono costituite da numerosissime unità in grado di riprodursi molto velocemente (vedi la comparazione tra gli intervalli di generazione di diversi organismi, Tabella 1). In popolazioni di questo tipo, in ogni generazione si verificano numerose mutazioni casuali; ognuna di queste potrebbe imprevedibilmente conferire la capacità di sopravvivenza e riproduzione nell'ambiente modificato. Qualora questa condizione si verificasse, la mutazione vantaggiosa verrà necessariamente ereditata da tutti i discendenti di quella popolazione e consentirà che in poche generazioni, nonostante l'iniziale riduzione dovuta alla morte di numerosi individui per il cambiamento delle condizioni ambientali, la popolazione raggiunga nuovamente una dimensione numerica che renda estremamente probabile la comparsa di diverse nuove mutazioni.

Organismo	Intervallo di generazione	Genoma (Mb)	Numero di geni
Mycoplasma genitalium	meno di 30'	0.6	470
Escherichia coli	meno di un' ora	4.6	4.288
Saccharomyces cerevisiae	meno di un' ora	13.8	6.340
Drosophila melanogaster	due settimane	165	13.600
Mus musculus	tre mesi	2500	< 30.000
Homo sapiens	25 anni	3500	< 30.000

**Tabella 1.** Intervallo di generazione, dimensione del genoma (in milioni di nucleotidi) e numero di geni in diversi organismi

La modificazione improvvisa di una o più caratteristiche dell' ambiente in cui si trova una popolazione o una specie può trovare pochissimi individui geneticamente adatti a confrontarsi con tale novità, in grado di sopravvivere e di riprodursi nel nuovo ambiente in quanto dotati di specifiche caratteristiche biologiche conferite da pregresse mutazioni casuali. La probabilità che vi siano in una popolazione individui in grado di sopravvivere ad una significativa modificazione ambientale, in quanto dotati di specifiche mutazioni vantaggiose e' proporzionale alla dimensione della popolazione. Popolazioni costituite da miliardi di individui hanno al loro interno sufficiente variabilità genetica da poter affrontare con successo variazioni ambientali anche significative. Nella popolazione adattata all' ambiente modificato compariranno successivamente altre mutazioni, in modo totalmente casuale.

Le caratteristiche ambientali la cui modificazione può influire negativamente sul destino di una specie sono fisiche (radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, temperatura, pressione), chimiche (elementi in soluzione; composizione dell' atmosfera, quantità e qualità di nutrienti complessi) e biologiche (rapporti di predazione, parassitismo, simbiosi, utilizzazione di substrati prodotti da altri organismi, etc).

Ogni tipo di organismo ha una tolleranza piu' o meno ampia rispetto alla variazione di una o più caratteristiche ambientali. Alcune variazioni che all' osservatore possono apparire trascurabili possono invece portare rapidamente all' estinzione di una specie. Se il numero degli individui in grado di riprodursi, appartenenti all' ultima popolazione superstite, e' molto ridotto, un evento accidentale qualsiasi (dall' infezione da parte di un parassita, all' incendio dell' habitat, ad un eccesso di predazione) può farli morire prima che si riproducano, determinando così l' estinzione della specie.

Poichè tra specie diverse esiste un equilibrio dinamico delle dimensioni delle rispettive popolazioni, basato sulle reciproche relazioni trofiche, anche l' estinzione di una singola specie può avere conseguenze importanti per un ecosistema. Tale perturbazione nella rete delle relazioni trofiche potrebbe teoricamente essere seguita da una "risistemazione", con la creazione di nuovi rapporti, purchè vi sia un tempo adeguato. Il tempo necessario allo stabilirsi di un nuovo equilibrio dipende dal tempo di generazione delle specie coinvolte, dalle dimensioni delle rispettive popolazioni e dalla loro variabilità genetica.

Proprio per la complessità delle reti di interazione e per l' intrinseca variabilità genetica delle specie implicate, e' difficile pensare che l' estinzione di una specie porti all' estinzione dell' intero bioma, con un effetto a cascata.

Variazioni ambientali molto significative ed estese potrebbero tuttavia portare all' estinzione di molte specie in uno stesso periodo di tempo. In effetti si sono verificate negli ultimi 570 milioni di anni probabilmente una ventina di estinzioni di massa, di cui alcune ben documentate:

- 440 milioni di anni fa (Ordoviciano) scomparve il 22% delle famiglie ed il 60% dei generi di invertebrati marini. L' estinzione avvenne in due ondate, separate da 10 milioni di anni;
- 280 milioni di anni fa (Permiano) scomparve il 50% delle famiglie, oltre l' 80% dei generi ed oltre il 90% delle specie di invertebrati marini;
- 80 milioni di anni fa (fine Cretaceo) scomparve il 50% dei generi esistenti, soprattutto invertebrati marini. Scomparvero anche i dinosauri. E' stato ipotizzato che questa estinzione di massa sia stata causata dall' impatto di un asteroide in una zona del Golfo del Messico.

Tentative ricostruzioni degli eventi seguiti a tale catastrofe indicherebbero che l'ecosistema terrestre raggiunse il nuovo equilibrio soltanto dopo 1.500.000 anni dopo tale perturbazione (Tabella 2). Non solo il recupero fu molto lento, ma alla fine le specie presenti e numericamente più importanti risultarono per la maggior parte diverse da quelle esistenti prima dell' evento catastrofico.

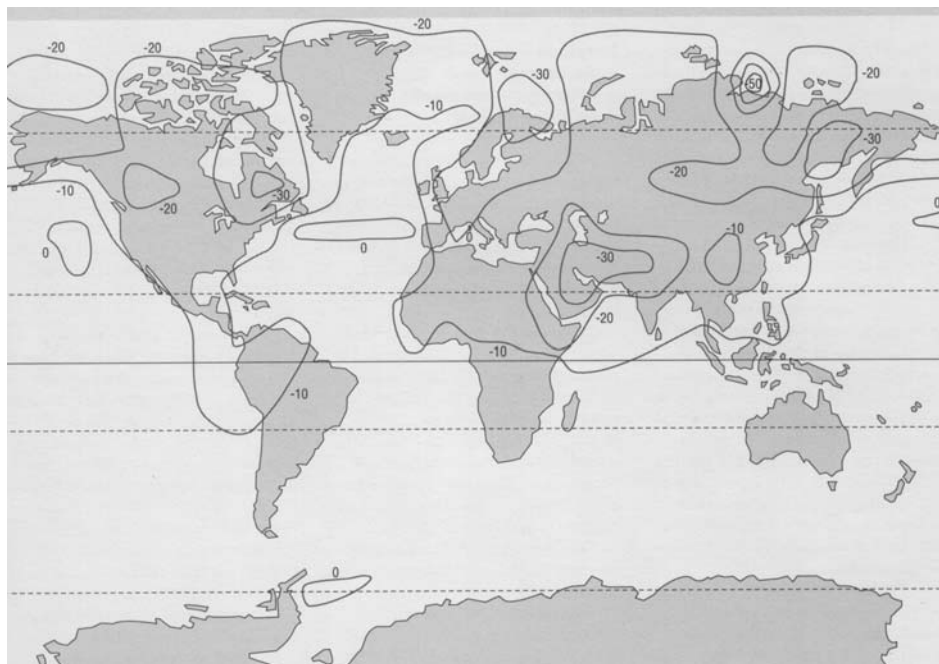
Tempo	Effetti
1 secondo	Impatto del meteorite
1 minuto	Terremoti di intensità superiore al 10mo grado della scala Richter
10 minuti	Incendio spontaneo delle foreste del Nord America
10 ore	Tsunami investono le coste della Tetide
1 settimana	Prime estinzioni di specie
9 mesi	Le nuvole di fumo causate dagli incendi cominciano a schiarirsi
10 anni	Finisce il periodo di raffreddamento dovuto alle conseguenze degli incendi
1000 anni	Si riprende completamente la vegetazione continentale
1500 anni	Cominciano a riprendersi gli ecosistemi bentonici di profondità
7000 anni	Gli ecosistemi bentonici ritornano in equilibrio
500.000 anni	Gli ecosistemi oceanici cominciano a stabilizzarsi
1.000.000 anni	Gli ecosistemi oceanici ritornano in equilibrio
2.500.000 anni	L' intero ecosistema ritorna in equilibrio

**Tabella 2.** Cronologia delle conseguenze dell' impatto del meteorite alla fine del Cretaceo (secondo Conway Morris)

Gli eventi catastrofici di origine naturale che colpiscono la nostra immaginazione, come terremoti, maremoti, inondazioni, incendi, sono in genere troppo localizzati per poter determinare estinzioni di massa. Perchè un evento naturale possa avere significativi effetti catastrofici sull' intero bioma e' necessario che esso sia improvviso e che liberi una quantità spaventosa di energia. Per questa ragione, l' unico evento naturale potenzialmente in grado di causare una catastrofe biologica e' la collisione con un asteroide, le cui conseguenze possibili sono state testé illustrate.

Tra gli eventi catastrofici di origine umana, l'unico evento ipotizzabile in grado di liberare una quantità spaventosa di energia in un tempo brevissimo e' un' esplosione nucleare. Molte sono state le esplosioni di questo tipo, avvenute negli ultimi cinquant' anni. Si trattava di esplosioni di grandissima potenza, effettuate a scopo sperimentale in atmosfera, a modesta profondità o sulla superficie terrestre, allo scopo di perfezionare armi di distruzione di massa. Nonostante ciascuna di esse abbia indubbiamente provocato catastrofi ecologiche localizzate ed effetti a lungo termine anche a distanza, in nessun caso si e' trattato di eventi catastrofici su larga scala. Tuttavia, simulazioni effettuate nella seconda metà degli anni '80 da studiosi molto seri hanno indicato che una eventuale guerra nucleare tra USA e URSS avrebbe potuto portare non solo alla distruzione completa di grandi aree molto densamente popolate ed industrializzate, ma anche ad un significativo cambiamento climatico (il cosiddetto "nuclear winter") destinato a perdurare per oltre un decennio, con un abbassamento molto marcato delle temperature nell' emisfero boreale (Figura 1). Nonostante la spaventosa carneficina, la devastazione di enormi territori ed i mostruosi danni all' ecosistema, e' difficile credere che tutte le forme di vita sarebbero state annientate. Anche nelle

zone più colpite sarebbe stata infatti possibile la sopravvivenza e la successiva moltiplicazione delle forme di vita più radioresistenti (es. scarafaggi, ratti), sia pure in un contesto ecologico molto difficile.



**Figura 1.** Secondo i modelli del “nuclear winter”, dopo una guerra nucleare con un numero di esplosioni corrispondenti in totale a 4590 megatoni si avrebbe una diminuzione spaventosa delle temperature al suolo, a causa delle conseguenze degli incendi. I fumi sarebbero molto più densi di quelli liberati da incendi di foreste, a causa della combustione di enormi quantità di gomma, plastica, petrolio etc.

Rimangono da considerare gli scenari che implicano una modificazione graduale delle caratteristiche chimiche o fisiche dell’ ambiente. Per quanto riguarda fenomeni di “avvelenamento” dovuto ad inquinamento chimico prodotto dall’ uomo, e’ facile predire che a causa dei fenomeni di accumulo nelle catene alimentari, gli organismi ai vertici di tali catene sarebbero i primi a pagarne le conseguenze. Si potrebbero quindi verificare estinzioni di tali specie. Una riserva riguardo a questa previsione e’ tuttavia dovuta alla complicazione delle relazioni trofiche, non ancora ben conosciute, ed alla potenziale adattabilità di alcuni organismi che ipoteticamente potrebbero riuscire ad immobilizzare alcuni veleni od a trasformarli in prodotti meno tossici, attuando una qualche *bioremediation* .

Negli ultimi anni i cambiamenti climatici sono diventati argomento di vivace discussione scientifica, ma sono stati anche proposti dai mezzi di comunicazione di massa come segni dell’ irrimediabile declino del pianeta.

E’ innegabile il riscaldamento progressivo del pianeta, negli ultimi tempi stimato intorno ad un grado per secolo. Un’ eventuale accelerazione di questo processo porterebbe certamente conseguenze non trascurabili per gli insediamenti umani costieri e per gli ecosistemi, ma non necessariamente decreterebbe la fine della vita sul pianeta Terra. Infatti, data la progressività del fenomeno, sarebbe possibile sia lo spostamento graduale di piante ed animali in areali per loro più permissivi (attraverso naturali fenomeni di colonizzazione), sia il realizzarsi di nuovi adattamenti genetici in diversi organismi.

Immaginando che progressivamente, nel corso di milioni di anni, condizioni di estrema aridità del pianeta rendessero impossibile la vita sulla sua superficie, per un certo periodo, probabilmente molto lungo, diverse forme di vita pluricellulari potrebbero continuare in ambienti cavernicoli. Quando le condizioni ambientali diventassero insostenibili per qualsiasi organismo pluricellulare,

per un tempo molto lungo (e difficilmente definibile) rimarrebbero comunque in vita enormi popolazioni di microorganismi, alcuni dei quali in grado di ricavare energia dall'ossidazione di composti inorganici.

Concludendo, poichè gli oggetti biologici che conosciamo hanno tutta la loro chimica basata su reazioni in ambiente acquoso, possiamo ipotizzare che forme di vita possano esistere sul nostro pianeta finchè sia disponibile acqua, ma le nostre attuali conoscenze non ci permettono di immaginare quali saranno i futuri percorsi dell'evoluzione biologica.

### Bibliografia

Bach W.: *Climatic consequences of Nuclear War*. In "Maintaining Life on Earth" Sixth World Congress of the International Physicians for the Prevention of Nuclear War. Jungjohann Verlagsgesellschaft Neckarsulm un Munchen, 1986, pp.135- 155

Conway Morris B. *The crucible of creation: the Burgess Shale and the rise of animals*. Oxford University Press, 1998

Ehrlich P.R., Sagan C., Roberts W.O. : *The Cold and the Dark. The World after the Nuclear War*. Open Space Institute Inc., 1984 ( edizione italiana " Il freddo e il buio", Frassinelli Editore, 1986

Rizzotti M. (ed.) : *Defining life: the central problem in theoretical biology*. Seminario di Scienze Biologiche, Universita' di Padova, 1996

Stearns S.C. & Hoekstra R. F. *Evolution: an Introduction*. Oxford University Press, 2000