



LA TERMODINAMICA DI GAIA

Visto che per questo numero non ho necessità di fare da specchio ad un qualche argomento specifico, mi lancerò su un tema che considero molto importante: esiste un modello termodinamico della vita sul nostro pianeta?

La risposta è positiva, esiste ed è stato sviluppato a partire dal 1965 da un chimico come noi, tale James Lovelock, forse lo conoscete. L'idea gli venne collaborando con la NASA sullo studio dell'atmosfera di Marte: la sua conclusione a riguardo era che l'atmosfera di Marte non poteva ospitare la vita, era inutile cercarla semplicemente perché quell'atmosfera era all'equilibrio, pur essendo l'unico mezzo fluido di scambio esistente sul pianeta. L'esistenza della vita l'avrebbe sicuramente cambiata. L'atmosfera terrestre gli sembrava all'estremo opposto, invece, lontana dall'equilibrio chimico con un alto contenuto di ossigeno e di azoto molecolari, che potevano essere spiegati appunto dal lavoro indefesso della biosfera. L'azoto senza la vita sarebbe tornato sotto forma di nitrati nell'oceano e l'ossigeno si sarebbe consumato vista la sua enorme reattività; invece stanno lì ormai da almeno 5-600 milioni di anni.

L'idea è che il cosiddetto *sistema Terra* sia costituito dall'insieme, badate bene, *strettamente integrato* di parti viventi e costituenti inorganici da almeno 5 km sotto la crosta fino all'estremo superiore dell'atmosfera; questo miscuglio di materiali evolve *insieme*, dunque non c'è solo una *evoluzione organica* della parte biologica (quella che chiamiamo evoluzione darwiniana) ma anche della *parte inorganica, minerale* (Fig. 1).

Secondo alcuni geologi come Grew e Hazen il numero di minerali è passato da poche decine ad oltre 5.000 durante l'arco di esistenza della vita sulla Terra, e dunque c'è stata una evoluzione dei minerali come c'è stata una evoluzione darwiniana: una co-evoluzione.

Il dato di fatto è che segni di esistenza di esseri viventi risalgono a circa 4 miliardi di anni, dunque a soli 500 milioni di anni dopo la formazione del pianeta, avvenuta 4,5 miliardi di anni fa, appena la crosta si solidificò.

Non sappiamo esattamente come questi sistemi cellulari lontani dall'equilibrio ed autoreplicantesi si siano formati ma sappiamo che lo hanno fatto ed hanno poi trasformato completamente la crosta e il panorama generale, la composizione e il comportamento della crosta nella pellicola di alcune decine di chilometri che riveste il pianeta.

Nella prima fase di questo processo l'energia proveniente dall'interno del pianeta e generata dalla degradazione radioattiva degli elementi pesanti è stata certamente determinante, con un flusso di calore e minerali dalla crosta profonda; ma col tempo si è generata una più potente forma di assorbimento energetico che ha fatto tesoro del gigantesco flusso solare di luce e calore attraverso la fotosintesi clorofilliana e che ha imposto un ciclo del carbonio che ha trasformato completamente la composizione dell'atmosfera terrestre. Il sistema Terra assorbe energia dal Sole e la utilizza

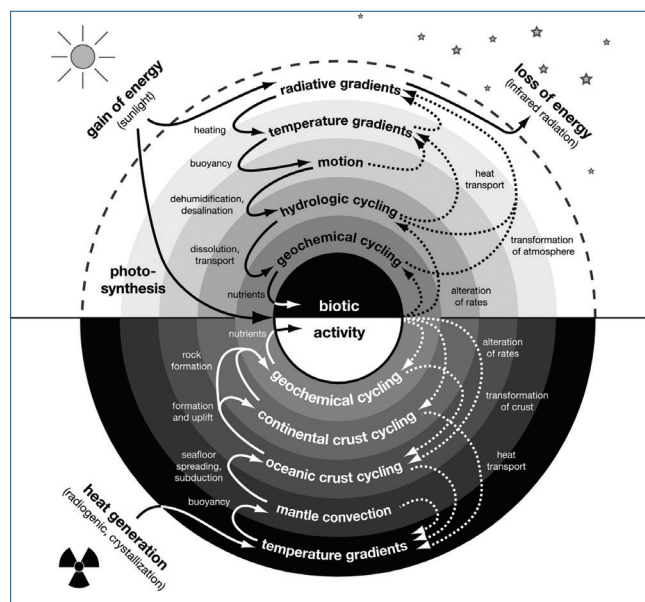


Fig. 1 - La radiazione solare apporta energia a bassa entropia al sistema terrestre, che viene convertita da diversi processi in diverse forme. Le dinamiche che ne derivano distribuiscono questa energia e modificano le proprietà materiali e radiative del pianeta, cosicché lo stato termodinamico del pianeta risulta da queste conversioni energetiche e dalle loro interazioni (da <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571064510001107>)



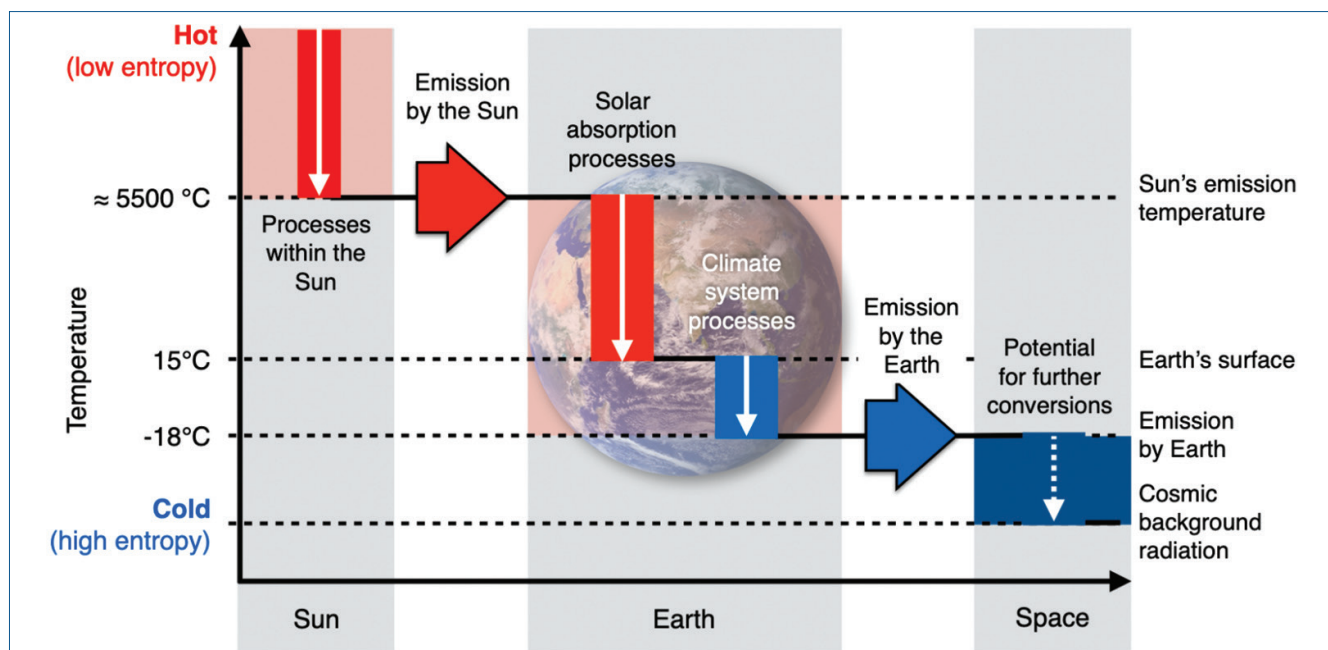


Fig. 2 - Nel suo percorso dal Sole verso lo spazio, l'energia subisce una perdita di entropia radiativa attraverso le trasformazioni all'interno del sistema terrestre; ciò costituisce una manifestazione del secondo principio della termodinamica (da <https://arxiv.org/pdf/2005.09216>)

costruendo strutture dissipative sempre più complesse. Pur rifuggendo da qualunque immagine o descrizione finalistica rimane che c'è stato un crescendo di energia impiegata e di costruzione di quelle che Prigogine chiamava strutture dissipative, non dissimili dai vortici dell'acqua corrente o da quelli delle nuvole. La rete della biosfera è l'equivalente chimico-biologico dei vortici dell'acqua che corre. Non si tratta di semplice omeostasi, è molto di più.

Dallo sfruttamento delle poche decine di TW provenienti dal nucleo come calore si è passati alle centinaia di migliaia di TW provenienti dal Sole come luce e calore; l'effetto serra ha fatto il resto, promuovendo uno sviluppo incredibile della vita. Il modello che Lovelock (e la biologa Margulis) chiamò Gaia, su suggerimento dello scrittore, premio Nobel William Golding, è stato aspramente criticato ed ancora oggi non è ben accetto in molti ambienti. Tuttavia il criterio generale e le osservazioni di partenza sono innegabili. Timothy Lenton e

Axel Kleidon sono probabilmente il principale riferimento scientifico per chi vuole mantenersi aggiornato sul tema da punto di vista modellistico (Fig. 2). Ma il concetto con cui vorrei terminare questa brevissima disamina è l'idea del criterio generale di evoluzione, un criterio che in termodinamica non è al momento accettato, ma lo è in molte discipline naturalistiche. In sostanza si tratta di questo: un sistema lontano dall'equilibrio evolve spontaneamente massimizzando la produzione di entropia, ossia va verso l'equilibrio e ci va alla massima velocità. Le transizioni dei sistemi complessi come sarebbe Gaia, sono dunque in direzione di dissipare o degradare, se volete, sempre più energia di alta qualità come è la luce, ma anche di costruire strutture dissipative sempre più complesse. Credo che ci voglia più lavoro su questi temi generali; se fossi più giovane ci orienterei il mio lavoro di ricerca, anche perché le urgenze planetarie che stiamo vivendo, a partire dalla crisi climatica, indicano che abbiamo impattato sul cuore del sistema Terra.