

A, B, C ragionato della crisi ambientale e del riscaldamento globale

Angelo Baracca

Sono sotto gli occhi (e non solo questi) di tutti le conseguenze ambientali sempre più disastrose dell'inarrestabile aggravamento del riscaldamento climatico, ma esso è notevolmente più grave dell'ennesimo allarme lanciato di recente dalla Commissione Internazionale IPCC¹. Credo che nell'opinione pubblica non vi sia spesso molta chiarezza sui complessi processi che sono alla base dei cambiamenti ambientali e sui loro possibili sviluppi ed esiti, e che valga la pena cercare di esporli in maniera ordinata e possibilmente accessibile a tutti. Per dirne una, ho l'impressione che dietro molte denunce sulle cause antropiche del riscaldamento globale, dietro i provvedimenti che si prendono, o spesso solo si auspicano - indubbiamente urgentissimi, ed anzi decisamente tardivi, e per lo più insufficienti - ci sia un presupposto non detto: cioè che se per incanto si potessero azzerare tutte le emissioni climateranti, il clima comincerebbe a ristabilirsi, invertirebbe la tendenza che si è innescata e ritornerebbe, sia pure con tempi molto lunghi, verso le condizioni precedenti alla rivoluzione industriale.

E in relazione con questo mi sembra che non ci si ponga il problema di quali potranno, in ogni caso, essere gli esiti del deterioramento ambientale, e di conseguenza sociale ed economico. Ovviamente sono consapevole che gli sviluppi futuri non sono in alcun modo prevedibili, ma ritengo che - pur non essendo un climatologo ma un semplice fisico - sia possibile aggiungere qualche osservazione più specifica, e spero utile.

Forse non è oziosa una premessa, anche se dovrebbe essere largamente conosciuta. L'**effetto serra naturale** è sempre esistito, ed è quello che ha consentito lo sviluppo della vita sulla Terra: è la **componente artificiale all'effetto serra**, prodotta dalle attività antropiche, quella che sta sconvolgendo lo stato dell'atmosfera. In parole semplici (una discussione rigorosa implicherebbe aspetti complessi), la radiazione emessa dalla superficie solare (a circa 8.000 °C) ha uno spettro che va dall'ultravioletto (alta frequenza, piccola lunghezza d'onda), alla luce visibile (che consente la vita vegetale), fino all'infrarosso (bassa frequenza)². La radiazione assorbita

1. Mario Molina et al., *Climate report understates threat*, Bulletin of the Atomic Scientists, 9 ottobre 2018, <https://thebulletin.org/2018/10/climate-report-understates-threat/>. Angelo Baracca, *L'allarme dell'IPCC sul riscaldamento globale potrebbe essere più grave di quanto viene valutato*, *Presenza*, 13 ottobre 2018, <https://www.presenza.com/it/2018/10/lallarme-sul-riscaldamento-globale-potrebbe-essere-piu-grave-di-quanto-viene-valutato/>.

2. L'estensione dello spettro elettromagnetico emesso da una superficie dipende fortemente dalla sua temperatura: al crescere di questa lo spettro di emissione si estende a lunghezze d'onda sempre più piccole (frequenze alte). Se la superficie è a migliaia di gradi (come la superficie solare) emette su tutto lo spettro di frequenze, da quelle basse (onde radio, infrarosso) a quelle più alte (visibile, ultravioletto, raggi X); se la superficie è a temperature di decine di gradi emette solo basse frequenze, essenzialmente infrarosso: è il motivo perché il nostro occhio non vede al buio o di notte. Quindi i corpi sulla Terra assorbono radiazione ad alta frequenza (visibile e infrarosso) ma la riemettono interamente nell'infrarosso.

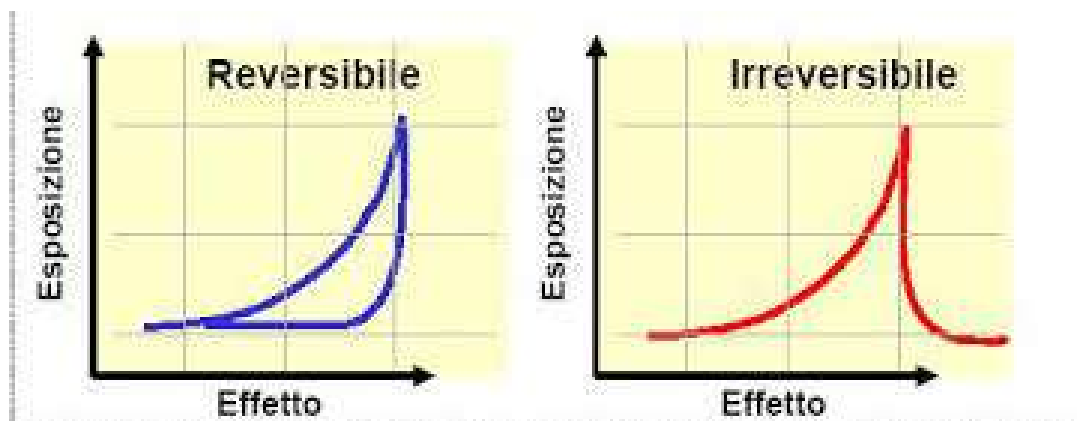
dalla superficie della Terra (circa 20 °C) viene tutta riemessa nell'infrarosso. Ma l'atmosfera si comporta come il vetro di una serra, lascia largamente passare le componenti a frequenza più alta in arrivo, ma ha un grande potere assorbente per la componente infrarossa riemessa: questa rimane quindi intrappolata all'interno dell'atmosfera, provocandone un riscaldamento. Questo riscaldamento, cioè l'effetto serra naturale, ha mantenuto sulla Terra le condizioni climatiche che hanno consentito lo sviluppo della vita: per confronto, Mercurio è praticamente privo di atmosfera, durante il giorno le regioni vicine all'equatore raggiungono temperature di 430 °C, che la notte scendono sotto i -185 °C.

A questo effetto serra naturale l'azione dell'uomo ha aggiunto una componente artificiale addizionale con l'emissione di "gas serra" prodotti artificialmente - CO₂ e altri gas.

* * *

Un primo aspetto che per molti risulterà ovvio è che l'atmosfera è un sistema termodinamico altamente complesso. È cosa nota che **i processi termodinamici sono irreversibili**. In soldoni, mentre se si lancia una pallina lungo un piano inclinato verso l'alto, quando essa si arresta inverte il moto e scende riacquistando la medesima velocità (prescindendo dall'attrito, che è un fenomeno dissipativo tipicamente termodinamico): ma se un gas esce da un foro in un recipiente, non vi rientra spontaneamente (ma non roviniamo ai bambini il racconto della lampada di Aladino); o se semplicemente scaldiamo acqua mediante una resistenza elettrica, non possiamo trasformare di nuovo integralmente il calore in elettricità.

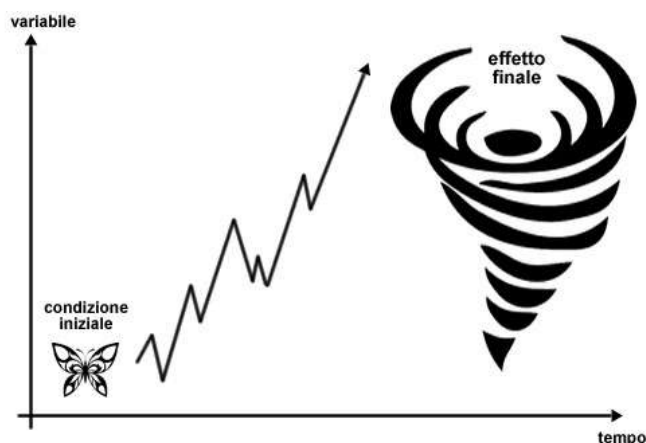
Se modifichiamo lo stato dell'atmosfera, una volta che potessimo eliminare l'agente che l'ha modificato il suo stato non ripercorrerebbe all'indietro i medesimi stati e non ritornerebbe allo stato iniziale (ne vedremo vari motivi).



In un sistema biologico L'esposizione a un agente esterno può avere un effetto reversibile, cioè con l'eliminazione dell'agente il sistema torna nella condizione iniziale, o irreversibile, cioè eliminando l'agente esterno il sistema evolve verso stati molto diversi e imprevedibili.

* * *

Per di più, come si diceva, l'atmosfera è un **sistema altamente complesso**, forse il più complesso sistema naturale che conosciamo (a parte il cervello). Un sistema per di più fortemente **non lineare**³. Per i comportamenti dei sistemi complessi è ormai passato nel linguaggio comune quello che viene chiamato “**effetto farfalla**” - una farfalla batte le ali qui e fra un mese scoppia un terribile tempesta nell'Atlantico: può esistere un nesso? Per quanto impossibile da stabilire con certezza.



È quella che nel linguaggio dei sistemi complessi si chiama “**sensibilità forte alle condizioni iniziali**”: partendo da due stati arbitrariamente vicini fra loro (cos'è un battito di ali di farfalla per lo stato dell'atmosfera?), l'evoluzione dello stato del sistema può divergere in modo drastico, portando a stati estremamente diversi, quali potrebbero essere una grande tempesta o una bella giornata di sole. È ovvia quindi l'intrinseca imprevedibilità dell'evoluzione dello stato di un sistema complesso. Lo scorso anno si rovesciarono sui Caraibi e le coste degli Stati Uniti ben 5 cicloni di eccezionale violenza in stretta successione. Un'alterazione dello stato dell'atmosfera, in particolare un'alterazione artificiale, può imprevedibilmente amplificarsi in modo incontrollabile.

* * *

Quando poi i sistemi non lineari vengono alterati da due o più fattori diversi, il loro effetto complessivo non è dato semplicemente dalla somma degli effetti che avrebbero i singoli fattori separati, ma vi è un **effetto sinergico**: l'effetto complessivo risulta potenziato, a volte in misura molto notevole (altre volte può essere depotenziato).

Questo concetto venne introdotto nel caso dei farmaci, o di sostanze tossiche: l'effetto dell'associazione di due farmaci diversi (o di due tossine) non è semplicemente la somma degli effetti separati dell'uno e dell'altro, ma risulta comunemente potenziato, o in certi casi depotenziato (antagonista⁴), o può anche risultare molto diverso, per esempio presentare nuovi effetti collaterali. Ad esempio, l'interazione nei polmoni dei gas inquinanti con le

3. Sempre in soldoni, in un sistema non lineare l'effetto di una perturbazione non è semplicemente proporzionale all'intensità di questa (come l'allungamento di una molla rispetto alla forza che lo provoca) ma può variare in modi assai diversi, quadratico, cubico, logaritmico, esponenziale, e via discorrendo.

microparticelle inalate è un importante meccanismo sinergico nella tossicologia dell'inquinamento atmosferico: solitamente le sostanze tossiche adsorbite nel particolato possono penetrare nei polmoni ed agire in modo molto più efficace di quanto potrebbero normalmente fare se fossero inalate nella fase gassosa. È uno degli aspetti che comunemente non vengono molto considerati, sia dai cittadini sia nei provvedimenti presi da amministratori e politici.

Vedremo molti casi significativi e molto importanti relativi al cambio climatico.

* * *

Nei sistemi non lineari agiscono poi dei **feedback (retroazione)**: possono essere **feedback negativi**, che contrastano il cambiamento esterno e tendono a riportare il sistema nelle condizioni non perturbate, o **feedback positivi**, che invece amplificano la perturbazione.

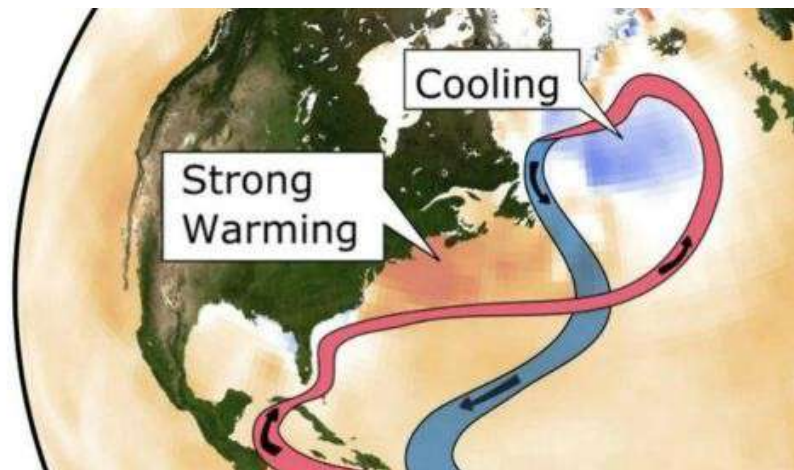
Se anche, quindi, tutte le emissioni che hanno alterato il clima cessassero improvvisamente, questo non ritornerebbe necessariamente alle condizioni che conoscevamo in passato. Le emissioni che si sono accumulate fino a oggi non solo continueranno ad agire per chissà quanto tempo ed a modificare ulteriormente le condizioni climatiche, ma ci sono molti altri processi messi in moto che continueranno ad agire come feedback positivi.

Lo scioglimento dei ghiacci scoprirà il permafrost, il quale scongelerà rilasciando grandi quantitativi di metano, un gas che contribuisce circa 20 volte più dell'anidride carbonica all'effetto serra⁵. Analogamente, i ghiacci che ricoprono (sempre meno) l'Artico riflettono la radiazione solare molto di più della superficie del mare, più scura, che rimarrà scoperta.

Il riscaldamento globale sta indebolendo la Corrente del Golfo, è probabile che essa cessi (o possa addirittura invertirsi): le conseguenze possono essere disastrose, come un rapido innalzamento del livello del mare verso la costa orientale degli Stati Uniti, inverni più estremi verso l'Europa e altri effetti (<http://www.centrometeo.com/articoli-reportage-approfondimenti/climatologia/5889-corrente-del-golfo-rallenta-quali-conseguenze-clima>).

4. L'interazione antagonistica è alla base della maggior parte degli antidoti ai veleni; in alcuni casi, due composti chimici che hanno degli effetti opposti a carico della stessa funzione fisiologica possono annullarsi l'uno con l'altro. Una forma di antagonismo interchimico si manifesta in modo opposto al potenziamento: una sostanza che non esercita un effetto particolare su di un tessuto o su di un sistema diminuisce la tossicità di un'altra sostanza.

5. Fonti geologiche indicano che qualcosa di simile è già successo almeno due volte nella storia della Terra. La più recente di queste catastrofi si verificò circa 55 milioni di anni fa provocando quello che i geologi chiamano il Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM, Massimo Termale Paleocene Eocene, temperatura media superiore di 8°C rispetto a oggi), quando un rilascio di metano provocò un rapido riscaldamento del pianeta perturbando il clima per più di 100.000 anni [Paleocene 66-56 milioni di anni fa, Eocene 56-33,9]. La catastrofe precedente si verificò 251 milioni di anni fa, alla fine del periodo Permiano, quando una serie di rilasci di metano furono vicini a cancellare tutte le forme di vita sulla Terra: più del 94% delle specie marine presenti nei fossili del periodo scomparvero improvvisamente (terza estinzione di massa).



Anche la distruzione delle foreste, per opera dell'Uomo o direttamente per cause ambientali, oltre a deteriorare gravemente lo stato dei suoli, la loro permeabilità (ne sappiamo qualcosa in Italia), influisce fortemente anche sugli scambi termici e sull'evaporazione. Per contrastare il riscaldamento globale è altrettanto fondamentale salvare le foreste che ridurre le emissioni. Una campagna di Greenpeace denuncia che *“intere aree delle foreste boreali del nord Europa distrutte per estrarre polpa di cellulosa ... per realizzare fazzoletti e altri prodotti di carta usa e getta”*⁶. Per non parlare delle foreste alpine distrutte dal recente maltempo⁷.

L'incessante aumento delle aree urbanizzate, cementificate, asfaltate modifica profondamente il microclima, genera trappole di calore e inversioni termiche. Inoltre le concentrazioni urbane provocano uno sbilanciamento irreversibile delle intere regioni in cui si trovano, diventano centri di attrazione di tutte le risorse dall'acqua e l'energia ai prodotti dell'agricoltura, frammentano gli ecosistemi incidendo quindi sulla biodiversità, e generano quantità crescenti di rifiuti e inquinanti. Si può aggiungere che tutto il bacino del Mediterraneo, dopo essere stato il centro degli scambi del sistema coloniale, concentra oggi le attività dei paesi che vi si affacciano con il maggiore tasso di sfruttamento e inquinamento, diventando un mare morto in modo per lo meno a lunghissimo termine irreversibile. Insomma, ci sono molte ragioni per pensare che l'effetto serra continuerà ad aumentare.

Ma ci sono altri innumerevoli aspetti da considerare nel deterioramento delle condizioni ambientali. Non dimentichiamo l'attuale inarrestabile **perdita di biodiversità** (41% di tutte le specie di anfibi e 26% dei mammiferi sono nella lista delle specie in pericolo di estinzione), la biosfera diventa sempre meno vitale e ospitale: un recente articolo dell'autorevole rivista PNAS denuncia niente meno che il rischio che sia iniziata la **sesta estinzione di massa**.⁸. Ricordiamo anche che le api sono minacciate, e con loro

6. O. Milman, Scientists: *Saving forests as urgent as reduced carbon emissions*, Bulletin of the Atomic Scientists, 4 ottobre 2018, <https://thebulletin.org/2018/10/scientists-saving-forests-as-urgent-as-reduced-carbon-emissions/>.

7. Marinella Correggia, *“La foresta boreale non è usa e getta”*, L'ExtraTerrestre, inserto del Manifesto, 11 ottobre 2018, p. 2.

8. G. Ceballos, P. R. Ehrlich & R. Dirzo, *Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines*, PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), 25 luglio 2017, Vol. 114 (30), pp. E6089-E6096,

l'insostituibile funzione impollinatrice che svolgono. Si è registrata una diminuzione drastica degli insetti sul Pianeta: fino a una ventina di anni fa in un viaggio in automobile su una certa distanza il parabrezza si offuscava per gli insetti che si “spiaccicavano”, oggi non accade più, il parabrezza rimane pulito!

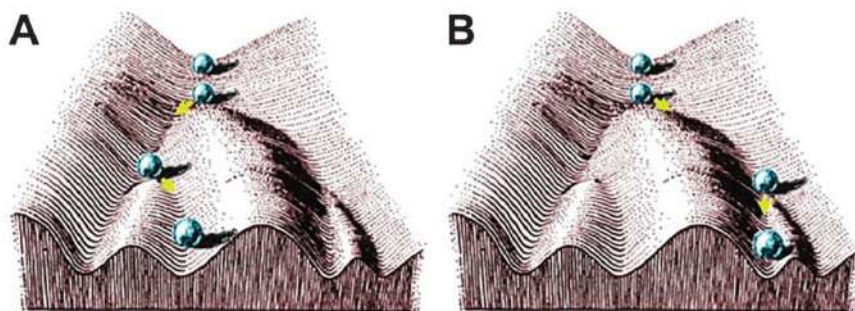
Insomma, l'ambiente è un sistema estremamente complesso e interconnesso. Il riscaldamento globale potrebbe causare una “zanzara-pocalisse”⁹. Ancora, ricercatori del Laboratorio sull'Impatto Climatico di Chicago hanno messo in luce altri effetti inaspettati, per esempio un aumento dei suicidi per i danni agricoli, come mostrerebbe uno studio sull'India, o una diminuzione della produttività dai lavoratori con l'aumento delle temperatura¹⁰.

* * *

Ma al di là tutti gli allarmi possibili ce n'è uno a mio avviso che potrebbe risultare esiziale.

Un sistema complesso, non lineare, fortemente perturbato può incontrare nella sua evoluzione delle biforcazioni, che gli fanno imboccare strade completamente diverse per la sua evoluzione, si chiamano **biforcazioni**. Sarebbero insomma dei veri punti di non ritorno: eliminando la perturbazione il sistema non ritornerebbe affatto nella condizione di partenza, ma evolverebbe comunque verso un'altra direzione completamente diversa, ancorché imprevedibile.

Il concetto di biforcazione fu introdotto dal genetista inglese Conrad Waddington (1905-1975) per rappresentare potenzialità diverse dell'evoluzione biologica causate appunto da piccole variazioni dell'ambiente (paesaggio epigenetico).



Vista la crescente intensità, frequenza ed estensione di eventi climatici estremi è necessario cominciare ad interrogarsi quale possa essere un punto di non ritorno. In questa direzione va l'allarme lanciato dal Segretario

<http://www.pnas.org/content/114/30/E6089> . Si veda Le Scienze, *Sull'orlo della sesta estinzione di massa*, 11 luglio 2017,

http://www.lescienze.it/news/2017/07/11/news/perdita_popolazioni_specie_animali_estinzione-3598235/.

⁹ D. Stover, *Climate change could bring more “mosquito-pocalypses”*, Bulletin of the Atomic Scientists, 3 ottobre 2018, <https://thebulletin.org/2018/10/climate-change-could-bring-more-mosquito-pocalypses/>.

¹⁰ E. Holden, *The Climate Impact Lab studies the less-known costs of climate change. Like suicide*, Bulletin of the Atomic Scientists, 10 ottobre 2018, <https://thebulletin.org/2018/10/the-climate-impact-lab-studies-the-less-known-costs-of-climate-change-like-suicide/>.

Generale dell'ONU António Guterres: *“Se non cambieremo strada entro il 2020, rischiamo di superare il punto in cui possiamo evitare che il cambiamento climatico sia incontrollabile, con conseguenze disastrose ...”*.

Ovviamente nessuno è in grado di prevedere quale potrebbe essere l'evoluzione futura, ma si può richiamare quello che accadde in altre epoche, si veda la nota 4. Si usa di frequente il termine “collasso” ambientale, ma è troppo generico.

È plausibile che i fenomeni climatici estremi possano intensificarsi sempre più, in intensità e in frequenza, come del resto sembra stiano facendo. È possibile che l'innalzamento del livello dei mari renda inabitabili vaste regioni costiere che sono state (anche troppo) densamente antropizzate, che altre vaste regioni divengano completamente desertificate. È presumibile che con il mutare delle condizioni ambientali e sociali si manifestino epidemie nuove e devastanti¹¹. È plausibile che si intensifichino le guerre per il controllo delle risorse e la difesa delle aree privilegiate, e che aumenti sempre più l'abisso fra la ricchezza e la povertà, provocando migrazioni bibliche.

Senza mettere in conto la possibilità più catastrofica di una guerra nucleare generalizzata che, oltre alle vittime dirette e indirette causate dalle radiazioni ionizzanti, genererebbe un cosiddetto “inverno nucleare”, con conseguente collasso dell'agricoltura ed altri sconvolgimenti radicali, carestie, epidemie.

* * *

Nel caso che il deterioramento in atto non venga arrestato, e si intensifichi, mi sembra che possa essere utile cercare di ragionare su quale potrebbe essere l'esito estremo.

A me appare inverosimile che il genere umano - che ha studiato i meccanismi dell'evoluzione biologica e della storia geologica della Terra, e ha ricostruito come tutte le specie viventi che sono esistite abbiano finito prima o poi per estinguersi - non metta esplicitamente in conto che anche che la stessa specie umana possa un giorno scomparire. Forse questa idea è implicita in qualche concezione catastrofista, ma meriterebbe una considerazione più seria, che potrebbe forse convincere per lo meno a prendere provvedimenti più radicali ed efficaci. Anche perché il rischio concreto sarebbe

11. Nei decenni passati è già avvenuto un cambiamento radicale della situazione sanitaria che viene chiamata la Rivoluzione (o transizione) epidemiologica del ventesimo secolo. Si è verificata una drammatica riduzione di patologie da cause esogene (acute, infettive, parassitarie) - che hanno devastato la vita umana per millenni, plasmando il sistema immunitario umano - e invece un forte incremento (e una comparsa sempre più precoce) di patologie cronicodegenerative da cause endogene (immunomediate, infiammatorie, neoplastiche, neurodegenerative, endocrino-metaboliche, cardiocircolatorie), che ha avuto luogo prima nell'Europa settentrionale e gli Stati Uniti e successivamente si è estesa a livello globale: queste patologie cronicodegenerative costituiscono ora le cause di morte di gran lunga prevalenti. Questa transizione appare chiaramente correlata alla repentina alterazione dell'ambiente prodotta dall'uomo ed alle (conseguenti) trasformazioni (epi)genomiche che avvengono nelle prime fasi dello sviluppo del feto e del bambino. Si veda: Ernesto Burgio, *Ambiente e Salute, inquinamento, interferenze sul genoma umano e rischi per la salute*, pp. 23, 51-52, 113 e segg., <http://www.omceoar.it/docs/cesalpino/AMBIENTE%20E%20SALUTE.pdf>.

un'autodistruzione, cioè dovuta agli stessi sviluppi dissennati e incontrollati che l'Uomo (senza connotazioni di genere) ha messo in atto.

In ogni caso è opportuno abbandonare un punto di vista antropocentrico. Se la crisi climatica e ambientale precipitasse rendendo la Terra inabitabile per la specie umana, non sarà certo la fine della vita sul Pianeta: com'è avvenuto nelle ere passate con l'estinzione di specie che avevano avuto un ruolo dominante (l'esempio più comune sono i dinosauri). A parte l'infinita vitalità dell'evoluzione biologica che genererebbe nuove specie adatte alle nuove condizioni ambientali, fra quelle che oggi conosciamo sarebbe una vera festa per i topi e gli scarafaggi che potrebbero diventare dominatori incontrastati!

Ma non credo di andare errato affermando che la specie umana sarebbe la sola responsabile della propria autodistruzione! Del resto il futuro del genere umano dipende da noi.