

La Sesta Estinzione di Massa

Telmo Pievani

Una predizione corretta, sfortunatamente

Grandi evolucionisti ed esperti di biodiversità come Edward O. Wilson e Niles Eldredge lo avevano scritto vent'anni fa: considerando i ritmi vertiginosi della scomparsa delle specie indotti dalle attività umane negli ultimi secoli, la biosfera sta attraversando una "estinzione di massa", cioè una catastrofe su scala globale. Per la precisione la "Sesta Estinzione di Massa", dato che nel lontano passato geologico se ne sono registrate almeno cinque, le cosiddette Big Five, grandi ecatombi causate da super eruzioni vulcaniche, da oscillazioni climatiche e cambiamenti nella composizione dell'atmosfera, da impatti di asteroidi sulla terra, o da un intreccio di questi fattori. L'ultima è quella che 65 milioni di anni fa spazzò via buona parte dei dinosauri (tranne uno sparuto drappello che si è poi evoluto negli uccelli) e quasi due terzi di tutti gli altri esseri viventi. Per velocità di impatto e mortalità (sostennero Wilson e colleghi) l'estinzione prodotta dall'uomo oggi non ha nulla da invidiare alle precedenti.

Nel 1992 il paleoantropologo Richard Leakey e lo scrittore Roger Lewin l'hanno chiamata la "Sesta Estinzione di Massa", il sequel del Big Five, denunciando la distruzione della biodiversità (principalmente grossi mammiferi) in Africa [1]. Le prime conferme vengono

da due studi pionieristici proposti, rispettivamente, da Robert May e Stuart Pimm [2, 3]. Se mettiamo a confronto le percentuali e i totali delle specie estinte durante le estinzioni di massa nel corso degli ultimi secoli, si nota una tendenza molto simile.

Ma quali prove abbiamo che gli umani oggi sono responsabili di una nuova estinzione di massa?

La tesi era fondata su statistiche imprecise e molti l'accosero come una provocazione esagerata, un cedimento al catastrofismo. Dopotutto si stima che la Terra sia abitata da almeno cinque milioni di specie. Molti studi, comunque, cominciarono ad utilizzare l'etichetta "Sesta Estinzione di Massa" (sugli anfibi: [4]). Nel 2010 Hoffmann et al. [5] riportarono percentuali allarmanti relative all'estinzione di anfibi, coralli, molluschi di acqua dolce, squali in aggiunta a mammiferi, rettili e uccelli.

Nel 2011 accade però che un team internazionale di Berkeley, guidato da Anthony D. Barnosky, verifica le stime di estinzione, integra i dati paleontologici con quelli attuali, considera tutte le cautele del caso e giunge a una conclusione, alquanto preoccupante, pubblicata su *Nature*: la sesta estinzione di massa non è ancora in corso, ma ci manca poco e stiamo facendo di tutto per arrivarci.

Il titolo dell'articolo su *Nature* è: *La sesta estinzione di massa è già arrivata?*

I tassi di estinzione (22% per i mammiferi, 47-56% per i gasteropodi e bivalve)

superano di molto quelli registrati per le cinque più grandi estinzioni del passato. Siamo dunque sulla strada di una estinzione di massa, con tassi che accelerano: «I nostri risultati confermano che i tassi di estinzione correnti sono superiori a quanto ci si aspetterebbe dai reperti fossili». La Terra potrebbe raggiungere i tassi massimi della quinta estinzione di massa entro pochi secoli se non si provvede a mitigare le minacce rivolte a molte specie [6]. Gli umani possono infatti sterminare più specie degli asteroidi o delle eruzioni vulcaniche.

Nel luglio del 2014 un'ulteriore conferma è stata pubblicata su *Science* e ora le statistiche stanno diventando sempre più realistiche.

Secondo i più raffinati calcoli del gruppo di Rodolfo Dirzo, del dipartimento di biologia di Stanford, gli impatti umani sulla biodiversità animale sono diventati oggi una forma di cambiamento ambientale globale che ben presto avrà ripercussioni sulla nostra salute.

Il nostro pianeta non è più lo stesso. L'analisi questa volta non riguarda solo la scomparsa di intere specie, ma anche gli andamenti locali delle popolazioni negli ultimi decenni. Più di trecento specie di vertebrati terrestri si sono estinte dal 1500 a oggi, altre centinaia sono in via di estinzione (circa un terzo del totale) e per tutte, mediamente, si assiste a un calo del 28% nelle popolazioni. Quasi tutti i grandi mammiferi hanno perso almeno la metà della loro specie. Va ancora peggio per gli invertebrati, due terzi dei quali hanno subito un declino del 45% negli ultimi quarant'anni. Gli insetti, per noi icona di diversità e di resistenza, si associano al crollo: un terzo sono in calo; farfalle e falene sono diminuite del 35%; per api e coleotteri va anche peggio [7].

Perdiamo complessivamente ogni anno dalle 11.000 alle 58.000 specie, concentrate soprattutto nelle regioni tropicali (ciò che ha ricavato Edward O. Wilson

nel 2003 è 30.000 specie all'anno, una media delle cifre sopra indicate [8]). Si perde una specie ogni venti minuti.

Estinguiamo specie che nemmeno abbiamo fatto in tempo a classificare. Il raggelante termine tecnico coniato per questo fenomeno da Rodolfo Dirzo su *Science* è “de-faunazione dell'Antropocene”: stiamo “defaunando” il pianeta. Entra così nel gergo scientifico il nome finora informale proposto da Paul Crutzen nel 2002 di Antropocene, dato all'epoca “geologica” attuale in cui una specie sola, l'*Homo sapiens*, è riuscita in una manciata di secoli ad alterare la composizione gassosa dell'atmosfera e a trasformare la superficie del pianeta [9]. Questa storia di scienza, e di previsioni pessimistiche troppo a lungo ignorate o rimosse, è adesso raccontata in modo appassionante e documentato dalla giornalista del *New Yorker* Elizabeth Kolbert, in *La sesta estinzione. Una storia innaturale*, che ha vinto nel 2015 il premio Pulitzer per la saggistica [10].

Con un certo ritardo, il tema è finalmente finito in prima pagina nel campo della scienza. Dalle specie più carismatiche, come leoni, rinoceronti, scimmioni ed elefanti (la cui estinzione procede a ritmi preoccupanti) alle rane di piccola dimensione (gli anfibi sono ancora i più suscettibili, con il 41% di specie a rischio) la perdita totale di specie animali altera la struttura e la funzione degli ecosistemi su cui è basato il nostro benessere. Dal momento che non paghiamo i servizi offerti dall'ecosistema, siamo spesso inconsapevoli dei costi reali per mantenerli. Con la scomparsa di migliaia di specie ogni anno, gli ecosistemi stanno diventando sempre meno efficienti nell'assicurare i servizi come la depurazione delle acque, il ciclo dei nutrienti e la manutenzione del terreno. La variabilità genetica delle popolazioni e delle specie è il motore dell'evoluzione, un'assicurazione gratuita contro le malattie e gli attacchi da agenti patogeni. Nell'Antropocene si sta

perdendo la diversità genetica [11]: interventi a posteriori potrebbero essere molto più costosi. Ad esempio, il 75% delle colture alimentari mondiali dipende dagli impollinatori. L'estinzione di popolazioni di pipistrelli, predatori naturali di parassiti potrebbe causare un ingente danno economico. Siamo commossi per l'estinzione delle tigri, dei rinoceronti e dei panda, ma è la crisi silenziosa degli invertebrati e della microfauna invisibile che ci dovrebbe preoccupare di più. Abbiamo concentrato le nostre preoccupazioni sugli effetti dell'estinzione, ma per quanto riguarda le cause?

Homo sapiens, una “tempesta perfetta”

Secondo i dati più recenti, considerando le cause geofisiche della perdita di biodiversità il confronto tra la sesta estinzione di massa e il Big Five potrebbe essere esatto.

Seguendo il modello del team di Gerta Keller di Princeton [12] riguardo i molteplici fattori convergenti che causarono l'estinzione alla fine del Cretaceo, una teoria per le estinzioni di massa si basa sull'idea che questi modelli macroevolutivi potrebbero essere non prodotti da una sola causa catastrofica, ma da un mix di condizioni diverse e simultanee. Ciò può essere vero per le passate estinzioni e nel futuro prossimo. Alcuni periodi nell'evoluzione della vita sono più vulnerabili alle estinzioni di massa di altri [13, 14].

Secondo tali modelli [15, 16] un'estinzione di massa avviene solo quando vi è una sinergia tra eventi non usuali, come nella “tempesta perfetta” quando convergono alcuni parametri critici.

Principalmente, i parametri sono:

1. accelerazione del cambiamento climatico;
2. alterazioni della composizione atmosferica;

3. fattori di stress ad alta intensità; 1-3. feedback positivi tra i tre.

Nel passato, il risultato è stato l'estinzione di massa: «la perdita di più di tre quarti di specie in un breve intervallo geologico» [6]. Il fenomeno dell'estinzione comincia ad agire su molte linee filogenetiche diverse, culminando in un evento scatenante, ad esempio un impatto o una serie di eruzioni, che libera l'onda finale della crisi globale (alcune estinzioni di massa sono costituite da diverse ondate di estinzione).

È possibile applicare il “Modello della Tempesta Perfetta” all'impatto che le attività umane hanno sulla biodiversità? Secondo Barnosky e i suoi colleghi, la situazione attuale si adatta alla seguente descrizione:

1. dinamiche accelerate relative al clima? SÌ, in corso;
2. cambiamenti nella composizione atmosferica? SÌ, in corso;
3. fattori di stress ad alta intensità? SÌ, le attività umane da molto tempo; 1-3. feedback positivi tra i tre? SÌ, nella prima fase.

In questa tempesta perfetta, creata da noi, non c'è necessità che cada un asteroide o che ci sia un'eruzione per il “coupe de grace”. Secondo Pereira et al. [17], senza un'azione forte e combinata di mitigazione dei danni, sono iniziati gli scenari di collasso della biodiversità globale per il XXI secolo. I tre parametri della “tempesta perfetta” sono le prossime cause geofisiche delle estinzioni di massa, viste da una prospettiva paleontologica.

Ma quali sono le cause remote che hanno dato all'Homo sapiens il potere di innescare un cambiamento geologico e ambientale? Si tratta di una vecchia storia.

Quando i cacciatori paleolitici sono entrati nelle Americhe, in Australia e nelle Isole del Pacifico, è stato provato – anche se permangono dubbi sul possibile ruolo di oscillazioni climatiche concomitanti – che, entro pochi millenni dal loro arrivo,

questi primi colonizzatori hanno estinto decine di grandi mammiferi e uccelli non volatori che vi abitavano. La documentazione archeologica mostra una serie di estinzioni regionali di massa di megafauna, dal momento che gli animali di queste regioni non erano abituati ai predatori umani e avevano un basso tasso di riproduzione, che li rendeva particolarmente vulnerabili. L'impatto ambientale distruttivo della nostra specie è cominciato verso la fine del Pleistocene [18].

Come si vede nelle documentazioni geologiche dei cambiamenti a lungo termine del clima e della composizione atmosferica, l'introduzione dell'agricoltura e del bestiame alla fine dell'ultima era glaciale è stato un grande evento evolutivo e ha accelerato i processi di estinzione, insieme alla crescita dell'insediamento della popolazione umana in villaggi permanenti, in paesi e in città. Siamo una specie invasiva: all'inizio, le esplorazioni erano eseguite da piccole bande di cacciatori-raccoglitori; a questo ha fatto seguito l'espansione degli agricoltori e dei pastori, fino alle ondate di migrazione umana.

Oggi, dopo la rivoluzione industriale, il processo sta procedendo ad un ritmo senza precedenti, creando una sorta di "natura addomesticata" [19]. Secondo Niles Eldredge e Norman Myers, questo racconto non rappresenta catastrofismo, ma realismo, vale a dire una successione di "estinzioni Centinela", dal nome della catena montuosa occidentale della Ande ecuadoriane (Centinela) dove, in soli otto anni, si è registrata l'estinzione di migliaia di specie endemiche a causa della conversione delle foreste in terreni agricoli [20, 21].

Il modello HIPPOC

Questa storia non rappresenta quindi una singola attività antropica che è la causa del destino avverso della biodi-

versità. Ha radici profonde nella storia umana. Attraverso un mix dei diversi comportamenti, con conseguenze variabili, abbiamo generato le condizioni per una crisi rapida di estinzione globale. In altre parole, l'"Antropocene" segnala il fatto che l'*Homo sapiens* è diventato una forza evolutiva dominante [22]. Secondo il modello "HIPPO" proposto da Edward O. Wilson [23], e qui aggiornato e rivisitato (HIPPOC), l'impatto umano sulla biodiversità è dovuto ad una convergenza di diversi fattori interagenti:

- H (Habitat): frammentazione degli habitat e alterazione delle relazioni specie-aree (ad esempio la deforestazione, la conversione in pascoli e le coltivazioni intensive, le attività estrattive);
- I (Invasive): specie invasive e diffusione di nuovi agenti patogeni (il rimescolamento intercontinentale di specie esotiche causato dai viaggi e dal commercio ha prodotto estinzioni di massa su scala locale per intere regioni, nonché nelle isole e negli arcipelaghi);
- P (Population): crescita della popolazione e di macro-agglomerati urbani (produzione di barriere e limitazioni alla dispersione di animali e piante);
- P (Pollution): inquinamento (agricolo industriale, inquinamento chimico di aria, acqua e suolo);
- O (Overexploitation): eccessivo sfruttamento delle risorse biologiche dovuto alla pesca eccessiva e alla caccia eccessiva;
- C (Climate change): cambiamento climatico. Inizialmente caratterizzato soltanto nelle stime grezze, ma con i modelli attuali, tra cui il riscaldamento climatico e la crescente evidenza di disallineamenti ecologici nei cicli stagionali di specie (per lo più uccelli migratori a lunga distanza), specie polari in via di estinzione, la ristrutturazione di comunità ecologiche in foreste tropicali, e gli effetti globali allarmanti innescati dall'acidificazione degli oceani (per lo più nelle barriere coralline).

Inoltre, dovremmo considerare le interazioni non lineari tra le sei forze (ad esempio, la frammentazione del territorio e del riscaldamento globale nelle foreste tropicali; devastanti effetti sinergici di inquinamento, sovrasfruttamento e dei cambiamenti climatici sulle barriere coralline). Questo rapporto senza precedenti tra specie globalmente invasive e la biosfera genera un gap evolutivo: i tassi di evoluzione biologica (cioè spostamenti biogeografici, adattamenti alle diverse temperature, ecc.) sono in media dieci volte più lenti rispetto ai tassi di variazione antropica. In questo modo i soliti processi di recupero ecologico vengono alterati. Consideriamo l'estinzione di massa di origine antropica dal punto di vista del tempo evolutivo, per valutare come si confronta con le cinque estinzioni di massa preistoriche.

Estinzioni di base ed estinzioni di massa

Le estinzioni di “base” sono un processo normale (e necessario) per l'economia della natura. Esse sono generate da una serie di cause biotiche ed abiotiche che minano la capacità di sopravvivenza e la riproduzione della specie. Generalmente, la perdita di diversità genetica rende una specie a rischio di estinzione. Le estinzioni di massa sono catastrofi globali: crollano infatti intere classi di biodiversità terrestre e marina [24].

Come tendenza a lunghissimo termine, la biodiversità durante il Fanerozoico (gli ultimi 540 milioni di anni) ha mantenuto una quantità media di generi, anche con cinque interruzioni delle principali estinzioni di massa (Big Five) e con altri eventi di estinzione regionali, innescati da fenomeni dalle grandi dimensioni ecologiche. Le tre estinzioni di massa del Big Five avvengono: alla fine dell'Ordoviciano (445 milioni di anni fa, in relazione ad una glaciazio-

ne); alla fine del Devoniano (360 milioni di anni fa) e alla fine del Triassico (200 milioni di anni fa, l'estinzione di massa che causò l'estinzione dei dinosauri). Le vittime di una estinzione di massa potrebbero essere i fortunati sopravvissuti di un evento precedente.

Questa anormale potatura periodica dell'albero della vita si differenzia dalle estinzioni di base (che presentano una percentuale media di 2-4 famiglie tassonomiche che scompaiono ogni milione di anni), come se il “business as usual” dell'evoluzione non sia semplicemente accelerato ma momentaneamente schiacciato. Le estinzioni di massa sprigionano una potenza dirompente in un tempo relativamente breve su scala geologica (poche migliaia di anni in alcuni casi), e colpiscono tutte le classi e gli ordini con scarsa selettività. Questo scenario ha indotto il paleontologo David Raup a chiedersi se le estinzioni di massa sono un problema di “cattivi geni” o di “sfortuna” [25].

Al fine di ottenere una teoria per tali eventi, è necessario coinvolgere la paleontologia, la geologia, la biologia, la genetica, l'ecologia e l'astrofisica [26]. I paleontologi erano a conoscenza dell'esistenza nel passato di ricambi drammatici. In realtà questi avvenimenti sono stati utilizzati come marcatori che separano le principali ere del tempo geologico. Tuttavia, l'entità e l'incidenza delle estinzioni di massa sono state sottovalutate perché rappresentavano una minaccia all'immagine prevalente della storia naturale come gradualistica. I meccanismi evolutivi sono stati estrapolati dalle normali scale temporali come accelerazioni temporanee del ritmo evolutivo.

Con le nuove scoperte, a partire dal 1980, gli esperti hanno dovuto ammettere che le estinzioni di massa erano in realtà fratture irreversibili in evoluzione, non picchi di tendenze sviluppate in precedenza [27, 28]. Questi deragliamenti dai normali binari dell'evoluzione

sono infatti più frequenti, più veloci e più profondi (per numero di individui rimossi) del previsto. Si è capito che si trattava di eventi speciali, da spiegare in modo indipendente dai modelli di evoluzione su larga scala.

Lezioni dai dinosauri

Il dibattito sulla quinta estinzione di massa è stato cruciale. Dalla fine degli anni Settanta, i ricercatori hanno cominciato a capire che l'estinzione della fine del Cretaceo non riguardò soltanto i dinosauri. Questa evidenza ha respinto una moltitudine di ipotesi biologiche sulla presunta inadeguatezza dei dinosauri [29]. L'attenzione si è subito concentrata su una crisi globale. A quel tempo scomparvero: i grandi rettili marini (plesiosauri e mosasauri), gli pterosauri volanti, i grandi gruppi di molluschi, le ammoniti, molti foraminiferi, molte lucertole e serpenti (quattro quinti), molti uccelli (tre quarti) e mammiferi (due terzi).

La biosfera appena prima l'estinzione era probabilmente in uno stato di criticità, in cui molti gruppi hanno mostrato vulnerabilità adattiva. Tuttavia, a dare il "colpo di grazia" a questi gruppi in crisi, è stato qualcosa di molto più drammatico. Gli scienziati avevano bisogno di una causa "eccezionale". Nel 1980, Louis e Walter Alvarez e il loro team di ricerca hanno concluso che l'alta concentrazione di iridio, rilevato in strati di 66-65 milioni di anni in tutto il mondo, si era diffuso in seguito al catastrofico impatto di un grande asteroide [30].

La teoria della "causa extraterrestre" è stata accolta dalla comunità dei paleontologi con profondo scetticismo, rasentando il ridicolo [31]. Mentre il polverone mediatico si spense, altre indagini geologiche sul periodo alla fine del Cretaceo confermarono la teoria dell'impatto: isotopi rari, sferule vetrose prodotte dal repentino scioglimento e frammenti di

silice presente solo ad alte pressioni. La "smoking gun" che ha confermato questa teoria è il cratere di impatto dell'asteroide, scoperto da Alan Hildebrand nel 1991 e situato nei pressi di Chicxulub, nella penisola dello Yucatan e il fondo dell'oceano adiacente [32].

La teoria di Alvarez e dei suoi colleghi è ormai accettata con un consenso prevalente nella comunità scientifica, anche se vi sono ancora punti oscuri sulla dinamica della sopravvivenza (per una rassegna aggiornata in *Scienze* si veda [33]). L'impatto di un asteroide sulla Terra è ancora il principale sospettato, anche se forse non è l'unico fattore che ha attivato la catastrofe che ha portato all'estinzione della metà della vita marina, allo sterminio di famiglie intere, tra cui quasi tutti i dinosauri (ad eccezione degli antenati dei moderni uccelli). Come accennato in precedenza, secondo Gerta Keller [12], la quinta estinzione di massa fu causata da una convergenza di fattori, tra cui vulcanismo, impatti multipli, cambiamenti climatici, e precedenti stress biotici.

Una lezione proveniente da questi fenomeni è il fatto che i sopravvissuti non sembrano essere necessariamente quelli che meglio si adattano alle condizioni precedenti. Non ci sono chiari segnali di una maggiore resistenza alle estinzioni di massa correlata alle dimensioni del corpo, a specifici adattamenti ecologici, o alla latitudine alla quale gli organismi vivono. Pur avendo una dieta diversificata, una minore necessità di cibo e ossigeno, le abitudini generali e una certa flessibilità adattativa aiutano certamente in questi bruschi cambiamenti delle regole di sopravvivenza [34] ma non ne garantiscono la sopravvivenza.

La rinascita neocatastrofista

I dinosauri non sono state le vittime della peggiore estinzione di massa. Secondo il paleontologo Michael Benton,

nell'estinzione che ha chiuso il Permiano 251 milioni di anni fa, la vita è andata abbastanza vicina alla fine [29]. Secondo le ultime prove, masse enormi di magma a bassa viscosità coprivano intere regioni, grazie a eruzioni vulcaniche che causarono la fuoriuscita dei flussi di basalto. L'estinzione di massa del Permiano è quasi inimmaginabile: è la madre di tutte le estinzioni di massa. Non oltre il 10% delle specie è riuscita a sopravvivere. Da questa piccola percentuale, fu ricostruita l'intera biodiversità, in un lento processo di ripresa che, secondo Benton, si è realizzato forse in 100 milioni di anni. L'albero della vita subì una potatura radicale: il 90% dei rami vennero tagliati, in tutte le nicchie ecologiche e in tutti i settori degli esseri viventi.

Secondo il padre britannico della geologia, Charles Lyell, solo i processi osservabili oggi possono essere una spiegazione del passato. Anche se le osservazioni dell'anatomista francese e geologo George Cuvier sulle alternanze radicali di diverse faune fossili nel bacino idrografico della Senna erano puntuali, la metodologia di Lyell prevalse. Dal 1832 la tendenza dominante dei geologi e dei paleontologi è stata concentrarsi su meccanismi gradualisti il cui corso era prevedibile, piuttosto che su processi ritenuti inutili considerando le conoscenze del tempo.

Le cause endogene (interne alla Terra) sono state in gran parte preferite alle esogene dagli "uniformitaristi" [29]. Charles Darwin era un fervente anti-catastrofista, e applicò l'uniformitarismo geologico agli esseri viventi, anche se con alcuni dubbi iniziali. Anche geologi di spicco come Roderick Murchison che avevano intuito l'esistenza di catastrofi del passato, hanno dovuto accettare il principio dell'uniformitarismo. Due secoli più tardi, le estinzioni di massa furono riconosciute come un modello importante per l'evoluzione: essi hanno plasmato la biodiversità più volte durante le ere geo-

logiche. Come fattore integrativo rispetto ai processi micro-evolutivi neodarwinisti, le estinzioni di massa sono probabilmente dovute ad una serie di possibili cause macro-evolutive [35].

Secondo Benton, ci troviamo di fronte a una nuova interpretazione scientifica del "catastrofismo" del XIX secolo, il catastrofismo pre-scientifico proposto da Cuvier temporaneamente dismesso a causa delle sue ipotesi pseudo-scientifiche. Ora sappiamo che gli eventi di estinzione di massa sono reali, non effetti illusori causati da una mancanza di dati. Ma il "neocatastrofismo" – un termine coniato da Otto Schindewolf nel 1963 – sta adottando le metodologie di ricerca più avanzate e ha perso qualsiasi colorazione anti darwiniana [29, p. 13].

Questi fenomeni su larga scala devono essere considerati una forza integrativa rispetto ai fattori di cambiamento darwiniani. Essi dimostrano che i modelli macroevolutivi non possono essere completamente estrapolati da quelli microevolutivi [36]. Inoltre, l'energia dirompente del disastro alla fine si trasforma in rigenerazione. La ricolonizzazione delle nicchie lasciate libere da queste apocalissi genera episodi di radiazione adattativa di nuove forme da parte dei pochi sopravvissuti. La situazione comune, dopo la decimazione, sembra essere una libertà senza precedenti di esplorazione adattativa per i superstiti. I grandi ricambi nella storia naturale liberano lo spazio ecologico, rilassano la selezione naturale, e aprono nicchie per le radiazioni adattative. Rappresentano un nuovo inizio dopo la fine apparente del mondo.

Conclusioni: l'ironia della storia naturale

Non c'è nulla di insolito nelle estinzioni. Esse fanno parte della storia naturale. La stragrande maggioranza delle specie del mondo si sono estinte. Ciò che oggi è

senza precedenti è il ruolo di una specie nel causare la Sesta Estinzione di massa, la più veloce di tutti i tempi. Emerge un paradosso filosofico: l'Homo sapiens, discendente da estinzioni di massa di altre specie (soprattutto dei grandi rettili, la cui scomparsa 66-65 milioni di anni fa ha aperto la strada alla radiazione adattativa dei mammiferi), ora è l'agente di un'estinzione di massa speciale. Noi siamo i figli della fine delle altre specie. Il ruolo dei fattori geofisici (anche con drammatiche conseguenze globali, come nel caso della super eruzione di Toba, 73.000 anni fa), è stato fondamentale nella recente evoluzione umana [37].

La triste ironia della storia è che i nostri sforzi per rallentare o fermare la sesta estinzione di massa potrebbero non essere sufficienti. Secondo Butchart et al. [38], uno dei risultati della Convenzione delle Nazioni Unite sulla diversità biologica è il moltiplicarsi con successo delle iniziative locali di conservazione. Ciò non è tuttavia sufficiente ad invertire le tendenze generali di distruzione dell'habitat. Il confronto è disarmante: gli indicatori generali delle azioni di tutela ambientale sono moderatamente positivi; quelli che misurano la salute degli ecosistemi sono, invece, tutti negativi. Non siamo ancora in grado di vedere gli effetti delle nostre buone pratiche.

Il neo catastrofismo scientifico, che sottolinea la scarsa sostenibilità delle attività dell'Homo sapiens, non deve essere confuso con il catastrofismo filosofico o metafisico, promosso da alcuni movimenti ecologisti. La consapevolezza scientifica di una sesta estinzione di massa ci insegna diverse cose:

1. fornisce la prova che siamo parte di un sistema ecologico instabile;
2. fornisce una visione evolutiva, dimostrando che non saremmo qui senza questa instabilità e senza i ricambi di specie nel lungo periodo;
3. fornisce un monito per il futuro, confermando che è la biosfera è neces-

saria per la sopravvivenza dell'Homo sapiens. Al contrario, l'Homo sapiens non è necessario per la sopravvivenza della biosfera.

Anche se siamo così miopi da mettere in pericolo le condizioni della nostra permanenza sul pianeta, alcuni modelli scientifici ci dicono che la vita andrà avanti comunque in altre forme [39], probabilmente a vantaggio delle specie più opportuniste, come i ratti [40]. Infatti, non appena si sia estinta la razza umana, potrebbe sbocciare sulla Terra una cornucopia di nuovi esperimenti di vita. Da una prospettiva evolutivista, l'estinzione dell'Antropocene è una minaccia non per la biodiversità in sé, ma per le condizioni ecologiche che attualmente permettono la sopravvivenza umana. La fine della nostra specie rappresenterebbe solo un altro nuovo inizio. Così, da un punto di vista filosofico, la sesta estinzione di massa è un avvertimento antropologico sulla contingenza della vita e la fragilità della nostra storia come ominidi.

Il paradosso dell'Homo sapiens, come causa della sesta estinzione di massa è difficile da risolvere per due motivi: uno politico, cioè la mancanza di coordinamento internazionale; e l'altro psicologico, cioè la mancanza di capacità di previsione. Una singola nazione può fare ben poco se le altre non collaborano. Le dinamiche ecologiche non rispettano la stretta tempistica delle campagne elettorali e le leggi della popolarità, possono quindi improvvisamente venire meno i servizi forniti dall'ecosistema. Realizzare una buona pratica di conservazione oggi porterà i suoi frutti tra almeno un paio di generazioni. Certo, non è facile investire soldi e prendere un impegno etico in favore di qualcuno che ancora non esiste, ma dobbiamo armarci di fantasia e cercare di farlo. Dopotutto, potrebbe essere un modo intelligente per marcare ciò che ci differenzia dai dinosauri.

Bibliografia

1. Leakey R., Lewin R. (1992) *The sixth extinction: patterns of life and the future of humankind*, Doubleday, London.
2. Lawton J.H., May R. (eds.) (1995) *Extinction rates*, Oxford University Press, Oxford.
3. Pimm S. et al. (1995) "The future of biodiversity", *Science* 269, 347-350.
4. Wake D.B., Vredenburg V.T. (2008) "Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians", *PNAS* 105, 11466-73.
5. Hoffmann M. et al. (2010) The impact of conservation on the status of world's vertebrates, *Science* 330, 1503-1509.
6. Barnosky A. et al. (2011) "Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?", *Nature* 471, 51-57.
7. Dirzo R. et al. (2014) "Defaunation in the Anthropocene", *Science* 345, 401-406.
8. Wilson E.O. (2003) *The future of life*, Vintage, New York.
9. Crutzen P.J. (2002) "Geology of Mankind", *Nature* 415, 23.
10. Kolbert E. (2014) *The sixth extinction. An unnatural history*, Henry Holt & C, New York.
11. Novacek M.J. (2001) *The biodiversity crisis: losing what counts*, The New Press, New York.
12. Keller G. (2008) "Cretaceous climate, volcanism, impacts, and biotic effects", *Cretaceous Research* 29, 754-771.
13. Ward P.D. (2000) *Rivers in time. The search for clues to Earth's mass extinctions*, Columbia University Press, New York.
14. Archibald J.D. et al. (2010) "Cretaceous extinctions: multiple causes", *Science* 328, 973.
15. Arens N.C. West I.D. (2008) "Press-pulse: a general theory of mass extinctions?", *Paleobiology* 34, 456-471.
16. Brook B.W., Sodhi N.S., Bradshaw C.J.A. (2008) "Synergies among extinction drivers under global change", *Trends Ecol. Evol.* 23, 453-460.
17. Pereira H.M. et al. (2010) "Scenarios for global biodiversity in the 21st century", *Science* 330, 1496-1501.
18. Cavalli Sforza L.L., Pievani T. (2012) *Homo sapiens. The great history of human diversity*, Codice Editions, Turin.
19. Kareiva P., Watts S., McDonald R. et al. (2007) "Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare", *Science* 316, 1866-1869.
20. Eldredge N. (1998) *Life in the balance*, Princeton University Press, Princeton (NJ).
21. Myers N., Knoll A.H. (2001) "The biotic crisis and the future of evolution", *PNAS* 98, 5389-5392.
22. Pievani T. (2013) "The sixth mass-extinction. Anthropocene and the human impact on evolution", *Rend. Fis. Acc. Lincei* 25(1), 85-93.
23. Wilson E.O. (2010) *The diversity of life*, Harvard University Press, Cambridge (MA).
24. Bambach R.K. (2006) "Phanerozoic biodiversity mass extinctions", *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 34, 127-155.
25. Raup D. (1992) *Extinction: bad genes or bad luck?* Norton, New York.
26. MacPhee R.D.E. (ed.) (1999) *Extinctions in near time. Causes, contexts and consequences*, Kluwer Academic Publ., New York.
27. Glen W. (ed.) (1994) *Mass-extinction debates: how science works in a crisis*, Stanford University Press, Stanford.
28. Gould S.J. (1985) *The flamingo's smile*, Norton, New York.
29. Benton M.J. (2003) *When life nearly died*, Thames & Hudson, London.
30. Alvarez L., Alvarez W., Asaro F. et al. (1980) "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. Experimental results and theoretical implications", *Science* 208, 1095-1108.
31. Clemens E.S. (1986) "Of asteroids and dinosaurs. The role of the press in the shaping of scientific debate", *Social Studies of Science* 16, 421-456.
32. Hildebrand A.R. et al. (1991) "Chicxulub crater: a possible Cretaceous-Tertiary boundary impact crater on the Yucatán peninsula", *Geology* 19, 867-871.
33. Schulte P. et al. (2010) "The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Tertiary boundary", *Science* 327, 1214-1218.
34. Taylor P.D. (2004) *Extinction in the history of life*, Cambridge University Press, Cambridge.
35. Hallam A., Wignall P.B. (1997) *Mass extinctions and their aftermath*, Oxford University Press, Oxford.
36. Gould S.J. (2002) *The structure of evolutionary theory*, Harvard University Press, Cambridge (MA).
37. Pievani T. (2012) "Geoethics and philosophy of earth Sciences: the role of geophysical factors in human evolution", *Annals of Geophysics* 55(3), 349-353.
38. Butchart S.H.M. et al. (2010) "Global Biodiversity: indicators of recent declines", *Science* 328, 1164-1168.
39. Weisman A. (2008) *The world without us*, Picador, London.
40. Zalasiewicz J. (2008) *The Earth after us: what legacy will humans leave in the rocks?* Oxford University Press, Oxford.
- Lewis S.L., Maslin M.A. (2015) "Defining the Anthropocene", *Nature* 519, 171-180.
- Monastersky R. (2015) "Anthropocene: the human age", *Nature* 519, 144-147.