

La nuova biosfera dell'Antropocene

Anche se l'Antropocene non è stato ufficialmente introdotto nella carta geologica, ed è stato messo in discussione il concetto di “*sesta estinzione*”, numerosi dati raccolti da studiosi e ricercatori negli ultimi decenni fanno ritenere che la biosfera dell'Olocene del pianeta Terra sia oggi drasticamente mutata, e *di fatto* si sia di fronte ad una biosfera dell'Antropocene.

Anthony Barnosky e Elisabetta Hadly



Una sintetica rappresentazione di questa realtà è contenuta nell'articolo [The New Anthropocene Biosphere](#) di Anthony Barnosky e Elisabetta Hadly, pubblicato su [Philosophical Transactions](#) della *Royal Society* nel gennaio 2026, un numero speciale che raccoglie diversi articoli sul tema.

I due autori, tra i massimi esperti di biodiversità, si esprimono in tal senso sulla base di quattro evidenze. La prima: il *tasso di estinzione* delle specie selvatiche che stiamo registrando negli ultimi decenni è molto più alto di quello che ha dato inizio all'Olocene. La seconda: nota anche come *apocalisse degli insetti*, rappresenta un fenomeno di estinzione ancora maggiore rispetto alle altre specie. La terza: *l'omogeneizzazione biotica* del pianeta che, per esempio, limita al solo 4% la componente selvatica della biomassa complessivamente presente sulla Terra. La quarta: la consistenza dei cosiddetti *reliqui dell'Olocene* (parchi, riserve naturali ecc.) che si ferma al solo 17% della terraferma e all'8% degli oceani, con scarsi collegamenti tra loro.

Tutti questi grandi cambiamenti sono datati dalla seconda metà del Novecento e sono oggetto di numerosi studi che forniscono anche indicazioni per un loro cambiamento. La conclusione dei due

autori è la seguente: «a giudicare da come si è sviluppato finora l'Antropocene, la forma del futuro non sarà guidata principalmente dalla scienza. Ci vorrà la volontà collettiva dell'umanità, al di là dei confini nazionali, per guidare la biosfera verso uno stato che sostenga non solo noi stessi, ma anche le specie rimanenti e i resti degli ecosistemi con cui ci siamo evoluti.»

La nuova biosfera dell'Antropocene

Dalla metà del XX secolo, la biosfera dell'Antropocene si è notevolmente e bruscamente discostata dalla precedente, quella dell'Olocene. Le sue caratteristiche sono: il predominio dei corpi umani e degli animali domestici a scapito delle specie selvatiche; la trasformazione della maggior parte degli ecosistemi terrestri in funzione dell'uomo; la diminuzione globale della biodiversità accompagnata da una maggiore omogeneità, sia sulla terraferma che in mare. Anche le interazioni della biosfera con altri aspetti del sistema terrestre dell'Antropocene differiscono dalle condizioni tipiche dell'Olocene, poiché gli esseri umani hanno modificato aspetti fondamentali quali il bilancio energetico globale, il clima, i cicli biogeochimici e le dinamiche idrologiche. Sebbene in alcune aree protette rimangano alcuni relitti della diversità e degli ecosistemi dell'Olocene - essenzialmente come musei della natura - la loro sopravvivenza è minacciata dalle pressioni locali e globali causate dall'uomo che hanno già spinto la biosfera verso uno stato distinto da quello dell'Olocene. Sebbene la roadmap per mitigare queste pressioni sia stata delineata con chiarezza da numerosi studi scientifici e filosofici, la pressione dell'umanità è in aumento, dimostrando che la biosfera dell'Antropocene continuerà la sua ripida e irreversibile traiettoria di allontanamento dalle condizioni dell'Olocene.

Questo articolo fa parte del numero tematico “**La biosfera nell'Antropocene**”.

1. Introduzione

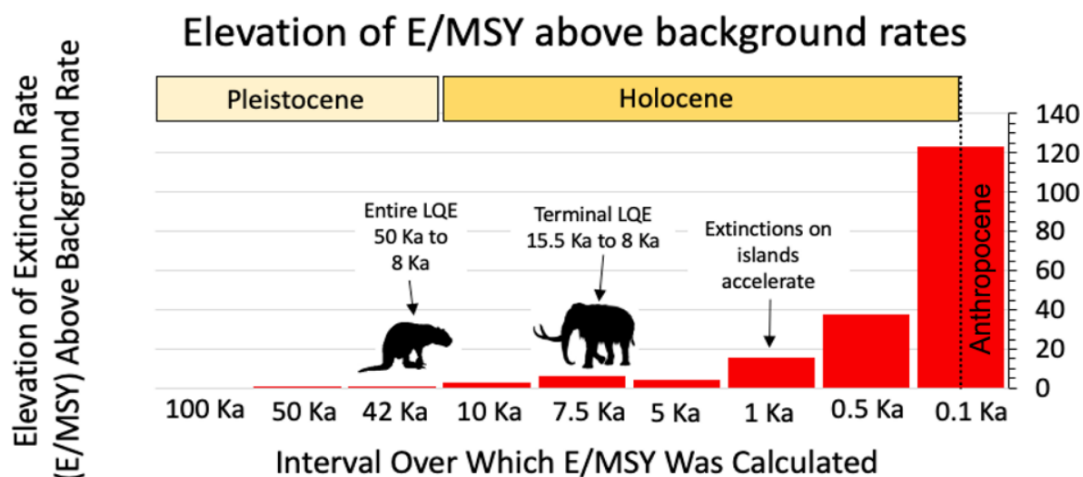
La biosfera dell'Olocene, come quella del Pleistocene che l'ha preceduta, è scomparsa per sempre. Proprio come il cambiamento climatico e l'estinzione della megafauna alla fine del Pleistocene (l'estinzione del Quaternario superiore) hanno dato origine a una biosfera olocenica distinta da quella pleistocenica, così anche la biosfera dell'Antropocene si è trasformata, diventando unica. (Qui usiamo il termine “Antropocene” per indicare il periodo che va dal 1952 ad oggi e che si estende indefinitamente nel futuro, secondo la definizione dell'Anthropocene Working Group [1].) Tassi elevati di estinzione, omogeneizzazione biotica e dominio dei sistemi terrestri da parte degli esseri umani sono i tratti distintivi della nuova biosfera dell'Antropocene. Ora gli esseri umani sono i principali responsabili della biosfera. In questo articolo, evidenziamo come abbiamo già spinto la biosfera dell'Antropocene oltre i limiti delle caratteristiche, per lo più stabili, dell'Olocene e come, nei prossimi decenni e secoli, la biota dell'Antropocene si allontanerà ancora di più da quella dell'Olocene.

2. La crisi delle estinzioni

L'estinzione è uno degli aspetti della trasformazione della biosfera nel suo attuale stato antropocenico. La crisi è stata documentata in modo più completo per i vertebrati, ma non si limita affatto a quel gruppo. Una comparazione molto prudente tra il ritmo delle estinzioni in corso e il quadro generale della norma, dimostra che i tassi di estinzione delle specie vertebrate nell'ultimo secolo sono 100 volte superiori alla norma (dove per “norma” si intende il tasso di estinzione delle specie registrato negli ultimi 60 milioni di anni). In altre parole, ciò significa che anche secondo una valutazione condotta utilizzando criteri prudentiali, il numero di specie di rettili che si sono estinte negli ultimi 100 anni avrebbe normalmente richiesto circa 800 anni, e il numero di estinzioni di specie di pesci, anfibi, uccelli e mammiferi nel secolo scorso avrebbe normalmente richiesto tra i 2000 e i 3000 anni circa. Valutazioni “leggermente meno prudenti” fanno crescere ulteriormente queste cifre, indicando che nel secolo scorso si sono verificate tante estinzioni di rettili quante ne sarebbero normalmente avvenute in circa 2000 anni. Per gli uccelli, le valutazioni leggermente meno prudenti indicano che le perdite registrate nel secolo scorso equivalgono a quelle che ci si aspetterebbe in circa 3500 anni; per i pesci e i mammiferi: a quelle che normalmente si verificherebbero in circa 5500 anni; e per gli anfibi: a quelle che ci si aspetterebbe in circa 10000 anni [2].

Pertanto, i tassi di estinzione dei vertebrati nell'Antropocene - anche secondo le stime più prudenti - sono notevolmente più elevati e rapidi rispetto a quanto avvenuto persino durante l'estinzione di fine Pleistocene, che ha spazzato via oltre la metà delle specie di grandi animali della Terra tra circa 50000 e circa 8000 anni fa [3] (figura 1). Quell'evento, e il modo in cui ha contribuito a modificare la biosfera, è stato un aspetto fondamentale della transizione dalle ere glaciali del Pleistocene (durate da 2,58 milioni a 11700 anni fa) all'Olocene (la maggior parte degli ultimi circa 11700 anni) [4].

Figura 1.



Tassi di estinzione nell'Antropocene rispetto a quelli del Pleistocene e dell'Olocene. LQE, estinzione del tardo Quaternario. Figura riprodotta da [3].

I calcoli sul tasso di estinzione si concentrano sulla scomparsa totale delle specie, indicando il momento in cui l'ultimo esemplare di una specie si estingue definitivamente. La situazione delle popolazioni – ovvero il numero di individui che compongono l'intero patrimonio genetico della specie, distribuito nell'areale geografico di distribuzione della stessa – è ancora più grave e suggerisce che molte altre specie si estingueranno e che altre ancora saranno minacciate man mano che l'Antropocene si svilupperà nel corso del prossimo secolo. Solo negli ultimi 50 anni, il mondo

ha assistito a un calo del 73% delle dimensioni medie delle popolazioni faunistiche globali [5]. Ciò significa che il mondo possiede ora solo il 27% della fauna selvatica che aveva durante la maggior parte dell'Olocene. Le perdite sono evidenti attraverso i *taxa* [unità sistematiche fondamentali utilizzate in biologia, botanica e zoologia per classificare gli organismi viventi in gruppi basati su caratteristiche comuni *N.d.T.*] che vanno dai vertebrati [6] agli insetti [7]. Se la tendenza dovesse continuare - e non vi è alcuna indicazione che non sarà così - tra 50 anni rimarrebbe solo circa il 10% della fauna selvatica caratteristica dell'Olocene, e meno del 3% tra un secolo. Ciò segnerebbe davvero l'inizio della sesta estinzione di massa. Dimensioni di popolazione così ridotte non sono sostenibili per la maggior parte delle specie colpite [8], il che comporta anche la scomparsa delle funzioni ecosistemiche di cui tali specie sono responsabili.

La rapida diminuzione, documentata, del numero di individui e popolazioni fa sì che tra gli animali vertebrati attualmente a rischio di estinzione figurino il 41% degli anfibi, il 27% dei mammiferi, il 21% dei rettili, il 12% degli uccelli e il 37% degli squali e delle razze [9]. Numerosi studi dimostrano che non sono solo i vertebrati a registrare un drastico calo numerico. Almeno il 44% delle specie di coralli che formano le barriere coralline, il 28% dei crostacei, il 34% delle conifere e il 71% delle cicadi sono anch'essi minacciati di estinzione [9]. Se si includono queste specie a quelle dei vertebrati, risulta che almeno 47.000 specie - ovvero il 28% di tutte le specie valutate - sono a rischio. Valutazioni più informali di quelle fornite dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) stanno ora evidenziando che molte altre specie sono in declino, anche quelle che consideriamo così numerose da sembrare immuni all'impatto delle attività umane.

3. L'apocalisse degli insetti

Gli insetti ne sono un chiaro esempio. Nell'ultimo secolo, è stato ampiamente documentato un calo generale della diversità e dell'abbondanza degli insetti su scala locale, regionale (ad es. [10-20] e molti altri) e globale [21,22] (ma si vedano anche [23-26]).

Soprannominata "l'Apocalisse degli insetti", un'espressione ormai comunemente usata all'interno e al di fuori della comunità scientifica (ad es. [27-31]), la perdita di insetti è enorme, sia in termini di entità che di effetti. Si stima che gli insetti rappresentino 5,5 milioni di specie [32] - più della metà della diversità eucariotica stimata sulla Terra [33] - e circa 480 milioni di anni di storia evolutiva [34]. Essi svolgono ruoli fondamentali nei processi ecologici, nel funzionamento degli ecosistemi, nella salute e nel benessere umani [35,36]. I livelli effettivi di declino e/o estinzione sono probabilmente superiori a quelli stimati, poiché meno di un quinto di tutti gli insetti esistenti è stato catalogato [32,35]. Alcune aree hanno registrato un declino fino all'80% negli ultimi 50 anni, evidenziando che l'Apocalisse degli insetti è chiaramente un fenomeno globale dell'Antropocene [28].

Le cause del declino degli insetti sono attribuite a impatti antropici diretti o indiretti (come riportato in [35,36]), tra cui: cambiamenti climatici [11,15,17,18,37-45]; perdita, degrado e/o frammentazione degli habitat [10,15,17,46-50]; l'intensificazione dell'agricoltura [10,37,46,50], compresi gli impatti dei pesticidi/prodotti agrochimici [38,47,48,51-54]; le specie non autoctone e i loro parassiti e agenti patogeni [47,48,50,55]; e persino il traffico automobilistico [48] e l'inquinamento luminoso [27]. Tuttavia, resta ancora molto da comprendere riguardo all'importanza relativa di ciascuno di questi fattori [35] e ai loro effetti sinergici [38,48].

La scomparsa degli insetti nell'Antropocene ha già alterato i processi ecologici del nostro pianeta [35,36] attraverso la perdita di biodiversità e importanti cambiamenti funzionali nelle comunità [18,55,56]. Gli insetti partecipano alla decomposizione, alla formazione del suolo e al ciclo dei

nutrienti [57–59], nonché all'impollinazione di specie vegetali domestiche e selvatiche [47,60], e costituiscono una fonte alimentare fondamentale per altre specie [10,61,62]. Sono già stati documentati effetti a cascata sulle reti alimentari [10–12,36,55], ad esempio il declino congiunto degli uccelli insettivori e delle loro prede [12,46,52].

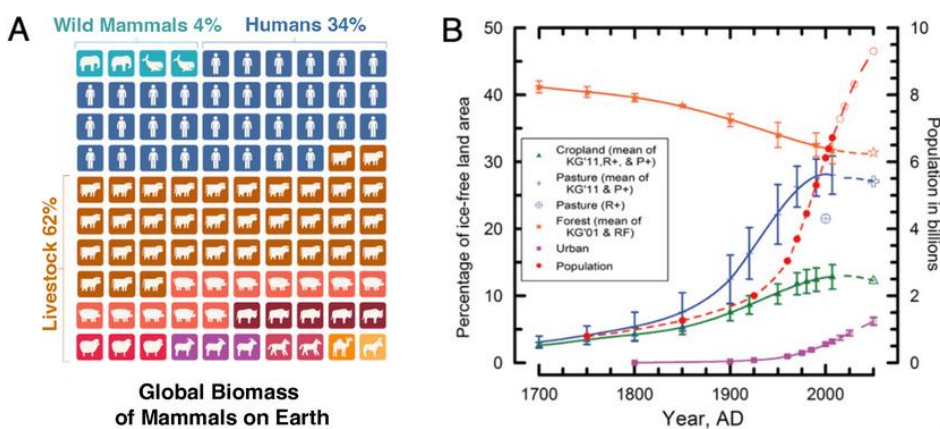
Da una prospettiva antropocentrica, il declino degli insetti mette a repentaglio i servizi ecosistemici [10,48] e minaccia l'agricoltura e la sicurezza alimentare attraverso la perdita di impollinazione [10,48,51,55,63,64], il controllo dei parassiti e il suolo [59,65,66].

I benefici che gli insetti apportano all'uomo, in particolare in agricoltura, sono ampiamente riconosciuti [35]: circa il 75% delle colture è impollinato dagli insetti [67]. Nel 2005 il valore economico globale dell'impollinazione delle colture da parte degli insetti è stato stimato in 163 miliardi di euro [64], mentre si stima, negli Stati Uniti, che solo gli insetti selvatici forniscano servizi ecosistemici per un valore di circa 57 miliardi di dollari all'anno [57].

4. Omogeneizzazione biotica

Ad aggravare il problema dell'estinzione, e a costituire un importante fattore di trasformazione degli ecosistemi, è l'omogeneizzazione biotica [68]. Soprattutto nel corso dell'ultimo secolo, e con un'accelerazione negli ultimi 50 anni, l'omogeneizzazione biotica si è manifestata in tre forme. La prima è la sostituzione delle specie animali selvatiche con gli esseri umani e le loro specie addomesticate. Con il triplicarsi della popolazione umana globale dal 1950, gli esseri umani rappresentano ora il 34% della biomassa mammifera globale. Il bestiame addomesticato (animali da allevamento e da compagnia) rappresenta il 62%. I mammiferi selvatici costituiscono solo il 4% [69]. Per la maggior parte dell'Olocene, la biomassa degli animali selvatici superava quella degli esseri umani e dei mammiferi domestici [70]. Man mano che gli esseri umani sono diventati sempre più numerosi sulla Terra, la percentuale di animali selvatici rispetto agli esseri umani e al loro bestiame è gradualmente diminuita, ma anche in un periodo recente come quello tra il 1900 e il 1950, la biomassa globale dei mammiferi selvatici (circa il 10%) era più che doppia rispetto a quella attuale [69] (figura 2).

Figura 2.



(A) Biomassa dei mammiferi nell'Antropocene (modificato da [69]). La biomassa dei mammiferi è misurata in tonnellate di carbonio ed è riportata per l'anno 2015. Ogni quadrato corrisponde all'1% della biomassa globale dei mammiferi. Una stima relativa agli animali da compagnia è stata inclusa nei dati complessivi sulla biomassa, ma non è riportata nella visualizzazione poiché rappresenta meno dell'1% del totale. Le percentuali indicano la proporzione della biomassa globale rappresentata da ciascuna categoria di mammiferi: mammiferi selvatici 4%, esseri umani 34%, bovini 35%, suini 12%, bufali 5%, ovini 3%, caprini 3%, equini 2%, cammelli 1%, asini 1%, totale bestiame 62%. (B) Percentuale di superficie terrestre libera dai

ghiacci convertita per uso umano rispetto alla crescita della popolazione umana dal 1700 d.C. (Riprodotta da [71], con autorizzazione). Le spiegazioni delle abbreviazioni e le informazioni aggiuntive sui dati utilizzati per costruire il pannello B sono disponibili inserendo il numero DR 2012340 all'indirizzo:

https://www.geosociety.org/GSA/Publications/Info_Services/Data_Repository/GSA/Pubs/data-repository.aspx.

In secondo luogo, l'attività umana ha trasformato radicalmente la maggior parte degli ecosistemi terrestri -oltre il 70% [72] - in paesaggi agricoli, città, centri abitati e strade; ma anche molti sistemi acquatici, attraverso la costruzione di dighe e/o l'inquinamento dei corsi d'acqua. Queste trasformazioni del paesaggio mantengono gli esseri umani e le loro specie addomesticate, selezionando e favorendo una minuscola parte della diversità globale, mentre trascurano o distruggono il resto. In mare, la storia è simile: la pesca eccessiva, la pesca a strascico e l'alterazione della chimica dell'acqua attraverso l'inquinamento, il riscaldamento climatico e l'acidificazione degli oceani hanno trasformato il 59% degli ecosistemi oceanici in uno "stato antropocenico" piuttosto che olocenico [73].

In terzo luogo, anche gli ecosistemi che non sono stati trasformati radicalmente dall'uomo sono diventati globalmente più omogeneizzati a causa del trasferimento di specie da un luogo all'altro da parte dell'uomo. A differenza di tutto l'Olocene, tranne che nell'ultimo secolo, ora la maggior parte degli ecosistemi planetari comprende specie che, senza l'intervento umano, sarebbero limitate ai luoghi in cui si sono evolute. Questo aspetto dell'omogeneizzazione biotica ha subito una marcata accelerazione da quando i viaggi e il trasporto marittimo su scala globale sono diventati comuni, a partire dalla metà del secolo scorso. Gli impatti ecologici sono ora così evidenti che le specie recentemente trasferite possono essere utilizzate per sviluppare una biostratigrafia dell'Antropocene [68]. In alcuni casi, le specie trasferite si sono diffuse in modo così drammatico da aver completamente modificato gli ecosistemi in cui sono state introdotte, sia deliberatamente che accidentalmente. Tra gli esempi figurano: diverse graminacee europee presenti in California [74], e il cheatgrass [*Bromus tectorum* - o forasacco dei tetti - graminacea originaria dell'Europa, Asia e Africa, nota per la sua elevata invasività *N.d.T.*] presenti in tutto l'Ovest americano [75]; varie specie di trote in Nord [76] e Sud America [77]; castori, topi muschiati e visoni nelle foreste subpolari di *Nothofagus* del Sud America [68]; e conigli in Australia [78].

L'effetto complessivo dell'omogeneizzazione biotica è che gli insiemi di specie, da una regione biogeografica all'altra e da un continente all'altro, sono oggi più simili a livello mondiale rispetto a quanto lo fossero nell'Olocene. Sebbene in alcuni luoghi ciò possa aumentare la diversità locale (alfa) [79,80], l'effetto complessivo, a livello mondiale, è una diminuzione della diversità regionale (beta). Ciò è dovuto al fatto che gli ecosistemi che per la maggior parte dell'Olocene erano geograficamente distinti - ciascuno modellato in modo unico dalla propria storia evolutiva e biogeografica e sede di una propria quota di specie endemiche - sono stati per lo più trasformati in paesaggi e insiemi di specie creati dall'uomo, dove molte specie endemiche sono scomparse o stanno scomparendo.

5. Gli esseri umani hanno trasformato la biosfera

È la specie umana ad aver determinato il passaggio dalla biosfera dell'Olocene a quella dell'Antropocene, e il punto di non ritorno è stato superato a metà del XX secolo. Da allora, la popolazione umana è passata da circa 2,5 miliardi a oltre 8 miliardi. Le esigenze di una popolazione in crescita, unite all'aumento della domanda dei consumatori, specialmente nei paesi altamente industrializzati, hanno generato impatti su scala mondiale. La produzione di carne da bestiame è aumentata del 690% [81], mentre il numero di animali selvatici sulla Terra è diminuito di oltre il 70% [5]. Più della metà delle foreste pluviali del mondo è stata abbattuta e sostituita da attività

agricole o altre costruzioni umane [82]. Le attività minerarie sono più che raddoppiate, specialmente in prossimità di ecosistemi protetti [83]. Una rete stradale che, in termini di lunghezza complessiva, potrebbe circondare la Terra più di mille volte, ha gravemente frammentato il paesaggio ecologico [84]. Su oltre il 60% dei grandi fiumi del mondo sono state costruite dighe che hanno alterato in modo significativo il loro flusso e il loro apporto di sedimenti al mare. I laghi di tutto il mondo hanno registrato cambiamenti nella composizione dei sedimenti (ad es. microplastiche e ceneri volanti), nella chimica (ad es. carbonio, azoto, inquinanti organici persistenti) e nella biota (ad es. a causa di specie introdotte e di alterazioni nella composizione del microbiota, provocate dai cambiamenti nella chimica e nella temperatura dei laghi) [1,85,86]. Sia nei laghi che nei fiumi è diminuita la capacità di accumulo delle acque superficiali [87]. L'apporto di azoto e fosforo negli oceani è più che triplicato, poiché il crescente uso di fertilizzanti sulla terraferma è sfociato in mare. Il numero di pesci marini pescati ogni anno è più che triplicato. La produzione di energia, principalmente da combustibili fossili, è più che quadruplicata [88], portando il bilancio energetico globale ben al di sopra di quanto fosse stato per quasi tutto l'Olocene, quando la fotosintesi era l'unica fonte di energia [89]. Il risultato finale di questa produzione energetica aggiuntiva è stato quello di più che raddoppiare le concentrazioni dei gas serra (anidride carbonica, protossido di azoto, metano e ozono stratosferico) nell'atmosfera, di modificare la chimica dei laghi e più che raddoppiare l'acidità degli oceani [90].

L'aumento del consumo di combustibili fossili, a partire dalla metà del XX secolo, e il conseguente incremento dei gas serra hanno fatto entrare la Terra in un nuovo stato climatico, generalmente più caldo rispetto alla norma dell'Olocene, il che a sua volta ha accelerato la transizione della biosfera in due modi significativi. In primo luogo, il ritmo insolitamente rapido del riscaldamento globale ha di per sé aumentato il rischio di estinzione per molte specie: dai vertebrati terrestri ai coralli marini [88]. In secondo luogo, le aree di distribuzione delle specie - così come i movimenti umani - stanno subendo un drastico rimescolamento in risposta alla riorganizzazione spaziale delle zone climatiche sulla superficie terrestre [91]. Nelle aree più colpite, nel giro di un decennio, il 48% delle specie è stato sostituito da altre che si sono meglio adattate al nuovo clima prevalente in una data località [92].

6. Relitti dell'Olocene: musei della natura

L'accelerazione del ritmo delle estinzioni, l'omogeneizzazione biotica e il cambiamento climatico hanno già gravemente ridotto e modificato la biodiversità dell'Antropocene rispetto a quella dell'Olocene. Tutto ciò che resta della tipica diversità propria dell'Olocene è ora limitato a un numero relativamente esiguo di aree protette - parchi, riserve naturali, aree selvagge, riserve marine e simili - che costituiscono solo il 17% delle aree terrestri e l'8% degli oceani [93]. Questi ultimi residui degli ecosistemi dell'Olocene sono, di fatto, isole di natura, in quanto solo il 10% di essi è sufficientemente collegato da consentire l'interscambio tra loro [94].

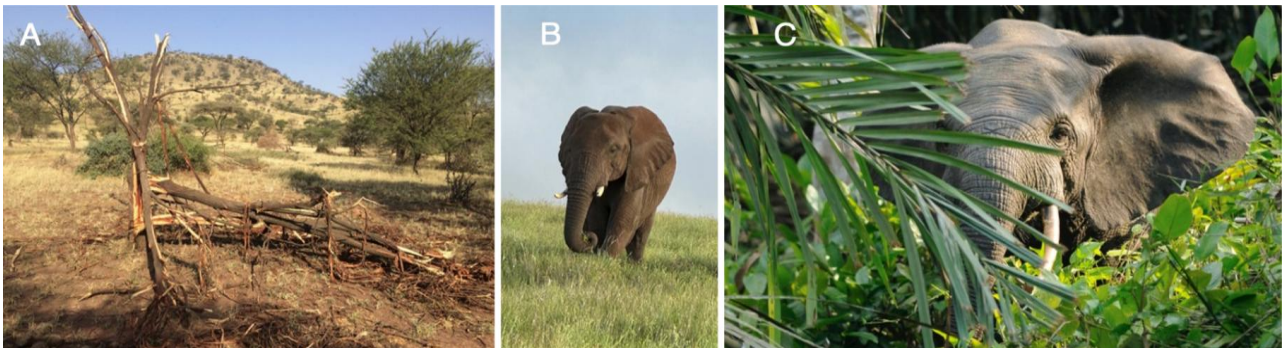
In questi frammenti di tessuto ecologico di tipo olocenico che si stanno rapidamente logorando, risiedono molte delle specie che vivono sull'orlo dell'estinzione: sono essenzialmente i musei di ciò che la natura era un tempo. Le specie di elefanti in Africa ne forniscono un esempio calzante.

Le aree protette dell'Africa, che coprono circa il 19% del continente [95], ospitano ancora quasi tutti i grandi erbivori, i predatori, le specie preda e le dinamiche ecosistemiche che caratterizzavano l'Olocene. Tuttavia, guardando il bicchiere mezzo vuoto, circa l'81% del continente non è più a disposizione della fauna selvatica, poiché viene utilizzato principalmente dall'uomo. Le inevitabili ripercussioni sulla biodiversità sono evidenti. Non ci sono più i dieci milioni di elefanti che vagavano per il continente africano, come erano poco più di un secolo fa, e per decine di migliaia di

anni prima di allora [96]. Verso la metà del XX secolo, il loro numero era sceso a circa un milione di esemplari e, da allora, si è ridotto ancora di oltre la metà. Ora ne sono rimasti solo circa 400.000 [97] - e stanno scomparendo rapidamente. La loro decimazione è stata causata dalla perdita di habitat - poiché gli esseri umani hanno trasformato il paesaggio per i propri bisogni e desideri - e dall'uccisione intenzionale, principalmente sotto forma di bracconaggio per le loro zanne economicamente preziose, ma anche per limitare l'impatto degli elefanti sull'agricoltura. Queste condizioni perdurano ancora oggi. Se il tasso di perdita caratteristico degli ultimi decenni dovesse continuare, tra 20 anni non rimarrebbero più elefanti selvatici sulla Terra [98]. Cosa significherebbe questo per gli ecosistemi in cui vivono gli elefanti e per la condizione umana nell'Antropocene?

Da un punto di vista ecologico, gli elefanti, come molte altre specie di grandi dimensioni presenti sulla Terra, sono ingegneri dell'ecosistema (figura 3). Gli elefanti della savana, in parole povere, fanno sì che la savana rimanga tale. Nelle condizioni in cui i loro spostamenti non sono limitati, il loro brucare, calpestare e muoversi attraverso le aree boschive ha l'effetto di favorire l'apertura del paesaggio, di aumentare la frammentazione, la dispersione dei semi e la biodiversità [99], di modulare gli incendi, migliorare il ciclo dei nutrienti e aumentare il sequestro del carbonio [100]. Nell'Africa centrale, dove le foreste sono più diffuse della savana, gli elefanti della foresta mantengono la struttura delle foreste afrotropicali grazie al loro importante ruolo nella dispersione dei semi, nel ciclo dei nutrienti, nell'alimentazione selettiva, nel calpestio e nel danneggiamento fisico di vari tipi di vegetazione. L'effetto principale è un aumento della biodiversità e del sequestro del carbonio nelle foreste dove gli elefanti possono muoversi liberamente attraverso i loro tradizionali areali di distribuzione [101].

Figura 3.



Gli elefanti come ingegneri dell'ecosistema. (A) Attraverso il pascolo, il brucare, il calpestio e l'abbattimento degli alberi, gli elefanti mantengono aree aperte come (B) le savane, a scapito delle foreste. (C) Nelle foreste afrotropicali, gli elefanti mantengono la struttura e la composizione della foresta (immagine tratta da Wikimedia Commons).

Pertanto, con la scomparsa degli elefanti, si perderanno anche le savane africane e le foreste afrotropicali che queste specie di elefanti hanno preservato per millenni. Laddove gli elefanti vengono eliminati dalle savane, le foreste avanzano; laddove vengono eliminati dalle foreste afrotropicali, la densità degli alberi e l'omogeneità della struttura forestale aumentano, la composizione delle specie cambia notevolmente e la biodiversità e le riserve di carbonio diminuiscono. Se continueranno le tendenze attuali, la scomparsa degli elefanti nei prossimi decenni comporterà che ben il 96% delle foreste dell'Africa centrale finirà per assomigliare alle foreste neotropiche [ecosistemi tropicali situati nell'eco-zona Neotropica (America Centrale e Meridionale) *N.d.T.*] [101].

Il percorso che porta alla totale scomparsa degli elefanti passa attraverso il loro confinamento - a densità superiori alla norma - nei pochi rifugi protetti dove attualmente trovano una certa sicurezza.

Nelle savane, ciò comporta una diminuzione delle aree boschive e, di conseguenza, della biodiversità complessiva; nelle foreste afrotropicali, invece, comporta una crescente invasione delle aree aperte a scapito delle specie arboree ricche di biodiversità (figura 3). In breve, con il declino degli elefanti e la loro concentrazione a densità sempre più elevate nei rifugi protetti, o nelle riserve di caccia, stiamo già assistendo alla trasformazione delle aree da cui vengono estirpati, così come di quelle in cui vengono concentrati, da condizioni tipiche dell'Olocene a un ecosistema dell'Antropocene con caratteristiche uniche. Questa trasformazione è già permanente in circa l'81% del continente africano, dove gli elefanti non vagano più liberamente, ed è ben avviata nelle aree in cui sono rimasti. L'entità della trasformazione ecologica è altrettanto evidente - forse anche di più - delle trasformazioni ecologiche che hanno caratterizzato il passaggio dal Pleistocene all'Olocene, quando la megafauna è stata spazzata via dalla faccia della Terra [4].

Naturalmente, gli elefanti non sono l'unica specie africana a rischio di estinzione. L'elenco è lungo - più di 100 specie - e comprende la maggior parte di quelle iconiche che i turisti pagano un extra per vedere, come i licaoni, i lupi etiopi, i ghepardi, i leopardi, i leoni, i gorilla, gli scimpanzé, i rinoceronti, la zebra di Grévy, le giraffe nubiane e molte altre. Queste specie sopravvivono con un numero esiguo di esemplari, principalmente in aree protette o riserve di caccia private, spesso gestite a fini turistici. In un'estensione geografica così limitata, gli ecosistemi dell'Antropocene della stragrande maggioranza dell'Africa differiscono drasticamente da quelli presenti nell'Olocene. Sono così diversi che i paleontologi del futuro (e persino quelli di oggi) potranno distinguere i depositi dell'Antropocene e dell'Olocene dagli assemblaggi faunistici e floristici che saranno conservati nella stratificazioni geologica.

Il continente africano rappresenta un caso particolare poiché, tra tutti i luoghi della Terra, è l'unico ad aver conservato in larga misura l'intera gamma di megafauna che, all'inizio dell'Olocene, era già stata eliminata dagli ecosistemi presenti nel Pleistocene. Tuttavia, i segni della trasformazione biosferica dallo stato olocenico a quello antropocenico, sotto forma di estinzione di varie specie e alterazione degli assemblaggi biotici, si riscontrano nella maggior parte dei luoghi studiati, tra cui Nord America, Sud America, Asia, Europa, Australia e Antartide [1,68].

7. Dipendenze interregionali

La trasformazione di ecosistemi geograficamente distinti, sia dall'alto verso il basso (eliminazione di specie chiave, predatori, ecc.) e/o dal basso verso l'alto (insetti, piante, ecc.), come illustrato nelle sezioni precedenti, altera in due modi la biosfera globale. In primo luogo, i cambiamenti biotici all'interno delle regioni si sommano a cambiamenti che influenzano la maggior parte della biosfera terrestre e trasformano in isole le aree protette, con scarse possibilità di interscambio biotico tra le zone distinte, se non per quanto diretto dall'uomo. Ciò caratterizza già la biosfera dell'Antropocene: a livello globale, i corridoi collegano strutturalmente tra loro solo circa il 10% delle aree di conservazione della natura [94]. In secondo luogo, nonostante la generale mancanza di connettività, ciò che accade in una regione biogeografica può avere un impatto sulle specie di un'altra, poiché molte specie migratorie dipendono da risorse provenienti da più regioni biogeografiche.

Ad esempio, le falene delle Grandi Pianure americane costituiscono un'importante fonte di cibo per gli orsi grizzly nella regione del Greater Yellowstone. Sebbene, a livello globale, gli orsi grizzly siano classificati dall'IUCN come specie "a rischio minimo", oggi occupano solo il 6% del loro areale storico nei 48 stati continentali degli Stati Uniti. Poiché il loro numero è diminuito così drasticamente in Nord America, sono considerati una specie minacciata negli Stati Uniti e in pericolo in alcune zone del Canada. Eppure, sono una specie simbolo, fondamentale negli

ecosistemi in cui ancora esistono, come l'ecosistema del Greater Yellowstone, che è un relitto iconico di un ecosistema che per gran parte dell'Olocene era diffuso in tutta la regione delle Montagne Rocciose del Nord America.

Oltre all'evidente incidenza dell'Antropocene sulla sopravvivenza di popolazioni di orsi grizzly nei dintorni di Yellowstone - come la crescente perdita di habitat e i conflitti con gli esseri umani, mentre lo sviluppo continua a invadere l'habitat degli orsi - c'è la loro dipendenza dalle falene del genere *Spodoptera*, che si riproducono nelle regioni agricole delle Grandi Pianure. Con l'innalzarsi delle temperature nelle pianure durante l'estate, le falene migrano a milioni verso le Montagne Rocciose, dove si radunano in aree che a loro volta, per una buona ragione, attraggono gli orsi: dei 266 diversi tipi di cibo conosciuti che i grizzly mangiano, le falene sono le più ricche di calorie. Durante la migrazione, un singolo orso mangia fino a 40.000 falene al giorno [102], l'equivalente di circa un ottavo della dieta giornaliera di un grizzly [103]: una risorsa fondamentale che permette agli orsi di accumulare riserve di grasso in vista della stagione del letargo.

Ironia della sorte, la conversione di gran parte delle Grandi Pianure in terreni coltivabili, a partire dalla metà del XIX secolo, potrebbe aver favorito la sopravvivenza dei grizzly nella regione del Greater Yellowstone e in altre zone delle Montagne Rocciose. Tuttavia, emerge un problema legato all'Antropocene: le falene sono un parassita, quindi un problema nelle regioni agricole in cui si riproducono, e la loro permanenza durante l'inverno sta aumentando con il riscaldamento climatico. L'aumento dell'uso e dell'efficacia dei pesticidi per limitare il numero di falene potrebbe inavvertitamente avere effetti deleteri sugli orsi che da esse dipendono: un minor numero di falene significa minori riserve di grasso per gli orsi quando entrano in letargo, aumentandone la mortalità durante l'inverno. Inoltre, se utilizzati in quantità eccessive, i residui di pesticidi sulle falene potrebbero essere dannosi per gli orsi, anche se nel 1999 non sembravano essere così pericolosi [104]. Un secondo problema dell'Antropocene è il cambiamento climatico: con lo spostamento delle zone climatiche, la fenologia [branca della biologia che studia i rapporti tra fattori climatici e manifestazioni stagionali di alcuni fenomeni della vita vegetale e animale *N.d.T.*] sia delle falene che degli orsi potrebbe andare fuori sincrono, con l'effetto che le falene potrebbero non trovarsi nelle aree in cui gli orsi hanno bisogno che siano nel momento giusto dell'anno [102].

La scomparsa di questi predatori apicali trasformerebbe l'ecosistema del Greater Yellowstone da un ecosistema "relicto dell'Olocene" a uno in piena fase antropocenica, attraverso effetti a cascata quali la diminuzione della diversità e il cambiamento nella composizione delle comunità animali e vegetali, l'aumento della densità degli animali di cui si nutrono i grizzly (grandi erbivori come alci e cervi) e la riduzione del trasferimento di nutrienti tra habitat acquatici e terrestri [105].

I collegamenti tra le regioni biogeografiche non si limitano affatto agli orsi e alle falene. Tutte le specie che dipendono in qualche modo da lunghe migrazioni sono particolarmente a rischio. Per i mammiferi, ciò include specie come l'antilope americana e il caribù. Per quanto riguarda gli uccelli migratori, le pressioni dell'Antropocene hanno già causato un grave declino in molte specie. Su 1106 specie migratorie protette da trattati internazionali, 89 sono state classificate come minacciate o in pericolo (ai sensi dell'Endangered Species Act statunitense), e 269 specie sono elencate come a rischio di conservazione. Dal 1970, anche le popolazioni di uccelli canori comuni sono crollate.

Il solo Nord America ha registrato una perdita di quasi 3 miliardi di uccelli, pari a un calo del 25% [106]. I fattori chiave di questo declino sono la perdita o il degrado di milioni di acri di habitat degli uccelli ogni anno, a causa dello sviluppo, dell'agricoltura, delle pratiche forestali, della luce e del rumore [107]; nonché le collisioni degli uccelli con strutture costruite dall'uomo quali finestre, torri di comunicazione e mulini a vento [108].

8. Prospettive per la biosfera dell'Antropocene

Da quanto esposto in precedenza emerge chiaramente che la biosfera dell'Olocene si è già trasformata in una realtà che presenta le caratteristiche dell'Antropocene: una predominanza di esseri umani, di piante e animali addomesticati a scapito delle specie selvatiche; una profonda riorganizzazione della maggior parte dei territori in ecosistemi dominati dalle strutture e dall'uso del suolo da parte dell'uomo; nonché una diminuzione della biodiversità e un aumento dell'omogeneità a livello globale, sia sulla terraferma che in mare, sempre causati dall'uomo. Anche le interazioni della biosfera dell'Antropocene con altri aspetti del sistema terrestre: atmosfera, criosfera, idrosfera e litosfera, sono fundamentalmente diverse rispetto alle condizioni presenti nell'Olocene, in quanto gli esseri umani hanno modificato il clima e i cicli biogeochimici, riorganizzato il flusso delle acque verso gli oceani attraverso dighe, sciolto i ghiacciai (un nuovo regime climatico più caldo), esaurito le acque superficiali e sotterranee, alterato i modelli di distribuzione dei sedimenti; e hanno aggiunto nuovi tipi di detriti (sia chimici che fisici) ai depositi geologici che si stanno formando ora [109].

Queste considerazioni indicano che è quasi certo che la biosfera dell'Antropocene continuerà ad allontanarsi dalle condizioni dell'Olocene. La rapidità di questo allontanamento dipenderà inevitabilmente dalla gestione responsabile da parte dell'umanità, sia a livello locale che globale.

(a) Gestione responsabile a livello locale

La scienza ha da tempo individuato ciò che è necessario per salvare le specie e gli ecosistemi delle aree protette: habitat adeguati, una connettività sufficiente a garantire dimensioni sostenibili delle popolazioni, nonché l'adozione e l'applicazione di leggi volte a impedire l'uccisione di specie in via di estinzione.

Laddove tali pratiche sono state adottate con convinzione, hanno dato buoni risultati. Ad esempio, nel Parco Nazionale dei Vulcani in Ruanda, nonostante fosse stato teatro di una guerra civile e di un genocidio negli anni '90, la popolazione dei gorilla di montagna è passata da meno di 300 esemplari negli anni '80, a oltre 600 esemplari attuali [110]. Alla Lewa Wildlife Conservancy in Kenya, le popolazioni di rinoceronti in via di estinzione, e di zebre di Grevy, prosperano e sono in crescita [111]. Il Parco Nazionale di Yellowstone - il primo parco nazionale al mondo, protetto da 153 anni - conserva ancora quasi l'intera gamma di specie e le funzioni ecosistemiche che vi operano da almeno gli ultimi 3000 anni dell'Olocene [112,113].

Ciò che accomuna queste e altre storie di successo è la rigorosa tutela delle specie e degli ecosistemi all'interno dei confini delle riserve, il coinvolgimento delle comunità circostanti e i benefici economici che ne derivano, nonché il sostegno finanziario e logistico da parte di enti governativi e organizzazioni non governative. Ciononostante, il bracconaggio di specie protette rappresenta una minaccia costante, e la protezione complessiva di queste aree naturali, e di riserve simili, dipende in gran parte dall'impegno dei governi locali e nazionali, che può (e di fatto cambia) a seconda dei mutamenti del clima politico.

(b) Gestione responsabile a livello globale

In una prospettiva più ampia, la salvaguardia delle specie, anche nelle aree protette, richiederà anche la mitigazione dei cambiamenti climatici, una maggiore efficienza nei metodi di produzione e distribuzione del cibo e una maggiore consapevolezza dei vantaggi economici derivanti dalla conservazione delle specie [94]. Gli scienziati ed altri studiosi hanno elaborato piani d'azione su

come affrontare queste sfide [114–116]; in gran parte, la tecnologia necessaria per il successo esiste già, sotto forma di energia solare ed eolica [97], con pratiche agricole sempre più efficienti [97,117–120] e modelli che dimostrano i vantaggi economici della natura [97,113,115].

Tuttavia, non si è riusciti finora a mitigare queste pressioni globali nella misura necessaria. Continua ad accelerare il degrado degli habitat esterni alle aree rigorosamente protette, di pari passo con l'aumento della popolazione umana e del suo consumo di risorse. I profitti a breve termine derivanti dall'estrazione delle risorse e dal bracconaggio stanno riducendo le misure di tutela ambientale e delle specie. Il clima dell'Antropocene continua a modificarsi rapidamente, a causa dell'uso sempre crescente di combustibili fossili. Il risultato è uno spostamento spaziale accelerato delle zone climatiche, che modifica le condizioni di vita in molte aree protette, in modo tale che il clima di cui hanno bisogno alcune specie non è più vivibile nelle aree in cui si trovano [92].

(c) Trasferimento controllato

Poiché le pressioni globali rendono alcune aree inabitabili per le specie in via di estinzione che vi vivevano abitualmente, per salvarle sarà necessario trasferirle in luoghi più adatti. Come è stato osservato altrove [121], questa può essere una strategia rischiosa se impiegata per trasferire delle specie in ecosistemi in cui non hanno mai vissuto e interagito con la fauna esistente. Ciò può potenzialmente causare, nel migliore dei casi, cambiamenti significativi negli ecosistemi in cui vengono trasferite le specie in via di estinzione e, nel peggiore dei casi, creare nient'altro che elaborati zoo e giardini gestiti dall'uomo. Tuttavia, quando le specie vengono trasferite in aree che in precedenza le ospitavano, possono contribuire a prolungare la loro vita e a preservare il funzionamento naturale dei sistemi in cui vengono reintrodotte. Esempi di successo in questo senso hanno a che fare con la reintroduzione dei lupi nell'ecosistema del Greater Yellowstone e il trasferimento dei rinoceronti in varie riserve naturali in Africa, dove possono essere adeguatamente protetti dal bracconaggio.

(d) Una falsa promessa

Alcuni hanno sostenuto che la biotecnologia - sotto forma della cosiddetta “de-estinzione” - possa svolgere un ruolo importante nell'invertire la tendenza alla perdita di biodiversità. Si tratta, tuttavia, di una falsa promessa. Le specie sono il risultato di processi evolutivi ed ecologici che danno vita a ecosistemi funzionanti, costituiti da organismi intimamente connessi attraverso reti di interazioni. Quando gli habitat che hanno dato origine a una specie scompaiono o si degradano oltre un certo limite - come sta accadendo attualmente alle specie in pericolo - è di scarsa utilità ricorrere alla biotecnologia per riportare nel presente specie simili scomparse da tempo. Anche se diventasse fattibile ingegnerizzare tali specie e trovare rifugi potenzialmente adatti per liberarne alcune, sarebbero per sempre perduti i comportamenti appresi, le diete, i predatori o le prede e i microbiomi che si sono accumulati nel corso di milioni di anni e che hanno reso le specie ciò che erano [122].

Il trasferimento delle tecnologie biologiche dal laboratorio all'ambiente reale pone inoltre una miriade di sfide giuridiche ed etiche. Gli studiosi di diritto sottolineano che «la tecnologia è molto più avanzata di qualsiasi quadro normativo in grado di fornire le linee guida necessarie per evitare o ridurre al minimo le conseguenze indesiderate sui nostri ecosistemi, già di per sé fragili». Le nostre leggi federali e statali non forniscono una struttura per gestire l'introduzione di specie selvatiche estinte. E, data la nostra situazione di stallo politico, non possiamo contare sul fatto che i legislatori affrontino tempestivamente queste questioni, per non parlare poi di trovare un consenso. Ciò ci porta a dover fare affidamento sull'integrità dei singoli scienziati e, forse ancora più importante, delle aziende che finanziano il lavoro di de-estinzione» [122]. Tra le spinose questioni giuridiche vi è quella relativa alle nuove “specie chimera” (poiché i protocolli di de-estinzione si basano

generalmente sulla fusione di genomi di specie estinte e di specie esistenti strettamente correlate): queste nuove specie saranno di proprietà e commercializzate dalle aziende che le hanno create, oppure saranno classificate come “in via di estinzione”, con protezione governativa? E se le specie ingegnerizzate verranno introdotte in un ecosistema esistente, chi è responsabile per gli eventuali impatti che potrebbero derivarne?

9. L'etica nell'Antropocene

Le questioni etiche vanno ancora più in profondità [123]: inevitabilmente, gli esseri umani sono diventati i custodi dell'Antropocene, e ciò che ci rende umani sono i nostri principi morali che guidano la nostra percezione di bene e male. È etico, quindi, introdurre repliche di specie estinte in un mondo che non possiede più le condizioni ecologiche che un tempo le sostenevano? In che modo queste repliche influenzeranno le specie sopravvissute negli ecosistemi odierni che si stanno adattando alle nostre nuove condizioni dell'Antropocene [122]? E, forse questa è la domanda cruciale, qual è l'utilità nel cercare di ricreare repliche di specie estinte quando stiamo facendo un lavoro così scadente nel mantenere in vita quelle che attualmente sono sull'orlo dell'estinzione? Sottraendo potenzialmente fondi indispensabili alla conservazione delle specie esistenti, la de-estinzione non solo è costosa, ma, cosa forse ancora più importante, impedisce alla società di confrontarsi con la moralità dell'estinzione e l'insostituibilità delle nostre poche aree protette rimaste.

Le considerazioni etiche, ovviamente, non si limitano alla de-estinzione. La domanda fondamentale - che probabilmente è propria solo della specie umana - è: cosa dobbiamo alle altre specie con cui ci siamo evoluti? Che ci piaccia o no, ora siamo i loro custodi. Abbiamo la responsabilità morale di favorire la sopravvivenza della biodiversità, così come essa ha favorito la nostra evoluzione? Oppure l'umanità si è evoluta al punto tale che gli ambienti costruiti sono diventati talmente la nuova normalità da indurci a ignorare le vite diverse dalla nostra?

10. Conclusione

La biosfera dell'Antropocene si differenzia da quella dell'Olocene per la minore biodiversità, per la maggiore omogeneità e per il fatto di essere dominata dall'uomo, dagli animali e dalle piante domestiche, oltre che per l'interazione con: atmosfera, processi biogeochimici e clima che differiscono, sotto aspetti importanti, da quelli dell'Olocene. Date le tendenze attuali dell'Antropocene questa differenziazione è destinata ad accentuarsi, con tassi di estinzione e di trasformazione degli ecosistemi sempre più elevati, causati sia da pressioni locali (trasformazione degli habitat, bracconaggio) sia da pressioni globali (estrazione di risorse per alimentare una popolazione umana in continua crescita, sempre più consumatrice, e cambiamenti climatici causati dall'uomo). Sebbene piccole sacche di territorio contengano ancora varietà di specie che sostengono una funzione ecosistemica simile a quella dell'Olocene, questi frammenti relativamente minuscoli del pianeta sono l'eccezione, piuttosto che la regola. Grazie a misure di protezione rigorose e a

interventi quali il trasferimento controllato di specie idonee, questi musei della natura possono sopravvivere, ma anche se ciò avvenisse, non sarebbero altro che vestigia del passato in una nuova biosfera dell'Antropocene. Le tendenze attuali, tuttavia, indicano che anche quelle aree protette e le specie che vi vivono, nella migliore delle ipotesi vedranno peggiorare le loro condizioni a causa di fattori globali causati dall'uomo (in particolare il cambiamento climatico, la crescita della popolazione umana e il consumo di risorse) e, nella peggiore delle ipotesi perderanno una

protezione adeguata e scompariranno a causa di pressioni politiche locali, pressioni economiche e indifferenza.

La realtà è che, a livello globale, la biosfera dell'Olocene è scomparsa, soppiantata da quella dell'Antropocene. Resta da vedere fino a che punto la biosfera dell'Antropocene si discosterà da quella olocenica che l'ha preceduta. Tutto lascia pensare che nei prossimi decenni diventerà sempre più singolare, a causa della perdita di specie, della diminuzione delle popolazioni e della scomparsa o della significativa alterazione degli attuali musei della natura. Ma, ovviamente, non deve necessariamente andare così. La scienza ci dice che sono possibili traiettorie diverse. Ma, a giudicare da come si è sviluppato finora l'Antropocene, la forma del futuro non sarà guidata principalmente dalla scienza. Ci vorrà la volontà collettiva dell'umanità, al di là dei confini nazionali, per guidare la biosfera verso uno stato che sostenga non solo noi stessi, ma anche le specie rimanenti e ciò che resta degli ecosistemi con cui ci siamo evoluti.

Note

I riferimenti citati sono alla fine dell'articolo originale: [CLICCA QUI](#)

Anthony Barnosky e Elisabetta Hadly

Traduzione a cura della **Redazione di Antropocene.org**

Fonte: [The Royal Society Publishing](#) 22.01.2026