



---

# REWILDING

---

**IL NUOVO APPROCCIO RADICALE  
AL RECUPERO DEGLI ECOSISTEMI**



EDIZIONE ILLUSTRATA



---

# REWILDING

---

IL NUOVO APPROCCIO RADICALE  
AL RECUPERO DEGLI ECOSISTEMI

Paul Jepson e Cain Blythe

Atlante

**Rewilding.**  
**Il nuovo approccio radicale al recupero degli ecosistemi**  
di Paul Jepson e Cain Blythe

Publicato da **Atlante Srl**  
Via Volta 12 40053 Valsamoggia (Bologna)  
E-mail [atlante@atlantelibri.com](mailto:atlante@atlantelibri.com)  
**www.atlantelibri.com**

Edizione originale  
Rewilding. The Radical Science of Ecological Recovery  
Published by MIT Press by arrangement with UniPress Books Ltd.  
Text copyright © Icon Books 2021  
Design and Layout copyright © UniPress Books Ltd. 2021

**Manager di progetto** Jason Hook  
**Direzione artistica** Luke Herriott  
**Illustrazioni** Robert Brandt / Paul Oakle  
**Ricerca iconografica** Sharon Dortenzio

**Traduzione** Costanza Bocchia  
Copyright © Atlante Srl 2023

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, fotocopiata, registrata o trasmessa in alcuna forma senza il permesso scritto dei titolari di copyright. Copia di questo libro è stata inviata per il deposito legale alla Biblioteca Nazionale di Firenze e alle altre sedi preposte.

ISBN: 978 88 7455 198 9

Finito di stampare nel mese di gennaio 2024  
Stampato in Slovacchia



# SOMMARIO

Introduzione **6**

Cronologia geologica **10**

- 1** Nuovi orizzonti **12**
- 2** La megafauna del passato **22**
- 3** Il declino ecologico del pianeta **42**
- 4** I primi esperimenti di rigenerazione **72**
- 5** Cascate, spazi, reti e ingegneria **98**
- 6** Gli impatti sul sistema Terra **116**
- 7** Aspetti etici e politici del rewilding **138**
- 8** Oltre il rewilding **164**
- 9** Dieci pronostici per il futuro **190**

Fonti e approfondimenti **214**

Indice **218**

Ringraziamenti **224**



# INTRODUZIONE

Rewilding, termine coniato negli anni novanta, sta entrando nel mainstream dei dibattiti scientifici e divulgativi che riguardano le modalità con cui governare il complesso rapporto tra società umane e natura selvatica. Il numero di documenti e articoli riguardanti tale nuova prospettiva sta crescendo in modo esponenziale, e il 20 marzo 2021 si è celebrato il primo World Rewilding Day, organizzato dalla neonata Global Rewilding Alliance. Le numerose parti coinvolte mirano a una transizione da approcci all'ecologia difensivi o conservativi a interventi concreti e proattivi di recupero naturalistico.

Perché ora, nel terzo decennio del XXI secolo, compare il primo libro divulgativo sul rewilding? Come mai questo modello non è emerso nella coscienza scientifica già all'inizio del millennio, o magari tra vent'anni? È chiaro che sta succedendo qualcosa; questo tipo di strategia implica l'incontro di tre dinamiche tra loro convergenti: i progressi teorici della scienza interdisciplinare degli ecosistemi e della conservazione; le innovazioni nella gestione delle aree naturali; il desiderio, o forse anche il bisogno, di una nuova narrazione ambientale, responsabilizzante e piena di speranza. L'obiettivo di quest'opera è dunque offrire una sintesi accessibile di conoscenze, pratiche e politiche del rewilding, auspicando che possa motivare chi legge a studiare l'argomento, a visitare le aree interessate da questi interventi, a partecipare a dibattiti di approfondimento e a impegnarsi attivamente per

contribuire alla formazione di un vero e proprio "Movimento per la rinaturalizzazione".

Gli autori sono giunti a studiare la materia da percorsi diversi. Paul Jepson ha iniziato a lavorare a progetti di riqualificazione naturalistica urbana nel Regno Unito, e in seguito si è trasferito in Indonesia per aiutare a proteggere giungle e fauna selvatica a rischio di estinzione dall'implacabile furore della deforestazione, e infine è diventato direttore di un Master in conservazione della biodiversità presso l'Università di Oxford. Cain Blythe ha lavorato in un santuario per rapaci nel Regno Unito e in un parco zoologico in Australia prima di diventare ecologo professionista, e negli ultimi vent'anni ha creato e gestito un'azienda di ripristino degli habitat. Per entrambi è evidente che le iniziative legate alla conservazione della natura nate negli anni ottanta stanno invecchiando e, pur avendo ottenuto risultati notevoli, sono diventate eccessivamente burocratiche, imprenditoriali, conformiste e disfattiste. L'emergente campo del rewilding offre forme di pensiero fresche e innovative, nonché l'opportunità di entrare a far parte di una comunità di professionisti all'avanguardia nel campo della tutela ambientale. È tuttavia indubbio che questo tipo di approccio sconvolga alcuni dei principi fondamentali su cui si fondano le istituzioni deputate alla gestione e alla tutela della natura. Per questo motivo è stato inserito il termine "radicale" nel sottotitolo del libro: è necessario essere dispo-



### ▣ Megafauna nel Pleistocene

*Durante il Pleistocene (da 2,6 milioni a 11.700 anni fa circa) la megafauna creò paesaggi aperti simili alla savana. Questa ricostruzione della Patagonia (Argentina) mostra, dallo sfondo al primo piano, alcuni proboscidiati (Stegomastodon sp.), un dedicuro (Doedicurus sp.), un megaterio (Megatherium sp.), degli ippidion (Hippidion sp.), delle tigri dai denti a sciabola (Smilodon sp.) e due litopterni (Macrauchenia sp.).*

nibili a riesaminare e rivalutare convinzioni profondamente consolidate su ciò che rappresenta la natura allo stato originario, su quali specie dovrebbero farne parte e su cosa richiedono le più efficaci strategie di conservazione. La speranza è che questo libro spinga ogni lettore a riflettere sulla sua personale visione di ciò che è possibile fare per la salvaguardia dell'ambiente naturale, aiutato da un rinnovato senso di chiarezza e di intenti.

Il proposito di questo libro è di creare un ponte tra le nuove ricerche e le scoperte già acquisite nella letteratura tecnico-scientifica e i dibattiti a carattere politico, culturale

e divulgativo in tema di ecologia. Gli autori ritengono che ciò sia importante per diverse ragioni: fornire un manuale introdotto e comprensibile a chi è interessato al rewilding e ai professionisti impegnati nel settore; rafforzare il coinvolgimento democratico nelle politiche ambientali e infine contribuire a creare le condizioni per l'emergere di un settore imprenditoriale inedito. La stesura di un saggio divulgativo aiuta infatti a chiarire i concetti e a creare nuove correlazioni; poiché un testo tecnico, per ottime ragioni, fa uso di un gergo specialistico, spesso il processo di "traduzione" mette in luce una limitata comprensione del vero significato, dell'importanza e

dell'interconnessione dei termini scientifici. Il rewilding comporta uno spostamento dell'attenzione dalle singole "componenti" degli ecosistemi alle proprietà emergenti generate dalle interazioni tra essi. In breve, rappresenta un passaggio dal pensiero lineare a quello sistemico, che per sua natura è più difficile da spiegare in prosa semplice. Per questo motivo la proposta dell'editore di una versione illustrata è stata incoraggiante. Come dice il vecchio adagio, "un'immagine vale più di mille parole", e le infografiche di Robert Brandt e Paul Oakley contribuiscono enormemente a spiegare la complessità di questa nuova scienza.

In questa narrazione viene messo in primo piano il ruolo dei megaerbivori nell'evoluzione e nel recupero di ecosistemi diversificati e resilienti. Ciò riflette l'influenza reciproca tra le soluzioni pionieristiche gestite da Rewilding Europe e i centri emergenti di ricerca su questi tipi d'intervento nelle università di Aarhus, Wageningen, Lipsia e Oxford, rispettivamente in Danimarca, Paesi Bassi, Germania e Inghilterra. I progetti di rewilding già avviati e la lenta ripresa delle popolazioni di grandi erbivori e carnivori in molti continenti stanno ampliando i programmi di ricerca e innovazione concernenti queste procedure. Dopo aver scritto questo libro è nata una serie di azioni coordinate per studiare gli effetti della reintroduzione degli animali, e alcune aziende tecnologiche hanno collaborato con iniziative di rinaturalizzazione per sviluppare modi nuovi ed economici per valutarne i progressi e il valore per la società; qualche ente governativo lungimirante ha commissionato

studi per attuare politiche più favorevoli, e per finire i lavori teorico-ambientali si sono spostati dal "mega" al "micro", ossia nel campo emergente che studia il ruolo delle reti micorriziche (i filamenti fungini che collegano gli apparati radicali) nel recupero degli ecosistemi.

Le Nazioni Unite hanno battezzato il periodo 2020-2030 come "Decennio internazionale del ripristino degli ecosistemi". Come risposta Jens-Christian Svenning, il più importante studioso europeo sull'argomento, ha presentato in un articolo sulla rivista *One Earth* prove convincenti dei motivi per cui l'approccio basato sulla rinaturalizzazione "dovrebbe essere al centro di massicci sforzi necessari a superare la crisi globale di perdita di biodiversità e a ripristinare la capacità della biosfera di mitigare i cambiamenti climatici". Il rewilding e la nuova scienza del recupero degli ecosistemi offrono l'opportunità di far parte della prima generazione che lascia l'ambiente naturale in condizioni migliori di come l'ha trovato, e raggiungere questo obiettivo sarebbe un risultato davvero straordinario. È speranza degli autori che questa introduzione convinca i lettori che "la tecnologia c'è". È possibile ricostruire gli ecosistemi e creare un prospero futuro per l'umanità e il mondo naturale, occorre solo decidere di farlo!

#### **Bisonte europeo, Romania**

*I grandi erbivori sono elementi chiave per il ripristino degli ecosistemi. Il rilascio di bisonti europei nella riserva dei Monti Tarcu, nei Carpazi meridionali, è stato realizzato da Rewilding Europe e dal WWF Romania.*



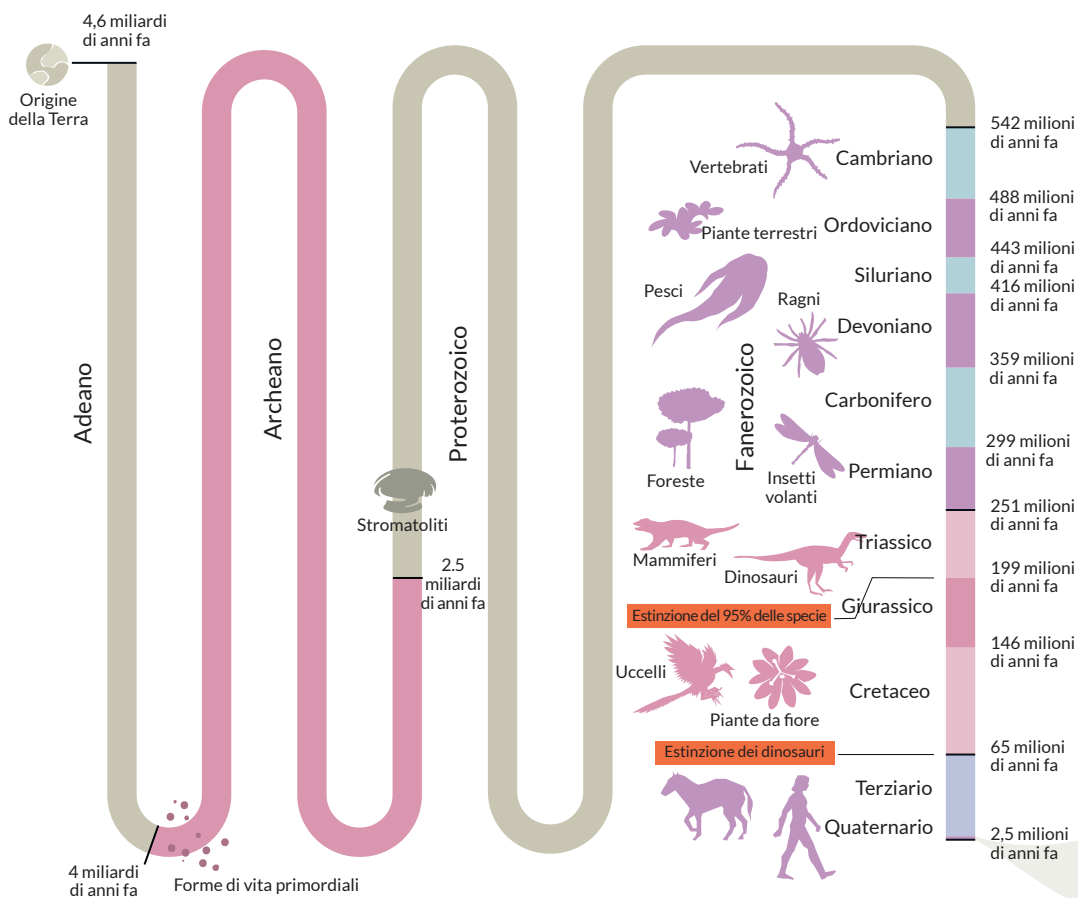


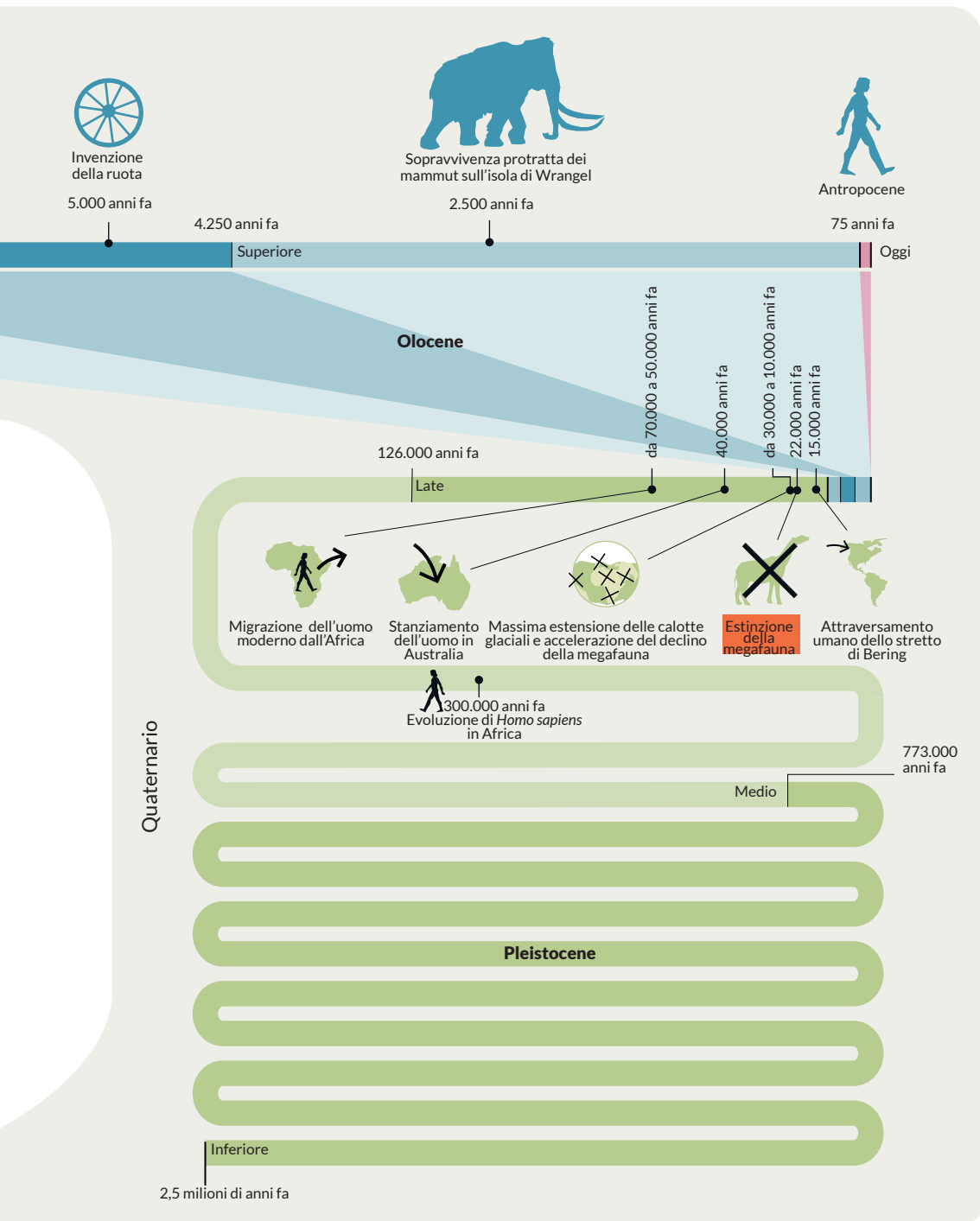
# CRONOLOGIA GEOLOGICA

Cronologia geologica della Terra, con appendici per le epoche di Pleistocene e Olocene, essenziali ai temi del libro.



Sviluppo dell'agricoltura stanziale in Europa, Medio Oriente e Asia







Capitolo 1

# NUOVI ORIZZONTI



Questo secolo è testimone di una fondamentale rivalutazione delle conoscenze e delle procedure legate alla conservazione della natura. Sta emergendo un nuovo modello di pensiero, avvincente e destabilizzante al contempo, ispirato dalla consapevolezza di aver interiorizzato l'impoverimento ecologico, scientifico, culturale e istituzionale. Questo impoverimento è una conseguenza della sindrome nota come "slittamento della linea di riferimento", per cui ogni generazione assume come normale la natura che ha vissuto in gioventù e accetta inconsapevolmente il declino e i danni provocati dalle generazioni precedenti.

Trent'anni fa, ossia all'epoca del Summit della Terra tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992, ecologi e biologi della conservazione riuscirono a porre il destino della biodiversità in cima alle agende della politica ambientale. La loro dottrina era al contempo radicata nelle tradizioni comparate di storia naturale ed ecologia delle comunità di specie e fortemente influenzata dalle concezioni protezionistiche proprie dell'ambientalismo degli anni settanta del novecento. L'attenzione alle componenti del mondo naturale

– siti, habitat e specie – si è tradotta in leggi e politiche chiare ed efficaci, volte a proteggere la natura dalle ferite inflitte dall'umanità. L'inquadramento di questo patrimonio come unità, o suoi elementi, ha permesso di fissare obiettivi di tutela della biodiversità e di sviluppare un approccio alla conservazione empirico e internazionale.

Le scienze ambientali e le istituzioni che ne sono scaturite presupponevano che gli ecosistemi presenti all'inizio dell'era industriale rappresentassero le condizioni originarie da preservare. In effetti, all'epoca si riteneva che costituissero la base da cui partire per control-



◀ **Mammut lanoso**

*Il mammut simboleggia gli ecosistemi di megafauna che sono andati perduti e quelli che possono essere ripristinati con una miscela di scienza, creatività e audacia.*

lare e salvaguardare la biodiversità. Dopo tutto, le foreste pluviali tropicali, le savane africane e i pascoli dell'Europa sostenevano ecosistemi diversi ma fiorenti che stavano rapidamente scomparendo in un mondo orientato alla globalizzazione, caratterizzato da un crescente bisogno di risorse.

All'inizio del nuovo millennio le scienze che si occupavano di biodiversità erano autorevoli e influenti. Come il rock progressivo di qualche decennio prima, tuttavia, erano diventate anche autoreferenziali e poco in contatto con altre discipline scientifiche o con le tendenze della società. In particolare, la prospettiva del declino ecologico e di una sesta estinzione, insieme alle nuove ansie per il cambiamento climatico, avevano generato un crescente senso di sfiducia all'interno del movimento ambientalista. Molti iniziavano a perdere la speranza e a chiedersi se valesse davvero la pena sacrificare vita e carriera per limitare i danni assistendo vanamente alla fine della natura.

### **Megaerbivori**

Tra il 2005 e il 2006 le prestigiose riviste *Science* e *The American Naturalist* pubblicarono degli articoli che proponevano nuovi e ambiziosi programmi di conservazione. Nel primo, intitolato "Pleistocene Park: return of the mammoth's ecosystem" (Pleistocene Park: il ritorno dell'ecosistema dei mammut), Sergey Zimov rilevava che, fino a 10.000 anni fa, gran parte dell'Artico era coperta da praterie steppose, create e mantenute tali da vasti branchi di megaerbivori; sosteneva inoltre che la loro scomparsa poteva essere attribuita alla pressione ve-

natoria antropica, e che l'ecosistema della steppa al tempo dei mammut poteva e doveva essere ripristinato come strategia per ridurre le emissioni di carbonio provenienti dal disgelo dello *permafrost* di età pleistocenica.

Il secondo documento, "Pleistocene Rewilding: an optimistic agenda for twenty-first century conservation" (Rewilding del Pleistocene: un programma promettente per la conservazione nel XXI secolo), scritto da un gruppo di ecologi statunitensi guidati da Josh Donlan, evidenziava che gli assemblamenti di grandi vertebrati producevano complesse interazioni trofiche e che nel corso dei millenni la scomparsa della megafauna su scala continentale aveva portato a un declino ecologico. L'articolo tracciava un programma per ripristinare le funzioni ecosistemiche attraverso il reintegro delle restanti associazioni di grandi erbivori (gruppi di specifici pascolatori che sfruttano le stesse risorse, o risorse diverse in modi correlati). Queste potevano includere alci, bisonti e cavalli selvatici – e persino specie introdotte da regioni faunistiche diverse, come i cammelli. L'idea era che questi animali selvatici sopravvissuti potessero "fare il lavoro ecologico" di quelli perduti e che questo "rinselvatichimento" fosse un'alternativa migliore rispetto al non fare nulla o all'approccio protezionistico degli anni passati, ormai obsoleto e fallimentare.

Per continuare l'analogia con la musica, è stato come se il punk rock fosse comparso sulla scena delle scienze ambientali. I progetti presentati erano temerari, provoca-



tori, inediti e controversi. Manifestavano il desiderio di scuotere il presente, esprimendo al contempo la volontà di plasmare un futuro nuovo e stimolante. Il concetto di rewilding del Pleistocene è stato fortemente criticato da alcuni esponenti della conservazione, che hanno accusato gli autori di aver aperto il vaso di Pandora proponendo la creazione di “ecosistemi Frankenstein”. In ogni caso le argomentazioni contenute in entrambi i lavori citati hanno dato nuova espressione al tema del funzionalismo, che in seguito è diventato la base scientifica degli interventi orientati al rewilding.

### Funzionalismo

L'approccio funzionalista si concentra sulle connessioni tra le componenti organiche e inorganiche di un ecosistema e sulle proprietà che emergono dalle loro relazioni. Prende spunto dalla teoria della selezione naturale di Charles Darwin e dall'intuizione che le interazioni tra gli organismi e il loro ambiente guidano l'evoluzione dei tratti fisici e comportamentali come le grandi dimensioni corporee, gli aculei e le spine come protezione dalla brucatura, o i meccanismi di difesa antipredatoria. L'ecologia funzionale va oltre la biologia evolutiva e cerca di comprendere il ruolo di questi diversi elementi nella genesi dei flussi di energia, acqua, nutrienti e organismi – i processi essenziali per l'equilibrio di un ecosistema.

Pur provenendo da culture e continenti differenti, Zimov, Donlan e colleghi hanno espresso lo stesso concetto, ossia che la megafauna svolge un ruolo chiave nei meccanismi vitali degli ecosistemi e che è

giunto il momento, per le strategie conservazioniste, di espandere i propri orizzonti e ripristinare queste specie “funzionali”, la cui presenza dà origine a quelle interazioni ecologiche che permettono di guidare l'evoluzione dei sistemi naturali.

I progetti di rewilding differiscono nel loro grado d'innovazione, ma tutti pongono l'accento sul ripristino delle funzioni ecologiche e incoraggiano una migliore comprensione dei processi, delle dinamiche e della connettività degli ecosistemi. Questo libro esplora ulteriormente tali idee e, in aggiunta, fornisce una comprensione dell'influenza reciproca tra le nuove intuizioni dell'ecologia e i progetti pionieristici di ripristino, e di come ciò stia portando alla genesi di importanti programmi e movimenti. L'espressione “influenza reciproca” è stata scelta deliberatamente, poiché il rewilding comporta anche nuovi e promettenti dialoghi tra scienziati e reti di professionisti, disposti a indirizzare congiuntamente l'innovazione nel recupero ecologico e nel cambiamento della società.

### UN TERMINE CONTROVERSO

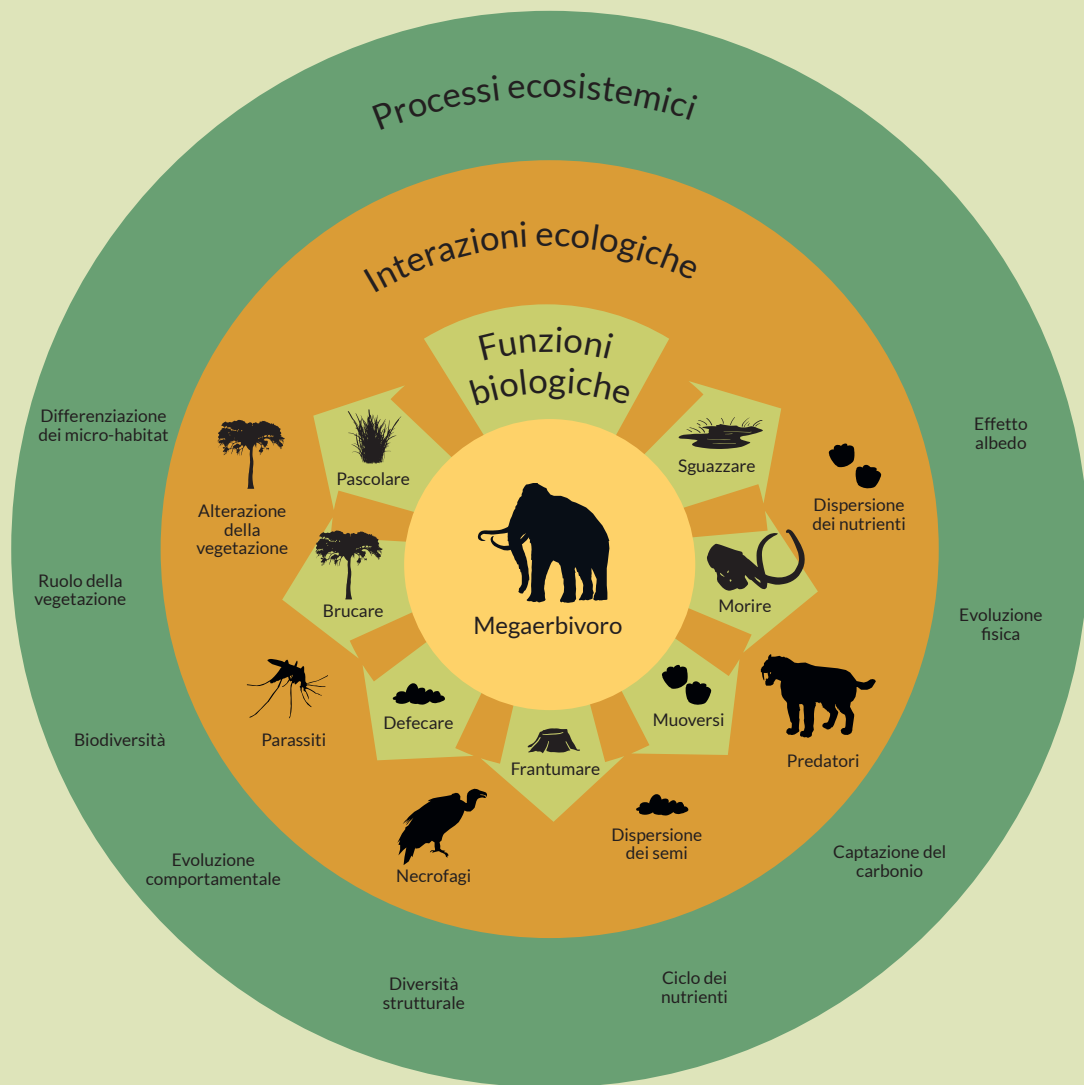
Dal 2005 si è assistito a un'esplosione di articoli scientifici e divulgativi sul rewilding. All'inizio del 2019 un gruppo internazionale di scienziati ha nondimeno pubblicato un documento in cui si sostiene che il termine è diventato impreciso e dovrebbe essere abbandonato perché manca della solidità necessaria per essere verificato scientificamente. Questo punto di vista, pur essendo comprensibile, non tiene conto del fatto che il rewilding è una pratica già adottata nell'ambito di iniziative pionieristiche in diversi contesti e continenti.





# I Megaerbivori IN UN ECOSISTEMA FUNZIONALE

I megaerbivori svolgono un ruolo inaspettatamente rilevante nel cuore degli ecosistemi naturali. Funzioni e comportamenti che li caratterizzano creano un effetto a cascata che si propaga attraverso complesse interazioni ecologiche arrivando a influenzare processi ecosistemici fondamentali.



# NATURA AUTOGOVERNATA

Per comprendere il potenziale del rewilding e le sue applicazioni a beneficio di molteplici parametri di biodiversità, nel prossimo capitolo si tornerà nel Pleistocene, con uri e mammut vaganti e tigri dai denti a sciabola in agguato. Ma prima di esplorare vibranti ecologie del passato che illustrano scene di un futuro poliedrico e possibile, ecco una breve storia del rewilding in cui viene svelato il pensiero dei suoi fautori originari.

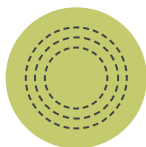
Il termine “rewilding” fu coniato a metà degli anni novanta da un gruppo di ambientalisti statunitensi guidati da Dave Foreman e influenzati dalle ideologie della natura pristina (wilderness) e dell'ecologia profonda. Il rewilding era presentato come un programma su scala continentale per ristabilire comunità terrestri autoregolate, attraverso la creazione di vaste aree incontaminate a sostegno di popolazioni di predatori apicali (in particolare i lupi nel Parco Nazionale di Yellowstone), in grado di riaffermare un controllo trofico top-down. Il termine “trofico” si riferisce ai flussi di materia ed energia tra livelli e organismi

(produttori primari, erbivori, predatori e decompositori) di una rete alimentare.

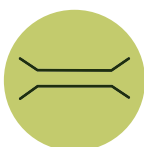
In modo del tutto indipendente, negli anni ottanta i Paesi Bassi intrapresero un progetto di ripristino e conservazione radicalmente nuovo che aveva alcune somiglianze con quello statunitense, in particolare nella creazione di una rete ecologica per collegare le aree incontaminate residue e nell'aspirazione a una natura “autogovernata”, una serie di sistemi ecologici che potevano funzionare ed evolvere senza il controllo intensivo e costante richiesto in molte riserve europee.

## LE 3 C

Negli USA il rewilding è stato definito “modello delle 3 C”: i *cores* (nuclei) sono gli habitat protetti, i *corridoi* consentono la migrazione della fauna e i *carnivori* garantiscono la regolazione dell'ecosistema.



NUCLEI



CORRIDOI



CARNIVORI

## Gli Oostvaardersplassen (OVP)

Le politiche di sviluppo naturalistico furono catalizzate da un esperimento di ripristino radicale presso gli Oostvaardersplassen (OVP), un'area situata a circa 30 km a nord-est di Amsterdam – concepito da un gruppo di ecologi progressisti dell'agenzia olandese Staatsbosbeheer guidati da Frans Vera, che come altri biologi si era allontanato da modelli più tradizionali, ad esempio quelli relativi al “climax” sviluppati da Frederic



### ◀ Il paesaggio degli Oostvaardersplassen con i pony Konik

*Trent'anni fa gli ambientalisti olandesi adottarono un approccio innovativo alla conservazione che prevedeva la "ricostruzione" della megafauna europea perduta con un insieme di razze selvatiche di cervidi, equini e bovini.*

Clements nel 1936 (pag. 50). Spinti da un vento favorevole dovuto al diffuso declino della biodiversità, Vera e i suoi collaboratori cercarono nuove soluzioni per rinaturalizzare l'ambiente su una scala più ampia e con maggiori ambizioni rispetto a quanto visto in precedenza.

L'esperimento degli OVP prevedeva la restaurazione di un'associazione di grandi erbivori per creare uno scenario simile a quello del parco africano di Serengeti. I risultati furono sorprendenti: nella riserva le popolazioni di uccelli e piccoli mammiferi aumentarono, mostrando però anche cicli di "espansione e contrazione" causati dalla dispersione delle specie in un territorio più vasto. Il nuovo ecosistema degli OVP mise in discussione sia i principi fondamentali dell'ecologia, sia la convinzione che la vegetazione originaria dell'Europa fosse una foresta a canopea chiusa. Il sito divenne una calamita per i naturalisti che cercavano una

dimostrazione pratica del rewilding. L'esperimento generò tuttavia anche le proteste da parte di agricoltori e cittadini che ritenevano crudele e ingiustificabile lasciar morire di fame bovini e cavalli durante gli inverni più rigidi.

In genere questa versione è considerata ancor più radicale e inquietante rispetto al modello statunitense poiché produce assetti nuovi, dal punto di vista ecologico e culturale, che non sono in linea con leggi, politiche e norme sociali consolidate. Il naturale "ciclo della vita" è scomparso da un pezzo dalle esperienze quotidiane della maggior parte degli europei, e nel tempo una serie di dualismi – selvaggio-domestico, naturale-coltivato, umano-inumano – ha modellato e strutturato paesaggi, immaginario e istituzioni. Il rewilding europeo scardina e rimescola questi confini, e ciò lo rende un metodo potente e potenzialmente rivoluzionario.



## Rigenerazione radicale

Gli interventi di rewilding non si sono limitati all'America settentrionale e all'Europa, poiché altre iniziative si stanno diffondendo in vari continenti e nazioni insulari. A Mauritius, ad esempio, sono state introdotte con successo tartarughe non autoctone in "sostituzione" di una specie gigante endemica, la cui estinzione aveva causato disfunzioni nell'ecosistema con perdita di fauna indigena. Alcuni considerano il ripristino della fauna selvatica in Sudafrica – quasi spazzata via durante la lotta per l'indipendenza contro l'apartheid – una forma forzata di rinaturalizzazione. Le scelte politiche che consentirono ai latifondisti di rivendicare gli animali presenti nelle loro terre come una proprietà privata avviarono una trasformazione su larga scala delle fattorie in difficoltà, creando così una fiorente economia basata sulla combinazione di safari a scopi turistici o venatori e produzione di selvaggina.

La possibilità di oltrepassare lo scoglio delle linee guida del passato per ricostruire nuovi habitat incontaminati sta facendo nascere una nuova filosofia della conservazione con modalità complementari e programmi ambiziosi. Nel XX secolo gli interventi di salvaguardia hanno fatto molto per proteggere gli ecosistemi ed evitare rilevanti estinzioni: il rewilding parte da questi successi reintroducendo specie funzionali che ripristinano i luoghi degradati trasformandoli in habitat che si sviluppano secondo processi naturali.

Molti professionisti della rinaturalizzazio-

ne sono motivati dalla prospettiva di operare in sintonia con le forze rigeneratrici originarie e di sviluppare soluzioni anche nei confronti di sfide sociali, economiche e ambientali contemporanee, come spopolamento rurale, degrado del suolo e cambiamento climatico. Un insieme di pratiche e prove scientifiche suggerisce che il rewilding potrebbe generare valore aggiunto in termini di gestione di inondazioni e siccità, sequestro del carbonio, controllo delle specie invasive, salute pubblica e nuove opportunità economiche, come il turismo ecosostenibile. Chi si occupa di rewilding è convinto che esso sia funzionale anche nel riconnettere le società antropiche all'ambiente naturale, e questo è visto come propedeutico a risolvere molti degli attuali problemi socio-economici.

Tale cambiamento di passo – dalla protezione della natura come imperativo al suo recupero come soluzione – sta attirando l'interesse di politici, intellettuali e investitori. Come si vedrà, importanti gruppi di ricerca nel campo delle scienze ambientali, aiutati dallo sviluppo tecnologico, stanno raccogliendo questa sfida. Anche la politica inizia a creare spazi in cui sperimentare nuove discipline integrate.

L'emergere di procedimenti innovativi per la gestione della natura è entusiasmante. Sebbene una sua definizione scientifica non sia ancora universalmente concordata, esiste un consenso crescente sul fatto che il rewilding miri a ripristinare le reti trofiche, i disturbi naturali e la dispersione: la reciproca influenza tra questi processi



favorisce l'instaurarsi di ecosistemi autorizzati più equilibrati e resilienti. Ciò che rende radicale questa scienza è l'interazione con gli approcci alla difesa dell'ambiente adottati dagli studiosi più innovativi. Tutto ciò infonde nuovi scopi, ambizione e fiducia al movimento ecologista, incrementando le prospettive di un ambientalismo positivo, che nel XXI secolo può agire per recuperare la biosfera a beneficio di tutte le forme di vita sul pianeta – umane e non umane.



▲ **Tartaruga gigante, Mauritius**

*Le tartarughe giganti, i megaerbivori delle isole oceaniche, hanno creato le condizioni affinché avvenisse l'evoluzione degli endemismi insulari. La tartaruga gigante di Aldabra, utilizzata come taxon sostitutivo degli esemplari da tempo estinti, ha fermato il declino degli ecosistemi.*

## ORGANIZZAZIONE DEL LIBRO



Le basi scientifiche del rewilding sono fondate sull'inedita valutazione del ruolo della megafauna nel creare le condizioni per l'emergere della biodiversità. I diversi capitoli, codificati per colore, affrontano l'argomento secondo lo schema riportato di seguito.

- 2** **3** Come le praterie e megaerbivori si siano evoluti interagendo con la vegetazione per generare una vasta gamma di microhabitat; nel corso dei millenni, l'attività antropica ha causato il collasso della megafauna per poi semplificare e disciplinare il paesaggio naturale, causandone il degrado.
- 4** Rassegna di quattro progetti pionieristici di rewilding che hanno abbandonato le tradizionali prassi protezionistiche di specie e habitat per sperimentare il ripristino delle interazioni tra grandi animali ed ecosistemi.
- 5** **6** Come le interazioni tra megafauna, vegetazione e perturbazioni naturali portano all'evoluzione e alla diversificazione degli habitat. Accenno al collegamento tra la scomparsa della megafauna e le dinamiche funzionali dei sistemi ecologici, su scala continentale e planetaria.
- 7** **8** Gli aspetti etici, politici e pratici del rewilding a partire dalla complessità degli interventi già attuati ed attuabili.
- 9** Le prospettive future del rewilding; gli approfondimenti teorici e il dibattito che si spera possa prendere piede nella società.





Capitolo 2

# LA MEGAFUNA DEL PASSATO





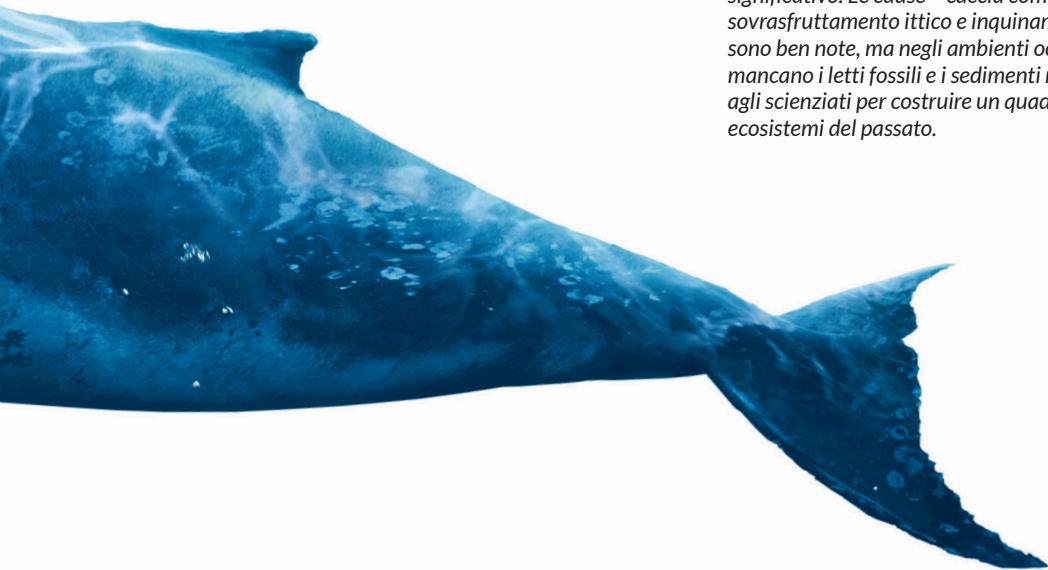
Se ci si ferma a riflettere sui luoghi incontaminati del pianeta, viene spontaneo pensare a oceani, calotte glaciali, deserti, foreste tropicali o boschi temperati, o anche savane africane, steppe e praterie dell'Asia e delle Americhe. Escludendo le regioni con condizioni climatiche estreme come quelle d'alta quota o subpolari, è opinione comune che gli alberi rappresentino la vegetazione primaria. Questa tesi è in fase di revisione perché la paleoecologia ha rivelato che, per milioni di anni, l'abbondante presenza di megafauna (animali con un peso superiore a 40 chilogrammi) è stata una caratteristica predominante non solo dei mari, ma anche dei continenti.

Sulla terraferma i megaerbivori si sono evoluti insieme a praterie e cespuglieti espandendosi in vari ambiti geografici. L'ecosistema di prateria era contraddistinto da una serie di microhabitat diversificati con una notevole valenza ecologica. In seguito, tra 30.000 e 10.000 anni fa (preistoria umana), è accaduto qualcosa di drammatico dal punto di vista ambientale: il volume della megafauna è collassato in gran parte del pianeta e molte specie si sono estinte.

Dopo questi eventi, all'inizio dell'Olocene i biomi a prateria sono diventati biomi a macchia arbustiva e infine a bosco. Alcuni, come le grandi pianure americane e le savane indocinesi, sono sopravvissuti fino al secolo scorso; le savane africane fino a oggi, anche se sotto costante minaccia.

Altrove l'allevamento del bestiame e la pastorizia hanno mantenuto sistemi di praterie e pascoli arborati ricchi di biodiversità,





### ◀ Megattera

*Il declino della megafauna marina, comprese le balene, è più recente di quello continentale ma non meno significativo. Le cause – caccia commerciale, sovrasfruttamento ittico e inquinamento – sono ben note, ma negli ambienti oceanici mancano i letti fossili e i sedimenti necessari agli scienziati per costruire un quadro degli ecosistemi del passato.*

seppur semplificati, che sono però andati incontro a un forte declino a causa dell'intensificarsi delle attività zootecniche e dello spopolamento rurale.

Nel complesso i sistemi continentali del pianeta si sono spostati verso gli estremi del gradiente bosco-pascolo: le aree meno produttive o abbandonate sono diventate più boschive, mentre quelle più fertili sono diventate prati o campi agricoli gestiti in modo più o meno intensivo. Come conseguenza le praterie originarie e tutte le gradazioni intermedie tra questa e le macchie arbustive e le foreste sono a rischio. Una parte dei processi di rewilding prevede il

loro recupero funzionale con il ripristino degli stadi intermedi, e della ricchezza ecologica che ne consegue.

Per prima cosa occorre riportare eventuali prove a sostegno dell'idea che megaerbivori e praterie siano coevoluti, e che storicamente diverse combinazioni (mosaici) di prativo, macchia e bosco abbiano caratterizzato vaste aree del pianeta. Si tratta di un aspetto tecnico non secondario, dato che offre una prospettiva interessante su come sia possibile intervenire con il rewilding, fornendo anche una potenziale base di riferimento per misurare il "benessere" socio-ecologico e gli indici di biodiversità animale e vegetale.



## LE EVIDENZE STORICHE

La vegetazione erbacea sembra meno “naturale” di quella arborea, o comunque appare meno minacciata: è presente nei prati, nei pascoli, nei campi coltivati e persino nei giardini e nei parchi. È facile dimenticare che le umili piante erbacee sono alla base di uno degli ecosistemi più produttivi del pianeta, e che il suo ripristino è possibile. Grazie all'incontro tra le teorie evolutive e le discipline dell'ecologia vegetale e della paleontologia, in effetti, molti scienziati stanno iniziando a puntare verso questo obiettivo.

### ▼ Praterie e megafauna del Pleistocene

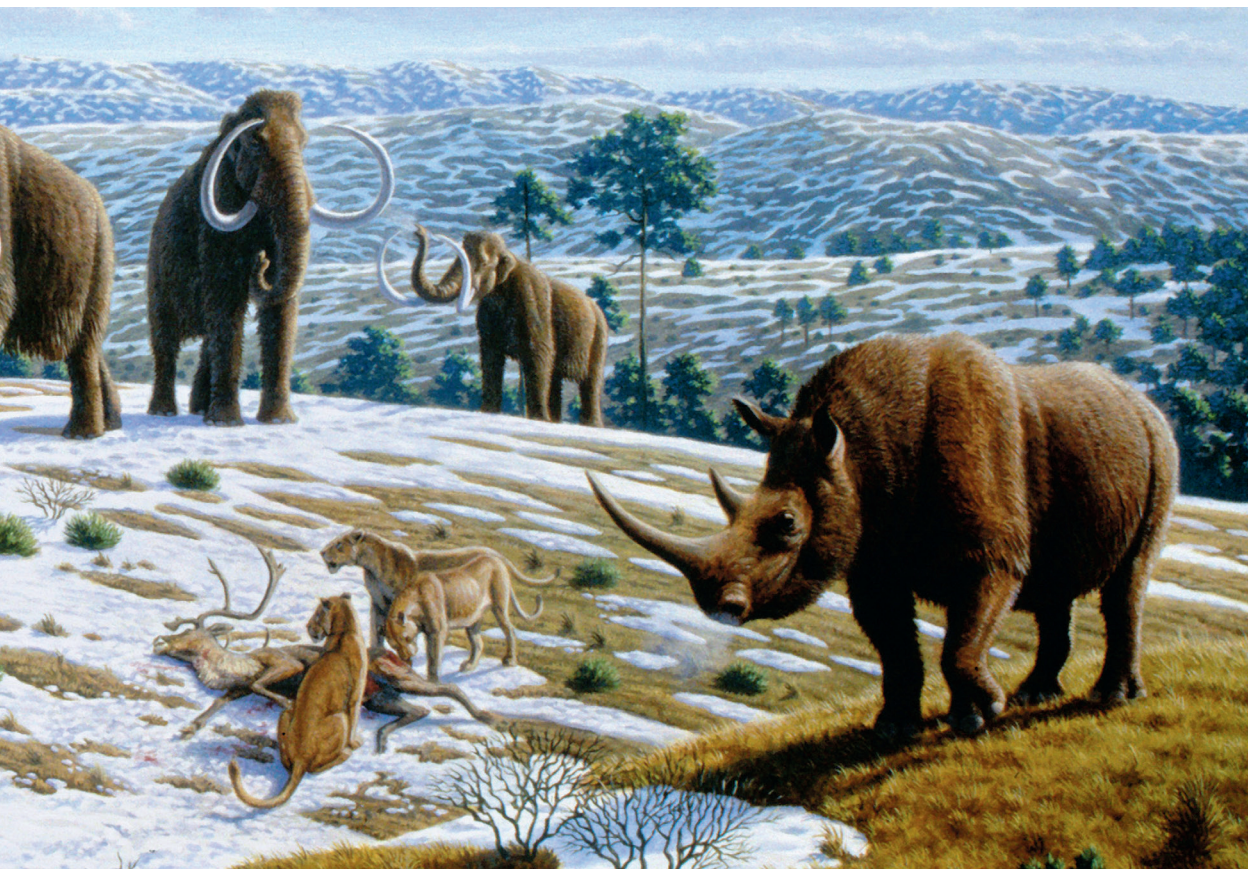
*Le nuove tecniche di ricerca descritte nelle pagine che seguono hanno fornito la prova che, fino a circa 15.000 anni fa, l'Artico settentrionale era un luogo stepposo mantenuto e popolato da cavalli (*Equus caballus*), mammut lanosi (*Mammuthus primigenius*), renne (*Rangifer tarandus*), leoni delle caverne (*Panthera spelaea*) e rinoceronti lanosi (*Coelodonta antiquitatis*). La neve caduta in inverno rifletteva i raggi del sole, congelava il terreno e raffreddava il pianeta.*



I progressi scientifici e tecnologici apportano cambiamenti radicali nella capacità di analizzare e comprendere sia gli ecosistemi del passato sia i processi evolutivi di piante e animali nel corso del tempo. Fino a pochi anni fa si pensava che la vegetazione originaria di una regione fosse il risultato delle interazioni tra clima, topografia e latitudine (in sostanza temperatura, grado d'irraggiamento e quantità di precipitazioni in quella data area). Questo concetto è oggi in fase di revisione, poiché si stanno accumulando prove dell'essenziale ruolo dei pascolatori, e del disturbo ecologico da essi derivante, nei processi di modellazione della vegetazione naturale delle diverse regioni del pianeta.

Tali nuove prospettive rappresentano un pilastro fondamentale della scienza del *rewilding* e influenzano gli sforzi che mirano a ricostituire le popolazioni di grandi erbivori un tempo ampiamente diffusi, di cui si parlerà in modo più approfondito nel capitolo 8.

Nuove scoperte e nuovi dati hanno fornito uno scenario storico sufficientemente chiaro, che dimostra come, un tempo, i sistemi pratici e la presenza degli erbivori costituissero la condizione "naturale" del pianeta. Se le ricerche continueranno a progredire, migliorerà anche la risoluzione di questa immagine degli ecosistemi atavici, rendendola ancor più interessante.

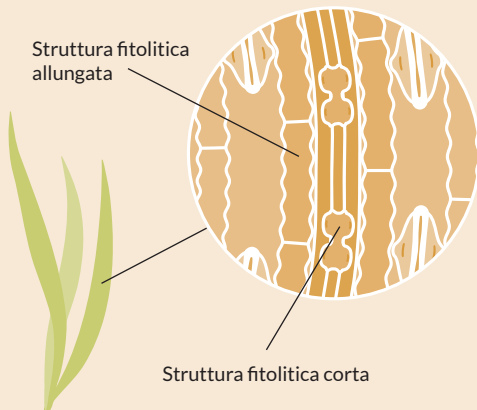


## NUOVI STRUMENTI DI RICERCA

In molti settori delle scienze ecologiche i ricercatori utilizzano misure indirette, o marcatori, per comporre un quadro degli ecosistemi. Paleobotanici e archeologi ambientali, che cercano di ricostruire le condizioni biotiche primitive, impiegano di solito i pollini e la datazione al radiocarbonio come indicatori degli assetti vegetazionali del passato. I granuli di polline persistono per migliaia di anni nei campioni di sedimenti prelevati da particolari ambienti, come quelli lacustri, dove si sono accumulati nel corso dei millenni. Il carbonio-14 consente di datare con precisione diversi segmenti del campione, permettendo così di delineare la storia della vegetazione.

È tuttavia ormai chiaro che il polline delle erbacee sia più fragile di quello delle specie arboree e di altre piante legnose, di conseguenza non persiste nei campioni nella stessa misura. In altre parole, i dati sui pollini non forniscono un'identificazione certa della composizione botanica complessiva di una regione o di un bioma (l'ampia comunità di specie che occupano uno specifico habitat, come savana o foresta).

Oggi per la raccolta e l'analisi dei dati vengono utilizzate tecniche pionieristiche come quelle qui illustrate, in grado di ricostruire con maggiore accuratezza i modelli vegetazionali del passato.



### I fitoliti

I progressi della microscopia ottica hanno fornito agli scienziati dei nuovi indicatori, i fitoliti, che sono minuscole concrezioni silicee (rilevabili con ingrandimenti superiori a 1000) depositate nelle pareti e nei lumi delle cellule con funzione di sostegno per steli e foglie. Questi composti organici, non soggetti a deterioramento, persistono nel terreno anche dopo la morte della pianta; inoltre non vengono trasportati altrove e tendono a conservarsi più a lungo di pollini e resti ossei. Le differenze tra le varie forme tridimensionali e di orientamento dei fitoliti consentono di identificare famiglie, generi e specie, anche perché la silice replica e conserva la struttura dei tessuti. Questo nuovo ambito di ricerca sta aiutando gli scienziati a realizzare scenari molto più precisi e dettagliati dell'abbondanza relativa di vegetazione erbacea e legnosa negli ambienti del passato e a tracciarne le progressive trasformazioni.

### **Suoli e resti fossili di animali**

Altre evidenze che dimostrano lo spostamento dell'equilibrio dalla vegetazione boschiva a quella prativa emergono dallo studio dei suoli e delle dentature fossili. I manti erbosi sviluppano strutture radicali simili a stuoie che interagiscono con lombrichi e altri organismi del terreno per creare orizzonti distinti. Il gruppo dei mollisol, tipico di steppe e praterie, è caratterizzato da epipedon mollico, ossia uno strato superficiale soffice, scuro, ricco di sostanza organica e nutrienti (strato umico). Questi studi, insieme con altri fattori, consentono di classificare e datare gli ecosistemi antichi. L'analisi dell'usura nei denti fossili è un altro strumento per comprendere quali tipologie vegetali erano consumate dagli antichi erbivori, almeno nella parte finale della loro vita.



DENTE DI MAMMUT

I graffi sullo smalto forniscono informazioni sulla tipologia di pianta consumata.

I rapporti isotopici del carbonio negli strati di dentina depositati nel corso della vita dell'animale forniscono dati sulla dieta.

### **Banche dati**

Le nuove risorse tecniche sono potenziate dallo sviluppo di grandi banche dati sui fossili di mammiferi, piante e, sempre più spesso, invertebrati. Questi database facilitano l'identificazione delle specie e delle loro associazioni, l'elaborazione degli alberi filogenetici e la presenza di modifiche improvvise o rapide negli assetti di flora e fauna.



### **DNA antico**

L'analisi del DNA antico è una delle recenti aggiunte a quest'apparato scientifico. Potenti programmi informatici abbinano e assemblano in stringhe i piccoli frammenti di DNA, che vengono comparati con raccolte di sequenze geniche di riferimento appartenenti a specie note, o con particolari ambienti come i bacini fluviali.



## Origine delle praterie

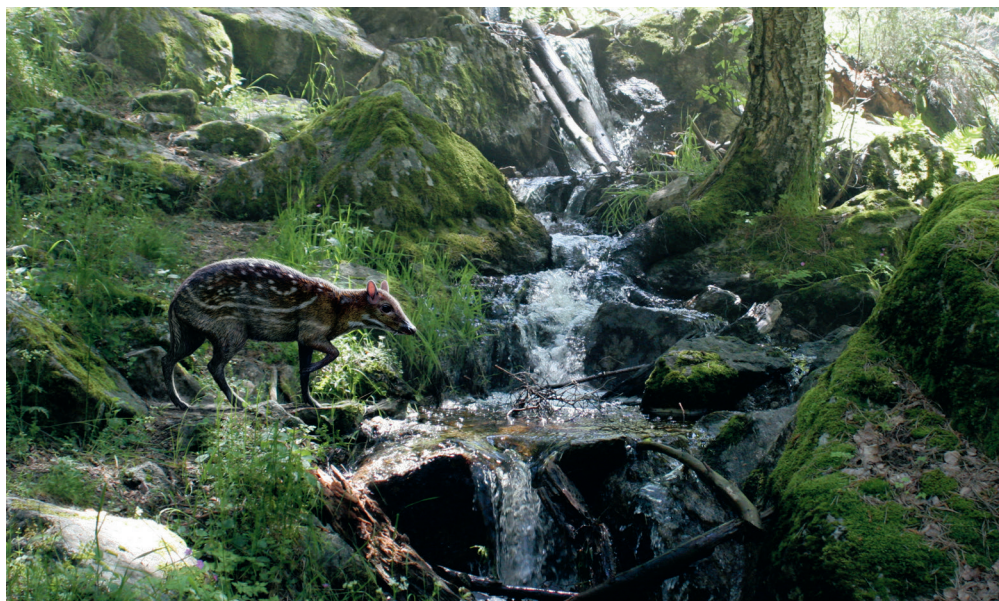
Dopo la scomparsa dei dinosauri, avvenuta 65 milioni di anni fa, le piante hanno avuto possibilità di prosperare. I paleontologi rappresentano il pianeta dell'epoca come una "serra" e, per un lungo intervallo dopo l'evento, anche le specie legnose si sono propagate in ambienti con clima caldo, umido e stabile, privi di animali intenti a mangiare o calpestare la vegetazione. Nel corso di milioni di anni, tuttavia, diverse forme di prateria hanno preso piede in aree soggette a fenomeni perturbativi più o meno periodici, fra cui escursioni termiche, incendi, frane, variazioni del corso dei fiumi, ricaduta di ceneri vulcaniche, inondazioni, siccità, cicloni e tempeste di sabbia.

La lignina è un composto presente nelle pareti delle cellule vegetali che conferisce

rigidità, ed è una parte integrante di legno e corteccia. Nelle piante erbacee è pressoché assente; a fungere da supporto strutturale sono le fibre di cellulosa, sostanza meno resistente ma più semplice da incorporare. Per questo motivo le specie erbacee hanno uno sviluppo più rapido di quelle legnose, un portamento diffuso anziché ramificato e sistemi radicali poco profondi. Ciò permette loro di colonizzare aree soggette a condizioni climatiche estreme e a frequenti disturbi ecologici.

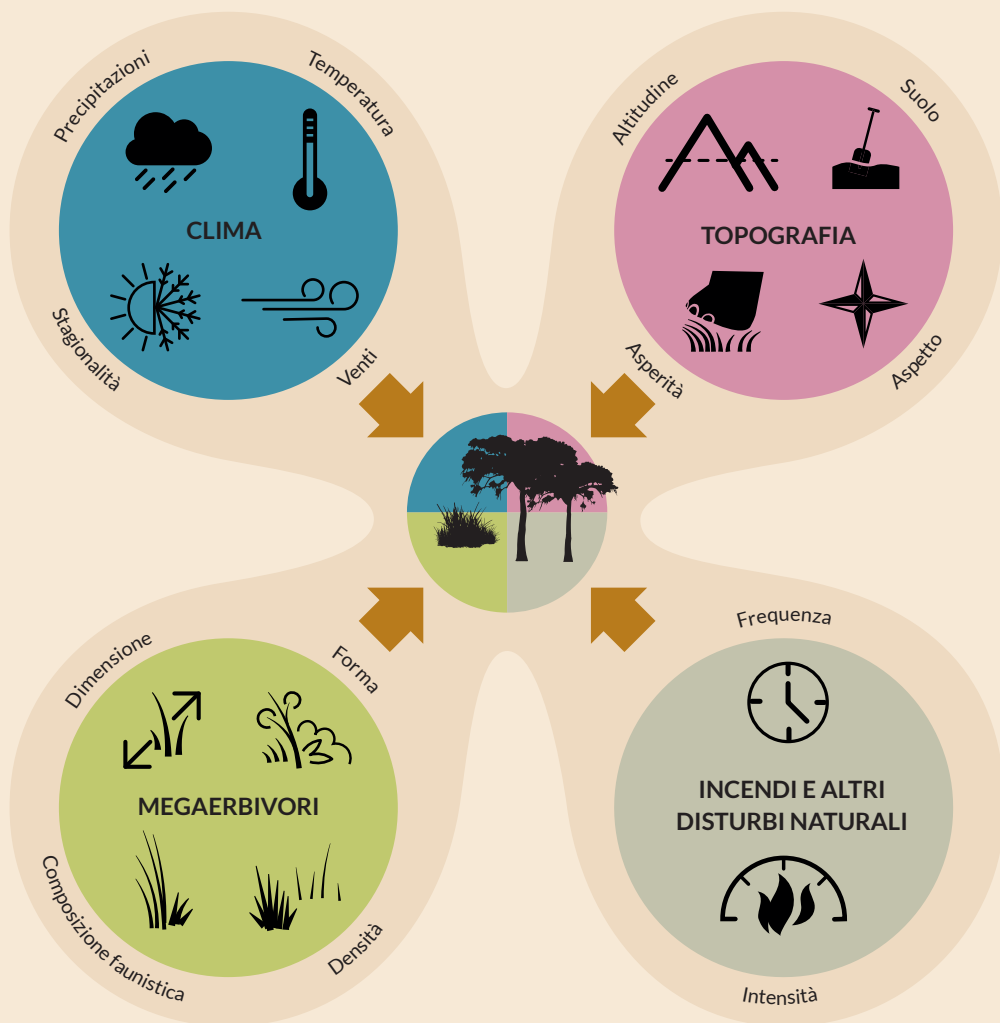
### ▼ Sopravvissuti all'apocalisse

*I piccoli mammiferi, come questo ruminante preistorico simile a un cervo (Dorchatherium sp.), sono sopravvissuti all'Armageddon conseguente all'impatto di un asteroide 65 milioni di anni fa. Nel mondo di foreste che ne è emerso, molte specie hanno evoluto specifici caratteri che hanno consentito di trarre il massimo vantaggio dalle nuove condizioni ambientali.*



## DOMINANZA RELATIVA DI VEGETAZIONE ERBACEA E LEGNOSA, E FATTORI CHE LA INFLUENZANO

Per comprendere i principi del rewilding occorre investigare sulle interazioni che hanno contribuito all'evoluzione delle praterie. Fino a poco tempo fa si riteneva che clima, topografia e disturbi naturali fossero fattori chiave in grado di condizionare il predominio relativo dei diversi tipi di vegetazione. Oggi è chiaro che i megaerbivori hanno avuto un ruolo chiave.



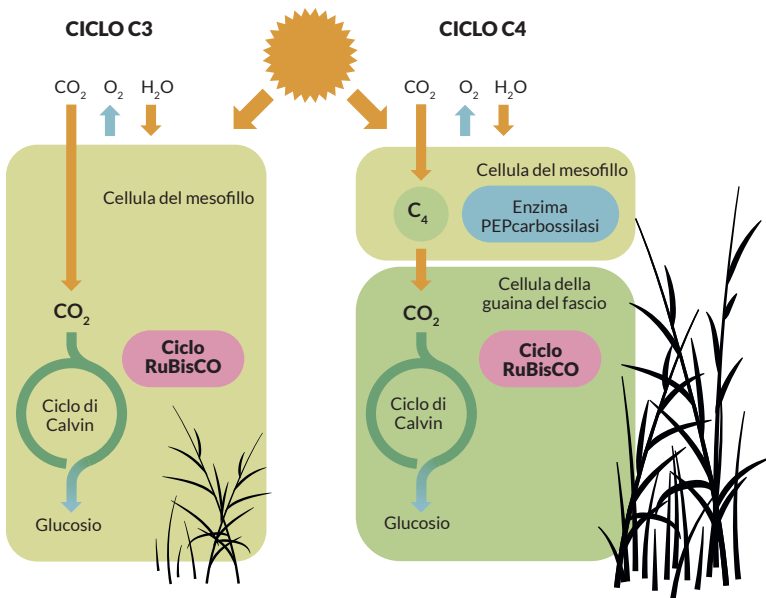
## Comparsa della via metabolica C4

Circa 40 milioni di anni fa il pianeta entrò in un periodo di intensa attività geologica. I continenti iniziarono a riconfigurarsi e a collidere, facendo emergere catene montuose, altipiani e vulcani. Durante questi processi si formarono rilievi instabili, vaste pianure spazzate dal vento ed enormi bacini fluviali. Le nuove topografie modificarono i modelli stagionali determinando un raffreddamento del clima. Questo periodo tumultuoso aveva creato le condizioni affinché le erbe potessero evolversi e prosperare.

Oltre agli sconvolgimenti geologici, un fattore decisivo per l'espansione delle praterie fu la comparsa di una nuova via biosintetica. La fotosintesi è il processo grazie al quale l'anidride carbonica atmosferica viene fissata in composti organici, soprattutto glu-

cosio. Durante il ciclo di Calvin, nelle piante C3 sono prodotte molecole intermedie a tre atomi di carbonio (3-PGA), ma alcune specie hanno sviluppato un percorso alternativo e più efficiente che fissa il carbonio in molecole a quattro atomi. Tale adattamento è comparso diverse volte in modo indipendente, probabilmente come risposta a un basso livello di carbonio atmosferico o a una ridotta disponibilità idrica. Tra gli 8 e i 5 milioni di anni fa la nuova via metabolica ha accelerato l'efficienza fotosintetica: il conseguente incremento di biomassa ha consentito alle erbacee di competere con le specie legnose favorendo la diffusione delle praterie a livello globale.

I mammiferi brucatori hanno risposto a queste modificazioni adeguandosi a entrambi i tipi di vegetazione e dando avvio a uno dei più importanti periodi di diversificazione ecologica nella storia del pianeta.



### Evoluzione da C3 a C4

Durante la fotosintesi le piante assorbono anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e acqua (H<sub>2</sub>O) da aria e suolo e convertono l'energia solare in energia chimica all'interno dei composti organici. Durante il ciclo di Calvin, nelle piante C3 si produce un composto a 3 atomi di carbonio. Le piante C4 hanno differenziato un percorso biosintetico più efficiente, che fissa il carbonio in molecole a 4 atomi. Ciò ha incrementato la massa delle specie erbacee, che ha surclassato quella delle specie legnose.



## L'ASCESA DELLE PIANTE C4

Un periodo di stravolgimenti geologici, 40 milioni di anni fa, ha innescato una catena di eventi che ha avuto come conseguenza l'instaurarsi delle praterie, diventate caratteristica dominante delle nuove topografie.



### 1. Disturbo geologico

L'attività tettonica riconfigura il paesaggio, dà origine a vaste pianure e bacini fluviali, modifica i modelli stagionali causando il raffreddamento del clima.



### 2. Insediamento delle piante erbacee

Le erbe colonizzano rapidamente le aree appena liberate dalle specie legnose a seguito di qualche radicale trasformazione. Gli steli lunghi e secchi sono facilmente incendiati dai fulmini, quindi viene accelerata la produzione dei semi, su cui esse fanno affidamento per sopravvivere al calore e ricrescere.



### 3. Ricolonizzazione delle piante legnose

Dove non hanno luogo tempeste di fulmini, i tappeti di steli d'erba secchi forniscono riparo e nutrienti alle altre piante, che riprendono piede e colonizzano di nuovo le aree disturbate, spesso troppo instabili o ventose perché le erbacee annuali, a crescita rapida, riescano a produrre semi sufficienti per diffondersi.



### 4. Comparsa delle erbacee perenni

Nelle stesse aree le erbe sviluppano apparati radicali intricati, diventando resistenti al calpestio o all'interramento: le riserve di cibo nelle radici permettono la crescita di nuovi germogli quando il disturbo non è di portata troppo grande. Queste erbacee perenni possono sopportare incendi e pascolo, quindi si diffondono in territori morfologicamente più stabili.



### 5. Comparsa dei mammiferi

I piccoli mammiferi escono dalla foresta per raggiungere le praterie, dove alla fine si evolveranno in megafauna.

# EVOLUZIONE DEGLI ANIMALI DA PASCOLO

Alcuni mammiferi di piccole dimensioni sopravvissero al cataclisma causato dall'impatto con l'asteroide che sterminò i dinosauri. Nel corso dei milioni di anni successivi, il tasso di speciazione aumentò congiuntamente al recupero e alla propagazione della vegetazione forestale.

Diverse specie arboree svilupparono semi e frutti vistosi, nutrienti ed edibili da parte degli animali, che ne facilitavano la dispersione tramite le feci lontano dalla pianta madre.

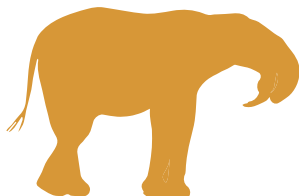
Mentre le piante elaboravano strategie per diffondersi a distanze anche molto grandi,

gli animali affinarono l'attitudine a nutrirsi di foglie e ramoscelli teneri. Circa 40 milioni di anni fa hanno quindi iniziato a emergere specifici adattamenti evolutivi che hanno permesso ad alcuni gruppi di mammiferi di trarre vantaggio dall'espansione delle praterie.

## ADATTAMENTI EVOLUTIVI

### ► PROBOSCIDATI

Prolungamento prensile di naso e labbro superiore.



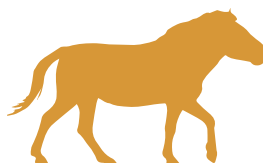
### ► RUMINANTI

Apparato digerente modificato per una duplice masticazione; presenza di microbiota simbiote che degrada la cellulosa.



### ► MAMMIFERI IPSODONTI

Dentizione in grado di triturare parti vegetali coriacee e abrasive (come quelle ricche di fitoliti).



◀ **Deinoterio**  
*Un proboscidato apparso nel Miocene.*

## Proboscidati

La proboscide è un'appendice davvero straordinaria: possiede potenza, destrezza e sensibilità, ed è perfetta per afferrare la vegetazione, eliminarne scabrosità e sporcizia indesiderate, avvolgerla e portarla alla bocca. Gli antenati degli elefanti moderni vissero durante il Paleocene e l'Eocene, da 58 a 38 milioni di anni fa, ma erano alti

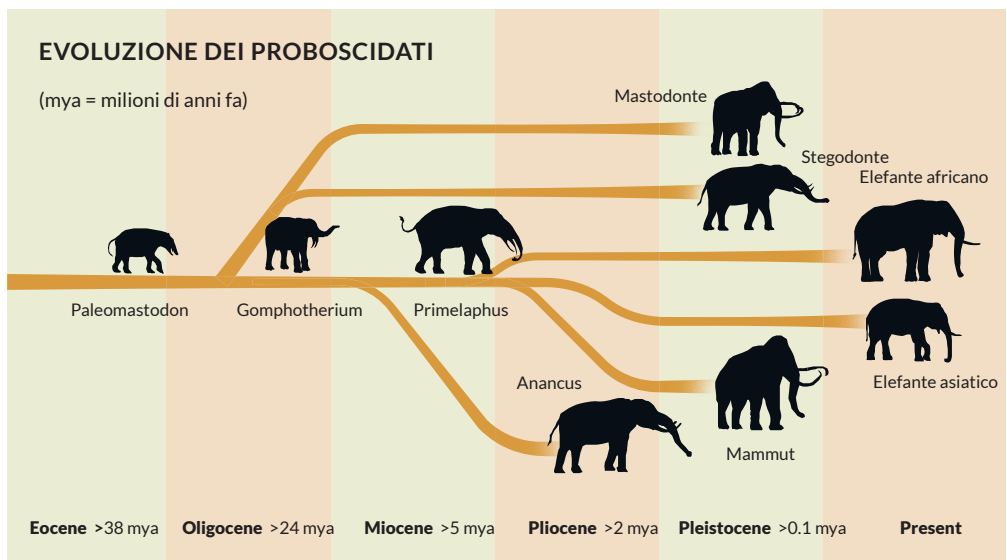
meno di un metro e avevano solo un labbro superiore allungato. La vera e propria proboscide, da cui quest'ordine prende il nome scientifico (Proboscidea) si è evoluta lentamente nel tempo, ma ha subito un'accelerazione quando questi mammiferi si sono diffusi dai loro luoghi d'origine in Africa.

In origine erano dei brucatori; la modesta proboscide era impiegata per abbassare e spezzare le fronde, ma con l'espansione delle praterie è avvenuto il passaggio al pascolo. La proboscide era in grado di afferrare facilmente i ciuffi d'erba; la ricerca di cibo poteva avvenire a ritmi più rapidi negli habitat prativi rispetto a quelli silvestri. Si è trattato di un adattamento importante, poiché i proboscidiati hanno una cattiva digestione e metà del cibo ingerito non è assimilata. I reperti fossili mostrano un'improvvisa radiazione adattiva e l'emergere di specie pascolatrici con una dentatura diversa da quella degli antenati della fo-

resta. La diversificazione dei proboscidiati era al suo apice circa 8-10 milioni di anni fa, quando vagavano per il pianeta più di 120 specie in sei distinte famiglie. Il numero è diminuito drasticamente tra i 7 e i 3 milioni di anni fa; una teoria ha suggerito che ciò sia dovuto allo sviluppo dell'intelligenza e ad altri adattamenti comportamentali nella famiglia degli Elefantidi (Elephantidae), che ha permesso loro di prosperare in una gamma più ampia di ambienti competendo con altri proboscidiati meno versatili. Praterie ed elefanti sono fatti l'uno per l'altro: gli elefanti abbattano, scortecciano e consumano la vegetazione legnosa, creando e mantenendo aperte le distese erbose.

#### ▼ Albero genealogico dei proboscidiati

*Il periodo di attività tettonica che ha portato alla comparsa delle praterie ha anche creato condizioni favorevoli alla diversificazione dei proboscidiati. Quando la massa continentale è diventata più stabile, alcune linee evolutive dotate d'intelligenza hanno prevalso sulla varietà delle forme precedenti.*





### ◀ Diacodexis

*Era un piccolo ruminante lungo circa 50 centimetri, vissuto in Nord America, Europa e Asia all'inizio dell'Eocene (da 55,4 a 46,2 milioni di anni fa).*

## Ruminanti

Mentre i proboscidiati ancestrali puntavano a consumi più elevati per far fronte alla difficoltà di digerire le fibre vegetali, un altro gruppo di mammiferi sviluppava un approccio del tutto diverso, arruolando dei microrganismi in grado di demolire la cellulosa e convertirla in zuccheri semplici all'interno di un apparato digerente modificato al fine di diventare una camera di fermentazione.

Anche il microbiota umano è in grado di estrarre nutrienti dai vegetali. Nel passaggio tra bocca, stomaco e intestino essi sono demoliti da enzimi specifici nelle loro componenti (acqua, sali minerali, carboidrati, proteine e acidi grassi). Sebbene l'uomo abbia una digestione più efficiente di quella degli elefanti, non è paragonabile a quella dei ruminanti, anche se le tradizioni culinarie di vari paesi contemplano la fermentazione delle verdure per aumentarne il valore nutrizionale (alcuni esempi ben noti sono crauti, kimchi e miso). I ruminanti, aiutati da una forma corporea tonda e massiccia, hanno sviluppato un apparato digerente che internalizza questo processo.

Al pari di quelli degli elefanti, gli antenati dei ruminanti provenivano dagli habitat forestali di circa 50 milioni di anni fa. Erano piccoli e onnivori, probabilmente simili ai tragulidi, ungulati che ancora vivono nelle foreste pluviali dell'Asia sud-orientale. Erano caratterizzati da un prestomaco con due camere: rumine e reticolo. La prima e più grande concamerazione, il rumine, era sede di una comunità di batteri, funghi, protozoi e lieviti in grado di scomporre la cellulosa in ambiente anaerobico. Il prestomaco consentiva un percorso digestivo bidirezionale: a differenza della maggior parte dei mammiferi, infatti, i ruminanti possono rigurgitare il contenuto alimentare in piccoli boli che sono poi rimasticati in modo da frammentare ulteriormente il materiale prima di restituirlo al "serbatoio di fermentazione".

I ruminanti primitivi che abitavano nelle foreste si cibavano di angiosperme dicotiledoni, ossia piante in cui l'embrione (seme) è dotato di due cotiledoni (le erbacee sono invece quasi tutte monocotiledoni). Questo gruppo antico e molto ampio è in grado di sintetizzare tannini, efficaci strumenti di difesa contro patogeni e insetti, che con-



feriscono ai tessuti anche durezza e sapore astringente. In grandi quantità possono però risultare tossici per i brucatori. Per far fronte al problema, i ruminanti svilupparono un fegato di grandi dimensioni capace di neutralizzare tali composti e una strategia di approvvigionamento che preferiva foglie giovani e tenere, meno ricche in tannini. La vita mobile poneva tuttavia dei vincoli alle dimensioni del rumine. Cervi, alci, camosci, giraffe e kudu sono tutti esempi attuali di questo modello.

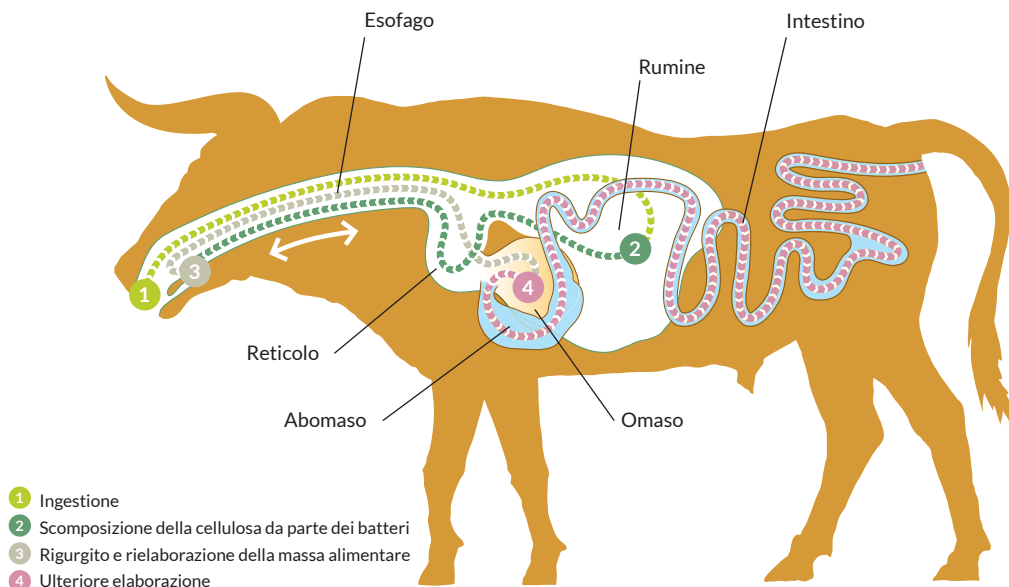
Con l'espansione delle praterie i ruminanti iniziarono a nutrirsi di erbacee prive di difese tossiche e dell'indigesta lignina. Sebbene la cellulosa presente nelle pareti cellulari

non sia facile da assimilare, la comparsa di una fonte di cibo abbondante, di pronto accesso e generalmente più appetibile diede il via a una radiazione adattativa di questi mammiferi fino alla comparsa di bovini e ovini, dotati di serbatoi di fermentazione più grandi e complessi.

Grazie a un fegato più piccolo e a un rumine più efficiente, essi erano in grado di metabolizzare erbe più vecchie e ad alto contenuto fibroso – ciò che gli agricoltori chiamano “pascolo magro”. Questo tipo di ruminazione è il motivo per cui bovini e ovini, più adatti a vivere in spazi chiusi e a cibarsi di foraggio, sono stati preferiti per l'addomesticamento al posto dei cervidi.

### ▼ Sistema digerente dei ruminanti

*Nei ruminanti il materiale vegetale parzialmente masticato è convogliato nel rumine, dove inizia la fermentazione. Durante questa fase viene rigurgitato (in boli), insalivato e masticato di nuovo al fine di offrire la massima superficie all'azione del microbiota. La massa fermentata passa nell'omaso, dove sono riassorbiti i liquidi, e infine arriva allo stomaco ghiandolare, l'abomaso, in cui avviene la digestione vera e propria*



## Mammiferi ipsodonti

Proboscidi e ruminanti disponevano di adattamenti esistenti – proto-proboscide e prestomaco – che hanno permesso loro di passare a una dieta a base di erba e di evolversi e prosperare con l'espansione delle praterie. Esiste un terzo adattamento morfologico, rappresentato dall'ipsodonzia, che caratterizza cavalli e rinoceronti, sebbene si sia evoluto anche nei bovini ruminanti, nei cervi e persino nel bradipo gigante dell'America meridionale. L'analisi dei fitoliti ha permesso di stabilire in modo definitivo che l'ipsodonzia non si è evoluta prima della diffusione delle praterie, diventando comune, secondo i reperti fossili, circa 4 milioni di anni dopo.

Si tratta di una forma di dentizione specializzata, caratterizzata da denti a crescita continua, con corona alta e allungata ben oltre le gengive e smalto spesso. La prova

scientifico più completa riguarda l'evoluzione dei cavalli nelle grandi pianure dell'America settentrionale. Si ritiene sia un adattamento per far fronte al consumo di erba dura e fibrosa, ricca di silice e abrasiva, nonché alla presenza di sabbia e polvere portate dal vento negli ambienti esposti di altopiani, steppe e pianure.

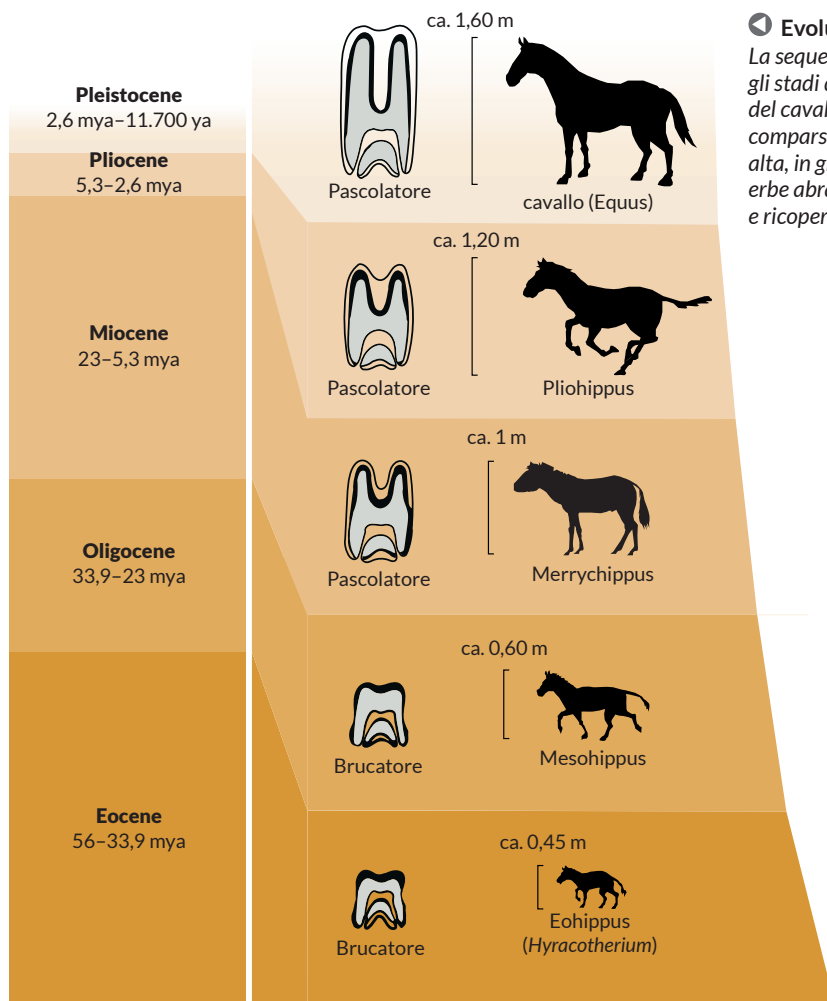
I pascolatori con denti ipsodonti avevano un vantaggio in termini di prestazioni. L'adattamento risolveva il problema dell'usura e consentiva una masticazione più potente ed efficiente: triturando e macinando il materiale vegetale veniva infatti ottimizzata l'azione della flora intestinale.



### 🕒 Equus scotti

*Equus scotti, originario del Nordamerica, è migrato in Asia, e quindi in Europa, attraverso il ponte di Bering. È stata una delle ultime specie autoctone americane a scomparire durante le estinzioni del tardo Pleistocene. Le Americhe rimasero senza cavalli per 10.000 anni fino al XVI secolo, quando gli spagnoli introdussero gli esemplari moderni.*

(mya = milioni di anni fa; ya = anni fa)



### ◀ Evoluzione del cavallo

La sequenza rappresenta gli stadi dell'evoluzione del cavallo e mostra la comparsa di denti a corona alta, in grado di affrontare erbe abrasive, ricche di silice e ricoperte di sabbia.

### DIFESA DAI PREDATORI

I carnivori hanno seguito gli erbivori dalle foreste alle praterie. In questi habitat più aperti ed esposti gli erbivori hanno sviluppato adattamenti e comportamenti per difendersi dalla predazione, trasformando le loro abitudini di pascolo. Alcuni esempi:



VELOCITÀ



DIMENSIONE



CORNA



PALCHI



MIMETIZZAZIONE



GREGARIETÀ



# IL SISTEMA PRATERIA-MEGAFUNA

Circa 20 milioni di anni fa la comparsa di praterie e megaerbivori ha introdotto, accanto a clima e topografia, una nuova variabile che ha modellato la vegetazione naturale. La comparsa di mammiferi in grado di mangiare erba e di brucare, abbattendo gli esemplari arborei più giovani, ha accentuato la diffusione di vaste pianure erbose, che sono diventate dominanti.

Fino alla migrazione dell'*Homo sapiens* dal continente africano avvenuta tra 70.000 e 50.000 anni fa, il bioma rappresentato da praterie, savane e steppe con relativa megafauna copriva immense regioni del pianeta, superando quello delle foreste nei luoghi in cui temperature e precipitazioni erano inferiori o fortemente stagionali. Nel 2005 l'ecologo sudafricano William Bond mise in discussione l'ipotesi prevalente di un "mondo verde" primordiale, sostenendo che gran parte di esso era marrone o nero. Le interazioni ecologiche complessive avevano creato ecosistemi diversificati e dinamici, con numerose nicchie in cui gli organismi potevano evolvere e prosperare.

Le prove a sostegno del panorama variegato e della coevoluzione dei sistemi prateria-megafauna esistono da decenni, ma si sono fermate negli ambiti specialistici dell'ecologia vegetale e della sistematica dei mammiferi. Solo negli ultimi anni le scoperte tecnologiche hanno amplificato i dati disponibili, rendendo più facile agli scienziati una lettura interdisciplinare: ciò ha stemperato le diverse visioni contrastanti, creando un'immagine più chiara del passato. Le conclusioni hanno messo in discussione l'opinione prevalente tra conservazionisti,

## ECOSISTEMI VARIEGATI



Il punto di vista "multicolore" di Bond sosteneva che le comunità vegetali in una data località si potevano far risalire a tre possibili ecosistemi, a seconda della storia, dell'entità e della natura di vari tipi di controllo:



politici e gente comune, secondo cui le foreste rappresentano la "vegetazione naturale" del pianeta, mettendo in dubbio anche l'idea che gli sforzi globali debbano puntare a proteggere e ripristinare la natura concentrandosi soprattutto sui biomi forestali, in particolare ai tropici, dove condizioni stabili, calde e umide hanno permesso l'evoluzione di una miriade di forme viventi.

Teoria e pratica del rewilding contemplano tutte le implicazioni di questo ritratto più accurato della storia del pianeta. Nel prossimo capitolo si esaminerà l'impatto dell'uomo sui sistemi prateria-megafauna, e in seguito si analizzeranno le interazioni tra erbivori e vegetazione e i meccanismi che hanno portato a diversità e abbondanza biologica.





# PRATERIE E Megaerbivori

L'ascesa dei megaerbivori ha ampliato le aree in cui le praterie costituivano la vegetazione dominante, creando un'ecologia globale dinamica.

## 1. Evoluzione della megafauna

Gli animali di piccola taglia emersi dalle foreste si sono trasformati in megafauna in grado di defogliare, frantumare e calpestare i giovani alberi.



## 2. Mosaici foresta-prateria

La pressione e il disturbo creati dal pascolo hanno mantenuto, diversificato ed esteso le praterie. Piante erbacee non commestibili, cespugli spinosi e alberi a crescita rapida si sono evoluti per resistere o contrastare l'attività degli animali, creando mosaici forestali.



## 3. Incendi

Il pascolo ha interagito con un ulteriore fattore determinante della diversificazione vegetale: il fuoco. Soprattutto nelle regioni con terreni poveri, o dove la pressione del pascolo era più leggera, ha permesso l'accumulo di biomassa combustibile,





Capitolo 3

# IL DECLINO ECOLOGICO DEL PIANETA



## ▼ Gliptodonte

*I paleontologi hanno compreso che le gallerie rinvenute in tutto il Sudamerica sono tane di gliptodonte, erbivoro corazzato imparentato con gli attuali armadilli e pesante fino a due tonnellate.*

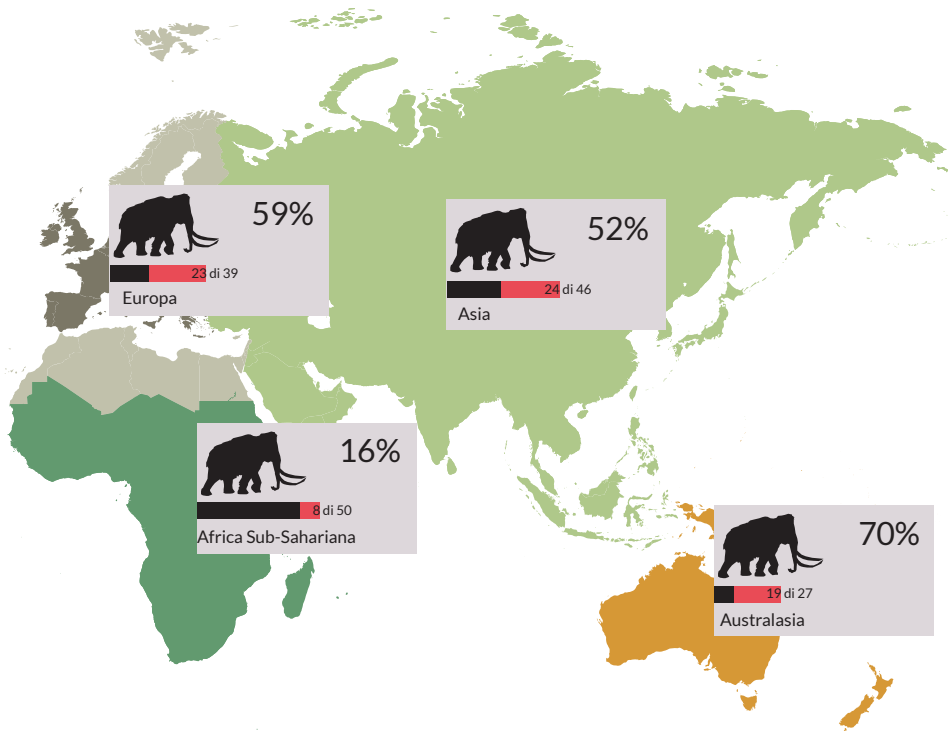


La coevoluzione di praterie ed erbivori ha prodotto alcuni dei mammiferi più imponenti che abbiano mai camminato sulla Terra: mammut e mastodonti lanosi, bradipi terricoli giganti, enormi armadilli e tigri dai denti a sciabola, oltre a cavalli, cammelli e bisonti.

Nel capitolo precedente viene presentato un quadro in cui gli erbivori contrastano l'avvicendamento delle piante legnose. In realtà la comparsa dei pascolatori ha generato differenti mosaici vegetazionali: erbe non commestibili, cespugli spinosi e alberi a crescita rapida adattati per resistere, o superare gli effetti della presenza animale. Le tigri dai denti a sciabola e i leoni delle caverne si sono evoluti per predare tali erbivori, influenzando sia il modello sia l'intensità della pressione di pascolo. Allo stesso modo le interazioni tra nutrienti del suolo e clima hanno ulteriormente condizionato equilibrio e distribuzione della vegetazione erbacea e legnosa. Una veduta dall'alto di



una regione a clima temperato nel Pleistocene avrebbe rivelato mosaici disomogenei di prateria, macchia, bosco e foresta. Sarebbero state visibili mandrie di mammut, cammelli, lama e cavalli, ma anche grandi animali meno sociali, come bradipi giganti e gomfoteri (imparentati agli odierni elefanti), che brucavano gli alberi ai margini dei boschi. Uno sguardo più ravvicinato avrebbe scorto una miriade di specie più piccole. La megafauna del Pleistocene sosteneva un proprio ecosistema di parassiti, saprofici e decompositori; il pascolo incessante, l'abrasione, il calpestio e la defecazione creavano una molteplicità di nicchie che altri animali e piante potevano occupare.



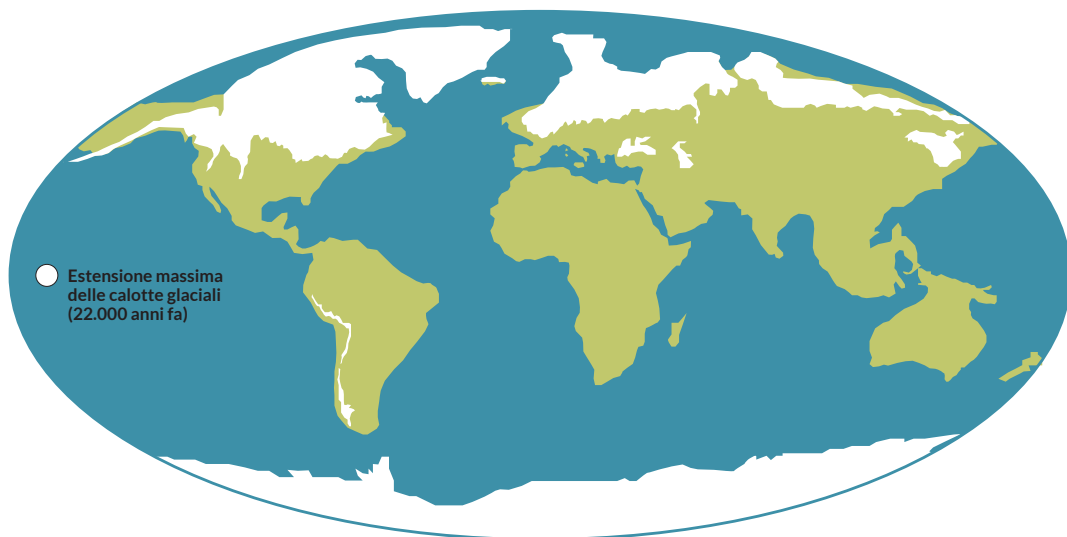
### ▲ Estinzioni della megafauna durante la transizione Pleistocene-Olocene

La figura mostra, per continente, la perdita percentuale delle specie megafaunali (di peso superiore a 40 chilogrammi) durante il passaggio da Pleistocene a Olocene, il numero di estinzioni (in rosso) e il numero di specie presenti in precedenza.

Circa 130.000 anni fa la megafauna iniziò a scomparire: in base alle attuali conoscenze, basate sui reperti fossili, si estinsero 177 delle 294 specie note. Le estinzioni sono eventi naturali, ma di solito se una specie viene meno, è sostituita da un'altra in grado di occupare una nicchia simile. Il concetto di "sostituzione di specie", in cui una più adatta occupa il posto di una esistente, è un

concetto chiave della teoria darwiniana. Le estinzioni che hanno coinvolto la megafauna sono diverse, essendo avvenute in tempi relativamente recenti e senza specie funzionali in grado di sostituirle o di occupare le nicchie vacanti. Non è più apparso nulla di lontanamente simile al gliptodonte da quando questo straordinario mammifero è scomparso dai paesaggi del Sudamerica.





● Estensione massima delle calotte glaciali (22.000 anni fa)

### ▲ Glaciazione nel Pleistocene

*La mappa mostra l'estensione dei ghiacci e la riduzione del livello degli oceani 22.000 anni fa, nel culmine del periodo glaciale.*

## Un nuovo assetto

Le estinzioni di megafauna avvennero durante un periodo di grande instabilità climatica. Nel Pleistocene si avvicendarono serie glaciali e interglaciali; nelle prime, vaste distese di ghiaccio ricoprivano l'emisfero settentrionale raggiungendo l'odierna Chicago (Stati Uniti), Midlands britanniche e Germania settentrionale; durante le fasi interglaciali i ghiacci invece si ritiravano. L'ultima massima estensione dei ghiacci ebbe luogo 22.000 anni fa.

In passato la maggior parte dei paleontologi riteneva che il freddo avesse provocato la scomparsa di grandi popolazioni di mammiferi, partendo dal presupposto che le basse temperature avessero ridotto la crescita dell'erba rendendo più difficile

l'approvvigionamento di cibo e di conseguenza l'omeotermia, ma nel 1940 Willard Libby scoprì un nuovo metodo d'indagine: la datazione al radiocarbonio. Lo studioso individuò la correlazione tra un isotopo radioattivo del carbonio (carbonio-14 o  $^{14}\text{C}$ ) generato dalla radiazione cosmica in atmosfera e il carbonio presente nelle ossa degli animali, e questa metodica perfezionò l'accuratezza nelle datazioni di materiale organico. Quando i paleontologi iniziarono a misurare l'abbondanza relativa di carbonio-14 nei campioni fossili del Pleistocene, emerse un nuovo scenario: sebbene l'estinzione globale della megafauna sia iniziata prima, tra 26.000 e 20.000 anni fa si verificò un'improvvisa accelerazione. Questa tempistica era in linea con la diffusione planetaria dell'*Homo sapiens* e ha dato origine alla "teoria dell'overkill".

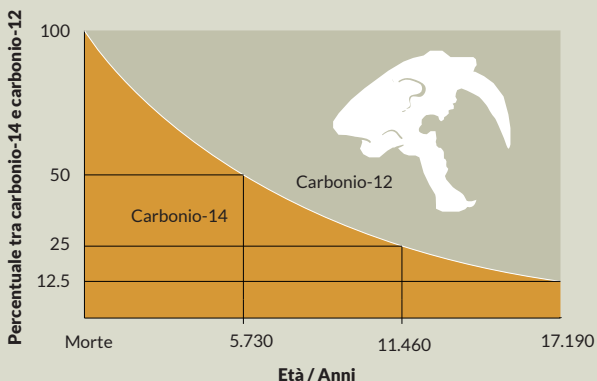
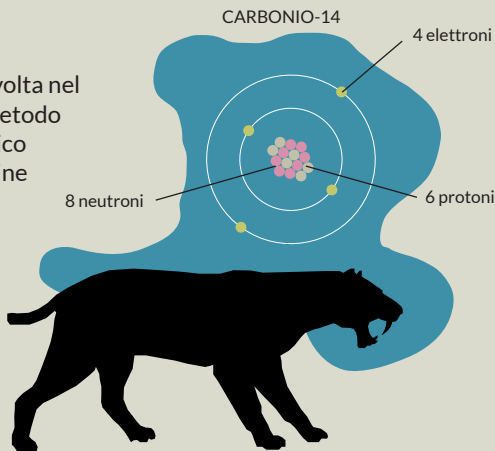


# DATAZIONE AL RADIOCARBONIO

Tutta la materia vivente contiene carbonio ed è coinvolta nel ciclo planetario di questo elemento chimico. Con il metodo di William Libby è possibile datare il materiale organico fossile e individuare l'epoca della morte con un margine d'errore trascurabile.

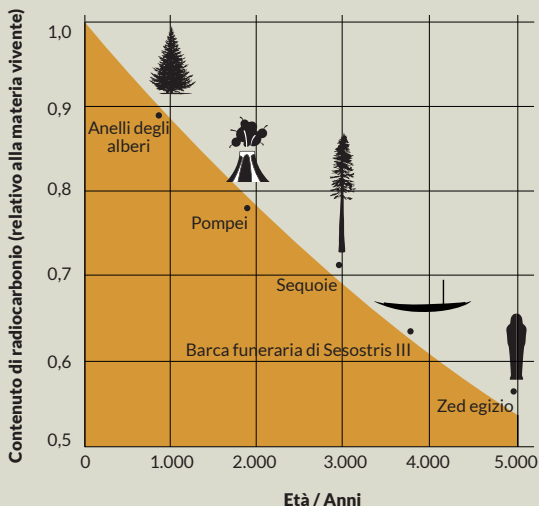
## Carbonio-14

Il rapporto tra carbonio-14 (radiocarbonio) e carbonio-12 (l'isotopo stabile più abbondante) è misurabile. I tessuti viventi incorporano il carbonio-14 in proporzione alla sua abbondanza in atmosfera.



## Decadimento radioattivo

La morte di un organismo comporta la fine degli scambi di carbonio con l'ambiente. Il carbonio radioattivo ha un'emivita di 5.730 anni: ciò significa che il numero di atomi di carbonio-14 inizierà a diminuire alla morte dell'organismo e si dimezzerà ogni 5.730 anni. Libby sviluppò quindi una tecnica per misurare il rapporto tra carbonio-14 e carbonio-12 nel materiale organico (animali, vegetali e sedimenti del suolo). Oggi gli scienziati possono misurare campioni che risalgono a circa 50.000 anni nel passato. Nei campioni più vecchi il carbonio-14 diventa difficilmente rilevabile, e non è possibile escludere risultati falsati da eventuali contaminazioni.



## Calibrazione

La calibrazione, rispetto alle tracce di radiocarbonio presenti in materiali di età nota, come reperti di legno nelle piramidi, anelli degli alberi o sedimenti depositati annualmente, fornisce ulteriore accuratezza alle misurazioni.

## LA TEORIA DELL'OVERKILL

Il geologo e paleontologo Paul Martin fu tra i primi a stabilire un collegamento tra estinzione della megafauna e predazione da parte dell'uomo – la cosiddetta “teoria dell’overkill”, ossia un tasso di uccisioni superiore alle capacità riproduttive della specie cacciate. Martin è stato descritto come un viaggiatore del tempo, un uomo di straordinaria immaginazione e conoscenza dei fatti. Nel 1967 e nel 1984 organizzò delle conferenze per analizzare e discutere i progressi delle ricerche, convocando anche chi confutava le sue ipotesi sostenendo che la causa principale delle estinzioni del Pleistocene era il cambiamento climatico (“overchill”).

La teoria dell’overkill misura gli effetti degli spostamenti dei primi ominidi provenienti dai sistemi prateria-megafauna dell’Africa in direzione di Europa, Asia, Australia e Americhe. Sergey Zimov, artefice del Parco del Pleistocene (capitolo 4) ha ipotizzato che all’inizio gli esseri umani si cibassero di carcasse, impiegando utensili per rompere le grandi ossa piene di midollo, e col tempo abbiano sviluppato strumenti e comportamenti orientati alla caccia organizzata.

La megafauna africana, e in misura minore quella europea, è stata in grado di adattarsi

all’ascesa di un predatore ominide accentuando cautela, aggressività, mobilità o vita crepuscolare (attiva all’alba e al tramonto). In Australia e nelle Americhe, dove cacciatori esperti incontrarono animali non abituati a questo tipo di predazione, le conseguenze furono catastrofiche. Negli ultimi cinque anni l’analisi del DNA antico ha rivoluzionato le conoscenze su genealogie, migrazioni e mescolanze tra le popolazioni umane, e il libro *Chi siamo e come siamo arrivati fin qui* di David Reich spiega brillantemente tale nuova prospettiva. Gli studi si stanno concentrando sull’integrazione tra queste scoperte e le correlazioni tra declino e domesticazione dei grandi mammiferi, ma sembrano confermare il rapporto di causa ed effetto tra le ondate migratorie umane che si sono susseguite sul pianeta e i fenomeni di estinzione.



### ◀ Diprotodon optatum

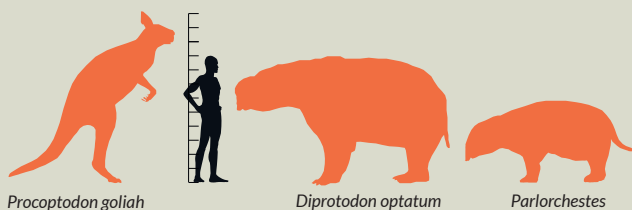
Alto come un uomo, il diprotodonte è il più grande marsupiale mai esistito, imparentato con gli odierni vombati.





## OVERKILL AUSTRALIANO

Circa 40.000 anni fa gli umani attraversarono i tratti di oceano profondo nell'Indonesia orientale e si insediarono nel continente australiano. Le tempistiche coincidono con il declino della megafauna marsupiale.



### Eccessiva pressione venatoria

Le critiche alla teoria dell'overkill in Australasia rilevano la mancanza, nella documentazione fossile, di raffinati strumenti di caccia o di siti di abbattimento di massa. In ogni caso le modellazioni demografiche indicano che tali evidenze non sono indispensabili per stabilire la validità o meno di questa ipotesi. Gli studi mostrano che una caccia selettiva degli individui giovani e immaturi (1-2 uccisioni ogni dieci persone per anno) sarebbe sufficiente a portare una popolazione al collasso nel giro di pochi secoli, poiché il reclutamento degli individui riproduttivi risulterebbe insufficiente a perpetuarla.

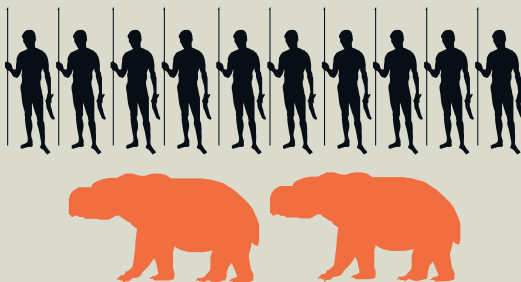
### Gli uccelli incapaci di volare della Nuova Zelanda

Anche le successive estinzioni di megafauna in Nuova Zelanda non coincidono con i cambiamenti climatici. Sembra infatti che molte specie di grandi uccelli incapaci di volare siano state in grado di adattarsi a varie perturbazioni ambientali avvenute nel corso di migliaia di anni, e la probabilità di una loro estinzione sarebbe stata molto più bassa senza l'intervento umano. Tuttavia, la questione è tutt'altro che risolta.



### Collasso della megafauna marsupiale

Tra le specie indigene scomparse vi sono il diprotodonte, delle dimensioni di un ippopotamo, il procoptodonte, un canguro gigante alto tre metri, e un tapiro marsupiale. Le estinzioni dei 21 generi australiani sono state datate a poco prima o poco dopo la colonizzazione antropica del continente; non sono legate ad alcun evento climatico importante, né a livello regionale né a livello globale. Nove specie si sono sicuramente estinte dopo l'arrivo dell'uomo.



## Le contestazioni al modello dell'overkill

A dare maggior credito ai sostenitori della teoria dell'overkill sono gli spostamenti di gruppi di cacciatori attraverso lo Stretto di Bering, in un corridoio libero dai ghiacci che si è aperto circa 15.000 anni fa, collegando Siberia e Alaska. America settentrionale e meridionale erano caratterizzate da biomi simili a steppe, popolati da mammut (4 specie), mastodonti, gonfoteriidi, megateri (4 specie) e gliptodonti (2 specie), oltre a cammelli, cavalli, bisonti e diversi cervidi.

Questi animali avevano evoluto comportamenti elusivi nei confronti delle tigri dai denti a sciabola, dei leoni delle caverne e dei terribili enocioni, ma erano impreparati alla minaccia rappresentata dagli ominidi e alle relative strategie di caccia intensiva. Come conseguenza, nell'arco di un periodo relativamente breve il collasso delle popolazioni megafaunali con lenti tassi riproduttivi è stato inevitabile, poiché la scarsità di prole non è riuscita a compensare l'eccessiva pressione venatoria.

Il fatto che i mammut siano sopravvissuti fino a circa 2.500 anni fa sull'isola di Wrangel, a nord della Siberia, e sull'isola di Saint Paul, a sud-ovest dell'Alaska, entrambe sfuggite alle ondate migratorie successive, corrobora l'ipotesi dell'overkill. La teoria è rimasta comunque controversa fino al 2014, quando Christopher Sandom e collaboratori superarono il dissenso inserendo accuratamente tutte le prove in un modello per testare le tre ipotesi in esame: pressione venatoria, cambiamenti climatici, loro interazione. I risultati confermarono che

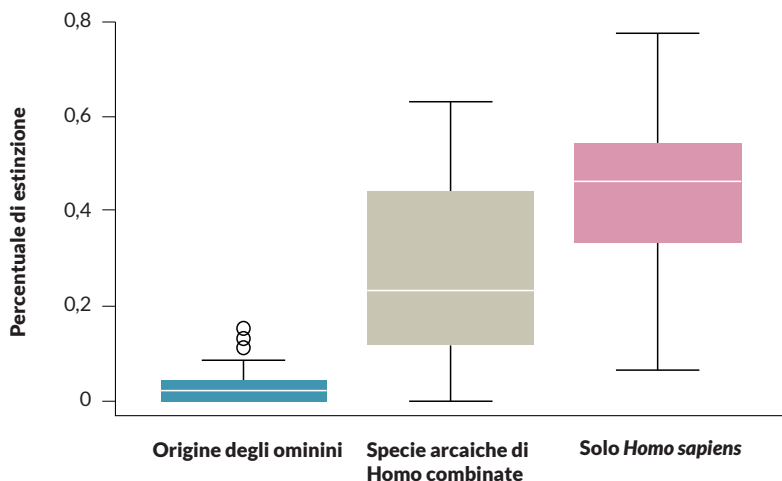
l'overkill si adattava meglio a gran parte dei territori, tranne l'Europa, dove la commistione tra processi naturali e antropici era meglio supportata dai dati.

È interessante chiedersi perché il modello dell'overkill sia stato tanto contrastato. Le prove possono essere frammentarie, ma la logica è più solida di quella delle argomentazioni avanzate nel modello "overkill". Uno dei motivi è che le basi scientifiche consolidate sono difficili da modificare. Nel 1936 Frederic Clements, uno dei padri dell'ecologia, propose il concetto di stadio "climax", ossia l'assetto terminale e stabile della vegetazione di un dato territorio raggiunto attraverso una serie di fasi di transizione fino a una condizione di equilibrio tra ecosistema e fattori ambientali (temperatura, precipitazioni, geologia e fotoperiodo). Clements e altri eminenti ecologi dell'epoca presumevano che la vegetazione di una regione definisse le condizioni per l'evoluzione degli organismi e degli ecosistemi. Questo concetto ha permesso di ripartire il pianeta in biomi e habitat distinti e ha fornito un quadro di riferimento per la ricerca e le politiche internazionali di conservazione. Accettare che anche la megafauna fosse in grado di "influenzare" la vegetazione aggiungeva un ulteriore livello di complessità e suggeriva la necessità di rivedere alcuni principi delle scienze naturali. A ragione o a torto, le istituzioni resistono al cambiamento, finché le prove non sono inconfutabili.

Una seconda ragione è di natura culturale e politica. Negli anni ottanta uno dei principali obiettivi dell'ambientalismo occidentale era quello di arrestare la dissennata



## RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLA PROPORZIONE DI GRANDI MAMMIFERI SCOMPARSI NELLE REGIONI PALEOBIOGEOGRAFICHE DEGLI OMININI



deforestazione per mano di agricoltori e taglialegna. A ciò era legata una crescente preoccupazione per le condizioni delle popolazioni indigene delle foreste. Organizzazioni come Survival International e film come *La foresta di smeraldo* di John Boorman ritraevano le tribù native come se vivessero in armonia con la natura. Un'ipotesi che inquadrava queste popolazioni come discendenti da quelle che avevano causato il collasso della megafauna, portando all'espansione delle foreste, sembrava inutile e insensibile. Non era al passo con i tempi – e forse non lo è nemmeno oggi.

### 🔍 Un modello per la teoria dell'overkill

Christopher Sandom e collaboratori hanno analizzato i dati sulla distribuzione geografica di tutte le specie di grandi mammiferi che si sono estinte a livello globale o continentale tra 132.000 e 1.000 anni fa, dimostrando che il collasso megafaunale del tardo Quaternario era strettamente legato alla paleobiogeografia degli ominini e scarsamente ai cambiamenti climatici. I tassi di estinzione sono stati bassi nell'Africa subsahariana, dove ominini e megafauna hanno coesistito a lungo (origine ominini); più alti nelle regioni in cui la megafauna ha incontrato esseri umani arcaici (arcaiche combinate); ed eccezionalmente alti in Australia e nelle Americhe, dove gli esseri umani moderni sono stati i primi ominini presenti (solo *Homo sapiens*). (Sandom, C. et al, 2014. "Global late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change").

