

# I segreti del guscio di Geny

C'era una volta, 55000 anni fa, un pulcino di *Genyornis newtoni*. Fece capolino dal guscio dell'uovo che lo aveva ospitato per due mesi e si andò a sistemare sopra una duna di sabbia sulla sponda del Lago Eyre, nel South Australia.

Il patrimonio genetico che portava dentro di sé calzava a pennello con un ambiente che si stava gradualmente inaridendo. Questo pulcino era un esemplare dell'ultima delle otto specie di Dromornitidi, una famiglia di uccelli australiani strettamente imparentata con le anatre e le oche, che aveva barattato la capacità di volare con una stazza corporea imponente. Questa transazione evuzionistica valse loro il diritto di dimora proprio al centro dell'Australia, dove se la cavavano meglio gli animali che potevano ingoiare grandi quantità di cibo con scarso valore nutrizionale.

Il dromornitide più arcaico da cui discendeva era un uccello volatore che risaliva all'Eocene, 50 milioni di anni prima, e che probabilmente aveva abitato le zone costiere. Il pulcino del Lago Eyre – membro di una specie che presumibilmente fece la sua comparsa nel Pleistocene – aveva ereditato dal suo antenato le ghiandole nasali del sale, un adattamento che permette agli uccelli marini di bere acqua salata e che gli avrebbe conferito una marcia in più nell'ambiente del lago, che stava diventando sempre più salato.

Crescendo a un ritmo spaventosamente rapido, Geny sarebbe poi diventato un colosso alto due metri, con un testone enorme e due zampe tozze e ben piantate, per un peso complessivo di circa duecento chili, pronto per gironzolare nelle savane e negli ambienti stepposi in cerca di erba, cavallette e foglie. Il suo mondo era desolato rispetto alle foreste rigogliose che allora prosperavano in alcune zone costiere, ma lussureggiante se messo a confronto con

il paesaggio desertico che si può osservare oggi sul Lago Eyre. Con un bacino pari a un sesto del continente, il lago aveva raggiunto una profondità massima di 25 metri, ma ai tempi di Geny era meno profondo. Tuttavia poteva ancora sostentare le colonie di quegli uccelli, mentre le dune sabbiose circostanti ospitavano i nidi per le loro uova color crema, lisce al tatto e quasi sferiche, del diametro di 15 centimetri.

Quando una ventata d'aria fresca lo spruzzò d'acqua, arruffandogli le piume, il pulcino dal becco rosso sbatté le alette (che non servivano granché, ma facevano comunque parte degli accessori in dotazione), sgrandì gli occhietti luccicanti, e incominciò a guardarsi intorno, osservando quella stranissima terra di giganti.

Con un metro di altezza e oltre tre di lunghezza, il *Diprotodon optatum* è stato il più grande marsupiale mai esistito. Queste creature goffe e pelose erano più numerose dei loro parenti di dimensioni più piccole, gli *Zygomaturus trilobus* del Lago Eyre. I canguri dal muso corto erano diffusissimi in tutta la regione. Il più grande, alto due metri e mezzo, era il *Procoptodon* che, con i suoi duecento chili, pesava il triplo del grande canguro rosso moderno di cui condivideva l'habitat. Il *Phascolonus gigas*, un grosso vombo scavatore di almeno centocinquanta chili, trivellava le sue gallerie nella terra attorno al lago. Il diavolo della Tasmania gigante e il feroce leone marsupiale *Thylacoleo carnifex*, erano sempre a caccia di preda. Il *Thylacoleo* era grande come un leopardo, ma sembrava un micetto al cospetto dei rettili giganti che avevano battuto i mammiferi all'apice della catena alimentare: *Megalania prisca*, un varano gigante molto più grande di quelli di Komodo, lungo sette metri e pesante una tonnellata, era sempre pronto a fare a pezzi qualsiasi erbivoro fosse sopravvissuto a *Wonambi*, un serpente del diametro di trenta centimetri e lungo fino ai sei metri.

All'ombra dei giganti c'erano anche gli antenati degli animali australiani di oggi. I terreni di nidificazione dei *Genyornis* erano vicini a quelli degli antichi emù, che erano simili anche se non strettamente imparentati a quegli uccelli. Il paesaggio era cosparso di uova di emù, verdi e bitorzolute. Gli uccelli acquatici, d'altra parte, facevano sempre un gran baccano. Anatre, pellicani e una specie oggi estinta di fenicotteri, si accalavano sulle sponde del lago e degli antichi fiumi, loro fonte di nutrimento, mentre tartarughe e coccodrilli emergevano dalla superficie dell'acqua.

Eppure questo strano mondo del Pleistocene era sul punto di essere distrutto per sempre.

\*\*\*

Molto tempo dopo, nell'Olocene, i geologi John Magee e Gifford Miller – rispettivamente dell'Australian National University e della University of Colorado, Boulder – si dirigono verso il lago Eyre, che oggi è una pianura salina di diecimila chilometri quadrati, per la maggior parte del tempo deserta. L'ultima fermata è l'Oasis Café, a Maree, 700 chilometri a nord di Adelaide. Questa cittadina dell'*outback* è il punto in cui la pista di Birdsville, la vecchia via del bestiame tra il Queensland e il South Australia, incontra la pista di Oodnatta. Adesso, però, questa zona è più famosa per via del geoglifo dell'Uomo di Marree, una raffigurazione lunga quattro chilometri e incisa sul terreno alla fine degli anni Novanta da alcuni buontemponi alla guida di trattori e muniti di dispositivi GPS.

Magee controlla la baracca che ospita i suoi strumenti per la perforazione, nota come "Campus di Marree dell'Australian National University", quasi a competere in ironia col cartello posto nella sterpaglia antistante, che segnala "MCG" (sigla del Melbourne Cricket Ground, il campo di cricket di Melbourne). Sulla strada che si allontana dalla cittadina, un enorme cartello stradale avverte "Remote Areas Ahead", evocando al guidatore poco pratico dei luoghi i rischi in cui potrebbe malauguratamente imbattersi. Sulla zona cadono meno di 125 millimetri di pioggia all'anno, il valore più basso in assoluto di tutta l'Australia, e le temperature estive superano i 45 gradi. Gli allevamenti di bestiame e di pecore della zona si approvvigionano di acqua dal Great Artesian Basin<sup>1</sup>.

La strada che conduce al Lago Eyre taglia attraverso un territorio sul quale riesce a crescere solo una rada vegetazione di acacie e atriplici: ma persino queste resistentissime piante stentano a sopravvivere. Un cancello attraverso il reticolato conduce alla zona dei dingo, che vivono al di là di una barriera lunga 2200 chilometri

<sup>1</sup> Il Grande Bacino Artesiano è una delle più grandi falde acquifere del mondo. Si estende per oltre il 20% del territorio australiano: quasi tutto il Queensland, il nord del Nuovo Galles del Sud, il sud-est del Northern Territory e il nord-est del South Australia.

eretta per proteggere le pecore delle fattorie situate a sud. È anche la via d'accesso alla zona desertica. Qui sono ben poche le specie animali che si possono osservare: qualche lucertola *Tiliqua rugosa* dal corpo tozzo e testa a forma di cuneo, un paio di canguri, qualche nibbio bruno e diverse specie di piovieri dalla testa rossiccia. Magee e Miller, superano in macchina il Lago Eyre Sud, collegato attraverso il canale di Goyder con la porzione nord del lago, che si estende con un'incredibile vista a perdita d'occhio. Si avvicinano alla sponda meridionale del Lago Eyre Nord, verso Williams Point, dal nome di un giovane scienziato scomparso prematuramente prima di completare le sue ricerche sul lago.

Il paesaggio che si presenta davanti ai loro occhi somiglia più a un acquarello che all'immagine proposta nei depliant dell'ente turistico del South Australia, dove la zona viene dipinta come una terra pericolosa, "aspra, deserta e inospitale" che evoca solamente sentimenti di paura e impotenza (i geologi non vi hanno mai avvistato un turista in anni e anni di spedizioni). Le nuvole, soffici e pastose, trapuntano il cielo, che sfuma dall'azzurro chiaro al blu cobalto, mentre se si sposta lo sguardo un po' più in basso, il bianco brillante delle saline è screziato dal giallo oro della sabbia. Togliendo gli occhiali da sole, questa scena apparentemente diafana e delicata fa male agli occhi, tanto che i tecnici addetti alla perforazione del terreno, che devono prelevare le carote sedimentarie dal centro del fondale, dove il sale raggiunge una profondità di mezzo metro, sono costretti a portare gli occhiali da saldatura.

Qui la luce inganna lo sguardo, e i miraggi cancellano l'orizzonte. Verso nord-ovest si intravede l'isola di Shelly, che sembra incagliata, quasi a un passo dalla linea costiera. In realtà si trova ad almeno sei chilometri di distanza, e se si tenta di raggiungerla incamminandosi sulla crosta di sale che crepita sotto i piedi, l'isola rimane sempre là in fondo, irrimediabilmente lontana. Il segnale fissato da John Magee, un paletto d'acciaio conficcato solidamente sulla sponda del lago, è un punto di riferimento concreto in questa terra ingannevole. Un'altro punto di riferimento si trova sospeso a 20000 chilometri d'altezza, da dove i satelliti trasmettono dati ai ricevitori GPS dei geologi.

Da questo punto, Magee e Miller camminano secondo linee rette lungo un'antica duna di sabbia, sotto un sole cocente e lottando contro il vento, che qui ha lo stesso sapore della brezza

marina. Da poco un emù ha deposto un uovo, ma questi grandi animali non si lasciano avvicinare facilmente. I frammenti di uova dei *Genyornis* sono sparsi lungo tutta l'arida distesa sabbiosa, disseminata di scavi di conigli: i geologi, intanto, registrano le coordinate GPS delle dune.

Un pezzetto di guscio d'uovo, in cui il pulcino Geny iniziò la sua vita, brilla al sole e i due scienziati lo ripongono in un sacchetto di plastica numerato. Insieme a migliaia di altri frammenti, getterà luce sull'estinzione della specie del nostro pulcino.

\*\*\*

Né Magee né Miller ricordano a quando risale l'elaborazione del loro istogramma che metteva a confronto la frequenza delle uova degli emù e dei *Genyornis* con l'età dei frammenti. Nell'ambito delle loro ricerche sul monzone australiano, i due geologi avevano usato quei campioni per datare i sedimenti del Lago Eyre: stavano, infatti, studiando le variazioni delle piogge trasportate nell'entroterra dai venti estivi negli ultimi 120000 anni. Le piogge monsoniche – che oggi cadono solo raramente sul Lago Eyre, circondato dai deserti Tirari e Simpson – un tempo andavano a ingrossare fiumi possenti come il Diamantina o il Cooper, nell'ampio bacino imbrifero a nord-est, nel bel mezzo del Queensland. Ai giorni nostri, il monzone sfiora soltanto le parti più settentrionali dell'Australia, mentre il Lago Eyre rimane arido per la maggior parte del tempo.

La storia delle precipitazioni è registrata nelle contrazioni ed espansioni successive della linea costiera del lago. È registrata anche nella comparsa e nella sparizione delle dune, accumulate ed erose intorno al lago, quando il vento sollevava la sabbia dal fondo del lago durante le fasi aride. Nei periodi di estrema siccità le acque sotterranee, che risalgono verso il fondo del lago attraverso minuscoli canali creatisi in mezzo ai sedimenti, diventano più salate. Il sale cristallizza così nei sedimenti, disgregandoli ed esponendoli all'erosione del vento. Il livello del fondo del lago, che oggi si trova 15 metri sotto il livello del mare, cala quindi in misura proporzionale all'aridità del clima del periodo corrispondente.

Ricostruire l'impatto dell'acqua, del vento e del sole sul lago è come analizzare l'armonia di una fuga barocca: Miller e Magee

decifrano, infatti, la complessa idrologia del Lago Eyre proprio come i direttori d'orchestra leggono una partitura di Bach. Il tempo è tutto nella musica e anche negli studi preistorici seri; i due scienziati avevano bisogno di un metodo affidabile per datare i sedimenti. Per risalire all'età di uno strato geologico i due decisero di utilizzare la datazione dei gusci fossili provenienti dallo stesso strato.

Dall'inizio della loro collaborazione, nel 1992, Miller e Magee hanno raccolto circa 100000 campioni di uova fossili provenienti non solo dal Lago Eyre, ma anche da altri siti. Le loro indagini sul campo si sono svolte durante l'inverno, quando il clima è più mite e la temperatura non supera i 25 gradi. Con l'appoggio di altri esponenti del gruppo di ricerca, i due hanno trascorso fino a sei settimane in mezzo al deserto, recandosi ogni giorno nei siti, setacciando le dune e le *lunette* a piedi o in motoretta per raccogliere i preziosi resti di uova fossili.

Gli antichi uccelli giganti inadatti al volo deponevano uova enormi e robuste, resistenti agli attacchi chimici, che possono conservarsi nell'ambiente per milioni di anni, finché restano sepolte, ben protette dall'azione del vento e dalle incursioni di animali in cerca di una fonte di calcio facilmente disponibile.

Gli scienziati hanno analizzato le fotografie aeree e le immagini satellitari per individuare i siti più promettenti. Cercavano principalmente le cavità eoliche, cioè i luoghi in cui l'azione erosiva del vento ha scavato la sabbia delle dune facendo affiorare oggetti più pesanti. Le cavità eoliche, progressivamente, fanno emergere gusci d'uovo e qualche volta riportano alla luce persino interi nidi. Valutando il peso dei frammenti rimasti, i nidi degli uccelli, spesso accumulati in gruppi, contenevano originariamente fino a quindici uova, il che suggeriva che gli uccelli covavano le uova in comune oppure ritornavano allo stesso nido in ogni stagione.

Mentre analizzavano i depositi più grandi, Miller e Magee andavano via via annotando le coordinate GPS e i dettagli stratigrafici di ogni sito. A volte prelevavano campioni di sabbia per datarli con il metodo OSL. I geologi notarono anche che di solito i gusci fossili del *Genyornis* si trovavano vicini a quelli degli emù e ciò attirò la loro curiosità sugli uccelli estinti, che occupavano le stesse dune dei ratiti, sebbene in quel momento la loro attenzione si concentrasse più sui sedimenti che sui metodi di datazione.

Il laboratorio di Miller in Colorado si occupava di datare i campioni mediante una tecnica nota come racemizzazione degli amminoacidi (AAR, *amino acid racemisation*). Il carbonato di calcio del guscio d'uovo si forma all'interno di una struttura proteica, che unitamente alla forma conferisce alle uova la caratteristica resistenza. Uno degli amminoacidi contenuti in questa struttura proteica è l'isoleucina; poiché la molecola di questo amminoacido si trasforma gradualmente, secondo una tempistica conosciuta, nel suo enantiomero D-alloisoleucina, una molecola con diversa struttura, la proteina può fungere da orologio chimico. Il laboratorio di Miller si avvaleva della cromatografia liquida ad alta pressione, una tecnica analitica piuttosto sensibile, per separare le forme alternative degli amminoacidi, gli enantiomeri, e misurarne le proporzioni in ciascun campione. Il laboratorio lavorò instancabilmente ventiquattr'ore al giorno per portare a termine l'impresa. La tecnica della AAR è relativamente imprecisa, quindi i geologi esaminarono enormi quantità di campioni, proprio come gli epidemiologi analizzano i metadati per correggere i fattori confondenti nelle statistiche sulle malattie moderne. Questa tecnica analitica è rapida ed economica rispetto ad altri metodi, come quello al radiocarbonio, che può costare oltre 1000 dollari per campione. Il gruppo, infatti, fu in grado di portare a termine l'analisi di oltre 2000 campioni del solo Lago Eyre.

Dal momento che il ritmo secondo il quale si verifica il cambiamento strutturale dell'isoleucina nel suo enantiomero dipende dalla temperatura ambientale, l'orologio chimico può andare più veloce in alcuni siti rispetto ad altri e variare inoltre nell'arco dei millenni, seguendo l'andamento dei cambiamenti climatici globali: durante le glaciazioni del Pleistocene le temperature del Centro australiano sono state anche di 9 gradi centigradi inferiori a quelle odierne. Magee e Miller dovettero calibrare il loro orologio con altre datazioni, ottenute mediante il radiocarbonio e la serie dell'uranio sui gusci fossili e mediante la tecnica OSL sulla sabbia che ricopriva i gusci.

In seguito i due tracciarono su un grafico tutte le età dei gusci fossili, dei *Genyornis* e degli emù. Magee ricorda che i risultati fecero rimanere gli scienziati a bocca aperta: "improvvisamente scoprimmo che la distribuzione dei gusci fossili di emù si protraeva fino ai nostri giorni, mentre quella dei gusci di *Genyornis* crollava

improvvisamente intorno ai 50000 anni. Ci rendemmo conto che, involontariamente, avevamo datato l'estinzione del *Genyornis*".

Il fatto che i gusci fossili di emù fornissero una serie ininterrotta di date fece escludere la possibilità che l'improvvisa scomparsa dei gusci dell'uccello più grande fosse riconducibile a qualche problema di conservazione. I due scienziati continuarono pertanto i loro studi per confermare i dati ottenuti, includendo nella ricerca anche due regioni semiaride – il Lago Frome, a sud-est del Lago Eyre, e il bacino del Murray-Darling della parte occidentale del Nuovo Galles del Sud – per verificare se l'estinzione fosse avvenuta solo a livello locale o su scala più estesa. Possedendo una delle più stabili riserve idriche dell'entroterra australiano, la regione del Murray-Darling, avrebbe rappresentato un buon rifugio per la megafauna durante i periodi di siccità.

La combinazione dei risultati ottenuti, che coprivano gli ultimi 130000 anni, consentì di collocare l'estinzione tra 45000 e 55000 anni fa in tutte le zone climatiche: tale stima si avvicinava alla data della prima colonizzazione del continente. Ma per scoprire se erano stati gli esseri umani o i cambiamenti climatici a far scattare l'estinzione, i due studiosi dovevano verificare i dati paleoclimatici. Rispolverarono quindi le loro ricerche sul monzone del Lago Eyre: i *record* dimostravano che il lago era stato per l'ultima volta un corpo d'acqua permanente circa 60000 anni fa (dunque prima dell'estinzione di massa della megafauna) e che si stava gradualmente prosciugando quando scomparve il *Genyornis*.

Tuttavia, il biota supportato dal lago aveva attraversato tempi peggiori: il più difficile risaliva a 140000 anni fa, quando l'azione erosiva del vento provocò l'affossamento del fondo del lago fino a 19 metri sotto il livello del mare, una quota inferiore rispetto a quella dell'ultima era glaciale e anche rispetto a quella odierna. Altri periodi secchi, sebbene meno intensi, si verificarono tra 60000 e 50000 e tra 30000 e 16000 anni fa. Il *Genyornis* scomparve dunque dal bacino imbrifero del Lago Eyre durante un periodo moderatamente secco oppure nel successivo periodo umido.

Le ricerche di Jim Bowler sui Laghi Willandra suggerivano un prolungato periodo arido nel vicino bacino di Murray-Darling. Tale siccità terminò 60000 anni fa, quando le piogge riempirono il bacino di acque permanenti e si sviluppò una rigogliosa vegetazione. Circa 40000 anni fa, il clima iniziò a diventare di nuovo più secco e



registrò poi cospicue fluttuazioni prima che i laghi si prosciugassero completamente circa 25000 anni fa. Il *Genyornis* si era estinto nella regione Murray-Darling molto prima che iniziasse il periodo arido 40000 anni fa.

I paleoclimatologi avevano scoperto la prima prova inconfutabile che scagionava il cambiamento climatico dalla responsabilità dell'estinzione di massa della megafauna. Dopo aver consacrato tanti anni allo studio del monzone, si trovavano sul punto di ampliare il loro ambito di ricerca. Magee e Miller annunciarono i propri risultati preliminari in occasione del convegno "Quaternary Extinction Symposium", tenutosi a Perth nel 1997, e pubblicarono i dati definitivi in un articolo pionieristico pubblicato su *Science* nel 1999, rompendo il silenzio sull'estinzione della megafauna che le riviste più autorevoli avevano mantenuto per vent'anni. Ma c'era voluta molta *hard science*, una rivoluzione nelle tecniche di datazione e un pizzico di fortuna perché il tema tornasse al centro dell'attenzione.

In una nuova performance, i due provocarono un altro tumulto nel 2005, durante il successivo convegno degli specialisti di estinzioni, con l'annuncio di ulteriori risultati, debitamente pubblicati su *Science*. Il guscio fossile di *Genyornis* aveva puntato un faro sul passato, questa volta illuminando l'antico paesaggio ed evocando uno scenario di fuoco e devastazione proprio mentre *Homo sapiens* stava espandendosi in tutto il continente.

Gli scienziati avevano esteso le loro ricerche dal Lago Eyre e dal bacino Murray-Darling, per includere campioni provenienti da zone più remote, come Port Augusta, nel South Australia, dove un sito soprannominato "Geny Heaven" (Paradiso dei *Genyornis*) era zeppo di gusci fossili: volevano assicurarsi che i risultati del Lago Eyre fossero validi anche al di fuori della zona semiarida. Analizzando ulteriori campioni provenienti da tutte le regioni, riuscirono a risalire a ritroso nel tempo fino a 140000 anni fa. Le ricerche confermarono a 50000 anni fa l'epoca dell'estinzione di *Genyornis* nelle diverse zone climatiche. Ormai convinti che gli esseri umani avessero avuto un ruolo tutt'altro che marginale nell'estinzione di questa specie, gli scienziati vollero fare chiarezza sulla dinamica dei fatti: era stata una guerra lampo o una devastazione ambientale? Magee e Miller avevano ora bisogno di sapere come viveva e cosa mangiava il *Genyornis*. In un altro caso esemplare di *serendipity*, gli scienziati escogitarono una maniera per scoprirlo servendosi di

una tecnica che era stata già utilizzata per ricostruire le diete di qualsiasi essere vivente, dagli elefanti ai Vichinghi.

I laboratori di datazione al radiocarbonio analizzano i campioni per misurare la concentrazione degli isotopi stabili, carbonio-13 e carbonio-12, assieme al carbonio-14 usato per la datazione. La maggior parte degli organismi viventi discriminano gli isotopi più pesanti, come carbonio-13 e carbonio-14, in un processo chiamato frazionamento, l'equivalente naturale dell'arricchimento dell'uranio usato nella costruzione di armi nucleari<sup>2</sup>. In uno studio precedente, Miller e Magee avevano osservato che campioni corrispondenti a epoche prossime al limite di rivelazione del radiocarbonio contenevano elevate quantità di carbonio-13. "Era un segnale chiaro", afferma Miller. Arruolarono così Marilyn Fogel, biochimica del Carnegie Institute di Washington, per indagare la possibilità di usare il carbonio-13 e il carbonio-12 allo scopo di ricostruire l'ambiente e la dieta nutrizionale del *Genyornis*.

Dato che i vegetali prediligono l'isotopo più leggero, gli zuccheri da esse prodotti presentano un rapporto tra carbonio-13 e carbonio-12 più basso rispetto all'anidride carbonica atmosferica. Tuttavia, esse si differenziano per l'entità di questo frazionamento, a seconda del loro meccanismo di fotosintesi. Gli isotopi del carbonio passano attraverso la catena alimentare, e la loro proporzione all'interno del guscio d'uovo, dei denti o delle ossa di un animale è in grado di dirci quali vegetali comprendeva il loro menu: alberi, arbusti o erbe come il grano, che usano il meccanismo fotosintetico C3; oppure piante C4, cioè adattate alla siccità e in grado di trattenere l'acqua al loro interno, come il mais, la canna da zucchero e l'erba australiana di cui si nutrono i canguri. Favorite dai climi caldi e dagli alti livelli di irradiazione solare, le piante C4 predominano nel Top End, l'estremo nord dell'Australia, dove costituiscono il 95 per cento della vegetazione. Sono in vantaggio rispetto alle piante C3 nei climi più aridi, come dimostra lo straordinario successo dello *Spinifex*, un'erba desertica dal sapore non proprio prelibato. Le piante C4, inoltre, possono sopportare anche bassi livelli di anidride carbonica atmosferica.

<sup>2</sup> Il frazionamento isotopico altera le datazioni al radiocarbonio, tanto che si effettua una correzione utilizzando il carbonio-13 come guida per misurare la capacità dell'organismo di discriminare l'isotopo radioattivo.

## Fotosintesi C3 e fotosintesi C4

Il meccanismo C3 sorse nei microrganismi fotosintetici 3 miliardi di anni fa, mentre l'evoluzione del C4 risale a 25 milioni di anni fa, quando i livelli di anidride carbonica terrestre precipitarono, spiega il biochimico vegetale Hal Hatch. Hatch e il collega Roger Slack, entrambi australiani, furono i primi a condurre studi sulla fotosintesi C4 tra la fine degli anni Sessanta e i primi anni Settanta. Insieme a gruppi di scienziati americani e russi, i due furono i co-scopritori del processo deviante; furono inoltre i primi a riconoscere il significato della fotosintesi C4 e a metterne in luce l'insolito meccanismo.

Graham Farquhar, dell'Australian National University, esperto di fotosintesi noto per il suo sofisticato lavoro di modellamento delle reazioni, afferma che la chimica del frazionamento isotopico è "facilissima", prima di lanciarsi, tralasciando le nozioni più strettamente matematiche, in una vibrante esposizione dei processi che avvengono nella caotica macchina verde all'interno della foglia. Tali processi includono gli enzimi, incaricati di catalizzare la fotosintesi, e le diverse proprietà termodinamiche dell'anidride carbonica conferite dal carbonio-12 e dalla sua controparte pesante, il carbonio-13, mentre il gas entra ed esce dagli stomi, i minuscoli pori della pianta.

Il frazionamento ha inizio quando la pianta cattura dall'aria le molecole di anidride carbonica nelle prime *reazioni della fase oscura* della fotosintesi, la catena di montaggio dei nutrienti attivata dall'energia solare che viene sfruttata nelle *reazioni della fase luminosa*.

Per catalizzare le reazioni della fase oscura, le piante C3 utilizzano la rubisco, un enzima composto di circa 45000 atomi, che si trova all'interno del cloroplasto, sede della produzione di nutrienti nelle cellule del mesofillo, al centro del tessuto fogliare. La rubisco però non riesce a distinguere bene tra ossigeno e anidride carbonica. Nei giorni torridi, quando la pianta chiude parzialmente gli stomi per limitare la perdita d'acqua, l'anidride carbonica contenuta nelle tasche d'aria della foglia si esaurisce e la rubisco reagisce maggiormente con l'ossigeno: quindi la fotosintesi e la produzione di nutrienti si arrestano.

I vegetali C4 hanno un vantaggio evolutivo sui C3. Anch'essi usano la rubisco, ma seguono un percorso chimico diverso, usando nella prima parte della fissazione del carbonio l'enzima PEP-carbossilasi, che non reagisce con l'ossigeno. Un suo prodotto acido fornisce l'anidride carbonica alla rubisco (che nelle piante C4 si trova in cellule specializzate diverse), saturandola con il gas e compensandone l'incapacità di discernimento. Le piante C4 sono in grado di chiudere parzialmente gli stomi nei giorni caldi senza bloccare la fotosintesi.

"Le C4 hanno un caricabatterie potenziato", conclude Farquhar.

Rispetto alle C4, le piante C3 sono in grado di operare una discriminazione più efficiente dell'isotopo più pesante del carbonio. Per misurare la differenza, Marilyn Fogel e la collega Beverly Johnson (del Bates College, nel Maine) hanno raccolto campioni di piante da tutta l'Australia: volevano approfondire le loro ricerche sulle particolarissime erbe australiane, che ammontano a circa un centinaio. Gli scienziati hanno anche condotto degli esperimenti di nutrizione sui moderni emù, sugli struzzi e sulle quaglie per scoprire in che modo poteva essere rivelata la traccia isotopica delle piante all'interno dei gusci d'uovo. Il carbonio contenuto all'interno della calcite minerale del guscio d'uovo proviene dal bicarbonato disciolto nel sangue ed è in grado di rivelare la dieta dell'uccello nei giorni o nelle settimane precedenti la deposizione dell'uovo. Il carbonio presente nella struttura proteica del guscio riflette la composizione proteica del volatile e conserva traccia degli alimenti assunti nei mesi precedenti la deposizione.

Fogel è in grado di leggere le firme isotopiche come un menu. Analizza campioni delle unghie degli scienziati che visitano il suo laboratorio, aggiungendo i risultati nel suo database. Come la maggior parte degli Australiani, Magee rivelava tendenze carnivore, mentre Miller esibiva un segnale C4 più forte, riflettendo la ben nota propensione americana per il mais.

Uno scienziato del gruppo, Michael Gagan, anch'egli dell'Australian National University, ha misurato i rapporti isotopici con uno spettrometro di massa, esaminando campioni di appena 200 microgrammi estratti da guscio d'uovo (vedi box a pagina seguente). In base a tali analisi, Fogel ha potuto stabilire che, prima di 50000 anni fa, gli emù mangiavano piante C3 o C4, o entrambe, e mostravano una flessibilità che permetteva loro di passare dalle nutrienti erbe C4 agli alberi e ai cespugli C3. Ma i loro contemporanei *Genyornis* avevano bisogno almeno di un po' delle piante C4 per sopravvivere. Nei 45000 anni passati, invece, le piante C3 hanno costituito il principale alimento degli emù, e questo fa ritenere che sia avvenuta una distruzione brusca e piuttosto estesa della vegetazione C4, o almeno delle piante C4 commestibili. La tipica erba C4 australiana che si ritrova oggi un po' dovunque negli entroterra paludosi, nota come *canegrass* (*Eragrostis australasica*), si diffuse dopo il collasso dell'ecosistema, ma la maggior parte degli animali ne fa volentieri a meno.

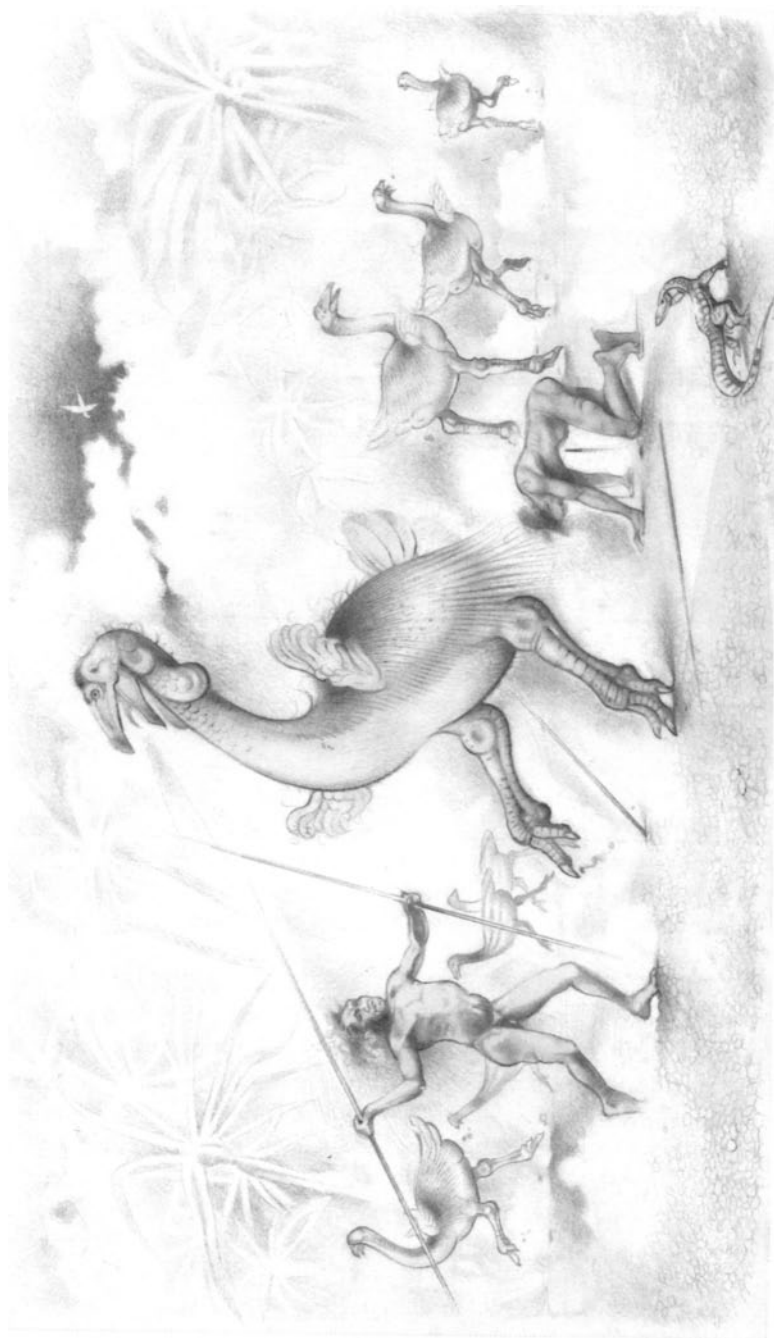
## Spettrometria per gusci d'uovo

Nella sorgente dello spettrometro, due gocce di acido fosforico liberano anidride carbonica dal campione di guscio d'uovo. L'anidride carbonica affluisce in una camera dove viene ionizzata dagli elettroni emessi da un filamento incandescente. Accelerati attraverso un potente campo magnetico, gli ioni positivi cambiano direzione, e il loro percorso dipende dalla massa. Due fasci, uno per il carbonio-12 e uno per il carbonio-13, colpiscono i collettori, che sono in grado di contare le quantità di ciascun isotopo.

Per quanto sensibili, gli spettrometri di massa non sono così stabili da fornire stime assolute; possono però misurare i rapporti isotopici rispetto a un campione di carbonato di calcio fissato come standard internazionale. Il primo standard era il PDB, *Peedee belemnite*, un fossile di una specie estinta di calamari proveniente dalla costa orientale degli Stati Uniti. Questa forma di carbonato di calcio pura e uniforme è esaurita da molto tempo e gli scienziati attualmente utilizzano un altro standard, il NBS19, che si dice provenga dalla tavoletta di marmo di un water di incerta origine. Gli scienziati impiegano di rado questo standard e Gagan, perentorio, afferma: "Non vogliamo esaurire questa risorsa di NBS19. Si tratta della tavoletta di un water, che è davvero piccola".

Da un po' di tempo il gruppo di ricerca sospettava che dietro l'estinzione del *Genyornis* vi fosse stato il collasso dell'ecosistema. Se ciò era vero, tutti gli erbivori ne dovevano essere stati colpiti, e il modo migliore per testare la validità di questa ipotesi era esaminare i denti dei vombati. Gli scienziati analizzarono lo smalto dentario di esemplari di vombato di Port Augusta e del bacino di Murray-Darling, allo scopo di determinare le erbe e le canne ingerite da quegli antichi marsupiali. I risultati furono gli stessi di quelli ottenuti per il *Genyornis*: le piante C4, avvezze alla siccità, costituivano dal 40 al 100% della dieta dei vombati, erbivori obbligati, vissuti 50000 anni fa; 5000 anni dopo, però, questi animali si nutrivano principalmente di piante C3.

La ricerca fu confermata dal lavoro di Rebecca Fraser, che aveva lavorato presso l'Australian National University: la scienziata aveva confrontato le tracce isotopiche dei denti di vombati uccisi dalle auto nello Stato del Queensland, ricco di vegetazione C4, e nella



regione delle Snowy Mountains nella parte meridionale del Nuovo Galles del Sud, dove predominano le piante C3. Scopri che le tracce isotopiche lasciate dalle due fonti alimentari differivano considerevolmente.

Nelle zone più temperate, è anche possibile effettuare analisi sul polline fossile, per stabilire quali piante caratterizzavano il paesaggio, ma il polline conservato nei sedimenti dell'arido entroterra australiano è piuttosto scarso. Le analisi dei gusci d'uovo del *Genyornis* e degli emù riuscirono così a colmare questa lacuna, determinando la prima datazione inconfutabile della "morte" del Centro australiano. Grazie al confronto con i risultati ottenuti dallo smalto dentario dei vombati, gli scienziati riuscirono a identificare un collasso ecologico piuttosto massiccio, avvenuto in concomitanza con l'arrivo degli esseri umani.

Per capire se anche il clima avesse svolto un ruolo nella vicenda, il gruppo di ricerca divise il proprio set di dati in intervalli di 15000 anni, che risalivano fino a 140000 anni addietro. Si concentrò ulteriormente l'attenzione sulla tempistica dei cambiamenti climatici durante l'era glaciale, dalla fase interglaciale precedente a quella attuale. Tuttavia, il clima non aveva provocato il collasso, perché le piante più resistenti all'aridità avevano superato le fluttuazioni climatiche del passato. C'era voluto lo shock dell'occupazione umana per riuscire a distruggerle, evento dal quale non si sarebbero più riprese, neanche nelle condizioni climatiche più umide e miti dell'inizio dell'attuale periodo interglaciale, circa 12000 anni or sono.

Le incertezze nella datazione dell'estinzione di massa – che oscilla tra 45000 e 55000 anni fa – e della prima occupazione umana – anch'essa collocata tra 45000 e 55000 anni fa – ha impedito agli scienziati di operare una netta distinzione tra le due possibili cause di estinzione.

Forse fu l'uso del fuoco da parte dei primi australiani a infliggere il colpo fatale. La megafauna potrebbe aver resistito per 10000 anni, dopo il primo approdo degli umani: una "cottura a fuoco lento", fino all'estinzione. Ancora oggi, nessuno sa quanto tempo avrebbe potuto richiedere la distruzione di un ecosistema a colpi di incendi. Miller e Magee sono riusciti a recuperare meno di dieci frammenti di gusci carbonizzati di *Genyornis* che sembrano essere stati bruciati su focolari. Hanno trovato, tuttavia, molti analoghi

resti di gusci di emù e ciò suggerisce che la convivenza tra esseri umani e *Genyornis* sia stata breve.

Forse i grandi animali sono scomparsi poco dopo l'approdo umano, come previsto nell'ipotesi della guerra lampo di Flannery, con gli incendi che infuriavano come conseguenza del loro arrivo. Il ruolo degli uomini che risultava dalla ricerca sui gusci di *Genyornis*, era però sfuocato. Cosa tenevano in mano quegli uomini? Torce infuocate o lance da caccia?

Miller e Magee propendono per lo scenario della "cottura a fuoco lento", e affermano che una caccia indiscriminata non avrebbe potuto causare i "radicali mutamenti nella catena alimentare" rivelati dai loro dati. Una guerra lampo non avrebbe potuto causare le variazioni nutrizionali osservate negli emù e nei vombati. Inoltre neanche nelle altre isole, dove si accetta comunemente l'ipotesi della rapida strage per spiegare le estinzioni di massa, è emersa alcuna prova empirica inconfutabile che il diffuso cambiamento nella vegetazione sia l'inevitabile conseguenza di una guerra lampo, aggiungono Miller e Magee. Nella loro modellizzazione matematica riportata nel 2005 sulla rivista *Geology*, gli scienziati sostenevano che gli incendi appiccati dall'uomo potrebbero aver effettivamente alterato il clima su scala continentale. La loro teoria è che la distruzione della vegetazione abbia ridotto la quantità di acqua rilasciata nell'atmosfera dalle piante e trasportata nelle zone interne dai monsoni estivi, l'oggetto iniziale delle loro ricerche. Prima di 60000 anni fa, il monzone portava acqua nel cuore dell'Australia; oggi porta piogge solamente sulla costa nord, mentre le zone centrali sono battute da venti secchi. Sistemi di piovosità analoghi sono scomparsi e ricomparsi anche su altri continenti con il susseguirsi delle ere glaciali, e sono ripartiti nuovamente 10000 anni fa. Ma nel caso del continente australiano qualcosa ha inceppato il meccanismo della ricomparsa del precedente sistema di piovosità. La distruzione della diversità delle piante spazzò via gli erbivori specializzati, come appunto il *Genyornis*, e i loro predatori morirono di fame.

Nei sei anni intercorsi tra i due articoli sul *Genyornis*, dal 1999 al 2005, il gruppo Miller e Magee ha visto montare sempre di più il dibattito politico sulla megafauna, alimentato dall'articolo di Roberts del 2001, che infiamma gli animi ancora oggi.