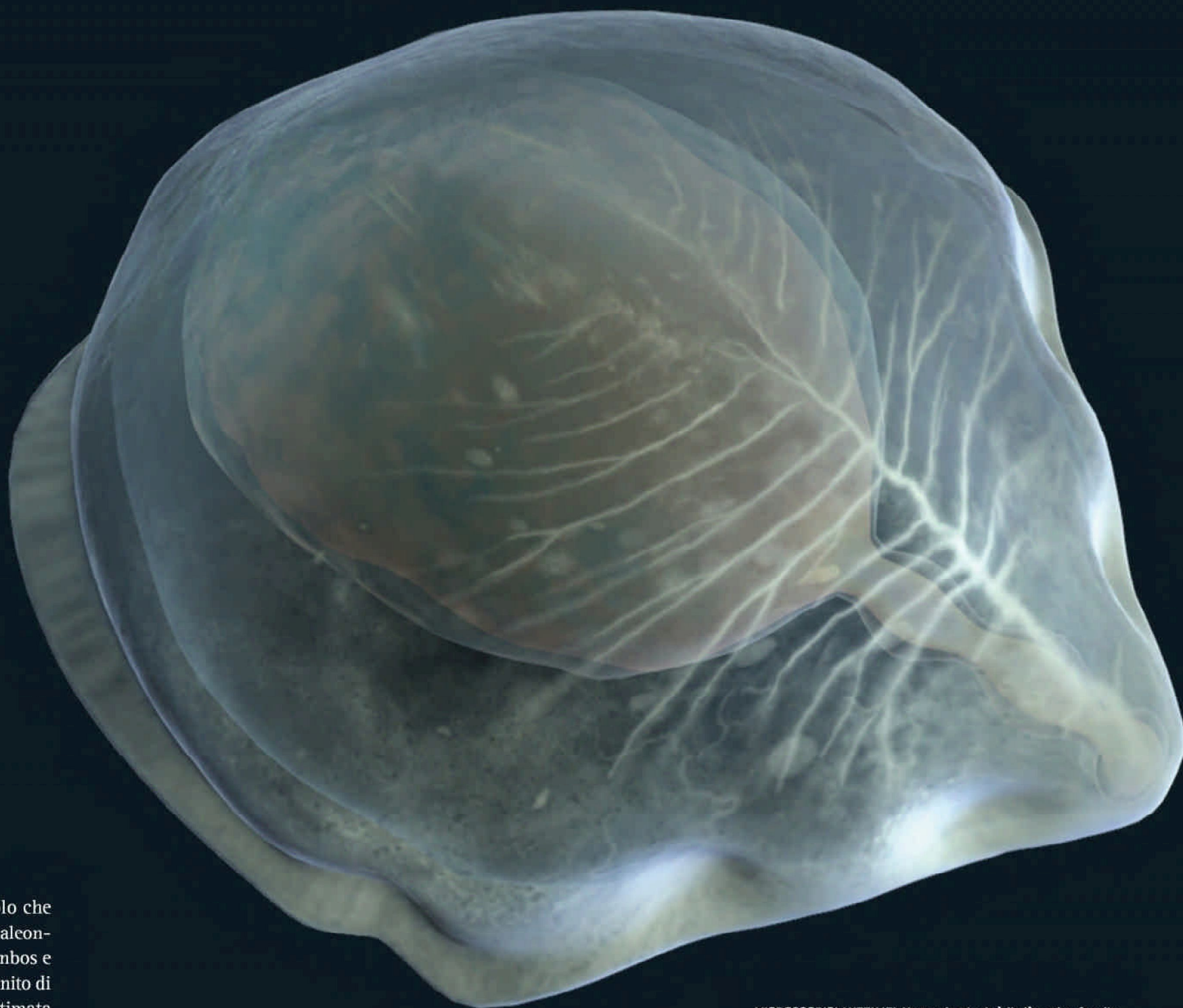


L'evoluzione dei primi animali

I primi animali complessi sono comparsi prestissimo: almeno 50 milioni di anni prima della cosiddetta «esplosione del Cambriano». Lo rivelano minuscoli fossili scoperti in Cina

di David J. Bottjer

“C’è un bilatero su quel camion», disse Jun-Yuan Chen, guardando il veicolo che scompariva dietro una curva. Frase arcana, all’apparenza, ma non per dei paleontologi. Chen, dell’Accademia cinese delle Scienze di Nanchino, Stephen Q. Dornbos e io, all’epoca entrambi alla University of Southern California, avevamo appena finito di riempire un intero camion di rocce nere provenienti da un giacimento di età stimata tra i 580 e i 600 milioni di anni, situato nella provincia del Guizhou, nel sud-ovest della Cina. Chen era sicuro che fra quelle rocce si celasse qualcosa di importante. Eravamo arrivati nel Guizhou nel 2002 alla ricerca dei fossili microscopici di alcuni fra i primi animali comparsi sulla Terra. In particolare, speravamo di trovare un bilatero, cioè, nel gergo degli zoologi, un animale a simmetria bilaterale.



Amadeo Bachar

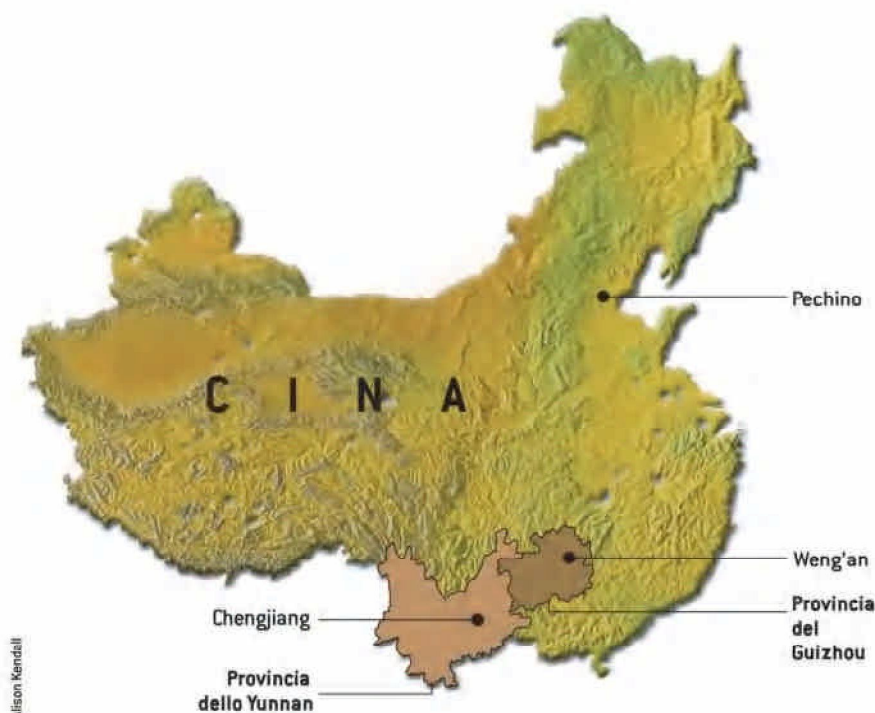
MICROSCOPICI ANTENATI. *Vernanimalcula* è il più antico fossile di animale con corpo a simmetria bilaterale scoperto finora: viveva nei mari tra 580 e 600 milioni di anni fa. In questa ricostruzione è stato ingrandito per mostrarne la complessità, ma nella realtà era grande come il punto alla fine di questa frase.

La comparsa della simmetria bilaterale, ossia della distribuzione speculare di arti e organi sui due lati di un animale, rappresenta un punto di svolta nella storia della vita. I primi animali pluricellulari, le spugne, non avevano questo tipo di simmetria; erano creature acquatiche amorphe che si nutrivano filtrando le particelle di cibo dalle correnti che esse stesse generavano. Gli cnidari, animali acquatici a simmetria radiale, erano un po' più complessi, e avevano cellule specializzate urticanti con le quali immobilizzavano le prede. I bilateri costituiscono il resto del mondo animale, dai vermi fino all'uomo, e sono caratterizzati – in almeno uno degli stadi del loro ciclo vitale – non solo dall'importantissima simmetria tra lato destro e lato sinistro, ma anche da un corpo formato da più strati e dalla presenza di una bocca, di un intestino e di un ano.

Fino a pochi anni fa gli studiosi erano concordi nel ritenere che i primi animali a simmetria bilaterale risalissero a circa 555 milioni di anni fa, anche se in realtà la stragrande maggioranza di essi era apparsa un po' dopo, durante la cosiddetta esplosione del Cambriano, iniziata circa 542 milioni di anni fa. La scarsità di fossili più antichi aveva impedito la verifica di qualsiasi teoria riguardo alle cause di questa «esplosione», che peraltro avrebbe potuto essere solo apparente e dovuta alle scarsissime tracce lasciate dagli animali precedenti. Le ricerche condotte negli ultimi sei anni, inclusa la nostra nella provincia del Guizhou, hanno però messo in crisi questa visione condivisa da tutti gli esperti, indicando che i primi animali complessi comparvero almeno 50 milioni di anni prima dell'esplosione del Cambriano.

Orologi e giacimenti

L'analisi molecolare, e in particolare il metodo detto dell'orologio molecolare, è stata fondamentale nel ridefinire le teorie sulla comparsa dei primi animali. Alla base del metodo dell'orologio c'è l'ipotesi che alcuni cambiamenti di tipo evolutivo avvengano con una cadenza regolare. Nel corso di milioni di anni, per esempio, nel DNA si registrano mutazioni con una frequenza costante. Le differenze nel DNA degli organismi possono quindi fare da «orologio» e indicare la data in cui due linee evolutive si sono separate dal progenitore



Alison Kendall

TESORI CINESI. I resti di animali con corpo molle ritrovati in Cina danno nuove informazioni sui primi stadi dell'evoluzione animale. Nel 2004 Bottjer e i suoi colleghi hanno scoperto nelle rocce della Formazione di Doushantuo, vicino a Weng'an, il più antico animale a simmetria bilaterale finora conosciuto. Fossili notevolmente più recenti, provenienti da un giacimento di 525 milioni di anni fa a Chengjiang, hanno permesso di ampliare le conoscenze sull'esplosione del Cambriano.

comune per proseguire ognuna per conto suo e accumulare ulteriori mutazioni.

Per stimare il momento della comparsa di vari gruppi animali principali, Gregory Wray e colleghi della Duke University hanno usato una frequenza dell'orologio molecolare basata sui vertebrati. Secondo i loro risultati, pubblicati nel 1996, la separazione delle specie a simmetria bilaterale da quelle più primitive può essere fatta risalire addirittura a 1,2 miliardi di anni fa. Studi successivi, anch'essi basati sull'orologio molecolare, hanno però prodotto risultati molto variabili, collocando la separazione in un periodo che va da un miliardo di anni fa fino all'epoca appena precedente al Cambriano.

Naturalmente queste differenze hanno generato diversi dubbi sulla validità del metodo, dubbi di cui si sono occupati Kevin Peterson e colleghi del Dartmouth College, usando una frequenza dell'orologio molecolare derivata dagli invertebrati e quindi più lenta di quella basata sui vertebrati. Secondo i loro risultati, l'ultimo antenato comune degli animali a simmetria bilaterale, pur essendo anteriore all'esplosione del Cambriano, è collocabile in un periodo molto più recente, tra i 573 e i 656 milioni di anni fa. Ma anche questa datazione ha suscitato polemiche: chia-

ramente, solo la scoperta di nuovi fossili avrebbe fornito prove incontrovertibili a sostegno dell'una o dell'altra ipotesi.

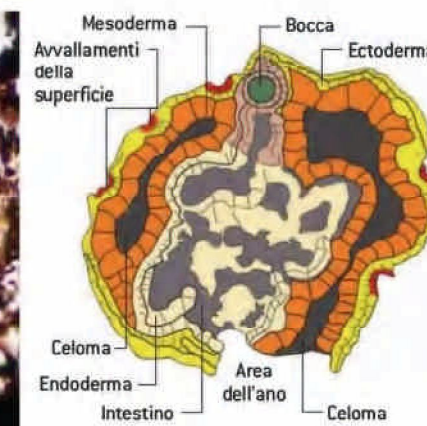
Un serio problema della ricerca di fossili antecedenti al Cambriano è che gli animali di quel periodo non avevano uno scheletro duro che potesse mineralizzarsi e trasformarsi in fossile. Di conseguenza bisogna fare affidamento sui rari giacimenti che, a causa del tipo di roccia e dei processi chimici implicati, hanno conservato qualche dettaglio anatomico dei loro resti.

Questo tipo di formazione è detto *lagerstätte*, che in tedesco significa appunto «giacimento». Un *lagerstätte* in cui siano conservati dei tessuti molli è un'assoluta rarità; se ne conoscono solo poche decine in tutto il mondo. Uno dei più famosi è il Calcere di Solnhofen, in Germania, in cui sono conservati esemplari risalenti a 150 milioni di anni fa di quello che è in genere considerato il primo uccello fossile, *Archaeopteryx*. Nella provincia canadese della British Columbia, un giacimento ancora più antico, quello di Burgess Shale, reso celebre dagli scritti di Stephen Jay Gould, rivela un'incredibile varietà di curiosi organismi dal corpo molle che abitavano gli oceani durante il Cambriano. Un *lagerstätte* ancora più antico di quella di Burgess Shale, a Chengjiang,



Cortesia «Science», Vol. 305, S216-222, 9 luglio 2004. © 2004, AAAS

BILATERALISMO EVIDENTE. Nella foto a sinistra è visibile l'esemplare meglio conservato del bilatero *Vernanimalcula*. Sono evidenti le caratteristiche tipiche di un animale a simmetria bilaterale: un corpo a più strati con cavità appaiate, dette celomi, una bocca e un intestino. Il disegno a destra evidenzia le caratteristiche essenziali.



nella provincia cinese dello Yunnan, ha poi consentito di identificare molti nuovi e importanti organismi dal corpo molle risalenti all'esplosione del Cambriano. Inoltre, in vari punti del pianeta è possibile incontrare le *lagerstätten* di Ediacara, così chiamate dal nome del luogo in cui fu scoperta la prima: le Ediacara Hills, in Australia. Queste ospitano strani fossili di animali con corpo molle e tane di animali risalenti al Precambriano, inclusi alcuni esemplari dei primi bilateri.

Per un'incredibile coincidenza, nel 1998 due diversi gruppi di paleobiologi affermarono contemporaneamente di aver trovato fossili con i tessuti molli in ottimo stato di conservazione in un altro *lagerstätte* risalente al Precambriano, la Formazione di Doushantuo, nella provincia cinese del Guizhou. Questo giacimento contiene minuscole spugne e cnidari adulti con corpo molle, nonché microscopiche

uova ed embrioni. Il sedimento in cui si trovano è composto in larga parte da fosfato di calcio (apatite), che ha perfettamente sostituito i tessuti molli di questi animali. Gli studi più recenti rivelano che queste rocce sono più antiche della fauna di Ediacara, e molto probabilmente risalgono a un periodo compreso tra i 580 e i 600 milioni di anni fa. I microfossili trovati in esse sarebbero perciò vissuti tra 40 e 55 milioni di anni prima del Cambriano.

Viaggio in Cina

Fu subito chiaro che la Formazione di Doushantuo poteva essere l'agognata chiave d'accesso alla vita delle prime specie a simmetria bilaterale; nell'autunno del 1999 Eric Davidson, biologo molecolare del California Institute of Technology, mise insieme il nostro gruppo allo scopo di studiare i microfossili di Doushantuo.

In sintesi/Più antichi e più complessi

- Lo sviluppo della simmetria bilaterale è una tappa fondamentale dell'evoluzione dei primi animali.
- Secondo le analisi genetiche, questa simmetria comparve tra i 573 e i 656 milioni di anni fa, ma la data precisa è oggetto di dibattito. Fino a poco tempo fa, infatti, i più antichi fossili bilateri rinvenuti risalivano a soli 555 milioni di anni fa.
- L'autore di questo articolo e i suoi colleghi hanno ora scoperto fossili che provano l'esattezza della datazione più antica: organismi microscopici in un giacimento cinese risalente a 580-600 milioni di anni fa.
- Questi minuscoli fossili non solo confermano l'ipotesi di un'origine più antica degli animali complessi, ma mostrano anche che la complessità interna comparve prima dell'aumento delle dimensioni corporee.

L'AUTORE

DAVID J. BOTTJER, paleobiologo, si occupa dell'origine e della storia evolutiva degli animali, collaborando con colleghi esperti di biologia dello sviluppo, biologia molecolare, informatica e geochimica. Ha conseguito il Ph.D. in geologia all'Università dell'Indiana ed è professore di scienze biologiche e della Terra alla University of Southern California. È presidente della Paleontological Society e direttore della rivista «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology».

Della squadra facevano parte anche Chen e Chia-Wei Li, che erano stati tra i primi ricercatori a riferire della scoperta di uova ed embrioni a Doushantuo.

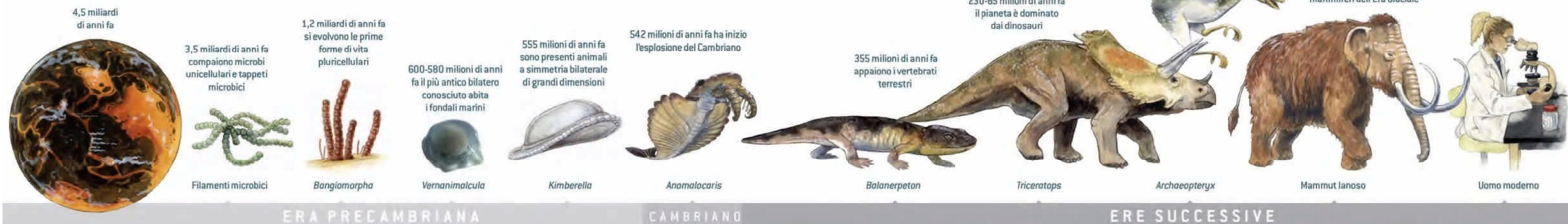
Le ricerche preliminari indicavano che uno strato di sedimenti relativamente sottile, di colore nero, era stato il luogo di conservazione ideale per una vasta gamma di microfossili. Alcuni ricercatori che avevano lavorato nel sito avevano usato l'acido per sciogliere la matrice della roccia ed esporre i minuscoli fossili fosfati, ma questa tecnica di estrazione non ebbe successo con lo strato di roccia nera di cui ci stavamo occupando noi. Cambiammo metodo, e decidemmo di raccogliere una gran quantità di roccia e portarla nel laboratorio di Chen, all'Early Life Research Center dell'Istituto di paleontologia e geologia di Nanchino. È lì che era diretto il nostro camion quando Chen formulò la sua previsione sui bilateri.

Tornati a Nanchino con le rocce, le abbiamo tagliate, ottenendo migliaia di sezioni così sottili da risultare traslucide, che sono poi state montate su vetrini ed esaminate al microscopio. Abbiamo preparato più di 10.000 di vetrini, un'impresa colossale. L'analisi di tutti i campioni ha richiesto diversi anni, e ha rivelato una miriade di uova ed embrioni. Ha inoltre confermato l'esistenza di minuscole spugne e cnidari adulti riscontrati in studi precedenti.

Ma quello che ci interessava era trovare un bilatero. Ce n'era davvero uno dentro il nostro camion? Nell'estate del 2003 abbiamo iniziato a concentrarci su un micro-fossile le cui caratteristiche morfologiche complesse ci sembravano particolarmente interessanti. Tra i 10.000 campioni, abbiamo trovato solo dieci esemplari di quell'organismo, e agli inizi del 2004, dopo mesi

Il posto di un piccolo fossile nella storia

Si pensava che l'evoluzione degli animali complessi fosse iniziata in maniera improvvisa, con la cosiddetta esplosione del Cambriano, ma nel 2004 la scoperta dei microscopici esemplari di *Vernanimalcula* ha costretto a retrodatare l'origine delle forme complesse di vita animale fino a 50 milioni di anni prima del Cambriano.



di analisi, siamo giunti alla conclusione che il microscopico organismo aveva i caratteri tipici di un bilatero.

Con un diametro variabile tra i 100 e i 200 micrometri, equivalenti allo spessore di pochi capelli, questi fossili microscopici sono incredibilmente complessi, e costi-

tuiscono un esempio quasi da manuale di simmetria bilaterale. Presentano i tre strati principali di tessuto (endoderma, mesoderma ed ectoderma), un intestino con relativi bocca e ano, e due celomi (cavità corporee) ai lati dell'intestino. Di forma ovale e di aspetto simile a quello di una caramella

gommosa in miniatura, è probabile che si spostassero sul fondo del mare alla ricerca di nutrimento. A un'estremità dell'ovale, la bocca risucchiava i microbi più o meno come un aspirapolvere. E gli avvallamenti ai lati della bocca potrebbero essere organi di senso.

Il vero significato dell'esplosione del Cambriano

In genere si pensa all'esplosione del Cambriano come a un improvviso aumento dei diversi tipi di animali a simmetria bilaterale, ma in realtà la questione è più complessa. Studi recenti hanno infatti rivelato che tra le cause principali di questo aumento di biodiversità vi fu un improvviso moltiplicarsi delle relazioni tra gli animali.

Per prima cosa, gli animali iniziarono a modificare l'ambiente, e le nuove condizioni offrirono sia nuove opportunità sia barriere alle altre creature viventi. Per esempio, diversi animali del Precambriano si erano adattati a muoversi sui morbidi tappeti di microrganismi che ricoprivano il fondo del mare e che facevano parte dell'ecosistema fin dalle origini della vita. Ma agli inizi del Cambriano (che durò da 542 fino a 488 milioni di anni fa), le innovazioni evolutive permisero agli animali bilateri di scavare verticalmente attraverso lo strato di sedimenti. Questi fori distrussero i tappeti microbici e trasformarono il fondo marino in una superficie torbida e instabile. Molto probabilmente alcuni organismi – come gli elicoplacoidi, piccoli animali affusolati che vivevano insabbiati sul fondo – si estinsero via via che il loro ambiente diveniva più instabile. Altri organismi, invece, reagirono a questi sconvolgimenti dell'habitat adattandosi alla vita nel nuovo ambiente.

Inoltre, il Cambriano inferiore è l'epoca in cui sono stati

scoperti i primi predatori a simmetria bilaterale in grado di mangiare altri animali. Per esempio, Jun-Yuan Chen e Di-Ying Huang dell'Accademia cinese delle Scienze di Nanchino riferiscono di aver trovato diversi nuovi tipi di predatori nel giacimento di Chengjiang. Tra questi vi sono artropodi con strane appendici frontali per catturare le prede (in basso) e vermi scavatori che si muovevano appena sotto il fondo del mare e si nutrivano di piccoli animali.

Queste interazioni biologiche ebbero un enorme influsso sull'evoluzione dei primi animali. Tuttavia, come è stato affermato da Charles Marshall della Harvard University e confermato dai nostri ritrovamenti, gli strumenti genetici e i meccanismi necessari per formare le complesse strutture che caratterizzano i bilateri si erano evoluti prima dell'esplosione del Cambriano. Questa «esplosione» di nuovi tipi di animali fu quindi, più precisamente, lo sfruttamento di nuove condizioni da parte di animali che già avevano sviluppato gli strumenti genetici adeguati ai nuovi habitat, e non un cambiamento fondamentale della loro struttura genetica.

UNO DEI PRIMI PREDATORI, *Haikoucaris*, misurava circa quattro centimetri di lunghezza.



Amadeo Bechar

Un animaletto primaverile

Abbiamo chiamato la nostra creatura *Vernanimalcula*, che significa «animaleto primaverile». Il nome si riferisce al lungo inverno della glaciazione totale neoproterozoica, altrimenti detta «Terra a palla di neve» (si veda l'articolo *Una Terra a palla di neve*, di Paul F. Hoffman e Daniel P. Schrag, in «Le Scienze», n. 382, giugno 2000); le rocce in cui è stato rinvenuto *Vernanimalcula* si trovavano infatti appena al di sopra di quelle risalenti all'ultima fase della glaciazione.

La complessità biologica e il grado di simmetria osservati in *Vernanimalcula* implicano una lunga evoluzione, che deve essere iniziata ben prima del periodo in cui è vissuto questo animale, tra i 580 e i 600 milioni di anni fa. È perciò necessario trovare lagerstätten ancora più antichi che possano fornire indicazioni sugli antenati di questa creatura.

PER APPROFONDIRE

SCHOPF J.W., *La culla della vita: la scoperta dei più antichi fossili terrestri*, Adelphi, Milano, 2003.

ZIMMER C., *Evolution: The Triumph of an Idea*, Perennial (HarperCollins), 2002.

KNOLL A.H., *Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth*, Princeton University Press, 2003.

VALENTINE J.W., *On the Origin of Phyla*, University of Chicago Press, 2004.

Il sito web del Museo di paleontologia dell'Università della California a Berkeley si trova all'indirizzo: www.ucmp.berkeley.edu.

Dobbiamo anche cercare in epoche più recenti per capire che cos'è successo ai suoi discendenti: quello che sappiamo del lasso di tempo esistente tra *Vernanimalcula* e gli animali dell'esplosione del Cambriano, avvenuta tra i 40 e i 55 milioni di anni più tardi, viene infatti principalmente dallo studio dei giacimenti che contengono la fauna di Ediacara, consistente di organismi dal corpo molle ma di dimensioni ben maggiori, da alcuni centimetri a un metro.

I recenti ritrovamenti effettuati da Guy Narbonne e colleghi della Queen's University, in Canada, hanno confermato l'esistenza di questi animali già 575 milioni di anni fa. Tuttavia, solo nei reperti risalenti al massimo a 555 milioni di anni fa è possibile trovare fossili di specie a simmetria bilaterale. Ma, al contrario del minuscolo *Vernanimalcula*, questi bilateri di Ediacara erano organismi macroscopici, come *Kimberella*, un animale marino con corpo molle lungo circa dieci centimetri

che potrebbe essere l'antenato dei moderni molluschi. Purtroppo, tra i giacimenti contenenti la fauna di Ediacara trovati fino a oggi nessuno presenta le condizioni chimiche necessarie per conservare queste creature microscopiche. Per sapere se i bilateri microscopici sono esistiti al fianco delle più grandi creature di Ediacara dovremmo trovare un giacimento fossilifero del periodo di Ediacara con uno stato di conservazione simile a quello della Formazione di Doushantuo.

Anche se non siamo ancora riusciti a individuare né i progenitori né i discendenti di *Vernanimalcula*, è certo che questi minuscoli fossili hanno fatto luce su un momento cruciale dell'evoluzione: essi mostrano infatti che gli animali a simmetria bilaterale avevano la capacità di formare corpi complessi già prima di raggiungere grandi dimensioni. Ora i paleontologi stanno cercando di capire le cause di un così importante aumento delle dimensioni corporee, ma la spiegazione più plausibile è che vi sia stato un drastico aumento dell'ossigeno disciolto nell'acqua del mare.

Per i paleontologi *Vernanimalcula* rappresenta un nuovo stimolo alla ricerca di fossili di animali dal corpo molle. C'è ancora molto da scoprire, ma il lavoro svolto finora ha confermato i nostri sospetti: gli animali complessi sono comparsi molto prima di quanto si pensasse, e quella del Cambriano, più che un'esplosione, fu una fioritura della vita animale.