

LA FINE DI UN MONDO

La caduta di un asteroide 66 milioni di anni fa cambiò per sempre gli equilibri della Terra. Ecco le ultime scoperte. Che sono iniziate in Italia...

di Vito Tartamella

La Gola del Bottaccione è una profonda valle fluviale a due passi da Gubbio. Le pareti rocciose ai lati della Eugubina, la strada che attraversa, mostrano vari strati di sedimenti: si sono accumulati fra 140 e 30 milioni di anni fa, sul fondale di un oceano oggi scomparso.

È proprio qui, nel cuore dell'Umbria, che emersero le prime evidenze di una delle catastrofi più devastanti vissute dalla Terra: l'impatto di un asteroide, più grande dell'Everest, che 66 milioni di anni fa ne modificò per sempre gli equilibri vitali. L'indagine, iniziata negli anni '70, ha innescato una collaborazione mondiale fra scienziati, alla ricerca delle tracce, sparse in tutto il Pianeta, per ricostruire gli effetti planetari dell'asteroide-killer. Effetti che durano ancora oggi: l'estinzione dei dinosauri ha spianato la strada ai mammiferi, compresi noi.

Quella strage preistorica segnò uno spartiacque nella storia della Terra ma anche in quella della scienza, ribaltando molte certezze: prima fra tutte, che l'evoluzione fosse lenta e graduale, senza interferenze esterne. Abbiamo scoperto, invece, che la vita è vulnerabile, tanto che il nostro pianeta ha vissuto un'estinzione di massa. E non è stata l'unica: lo studio dei fossili marini ne ha fatte scoprire altre 4 nel passato, dovute però al vulcanismo.

Quell'indagine ci ha mostrato che il nostro pianeta può essere colpito da oggetti provenienti dallo spazio: per questo la Nasa ha speso 324 milioni di dollari per far precipitare, lo scorso settembre, una sonda spaziale sull'asteroide Dymorphos, a 11 milioni di km dalla Terra, riuscendo così a deviar-

ne l'orbita. Se dovesse arrivare un altro invasore spaziale, ora sappiamo come difenderci.

Oggi, dopo decenni di spedizioni geologiche e analisi di laboratorio, siamo riusciti a ricostruire molti dettagli di quel tragico giorno e dei suoi duraturi effetti sul Pianeta. L'impatto avvenne 66 milioni e 38mila anni fa, nella tarda primavera. E di recente abbiamo ricostruito da dove, con probabilità, è arrivato: la fascia principale degli asteroidi, fra Marte e Giove.

UN INTERVALLO MISTERIOSO

Ma come hanno fatto gli scienziati a scoprire le tracce di questo evento in Italia, a 10mila km di distanza dal Golfo del Messico, dove l'asteroide cadde? «Negli anni '70», ricorda Alessandro Montanari, direttore dell'Osservatorio geologico di Coldigioco, uno dei membri di punta della "squadra omicidi" dell'epoca, «la teoria della tettonica a placche e lo studio del geomagnetismo avevano permesso di ricostruire come si erano evoluti i continenti. E molti scienziati internazionali venivano a studiare sull'Appennino, che è la porzione di un fondale di un antico oceano, la Tetide, sospinto in superficie 30 milioni di anni fa dallo scontro fra la placca africana e quella eurasiatica. I suoi sedimenti sovrapposti sono visibili senza bisogno di scavi: le coste delle montagne sono libri a cielo aperto sul nostro passato».

Lungo la Eugubina, sotto un acquedotto medievale, c'è la Scaglia Rossa, una formazione geologica spesso 400 metri, costituita da piani calcarei rossastri sovrapposti. Fra questi, c'è un intervallo di calcare bianco di 20 cm, dove un sottile strato di ▶

CATASTROFE

Un T-rex e l'arrivo dell'asteroide che ne segnò la scomparsa. Il cielo fu offuscato dalle polveri da impatto, rallentando la fotosintesi. Gli erbivori rimasero senza cibo, come i carnivori che di essi si nutrivano.

L'impatto e i suoi effetti

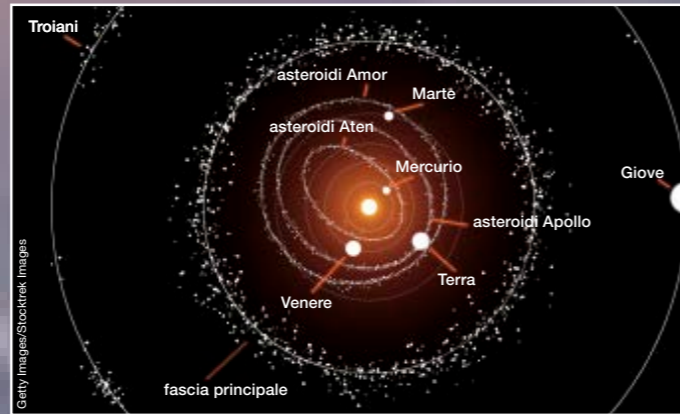
argilla spesso 1 cm attirò l'attenzione dei geologi. Isabella Premoli Silva, docente di micropaleontologia all'Università di Milano, aveva esaminato quegli strati al microscopio: sotto quell'intervallo c'erano molti fossili di foraminiferi, microrganismi unicellulari rivestiti da gusci calcarei. Sopra quello strato invece c'era solo una specie molto più piccola, la *Globigerina eugubina*.

Quel sottile strato segnava il passaggio fra due epoche: sotto, il Cretaceo, l'ultimo periodo del Mesozoico; sopra il Paleogene, l'inizio del Cenozoico. Era il "limite K/Pg" (Cretaceo-Paleogene), che segna la scomparsa dei dinosauri: i loro fossili si trovano solo negli strati del Cretaceo, mai al di sopra. Perché i dinosauri erano spariti, come i foraminiferi? Era il primo indizio che, in epoche remote, fosse avvenuta un'estinzione di massa. E per di più in un tempo breve: lo strato di argilla corrispondeva, in teoria, a un periodo ristretto. Impossibile, per la scienza dell'epoca, accettare che un'estinzione fosse avvenuta in modo rapido: perciò quello strato fu interpretato come una "lacuna stratigrafica", ovvero un'epoca geologica lunga, di cui però non erano rimaste tracce rilevabili.

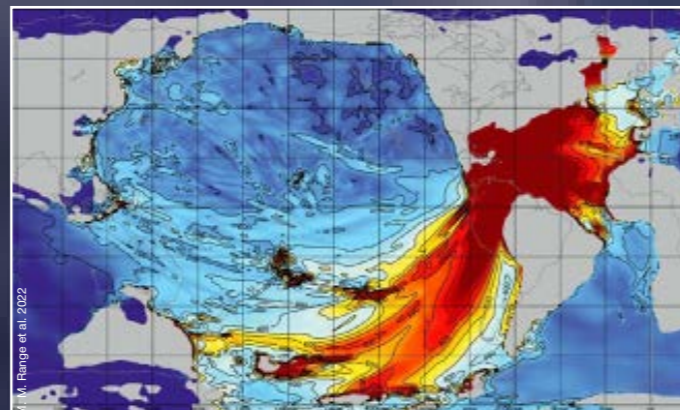
TRACCE ALIENE

E qui entra in scena il "commissario" che ha risolto il caso: Walter Álvarez, geologo dell'Università di Berkeley. Era riuscito a ricostruire l'età della Scaglia Rossa, ma non dello strato d'argilla: a quanti anni corrispondeva? Diceva qualcosa sulla scomparsa dei dinosauri?

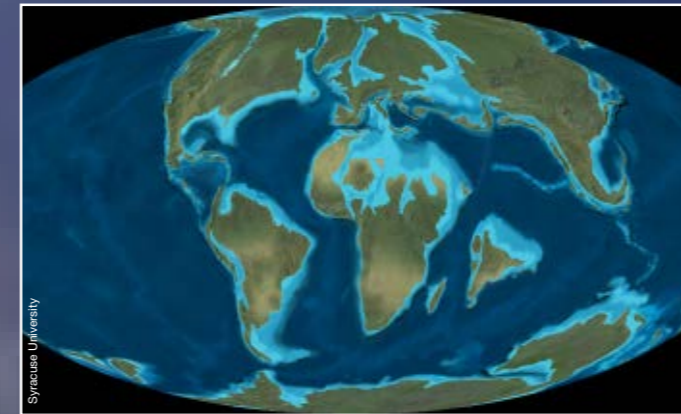
Álvarez si rivolse a un esperto che aveva in casa: il padre Luis, premio Nobel per la fisica. Che trovò una strada elegante: cercare in quell'argilla le tracce di polvere meteorica. Dato che ogni anno la Terra è investita da un flusso costante di 40mila tonnellate di polveri provenienti dallo spazio, la loro concentrazione può indicare quanto tempo sia stato necessario per accumularsi. Álvarez decise di misurare la quantità di iridio, un metallo raro nella crosta terrestre ma non nei meteoriti: «Pensavamo di trovarne 0,1 parti per miliardo se lo strato si fosse depositato lentamente, e quasi nulla se si fosse depositato velocemente», ricorda Álvarez nel libro *T.Rex e il cratere dell'apocalisse*. Ma il risultato, trovato dal chimico nucleare Frank Asaro, fu spiazzante: ce n'erano 3 parti per miliardo, 30 volte di più. Perché? Prima di rispondere, bisognava verificare se l'anomalia dell'iridio si limitasse alle rocce di Gubbio o era una caratteristica globale dei siti con limite K/Pg. Era vera la seconda ipotesi: l'iridio fu trovato anche in Danimarca e in Nuova Zelanda.



1 DA DOVE ARRIVÒ L'impattatore di Chicxulub dovrebbe essere un asteroide di 12 km di diametro proveniente dalla fascia principale degli asteroidi, fra Giove e Marte. La sua orbita, perturbata dalla gravità di Giove, l'avrebbe spinto verso la Terra. Era una condrite carbonacea: una roccia con un'alta percentuale di carbonio, acqua e composti organici. Questi asteroidi sono fra i più antichi del Sistema solare.



4 TSUNAMI Dieci minuti dopo l'impatto, a 220 km di distanza si alzò uno tsunami a forma di anello alto 1,5 km che viaggiò nell'oceano in tutte le direzioni alla velocità di 143 km orari. In 24 ore lo tsunami fece il giro del mondo con onde alte almeno 10 metri. Le onde si riversarono nell'entroterra per oltre 100 km. Lo tsunami ha spostato i sedimenti dei fondali marini fino a 6.000 km dal punto dell'impatto.



2 DOVE CADDE Circa 66 milioni di anni fa l'asteroide si è diretto sulla Terra alla velocità di 72.000 km/h e con un angolo di 60°, attraversando l'atmosfera in 25 secondi. A quell'epoca, il Cretaceo, i continenti avevano una conformazione diversa da oggi. L'asteroide è caduto vicino all'attuale penisola dello Yucatán, in un mare poco profondo (fra i 100 e i 1.200 m) con rocce calcaree ricche di zolfo.



5 INCENDI Venti a oltre 1.000 km/h spazzarono via la vegetazione nel raggio di 1.500 km. L'impatto sollevò 25mila miliardi di tonnellate di materiale incandescente, pezzi di roccia e sferule di quarzo vetrificate: parte si disperse in aria, parte ricadde incandescente, innescando incendi che durarono mesi cancellando le foreste nel raggio di 2.400 km. Il materiale ricadde a terra per 3 giorni, fino a 3.000 km di distanza.

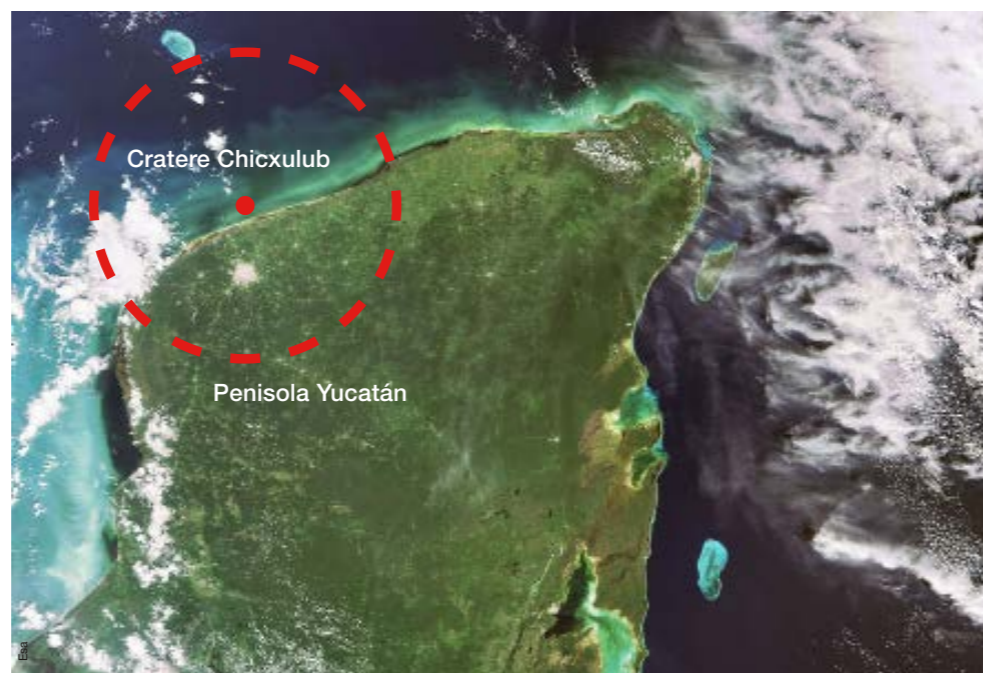


3 TERREMOTI L'impatto ha generato un nucleo di plasma surriscaldato a oltre 10.000 °C. Dal fondo del mare si è sollevato materiale fino a 15 km di quota; nel giro di 4 minuti si è formato un muro d'acqua alto 4,5 km. Tutte le forme di vita sono state distrutte nel raggio di 1.700 km dall'impatto. Si sono sviluppati terremoti con magnitudo 10 (il terremoto di Sumatra del 2004 era di magnitudo 9) fino a 2.000 km di distanza.



6 OSCURITÀ Fuliggine e polveri di solfati e di ferro oscurarono la Terra, facendo calare la temperatura di 20 °C, bloccando la fotosintesi per 3 anni e generando piogge acide. L'emissione di miliardi di tonnellate di CO₂, metano e CO dovuta agli incendi generò un effetto serra per millenni: la temperatura salì di 1,5-7,5 °C. Le rocce vaporizzate, contenenti cloro e bromo, distrussero lo strato di ozono.

Nelle rocce di Gubbio si trovarono le prove di un'estinzione di massa. E di un asteroide enorme



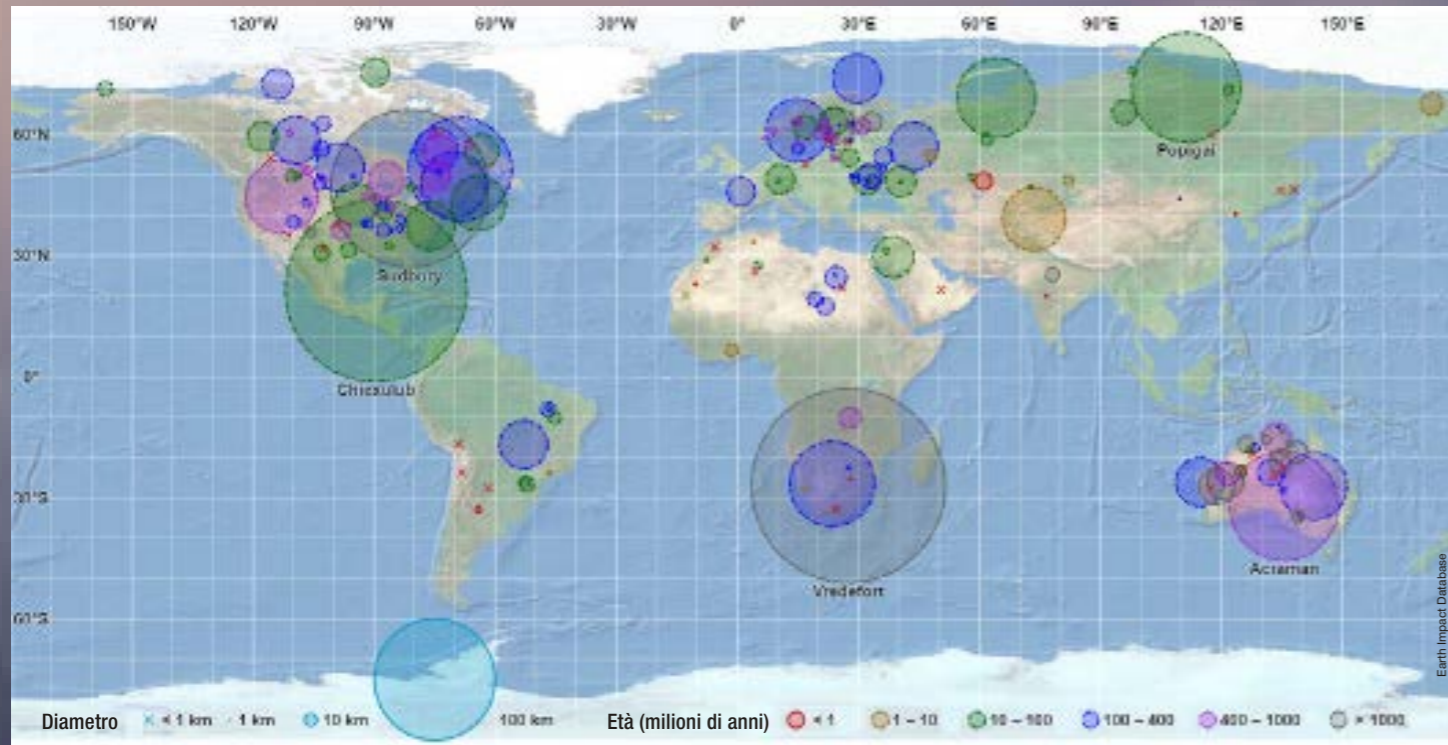
IL BERSAGLIO La penisola messicana dello Yucatán: il cerchio tratteggiato indica la dimensione del cratere da impatto, sepolto per lo più in mare al largo della città di Chicxulub.

IL PRIMO IDENTIKIT

Quale evento extraterrestre avrebbe potuto causare un'improvvisa estinzione sulla Terra, depositando grandi quantità di iridio? All'inizio si pensò al bombardamento di radiazioni causato dall'esplosione di una supernova nello spazio. Ma questa avrebbe lasciato tracce di plutonio, che non c'erano. Dunque, doveva essere stato l'impatto di un asteroide. Ma all'epoca non sembrava sufficiente a spiegare uno sterminio planetario. «Mio padre», racconta ancora Álvarez, «si ricordò che l'esplosione del vulcano indonesiano Krakatoa nel 1883 aveva sollevato polveri visibili fino a Londra. Un impatto gigantesco avrebbe potuto quindi sollevare tanta polvere da oscurare tutto il mondo, interrompendo la fotosintesi e mandando in crisi la catena alimentare». Luis Álvarez telefonò entusiasta al figlio: «Abbiamo la risposta!». Era il primo identikit del killer.

Per spiegare la quantità di iridio sparsa in tutto il mondo, si doveva immaginare l'arrivo di un asteroide largo 10 km, il cui impatto avrebbe generato un cratere di 200 km di diametro. Ancora da trovare. L'ipotesi fu lanciata in un articolo pubblicato su *Science* nel 1980: gli scienziati si divisero. Alcuni rigettarono l'ipotesi, sostenendo che l'estinzione dei dinosauri fosse stata causata dalle grandi emissioni vulcaniche di CO₂ dai Trappi del Deccan, in India. Molti altri, invece, smisero di lavorare ai propri progetti per cercare nuove evidenze sull'estinzione. Fra loro, Alan Hildebrand, studente dell'Università dell'Arizona. Aveva scoperto che nel limite K/Pg lungo il fiume Brazos, che sfocia nel Golfo del Messico, c'erano anomali depositi di sabbia: era l'indizio di uno tsunami, che poteva essere arrivato solo dal Golfo del Messico. Hildebrand scoprì che anni prima la Pemex, società petrolifera messicana, aveva individuato una ▶

Fonti: Lunar and planetary Institute "Chicxulub impact event"; Sean Gulick "The first day of the Cenozoic" PNAS 2019; Riley Black "The last days of dinosaurs"; Molly M. Range "The Chicxulub Impact Produced a Powerful Global Tsunami" AGU Advances, 2022

**CICATRICI**

Mappa dei crateri sulla Terra causati dall'impatto di asteroidi: sono 190 in tutto il mondo. Il più grande in assoluto è Vredefort (Sudafrica) seguito da Chicxulub.

struttura circolare sepolta, larga 180 km, nelle acque di Chicxulub, città sulla costa dello Yucatán. La Pemex aveva prelevato carote di roccia dal fondo del mare: non aveva approfondito le indagini pensando fossero rocce vulcaniche, senza petrolio, e a distanza di anni quelle carote erano sparite. Bisognava fare altri accertamenti sul posto.

Così nel 1991 Álvarez e la moglie Milly, Montanari e l'olandese Ian Smit si sono avventurati nella giungla messicana a caccia di indizi, con tenda e machete, con la sola guida di un libro geologico del 1936. Hanno trovato le tracce del limite K/Pg con uno strato di sabbia, sferule di vetro e legno fossile: erano i segni dell'impatto e dello tsunami che ne seguì. Il legno risultava bruciato in modo istantaneo, da un flash di calore elevato. Nel frattempo, un geologo messicano riuscì a ritrovare le carote prelevate a suo tempo dalla Pemex: erano rocce fuse dall'impatto. E risalivano all'epoca del limite K/Pg. Era stato trovato il luogo del delitto: un mare poco profondo, con un fondale ricco di carbonio e di zolfo.

La ricercatrice di Berkeley Susan Kieffer, esperta in dinamica dei fluidi vulcanici, riuscì a ricostruire che cosa accadde dopo l'impatto: prima si formò una nube di roccia vaporizzata molto calda, poi una nube di vapore e anidride carbonica a temperatura più bassa, emessa dal calcare.

Mancava solo l'arma del delitto: l'iridio è presente negli asteroidi e - si presume - nelle comete.

Secondo Álvarez, la quantità di iridio era tipica delle condriti carbonacee, asteroidi ricchi di carbonio. Solo nel 1998, in una carota prelevata da un fondale nel Pacifico lungo il limite K/Pg, si sarebbe trovato un frammento di 2,5 mm, ricco di metalli e solfuri: era un pezzo dell'asteroide. A 9mila km a ovest di Chicxulub: quando l'asteroide colpì la Terra, sollevò una nuvola di detriti che cadde nel Pacifico perché nel frattempo la Terra era ruotata su se stessa in senso antiorario.

LA POMPEI DEL CRETACEO

Nel 2010, una giuria internazionale di 40 scienziati, esaminando le prove raccolte, stilò il verdetto: 66 milioni di anni fa l'impatto di un asteroide a Chicxulub innescò un'estinzione di massa.

Nel 2013, scienziati dell'Università di Berkeley sono riusciti a stabilire una datazione precisa per l'evento, studiando i campioni del limite K/Pg: avvenne 66 milioni e 38mila anni fa. Ma quell'anno ci fu un'altra scoperta epocale: a Tanis, in Nord Dakota, un giovane paleontologo, Robert De Palma, aveva trovato fossili di pesci che avevano nelle branchie le celebri sferule cristallizzate. Erano morti, quindi, subito dopo l'impatto.

Tanis è un'area nella formazione Hell Creek, dove fu trovato, ai primi del '900, il primo scheletro di T-Rex. Tanis è a 3mila km in linea d'aria da Chicxulub: a quell'epoca la località era una pianura alluvionale sulla riva d'un mare interno.

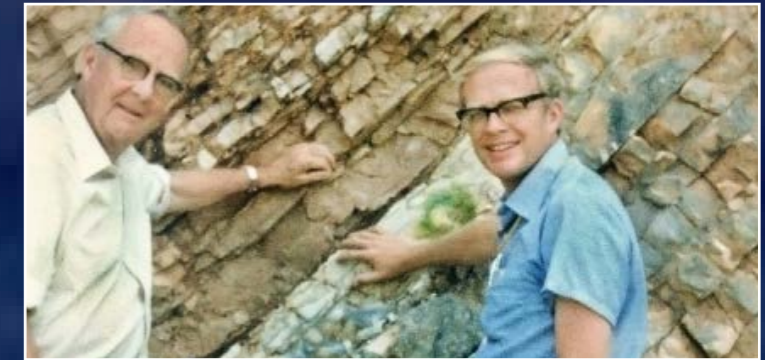
E I MAMMIFERI SI TROVARONO LA STRADA SPIANATA

La catastrofe di Chicxulub fu un reset degli equilibri biologici. Fece estinguere l'80% delle specie dai 25 kg in su: la minor disponibilità di alimenti fu letale per gli animali di grossa taglia. L'acidificazione degli oceani fece strage di coralli, plancton e animali con guscio (molluschi cefalopodi); i pesci ossei sono sopravvissuti.

Sulla terraferma, piogge acide e cielo oscurato decimarono le foreste di conifere a favore dei funghi, che non richiedono fotosintesi e si nutrono di vegetali in decomposizione.

Quando la fotosintesi ricominciò, le prime piante a diffondersi furono le felci, adatte ad ambienti umidi e bassi. I grandi dinosauri erbivori persero le fonti di cibo. E, di conseguenza, anche i dinosauri carnivori che di essi si cibavano. Se la cavarono quelli volanti, antenati degli uccelli, perché si proteggevano costruendo tane o nidificando nelle

cavità degli alberi, e mangiavano semi con il becco. Oltre a loro si salvarono gli animali onnivori, anfibi (rane), tartarughe, serpenti, coccodrilli, tutti capaci di rallentare il metabolismo con la brumazione, una forma di letargo. Gli antenati dei mammiferi (animali di piccola taglia, roditori, marsupiali) erano abituati a vivere nelle tane e a muoversi di notte, quando i dinosauri non circolavano; ora nessuno li contrastava. Lo stesso accadde nel mondo vegetale: prima dell'impatto prosperavano le conifere (pini, abeti, cipressi) che producono semi in involucri a cono. Dopo, si diffusero le angiosperme, ovvero le piante da fiore e da frutto, da cui poi si svilupperanno i legumi. Permetteranno agli animali che se ne nutrono di avere grandi riserve di energia, senza dover mangiare in continuazione. Così i mammiferi sono diventati i padroni del Pianeta, diventando sempre più grandi.



Lo tsunami prodotto dall'impatto in Yucatán fece arrivare fin lì alberi e carcasse di animali, ricoprendoli poi con uno strato di argilla che ha conservato la scena della prima ora dell'impatto: a Tanis sono stati trovati fossili unici, come piume, uova e una gamba di dinosauri completa di pelle, insetti e tane di piccoli mammiferi. È la Pompei del Cretaceo. E ha permesso, studiando lo stadio d'accrescimento osseo degli storiioni fossilizzati, di datare il momento dell'impatto: la tarda primavera. Questo spiega perché nell'emisfero australe la vita si è ripresa più rapidamente: nell'emisfero boreale infatti l'impatto è avvenuto su organismi che stavano sviluppando le uova, in un momento di debolezza, mentre nell'emisfero australe gli organismi erano in letargo o nascosti nelle tane.

DA DOVE ARRIVÒ?

Nel 2016 una spedizione oceanica ha prelevato nuovi campioni di Chicxulub, trovando ai bordi del cratere un'alta concentrazione di iridio: gli scienziati dell'Università del Texas hanno dedotto che l'estinzione si consumò nel giro di 20 anni.

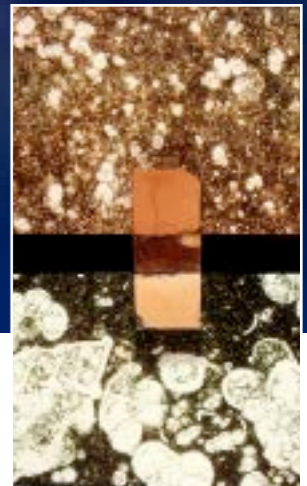
Dunque, a 42 anni dalla scoperta, resta ancora un solo mistero da risolvere: da dove arrivò il killer? Per due scienziati dell'Università di Harvard era una cometa giunta dalla nube di Oort, ai margini del Sistema solare. Ma l'ipotesi sembra smentita da una simulazione: utilizzando il su-

percomputer Pleiades della Nasa i ricercatori del Southwest Research Institute hanno studiato le orbite di decine di migliaia di asteroidi in centinaia di milioni di anni, dimostrando che dalla fascia principale, fra Marte e Giove, arrivano sulla Terra 10 volte più spesso di quanto si pensasse finora.

E c'è un altro elemento a favore di questa ipotesi, sottolinea Simone Marchi, astrofisico e co-autore della ricerca: ancora una volta l'iridio. «La quantità sepolta nel limite K/Pg di tutto il mondo è stimata in 250mila tonnellate. Una condrite carbonacea di 10 km ne depositerebbe una quantità simile. Se fosse stata una cometa, sarebbe stata più piccola: le comete impattano sulla Terra a velocità molto maggiori, quindi un cratere largo 180 km sarebbe stato prodotto da una cometa larga 7 km e avrebbe depositato solo 10mila tonnellate di iridio, perché le comete sono costituite per metà da acqua ghiacciata».

Insomma, il killer mantiene il suo alone di mistero. Da dove arrivò? Un fatto è certo: se fosse caduto in oceano aperto, avrebbe prodotto enormi quantità di vapore acqueo. Invece, precipitando in un mare poco profondo, l'energia cinetica del suo impatto, equivalente a 6,6 miliardi di bombe di Hiroshima, proiettò nello spazio 25mila miliardi di tonnellate di sferule di roccia incandescenti.

Non è un caso, forse, che in lingua maya Chicxulub significa "coda del diavolo". **F**

**SCOPERTE**

Dall'alto: fossile di pesce trovato a Tanis (Usa); Luis e Walter Álvarez di fronte al limite K/Pg a Gubbio; ingrandito, mostra le diverse densità di microfossili tra le due ere.

L'estinzione di massa fu causata dalla nuvola di polveri che oscurò l'atmosfera per anni. Facendo crollare la fotosintesi