

Mario  
Di Martino

# La scomparsa dei dinosauri

*65 milioni di anni, alla fine del periodo Cretaceo, i dinosauri scomparvero quasi istantaneamente dalla faccia della Terra, almeno se si considera la scala dei tempi geologici.*

*Una teoria, presentata negli anni '80, ipotizza che la causa scatenante di questa estinzione di massa fu un impatto di un asteroide di alcuni km di diametro che colpì il nostro pianeta provocando un radicale mutamento nelle condizioni ambientali, tale da modificare per sempre l'ecosistema in cui i dinosauri prosperavano. Ma è andata davvero così? Quali gli indizi a favore di questa teoria e quali le perplessità? Inoltre, dato che quella dei dinosauri non è stata l'unica estinzione che ha caratterizzato l'evolversi della vita sulla Terra, dobbiamo supporre che per ogni estinzione di massa la causa debba essere astronomica?*

L'estinzione dei dinosauri è uno degli enigmi più intriganti della paleontologia. Sebbene non sia stato possibile determinare con esattezza la velocità di tale processo dalle analisi dei soli reperti fossili, i

risultati di studi recenti suggeriscono che si verificò in maniera relativamente rapida. Soltanto agli inizi del XIX secolo la comunità scientifica fu in grado di dare la giusta interpretazione ai resti fossili di grandi dimensioni fino ad allora scoperti, giungendo alla conclusione che in un lontano passato geologico dovevano essere esistiti giganteschi animali erbivori. Ma cosa sono esattamente i dinosauri?

## RITRATTO DI DINOSAURO

Si tratta di animali che non rappresentano affatto un gruppo omogeneo, vissuti in un arco di tempo compreso grosso modo fra i 250 e i 65 milioni di anni fa, cioè in quella che va sotto il nome di era Mesozoica (dal greco *mesos* = medio e *zoion* = animale).

La comparsa dei dinosauri fu sulla Terra uno spettacolare successo evolutivo di lunga durata. Di fatto, durante il Mesozoico tutti gli animali terrestri di oltre un metro di dimensioni erano dinosauri. Il solo altro gruppo capace di dominare allo stesso modo l'ecosistema del nostro pianeta è stato quello dei mammiferi durante l'era successiva, il Cenozoico (da 65 milioni di anni fa a oggi). I paleontologi hanno cercato per anni di capire le ragioni del successo dei dinosauri. La domanda chiave era: un gruppo di animali arriva al successo evolutivo gradualmente o riesce ad avere la meglio sugli altri gruppi opportunisticamente, ap-



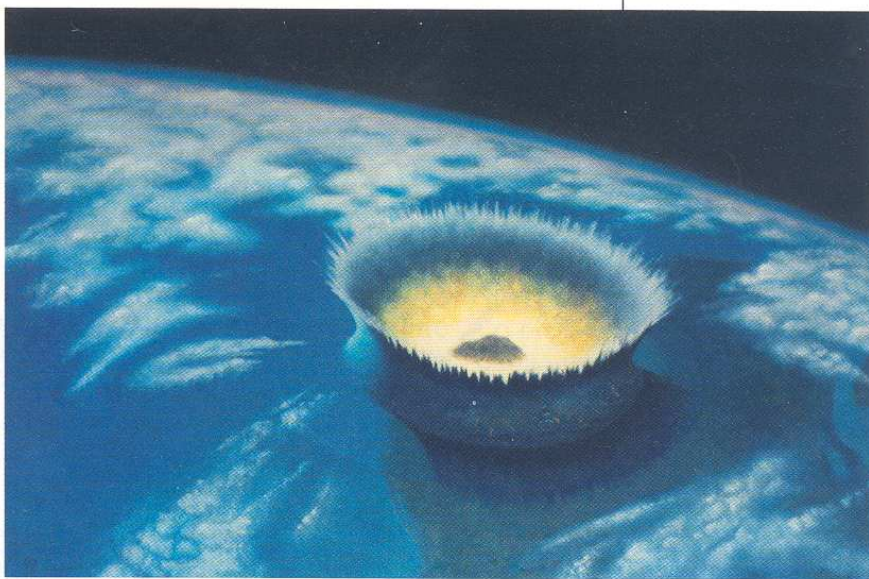
Ricostruzione dell'aspetto di un Tyrannosaurus Rex fatta sulla base dei reperti paleontologici di questo gigantesco dinosauro.



profittando magari di un'estinzione di massa? Le ultime acquisizioni di fossili di dinosauro suggeriscono che la seconda ipotesi sia quella corretta. Per esempio, il momento felice dei dinosauri non si ebbe che 15 milioni di anni dopo la comparsa delle prime specie, ma coincise con un'estinzione di massa che uccise molti altri rettili. Sembra che sia i dinosauri sia i grandi mammiferi, che a loro sono succeduti, abbiano cominciato a dominare il mondo proprio per un evento del genere. Naturalmente, i dinosauri non scomparvero completamente. Alcuni di essi si evolsero negli attuali uccelli, e i passi di questa trasformazione sono ancora una volta testimoniati dai fossili. Diverse scoperte di questi ultimi anni hanno mostrato come effettivamente i dinosauri abbiano "riciclato" molte delle loro caratteristiche, originariamente destinate ad altri scopi. Una volta "lanciati", ad esempio, i dinosauri volanti si sono rapidamente evoluti secondo modalità che permettevano loro di volare meglio, per esempio con una drastica riduzione del peso. Una terza questione aperta dell'evoluzione riguarda il ruolo delle grandi catastrofi geografiche, causate dallo spostamento delle zolle continentali. I dinosauri sono un soggetto di grande rilievo in questo senso, perché raggiunsero il culmine della loro diversità proprio nel periodo in cui il supercontinente Pangea si fratturò, all'inizio del Cretaceo. Sembra chiaro, oggi, che questa diversità derivò da tutta una serie di estinzioni regionali di alcune specie che venivano rimpiazzate da altre.

Mentre nel XIX secolo i dinosauri venivano classificati sulla base dei loro denti e piedi, Thomas Huxley (noto per aver esaminato uno scheletro di *Archaeopteryx*, il più antico uccello mai rinvenuto) trovò un altro criterio di classificazione: le caratteristiche del bacino osseo, il cinto pelvico. Questa nuova classificazione divideva i dinosauri in due grandi gruppi, i *Saurischia* (dal greco "bacino di lucertola"), che includono tutti i Teropodi (carnivori bipedi) e i Sauropodi (erbivori dal collo lungo), e gli *Ornithischia* (dal greco "bacino d'uccello"), la maggior parte dei quali erano erbivori quadrupedi.

Per quanto concerne le dimensioni, i dinosauri probabilmente erano ai limiti di taglia. Il più grande esemplare che si conosca era il *Brachiosaurus*, un bestione alto più di 15 metri (sarebbe potuto arrivare con la testa all'altezza della finestra del quinto piano di un palazzo) lungo un po' meno di 40 metri e il cui peso doveva sfiorare le 50 tonnellate. Si tratta di dimensioni enormi che tuttavia non lo sono



in assoluto per un animale; alcune delle attuali balene, infatti, hanno una massa almeno doppia rispetto a quella del più grande dei dinosauri.

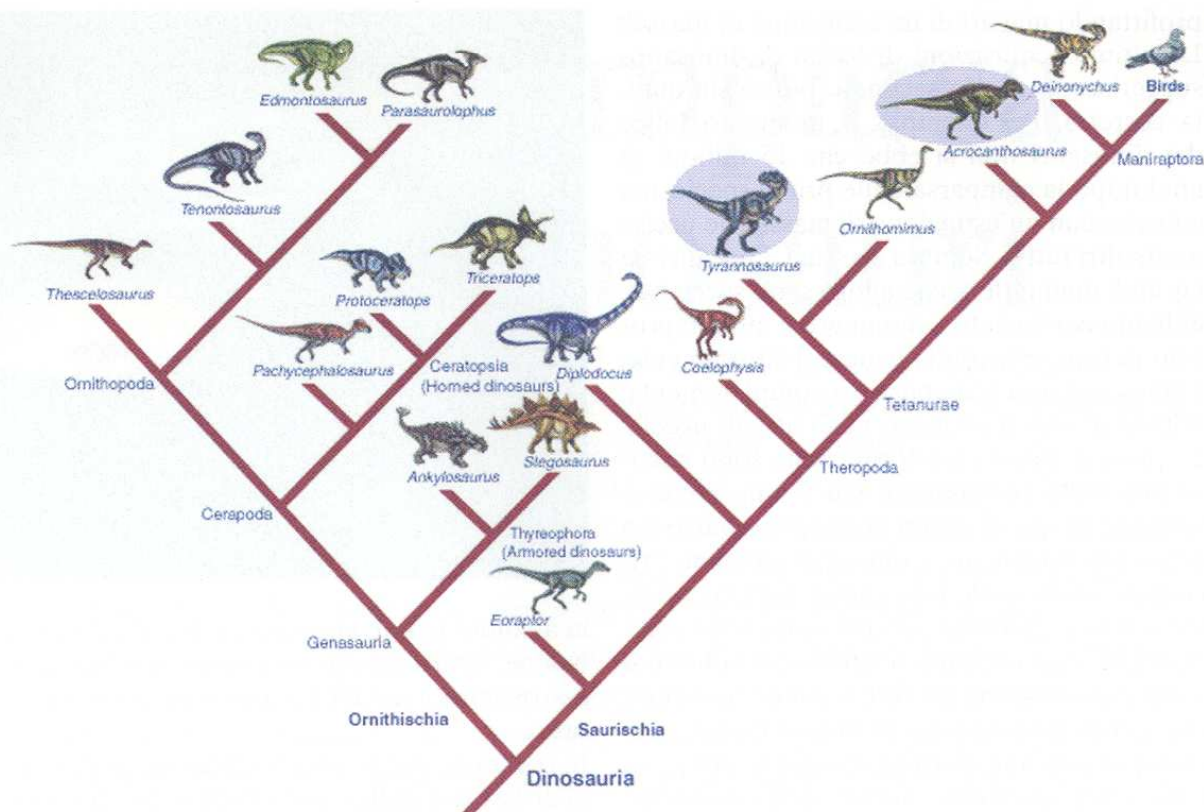
In contrasto con le enormi dimensioni di alcuni di essi, una delle caratteristiche dei dinosauri consisteva nelle modestissime dimensioni del cervello, il quale occupava un minuscolo recesso nella parte posteriore del cranio. La sua funzione probabilmente era solo quella di azionare le mascelle e ricevere generiche informazioni circa la localizzazione del cibo e, molto probabilmente, di un pericolo imminente. Alcuni tra i più grandi tra questi animali possedevano anche un'espansione del midollo spinale alla base della colonna vertebrale, che fungeva da secondo cervello. Questo era molto più grande di quello situato nel capo, ma si limitava a controllare il funzionamento della muscolatura delle zampe posteriori e della coda. Sebbene la documentazione fossile non sia sufficiente per stabilirlo con certezza, oggi alcuni paleontologi ritengono che i dinosauri, a differenza degli attuali rettili, fossero omeotermi, cioè a sangue caldo, come lo sono i mammiferi e gli uccelli. Ciò si deduce dal fatto che alcuni dinosauri vantavano una crescita rapida, avevano una postura eretta e raggiungevano grandi velocità nella corsa, tutte prestazioni che richiedono un forte dispendio di energia di cui un animale a sangue freddo non dispone.

Al passaggio fra Mesozoico e Cenozoico (dal greco *kainos* = recente e *zoion* = animale), circa 65 milioni di anni fa, alla fine del periodo geologico chiamato Cretaceo, qualche cosa deve essere successo se in poco tempo dalla faccia della Terra scomparvero tutti i dinosauri e molte altre specie viventi, fra cui le ammoniti

*Rappresentazione artistica dell'impatto del corpo cosmico, le cui dimensioni dovevano essere dell'ordine della decina di chilometri, che 65 milioni di anni fa sconvolse l'ecosistema terrestre, causando la scomparsa di oltre il 70% delle specie allora viventi sul nostro pianeta.*



Cladogramma dei dinosauri.



(organismi marini dotati di una magnifica conchiglia avvolta a spirale). Ma cosa? Nel corso di più di due secoli sono state elaborate svariate teorie nel tentativo di spiegare l'estinzione di queste strane creature fisicamente potenti, longeve e dotate di grande capacità di adattamento ad ambienti diversi. Esse dominarono la vita sulla Terra per oltre 160 milioni di anni, un tempo lunghissimo, soprattutto se paragonato alle poche centinaia di migliaia di anni della presenza della specie umana sul pianeta. Ma in quella circostanza non scomparvero sol-

tanto i dinosauri: insieme a essi furono cancellate per sempre molte altre specie di piante e animali.

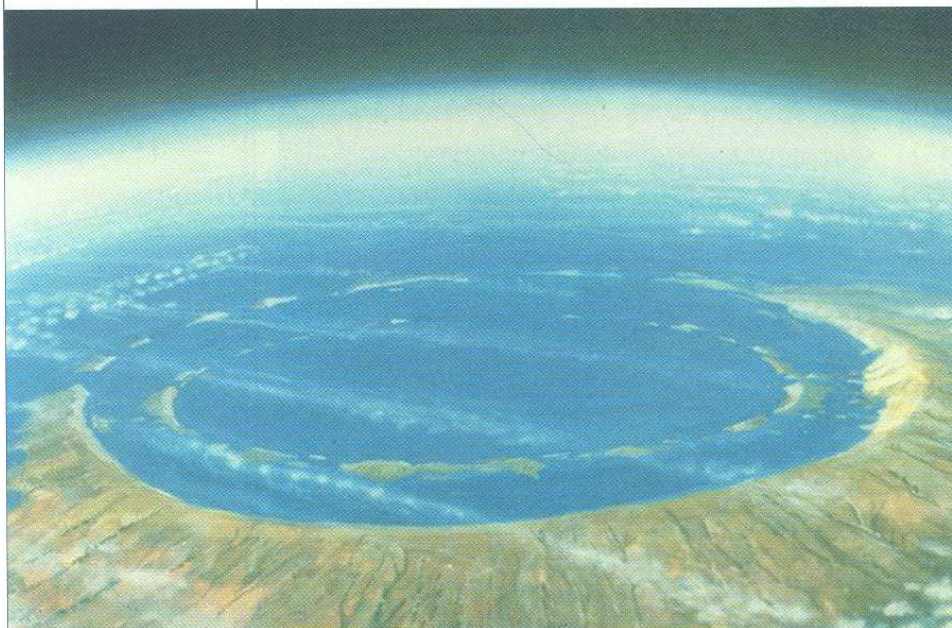
Da quando sulla Terra sono apparsi i primi esseri viventi complessi, la vita ha conosciuto diverse crisi biologiche, vale a dire più o meno improvvise scomparse di intere specie animali e vegetali. Per ordinare la lunghissima storia del nostro pianeta, che dura da oltre 4,5 miliardi di anni, si è ritenuto conveniente dividere il tempo proprio sulla base delle cosiddette estinzioni di massa, cioè di quelle fasi in cui molte specie di animali e piante scomparvero improvvisamente e definitivamente dalla superficie terrestre per lasciare il posto ad altre.

Quello della fine del Mesozoico non fu l'unico evento di questo tipo. Molte altre volte la vita sul pianeta è andata vicino all'estinzione totale, come, ad esempio, circa 250 milioni di anni fa fra il Paleozoico e il Mesozoico, quando circa il 90% delle specie allora esistenti scomparve per sempre.

#### DUE FAMIGLIE DI TEORIE RIVALI: GRADUALISMO E CATASTROFISMO

L'estinzione delle specie animali e vegetali è un fatto normale nella storia della vita sulla Terra. L'evoluzione, infatti, è guidata proprio dalla selezione naturale in cui gli organismi più deboli scompaio-

Rappresentazione artistica del cratere di Chichchulub poco dopo la sua formazione.





no sopraffatti da quelli che si adattano meglio all'ambiente in cui vivono. Nel caso dei dinosauri, però, non si trattò di un fatto normale, ma di un evento eccezionale in cui avvenne una drammatica estinzione di massa che cancellò, in un solo colpo, dal mare e dalle terre emerse, un gran numero di specie viventi. Come abbiamo appena accennato, dal Paleozoico a oggi si sono verificate svariate estinzioni di massa, di proporzioni più o meno consistenti, in cui ogni volta scomparve fra il 25 e il 90% delle specie presenti. Queste grandi estinzioni avvennero per cambiamenti gradualisti dell'ambiente o a causa di eventi catastrofici?

In passato, per spiegare la fine dei dinosauri, si fece ricorso a teorie che facevano riferimento a gradualisti cambiamenti ambientali provocati da un generale ritiro dei mari che avrebbe prosciugato le vaste zone paludose nelle quali vivevano i grandi dinosauri erbivori che si nutrivano di piante acquatiche. Il ritiro dei mari, conseguente a un generale sollevamento dei continenti, ben documentato dai dati geologici, avrebbe anche causato un inasprimento del clima, con variazioni stagionali più spiccate che sarebbero risultate fatali ai grandi rettili eterotermi. Ancora oggi i rettili sono animali che vivono nei climi caldi, almeno quelli di grande mole, come coccodrilli e grossi serpenti, mentre nei climi temperati vivono soltanto piccole forme, che si difendono nella stagione avversa andando in letargo. Nei climi freddi mancano del tutto i rettili. Ma molti dinosauri, come abbiamo visto, probabilmente erano animali a sangue caldo.

Alcuni ricercatori pensarono anche alla concorrenza dei mammiferi più piccoli, ma più vivaci, i quali avrebbero mangiato tutte le uova dei dinosauri. I mammiferi, però, hanno coabitato con i dinosauri per tutto il Mesozoico, senza che questi ultimi ne risentissero e quindi i piccoli animali notturni e a sangue caldo non causarono la fine dei rettili mesozoici, piuttosto fiorirono proprio dopo la loro scomparsa.

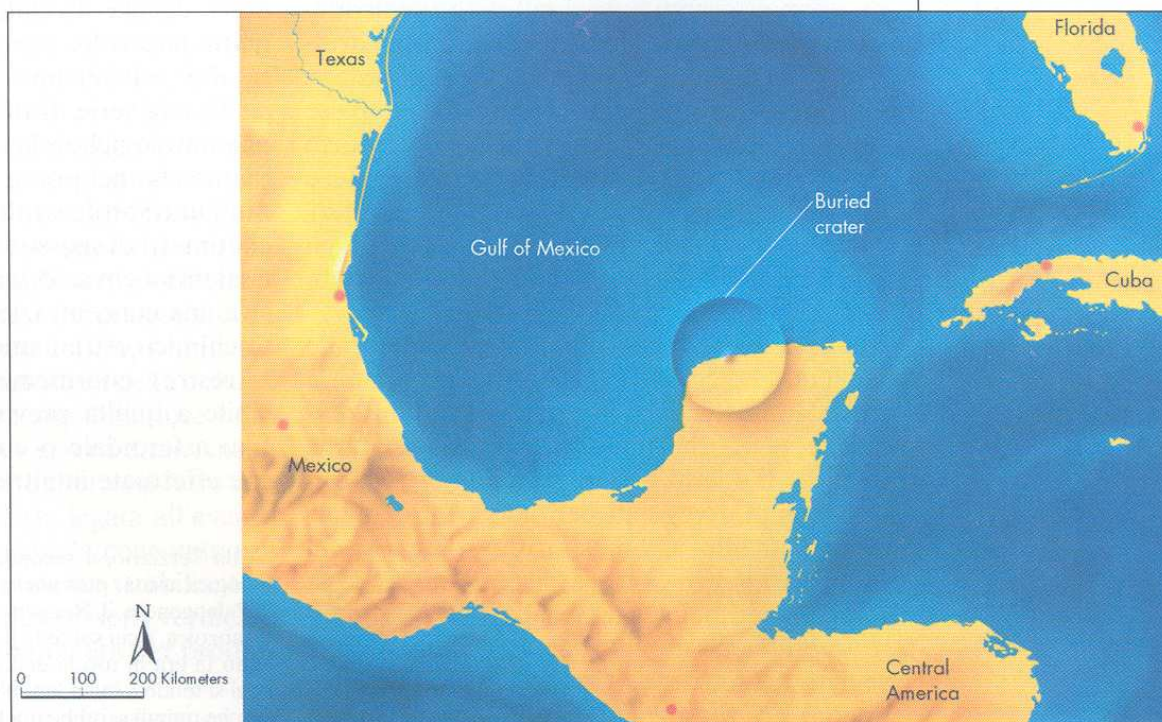
Per giustificare il declino dei dinosauri si sono anche ipotizzate

cause interne alla vita stessa di quegli animali, come ad esempio una degenerazione biologica che, attraverso l'apparizione di alcune strutture anatomiche aberranti, fra cui il gigantismo e la crescita spropositata di ossa e corna, avrebbe indebolito il gruppo. Ma alla fine del Mesozoico i dinosauri non apparivano affatto in declino: essi si erano invece ulteriormente diversificati. Né maggiore fortuna ha avuto la tesi che a provocare la fine dei dinosauri possa essere stata una pestilenza provocata dalla diffusione di uno specifico virus, perché insieme con questi animali però anche una notevole varietà di altre forme viventi con caratteristiche fisiologiche del tutto diverse.

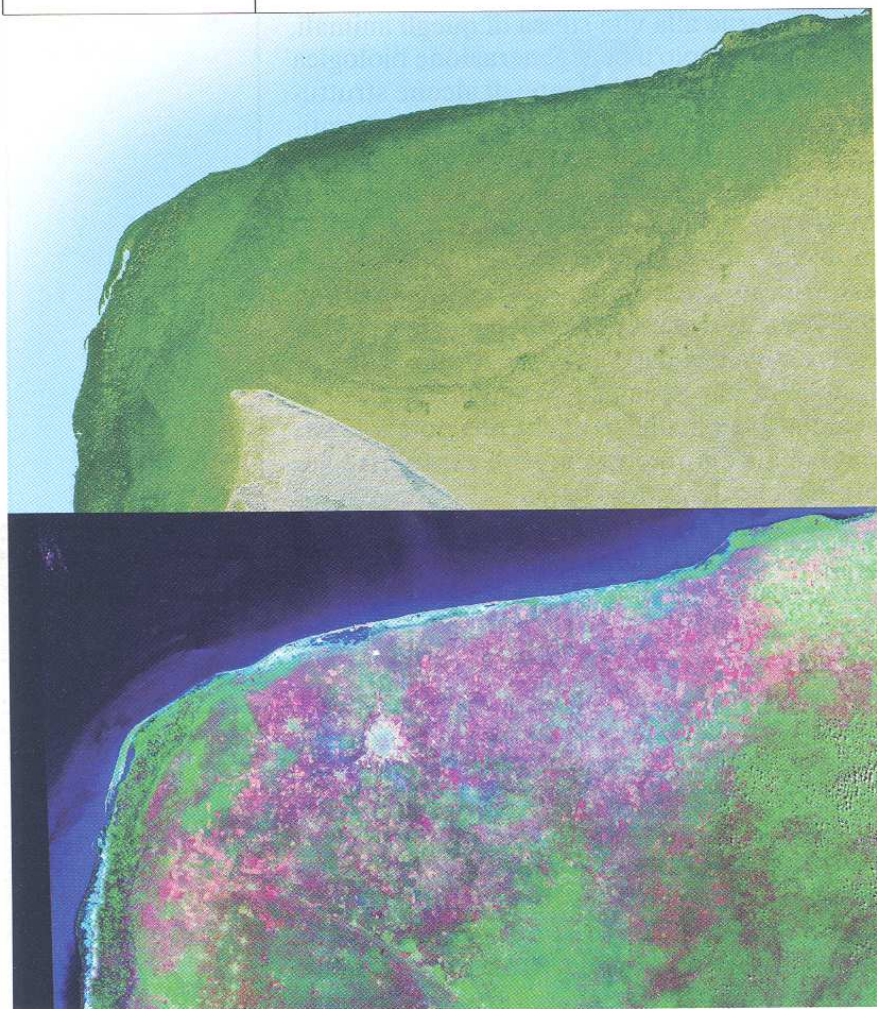
Per indicare l'era dei dinosauri, si usa il termine Mesozoico, o era media della vita degli animali. Il terzo periodo del Mesozoico è il Cretaceo, che va da circa 145 a 65 milioni di anni fa, e viene dopo il Triassico e il Giurassico. Alla fine di questo periodo, la geografia del nostro pianeta era diversa ma familiare, perché la deriva dei continenti da allora ha spostato considerevolmente le masse della terraferma, ma non le ha disposte in maniera totalmente diversa dalle posizioni che occupano attualmente. L'India, ad esempio, non si era ancora scontrata con il continente asiatico, provocando l'emergere della catena dell'Himalaya, ma nell'America nord-occidentale esistevano già delle catene montuose. Il livello delle acque era più alto di adesso, e parte del Nord America centrale era ricoperta da un mare poco profondo.

Quel mondo, oltre a essere l'antenato del no-

*Localizzazione geografica del cratere da impatto di Chich-chulub. Con un diametro di circa 180 km, è considerato il segno tangibile del famoso evento catastrofico occorso a cavallo del periodo Cretaceo e Terziario. La sua età è di 65 milioni di anni.*







*In alto, immagine radar della regione settentrionale della penisola dello Yucatán, ottenuta dalla Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), in cui è chiaramente visibile il bordo esterno meridionale del cratere di Chichchulub.*

*In basso, la stessa area fotografata dal satellite LANDSAT. In questa immagine le zone coltivate o ricoperte da vegetazione appaiono in colore verde e magenta, le aree urbanizzate in bianco. Il cerchio biancastro visibile al centro dell'immagine è la città di Merida, che vanta oltre 700.000 abitanti.*

stro, era un mondo stabile. Nei 150 milioni d'anni che precedettero la catastrofe, i modelli di vita e gli abitanti del nostro pianeta avevano subito solo cambiamenti lenti. I dinosauri erano animali grandi, ben adattati, e condividevano il mondo con altri animali piccoli, altrettanto ben adattati, e con piante di ogni genere. Ci sono molti motivi di credere che, se fosse rimasto indisturbato, il mondo del Mesozoico avrebbe potuto continuare indefinitamente, e i discendenti dei dinosauri, lievemente evoluti, avrebbero dominato un mondo nel quale gli esseri umani molto probabilmente non sarebbero mai comparsi.

Ma l'era Mesozoica, come è dimostrato dalle indagini geologiche e paleontologiche, non è rimasta indisturbata. Si è conclusa all'improvviso, e senza che nulla lo facesse sospettare, 65 milioni d'anni fa. Un gran numero di specie animali e vegetali ben adattate scomparvero coinvolte in un'estinzione di massa, in molti casi senza lasciare discendenti. Questa interruzione nella storia della vita è talmente impressionante che i geologi la usano per segnare il limite tra il Cretaceo – ultimo periodo dell'Era Mesozoica – e il Paleogene, primo

periodo dell'Era Cenozoica o Terziaria; tale limite è infatti detto K-T, dove la K è l'abbreviazione comunemente usata per il Cretaceo e la T per il Terziario<sup>1</sup>. Il mondo di oggi è dunque popolato dai discendenti dei sopravvissuti all'estinzione di massa che ha posto fine al mondo del Cretaceo.

La causa della più o meno repentina (ovviamente, sempre su scala geologica) scomparsa di questi giganteschi esseri viventi è da molto tempo fonte di accanite discussioni tra scienziati di diverse discipline.

Come abbiamo appena accennato, alla fine del Mesozoico non scomparvero soltanto i dinosauri, ma si estinsero anche ittiosauri, pterosauri e tanti altri animali meno conosciuti, compresi molti invertebrati marini, come le ammoniti dalle eleganti conchiglie avvolte a spirale e le rudiste, strani bivalvi costruttori di scogliere, e perfino alcuni organismi marini unicellulari. Si calcola che oltre il 70% delle specie allora viventi si sia estinto in un periodo relativamente breve, ma che, secondo alcuni, avrebbe potuto durare anche un milione di anni. Forse morì anche la stragrande maggioranza della popolazione delle specie che si salvarono dallo sterminio, ma, trattandosi in questo caso di animali piccoli e molto fecondi, essi riuscirono a riprodursi in fretta e a evitare lo spopolamento totale.

In tempi abbastanza recenti, all'inizio degli anni '90 del secolo scorso, l'ipotesi che questa catastrofe su scala globale fosse stata causata dall'impatto sul nostro pianeta di un corpo cosmico di dimensioni dell'ordine della decina di chilometri ha avuto un seguito notevole, soprattutto dopo la scoperta del celeberrimo "strato di Gubbio" (v. p. 70) e la serie di ricerche sia geologiche che paleontologiche che ne sono seguite. Ricordiamo che nei pressi di Gubbio è stato rinvenuto uno sottile strato di colore scuro di pochi centimetri di spessore tra i depositi alluvionali risalenti a circa 65 milioni di anni fa, che mostra una concentrazione di iridio (un elemento chimico estremamente raro sulla superficie terrestre) enormemente elevata e riconducibile a quella prevista per corpi cosmici di tipo asteroidale o cometario. Ulteriori ricerche effettuate in altre aree del globo terrestre

<sup>1</sup> Con Terziario, a seconda della classificazione geocronologica usata, può anche intendersi complessivamente il Paleogene e il Neogene, cioè i primi Periodi dell'Era Cenozoica, a cui succede il Periodo Quaternario. Qualche anno fa era in uso la definizione di Era Quaternaria ma oggi si tende a includere il Quaternario nell'era Cenozoica, che quindi sarebbe quella tuttora in corso.

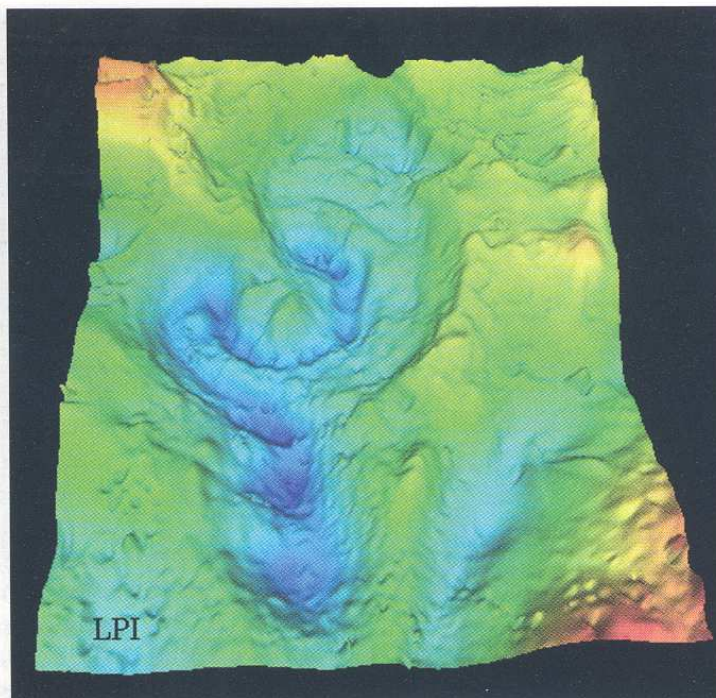


hanno confermato l'esistenza dello straterello un po' ovunque e, nel contempo, evidenziato altri segni geologici caratteristici degli impatti di grandissima energia. Inoltre, lo studio dei micro-fossili rinvenuti al di sopra e al di sotto dello strato di Gubbio mostra in maniera estremamente chiara la drastica scomparsa di un'altissima percentuale di specie viventi.

### MA DOV'È IL CRATERE?

Uno dei grandi interrogativi riguardo a questa teoria, concerneva il luogo di caduta del corpo planetario. Dove si trovava il cratere, che doveva avere dimensioni superiori ai 100 km? I fautori della teoria rispondevano che probabilmente era da ricercare nei fondali oceanici, ma la mancanza del segno più evidente restava comunque un grosso "handicap" per i sostenitori della teoria dell'impatto. Fino al 1991. In quell'anno, infatti, si scopriva mediante tecniche di misurazione altamente sofisticate di tipo magnetico e gravimetrico, una struttura circolare, coperta da uno spesso strato di sedimenti che ne impedivano l'osservazione diretta, localizzata tra la parte settentrionale della penisola dello Yucatan e il Golfo del Messico. Ulteriori studi poterono stabilire con certezza che la struttura era ciò che rimaneva di un gigantesco cratere da impatto, la cui età (determinata in maniera estremamente precisa) è risultata essere di 65,1 milioni di anni, esattamente corrispondente a quella dello strato di Gubbio. Il diametro del cratere è di circa 180 km, in buon accordo con quanto previsto per l'impatto di un oggetto di circa 10 km di diametro. Il cratere di Chicxulub – questo il nome attribuito alla struttura – ha tolto quasi ogni dubbio sull'origine dello strato di Gubbio: questo si sarebbe originato per la ricaduta sull'intero globo terrestre delle polveri sollevatesi dal cratere e per i residui della vaporizzazione del corpo impattore. La permanenza nell'atmosfera delle polveri, con conseguente oscuramento della luce solare, si sarebbe protratta per diversi anni. Anche se rimane ancora qualche dubbio sul fatto che l'estinzione dei dinosauri sia legata all'evento di Chicxulub, sta di fatto che la concomitanza dei due fenomeni è sicuramente strabiliante e che qualcosa di terribile deve essersi verificato in quel periodo sul nostro pianeta per produrre un tale sconvolgimento.

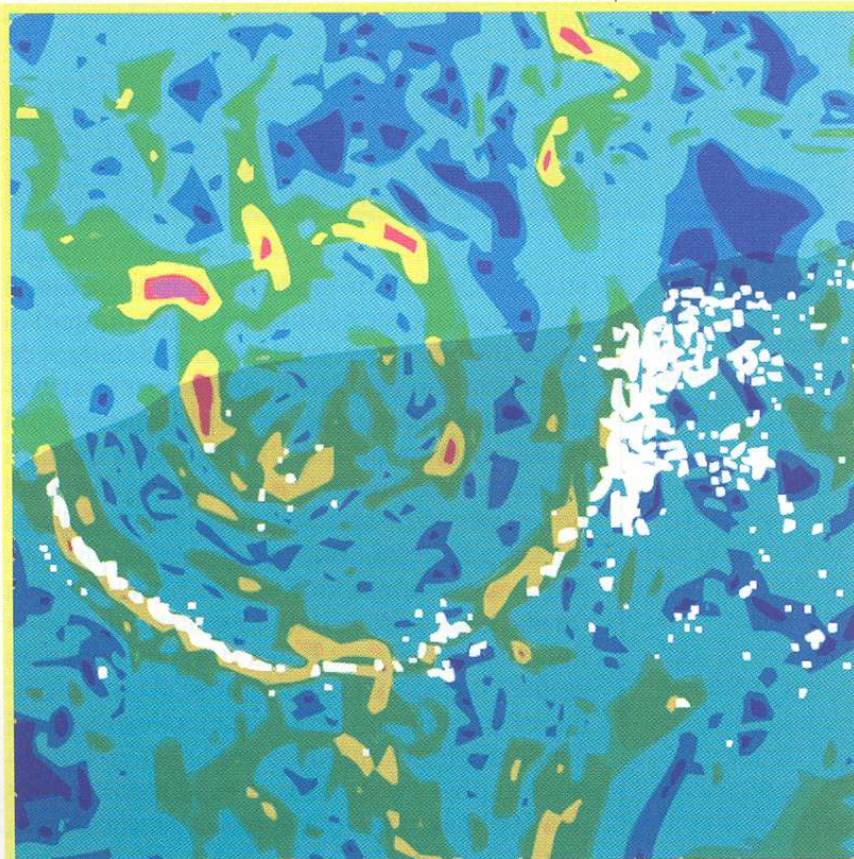
Il passato del pianeta su cui viviamo si esten-



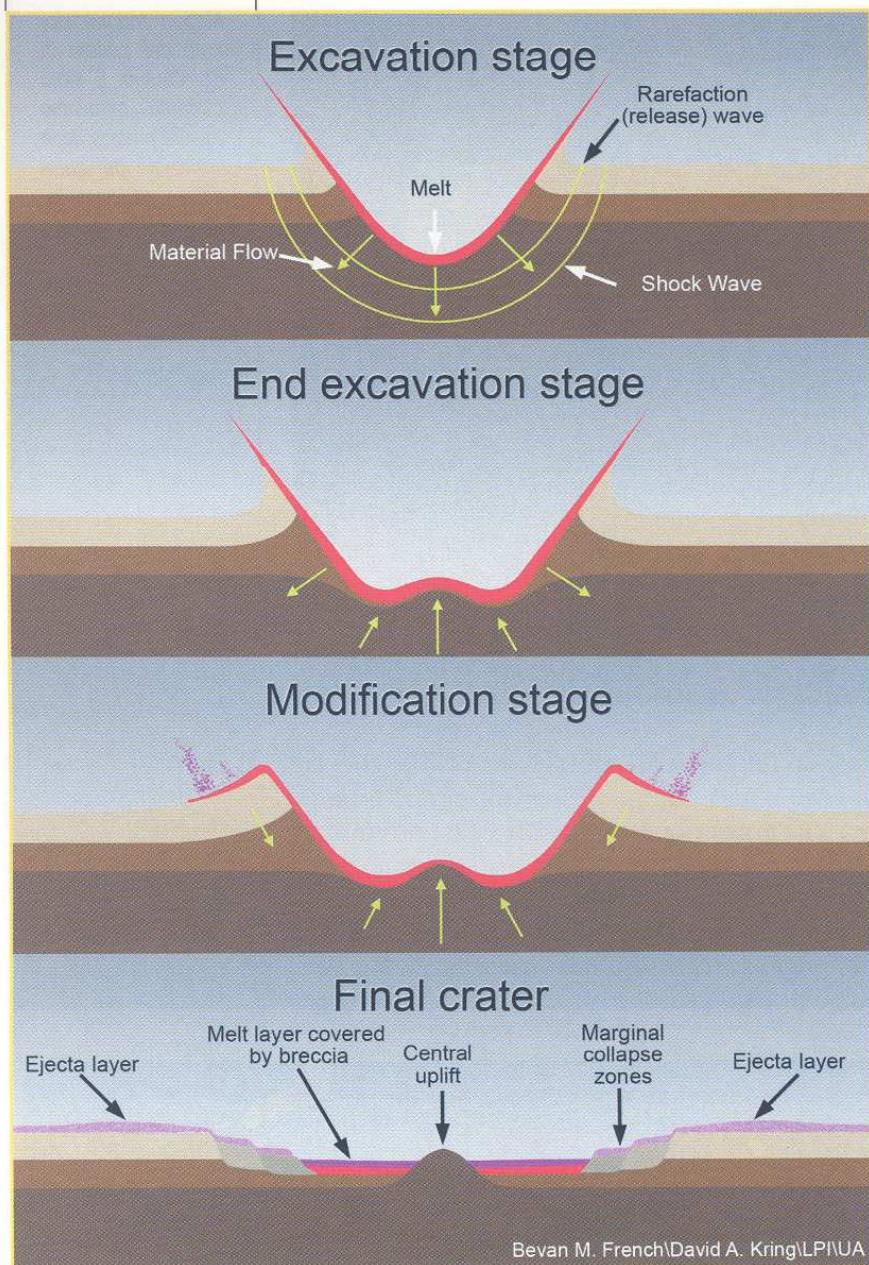
*Mapa tridimensionale del cratere di Chicxulub. È stata ottenuta attraverso misure precise delle variazioni del campo gravitazionale locale e del campo magnetico. Il bacino d'impatto è attualmente coperto da centinaia di metri di sedimenti marini.*

de per lunghe ere geologiche prima che su di esso siano comparsi i primi esseri umani, per cui non ci possono essere testimonianze oculari o resoconti di prima mano che ce lo possano raccontare. È però possibile conoscere molto della storia del nostro pianeta dalle testimonianze racchiuse nelle rocce. I geologi e i paleontologi possono essere considerati degli

*Immagine in falsi colori delle anomalie gravimetriche misurate nell'area del cratere di Chicxulub. La struttura ad anelli concentrici del cratere è chiaramente visibile. Le parti in bianco segnano il bordo esterno e rappresentano la zona dei cenotes.*







Rappresentazione della sequenza di formazione di un cratere da impatto di tipo complesso.

storici della Terra, in grado di interpretare questi documenti fossili, esaminando affioramenti di rocce in zone remote del mondo e analizzando in laboratorio i campioni prelevati. Osservando, misurando e interpretando le informazioni conservatesi nelle rocce nel corso di miliardi di anni è stato possibile ricostruire la storia del nostro pianeta. Naturalmente, più si va indietro nel tempo meno questa ricostruzione è precisa. Ma quale è stata la storia della Terra dalla sua formazione, poco più di 4,5 miliardi di anni fa fino ai nostri giorni? È una storia di sconvolgimenti e catastrofi globali, oppure il nostro pianeta ha visto solo una sequenza ordinata di cambiamenti tranquilli e gradualmente? In un primo tempo, l'orientamento degli studiosi propendeva per lo più per la tesi catastrofista, ma, con lo sviluppo e il perfezionamento delle tec-

niche di indagine e di analisi della geologia, si fece strada l'idea che le caratteristiche fisiche della Terra fossero più facilmente interpretabili in termini di cambiamenti lenti, gradualmente verificatisi nel corso di lunghissimi periodi della storia del nostro pianeta.

Negli ultimi decenni, però, ha preso il sopravvento una concezione meno lineare, che fa propri i principi del gradualismo e del catastrofismo, non più considerati alternativi. Si continua a ritenere che la maggior parte dei cambiamenti subiti dalla Terra nel corso della sua lunghissima storia abbiano avuto luogo in modo lento e graduale. Ma è ormai altrettanto evidente che in alcune occasioni il nostro pianeta ha subito dei fortissimi "traumi", sotto forma di enormi catastrofi, di origine diversa, che hanno cambiato drasticamente il corso della successiva evoluzione.

#### LE CAUSE DELLE CATASTROFI

Ma quali possono essere le cause di questi improvvisi sconvolgimenti? Essi possono essere divisi in due grandi categorie, quelli dovuti a fenomeni "locali", cioè relativi all'evoluzione geologica del nostro pianeta, primo fra tutti il repentino aumento dell'attività vulcanica con il conseguente "inquinamento" dell'atmosfera e un drastico cambiamento del clima, e quelli dovuti a cause esterne alla Terra, che qui di seguito cercheremo di sintetizzare cercando di descrivere la loro pericolosità:

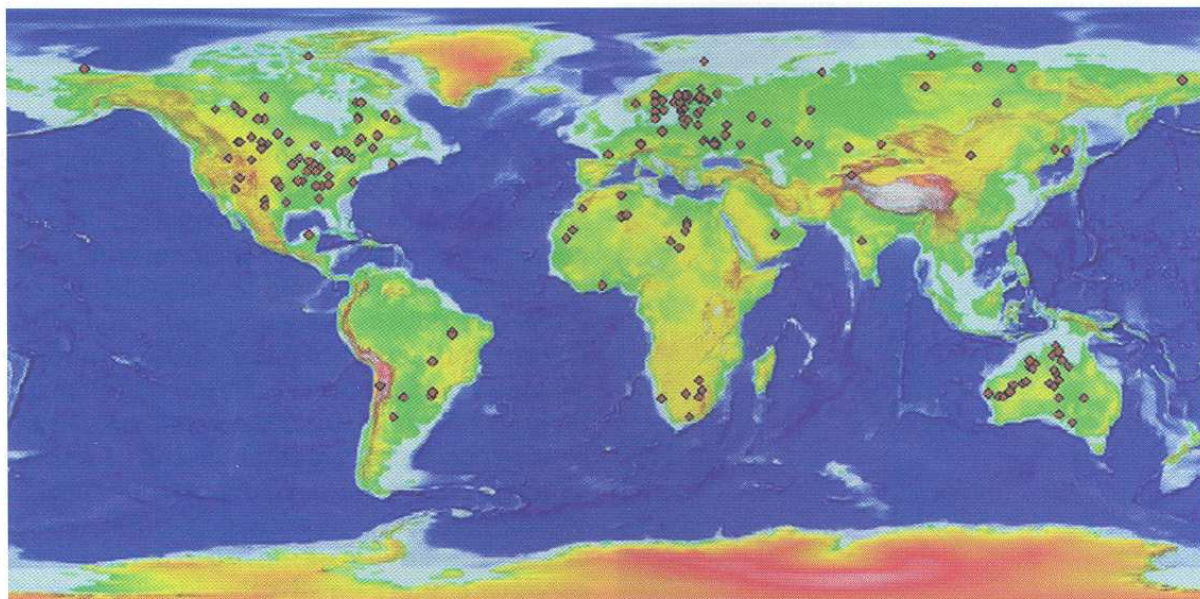
#### *Esplosione di una supernova vicina*

Alcune antiche cronache ci raccontano che nell'anno 1006 d.C. nella costellazione australe del Lupo apparve una nuova e luminosissima stella; il nuovo astro, nel momento del massimo splendore, raggiunse e superò la luminosità del pianeta Venere, dopodiché cominciò ad affievolirsi fino a sparire del tutto dopo qualche tempo, senza lasciare alcuna traccia.

Un'analogia apparizione, avvenuta 48 anni più tardi (e quindi nel 1054 d.C.) nella costellazione del Toro, attirò l'attenzione degli antichi astronomi cinesi mentre altre due, verificatesi nel 1572 nella costellazione di Cassiopea e nel 1604 nella costellazione di Ofiuko, furono osservate rispettivamente dal grande astronomo danese Thyco Brahe e dal suo allievo tedesco Johannes Kepler.

Il mistero legato a queste improvvise apparizioni di stelle venne definitivamente svelato, almeno nelle sue linee generali, negli anni '30 del secolo scorso, quando cominciarono a svilupparsi le prime teorie sull'evoluzione stellare. Secondo queste teorie, quando una stella





La distribuzione dei crateri da impatto noti sulla superficie terrestre.

molto massiccia esaurisce il suo combustibile nucleare, nel suo interno vengono a instaurarsi delle fortissime instabilità che degenerano in una apocalittica esplosione e la stella si autodistrugge. Il fenomeno è davvero imponente: nei brevi istanti dell'esplosione la stella libera tanta energia quanta ne aveva prodotta in tutta la sua vita precedente e la sua luminosità può arrivare a eguagliare quella dell'intera galassia a cui appartiene, cioè diventare più luminosa di centinaia di miliardi di stelle. Queste esplosioni stellari furono chiamate "supernove".

Le supernove sono fenomeni abbastanza rari, almeno nell'ambito di una singola galassia; però, dato che esistono miliardi di galassie, oggi giorno esplosioni di supernove vengono continuamente osservate nelle galassie esterne.

La loro pericolosità consiste nella furia devastante dell'esplosione e nell'ingentissima quantità di raggi X e gamma emessi. Ricordiamo che queste radiazioni, in dosi massicce, sono pericolosissime per gli esseri viventi; di conseguenza se una supernova dovesse esplodere nel raggio di qualche centinaio di anni luce dalla Terra la vita subirebbe gravissimi danni e rischierebbe l'estinzione.

#### *Lampi di raggi gamma (Gamma Ray Burst, GRB)*

Verso la metà degli anni '60 del secolo scorso alcuni satelliti militari (della serie Vela), destinati al controllo del rispetto dei trattati contro la proliferazione degli armamenti nucleari, scoprirono l'esistenza di veri e propri lampi di raggi gamma provenienti dallo spazio al ritmo medio di un lampo al giorno. Questi fenomeni furono chiamati GRB (*Gamma Ray Burst*, lampi di raggi gamma) e la loro origi-

ne è rimasta un mistero fino ad alcuni anni fa, quando, soprattutto grazie ai risultati ottenuti dal satellite italiano per raggi X Beppo SAX, si è scoperto che i GRB sono provocati da titaniche esplosioni, molto più potenti delle esplosioni di supernova, che avvengono in galassie lontanissime. L'origine di questi fenomeni non è però ancora chiara; si parla, infatti, di supernove molto più potenti di quelle ordinarie (ipernove), oppure della fusione di due stelle di neutroni o di una stella di neutroni con un buco nero. Quello che invece è molto chiaro è che i GRB sono i fenomeni più energetici e violenti finora osservati nell'intero Universo conosciuto. Le conseguenze per il nostro pianeta dell'eventuale apparizione di un GRB che avesse origine nella nostra Galassia sono facilmente intuibili.

#### *Impatti di corpi cosmici*

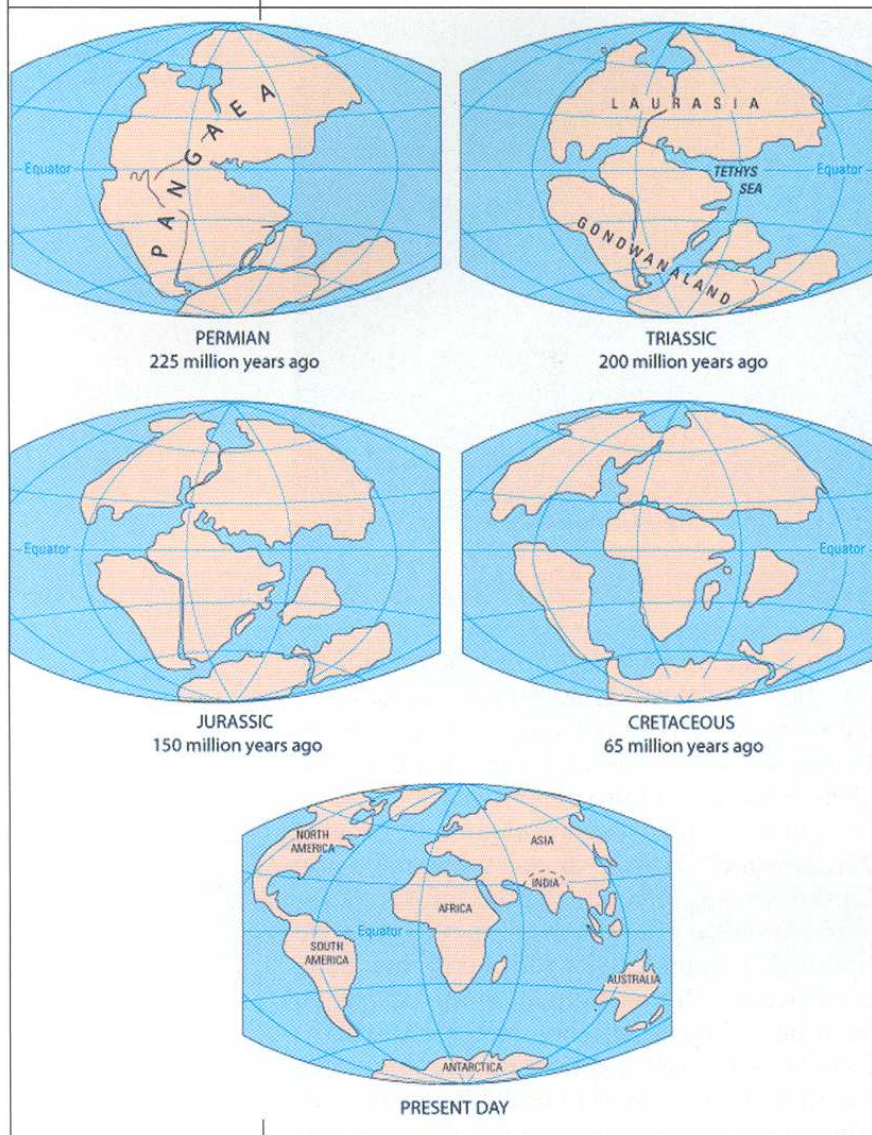
Si tratta di fenomeni di inaudita violenza (anche se di molti ordini di grandezza inferiore a quella di una supernova o di un GRB). Avvengono anche all'interno del Sistema Solare e, per rendersene conto, basta osservare la Luna con un modesto cannocchiale. La superficie del nostro satellite appare costellata di crateri causati dall'impatto con corpi minori appartenenti al nostro sistema planetario; i crateri sono molto diffusi su tutti i pianeti di tipo terrestre e sui satelliti dei pianeti giganti.

Il Sistema Solare, infatti, oltre che dai pianeti, è costituito da milioni di corpi minori (meteoriti, asteroidi, comete) con dimensioni che variano da qualche millesimo di millimetro a qualche centinaio di chilometri; quando l'orbita di uno di questi corpi interseca quella di un

#### L'AUTORE

**Mario di Martino**, astronomo presso l'Osservatorio Astronomico di Torino, studia i corpi minori del Sistema Solare (asteroidi e comete). Negli ultimi anni la sua attività si è indirizzata allo studio dei fenomeni legati alla collisione di corpi cosmici sulla Terra e alla ricerca di crateri da impatto.





Lo spostamento delle masse continentali ("deriva dei continenti") da 225 milioni di anni fa a oggi.

pianeta è possibile una collisione.

Anche la Terra in passato è stata oggetto di numerosi impatti, ma l'azione degli agenti atmosferici (vento e pioggia), i movimenti tettonici continentali, le eruzioni vulcaniche e i processi di sedimentazione hanno cancellato quasi completamente le tracce lasciate da questi fenomeni; ciò nonostante, alcune di queste antiche cicatrici sono ancora visibili.

Le conseguenze di impatti di corpi cosmici con dimensioni superiori al chilometro possono essere definite apocalittiche e si manifestano su scala globale. Oltre agli effetti immediati, come onde d'urto e giganteschi tsunami, quelli più devastanti deriverebbero dallo sconvolgimento a lungo termine del clima del nostro pianeta. L'impatto di un grosso asteroide o di una cometa provocherebbe, infatti, il sollevamento di decine di milioni di tonnellate di polvere che finirebbero nell'alta atmosfera, riducendo in maniera sostanziale la quantità di luce proveniente dal Sole; avremmo così un

periodo iniziale di raffreddamento e un drastico calo dell'attività fotosintetica delle piante, cui seguirebbe un periodo di forte riscaldamento per effetto serra.

Per un delicato ecosistema come il nostro, che dipende fortemente dalla temperatura e quasi completamente dalla luce solare, le conseguenze sarebbero catastrofiche e comporterebbero la scomparsa di intere specie animali e vegetali.

Queste considerazioni di carattere astronomico sono quasi profetiche. Infatti, gli scienziati che studiano la storia della vita sulla Terra hanno scoperto, in maniera del tutto indipendente, che a partire dalla comparsa dei primi organismi viventi complessi (circa 700 milioni di anni fa), la vita sul nostro pianeta ha conosciuto e superato diverse crisi biologiche, cioè la scomparsa in tempi più o meno brevi di numerosissime specie di esseri viventi, le quali hanno preso il nome di "grandi estinzioni" alle quali abbiamo già accennato più volte. È venuto ora il momento di analizzarle più in dettaglio.

### LE GRANDI ESTINZIONI

Le prime forme di vita apparvero molto presto sul nostro pianeta; circa 3,8 miliardi di anni fa – appena 800 milioni di anni dopo la sua formazione – insieme agli oceani comparvero i primi organismi unicellulari.

Si trattava di esseri viventi costituiti da una sola cellula, molto semplici e primitivi, e che si dividevano in due grandi categorie: organismi fermentatori, i quali si nutrivano a spese delle numerose molecole organiche presenti negli oceani, e organismi fotosintetizzatori, i quali invece prosperavano grazie a un meccanismo completamente diverso. Infatti, grazie a un pigmento verde chiamato clorofilla, che si ritiene sia stato inglobato in queste cellule casualmente, questi esseri riuscivano a catturare l'energia del Sole e, grazie a questa energia, scomponavano le molecole d'acqua e di anidride carbonica (disciolta nell'acqua) per produrre i propri alimenti.

Questo meccanismo è la famosa "fotosintesi clorofilliana", ed è talmente semplice e ingegnoso che si è conservato praticamente immutato fino a oggi. La fotosintesi clorofilliana è un piccolo prodigio della natura: da essa dipende la quasi totalità della vita sulla Terra.

Inoltre, la fotosintesi presenta un importantissimo effetto collaterale: dopo la scomposizione dell'acqua e dell'anidride carbonica, infatti, rimane inutilizzato l'ossigeno, il quale è a tutti gli effetti un prodotto di scarto e viene



liberato nell'atmosfera. Quasi tutto l'ossigeno presente oggi nell'atmosfera terrestre, così importante per una grossa percentuale di esseri viventi (uomo compreso), è stato rilasciato grazie a quasi 4 miliardi di anni di attività fotosintetica.

La vita rimase confinata negli oceani sotto forma di semplici microorganismi unicellulari per più di 3 miliardi di anni; infatti, le prime specie complesse (spugne e meduse) comparvero circa 700 milioni di anni fa. Infine, circa 400 milioni di anni fa, la vita uscì dall'acqua e si trasferì sulla terraferma.

Le prime estinzioni conosciute risalgono proprio a quest'epoca. Le teorie proposte per spiegare queste tremende crisi biologiche si dividono in due gruppi: teorie che sostengono che le specie animali e vegetali scomparvero in maniera lenta e graduale a causa di forti mutamenti del loro habitat (come imponenti glaciazioni) e teorie che invece sostengono che le estinzioni furono rapide e improvvise, causate da eventi catastrofici. A loro volta queste catastrofi possono essere di tipo extraterrestre, come l'esplosione di una supernova vicina o la collisione con un asteroide o una cometa, oppure di origine terrestre, come episodi di intensa attività vulcanica.

Gli effetti di una imponente eruzione vulcanica sul clima sono analoghi a quelli provocati da una collisione asteroidale: immense quantità di polveri immesse nell'atmosfera, iniziale raffreddamento e successivo riscaldamento della superficie terrestre con un drastico calo dell'attività fotosintetica delle piante per via dell'oscuramento del Sole.

A tutt'oggi si conoscono 5 grandi estinzioni e altre minori. Le più importanti sono le seguenti.

**1ª grande estinzione – fine del Periodo Ordoviciano – 450 milioni di anni fa**

Depositi glaciali relativi a questo periodo sono stati ritrovati nel deserto del Sahara; quando l'antico supercontinente Gondwana, nel suo moto di deriva, transitò nei pressi del Polo Sud si ebbe una glaciazione prolungata che causò l'abbassamento del livello dei mari con conseguente drastica riduzione di tutti gli habitat marini. Ricordiamo che in quest'epoca la vita era ancora confinata negli oceani.

Percentuale stimata di specie viventi coinvolte nell'estinzione: 85%.

**2ª grande estinzione – fine del Periodo Devoniano – 365 milioni di anni fa**

Depositi glaciali relativi a questo periodo sono stati trovati nel nord del Brasile; fra le cause dell'estinzione, alcuni scienziati includono an-



che impatti asteroidali. In ordine di gravità è la terza estinzione.

**3ª grande estinzione – fine del Periodo Permiano – 250 milioni di anni fa**

È la più grande estinzione di tutti i tempi. Percentuale stimata di specie viventi coinvolte nell'estinzione: 90-95%.

**4ª grande estinzione – fine del Periodo Triassico – 205 milioni di anni fa**

Questa estinzione colpì soprattutto le specie marine.

Percentuale stimata di specie viventi coinvolte nell'estinzione: 75%.

**5ª grande estinzione – fine del Periodo Cretaceo – 65 milioni di anni fa**

È sicuramente l'estinzione di massa più famosa, poiché costò la vita ai dinosauri e, essendo la più recente, anche la più conosciuta.

Percentuale stimata di specie viventi coinvolte nell'estinzione: oltre 70%.

Come già detto, a far propendere decisamente per l'impatto di un corpo cosmico di grandi dimensioni come causa della grande estinzione che fu all'origine del passaggio dal periodo Cretaceo dell'era Mesozoica a quello Paleogenico dell'era Terziaria fu la scoperta del cratere da impatto di Chicxulub una ventina di anni fa. La storia della scoperta del cratere è un po' lunga, ma vale la pena di essere raccontata.

**CHICXULUB, STORIA DI UNA SCOPERTA**

Nei primi anni '90, Alan R. Hildebrand, uno studente dell'Università dell'Arizona, visitò un piccolo villaggio di montagna nell'isola di Haiti. Stava studiando alcuni depositi geologici del periodo di passaggio dal Cretaceo all'era

Immagine al microscopio elettronico di una sferula di vetro ritrovata nei sedimenti prelevati lungo la costa settentrionale del Golfo del Messico. La sferula è stata prodotta dalla fusione delle rocce provocata dall'impatto e dal successivo raffreddamento durante la discesa nell'atmosfera.



Terziaria, che includevano spessi depositi di roccia frammentata e disaggregata, che erano stati apparentemente rimossi da un certo luogo e sparpagliati e depositati ovunque da un gigantesco *tsunami*, che molto probabilmente era stato provocato dall'impatto di un piccolo corpo celeste contro la Terra. Questi depositi possono trovarsi in molte località attorno al globo, ma sembrano concentrarsi nel bacino dei Caraibi.

Hildebrand scoprì un tipo di ghiaia di colore verde-marrone contenente un eccesso di iridio, che mostrava anche piccoli granuli di quarzo in cui, se osservati al microscopio, erano chiari i segni di un fortissimo stress termico e di pressione, e piccole sferule di silicio vetrificato che sembravano essere tectiti (rocce fuse e vetrificate). Insieme al suo professore, William V. Boynton, Hildebrand pubblicò i risultati della sua ricerca su una rivista specializzata, suggerendo non solo che i depositi erano il risultato di un impatto asteroidale sul nostro pianeta, ma anche che l'impatto non poteva essersi verificato a una distanza superiore ai 1000 km dal luogo dei ritrovamenti.

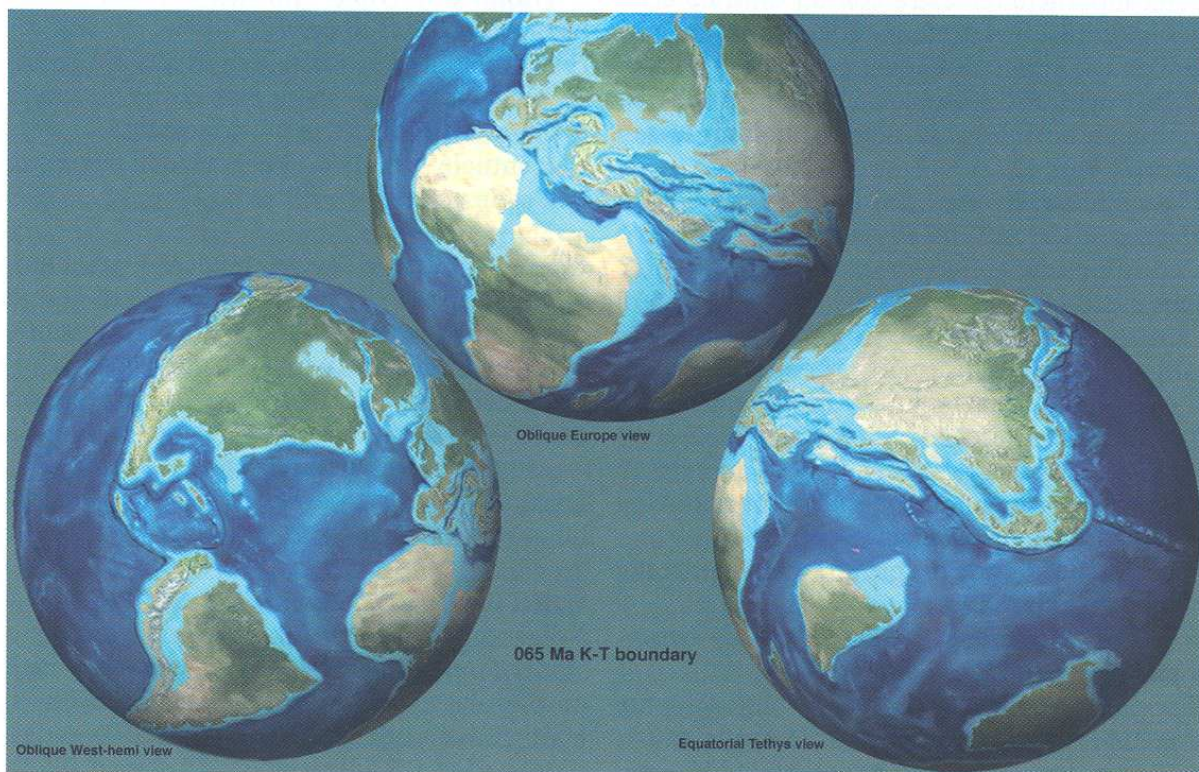
Questo fatto era particolarmente interessante, dal momento che fino ad allora nessun cratere di alcun tipo era noto nel bacino dei Caraibi. Hildebrand e Boynton riportarono la loro scoperta a una conferenza internazionale di geologia, suscitando un vivo interesse.

Indizi basati sulla densità del materiale eiettato segnalavano la possibile ubicazione del

cratere da impatto al largo della costa settentrionale della Colombia, oppure nelle vicinanze della parte occidentale di Cuba. Infine, Carlos Byars, un reporter del quotidiano *Houston Chronicle*, contattò Hildebrand riferendogli che un geofisico, Glen Penfield, aveva scoperto nel 1978 quello che poteva essere il cratere da impatto che lui cercava, ubicato nella parte nord della penisola dello Yucatàn.

In quell'anno, Penfield aveva lavorato per la PEMEX, la compagnia petrolifera di stato messicana, come membro del gruppo di ricercatori responsabili della scansione geomagnetica dell'aerea della penisola dello Yucatàn. Quando Penfield esaminò i dati magnetici raccolti, in mezzo al rumore di fondo individuò un netto e gigantesco "arco" sottomarino. Quest'arco, con i suoi estremi orientati verso sud, presente nel fondo del mare dei Caraibi al largo dello Yucatàn, non era concordante con quello che ci si poteva aspettare dalla geologia regionale sino ad allora nota. L'interesse di Penfield per questa grande struttura geologica non poté che aumentare, e poco dopo egli riuscì a ottenere una carta delle variazioni di campo gravitazionale della regione di interesse che era stata eseguita negli anni '60 e che giaceva impolverata negli archivi della PEMEX. Analizzando questa carta, trovò un altro arco: era situato nell'entroterra della penisola dello Yucatàn, e i suoi estremi puntavano verso nord.

Mise così a confronto le due mappe e riscontrò



La disposizione dei continenti 65 milioni di anni fa.



che i due archi si riunivano in un cerchio netto, del diametro di circa 180 km, con il suo centro nel villaggio costiero di Puerto Chichchulub.

Penfield era anche un astronomo dilettante e aveva una buona idea di quello che cercava. Anche se la PEMEX non gli permise di pubblicare dati specifici, consentì sia a lui sia al collega Antonio Camargo-Zanoguera di presentare i loro risultati in una conferenza di geologia nel 1981. Sfortunatamente, quella conferenza in quell'anno era stata disertata, perché molti geologi preferirono seguire un *workshop* sugli impatti cometari sulla Terra che si svolgeva nello stesso periodo. La loro relazione attirò così ben poca attenzione, anche se la notizia di questa scoperta arrivò alle orecchie di Byars.

Penfield non si arrese. Sapeva che la PEMEX nel 1951 aveva perforato dei pozzi esplorativi nella regione. Una di queste trivellazioni aveva bucato uno spesso strato di roccia ignea nota come andesite a circa 1,3 km di profondità. Quella struttura poteva essere stata creata dall'intenso calore e dall'elevata pressione generati da un impatto asteroidale sulla Terra, ma ai tempi delle perforazioni era stata liquidata come un "domo vulcanico", anche se una caratteristica del genere risultava fuori posto nella geologia della regione.

Ulteriori studi delle carote di roccia che erano state prelevate con le trivellazioni avrebbero risolto il problema, ma, sfortunatamente, molte di queste erano andate perdute nell'incendio di un magazzino avvenuto nel 1979. Penfield prese un aereo per lo Yucatàn, sperando di trovare dei resti delle carote nelle teste di perforazione, ma questa sua idea non risultò proficua; un giorno Penfield scavò dentro una porcilaia comunale che era stata ubicata in un sito dove erano depositate alcune teste di perforazione, compito da lui stesso raccontato come "spiacevole e privo di ricompense".

Comunque, dopo che Hildebrand ebbe contattato Penfield, i due riuscirono a recuperare due campioni separati estratti dai pozzi perforati dalla PEMEX nel 1951. Le analisi chiaramente mostrarono materiali che erano stati sottoposti a un fortissimo *shock* e che avevano subito un processo di metamorfismo. Gli studi eseguiti da altri geologi dei frammenti trovati a Beloc (Haiti) mostrarono chiaramente che erano il risultato di un impatto asteroidale.

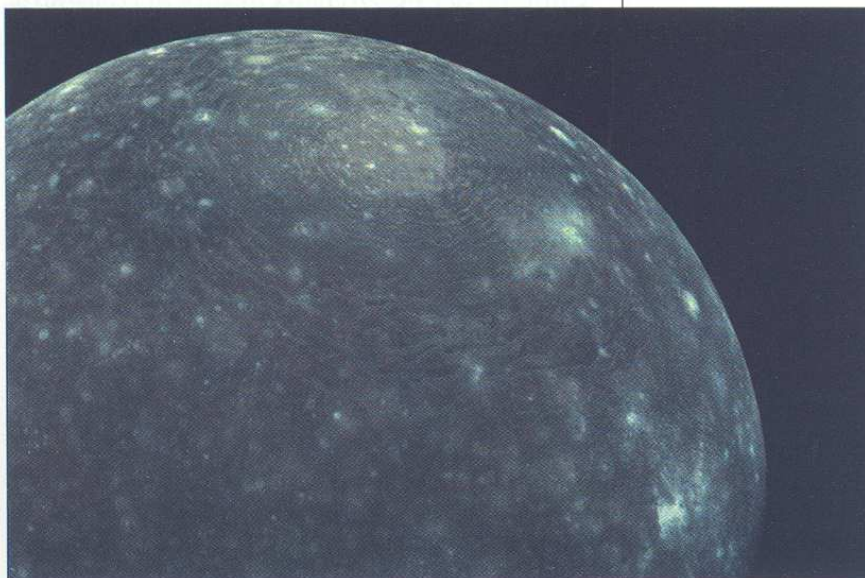
I dati raccolti cominciavano a essere convincenti, e le ricerche riguardo al cratere da impatto ricevettero un ulteriore impulso quando un gruppo di ricercatori californiani, com-



*L'anello esterno del cratere di Chichchulub, che nella sua parte meridionale si trova sulla terraferma, è segnato dalla presenza dei cenotes, un tipo di grotte o doline con presenza di acqua dolce. Il nome deriva dalla parola Maya "dz'onot". Attualmente, il termine è usato anche per descrivere fenomeni carsici simili. Sono chiamati anche sinkholes e contengono profondi laghi di acqua dolce con trasparenza cristallina. Nel caso di Chichchulub la loro origine è associata all'impatto che ha fratturato le rocce calcaree della regione in cui si è verificato.*

prendente Kevin O. Pope, Adriana C. Ocampo e Charles E. Duller, iniziò a studiare accuratamente le immagini satellitari della regione. Si scoprì così che esisteva un anello quasi perfetto di doline o "cenotes" (depressioni da subsidenza) centrato sulla località di Puerto Chichchulub e che combaciava perfettamente con l'anello che Penfield aveva trovato nei suoi dati gravimetrici e geomagnetici. Queste strutture, dette anche "sinkholes", erano state molto probabilmente causate dalla subsidenza

*Il grande bacino da impatto Valhalla su Callisto, il più esterno dei 4 satelliti galileiani di Giove. La macchia chiara centrale ha un diametro di 360 km, mentre il più esterno degli anelli concentrici si trova a circa 1900 km dal centro. È stato creato dalla caduta di un asteroide di oltre 100 km di diametro.*







Lo "strato di Gubbio", risalente a circa 65 milioni di anni fa. In questo strato è presente un'elevata abbondanza di iridio dovuta alla ricaduta sulla superficie terrestre delle polveri provenienti dalla vaporizzazione del corpo cosmico. Un altro aspetto interessante è che nello strato geologico che precede quello di Gubbio è visibile una moltitudine di microfossili, mentre in quello successivo questi sono praticamente assenti.

delle pareti esterne del cratere.

L'ammontare degli indizi era sufficiente per far salire la maggior parte della comunità scientifica dei geologi sul carro di Penfield, e ulteriori studi hanno rafforzato il consenso. Infatti, nel corso degli anni si sono accumulati molti indizi che indicano che la struttura di Chichxulub (che nel dialetto locale significa "la coda del diavolo") sia un cratere "multiring", come quelli che si osservano sulla Luna, su Mercurio e sul satellite gioviano Callisto.

### LA TEORIA DEGLI ALVAREZ

Una caratteristica della transizione tra il periodo Cretaceo e il Terziario (transizione K-T) era l'apparente mancanza di un record stratigrafico completo, e sino alla fine degli anni '70 si riteneva che il limite superiore del Cretaceo fosse andato eroso e praticamente perso.

Agli inizi degli anni '80 quattro ricercatori americani diretti da Walter Alvarez, professore di geologia dell'Università di Berkeley in California, avanzarono una nuova proposta circa la possibile causa della catastrofe avvenuta alla fine del Mesozoico. All'inizio, l'obiettivo della ricerca non era quello di indagare le cause dell'estinzione dei dinosauri, ma di studiare, per mezzo della misura di concentrazioni estremamente piccole di alcuni elementi chimici, la velocità di accumulo del fango nei mari antichi prima che questo si trasformasse in roccia. La tecnica adottata consisteva nel bombardare con neutroni alcuni campioni di argilla per far diventare radioattivi alcuni atomi ivi presenti. Del gruppo faceva parte anche il padre di Walter, Luis Alvarez, che nel 1968 era stato insignito del Premio Nobel per la Fisica per aver elaborato un metodo che permetteva di rendere visibili le particelle elementari con vita media molto breve.

Dopo avere sperimentato svariate possibilità, il gruppo decise di applicare la propria tecnica all'iridio, un elemento piuttosto raro nella crosta terrestre, ma relativamente abbondante in alcuni corpi celesti come gli asteroidi e le co-

mete. In realtà, l'iridio era presente in quantità analoghe a quelle del resto del Sistema Solare anche sulla Terra quando questa si formò, ma poi, essendo un elemento pesante, precipitò, insieme al ferro, al nichel, all'osmio e ad altri elementi simili nelle regioni centrali del nostro pianeta, durante la fase di differenziazione che precedette la solidificazione della crosta, nella quale si fermarono gli elementi più leggeri, come carbonio, calcio e silicio. Pertanto, quel poco di iridio che si trova nelle rocce (meno di una parte su dieci miliardi!) deriva per lo più dalla pioggia di particelle di polvere cosmica ed è una quantità che si calcola possa essere rimasta invariata per tutta la vita del nostro pianeta. Misurando quindi la percentuale di questo elemento nelle rocce, il gruppo degli Alvarez sperava di poter ottenere informazioni relative al tempo impiegato da questo elemento a depositarsi nei sedimenti e quindi, indirettamente, di poter stimare la velocità di formazione delle rocce stesse.

La loro ricerca li portò a Gubbio, la cittadina dell'Umbria nota per le sue ceramiche artistiche, e proprio l'argilla con cui queste ceramiche venivano prodotte da alcuni secoli attrasse l'attenzione del gruppo degli Alvarez. Quando fu analizzato un campione di roccia, spesso un centimetro, corrispondente al periodo di transizione fra Era Mesozoica ed Era Cenozoica, si osservò che il tasso di iridio presente era almeno 100 volte maggiore di quello registrato negli strati un poco più antichi o un poco più recenti. Dal nome della località dove fu individuato per la prima volta, questo strato geologico ha preso il nome di "strato di Gubbio".

Walter Alvarez era convinto che una tale anomala abbondanza di iridio, presente solo in quel sottile strato di roccia, dovesse derivare da un oggetto cosmico di grandi dimensioni in cui questo elemento era molto più abbondante rispetto a quello presente nella crosta terrestre. Ad ogni modo, prima di rendere pubblica la scoperta e le conclusioni che se ne potevano trarre, era necessario verificare se l'arricchimento dell'iridio nelle argille di Gubbio era un fatto locale, se invece si potevano trovare concentrazioni simili in altre parti del mondo. Le ricerche vennero quindi estese in molte località del globo terrestre e perfino sotto il mare dove la nave oceanografica *Glomar Challenger* raccolse alcuni campioni di roccia relativi al periodo in questione, che risultarono mostrare le stesse concentrazioni anomale di iridio riscontrate sulla terraferma. Le ricerche portarono alla scoperta che anche



altri elementi chimici come l'osmio, l'arsenico e il nichel mostravano una concentrazione più abbondante della media nello strato che faceva da confine fra il periodo Cretaceo e il Terziario. Inoltre, si osservò che il numero dei fossili presenti negli strati immediatamente successivi a quelli in cui si era depositata la quantità anomala di iridio era molto scarso.

La genesi di una concentrazione così anomala di questo elemento raro sulla Terra rimase comunque ignota per qualche tempo. A parte una sedimentazione molto lenta e un accumulo di micrometeoriti, una possibile spiegazione, come abbiamo visto suggerita da Alvarez, era l'impatto di un corpo cosmico con un contenuto relativamente abbondante di questo elemento. Ma mancavano ulteriori prove per confermare questa ipotesi.

### IMPATTO COSMICO VS VULCANISMO

Nel 1981 Glen Penfield e Antonio Camargo-Zanoguera, come abbiamo appena raccontato, durante un congresso di geologia presentarono i risultati delle loro ricerche su una particolare struttura geologica scoperta nel corso di una lunga serie di sondaggi geofisici, dedicati alla ricerca di depositi di petrolio, nella regione della penisola dello Yucatàn. I due ricercatori proponevano una nuova interpretazione di questa struttura sepolta sotto uno strato da 300 a 1000 m di sedimenti, ritenuta sino ad allora di origine vulcanica. Ma come abbiamo visto la loro ipotesi che si trattasse di una struttura da impatto non suscitò molto interesse. Soltanto 10 anni più tardi alcuni ricercatori dell'Università dell'Arizona studiarono attentamente la struttura e eseguirono le prime datazioni precise, che fornivano un'età di circa 65 milioni di anni.

Delle ulteriori ricerche effettuate nel 1993 confermarono che la struttura della penisola dello Yucatàn era in realtà un cratere da impatto di morfologia complessa, con un piccolo centrale circondato da anelli concentrici e con un diametro complessivo di circa 180 km.

Dato che l'età del cratere coincideva con quella dello "strato di Gubbio", Alvarez pensò di avere scoperto l'impatto responsabile dell'anomalia dell'iridio e quindi la "pistola fumante" della grande estinzione di massa che caratterizzò la transizione dal periodo Cretaceo a quello Terziario.

Nei primi anni dello scorso decennio furono effettuati dei carotaggi sistematici della struttura da impatto di Chixchulub, nell'ambito del progetto *Chixchulub Scientific Drilling Project*, per studiare la stratigrafia del cratere.



*Immagine di uno shatter cone. Quando le rocce sono sottoposte a un'altissima pressione di tipo impulsivo (onda d'urto) si frammentano in questa forma conica caratteristica.*

Sono stati così recuperati sedimenti a partire da 400 a oltre 1500 m di profondità. Fino a 795 m prevalgono siltite e arenarie carbonatiche, poi seguono 100 m di breccia, interpretata come roccia fratturata a seguito dell'impatto.

La breccia da impatto e il materiale fuso prelevati con i carotaggi sono stati datati tramite isotopi dell'argon a circa 65 milioni di anni fa; inoltre anche il materiale espulso dal cratere e depositatosi su tutto il globo è stato datato a 65,07 $\pm$ 0,1 milioni di anni fa.

Considerando che le dimensioni di un cratere da impatto variano da 10 a 20 volte quelle dell'impatto, l'oggetto cosmico che provocò la catastrofe doveva avere un diametro compreso tra 10 e 20 km. È bene anche ricordare che le velocità di impatto tipiche di corpi cosmici con il nostro pianeta sono dell'ordine delle decine di km/s (diverse decine di migliaia di km/h).

Le conseguenze più immediate e devastanti di una collisione cosmica di questo genere sono senz'altro state quelle immediatamente successive all'impatto nella regione direttamente interessata all'evento e in quelle circostanti. Terremoti di potenza inaudita, onde di tsunami alte centinaia di metri e un'onda d'urto che ha spazzato via tutto ciò che incontrava in un raggio di centinaia di km. Ma le conseguenze su scala globale furono dovute alla successiva immissione nell'atmosfera di un'enorme quantità di polveri e vapori che, trasportati dalle correnti stratosferiche, in tempi brevi avvolsero il globo terrestre impedendo ai raggi del Sole di raggiungere la superficie. È stato calcolato che la sovrabbondanza totale di iridio presente nello straterello di argilla di 65 milioni di anni fa ammonta a circa cinquemila tonnellate. Ebbene, per depositare una tale quantità di questo elemento bisognava ipotizzare l'impatto di un corpo cosmico con un diametro di almeno 8 km e con una massa di



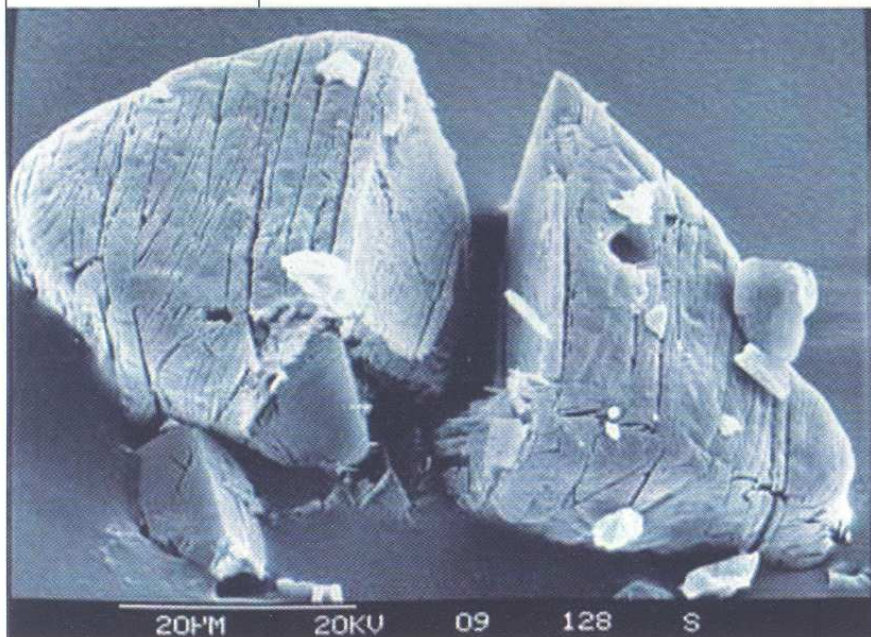


Immagine al microscopio elettronico di un grano di quarzo che mostra le cosiddette Planar Deformation Features (PDF), piani di frattura paralleli causati da un'altissima pressione di tipo impulsivo (onda d'urto).

alcuni milioni di tonnellate, quindi di un oggetto di dimensioni simili a quelle del nucleo della cometa di Halley.

L'oscuramento totale o parziale del Sole sarebbe durato alcuni anni, rendendo impossibile la fotosintesi clorofilliana. A seguito di ciò si sarebbe interrotto il primo anello della catena alimentare, lasciando senza nutrimento gli erbivori e di conseguenza anche i carnivori che degli erbivori si cibavano. Furono invece solo parzialmente colpiti quegli animali onnivori che basavano la loro dieta su qualsiasi cosa riuscivano a trovare, come insetti, vermi, larve, ecc. Questo sarebbe il motivo per il quale gli animali di acqua dolce, cioè pesci, anfibi e alcuni rettili furono solo parzialmente colpiti dal disastro.

Nonostante la straordinaria coincidenza temporale tra l'età del cratere da impatto di Chixchulub e la transizione tra il periodo Cretaceo e quello Terziario, vi sono ancora alcuni scienziati che rimangono dubbiosi e preferiscono cercare la causa del disastro ambientale all'interno del pianeta. Costoro sono convinti che un'intensa attività vulcanica potrebbe spiegare altrettanto bene l'abbondanza dell'iridio nel periodo di transizione fra l'Era Mesozoica e l'Era Cenozoica e la fine di gran parte di animali e piante che si verificò in quel tempo lontano.

Si è osservato, infatti, che alcuni vulcani che emettono lave basaltiche, come ad esempio quelli hawaiani, portano in superficie grandi quantità di iridio. Questi vulcani si trovano in corrispondenza dei cosiddetti "punti caldi" (*hot spots* in inglese), cioè zone della crosta terrestre in cui dal mantello profondo provengono flussi

di magma ricco di elementi pesanti. Un'intensa attività vulcanica avrebbe anche liberato quantità enormi di polveri e anidride carbonica, il gas responsabile dell'attuale surriscaldamento globale per effetto serra. Un notevole aumento della temperatura avrebbe creato dei problemi in particolare agli animali di grandi dimensioni, come appunto i dinosauri. Più un animale è grande più il rapporto fra la sua superficie e il suo volume è piccolo, e quindi, poiché attraverso la superficie del corpo avvengono gli scambi di calore con l'ambiente esterno, un animale di grandi dimensioni si riscalderebbe più lentamente di uno piccolo, ma si raffredderebbe anche più lentamente. I giganteschi dinosauri avrebbero quindi fatto fatica a disperdere il calore accumulato, morendo letteralmente di caldo.

Anche in questo caso esiste la prova che in quel periodo l'attività vulcanica fu eccezionalmente intensa. In India, per esempio, in tempi relativamente brevi e proprio nel periodo che sta a cavallo fra l'Era Mesozoica e quella Cenozoica, si accumularono enormi quantità di lave basaltiche, i famosi *traps* del Deccan, colate dello spessore di alcune migliaia di metri ed estese per centinaia di migliaia di km<sup>2</sup>. Nonostante l'incontestabile esistenza dei *traps* del Deccan, l'ipotesi vulcanica di questo straordinario evento presenta alcuni punti deboli, a cominciare dal fatto che il vulcanismo basaltico non è di tipo esplosivo come avrebbe dovuto essere l'eruzione per spiegare l'enorme nube di polvere e gas nonché la distribuzione di iridio su tutta la superficie del nostro pianeta. Inoltre, molti flussi di lava sono inframmezzati da orizzonti terrosi i quali indicano che il vulcanismo del Deccan è continuato troppo a lungo (mezzo milione di anni) perché possa spiegare un evento di breve durata come l'estinzione connessa alla transizione K-T.

Si è tentato anche di conciliare le due ipotesi, quella del meteorite caduto dal cielo e quella delle eruzioni vulcaniche, immaginando che queste ultime siano state innescate proprio dall'impatto del corpo cosmico. Si ritiene ad esempio che l'Islanda, isola vulcanica che si trova in corrispondenza di un punto caldo e nella quale non sono state mai raccolte rocce di età superiore ai 65 milioni di anni, potrebbe essere emersa proprio a seguito dell'impatto di un asteroide.

Un recente studio, basato sulle analisi di rocce sedimentarie depositatesi durante la transizione tra il Cretaceo e il Terziario, mostra che questo periodo ha avuto una durata di appena 10.000 anni. Per giungere a questo risultato, i ricercatori hanno analizzato le abbondanze di



elio-3 nei sedimenti. La quantità di questo isotopo riflette la quantità di polvere interplanetaria che cade sulla Terra e, se opportunamente calibrata, può fornire una stima accurata del tempo occorso per la deposizione di uno strato di sedimento. Ovviamente, affinché il metodo sia valido, bisogna assumere che la velocità di deposizione dell'isotopo sia costante. La ricerca ha indicato che lo strato di sedimenti dovrebbe essersi accumulato in circa 10.000 anni: un tempo molto breve su scala geologica, che pare confermare quindi la teoria secondo cui i dinosauri sarebbero stati spazzati via in seguito a un unico breve evento catastrofico, come la caduta di un corpo cosmico. Il fatto poi che non si notino concentrazioni anormalmente elevate dell'isotopo indica anche che il corpo impattante deve essere stato un asteroide, e non una cometa che avrebbe deposto una grande quantità di elio-3 in un tempo molto breve. La scoperta sembra quindi confutare la teoria "cugina", secondo cui l'estinzione di massa sarebbe stata provocata dai cambiamenti climatici conseguenti a un periodo di intense eruzioni vulcaniche, considerando anche il fatto che la loro lunga durata risulta essere incompatibile con queste più recenti misure.

## II MONDO DOPO CHIXCHULUB

Il limite Cretaceo-Terziario (K-T) segna una profonda discontinuità nella storia della Terra. I primi geologi hanno fatto bene a sceglierlo come linea di demarcazione tra le ere fondamentali della storia della vita: quella Mesozoica e quella Cenozoica, l'era della Vita Media e l'era della Vita Recente. Dopo l'impatto di Chixchulub, 65 milioni di anni fa, la vita sul nostro pianeta cambiò per sempre. Il regno lungo e stabile dei dinosauri venne distrutto da un evento casuale. Il nostro pianeta, successivamente a questo periodo di discontinuità, si popolò di animali diversi, e i mammiferi, prima insignificanti, hanno finito per risultare la specie dominante.

È bene ricordare che tutti noi discendiamo da antenati sconosciuti che sopravvissero alle conseguenze dell'impatto dell'oggetto cosmico che fu fatale per un grande numero di specie viventi. Questi nostri lontanissimi progenitori sopravvissero, mentre scomparvero i dinosauri, ed è per questo motivo che noi adesso siamo qui, come individui e come specie. Quel terribile giorno ha reso vani i vantaggi che oltre 150 milioni di anni di selezione naturale avevano conferito ai dinosauri, rendendoli sempre più adatti a essere i più grandi animali terrestri. L'evoluzione non li aveva equipag-

giati per resistere ai disastri ambientali inflitti da un enorme impatto.

E, a onor del vero, non aveva provveduto nemmeno i mammiferi della necessaria resistenza agli effetti conseguenti a collisioni con corpi celesti, ma in qualche modo questi riuscirono comunque a sopravvivere. Nessuno sa perché, ma può essere stato di aiuto il fatto che fossero più piccoli e molto più numerosi dei dinosauri, e che quindi ci fossero maggiori probabilità statistiche che qualcuno di loro sopravvivesse.

Quando le distruzioni ambientali derivanti dall'impatto furono "cicattrizzate" dall'ecosistema terrestre, i mammiferi sopravvissuti emersero in un mondo nuovo, caratterizzato da grandi pericoli ma anche da grandi opportunità. Ogni specie si evolve per vivere in un modo specifico, per occupare cioè una certa nicchia ecologica. Alcune nicchie devono essere state eliminate dall'estinzione, nel senso che qualsiasi specie di mammiferi che in qualsiasi modo dipendeva dai dinosauri o che dipendeva da una pianta scomparsa si sarà probabilmente estinta. Devono essersi aperte altre nicchie, le più notevoli destinate a grandi animali terrestri. Prima dell'estinzione, i dinosauri possedevano delle proprie nicchie e tutti i mammiferi erano piccoli. Ma, dopo questo terribile evento, una delle caratteristiche più notevoli dell'evoluzione dei mammiferi terrestri al limite K-T è stata la rapidità. Inoltre, il numero delle specie di mammiferi è salito rapidamente, perché questi animali evidentemente sono stati capaci di adattarsi a vari tipi di nuovi ambienti, trovando nuovi modi per sfruttare il mondo intorno a loro.

Dalla nostra prospettiva di esseri umani, uno degli eventi più importanti della storia della vita è stato l'emergere dell'intelligenza umana e delle sue manifestazioni: lingua, scrittura, civiltà, scienza, tecnologia e arti. È stata la conquista senza precedenti di un'unica specie di mammiferi, l'*Homo sapiens*. Ciò è avvenuto a un ritmo rapidissimo rispetto ai tempi scala geologici. I 35.000 anni di cultura umana avanzata sembrano un periodo lungo rispetto alla durata della nostra vita, ma in termini geologici è un insignificante intervallo di 0,035 milioni di anni! Quello che riusciremo a fare con le nostre capacità non è ancora chiaro, ma agli inizi del nuovo millennio forse l'attività intellettuale più notevole della nostra specie è lo sforzo scientifico internazionale, il lavoro globale per capire il cosmo, il pianeta su cui viviamo, la vita nelle sue varietà quasi infinite e le leggi della Natura che soggiacciono a tutto ciò che possiamo vedere e studiare. ■