

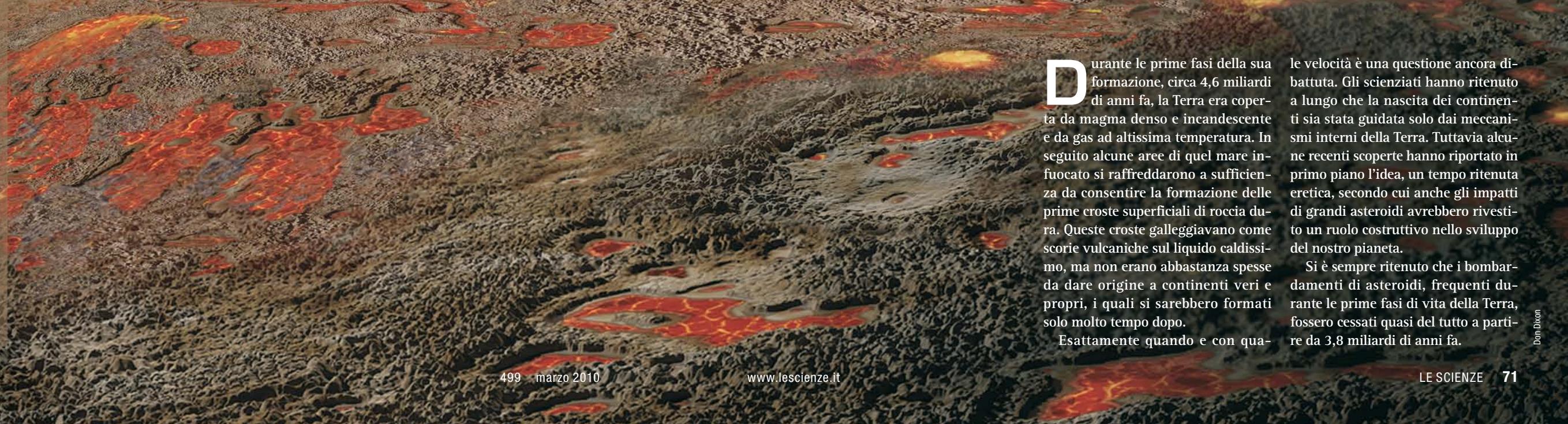
L'origine violenta dei continenti

Una nuova ipotesi basata su recenti osservazioni geologiche suggerisce che violenti impatti di asteroidi hanno contribuito alla nascita dei continenti

di Sarah Simpson

IN SINTESI

- I bombardamenti di asteroidi avvenuti durante le prime fasi della formazione della Terra sono durati più a lungo di quanto si pensasse.
- Nuove prove mostrano che nove grandi impatti si sono verificati tra 3,8 e 2,5 miliardi di anni fa, nell'eone che ha visto la formazione dei primi continenti.
- Secondo una nuova ipotesi, questi impatti non furono totalmente distruttivi, ma potrebbero aver contribuito alla nascita dei continenti.



Durante le prime fasi della sua formazione, circa 4,6 miliardi di anni fa, la Terra era coperta da magma denso e incandescente e da gas ad altissima temperatura. In seguito alcune aree di quel mare infuocato si raffreddarono a sufficienza da consentire la formazione delle prime croste superficiali di roccia dura. Queste croste galleggiavano come scorie vulcaniche sul liquido caldissimo, ma non erano abbastanza spesse da dare origine a continenti veri e propri, i quali si sarebbero formati solo molto tempo dopo.

Esattamente quando e con qua-

le velocità è una questione ancora dibattuta. Gli scienziati hanno ritenuto a lungo che la nascita dei continenti sia stata guidata solo dai meccanismi interni della Terra. Tuttavia alcune recenti scoperte hanno riportato in primo piano l'idea, un tempo ritenuta eretica, secondo cui anche gli impatti di grandi asteroidi avrebbero rivestito un ruolo costruttivo nello sviluppo del nostro pianeta.

Si è sempre ritenuto che i bombardamenti di asteroidi, frequenti durante le prime fasi di vita della Terra, fossero cessati quasi del tutto a partire da 3,8 miliardi di anni fa.

Tre miliardi di anni fa si è formato il primo vero continente: una distesa di roccia arida ricoperta di vulcani

A quell'epoca il pianeta si era raffreddato abbastanza da permettere ai neonati oceani di ospitare le prime forme microscopiche di vita. E si riteneva che in seguito i grandi impatti fossero stati rari e distruttivi (come quello che portò alla scomparsa dei dinosauri). Di recente però si è scoperto che la Terra subì una serie di collisioni imponenti durante l'eon Archeano, tra 3,8 e 2,5 miliardi di anni fa. Ma il potenziale distruttivo degli impatti sembrerebbe contrastare con il fatto che l'Archeano fu il periodo più produttivo nella formazione di continenti. Si stima che il 65 per cento dell'attuale crosta continentale si sia formato proprio in quell'eon.

Per risolvere questa apparente incongruenza, i geologi stanno analizzando rocce antiche alla ricerca di indizi che spieghino come queste collisioni hanno dato forma alla Terra. Dopo quarant'anni di lavoro sul campo, Andrew Y. Glikson, dell'Australian National University di Canberra, si è convinto che alcuni impatti con oggetti extraterrestri abbiano contribuito alla formazione dei primi continenti, compresi quelli i cui resti sono conservati in rocce del Sudafrica e dell'Australia occidentale.

Molti scienziati affermano però che le prove dirette di eventi così remoti nel tempo sono rare e controverse. Ma le simulazioni al computer dei possibili effetti di grandi impatti sembrerebbero dare un minimo di credito all'ipotesi di Glikson. Forse è presto per liquidare la teoria classica sulla formazione dei continenti, ma anche i più scettici riconoscono che vale la pena di esaminare a fondo gli effetti di queste potenti forze di origine spaziale.

Terra in vista!

Per decenni, prima che la potenziale influenza degli asteroidi dell'Archeano finisse al centro dell'attenzione, gli scienziati hanno cercato di ca-

pire come hanno avuto origine i continenti. Ma l'impegno dei ricercatori è sempre stato complicato dal fatto che il processo di formazione delle masse continentali è estremamente complesso: richiede la formazione di uno strato di crosta abbastanza spesso e leggero da galleggiare sul mantello, ed è proprio questa caratteristica a rendere l'attuale crosta continentale molto diversa rispetto alla crosta che si trova sul fondo degli oceani. Quest'ultima, ricca di ferro, è relativamente sottile e densa, e affonda facilmente, in genere entro 200 milioni di anni dalla sua formazione. La crosta continentale, invece, contiene rocce meno dense, come il granito, che hanno permesso ad alcuni frammenti di rimanere a galla, come iceberg sul mare, per quasi quattro miliardi di anni.

La storia dell'origine dei continenti cambia da un libro di testo all'altro, ma una versione comune recita più o meno così: durante brevi pause tra i vari bombardamenti di asteroidi, la tendenza della Terra a raffreddarsi portò alla formazione di crosta superficiale. Questa crosta però non era continua, ma frammentata in tanti pezzi che scivolavano sul magma in ebollizione. Dall'interno del mantello salivano pennacchi di roccia incandescente, che si raffreddavano a contatto con la superficie per poi affondare nuovamente, trascinando quei frammenti di crosta ultradensa. Nel frattempo i gas emessi dai vulcani creavano un'atmosfera primitiva, e la condensa ricadeva sotto forma di pioggia, generando oceani poco profondi che sommersero la sottile crosta di magma solidificato.

L'embrione dei primi continenti si formò quando il calore dei pennacchi fuse parzialmente porzioni di crosta, permettendo ai minerali più leggeri, che hanno un punto di fusione più basso, di separarsi da quelli più pesanti. Essendo più leggero

della roccia circostante, questo nuovo magma tendeva a risalire in superficie e, una volta solidificato, aveva meno probabilità di riaffondare.

Cicli ripetuti di fusione e separazione del magma più leggero portarono alla formazione del granito. È impossibile stabilire con certezza quando si verificarono questi processi, ma c'è una loro traccia che risale ai primi 160 milioni di anni di vita della Terra: minuscoli cristalli di zircone dell'età di 4,4 miliardi di anni, erosi da un granito primordiale e in seguito depositati in rocce sedimentarie più giovani in quella che oggi è l'Australia (si veda *Il grande freddo della giovane Terra*, di John W. Valley, in «Le Scienze» n. 448, dicembre 2005).

Probabilmente questo granito fu un componente minore delle masse rocciose che per prime emerse dalla superficie degli oceani. Di sicuro questi proto-continenti furono poca cosa rispetto ai continenti attuali, che coprono il 30 per cento della superficie del pianeta e hanno uno spessore medio di 35 chilometri. È anche probabile che la crescita dei proto-continenti sia stata lenta, analogamente a quanto osserviamo oggi: le collisioni tra proto-continenti produssero ammassi di crosta sempre più spessi, e i pennacchi che salivano dal mantello facilitarono l'uscita di nuovo magma.

Per la maggior parte dei geologi, il primo continente vero e proprio si formò 3 miliardi di anni fa, probabilmente aveva l'aspetto di un arido cumulo di roccia ricoperto di vulcani e quasi sicuramente era più piccolo dell'attuale Australia. È anche possibile che i cratoni dei moderni continenti australiano e africano, ossia le loro parti più antiche, facessero parte di questo continente originario. Bruce M. Simonson, geologo dell'Oberlin College, negli Stati Uniti, fa notare che il cratone Pilbara, nell'Australia nordoccidentale, e il cratone Kaapvaal, nel-

le Barberton Mountain Lands del Sudafrica, «sono molto simili dal punto di vista geologico». «Sono convinto del fatto che Barberton e Pilbara fossero parte di un unico continente poi diviso in due», afferma Simonson, che ha passato mesi a studiare gli aridi affioramenti rocciosi di entrambe le regioni.

Non sappiamo quale area del mondo ospitò il primo continente, ma il continuo movimento del magma all'interno del pianeta ruppe quella primigenia massa rocciosa, producendone altre. Una successiva serie ben documentata di spaccature e fusioni portò alla disposizione attuale.

Sapere dove cercare

Il movimento delle placche spiega in modo chiaro l'evoluzione dei continenti dalla loro giovinezza fino all'età adulta; che cosa sia successo nelle primissime fasi della vita dei continenti, però, non è ancora chiaro. Per avere qualche indizio, alcuni geologi hanno deciso di studiare le antiche formazioni rocciose del Sudafrica e dell'Australia. In confronto ai cratoni di altri continenti recenti, le formazioni del Kaapvaal e del Pilbara sono state meno soggette a metamorfismi, e sono tra gli esemplari meglio conservati di crosta archeana. Di particolare interesse all'interno di questi cratoni sono le *greenstone belt*, formazioni rocciose originate tra 3,5 e 2,4 miliardi di anni fa, proprio all'epoca della nascita dei primi continenti.

A partire dagli anni settanta, la maggior parte dei geologi ha interpretato le *greenstone belt* come l'equivalente minerale degli archi di isole vulcaniche che si formano lungo i margini delle placche tettoniche in collisione (e che successivamente diventano parte dei continenti). Durante queste collisioni, che possono continuare per milioni di anni, la placca inferiore si immerge sempre più nel man-

La nascita dei continenti

4,6 miliardi di anni fa

UN OCEANO DI MAGMA INCANDESCENTE

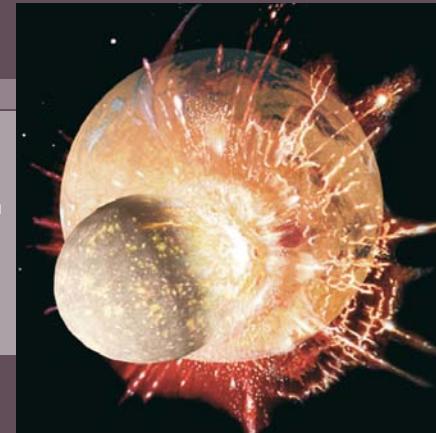
Formatasi dai detriti che orbitano all'interno della nebulosa solare, la Terra è una sfera di magma e gas incandescenti.



4,5 miliardi di anni fa

UNA PIOGGIA DI ASTEROIDI

Perdendo calore, il pianeta solidifica, ma gli impatti con enormi asteroidi (uno probabilmente delle dimensioni di Marte) distruggono quasi tutta la crosta appena formata.



3,2 miliardi di anni fa

LE PRIME TERRE EMERSE

Frammenti di crosta già esistenti vengono parzialmente fusi e amalgamati, formando il primo vero continente. Gli impatti continuano, sebbene con frequenza minore.



1,1 miliardi di anni fa

IL PRIMO SUPERCONTINENTE

I vari frammenti di crosta collidono e si uniscono, formando il primo supercontinente: Rodinia.



Gli impatti avvenuti all'inizio dell'Archeano hanno prodotto effetti non trascurabili

tello, formando profonde fosse note come zone di subduzione. Quando le isole giungono al bordo della fossa non vengono trascinate nel mantello insieme al resto della crosta, ma vengono erose dal margine della placca superiore. La Sierra Nevada e altre catene montuose degli Stati Uniti occidentali si sono formate in questo modo.

Secondo Glikson però questo modello di crescita continentale non spiega tutte le caratteristiche geologiche osservate nelle greenstone belt. Anni fa, infatti, studiando le formazioni sudafricane e australiane, Glikson ha scoperto che i segmenti più antichi delle greenstone belt (di età compresa tra 3,5 e 3 miliardi di anni) sembravano accumulati verticalmente, come se strati di materiale eroso si fossero depositati a più riprese tra masse di magma granitico deformate dalle forze provenienti dal mantello. Queste formazioni non presentavano i segni tipici della subduzione, cioè sedimenti e materiali vulcanici accumulati orizzontalmente.

La mancanza di prove di subduzione non deve stupire. La maggior parte degli scienziati ritiene che all'inizio dell'Archeano la tectonica delle placche fosse meno efficiente di oggi, o addirittura assente. Il pianeta infatti era più caldo, e i flussi convettivi che determinavano il movimento delle placche erano meno intensi. Secondo Glikson, quindi, deve essersi verificato un evento improvviso durante la formazione delle parti più antiche delle greenstone belt. Le specifiche età di diverse rocce ritrovate al loro interno suggeriscono che enormi masse di granito si siano formate durante una serie di episodi improvvisi e ben definiti. Se però non si è trattato di subduzione, qual è stata la forza che ha determinato questi cambiamenti?

Spinto da questi dubbi, Glikson ha cercato altre spiegazioni per il fenomeno che ha dato forma al pianeta durante l'Archeano. Sapeva che uno dei fattori ignorati dai geologi erano gli impatti di asteroidi e comete. I bombardamenti di asteroidi raggiunsero un picco di intensità intorno a 3,9 miliardi di anni fa, per poi continuare, come indicato dagli studi sui crateri lunari, fino a circa 3,2 miliardi di anni fa. Questi ultimi bombardamenti potrebbero avere avuto un ruolo? Il primo passo era trovare prove convincenti del fatto che questi impatti fossero effettivamente avvenuti. Era possibile che le prove fossero andate perse? O erano i geologi che non le avevano individuate correttamente?

Impatti profondi

Nel 1986 due geologi statunitensi avevano risposto all'ultima domanda. Durante l'annuale spedizione sulle Barberton Mountains, Donald R. Lowe, della Stanford University, e Gary R. Byerly,

della Louisiana State University, avevano scoperto un sottile strato di antichi sedimenti marini contenente centinaia di microscopiche sfere cave di un materiale simile al vetro. Esaminate più da vicino, le sfere erano apparse quasi identiche alle cosiddette sferule da impatto che erano diventate la prova più convincente della teoria secondo cui, 65 milioni di anni fa, un asteroide mise fine al regno dei dinosauri. Le sferule di Barberton, risalenti a 3,5 miliardi di anni fa, e un altro letto di sferule trovato nel cratone australiano di Pilbara erano le prime prove di un impatto avvenuto durante l'Archeano tra un grande oggetto extraterrestre e la Terra.

In seguito sono arrivate altre scoperte. Lowe e Byerly sapevano che le sferule prodotte dall'impatto responsabile dell'estinzione dei dinosauri si distribuirono su tutto il pianeta, quindi avevano stabilito una correlazione tra le sferule di Barberton e quelle rinvenute a Pilbara; inoltre avevano individuato due depositi di sferule in Sudafrica, ciascuno datato a circa 3,2 miliardi di anni fa. All'inizio degli anni novanta, nel corso di una spedizione a Pilbara, anche Simonson aveva scoperto alcuni depositi di sferule. In questo caso, però, l'età era di 2,5 miliardi di anni, il che indicava che gli impatti di asteroidi continuarono oltre la fine dell'Archeano.

Questo nuovo scenario ha permesso di raccogliere ulteriori informazioni sugli asteroidi e sui loro effetti. Per esempio in base alla composizione delle sferule, ricche di magnesio e ferro, Lowe e Byerly avevano dedotto che molto probabilmente gli asteroidi colpirono la roccia densa di un bacino oceanico, lontano dalle aree dove poi le sferule si depositarono. I segni di maremoti planetari che accompagnano ciascun deposito di sferule scoperto in Sudafrica hanno rafforzato l'ipotesi secondo cui l'impatto avvenne in mare e non sulla terraferma. Glikson aveva notato che l'epoca di questi impatti coincide con la formazione nelle rocce del Pilbara di «un gran numero di massi spigolosi, con blocchi larghi fino a 250 metri». Questo caotico insieme di rocce è il risultato del sollevamento e del successivo collasso della superficie terrestre lungo le faglie sismiche dell'area. Non a caso, uno degli effetti immediati dell'impatto con un grande asteroide sarebbe stato proprio una serie di forti terremoti.

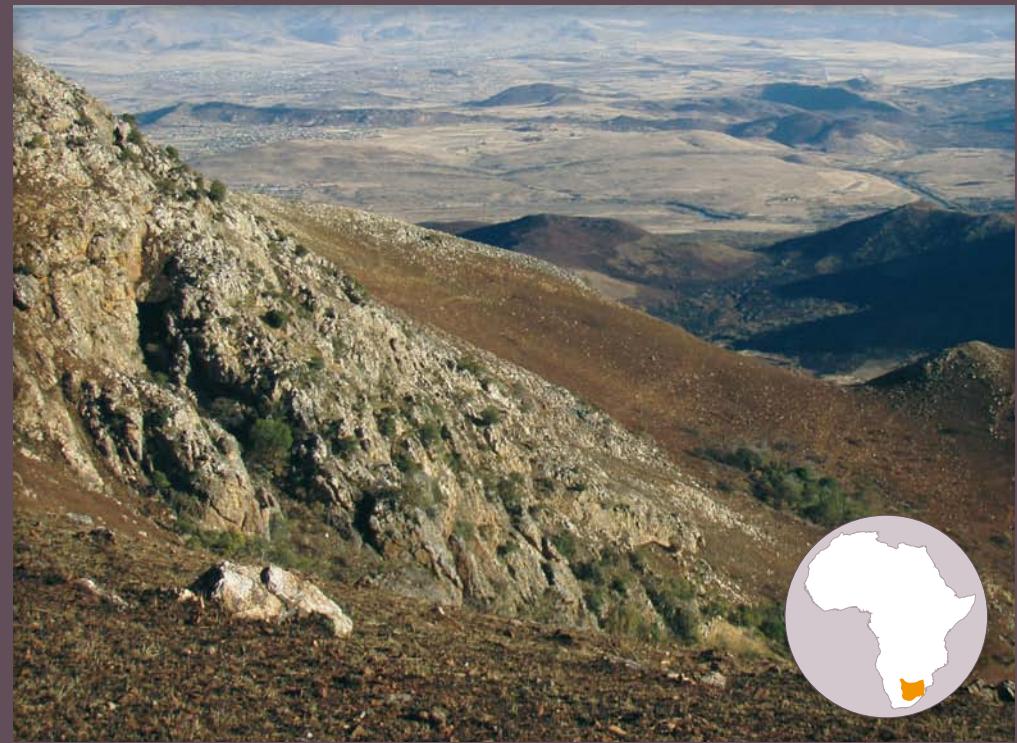
Ovviamente questi impatti avvenuti all'inizio dell'Archeano produssero effetti non trascurabili. Sulla base della distribuzione delle sferule e del confronto con i materiali emessi durante impatti precedenti, Lowe e Byerly avevano stimato che gli asteroidi erano decisamente grandi: tra 20 e 50 chilometri di diametro. (Per dare un'idea, si pensa che l'asteroide che estinse i dinosauri non superasse i 15 chilometri di diametro.) Questi ordini di

Un antico continente ferito dagli asteroidi

Le tracce più importanti riguardo alla nascita dei continenti si trovano in Sudafrica e in Australia. Secondo alcuni geologi, alcune parti delle Barberton Mountains, in Sudafrica (*qui sotto a destra*), e della regione del Pilbara, nell'Australia nordoccidentale (*in basso*), sono ciò che resta di una massa continentale un tempo unita. Fino a oggi, gli scienziati al lavoro in quest'area hanno scoperto le tracce di almeno nove grossi impatti di asteroidi avvenuti tra 3,5 e 2,5 miliardi di anni fa. Ogni asteroide avrebbe prodotto uno strato di sferule da impatto (*qui sotto a sinistra*).

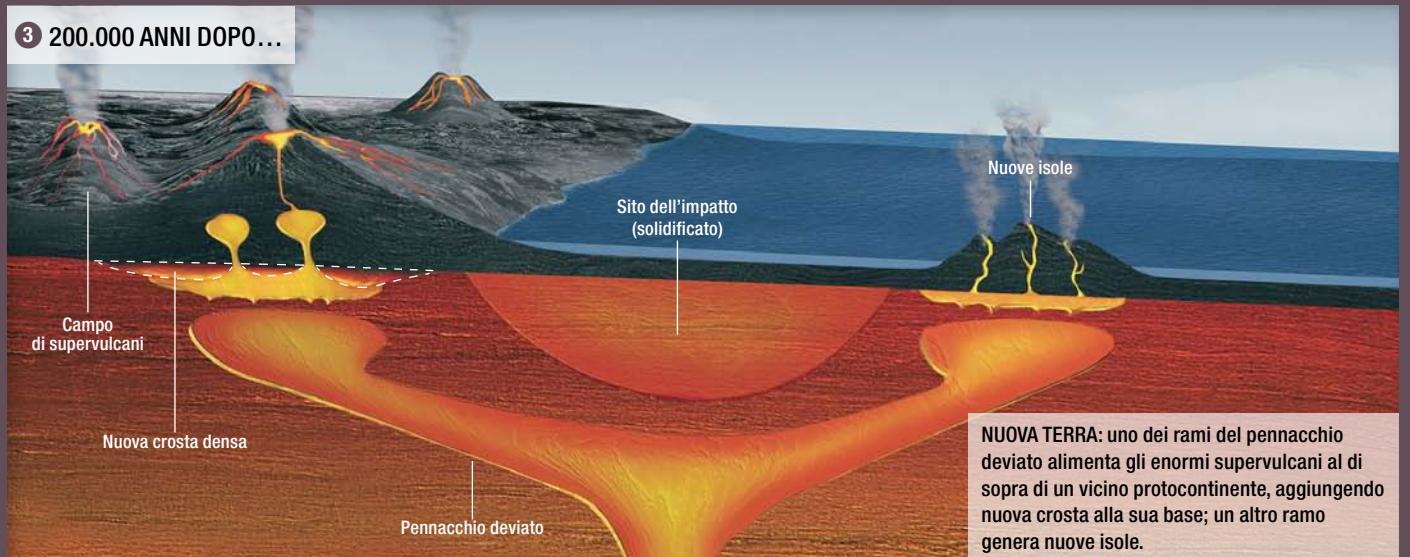
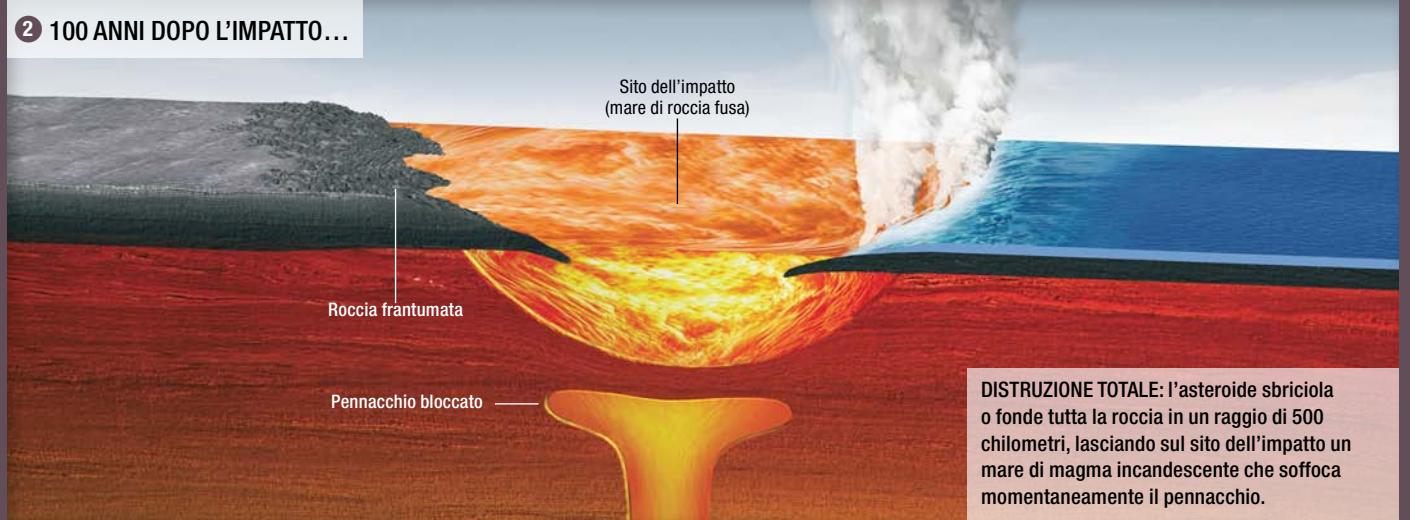
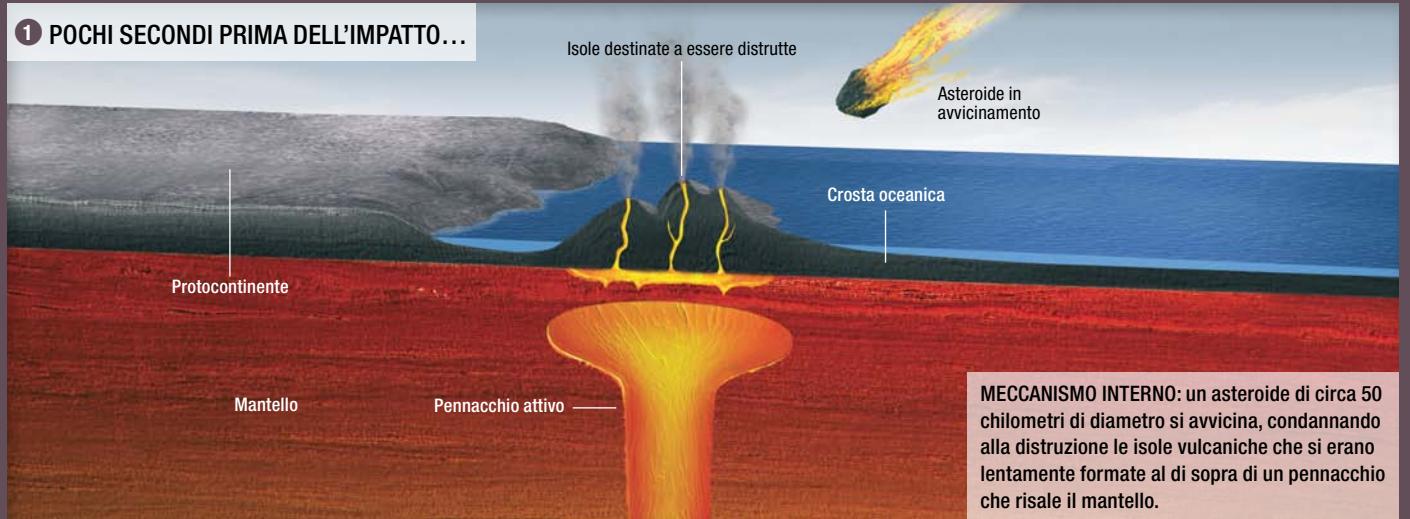


▲ 2,5 miliardi di anni fa un asteroide si scontrò con la Terra. La nube di roccia vaporizzata sollevata dall'impatto fu dispersa dal vento per tutto il globo. Raffreddandosi, il vapore di roccia si condensò, formando strutture con dimensioni della sabbia, chiamate sferule da impatto (*nella foto*), che precipitarono e rimasero intrappolate negli strati di sedimenti marini oggi visibili sulle colline dell'Australia nordoccidentale.



Dal caos cosmico alla formazione di nuova crosta

Miliardi di anni fa, i pennacchi che risalivano all'interno del mantello terrestre producevano nuova crosta più o meno allo stesso modo in cui avviene oggi: il magma incandescente risaliva e fondeva parzialmente la roccia soprastante, alimentando fenomeni vulcanici che aumentavano lo spessore della crosta (1). L'impatto con un grosso asteroide potrebbe aver temporaneamente bloccato questo meccanismo (2). Ma alcune simulazioni al computer suggeriscono che sul lungo periodo una collisione del genere potrebbe aver prodotto un effetto costruttivo, deviando il pennacchio verso le zone circostanti (3).



grandezza hanno suggerito a Glikson un possibile ruolo degli asteroidi dell'Archeano nella formazione dei continenti. Il ricercatore ha quindi prestato attenzione ad altri cambiamenti improvvisi avvenuti contemporaneamente a una serie di impatti che potevano chiarire la questione: gli stessi impatti che Lowe e Byerly avevano scoperto nei sedimenti che si depositarono in Sudafrica 3,2 miliardi di anni fa.

In un articolo recente Glikson ha osservato che l'epoca di questi impatti coincide con l'emersione di queste aree al di sopra del livello del mare e, presumibilmente, con la formazione di un nuovo continente. Nello specifico, le rocce formatesi prima degli impatti consistono in spessi strati di crosta oceanica e in sedimenti che normalmente si formano sul fondo marino. Durante il periodo degli impatti, invece, questi strati basaltici sono deformati, sollevati ed erosi: il tipo di trasformazioni facilmente associabile all'impatto con un asteroide. Tutte le rocce formatesi successivamente agli impatti, invece, sono composte dai resti erosi di rocce che si potevano formare solo sulla terraferma. Questi cambiamenti lasciano pensare che poco dopo gli impatti grandi forze dall'interno del mantello abbiano sollevato la crosta al di sopra della superficie del mare, formando graniti e altri tipi di roccia continentale che poi sono stati erosi.

Glikson inoltre ha suggerito che siano stati gli asteroidi a causare quei sollevamenti. L'elemento cruciale della tesi sarebbero le grandi intrusioni di magmi granitici risalenti a circa 3,2 miliardi di anni fa presenti sia nel Pilbara sia a Kaapvaal. La vicinanza temporale degli impatti e della formazione del magma non sarebbe una coincidenza, ma lascerebbe invece intuire una relazione di causa ed effetto. Secondo il ricercatore, la forza degli impatti «causò sia il sollevamento dei primi continenti sia le intrusioni di magmi granitici, che testimonierebbero l'origine violenta di almeno una parte della crosta continentale». La questione più critica però riguarda i processi che avrebbero generato il magma. Secondo Glikson, fu la forza distruttiva di impatti avvenuti 3,2 miliardi di anni fa ad alterare i movimenti convettivi del mantello, dando origine a nuovi pennacchi che riscaldarono e modificarono la crosta.

Critiche costruttive

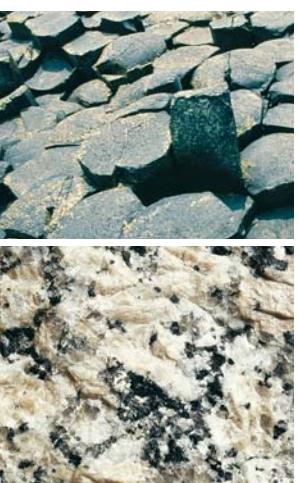
La plausibilità delle affermazioni di Glikson dipende sostanzialmente dalle dimensioni degli asteroidi considerati. Dal punto di vista della Terra un asteroide delle stesse dimensioni di quello che causò l'estinzione dei dinosauri sarebbe poco più che un «moscerino sul parabrezza», sostiene Simon-

son. Dimensioni doppie però potevano produrre effetti più marcati. In particolare, secondo Jay Melosh, geofisico della Purdue University, un asteroide di almeno 50 chilometri di diametro poteva effettivamente alterare i flussi di calore interni alla Terra. Basandosi su simulazioni al computer, Melosh riesce a descrivere il modo in cui un asteroide di dimensioni sufficientemente grandi precipitato sulla Terra all'inizio dell'Archeano avrebbe contribuito alla formazione di un continente (*si veda il box nella pagina a fronte*).

In questo scenario ipotetico, un asteroide di 50 chilometri di diametro si schianta su un bacino oceanico a circa 20 chilometri al secondo. Un impatto di questo tipo non forma un cratere, ma genera un enorme mare di roccia fusa largo circa 500 chilometri e profondo altrettanto. Se un simile lago di magma si fosse formato in corrispondenza di un pennacchio, il suo intenso calore avrebbe soffocato il pennacchio stesso, deviandolo verso le regioni circostanti. Più in dettaglio: il pennacchio poteva essere deviato sotto la densa crosta oceanica, dove avrebbe generato nuove isole che poi sarebbero migrate verso una zona di subduzione, contribuendo all'accrescimento di un continente; oppure, il pennacchio poteva essere deviato sotto un protocontinente di roccia poco densa, dove il suo calore sarebbe stato sufficiente a produrre nuove emissioni di magma granitico, simili a quelle rinvenute nelle greenstone belt di Pilbara e Kaapvaal, aumentando lo spessore del continente.

Melosh però avverte che uno scenario del genere sarebbe difficile da confermare. È praticamente impossibile provare che un asteroide abbia deviato i pennacchi nel mantello, generando gli embrioni degli attuali continenti. Ormai i crateri lasciati dagli asteroidi dell'Archeano sono stati assorbiti dalle zone di subduzione o sono stati cancellati dall'erosione. Inoltre, se anche il granito delle greenstone belt fosse effettivamente stato prodotto da un pennacchio, è possibile che questo pennacchio fosse attivo già prima dell'impatto.

In definitiva, Glikson ha fatto luce sull'incredibile coincidenza temporale esistente tra gli impatti di asteroidi avvenuti all'inizio dell'Archeano e la formazione di nuovo magma all'interno delle parti più antiche degli attuali continenti. Inoltre Glikson ha collegato i due eventi con un meccanismo credibile in una relazione di causa-effetto. «Si tratta di un'ipotesi molto probabile su ciò che può essere accaduto», afferma Lowe. «Ma è solo una delle possibili interpretazioni». Senza dubbio però alcuni impatti hanno interrotto la dinamica interna della Terra, e la loro violenza potrebbe non essere stata totalmente distruttiva.



QUESTONE DI DENSITÀ: Il basalto (*in alto*) è il principale tipo di roccia che si trova all'interno della densa crosta dei bacini oceanici. La crosta continentale, invece, è formata principalmente da granito (*qui sopra*), meno denso del basalto. La relativa leggerezza del granito permette ai continenti di restare a galla, mentre la crosta oceanica affonda quasi subito nel mantello.

Letture

L'evoluzione della crosta continentale. Taylor S.R. e McLennan S.M., in «Le Scienze», n. 331, marzo 1996.

Field Evidence of Eros-Scale Asteroids and Impact Forcing of Precambrian Geodynamic Episodes, Kaapvaal (South Africa) and Pilbara (Western Australia) Cratons. Glikson A.Y., in «Earth and Planetary Science Letters», Vol. 267, pp. 558-570, 2008.

Gli effetti dell'impatto con un asteroide possono essere calcolati su www.lpl.arizona.edu/impacteffects.