

The background of the cover is a dramatic illustration of an asteroid impact. A large, dark, cratered asteroid is shown in the upper right, appearing to be in the process of striking the Earth. The Earth's horizon is visible on the left, with a thin layer of atmosphere. Below the horizon, a massive, glowing impact crater is depicted, with a bright yellow and orange fireball rising from its center, surrounded by swirling, turbulent clouds of fire and smoke. The sky is dark with scattered stars.

GABRIELE VANIN

SCENARI PER  
LA FINE DEL MONDO

PERCHÉ L'APOCALISSE  
È RINVIATA, MA NON DI MOLTO

EDIZIONI RHETICUS

© Associazione Astronomica Feltrina *Rheticus* 2012  
[www.rheticus.it](http://www.rheticus.it)

Impaginazione e raccolta iconografica a cura dell'autore

Questo libro è soggetto a copyright. Nessuna parte di esso può essere riprodotta, tradotta, adattata e memorizzata, con qualsiasi mezzo, senza il permesso scritto dell'editore.

Prima edizione, in formato elettronico: settembre 2012

Composto in Palatino Linotype 11 e 9

Include referenze bibliografiche e indici

ISBN 9788890390418

Vanin, Gabriele  
Scenari per il giorno del giudizio

per commenti e comunicazioni: [rheticus@tiscali.it](mailto:rheticus@tiscali.it)  
per altri libri dello stesso autore: [www.gabrielevanin.it](http://www.gabrielevanin.it)

**In copertina:**

*l'unica catastrofe cosmica finora vissuta in diretta dalla specie umana: i frammenti della cometa Shoemaker-Levy 9 precipitano su Giove nel luglio 1994 (dipinto di Don Dixon).*

## Introduzione

Il tema della fine del mondo è di quelli che non passano mai di moda. Periodicamente, sette, guru, movimenti vari ci dicono che ci stiamo approssimando al “Giorno del giudizio”. E l’astronomia spesso viene chiamata a partecipare allegramente, anzi viene citata spesso come parte in causa nel fornire i mezzi in grado di provocare la catastrofe di turno. Per esempio, ogni volta che viene scoperta una cometa destinata a diventare luminosa, qualche buontempone sul web si diverte a dire che si scontrerà con la Terra. Ma siamo migliorati, una volta queste notizie si trovavano pure sui rotocalchi popolari. Mi ricordo un settimanale che comprava mia madre che nel 1995, quando fu scoperta la Hale-Bopp, si affrettò a pubblicare la notizia che la cometa sarebbe caduta sul nostro pianeta. L’anonimo pezzo d’asino autore dell’articolo sembrava trionfante, quando comunicava che l’astro aveva la bella dimensione di 1500 km (non esistono comete così!). Altro che estinzione dei dinosauri, altro che la cometa Swift-Tuttle! Questo sì che era un impatto fuoriserie, da vero Armageddon, in grado addirittura di buttare il pianeta fuori dell’orbita e perfino di spaccarlo come una mela matura! Per fortuna tutti questi vaticini si rivelano sempre senza fondamento e anzi si dimostrano presto per quel che sono, insensate e sproloquanti dichiarazioni di qualche mente disturbata.

Come vedremo, anche nel caso del 21 dicembre 2012 ci troviamo di fronte ad un caso di questo tipo: nonostante tutto il gran parlare che se ne è fatto, anche stavolta non vi è alcun fondamento oggettivo che sembri avallare che qualcosa di catastrofico, e perfino di fuori del consueto, possa avvenire in quella data. E il primo capitolo di questo libro è dedicato appunto a smontare le tesi dell’*affaire* maya.

Tuttavia, l’occasione è anche ghiotta per parlare di “vere” fini del mondo, ovvero di esplorare se la scienza può dirci qualcosa su eventi catastrofici che potranno colpire la Terra, nel futuro immediato o lontano, e a questo sono dedicati i capitoli successivi. C’è stato un periodo, nell’Ottocento, in cui chi parlava di catastrofi nel mondo scientifico veniva considerato alla stregua di un ciarlatano o di chi voleva contaminare il discorso scientifico con riferimenti religiosi, soprattutto biblici. Oggi non è più così: la coscienza che le catastrofi hanno letteralmente plasmato i destini del nostro pianeta è una delle acquisizioni non minori della scienza moderna. La lettura di questi capitoli è tranquillizzante per il lettore: nessuna catastrofe prossima sembra delinearci all’orizzonte.

L’ultimo capitolo, invece, avanza la previsione che la fine dell’umanità, abbastanza prossima, forse entro la fine di questo secolo, proverrà non dall’esterno o dall’interno del pianeta, ma proprio dai peggiori istinti e pulsioni dell’umanità stessa, che ha ereditato la Terra ma, trattandola per millenni senza rispetto alcuno, la restituirà alla natura impoverita e quasi priva di risorse.

## CAPITOLO I

### NON È COLPA DEI MAYA

#### Il vizio del Giorno del Giudizio

Ma davvero i Maya hanno predetto che il 21 dicembre del 2012 avverrà la fine del mondo? No di certo e, come vedremo, sarà addirittura difficile trovare qualcosa di vero nella fantasiosa ricostruzione che gli autori di questa colossale bufala hanno confezionato.

Tanto per cominciare, non è certo la prima volta che qualcuno profetizza la fine del mondo. Limitandosi alle epoche più recenti possiamo citare la profezia di William Miller, fondatore del movimento avventista dei milleriti, che iniziò a predicare nel 1831 raccogliendo attorno a sé oltre 50 000 sostenitori, predicando il ritorno di Cristo e la fine del mondo per il 1843. Egli non fissò una data particolare, ma ci pensarono i suoi seguaci, che indicarono il 3 aprile. Curiosamente, proprio in quell'anno apparve una cometa luminosissima che fu vista alla fine di febbraio in pieno giorno, brillando 50 volte più della Luna piena. Ai primi di marzo fu visibile la sera, con una coda lumi-



*La lunghissima coda della Grande Cometa del 1843 in una splendida litografia di M. Eiffler.*

nosa e lunga oltre un terzo del cielo. La coincidenza sicuramente risvegliò paure ancestrali e a qualcuno sembrò di vedere una conferma della profezia dei milleriti. La cometa se ne andò alla fine di marzo, ma il 3 aprile non successe nulla; la setta continuò a posticipare la data dell'evento fino all'ultima, fissata da Miller stesso, il 22 ottobre 1844. Dal momento che anche questo giorno passò senza alcun incidente i suoi seguaci, delusi dal loro leader, si dispersero rapidamente.

Poi non vanno taciute certamente le ricorrenti profezie della setta dei Testimoni di Geova, che fissarono la fine del mondo via via nel 1914, nel 1925 e nel 1975, salvo poi dichiarare in interpretazioni posteriori che le loro parole erano state travisate (vi ricorda qualcuno?) e che si era trattato di speculazioni diffuse fra gli aderenti alla setta ma non del punto di vista ufficiale della stessa.

Lo scrittore Charles Berlitz, famoso per i suoi libri sull'occulto e il paranormale, nel suo libro del 1981 *Apocalisse 1999*, basandosi sulle profezie del famoso chiaroveggente retroattivo<sup>1</sup> Nostradamus, disse che il 1999 avrebbe portato carestie, inondazioni, spostamenti dell'asse magnetico.

Negli anni Novanta crebbe via via un movimento sempre più ampio, man mano che si approssimava la fine del millennio, che si attendeva sconvolgimenti disastrosi quali terremoti, spostamenti dell'asse magnetico, ricomparsa di Atlantide, continenti che sprofondano nel mare, pestilenze, e chi più ne ha più ne metta. Parte di questo movimento può anche essere ritenuta la schiera dei porta-rognna che parlarono delle conseguenze catastrofiche (blocco delle centrali elettriche e nucleari, istituti bancari e reti di telecomunicazione, black-out totale della tecnologia, ecc.) prodotte dal baco del cambiamento di data dei computer, il famigerato Y2K.

## **Aiuto, i pianeti si allineano!**

Berlitz si concentrò anche sull'allineamento planetario del 5 maggio 2000 dicendo che avrebbe provocato brillamenti solari, terremoti fortissimi, sconvolgimenti del paesaggio terrestre, esplosioni sismiche (qualunque cosa volesse dire). Quando l'1 gennaio passò senza che niente succedesse, l'atten-



*L'astrologo e farmacista francese Michel de Nostredam ritratto dal figlio Cesar.*

1. Nel senso che chiunque, a posteriori, ha letto nelle sue quartine ciò che gli ha fatto comodo: nessuno, però, è mai riuscito, basandosi su di esse, a prevedere veramente un evento futuro.

zione si polarizzò sull'allineamento planetario di quattro mesi dopo, senza ricordare però che altre profezie simili precedenti erano fallite miseramente. Si ricorda per tutte quella dell'"effetto Giove" del 10 marzo 1982.<sup>2</sup> Il fatto è che, innanzitutto, è impossibile che si allineino perfettamente non dico otto, ma nemmeno tre pianeti, perché questo potrebbe succedere solo se i loro periodi di rivoluzione fossero fra loro multipli esatti, e non lo sono. Ciò che può avvenire è che ogni tanto tutti i pianeti rimangano compresi entro un arco di meno di 60°, e perfino questo accade molto raramente, solo tre volte negli ultimi duemila anni. Ma anche se si allineassero con estrema precisione, gli effetti mareali combinati sarebbero assolutamente trascurabili, dell'ordine del millimetro, infinitamente più piccoli di quelli che il Sole e la Luna assieme esercitano sulla Terra tutti i mesi.

## Il calendario maya

Ma questa volta, dicono, dovrebbe essere differente. Vediamo. Prima di tutto, però, cerchiamo di fare brevemente conoscenza con i Maya e soprattutto col loro calendario. I Maya si insediarono fra Honduras e Guatemala e raggiunsero il culmine della loro fioritura intorno al 700 d.C. Fra l'800 e il 925 emigrarono verso lo Yucatan, in seguito ad una ampia catastrofe ambientale (v. p. 92). Essi hanno lasciato templi e costruzioni imponenti e affascinanti, molti dei quali orientati secondo criteri astronomici. Avevano sviluppato una scrittura complessa di tipo geroglifico, che gli archeologi sono riusciti soltanto di recente a decifrare completamente. Possedevano un avanzato sistema di numerazione a base 20 ed erano abili osservatori astronomici. Conoscevano con estrema precisione, superiore a quella disponibile in Europa nello stesso periodo, la lunghezza di diversi cicli astronomici, tra cui la durata dell'anno e il periodo sinodico (intervallo di tempo fra due successive congiunzioni con il Sole) del pianeta Venere (rappresentazione celeste del dio Kukulcan). Erano anche in grado di calcolare i cosiddetti "periodi critici delle eclissi", ovvero i giorni dell'anno in cui le eclissi potevano verificarsi. Fra le rovine delle antiche città maya che ancor oggi si possono visitare si trovano molti edifici che dovevano essere impiegati come osservatori. Il più

---

2. L'attenzione su quell'evento fu provocata da un libro scritto dall'astrofisico britannico John Gribbin nel 1976 intitolato appunto *The Jupiter effect*, secondo il quale la disposizione di tutti i pianeti entro un angolo di 95° avrebbe provocato catastrofi enormi, fra cui un potente terremoto in California. Anche se in seguito Gribbin si votò alla divulgazione scientifica corretta (ha recentemente pubblicato il suo 100° libro) e prese le distanze da quella sua prima opera, l'episodio lascia ancora oggi molto perplessi e getta ombre sull'onestà intellettuale di uno scienziato che pubblica spazzatura simile. Anche perché molti considerano, e forse giustamente, che quel libro sia stato l'inizio, il padre di tutte le scempiaggini pseudoscientifiche da *new age* che ci hanno in seguito inondato. Il fatto poi che l'autore fosse uno scienziato ovviamente ha dato all'opera un credito superiore. Chissà se quello che ha scritto in seguito Gribbin è stato altrettanto affidabile?



*Il Caracol di Chichen-Itzà in una foto dell'autore.*



*La Piramide dell'Indovino a Uxmal in una foto dell'autore.*



La Piramide di Kukulkan a Chichen Itzà (foto dell'autore).

famoso è senz'altro quello che gli spagnoli hanno chiamato *Caracol* a causa della presenza di una scala interna a forma di chiocciola, che si trova nella città maya-totonaca di Chichen-Itzà, nel nord dello Yucatan. Le tre finestre della stanza superiore sono allineate in modo da permettere l'osservazione dei tramonti del Sole agli equinozi e nei giorni del passaggio allo zenit, e delle posizioni estreme di Venere sull'orizzonte. Altri edifici sono invece allineati con il sorgere del Sole, come ad Uaxactun nel Guatemala. Qui, da una piattaforma posta in cima ad una piramide, è possibile osservare la levata del Sole agli equinozi e ai solstizi dietro un complesso di tre grandi templi che si trovano al di là di una *plaza*. Altri esempi di allineamenti astronomici si trovano a Copàn nell'Honduras e a Uxmal, città maya dello Yucatan del settimo secolo: qui l'asse della Piramide dell'Indovino è orientata sul punto in cui tramonta il Sole 40 giorni (due *uinal*, il mese maya nello *tzolkin*, v. oltre) prima del suo passaggio allo zenit, momento importantissimo per tutte le civiltà mesoamericane. Forse il più incredibile monumento orientato della civiltà maya è la Piramide di Kukulkan a Chichen Itzà, che costituisce una sintesi della loro cosmologia: ha nove piani, corrispondenti ai nove cieli del mondo inferiore; i riquadri o *tableros* costituenti ciascuno dei quattro lati della piramide sono 52, tanti quanti gli anni del giro del calendario (v. avanti); i gradini di ciascuna delle quattro scalinate che portano in cima sono 91 che, moltiplicato per quattro e aggiungendo il piano sommitale, equivale esattamente a

365, i giorni dell'anno. La caratteristica più stupefacente è stata scoperta, quasi per caso, solo nel 1970, agli equinozi: al sorgere e al tramonto la luce del Sole radente si fa strada fra gli spigoli della gradinata andando a creare la sagoma luminosa di un serpente (Kukulcan, il serpente piumato) che va a innestarsi sulla testa ricavata alla base della gradinata. Per permettere il verificarsi di tale fenomeno l'edificio dev'essere stato costruito con una precisione sbalorditiva. I Maya usavano due tipi diversi di anno, uno agricolo di 365 giorni, lo *haab*, e uno divinatorio di 260 giorni, lo *tzolkin*. Questo strano periodo di 260 giorni può avere avuto diversa origine: corrisponde più o meno al periodo medio della gestazione umana, 266 giorni (ancora oggi le donne maya associano lo *tzolkin* a questo periodo), oppure all'intervallo medio di 263 giorni di apparizione di Venere come stella del mattino e della sera, oppure ancora ad uno dei due intervalli (l'altro è 105 giorni) che separano il passaggio del Sole allo zenit alla latitudine di 14,5° N, quella di alcune tra le più importanti città maya, oppure ancora ai 3/4 dell'anno delle eclissi, l'intervallo di 346 giorni in cui le eclissi possono avvenire.<sup>3</sup>

Ad un certo punto i due calendari vennero unificati, probabilmente perché i Maya si resero conto che per organizzare il tempo in una società complessa occorreva disporre di un unico calendario. Tuttavia le cose non erano così semplici. Poiché i giorni venivano indicati con nomi diversi nei due tipi di calendari, soltanto ogni 18 980 giorni, minimo comun denominatore di 260 e 365, ovvero 52 anni (52 *haab* e 73 *tzolkin*), le combinazioni di nomi tornavano a ripetersi. Questo ciclo di 52 anni era chiamato *giro del calendario*, e corrispondeva più o meno, all'epoca, alla durata di una vita umana. Tuttavia, per registrare gli avvenimenti storici in modo accurato era necessario un intervallo più lungo. Perciò i Maya istituirono il cosiddetto *computo lungo*, basato su multipli del numero 20, che era la base della matematica maya. Il giorno era chiamato *kin*; 20 di questi giorni erano un *uinal*; 18 *uinal* (l'unica eccezione alla base 20, forse perché 360 era più vicino ai giorni dello *haab* che non 400) costituivano un *tun*; 20 *tun* erano un *katun* (7200 giorni); 20 *katun* formavano un *baktun* (144 000 giorni), l'unità più grande della catena, anche se alcune iscrizioni occasionalmente riportano l'uso di multipli ancora più grandi: *pictun*, *kalabtun*, *kinchiltun*, *alautun*. Il *computo lungo* iniziava dalla data che i Maya avevano fissato per la creazione del mondo, che corrisponde nel nostro calendario all'11 agosto 3113 a.C. Secondo il *Popol Vuh*, una sorta di storia della creazione dei Maya Quiché, abitanti gli altopiani del Guatemala, scritto dopo la conquista spagnola, gli dei fallirono tre volte nel compimento della creazione; soltanto al quarto tentativo riuscirono a creare una razza parlante, che camminava e che era loro devota. Questo quarto mondo secondo il *computo lungo* finirà al termine del 13° *baktun* (dopo 1 872 000 giorni, circa 5125 anni), ovvero proprio il 21 dicembre 2012.

3. Se quest'ultima spiegazione può apparire troppo macchinosa, va comunque rilevato che i Maya usavano *effettivamente* lo *tzolkin* per prevedere il momento delle eclissi.

Tuttavia a questo traguardo non era assegnato nessun significato catastrofico. Per i Maya il tempo era visto in modo ciclico, circolare, come un perpetuo rinnovarsi: pertanto ad una era precedente se ne sostituiva un'altra, senza alcun particolare trauma. E comunque, al di là di quello che dice il *Popol Vuh*, per quanto possiamo desumere dai pochi documenti originali rimasti,<sup>4</sup> i Maya credevano più che altro nel concetto di una creazione ultima e non pensavano affatto che ci sarebbe stata alcuna distruzione finale.

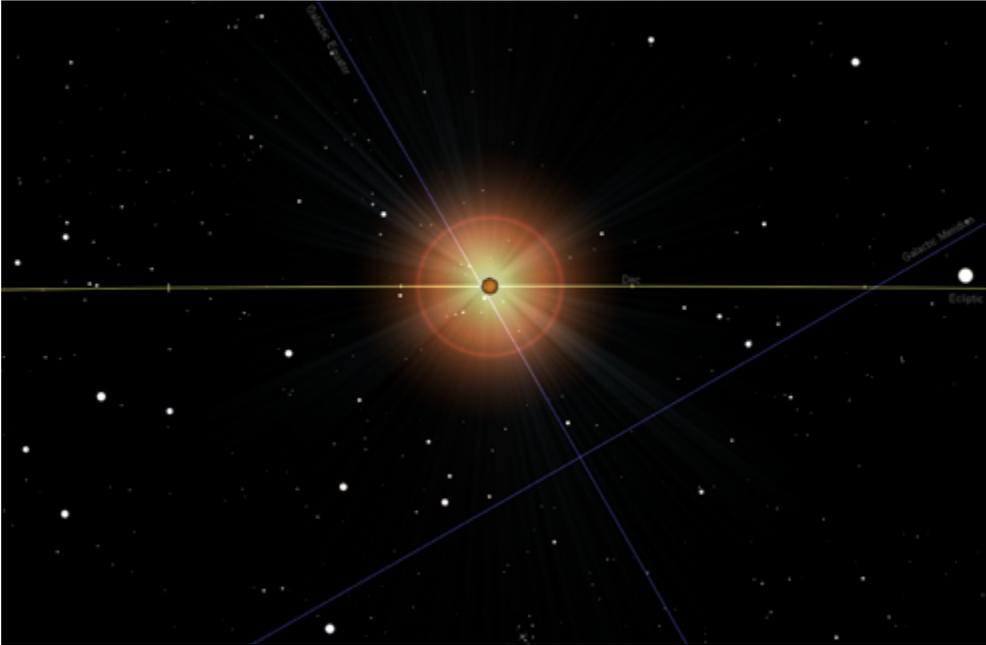
## Delirio totale

Forse il primo a scrivere che il mondo sarebbe stato distrutto alla fine del *baktun* 13, con il compimento del Grande Ciclo del computo lungo, fu Michael D. Coe nel 1966, nel libro *I Maya*. Nel 1975 Frank Waters, uno scrittore con tendenze misticheggianti, dedicò all'argomento una breve sezione nel suo libro *Messico Mistico*, chiamando il periodo "Grande Ciclo dei Maya", sovrastimando la sua durata in 5200 anni, ed eguagliando cinque di tali cicli con cinque grandi ere, ciascuna delle quali finiva con la fine del mondo e la sua rinascita. Secondo Waters il grande ciclo sarebbe finito il 24 dicembre 2011, e in quella data il mondo sarebbe stato distrutto da disastrosi terremoti. Nello stesso anno un libro di Dennis e Terence McKenna (*Il paesaggio invisibile: mente, allucinogeni e I Ching*) affermò correttamente che la data in cui finiva il *baktun* 13 era il 21 dicembre 2012. Nel libro si diceva anche, in modo un po' confuso, che il Sole in quella data si trovava al solstizio invernale, nel Sagittario, a soli tre gradi dal centro galattico, situato a sua volta entro due gradi dall'eclittica, e che, a causa del fatto che il punto del solstizio invernale si sposta a causa della precessione, sarebbe arrivato al punto da eclissare il centro galattico. Innanzitutto, c'è da dire che, poiché il Sole è sull'eclittica, il centro galattico dovrebbe essere anch'esso a due gradi dall'eclittica, non a tre. In secondo luogo, è vero che il Sole nel solstizio d'inverno in questa fase storica si trova abbastanza vicino al centro galattico, ma non così vicino, essendo a circa sei gradi; raggiungerà la distanza minima di circa 5,5° intorno al 2200, ma non vi arriverà mai. E giova ricordare che si tratta di posizioni prospettiche, non reali: il Sole si trova oltre 1,8 miliardi di volte più vicino del centro galattico! Per questo libro comunque la data costituiva un momento di rinnovamento e di trasformazione, non tragico.

Nel 1987 la questione conobbe più ampia popolarità: nel libro *Il fattore maya: cammino oltre la tecnologia* José Argüelles affermò che i maya avevano collegato la fine del *baktun* 13 al momento in cui avremmo intercettato un misterioso raggio impalpabile proveniente dal centro della Via Lattea. Il raggio avrebbe

---

4. I missionari cristiani bruciarono e distrussero quasi tutti i documenti originali maya, definendoli materiale per l'adorazione del diavolo. Come scrive Anthony Aveni, ciò che è sopravvissuto può stare sullo spazio di una normale scrivania.



*La posizione del Sole il 21 dicembre 2012: pur trovandosi quasi sull'equatore galattico (la linea blu quasi verticale), esso si proietta a notevole distanza dal meridiano galattico (la linea blu perpendicolare alla prima), e quindi dal centro della nostra Galassia. La linea gialla è l'eclittica (immagine realizzata col software Starry Night pro plus 6).*

operato come un invisibile filo vitale galattico che collegava le persone, la Terra, il Sole, la Galassia. È appena il caso di dire che nessuna tradizione maya è compatibile con la credenza in questo filo. Lo scrittore proseguiva enfatizzando dei principi di “armonica risonanza” e sostenendo che i pianeti sono “giroscopi armonici orbitanti” che “giocano un ruolo nella coordinazione del raggio” e che permettono il progresso degli esseri dotati di DNA. Il 2012, perciò, avrebbe portato una versione dell’apocalisse piuttosto all’acqua di rose. Argüelles giunse anche a predire che il 16-17 agosto 1987 si sarebbe verificata una convergenza armonica maya-galattica. Migliaia di persone convennero nei cosiddetti “punti agopunturali” della Terra per creare una sorta di “pila collettiva bio-elettromagnetica sincronizzata e unificata”. Sfortunatamente, la data passò senza che succedesse niente di strano.

Un altro libro sull’argomento apparve nel 1995, *Cosmogenesi maya del 2012*, di J.M. Jenkins. Secondo Jenkins il punto solstiziale invernale e il centro della Galassia si sarebbero allineati esattamente il 21 dicembre e questo evento indusse i maya a far terminare il calendario in quella data. Ciò avrebbe portato ad una trasformazione fondamentale e a delle opportunità di crescita spirituale nel passaggio ad una nuova era. Occorre dire, tuttavia, che la Galassia non è un’entità così geometricamente determinata, nemmeno da un

punto di vista astronomico moderno. Equatore e centro galattico sono fissati con una certa arbitrarietà anche oggi: infatti i margini galattici sono assolutamente vaghi e dipendenti dalla trasparenza del cielo da dove si osserva (Jenkins, bontà sua, dichiarò di averli fissati osservando da 3300 m di altezza da qualche sito maya, anche se non dice quale). Pertanto per i Maya era assolutamente impossibile fissare un centro della Via Lattea che potesse coincidere con quello moderno. Jenkins in effetti riconobbe che il Sole solstiziale avrebbe potuto attraversare il centro galattico in qualunque momento fra il 1980 e il 2016. In altri luoghi del libro addirittura espanso questo intervallo a 900 anni e si accontentò di un allineamento impreciso, al quale il 21 dicembre 2012 fu associato infine in modo arbitrario e tortuoso.

## Stiamo sereni

Come già detto, non c'è nessuna traccia nei documenti maya che essi pensassero ad una fine del calendario o di un'era del mondo, né in modo straordinario né tanto meno catastrofico, il 21 dicembre 2012. Qualche testo sul computo lungo fa riferimento a molti passati *baktun* 13 e perfino al successivo *pic-tun* e oltre. Per esempio un'iscrizione che si trova a Palenque, commissionata dal re Pacal (settimo secolo) predice che verrà commemorato un anniversario della sua elezione il 15 ottobre 4772. In tutti i testi rimasti del computo lungo solo uno riporta la data del 2012, e si trova a Tortuguero, un sito maya nello stato messicano di Tabasco, e non vi si parla della fine del mondo.

Qualche sostenitore dell'apocalisse afferma che la causa delle catastrofi sarà un allineamento planetario, ma non vi sarà nessuno di tali fenomeni nell'inverno del 2012. Nondimeno, costoro collegano l'immaginario allineamento con predizioni astrologiche o dichiarazioni infondate riguardanti un'inversione del campo magnetico terrestre o tempeste solari di potenza inaudita.

I siti internet poi sono pieni di post riguardanti un pianeta fantasma, il cosiddetto Nibiru, che sarebbe in rotta di collisione con la Terra, una storia che va avanti già dal 1995. Naturalmente



Come si vede dalla figura, il 21 dicembre 2012 non vi sarà alcun particolare allineamento dei pianeti (da Sky & Telescope, modificato).

un tale pianeta non esiste, anche se qualcuno lo identifica con Eris, un pianeta nano che orbita però permanentemente oltre Plutone e attualmente si trova a ben 14 miliardi di km dalla Terra. Certi addirittura dicono che una cospirazione della NASA lo tiene segreto ma che si può comunque vedere dall'emisfero sud in piena luce del giorno! Nel mese di maggio avrebbe dovuto cominciare ad essere visibile anche dall'emisfero nord, ma per ora se ne sono perse le tracce.

Altri buontemponi sul web, confondendo le cose circa la congiunzione del Sole col centro galattico, sostengono che la nostra stella sta cadendo a capofitto nel centro della Via Lattea trascinando con sé la Terra, provocando a causa di questo lo spostamento dell'asse terrestre. Sulla rete si trovano su questo argomento molte altre storie anche più insensate e farneticanti di queste ma, per carità di patria, ci fermiamo qui.

Nei prossimi capitoli, invece, prenderemo in considerazione alcune delle possibili catastrofi che potrebbero effettivamente avvenire in un futuro più o meno prossimo.



*Pagina del Codice di Dresda. Si tratta dell'unico testo maya redatto prima della conquista spagnola giunto fino a noi. È stato compilato a Chichen Itzà fra l'XI e il XII secolo. Contiene dati astronomici e calendariali, riguardanti soprattutto la Luna e Venere, eccezionalmente precisi.*

## CAPITOLO II

### L'IMPATTO DI UN ASTEROIDE

#### Da sempre una bella storia per il cinema e la fiction

Lo scenario della fine dell'umanità previsto nel caso di una collisione con un asteroide è stato raccontato molte volte dal cinema, ma con risultati che sono andati, nella maggior parte dei casi, dal comico al grottesco. La migliore di queste pellicole, nel complesso, pare essere *Deep Impact*, del 1997, il che è tutto dire, essendovi anche in quel film numerosi errori scientifici.

La narrativa fantascientifica, al contrario, è stata molto più efficace anche perché, di solito, si è limitata a raccontare storie di impatti mediamente catastrofici, ma non da fine del mondo. Le storie che preferisco, per diversi motivi anche extrascientifici che diverranno chiari ai lettori nel corso della lettura di questo libro, sono due: quella all'esordio del romanzo di Arthur C. Clarke *Incontro con Rama*, che descrive la caduta di un oggetto di mille tonnellate che nel 2077 devasta la parte orientale della Pianura Padana, radendo al suolo Verona, Padova e Venezia, e provocando 600 000 vittime e una quantità di danni doppia dell'attuale debito pubblico italiano; e quella alla fine del romanzo di Fred Hoyle *La voce della cometa*, dove si immagina l'impatto di un frammento della cometa di Halley sul polo nord terrestre, con conseguenze limitate dal punto di vista dei danni, ma importanti e a lungo termine sotto il profilo politico e sociale.

#### La scoperta degli asteroidi

Agli albori della rivoluzione astronomica copernicana, nel nostro sistema solare fra i pianeti Marte e Giove sembrava mancasse qualcosa, lo spazio appariva stranamente vuoto. Già Keplero, per considerazioni più misticheggianti che razionali, aveva ipotizzato che in quel vuoto potesse esserci un pianeta non ancora scoperto. Questa considerazione fu ripresa da vari studiosi nel Settecento, che cominciarono a collegarvi considerazioni aritmetiche. Nel 1702 David Gregory, professore a Oxford, notò che i raggi delle orbite planetarie erano grosso modo proporzionali ai numeri 4, 7, 10, 15, 52 e 95. Nel 1766 Johann Daniel Tietz, professore di matematica a Wittenberg, propose una precisa relazione empirica che legava fra loro le distanze dei pianeti dal Sole espresse in Unità Astronomiche (UA), ovvero la distanza che separa la Terra dal Sole:  $D = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$ , dove  $n$  assumeva il valore di  $-\infty, 0, 1, 2, 3, \dots$  per ogni pianeta da Mercurio a Saturno. In questa relazione era evidente che



*Alcuni dei protagonisti della scoperta degli asteroidi: da sinistra Franz Xaver von Zach, Johann Daniel Tietz, Johann Elert Bode e Giuseppe Piazzi.*

mancava un termine per  $n = 3$ . Nel 1772 Johann Elert Bode, futuro direttore dell'Osservatorio di Berlino, affascinato dalla relazione, si espresse decisamente per la presenza di un pianeta non ancora scoperto fra Marte e Giove, a 2,8 UA dal Sole. Quando William Herschel scoprì Urano, nel 1781, si vide che anche questo pianeta seguiva la relazione, ormai nota come legge di Titius (latinizzazione di Tietz) e Bode.

Da quel momento si cominciarono a cercare le tracce di quell'inquilino non ancora scoperto del sistema solare. Il personaggio più tenace nella ricerca fu il barone austriaco Franz Xaver von Zach, astronomo del Duca di Gotha e direttore dell'Osservatorio di Seeberg. La sua strategia di ricerca fu molto saggia: limitò l'indagine allo zodiaco e redasse un catalogo di tutte le stelle della fascia zodiacale, nella speranza di individuare subito un intruso sospetto. Egli tentò addirittura di calcolare una possibile orbita dell'oggetto. Gli sforzi del barone furono però inutili e von Zach si convinse della necessità di un approccio collettivo al problema. Nel settembre del 1800, pertanto, iniziò una serie di viaggi per tutta la Germania per assicurarsi l'appoggio dei più rinomati osservatori tedeschi del tempo, prima di tutti il grande Olbers, e poi von Ende, Gildemeister, Schröter e Harding. Fu creata una società, che fu immediatamente soprannominata la *Himmels Polizei* ("Polizia celeste"), che ben presto trovò adepti anche fra i maggiori astronomi degli altri paesi europei e assegnò a ciascuno la ricerca in una determinata fascia dell'eclittica. La società fu però preceduta dall'italiano Giuseppe Piazzi. Questi, dal 1787 direttore dell'Osservatorio di Palermo, era intento ormai da nove anni ad un programma di ricerca di moti propri stellari suggeritogli dal grande astronomo inglese William Herschel quando, il 1° gennaio 1801, scoprì casualmente Cerere. Piazzi lo osservò per tutto gennaio ma a metà febbraio Cerere era troppo vicino al Sole per poterlo vedere. L'astronomo valtellinese cercò quindi di calcolarne l'orbita per poterlo ritrovare quando fosse stato di nuovo visibile, ma non vi riuscì. Passò quindi i suoi dati a Bode, Lalande e Oriani, sperando che qualcuno potesse avere successo. Ci riuscì un nuovo talento matematico, allora appena ventiquattrenne, Carl Friedrich Gauss, che escogitò un nuovo metodo per calcolare l'orbita di un oggetto a partire da relati-

vamente poche osservazioni, o da un numero medio però distanziate di poco tempo (come quelle di Piazzi). Von Zach e Olbers furono i primi a ritrovare il pianetino perduto grazie ai calcoli di Gauss, a un anno esatto dalla scoperta. La *Himmels Polizei* ottenne però in breve altri successi. Olbers scoprì un secondo pianetino il 28 marzo 1802. Mentre stava osservando tutte le stelle più deboli in una zona della costellazione della Vergine ai fini di stabilire precisamente le loro coordinate e quindi di fissare dei punti di riferimento stabili per misurare le posizioni di Cerere, vide al telescopio, poco lontano dalla stella Arturo, un astro di settima magnitudine che sicuramente non c'era quando, due mesi prima, aveva osservato quella zona. Dopo due ore, la stellina aveva cambiato posizione. Entro un paio di giorni, Olbers era sicuro trattarsi di un nuovo pianeta, che battezzò col nome di Pallade. A questo punto, ad Olbers e agli altri balenò il sospetto che né Cerere né Pallade fossero veri pianeti. Fra l'altro, Herschel non riusciva a vederne il disco con i suoi grandi telescopi, mentre un pianeta anche solo grande come Marte a 2,8 UA avrebbe dovuto avere un dischetto di 5", quindi più grande di quello di Urano. Proprio per questo, Herschel propose per questi due nuovi oggetti il termine di "asteroidi" (che vuol dire "a forma di stella", quindi visibili come un puntino, non un dischetto come un pianeta). Olbers, per salvare in qualche modo la legge di Titius-Bode, visto anche che i due pianeti avevano lo stesso periodo orbitale, 4,61 anni, e la stessa distanza media, 2,77 UA, e che questa distanza era in buon accordo con quella prevista dalla legge, propose che i due piccoli pianeti fossero frammenti di un vero pianeta che un tempo aveva occupato quella posizione, e che si era frantumato a causa dell'urto con una cometa o a causa dell'azione di forze interne.

In questo caso, potevano essercene degli altri e allora bisognava cercarli nei punti dove le orbite di Cerere e Pallade si intersecavano: infatti, in caso di un'origine esplosiva le orbite di tutti i frammenti, almeno inizialmente, dovevano intersecarsi nel luogo dell'esplosione e dalla parte opposta del cielo. Fu proprio osservando costantemente nelle regioni opposte della Vergine e della Balena, ovvero dove le orbite di Pallade e Cerere si intersecavano, che Harding scoprì il terzo asteroide, Giunone, il 1° settembre 1804, nell'Aquario. Il 29 marzo 1807 ancora Olbers, cercando nelle stesse due regioni celesti dove erano stati trovati i primi tre, scoprì, nella Vergine, il quarto asteroide, che fu chiamato Vesta da Gauss. Le ultime due scoperte sicuramente erano favorevoli all'ipotesi catastrofista di Olbers, anche se quattro scoperte in sette anni non costituivano certo un campione statistico affidabile.

Per molto tempo dopo questa quarta scoperta nessuno trovò più asteroidi, e questo potrebbe stupire. Il motivo però era molto semplice; non esistevano carte o cataloghi celesti che riportavano le posizioni stellari delle stelle fino alla magnitudine 8, e quindi non era possibile effettuare confronti comparativi. Ecco perché desta ancora oggi meraviglia lo spirito di dedizione di Karl Ludwig Hencke, ex funzionario delle poste, che decise nel 1830 di dedicarsi

senza sosta alla scoperta di altri oggetti: ci vollero ben 15 anni prima di trovarne un altro, *Astrea*, e il successo gli arrise solo perché, nel 1845, erano diventate disponibili carte celesti affidabili, quelle stesse che permisero a Galle, all'osservatorio di Berlino, di scoprire Nettuno pressappoco nella posizione indicata da Le Verrier.

Forse è ancora più stupefacente il fatto che fino ad anni recenti dei primi asteroidi scoperti non si sia saputo quasi niente: sono state mandate sonde su tutti i pianeti maggiori del sistema solare, e anche su molti dei piccoli asteroidi, ma non sui quattro principali. Solo nel 2011 la sonda della Nasa *Dawn* ha visitato Vesta, e nel 2015 arriverà su Cerere.

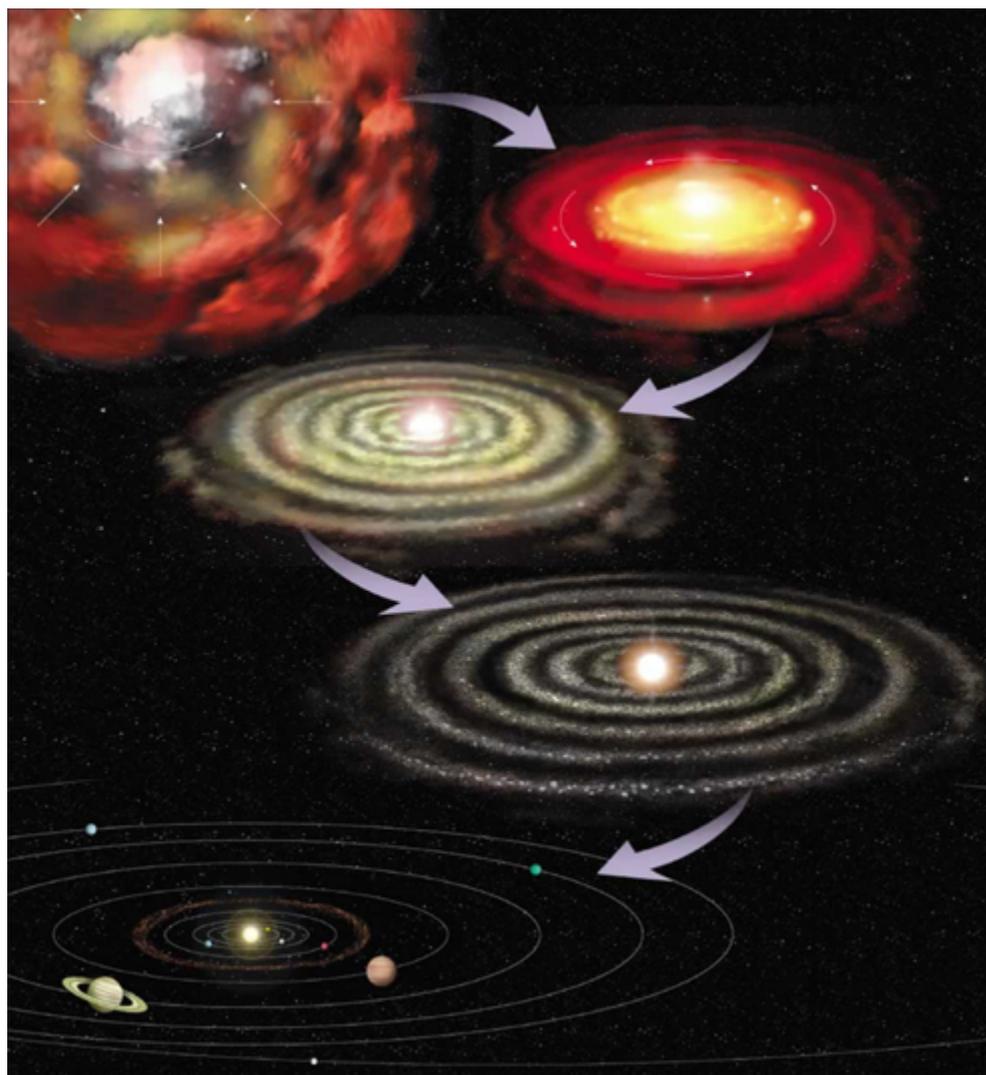
Dopo la metà dell'Ottocento, grazie soprattutto all'impiego della fotografia, le scoperte degli asteroidi si moltiplicarono e oggi si conoscono i parametri di circa 300 000 oggetti, confinati principalmente fra Marte e Giove, ma non solo, e si pensa che ne esistano 25 milioni di dimensioni superiori a 100 metri.

## **Cosa sono gli asteroidi?**

Ma che cosa sono gli asteroidi? Forse, potremmo dire, ciò che è rimasto del processo di aggregazione che ha formato i pianeti del sistema solare. Le polveri della nebulosa da cui è formato il nostro sistema si sono aggregate prima a formare ammassi di qualche chilometro di diametro, i planetesimi, poi oggetti più grandi da 500 a 3000 km di diametro, o embrioni planetari. Infine, questi embrioni, ulteriormente collidendo, si sono saldati a formare i veri e propri pianeti. Nella zona fra Marte e Giove la forte influenza gravitazionale di quest'ultimo ha bloccato a metà, per così dire, la formazione di un vero e proprio pianeta. Qui, insomma, il processo di aggregazione collisionale si è fermato al livello degli embrioni planetari. I primi quattro asteroidi trovati, con l'eccezione di Giunone (ma con l'inclusione di Igea, scoperto nel 1849), che è decisamente più piccolo, hanno proprio la statura di embrioni planetari, o proto pianeti, ovvero un diametro di almeno 500 km. Gli altri sono molto più piccoli. E non è ancora del tutto chiaro se quelli piccoli sono il risultato di un troncamento ancora più prematuro della fase di accrescimento o della frammentazione di corpi più grandi; probabilmente coesistono entrambi i fattori.

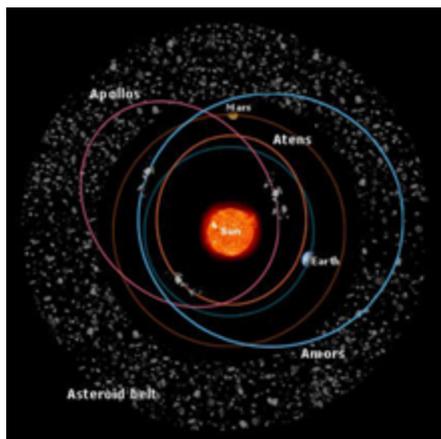
## **Oggetti pericolosi**

Fra gli asteroidi, ne esistono tre gruppi che circolano dalle parti del nostro pianeta. Il gruppo degli Amor, aventi perielio leggermente superiore a quello terrestre, gli Aten, la cui orbita è interna a quella della Terra e vi si sovrappone all'afelio, e gli Apollo, la cui orbita è per gran parte esterna a quella



*Le varie fasi della formazione del sistema solare.*

terrestre ma per un largo tratto la interseca al suo interno. Questi gruppi costituiscono una minaccia non solo teorica per la Terra. Basta guardare al numero dei crateri prodotti sulla Luna da milioni e milioni di impatti che si sono verificati dalla sua origine. Alla stessa distanza dal Sole, la Terra, avendo massa 80 volte maggiore di quella della Luna, ha subito un numero di impatti proporzionalmente molto maggiore. A differenza della Luna la Terra non possiede di norma crateri inferiori al chilometro di diametro, quelli formati da oggetti più piccoli di 50 m, che vengono frammentati durante la caduta dall'urto con l'atmosfera. Dei più grandi, inoltre, solo i più recenti sono ancora visibili (ne sono stati trovati circa 200) poiché l'erosione e soprat-



*Distribuzione degli asteroidi della fascia principale ed esempi di orbite delle classi Amor, Aten e Apollo (ESA/Medialab).*

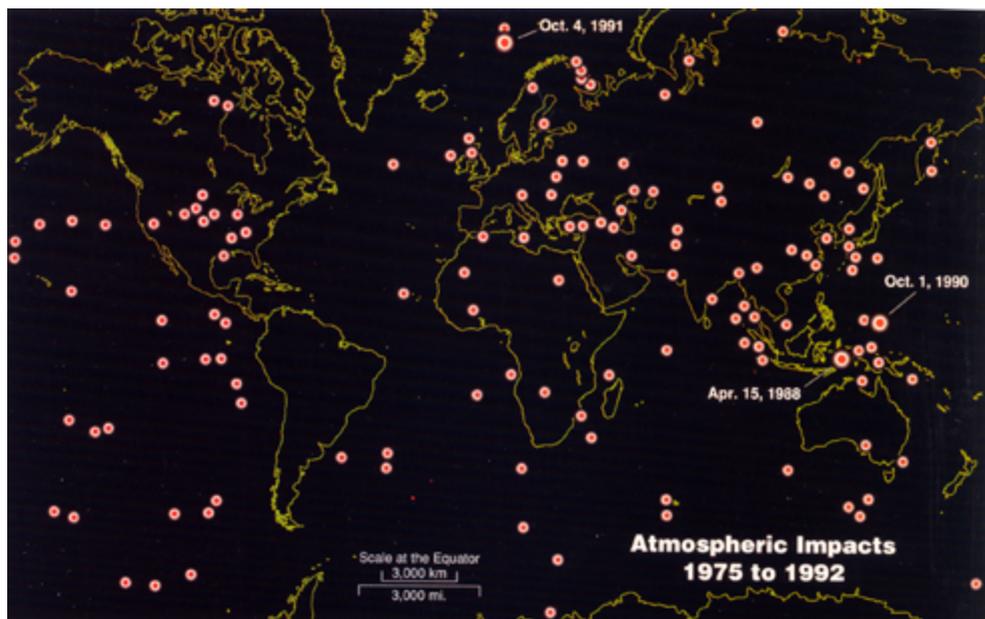
tutto la tettonica delle zolle, modificando la crosta, tendono a cancellarne le tracce. Si calcola che siano moltissimi gli asteroidi di dimensioni comprese fra uno e 10 km che viaggiano su orbite collidenti col nostro pianeta. Si pensa che ogni 250 000 anni circa si possa verificare la caduta di un oggetto di 1 km di diametro (catastrofe su scala continentale) e ogni 10 milioni di anni quella di un asteroide, o cometa, di 10 km di diametro. Oggetti così grandi sono in grado di innescare distruzioni globali, su scala planetaria, tali da portare all'estinzione della maggior parte delle specie viventi sulla Terra al momento della caduta. È stato ipotizzato nel 1980 che un tale evento avesse portato all'estinzione dei dinosauri 65

milioni di anni fa e, dieci anni dopo, è stata trovata la traccia, un cratere di 300 km di diametro, nello Yucatan, dell'immane impatto. È stato altresì supposto che almeno altre quattro grandi estinzioni di massa, che si sono succedute nelle ere geologiche passate con intervalli di qualche decina di milioni di anni, abbiano la medesima origine e, alla luce dei fatti citati, la cosa sembra assolutamente possibile.

Tuttavia, non esistono registrazioni storiche di impatti asteroidali fino al secolo scorso. Nel 1908, esplose in aria, a otto km di altezza, nella piana della Tunguska, in Siberia, un asteroide pietroso di circa 60 m di diametro, devastando un territorio, per fortuna disabitato, grande come una provincia italiana. E altre cadute simili, sempre in regioni disabitate, sono avvenute nel 1930 in Brasile e nel 1935 nella Guyana Britannica. È stato stimato che una collisione con un oggetto di queste dimensioni si possa verificare una volta ogni 2000-3000 anni, ma francamente, da quanto detto, sembra una stima troppo ottimistica. Comunque di sicuro almeno una volta al mese un oggetto di cinque metri di diametro, e una volta l'anno uno di 10



*Il Barringer Crater in Arizona è il cratere da impatto meglio conservato sulla Terra: del diametro di 1200 m, è stato prodotto 50 000 anni fa dalla caduta di un meteorite metallico di 50 m di diametro (B.P. Snowder).*



*Dislocazione degli impatti meteoritici in alta atmosfera avvenuti fra il 1975 e il 1992 (da Sky & Telescope).*

m, si frangono contro la nostra atmosfera. Infatti nel 1993 è stato tolto dal Pentagono il segreto militare su fenomeni di notevole contenuto energetico indubabilmente collegati alla disintegrazione in atmosfera di corpi di queste dimensioni. Questi eventi, ciascuno mediamente potente come la bomba di Hiroshima, avvenuti fra il 1975 e il 1992, sono stati causati dall'impatto di circa un migliaio di piccoli asteroidi (circa cinque impatti al mese!)

## Impatti su Giove

Tuttavia, la mancanza di testimonianze oculari storiche di eventi veramente devastanti, con perdite di molte vite umane ha fatto trascurare, fino ad una ventina d'anni fa, la realtà di questo pericolo. Nel 1994 però, in seguito ad un evento memorabile, di una potenza impressionante, tutto cambiò. La cometa Shoemaker-Levy 9, avvicinatasi a Giove, venne spezzata dall'azione di marea del grande pianeta in una ventina di frammenti di dimensioni comprese fra 500 metri e quattro chilometri. Il successivo passaggio ravvicinato coincise con un clamoroso *splash* dei 20 frammenti nelle nubi gioviane. Nonostante le caute previsioni di molti scienziati lo spettacolo fu pirotecnico, e avrebbe potuto esserlo molto di più se gli impatti non fossero avvenuti nell'emisfero non visibile da terra. Ciascuno dei frammenti più grossi, cadendo, liberò un'energia spaventosa, dell'ordine dei 10 milioni di megatoni: le palle di fuo-



*Le gigantesche perturbazioni atmosferiche prodotte dai frammenti della cometa Shoemaker-Levy 9 su Giove, riprese dal Telescopio Spaziale Hubble (ESA-NASA).*

frammento caduto, che rimasero nell'atmosfera gioviana per mesi. Prima dell'evento fu stimato che un impatto del genere poteva verificarsi su Giove ogni 1000 anni, in media, e che eravamo stati fortunati a potervi assistere. Ma alla luce di quanto osservato la stima fu abbassata ad un intervallo compreso fra 50 e 350 anni. Inoltre, nel 1997 si scoprì che l'astronomo italiano Giandomenico Cassini aveva già osservato delle macchie scure su Giove, per ben 18 giorni consecutivi, nel 1690, e nel luglio 2009 un altro evento simile venne osservato nell'atmosfera del pianeta. La stima è stata quindi rivista molto al ribasso, un evento ogni 10 anni in media. In realtà forse la frequenza è ancora maggiore, perché macchie scure nell'atmosfera gioviana se ne vedono spesso, a patto di avere un telescopio sufficientemente potente, di almeno 30 cm di diametro e buone condizioni di osservazione, e la loro natura potrebbe benissimo essere extraatmosferica, contrariamente a quanto si è sempre pensato.

### ***Spaceguard, un'assicurazione sulla vita***

Comunque, da quel fatidico 1994 la comunità astronomica mondiale, con la NASA in testa, ha preso molto sul serio il rischio potenziale da impatto e ha creato l'organizzazione *Spaceguard* ("Guardia Spaziale") con l'obiettivo di monitorare tutti gli asteroidi appartenenti ai tre gruppi prima citati. Il nome è lo stesso dell'ente che, nel romanzo di Clarke, è stato fondato con lo stesso obiettivo di scongiurare future catastrofi da impatto, ed è stato adottato proprio per omaggiare la straordinaria profetica intuizione dello scrittore. Al momento (agosto 2012) sono stati monitorati da una mezza dozzina di telescopi automatici sparsi nei vari continenti, quasi 9000 oggetti, 850 dei quali

co prodotte dalle cadute, elevandosi a oltre 15 000 km sopra l'atmosfera di Giove, furono visibili oltre il bordo del pianeta anche con medi telescopi. Le perturbazioni prodotte dagli impatti, delle grandi macchie scure più grandi della Terra, furono viste anche con il più piccolo telescopio. Il Telescopio Spaziale *Hubble* poté riprendere quasi tutte le fiammate e una ventina di perturbazioni diverse, una per ogni

di dimensioni superiori ad un km, e il resto di dimensioni comprese fra 50 m e 1 km. Fra questi, i potenziali impattatori, quelli cioè che si avvicinano a meno di 0,05 UA dalla Terra, sono 1323, e 154 hanno diametro superiore ad un km. Tuttavia, ne rimangono moltissimi da scoprire di dimensioni sotto i 200 m (una recente stima dice che ve ne sono 4700 con diametro superiore a 100 m): ognuno di questi, cadendo sulla Terra, può produrre eventi esplosivi di potenza compresa fra i 2 e i 600 megatoni, da 125 a 37 500 volte la potenza della bomba che distrusse Hiroshima. Per capire come questo possa succedere basta fare un rapido calcolo, utilizzando la formula dell'energia cinetica:  $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ . Per esempio, il proiettile di Tunguska, con una massa stimata di 560 000 tonnellate e una velocità d'impatto di 15 km al secondo, sprigionò un'energia di  $6,3 \times 10^{16}$  joule, ovvero oltre 60 milioni di miliardi di joule! Ciò equivale, né più né meno, all'esplosione di una bomba atomica di 14 megatoni. Se si pensa che la bomba che distrusse Hiroshima nel 1945 aveva una potenza quasi mille volte inferiore, si capisce che la stima è del tutto realistica.

Il lavoro di catalogazione è giunto a buon punto ma, come detto, non è certo finito. Anche perché questa realtà è in evoluzione dinamica, nel senso che le continue collisioni fra gli asteroidi e l'influenza gravitazionale dei pianeti maggiori possono modificare drasticamente le orbite, trasformandole da innocue a potenzialmente pericolose, e quindi possibili impattatori possono materializzarsi dal nulla. Sarà comunque necessario trovare qualche altro finanziamento per monitorare gli asteroidi più piccoli, perché occorrono telescopi automatici molto più grandi di quelli impiegati attualmente. Non si tratta di grandi cifre, sarà sufficiente l'equivalente del costo di una decina dei modernissimi, e inutili, caccia da combattimento, due o tre miliardi di euro. Ce lo possiamo permettere, no? Anche perché quello della catastrofe globale è un pericolo lontano (anche se reale,



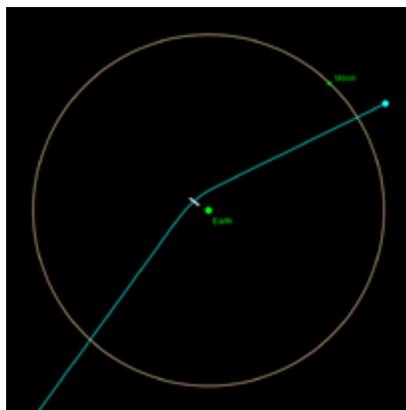
*Lo Steward Observatory Telescope da 152 cm di diametro ubicato sulla cima del Monte Lemmon, in Arizona, ha fatto la parte del leone, con oltre 4000 scoperte, nel ritrovamento degli asteroidi geosecanti, nell'ambito del Catalina Sky Survey (CSS). È anche uno degli strumenti usati dagli studenti dell'Astronomy Camp, uno straordinario progetto di diffusione dell'astronomia messo a punto dall'Università dell'Arizona. Del CSS fa parte anche l'astronomo fiorentino Andrea Boattini, il più grande scopritore italiano di comete (21) e asteroidi (255).*

per la verità, come dimostrano l'estinzione dei dinosauri e le altre estinzioni di massa meno conosciute), ma quello del disastro locale no. Indubbiamente vi sono tante altre cause, più o meno naturali, di calamità, e questa è una delle tante; ma molte, in verità, non si possono scongiurare, questa sì.

## La Scala di Torino

Nel 1999 è stata creata, nel corso di un convegno internazionale svoltosi nel capoluogo piemontese, una scala di pericolosità degli asteroidi geosecanti, chiamata appunto Scala Torino, basata sia sulla probabilità di collisione che sull'energia cinetica in gioco. Questa scala va da 0, per una probabilità di impatto nullo, a un valore 10, per un impatto assolutamente certo e scatenante effetti su scala planetaria. Soltanto un asteroide fra quelli trovati finora, 1950 DA, di 1200 metri di diametro, è classificato ad un valore 2.<sup>5</sup> Osservato per la prima volta nel 1950, se ne persero le tracce ma fu riavvistato nel 2000. Il 16 marzo 2880 avrà un incontro ravvicinato con la Terra, nel quale le probabilità di impattare il nostro pianeta sono 1 su 600. Altri due asteroidi più piccoli presentano un rischio minore, ma più ravvicinato, e sono classificati a 1 nella Scala Torino.<sup>6</sup> Uno ha un diametro stimato di 140 metri e, fra il 2040 e il 2047, potrebbe scontrarsi con la Terra in quattro occasioni, con una probabilità complessiva di una su 500. L'altro, con diametro di 130 metri, potrebbe cadere sul nostro pianeta in quattro occasioni fra il 2048 e il 2057, con una probabilità complessiva di una su 1750.

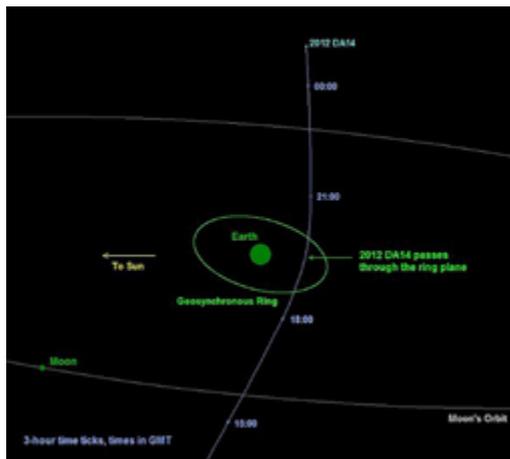
Negli anni scorsi si è molto parlato dell'asteroide Apofi, di 270 metri di diametro. Scoperto nel 2004 al Kitt Peak (fra l'altro uno dei tre scopritori, Fabrizio Bernardi, è originario di Quero), si calcolò che nel passaggio del 2029 avrebbe avuto una probabilità su 37 di impattare la Terra, balzando al grado 4 della Scala Torino, il valore più alto a cui sia mai



La traiettoria di Apofi nel 2029, con la barra che esprime il margine d'incertezza nella posizione (NASA-JPL).

5. Un oggetto che ha un passaggio piuttosto, ma non eccezionalmente ravvicinato. Merita attenzione da parte degli astronomi, ma non preoccupazione da parte della popolazione in quanto una collisione è molto improbabile. Nuove osservazioni molto probabilmente porteranno una riassegnazione al livello 0.

6. Un oggetto che ha un passaggio ravvicinato con la Terra ma senza particolare livello di pericolo. I calcoli mostrano che le probabilità di collisione sono così basse da non meritare grande attenzione e preoccupazione da parte del pubblico. Nuove osservazioni molto probabilmente porteranno una riassegnazione al livello 0.



*Le modalità di avvicinamento dell'asteroide 2012 DA14 il 15 febbraio 2013. (NASA-JPL).*

arrivato finora qualunque asteroide.<sup>7</sup> Da qui, forse con umorismo macabro, la proposta di chiamarlo col nome del dio egizio antagonista del dio sole Ra, personificazione quindi del buio e della notte. Calcoli successivi però per fortuna fecero diminuire via via drasticamente le probabilità di collisione, fino ad escluderla del tutto. Tuttavia si vide che nel 2029 Apofi sarebbe passato così vicino alla Terra che la sua orbita ne sarebbe stata profondamente mutata e, quindi, in un passaggio successivo, nel 2036, vi sarebbe stata un'ulteriore possibilità di impatto. Comunque, nel 2009, ulteriori

raffinamenti dell'orbita hanno permesso di rendere anche questa eventualità trascurabile, con una probabilità di una su 250 000, portando l'asteroide al valore 0 della Scala di Torino.

In ogni caso, il 13 aprile 2029 Apofi passerà veramente molto vicino alla Terra, alla quota di un satellite geostazionario, 36 350 km. Essendo però molto più grande di un satellite, sarà facilmente visibile a occhio nudo, di magnitudine 3,4, dai cieli europei e africani. Un tale evento si verifica in media solo ogni 800 anni, ma non è mai stato registrato nella storia dell'umanità. Si sposterà nel nostro cielo così velocemente che il suo movimento sarà facilmente avvertibile ad occhio nudo. A breve, vi sarà un altro avvistamento thriller con un asteroide più piccolo, 2012 DA14, di 45 m di diametro, sempre dai nostri cieli: il 15 febbraio 2013 passerà a soli 23 500 km dalla superficie terrestre sfiorando, alle 20:26, la soglia di visibilità a occhio nudo. Sarà sufficiente un piccolo binocolo per seguire il suo veloce movimento fra le costellazioni.

## Le conseguenze di un impatto

Abbiamo già visto cosa succede nel caso di un impatto con un asteroide classe Tunguska o Clarke<sup>8</sup>. Ma se dovesse caderne uno come Apofi, quali sarebbero

7. Un incontro ravvicinato, che merita attenzione da parte degli astronomi. I calcoli mostrano una probabilità di collisione almeno del 1% con possibilità di distruzioni a livello locale. Nuove osservazioni molto probabilmente porteranno una riassegnazione al livello 0. Degno di attenzione da parte della pubblica opinione e dei governi se l'evento si verificherà entro dieci anni.

8. Come detto, l'asteroide di Incontro con Rama aveva una massa oltre 500 volte inferiore a quello di Tunguska. Possiamo stimarne il diametro in circa sette metri. Abbiamo anche detto

le conseguenze? La Nasa ha calcolato in 870 megatoni l'energia dell'impatto, 15 volte superiore a quella della bomba Zar, il più potente ordigno nucleare fatto esplodere dall'uomo. In quell'occasione, il 30 ottobre 1961, l'URSS fece esplodere l'ordigno, una bomba H, ad un'altezza di 4000 metri in un'area disabitata dell'isola di Novaja Zemlja. Tutti gli edifici presenti sull'isola di Severnyj, situati a 55 km di distanza dall'impatto, vennero rasi al suolo; le case in legno vennero distrutte fino a distanze di centinaia di km, mentre quelle in pietra persero il tetto, le finestre e le porte; vennero danneggiate le finestre delle case sino a 900 km di distanza, in Finlandia.

Se Apofis cadesse sulla terraferma i danni causati sarebbero ingenti su un'area vasta migliaia di chilometri quadrati, grande presumibilmente come un'intera regione italiana. Le perdite di vite umane si conterebbero probabilmente a milioni. Se cadesse in mare le conseguenze sarebbero probabilmente ancora più devastanti, con la creazione di tsunami con onde alte, in prossimità delle coste, anche oltre 100 metri.

Forse un'idea delle devastazioni potrebbe essere data da ulteriori ricerche sul lago iracheno di Umm al Binni, di 3,4 km di diametro. Secondo vari studi, per il suo particolare aspetto il lago potrebbe essersi originato come cratere da impatto e la sua formazione non dovrebbe essere anteriore a 5000 anni fa. L'asteroide impattante dovrebbe aver avuto un diametro compreso fra i 100 e i 200 m e aver liberato un'energia compresa fra i 190 e i 750 megatoni. C'è chi pensa addirittura che il collasso della civiltà sumera, avvenuto verso il 2200 a.C., possa essere collegato a questo evento, come pure alcuni passaggi "catastrofici" dell'Epoepa di Gilgamesh, scritta attorno al 1700 a.C.

Nel caso della caduta di un asteroide come 1950 DA, di un km di diametro, e due miliardi di tonnellate di massa, l'energia che sarebbe rilasciata nell'impatto sarebbe pari a 5000 volte quello della bomba Zar, sufficiente a radere al suolo in pochi secondi un'area delle dimensioni della penisola



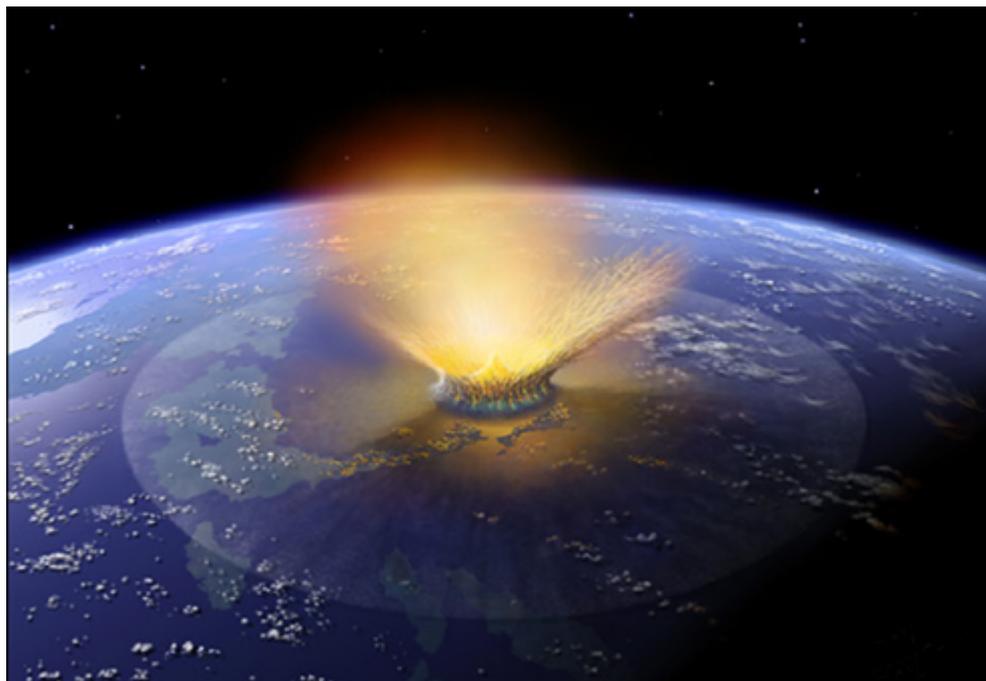
*Immagine da Google Earth del lago di Umm al Binni, che si trova non lontano dalla confluenza fra il Tigri e l'Eufrate.*

---

che oggetti del genere, di norma, si frangono contro l'atmosfera terrestre. Il problema è che l'oggetto di Clarke era di tipo metallico e questi, a causa della loro densità, raggiungono la superficie anche se sono di piccole dimensioni (per fortuna sono solo il 6% del totale). Inoltre viaggiava a una velocità molto superiore al proiettile della Tunguska, 50 km al secondo, cosicché sprigionò pur sempre, al momento dell'impatto, un'energia di 280 chilotoni, 17,5 volte superiore alla bomba di Hiroshima.

iberica e a generare un cratere largo 30 chilometri. Le perdite di vite umane si misurerebbero a decine, se non a centinaia di milioni e vi sarebbero anche significativi cambiamenti nel clima e nella biosfera, costituendo di fatto una minaccia globale per la civiltà umana. Le vittime sarebbero prodotte nei primi momenti dopo l'impatto, oltre che dall'onda d'urto e dall'onda di calore, anche dai numerosi incendi che si produrrebbero fino a grande distanza dall'impatto stesso. La grande quantità di cenere prodotta da questi ultimi e la polvere sollevata nell'impatto, andando a schermare la luce solare per giorni o settimane, provocherebbero un cosiddetto "inverno nucleare". Nel caso di caduta in mare, presso le coste si produrrebbero onde alte fino a 300 metri. Un classico esempio di un evento del genere si trova a poche centinaia di chilometri da noi, in Baviera, ed è costituito dal Nördlinger Ries. In questa regione, circa 14,5 milioni di anni fa impattò un asteroide doppio, con i componenti di 1500 e 150 m di diametro. Il primo produsse il cratere Ries, di 24 km di diametro, il secondo il cratere Steinheim, di 3,8 km, a 42 km di distanza. Entrambe le cicatrici, vista la loro antichità, sono oggi poco visibili, ma è possibile notare facilmente il profilo delle depressioni rispetto all'andamento accidentato del paesaggio della Franconia e della Svevia.

Se a cadere fosse uno dei potenziali impattatori più grandi, come Cuno, Florence o Fetonte, che hanno diametri di 5-6 km, esploderebbe al suolo con una



*Simulazione dell'impatto avvenuto 65 milioni di anni fa nello Yucatan. A quel tempo tutta l'America Centrale non era ancora emersa dal mare (dipinto di Don Davis).*

potenza stimata fra i 30 e i 50 milioni di megatoni, producendo un cratere di 100 km di diametro. In un'area grande come l'intera l'Europa vi sarebbero centinaia di milioni di morti diretti a causa dell'onda d'urto, di quella di calore e della terribile scossa sismica generata nell'impatto. Miliardi di tonnellate di *ejecta*<sup>9</sup> incandescenti verrebbero espulsi su traiettorie suborbitali e ricadrebbero su tutto il pianeta innescando incendi e ulteriori distruzioni da impatto. Andrebbero a fuoco interi continenti, immettendo in atmosfera enormi quantità di carbonio che produrrebbe la formazione di piogge acide e piro-tossine, molto tossiche. La cenere e la fuliggine prodotta negli incendi, assieme alle polveri scagliate in atmosfera dall'impatto,

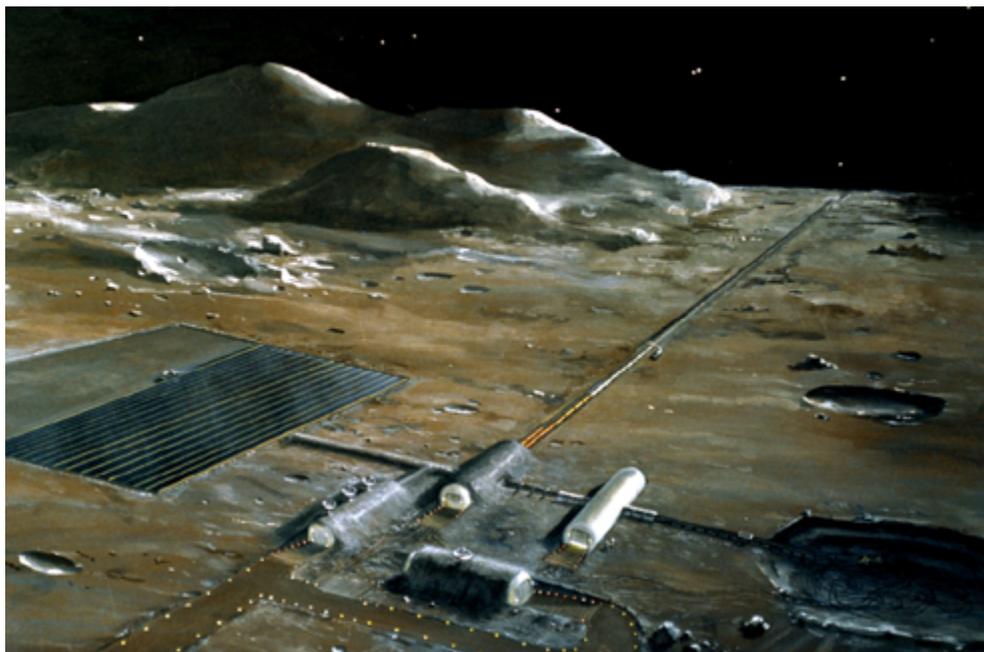


Uno dei più grandi crateri terrestri, il Manicouagan, ripreso dallo Space Shuttle.

ostacolerebbero l'illuminazione del suolo per mesi o anni. La temperatura calerebbe di 10-20 gradi, portando a gelate in piena estate, con la perdita di enormi quantità di prodotti agricoli, mettendo in ginocchio l'economia di interi continenti. A questo periodo iniziale di freddo seguirebbe un'epoca di riscaldamento globale, prodotta dall'enorme quantità di anidride carbonica riversata in atmosfera dagli incendi, che innalzerebbe la temperatura di decine di gradi, soprattutto nelle prime centinaia di metri di acqua marina. Non è chiaro quanto potrebbe durare questa epoca, ma c'è chi parla addirittura di centinaia, se non migliaia di anni. È chiaro che, in queste condizioni, la stessa sopravvivenza della maggior parte delle specie viventi sarebbe a rischio. Un esempio ben conservato di un impatto di questo tipo è il cratere Manicouagan, oggi occupato da un lago, nel Quebec. Attualmente la struttura ha un diametro di 72 km, ma in origine era larga 100 km. È stata prodotta da una caduta di un corpo impattante di 5 km di diametro avvenuta 214 milioni di anni fa.

Per quanto ne sappiamo attualmente, comunque, questa eventualità di fine del mondo ha probabilità molto basse di verificarsi, almeno nei prossimi anni. Anzi, è stato stimato che il lavoro compiuto finora abbia già drasticamente abbassato la probabilità personale di morire a causa di un impatto che era di 1 su 20 000 nel 1996 (la stessa di un incidente aereo) a 1 su 720 000.

9. In planetologia gli *ejecta* sono i detriti che vengono proiettati tutt'intorno durante la formazione di un cratere da impatto.



*Simulazione NASA di una catapulta elettromagnetica impiegata su di una base lunare.*

## **Evitare l'Armageddon**

Che cosa si potrà fare, comunque, nel caso della scoperta di un asteroide in rotta di collisione? Poiché, come abbiamo visto, per la natura del processo di monitoraggio, questa scoperta dovrebbe avvenire molti anni prima del possibile disastro, non sarà nemmeno necessario ricorrere ai metodi violenti visti in tante pellicole di Hollywood. Sarà sufficiente infatti imprimere un'accelerazione lieve, ma protratta nel tempo, per deviare l'asteroide di quel tanto che basta a scongiurare l'impatto. Molti metodi sono stati proposti a questo fine. Fra questi segnaliamo:

- 1) Motori: installando un motore a razzo, o a ioni, sull'asteroide alcuni anni prima dell'impatto sarà sufficiente imprimere un'accelerazione continuata dell'ordine di un metro al secondo per evitare la collisione.
- 2) Catapulta elettromagnetica: si tratta di un dispositivo installato sull'asteroide che, tramite un binario su cui un veicolo viene accelerato elettromagneticamente, permette di scagliare materiale dell'asteroide nello spazio, permettendo di ottenere degli impulsi specifici, di bassa entità, ma continui nel tempo e quindi atti ad imprimere un'accelerazione avvertibile. Questa opzione però è per il momento al di là della tecnologia disponibile.
- 3) Focalizzazione dell'energia solare: per mezzo di enormi lenti installate su

una stazione spaziale in orbita eliocentrica si concentrerebbe la luce solare sull'asteroide in modo da vaporizzarne in grandi quantità la superficie e ottenere una spinta dinamica sufficiente alla deviazione.

4) Vela solare: si tratterebbe di sfruttare la pressione esercitata dalla luce solare su di un oggetto nello spazio. Siamo già in grado di costruire delle vele di un chilometro di diametro e lanciarle nello spazio, anche se rimane da risolvere il problema di come agganciarle ad un oggetto in rotazione come un asteroide. Tuttavia la vela solare potrebbe essere usata come un grande specchio che, concentrando la luce del Sole sulla superficie dell'asteroide, ne farebbe evaporare parte della superficie, come con il metodo precedente. È stato calcolato che una vela di un chilometro di lato resa operativa per un anno sarebbe in grado di creare una spinta più che sufficiente. La tecnologia delle vele solari non è ancora matura, ma è molto promettente, soprattutto per merito dell'agenzia spaziale giapponese JAXA, che fra il 2007 e il 2010 utilizzò i pannelli solari della sonda *Hayabusa* come vele solari come complemento di spinta per i propulsori ionici per permetterne il rientro a terra, nel 2010 lanciò con successo la sonda *Ikaros* che, usando come propulsore principale una vela di poliammide di 14 m di lato, riuscì ad arrivare su Venere in soli sei mesi, trasportando fra l'altro anche un *orbiter* venusiano, e a breve lancerà anche una sonda con una vela di 35 m di lato verso Giove. Una vela di 1 km di lato, costituita dello stesso materiale, peserebbe non più di quattro tonnellate, ben alla portata delle nostre capacità di lancio.



*Un trattore gravitazionale si affianca all'asteroide da deviare (dipinto di Dan Durda).*

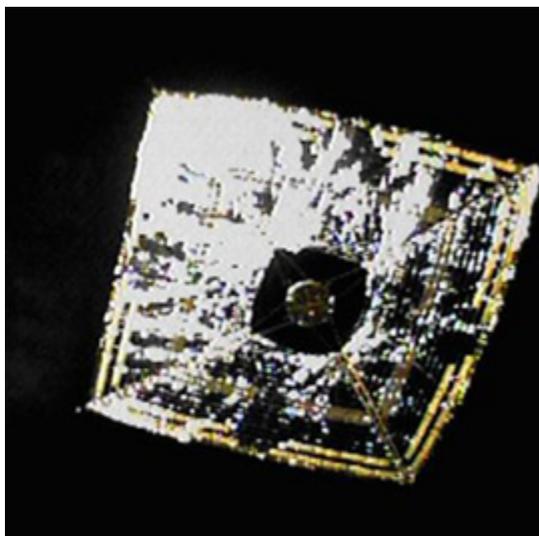
5) Tecnologia laser: dei potenti laser potrebbero essere impiegati come metodo per vaporizzare grandi quantità di superficie del corpo impattante, nel tentativo di imprimere una spinta sufficiente a deviarlo. L'aeronautica statunitense ha già dimostrato di essere in grado di sviluppare queste tecnologie, tuttavia non siamo attualmente in grado di utilizzarne una versione operativa nello spazio.

6) Trattore gravitazionale: si tratterebbe di affiancare all'asteroide una sonda spaziale automatica sufficientemente pesante. Anche se la differenza di massa fra i due oggetti è enorme, l'asteroide sarebbe attirato verso la navicella come questa è attirata verso di esso (naturalmente, per non farla precipitare addosso all'asteroide, la sonda sarebbe continuamente mantenuta in volo vicino dall'uso di spinte ottenute per mezzo di razzi di assetto) e quindi sarebbe portato a cambiare, sia pure di poco, la sua orbita. Per esempio, nel caso di un asteroide di 100 m di diametro, è stato calcolato che sarebbe sufficiente imprimere, da parte di una nave di poche tonnellate (la massa di un tipico satellite per telecomunicazioni), un'accelerazione di una frazione di mm al secondo per pochi mesi.

7) Pastore ionico: in questo caso una sonda verrebbe posizionata vicino all'asteroide e produrrebbe un fascio di ioni il cui urto sulla superficie produrrebbe la spinta necessaria a deflettere l'asteroide.

8) Alterazione dell'albedo: si tratterebbe di ricoprire l'asteroide con del biossido di titanio (bianco) o del particolato carbonioso (nero) per variare le proprietà riflettenti dell'oggetto e quindi ottenerne una sua deviazione tramite una notevole variazione del suo

effetto Yarkovsky. Quest'ultimo è dovuto al fatto che la superficie degli asteroidi irradia maggiore energia nello spazio nelle ore del "pomeriggio" rispetto a quelle del "mattino". Lo squilibrio dell'emissione di radiazione induce una forza che agisce sull'asteroide in una particolare direzione che dipende dall'orientazione dell'asse di rotazione e dal senso di rotazione, e ha come effetto di rallentare o accelerare l'asteroide nella sua orbita. Sicuramente trasportare grandi quantità di materiali chiari o scuri ricoprenti nello spazio è al di là delle nostre possibilità tecnologiche, o comunque richiede-



*Le vela della sonda Ikaros perfettamente dispiegata, ripresa da una delle camere eiettabili del veicolo spaziale (JAXA).*

rebbe degli studi e dei progetti molto impegnativi in questo senso, ma una soluzione alternativa potrebbe essere quella di bombardare semplicemente il suolo dell'asteroide con dei proiettili impattanti che portino in superficie gli strati sottostanti, che sono più chiari di quelli superficiali.

Probabilmente altre idee saranno proposte negli anni a venire, e alcune di quelle che ho qui prospettato saranno magari scartate perché, ad un'analisi più approfondita, si riveleranno irrealizzabili. Tuttavia urge assolutamente cominciare a testarle, attraverso missioni spaziali dedicate. Non solo, ma bisognerà anche stabilire una sequenza di decisioni politiche da assumere a livello mondiale per consentire risposte appropriate, tempestive, coordinate ed efficaci nei confronti della minaccia che si prospetterà. Altrimenti, quando verrà il giorno, non potremo dire di essere veramente pronti.

## CAPITOLO III

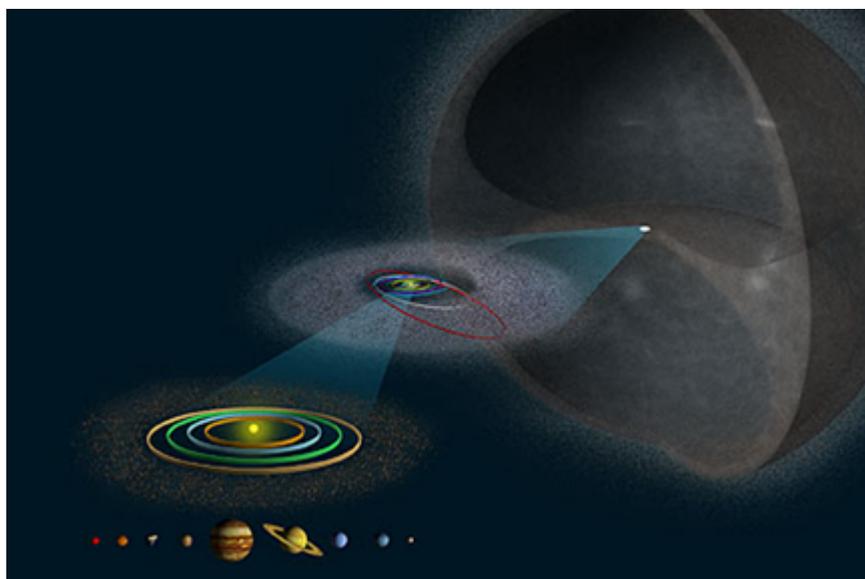
### L'IMPATTO DI UNA COMETA

#### Dal paradiso all'inferno

Davvero gli oggetti più belli e ricchi di fascino che possono apparire in cielo possono tramutarsi nel peggiore incubo dell'uomo? Purtroppo sì: oltre che dagli asteroidi, un pericolo concreto di impatto esiste anche da parte delle comete, e questa attualmente è una faccenda forse più preoccupante della precedente.

#### Da dove vengono

Anche le comete, come gli asteroidi, sono in qualche modo il residuo di ciò che resta dopo la formazione dei pianeti maggiori. Nella parte esterna del sistema solare planetesimi formati non soltanto da rocce, ma anche da vari ghiacci, d'acqua, di anidride carbonica, di ammoniaca e di metano, si condensarono a costituire gli embrioni planetari che poi, ulteriormente aggregandosi, andarono a formare Urano e Nettuno. L'influenza gravitazionale di questi due giganti impedì l'ulteriore aggregazione di altri pianeti, lascian-



*La nube di Oort, la cintura di Kuiper e il sistema solare interno.*



*Una delle comete più spettacolari apparse negli ultimi decenni, la Hyakutake, visibile nel marzo-aprile 1996 (foto dell'autore).*

do, al loro esterno, similmente alla cintura asteroidale fra Marte e Giove, soltanto embrioni planetari della grandezza di Plutone, del suo satellite Caronte, di pochi altri oggetti di dimensioni simili, oltre a molti milioni di altri di dimensioni più piccole sparsi in questa cintura esterna, chiamata Cintura di Edgeworth-Kuiper, che si estende fin quasi al doppio della distanza di Nettuno dal Sole (8,3 miliardi di km). Esternamente alla Cintura si trova il cosiddetto Disco Diffuso, che la circonda come una fascia toroidale e che si estende fino a 15 miliardi di km dal Sole. Da questo Disco provengono le comete a breve periodo, quelle che hanno periodo inferiore a 200 anni. Molti planetesimi ghiacciati, influenzati non solo dalle perturbazioni a lungo termine degli embrioni in formazione di Urano e Nettuno, ma anche da quelle prodotte dalla materia, stelle gas e polveri, concentrata lungo il piano della nostra Galassia, aumentarono l'eccentricità e le dimensioni delle loro orbite, allontanando ulteriormente queste comete, fino a distanze medie di 1500 miliardi di km dal Sole, nella cosiddetta Nube di Hills. Da qui le continue perturbazioni galattiche spinsero molte comete a distanze fra 7000 e 20 000 miliardi di km dal Sole, nella Nube di Öpik-Oort, che ha la forma di un enorme sferoide centrato sul Sole avente dimensioni di 30 000 x 24 000 miliardi di km. Si stima che la Nube di Hills contenga da 500 a 1000 miliardi di comete, la Nube di Öpik-Oort da 100 a 1000 miliardi. Una volta attestate in

queste nubi le comete non risentono più dell'azione gravitazionale dei pianeti ma, poiché si trovano a metà strada fra la nostra e le stelle più vicine, sono sottoposte all'influenza gravitazionale di queste. Infatti, passaggi ravvicinati delle stelle più prossime, oltre alle perturbazioni galattiche e a quelle dovute all'eventuale incontro con nubi molecolari giganti, possono strappare le comete all'attrazione del Sole oppure farle decisamente precipitare sulla nostra stella. Se questo accade, la cometa inizia un lungo viaggio, che dura milioni di anni, verso il Sole.

## Comete killer

Ora, fra i 9000 oggetti in rotta di collisione trovati, 92 sono comete, ma il pericolo non viene da queste, che hanno comunque orbite e periodi orbitali, pochi anni, simili a quelle degli asteroidi geosecanti, e quindi sono già precisamente inquadrati. Fra queste 92 comete sono comprese anche quelle, una ventina, di periodo compreso fra 3,3 e 410 anni, di cui è stata stabilita una parentela con le meteore, o stelle cadenti, che entrano in atmosfera terrestre ogni volta che la Terra, nel suo percorso annuale, interseca o passa molto vicino alla traiettoria cometaria. Si tratta, com'è noto, di particelle polverose perse dal nucleo cometario ad ogni passaggio vicino al Sole. Una di queste comete, la Swift-Tuttle, madre delle famose Perseidi, le stelle cadenti di agosto o "lacrime di S. Lorenzo", è giustamente diventata famosa come "il corpo esistente più pericoloso per l'umanità". Infatti, è una delle comete più grandi esistenti e, con 26 km di diametro, è l'oggetto più grande che intersechi l'orbita del nostro pianeta. Nelle prossime migliaia di anni un impatto è escluso ma se avverrà, in un futuro più remoto, libererà un'energia pari a 2,4 miliardi di megatoni, oltre 20 volte maggiore di quella prodotta dall'asteroide che provocò l'estinzione dei dinosauri. Questo a causa non solo della massa, ma anche dell'enorme velocità geocentrica, 60 km al secondo. La cometa ci passerà alla larga fino al 4479. In quell'anno passerà alla distanza di sicurezza di non meno di 4,5 milioni di km, quanto basta però per farla diventare la più spettacolare cometa della storia. In futuro, comunque, per evitare possibili collisioni, essendo l'orbita della cometa ben conosciuta, sarà possibile applicare uno dei metodi descritti nel capitolo precedente.

Cosa che non si potrà fare, invece, con una cometa a breve periodo che dovesse essere scoperta *ex-novo* o con una cometa novella che se ne esce dritta dalle Nubi esterne. Com'è facile capire, infatti, oggetti così piccoli come le comete, quando sono a notevole distanza da noi sono invisibili anche con i più grandi telescopi. Attualmente, solo quelle più grandi e luminose, come la Hale-Bopp, possono essere scoperte quando sono ancora distanti da noi, diciamo con un paio d'anni di preavviso. In futuro sarà senz'altro possibile aumentare questo preavviso per le comete più luminose e portarlo a qualche



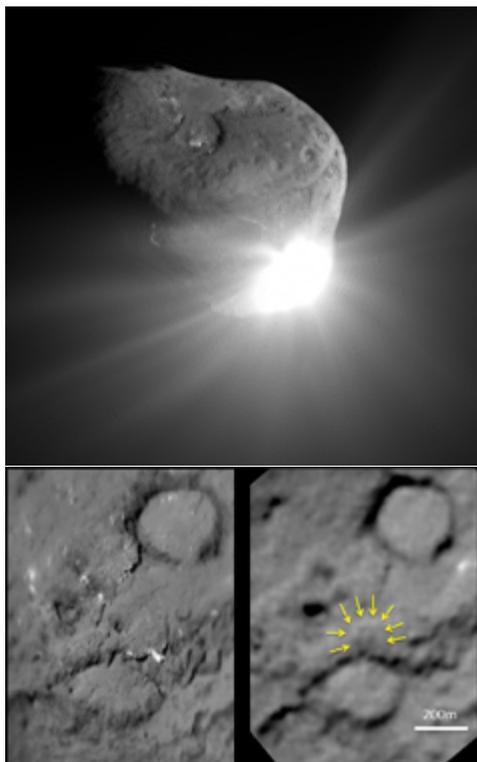
*Nel 1992, quando la cometa Swift-Tuttle, che ha un periodo orbitale variabile, di circa 125-135 anni, ritornò a farci visita, i primi calcoli indicavano che nel 2126, al prossimo ritorno, avrebbe potuto impattare il nostro pianeta. Le successive effemeridi mostrarono che non c'era alcun pericolo, ma in quegli anni qualcuno si divertì a immaginare l'impatto, chissà perché, sui cieli della vecchia Europa! Quest'immagine fu pubblicata sulla copertina di Sky & Telescope del gennaio 1993 (dipinto di Don Davis).*

anno per quelle più deboli. Tuttavia, è chiaro che anche domani potrebbe essere scoperta una cometa destinata a scontrarsi con la Terra perfino entro qualche mese.

Stando così le cose, è chiaro che gli interventi *soft* di cui abbiamo parlato nel capitolo precedente sono fuori luogo, e quindi sarà necessario ricorrere ad altre strategie, più dirette e massive, e anche con armamenti nucleari, con grande soddisfazione del Pentagono e dei vari ministeri della guerra delle nazioni (in)civili.

### **Lavatrici contro comete**

Un primo tipo di intervento consiste nell'inviare contro la cometa un proiettile senza armamenti, il più pesante possibile, nel tentativo di produrre



In alto, l'impatto del proiettile della Deep Impact con la Tempel 1; sotto, confronto fra la regione prima e dopo l'impatto: la seconda immagine è della sonda Stardust, la cui orbita è stata mutata all'occorrenza (NASA).

un urto in grado di deviare sufficientemente la sua traiettoria. Inviare dell'esplosivo convenzionale come il tritolo è una strategia inefficiente, perché il suo potere di detonazione aggiungerebbe un'energia del tutto trascurabile a quella cinetica posseduta dal proiettile in movimento ad alta velocità. Questa strategia è già stata sperimentata con successo dalla sonda della NASA *Deep Impact* nel 2005 con la cometa Tempel 1 (di dimensioni  $8 \times 5$  km). Alcuni giorni prima del *rendez-vous* con la cometa, la sonda ha liberato un proiettile di 370 kg, grande come una lavatrice, che ha poi impattato la Tempel 1 ad una velocità di 37 000 km all'ora, producendo sulla superficie un'esplosione di 4,5 kilotoni di potenza, fra un terzo e un quarto della bomba di Hiroshima. L'urto ha prodotto un cratere di 150 metri di diametro, e una perdita nello spazio, continuata per due settimane, di 5000 tonnellate di acqua e alcune migliaia di tonnellate di polveri.

Questo metodo potrebbe funzionare tuttavia solo con una missione che

partisse con largo anticipo rispetto all'impatto previsto. Anche perché l'esperimento della *Deep Impact* sembra dimostrare che i nuclei cometari, che hanno densità in media solo un quinto degli asteroidi, sono comunque molto più compatti di quanto si pensava. Infatti, il modello che andava per la maggiore nell'interpretazione della natura dei nuclei cometari era quello del "mucchio di detriti primordiali", consistente non in un unico corpo ben definito bensì in un insieme di frammenti più piccoli saldati debolmente fra di loro dai ghiacci interposti fra i vari frammenti. Non sembra sia proprio così, e quindi certamente un urto, per quanto potente e da parte di un oggetto massiccio e lanciato a forte velocità, non sembra in grado, per esempio, di distruggere o frammentare apprezzabilmente un nucleo di dimensioni medie. Tuttavia un tale urto, se sufficientemente potente, potrebbe essere in grado di deviare sensibilmente la traiettoria di un oggetto più piccolo, dell'ordine dei 100-500 m di diametro. Per questo motivo l'Agenzia Spaziale Europea ha allo studio una missione, la *Don Quijote*, in agenda di lancio per il 2013-2015,

che dovrebbe bombardare o Apofi o l'asteroide 2003 SM 84 (100 m di diametro) con un proiettile di mezza tonnellata, chiamato *Hidalgo*. Lo scopo della missione sarà quello di misurare quanto più precisamente possibile l'entità della deviazione ottenuta, attraverso un *orbiter* chiamato *Sancho*, e quindi di verificare l'efficacia di questo metodo.

### ***Project Icarus e altre storie atomiche***

Quindi, soprattutto se sarà necessario lanciare con pochi mesi o addirittura settimane di preavviso, bisognerà ricorrere ad armi nucleari. Si potrebbe ingenuamente pensare che, dato che l'umanità possiede circa 20 000 testate nucleari (sapevate che ce ne sono 90 anche in Italia, fra Aviano e Ghedi Torre?) siamo in grado di distruggere tutto ciò che ci vola sopra la testa, a volontà, e in quattro e quattr'otto. Non è così. Per portare una testata nucleare nello spazio, come qualsiasi altro oggetto, ci vuole un lanciatore, e normalmente questi non sono disponibili, ma vengono costruiti alla bisogna per portare in orbita satelliti (di telecomunicazioni, meteo, militari, di ricognizione, scientifici, ecc.) o materiale e uomini sulla *Stazione Spaziale Internazionale*. Data la frequenza di lancio attuale, è pensabile che nel giro di un paio d'anni tutte le agenzie spaziali esistenti (NASA, ESA, agenzie di Russia, Cina, Giappone, Brasile, India, Canada, Germania, Francia, Italia, Corea del Sud) potrebbero essere in grado di assemblare una quarantina di lanciatori in grado di trasportare ciascuno da 5 a 10 testate da un megatone, per una potenza complessiva da 200 a 400 megatoni. Un'altra possibilità potrebbe essere quella di modificare i circa 900 missili balistici intercontinentali presenti in varie parti del mondo, compito che probabilmente potrà essere assolto in un paio d'anni di lavoro intenso. Insomma, l'umanità ha a disposizione una potenza di fuoco piuttosto notevole, da 200



*La missione dell'ESA Don Quijote: simulazione dell'impatto del proiettile Hidalgo, mentre Sancho lo osserva dall'orbita.*

a 900 megatoni, atti a scongiurare il cosiddetto “giorno del giudizio”. Sarà sufficiente, tutto questo, a distruggere, o almeno a deviare considerevolmente la cometa impattante? Probabilmente sì, il problema è che piani di allerta di questo tipo non sembrano esistere. L’unico studio di un certo spessore fatto su questo argomento risale al 1967 e fu fatto dal prof. Paul Sandorff del MIT e dai suoi studenti. Nello studio si immaginava di fronteggiare l’impatto da parte dell’asteroide Icaro, di 1400 metri di diametro, con solo un anno di preavviso. Il lavoro, chiamato *Progetto Icarus* fu anche pubblicato come libro e ispirò il film del 1979 *Meteor*, con Sean Connery. Con la tecnologia di allora l’unica strada praticabile sembrò quella di costruire sei intercettori, lanciati dal *Saturno V*, il vettore delle missioni sulla Luna, formati ciascuno da tre moduli: un modulo di servizio, a forma di tamburo, simile a quello delle missioni *Apollo*, un secondo modulo, simile al primo, ma contenente una bomba atomica da 100 megatoni e del peso di 18 tonnellate, un modulo di comando ridotto al minimo contenente i dispositivi automatici di guida. Il primo intercettore sarebbe stato lanciato 73 giorni prima della collisione di Icaro con la Terra e avrebbe raggiunto l’asteroide 13 giorni prima dell’impatto, a 32 milioni di km dalla Terra; il secondo intercettore sarebbe stato lanciato 58 giorni prima dell’impatto e avrebbe raggiunto Icaro 10 giorni prima dell’impatto a 25 milioni di km dalla Terra. Gli altri intercettori sarebbero stati lanciati rispettivamente 44, 33, 5 e 5 giorni prima dell’impatto e sarebbero giunti sul loro obiettivo una settimana, 5 giorni, 22 e 20 ore prima dell’impatto, a distanze dalla Terra rispettivamente di 17,6, 12,3, 2,2 e 2 milioni di km. Ciascuna carica nucleare sarebbe stata fatta esplodere in successione, quando ciascun intercettore si sarebbe trovato fra i 15 e i 30 metri da Icaro. Ciascuna botta avrebbe prodotto, secondo lo studio, un cratere di circa 300 m di diametro e sarebbe stata sufficiente ad alterare la velocità dell’oggetto fra gli 8 e i 290 m al secondo. Le esplosioni in sequenza comunque sarebbero state sufficienti a polverizzare l’asteroide o a ridurlo in frammenti di grandezza non preoccupante. Se dopo la prima esplosione si fosse prodotta una frammentazione in due, tre o quattro componenti, i successivi intercettori sarebbero stati diretti su ciascuno di essi. Al contrario, se le prime esplosioni fossero state sufficienti a distruggere l’asteroide, le successive navette sarebbero rimaste a terra.

Tutto sommato, una strategia di questo tipo sembra essere più corretta e razionale di quella immaginata in film come *Deep Impact* dove viene lanciata una singola sonda. Nei film di questo tipo, ovviamente, per aumentare la drammaticità, si immagina di avere limitare risorse e una singola, al massimo due, possibilità. Per fortuna, nella realtà la situazione è migliore, siamo messi meglio, come potenziale nucleare e tecnologia. Il problema è che manca un piano: mi sentirei molto meglio se sapessi che un *Don Chisciotte* è già pronto a partire... Male che vada, comunque, nelle settimane precedenti l’impatto assisteremo senza dubbio al più grande show celeste di tutti i tempi!

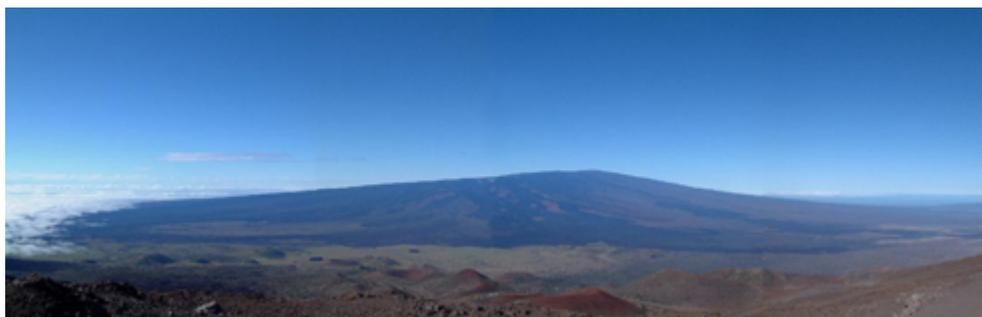
## CAPITOLO IV

### SUPERERUZIONI VULCANICHE

#### I vari tipi di vulcano

Tutti sappiamo come un'eruzione vulcanica possa essere molto pericolosa. Ma può addirittura disegnare uno scenario da fine del mondo? Sembrerebbe di sì. Prima di parlare di questo, vediamo di passare in rassegna brevemente le principali eruzioni vulcaniche distruttive di cui c'è memoria storica. Ma, prima ancora, diciamo due parole sui tipi di vulcani esistenti.

I vulcani possono essere classificati in base alla loro morfologia o in base al tipo di attività. Per quanto riguarda il primo aspetto, una prima distinzione può essere fatta fra i vulcani lineari e i vulcani centrali. Nei vulcani lineari il magma fuoriesce da lunghe e strette fessure della crosta terrestre. Se la lava è basaltica è molto fluida e quindi si spande fino a grandissime distanze originando, eruzione dopo eruzione, i cosiddetti *plateau basaltici*, specie di tavolati o altopiani spessi qualche chilometro ed estesi per centinaia di migliaia e addirittura milioni di km<sup>2</sup>. Imponenti eruzioni lineari di basalti si verificano continuamente lungo gli assi centrali degli oceani ed hanno dato vita nel corso della storia geologica terrestre alle dorsali oceaniche e alle isole o arcipelaghi di origine vulcanica. I vulcani centrali formano degli edifici a forma di cono. Se la lava è basaltica si forma un enorme cono a bassa pendenza, detto *vulcano a scudo*, perché somiglia ad uno scudo appoggiato al suolo. I maggiori vulcani noti nel sistema solare, sulla Terra e su Marte, sono vulcani a scudo. Il più grande vulcano a scudo terrestre è il Mauna Loa: è alto 4169 msm ma la sua base è situata 5000 metri sotto il livello marino, perciò la sua altezza effettiva è di 9000 metri, mentre il suo diametro alla base è di circa 250 km. Il più grande vulcano a scudo di Marte è l'Olympus Mons, alto



*In questa immagine del Mauna Loa si vede chiaramente la modesta pendenza dei fianchi dei vulcani a scudo.*



*L'Olympus Mons ripreso dalla Mars Orbiter Camera a bordo della sonda Mars Global Surveyor, che ha lavorato su Marte dal 1996 al 2007 (NASA-JPL).*

21 183 m sul livello medio marziano e largo alla base 700 km. Se il vulcano emette in modo alternato sia lave fluide che, in forma esplosiva, lapilli (frammenti di lava solida), scorie e ceneri (che quando si depositano al suolo prendono il nome di piroclastiti) si forma uno *stratovulcano*. Il più grande stratovulcano del mondo è l'Ojos del Salado, fra Cile e Argentina, alto ben 6891 m. Per quanto riguarda il secondo aspetto abbiamo die-

ci tipi differenti di vulcani, anche se occorre sottolineare che in un medesimo vulcano possono alternarsi o succedersi nel tempo vari tipi di attività:

**Tipo Hawaiiiano.** Sono caratterizzati da abbondanti effusioni di lave molto fluide, che danno origine ai tipici vulcani a scudo. Il cratere vulcanico è di grandi dimensioni, con pareti verticali, di forma cilindrica, e viene chiamato *cratere a pozzo*. Sul suo fondo può ristagnare un *lago di lava*, con superficie solida, ma sotto la quale la lava può rimanere fusa per molti anni.

**Tipo islandese.** La lava fuoriesce da lunghe fessure e non da un edificio centrale. Il ripetersi delle eruzioni porta alla formazione dei plateau basaltici. Al termine dell'eruzione la fenditura di emissione può sparire perché ricoperta dalla lava fuoriuscita e solidificata, ma può riapparire in una successiva eruzione.

**Tipo surtseiano.** Dal nome dell'isola di Surtsey emersa dalla superficie dell'Oceano atlantico (a sud dell'Islanda) nel 1963. Questo tipo di attività avviene in acque poco profonde: l'interazione fra l'acqua e i magmi conduce a violente esplosioni e dà luogo alla formazione di anelli di tufo e coni piroclastici di cenere.

**Tipo stromboliano.** Magmi abbastanza fluidi ristagnano periodicamente all'interno del cratere, dove iniziano a solidificare. Al di sotto della crosta



*L'Ojos del Salado, nelle Ande, è in assoluto il più alto vulcano del mondo fra tutti i tipi di vulcano, e la seconda montagna più alta delle Americhe, dopo l'Aconcagua.*

solida si vanno accumulando però i gas, la cui pressione aumenta via via con la temperatura fino a che, ad intervalli di pochi minuti o di un'ora circa, riescono a far saltare la crosta con modeste esplosioni che lanciano in aria brandelli di lava fusa (le cosiddette "bombe"). Questa è l'attività "normale". I gas però possono espandersi molto più tumultuosamente, producendo vere e proprie fontane di lava e anche fuoruscita di colate laviche.



*Uno degli stratovulcani più famosi al mondo è il Fuji, la montagna più alta del Giappone, qui ripreso dalla Stazione Spaziale Internazionale da 374 km di altezza con un obiettivo da 800 mm di focale (NASA).*

**Tipo vulcaniano.** Si tratta di un meccanismo simile, solo

che qui le lave sono molto più viscosi per cui formano un "tappo" di grosso spessore nella parte alta del condotto vulcanico. I gas quindi impiegano molto più tempo per raggiungere pressioni sufficienti a vincere l'ostruzione. Quando ciò avviene, l'esplosione è violentissima. Questo tipo di eruzione prende il nome dall'isola di Vulcano nell'arcipelago delle Eolie, dove è stata osservata per la prima volta, durante l'ultima eruzione del Vulcano della Fossa, nel 1888-90. In genere i grandi vulcani, se il loro cratere è ostruito, iniziano l'eruzione con una violenta fase vulcaniana. La lava porta con sé i brandelli dell'ostruzione e dal cratere si alzano grandi nubi a forma di fungo formate da ceneri, gas e vapori.

**Tipo vesuviano (o sub-pliniano).** Simile al tipo vulcaniano ma con la differenza che l'esplosione è ancora più violenta, tanto da svuotare gran parte



*Violenta attività di tipo esplosivo dello Stromboli ripresa il 12 giugno 2012 da Marco Fulle.*

del condotto superiore: il magma allora risale dalle zone più profonde con grande velocità fino ad espandersi in maniera esplosiva all'uscita dal cratere e dissolversi in una gigantesca nube di goccioline minute.

**Tipo pliniano.** (In onore di Plinio il giovane che per primo descrisse questo tipo di eruzione osservando quella del Vesuvio del 79 d.C.).

Si forma una colonna di vapori e gas che fuoriesce dal condotto con

*Il Vulcano della Fossa nell'isola di Vulcano, nelle Eolie: attualmente l'attività vulcanica è limitata alle fumarole (foto dell'autore).*



tale forza da salire dritta addirittura per alcuni chilometri. Poi la colonna si espande in una nube ardente, a forma spesso di pino marittimo, costituita da gas e lava polverizzata.

Si tratta di eruzioni, pro-

dotte da magma molto viscoso, estremamente pericolose, che si concludono addirittura spesso con il collasso parziale o totale dell'edificio vulcanico.

**Tipo peleano.** (Dal nome del vulcano La Pelée nella Martinica, la cui eruzione nel 1902 causò 30 000 vittime). Eruzione simile a quella vulcaniana, solo che in questo caso la struttura del vulcano è capace di resistere a pressioni maggiori e quindi quando l'esplosione avviene è molto più violenta. Essa produce una *nube ardente discendente*, che scende lungo i fianchi del vulcano a velocità vertiginose, anche di 150 km all'ora, producendo effetti devastanti.

**Tipo ultrapliniano o krakatoiano.** Le esplosioni sono di intensità ancora



maggiore, e possono arrivare a distruggere completamente l'edificio vulcanico; inoltre viene emessa un'enorme quantità di cenere, che può arrivare a influenzare il clima negli anni successivi.

**Eruzioni distruttive da grandi caldere<sup>10</sup> o super-**

*Fuoco e ghiaccio: l'Etna in eruzione nel gennaio 1999 dal cono sub-terminale di sud est (foto dell'autore).*

10. Il termine caldera ha un'origine curiosa, perché prende il nome dalla Caldera de Taburiente nell'isola di La Palma nelle Canarie, una grande struttura circolare di circa 10 km di diametro. La parola *caldera* in spagnolo significa "caldaia", ma in seguito si è scoperto che la struttura palmera non ha origine vulcanica, ma erosiva. In prossimità del punto più elevato dell'orlo della Caldera de Taburiente, a 2396 msm, sorge l'Osservatorio del Roque de Los Muchachos, uno dei più grandi al mondo: vi si trovano fra l'altro il Gran Telescopio Canarias che, con i suoi 10,4 metri di diametro è il telescopio singolo con la più grande apertura al mondo, e il più grande telescopio italiano, il Telescopio Nazionale Galileo, di 3,6 m di diametro.



*Attività di tipo esplosivo durante la recentissima eruzione dell'Etna del 3 agosto 2012 (immagine realizzata da Tom Pfeiffer).*

**vulcani.** Sulla superficie terrestre sono state individuate 10-12 grandi caldere senza edificio vulcanico, che ricoprono aree di 10-15 km di diametro e più. Non è mai avvenuta in tempi storici un'eruzione in questo tipo di strutture che oggi sono soggette solo ad un vulcanismo di tipo secondario (geyser, fumarole, sorgenti termali). Gli esempi più noti sono il parco dello Yellowstone, i Campi Flegrei, il lago Toba.

## La scala delle eruzioni vulcaniche

Può essere anche interessante prendere visione della seguente tabella, che fornisce l'indice di esplosività vulcanica (VEI), un tentativo di definire una misura relativa della capacità esplosiva che un vulcano appartenente alle varie tipologie che abbiamo citato può raggiungere.

VEI	Tipo eruzione	Descrizione	Altezza nube di cenere	Volume emesso	Periodicità	Esempio
0	hawaiana	effusiva	<0,1 km	<10 000 m <sup>3</sup>	costante	Kilauea
1	haw.-stromb.	leggera	0,1-1km	>10 000 m <sup>3</sup>	giornaliera	Stromboli
2	stromb.-vulcan.	esplosiva	1-5 km	>0,001 km <sup>3</sup>	settimanale	Galeras
3	vulcan.-peleana	violenta	3-15 km	>0,01 km <sup>3</sup>	pochi mesi	Nevado del Ruiz
4	peleana-pliniana	cataclismica	10-25 km	>0,1 km <sup>3</sup>	≥1 anno	Eyjafjallajökull
5	pliniana	parossistica	20-35 km	>1 km <sup>3</sup>	≥10 anni	Vesuvio, 79 d.C.
6	pliniana-ultrapl.	colossale	>30 km	>10 km <sup>3</sup>	≥100 anni	Krakatoa
7	ultrapliniana	supercolossale	>40 km	>100 km <sup>3</sup>	≥ 1000 anni	Tambora
8	supervulcanica	megacolossale	>50 km	>1000 km <sup>3</sup>	≥ 10 000 anni	Toba

## Le più grandi eruzioni della storia

**Thera.** Un'eruzione che sicuramente ha avuto un ruolo importante nella storia dell'umanità è stata quella dell'isola di Thera, o Santorini, nelle Cicladi. Essa fu uno degli eventi più catastrofici dell'antichità, ma le notizie che ne abbiamo risultano tramandate più nelle leggende che nella storia scritta. Le datazioni più recenti basate sul radiocarbonio indicano che l'eruzione è



Una delle eruzioni storiche del Vesuvio, quella del 1774, vista da Portici (dipinto di Joseph Wright).

avvenuta intorno al 1610 a.C., mentre le datazioni di tipo archeologico posticipano l'evento al 1500 circa. Il magma sottostante al vulcano venne a contatto con l'acqua marina poco profonda dell'insenatura, provocando una violenta esplosione di vapore. Fu prodotto uno tsunami alto decine di metri che devastò la costa nord di Creta, distante circa 110 km. Secondo l'archeologo greco Spyridon Marinatos l'impatto dello tsunami è visibile sullo spostamento di alcuni blocchi di pietra di una villa

nel porto minoico di Amnisos. Sull'isola di Anafi, 27 km ad est di Thera, sono stati trovati strati di cenere profondi tre metri, e strati di pomice sono stati rilevati sui pendii 250 m sopra il livello del mare. Durante l'eruzione vennero emessi 100 km<sup>3</sup> di materiali piroclastici. Secondo Marinatos la fine della civiltà minoica fu causata da questo cataclisma, anche se attualmente gli studiosi sono inclini a ritenere che, al più, esso possa essere stato una concausa.

**Vesuvio.** Celeberrima è la già citata eruzione del Vesuvio, del 24 agosto 79 d.C., che distrusse in poche ore Pompei, assieme ad altre città minori. Dal vulcano si alzò un cono di fumo e cenere che arrivò fino a grande altezza, e su Pompei e le città limitrofe si abbatté una pioggia di cenere rovente, lapilli, grumi di pomice e roccia nera. Una grande quantità di frammenti rocciosi rotolò giù dai fianchi della montagna e fiamme scaturirono da molti punti con grande violenza. Le vittime morirono sia arse vive dalla nube ardente che soffocate dalla polvere e dalle ceneri. L'eruzione durò poco più di 25 ore, durante le quali il vulcano espulse quasi un miliardo di metri cubi di materiale. Se oggi si ripetesse un'eruzione di questa violenza, in un'area che è molto più popolata di un tempo, morirebbero diverse centinaia di migliaia di persone. E forse le prospettive sono ancora peggiori. Nel 2006 Giuseppe Mastrolorenzo, dell'Osservatorio Vesuviano, e Michael Sheridan, dell'Università di Buffalo, hanno trovato evidenze di un'eruzione molto più potente avvenuta 3800 anni fa (denominata *Avellino* in quanto depositò materiale fino all'omonima città), durante la quale una nube ardente di enormi proporzioni viaggiò per 20 km e seppellì letteralmente l'intera area sulla quale oggi sorge Napoli. Lo strato depositato da questo flusso è spesso quattro metri, quando uno spessore di pochi pollici sarebbe sufficiente ad uccidere chiunque si trovasse in quel luogo. Se la prossima eruzione fosse di queste proporzioni

lo scenario potrebbe essere più o meno il seguente: il tutto inizierebbe con un'esplosione così forte che una colonna di ceneri e pietre salirebbe fino a 40 km di altezza, nella stratosfera. I detriti poi cadrebbero a terra, tempestando la superficie con frammenti incandescenti di pomice e ricoprendo il suolo con uno spesso strato di cenere. I tetti verrebbero sbriciolati e i veicoli letteralmente maciullati. Ben presto, valanghe di cenere fusa, pomice e gas rotolerebbero mugghiando giù per i fianchi del vulcano, polverizzando gli edifici e seppellendo tutto al loro passaggio. In men che non si dica, la città di Napoli e il suo comprensorio si trasformerebbero in una landa desolata. Recenti studi hanno rivelato la presenza di uno strato anomalo, spesso 8-10 km, sotto la superficie della montagna. Se si tratta di una riserva di magma attivo, come ipotizzato da Mastrolorenzo e dalla sua collega Lucia Pappalardo, allora essa potrebbe essere in grado di causare esplosioni di tipo pliniano di enorme intensità, anche molto maggiore di quella del 79 d.C. E, purtroppo, anche se è possibile che segni premonitori di una tale catastrofe siano avvertiti settimane, o addirittura mesi o anni prima dell'evento, il tutto potrebbe invece dare pochissimi o nessun presagio: l'analisi geochimica delle rocce delle precedenti eruzioni fa capire che il magma ascende rapidissimamente, nel giro di poche ore, dalla camera magmatica alla superficie.

**Etna.** Un'altra eruzione tra le più distruttive è stata quella dell'Etna del 1669. Ebbe inizio il 25 febbraio con una serie di violenti terremoti, che sconquassarono il fianco sud-orientale del vulcano provocando danni e crolli a Nicolosi. L'8 marzo si aprì una enorme fenditura, lunga 18 km e larga un metro e mezzo, nel fianco della montagna, da Monte San Leo (1200 msm) a Monte Frumento (2800 m). Durante tutto il mese di marzo una enorme quantità di magma fuoriuscì dai vari crateri che si erano aperti, seppellendo con uno strato di lava alto oltre 10 m i paesi di Nicolosi, Belpasso, Mompilieri, Mascalucia, San Pietro Clarenza,



*L'eruzione dell'Etna del 1669 nel dipinto di Giacinto Platania, testimone oculare dell'evento.*

Camporotondo Etneo, San Giovanni Galermo e Misterbianco. Il 25 marzo il cratere centrale del vulcano collassò improvvisamente e il materiale subito dopo venne scagliato in aria. Contemporaneamente veniva emessa una grandissima quantità di cenere che cadeva su Pedara, Trecastagni ed altre località, e un forte e incessante tremore faceva vibrare il terreno in tutta



*La caldera del Tambora oggi: il vulcano ha eruttato ancora intorno al 1880 e, molto debolmente, nel 1967. Attualmente l'attività sembra limitata alle fumarole (Jialiang Gao).*

la Sicilia orientale. A fine mese la lava iniziò a seppellire i quartieri occidentali di Catania, compreso il fiume Amenano ed il Lago di Nicito ed arrivò fino al mare, dove formò un piccolo promontorio. L'eruzione si concluse a metà luglio dello stesso anno. In seguito all'eruzione del 1669 la morfologia di tutta l'area sud dell'Etna subì notevoli trasformazioni; alla quota di circa 1000 m si formarono i due caratteristici coni gemelli detti Monti Rossi. Fu interamente seppellito il fiume Amenano che ha scavato il suo corso nel sottosuolo ed oggi emerge nella Piazza Duomo a Catania, che allora era circa sulla linea del bagnasciuga.

**Tambora.** Quella del Tambora viene considerata la più potente e catastrofica eruzione vulcanica dei tempi storici. Questo vulcano si trova nell'area indonesiana, dove il movimento della placca australiana verso una parte della zolla euroasiatica ha creato, nel corso dei millenni, i vulcani più esplosivi e devastanti conosciuti: oltre al Tambora, il Toba e il Krakatoa. L'eruzione del 1815 iniziò l'11 aprile, con una serie di potenti boati che tuttavia non diedero luogo ad emissione di magma. Il giorno 19 l'attività del vulcano riprese con altri potentissimi boati e l'emissione di una enorme quantità di cenere. L'attività esplosiva durò per circa tre mesi, che provocarono nella montagna una diminuzione di quota dai più di 4100 metri originari agli attuali 2850. Complessivamente, vennero proiettati in aria circa 150 km<sup>3</sup> di roccia, cenere e altri materiali. Il disastro, davvero di proporzioni bibliche, provocò la perdita di oltre 90 000 vite umane, sia come causa diretta dell'esplosione che in seguito alle pesanti carestie che seguirono la sciagura. L'eruzione del Tambora fu preceduta in quegli anni da altre due notevoli: nel 1812 ci fu una violentissima esplosione del vulcano Soufrière, nei Caraibi, mentre nel 1814 fu il Mayon, nelle Filippine, ad eruttare copiosamente. Questi tre eventi portarono, assieme, all'immissione di enormi quantitativi di cenere e polvere nell'atmosfera, che rimasero per molti anni in sospensione e produssero un denso schermo: vi fu una riduzione notevolissima dell'insolazione negli anni successivi, che diede origine a estati insolitamente fresche e inverni freddissimi, che portarono penuria di raccolti e miseria e povertà in vaste aree del pianeta. Per esempio, il 1816, l'anno successivo all'eruzione, fu ricordato come l'anno senza estate. Le conseguenze furono terribili soprattutto in Norda-

merica: nel mese di maggio il ghiaccio distrusse la maggior parte dei raccolti, e a giugno due grandi tempeste di neve provocarono molti morti. Quasi 30 centimetri di neve ricoprirono Quebec all'inizio di giugno, mentre a luglio ed agosto i laghi e i fiumi ghiacciarono in Pennsylvania e tre gelate colpirono il New England distruggendo quasi tutti gli ortaggi. In Europa vi furono grandi tempeste, piogge anomale, esondazioni da parte dei maggiori fiumi, e la presenza di ghiaccio in pieno mese di agosto. A causa della cenere in Ungheria vi fu caduta di neve sporca, e in Italia per un anno si vide cadere della neve rossa. Le popolazioni furono col-



*Una litografia del 1888 che rappresenta la grande eruzione del Krakatoa.*

pitate da una grande miseria, i coltivatori furono ridotti in grande difficoltà e molti capi di bestiame morirono. Ci furono rivolte per il cibo in Gran Bretagna e Francia, con saccheggi dei magazzini, e la Svizzera (che vide nevicare per tutto il mese di luglio) fu costretta a dichiarare un'emergenza nazionale. **Krakatoa.** Tra le grandi eruzioni di cui si ha memoria storica questa viene considerata la più spettacolare, forse perché ha causato i maggiori danni fisici alla crosta terrestre da quando si hanno notizie documentate e foto originali. L'eruzione si verificò nei giorni 26-28 agosto 1883, in Indonesia, nello Stretto della Sonda, fra le isole di Giava e Sumatra. L'esordio si ebbe alle 13 del 26 agosto quando si verificò una prima esplosione che fu udita fino a 160 km di distanza. Un'ora dopo un'esplosione ancora più forte lanciò ceneri e pomice a 27 km di altezza. Seguirono altre esplosioni nei giorni successivi, con la cenere espulsa in quantità tali da oscurare completamente il cielo. L'esplosione di massima violenza si ebbe il 27 agosto: essa formò una nube di ceneri che raggiunse gli 80 km di altezza ed una fitta pioggia di pomice e ceneri cadde su un'area di quasi 900 000 km<sup>2</sup> (tre volte l'Italia). Fu tra le più

violente esplosioni vulcaniche nell'era moderna, equivalente a una potenza di 200 megatoni. A questa esplosione ne seguirono altre due, non troppo inferiori come potenza, nello stesso giorno. Durante la notte l'eruzione diminuì di forza ed il 28 agosto ebbe fine. Secondo i vulcanologi, l'eccezionale potenza dell'esplosione del 27 agosto fu dovuta al fatto che nei due giorni di attività si erano aperte delle vaste fessure nella roccia del vulcano. In questo modo l'acqua del mare si riversò nella camera magmatica e l'esplosione risultante del vapore surriscaldato distrusse i due terzi dell'isola di Krakatoa. Inoltre le linee di costa delle vicine isole di Sertung e Rakata Cecil si estesero di tre chilometri a causa dei depositi di cenere e pomice, e furono create due nuove isole, Steers e Calmeyer, con i frammenti di roccia piroclastica emessi dal vulcano. Molte zone dello stretto della Sonda, che avevano profondità iniziali fra i 20 e i 60 metri, furono riempite con questi frammenti. Il suono dell'esplosione fu avvertito a Manila (3000 km di distanza), nello Sri Lanka (3100 km), in Australia centrale (3500 km) e nell'isola di Rodriguez vicino a Mauritius (5000 km). Fu il suono più forte registrato nella storia. Le coste delle isole di Sumatra e Giava furono completamente distrutte dagli tsunami causati dalle eruzioni, le vittime furono oltre 36 000. Per tutta la notte del 26 agosto violente onde invasero le spiagge a più riprese, raggiungendo in alcuni punti l'altezza di 40 m. Una cannoniera ancorata presso la costa dell'isola di Sumatra fu sollevata dal mare e scaraventata al centro della città di Telukbetung. Ma il maremoto successivo fu ancora più violento e la stessa nave fu ritrovata poi in piena giungla. Le ceneri espulse dal vulcano invasero la stratosfera restando sospese per alcuni mesi e spargendosi in un'area di circa quattro milioni di chilometri quadrati. Le particelle più fini fecero tre volte il giro della Terra, schermando sensibilmente le radiazioni solari e producendo splendidi tramonti di un rosso intenso. Le temperature dell'emisfero boreale per molti mesi rimasero più basse di 0,5-0,8 gradi.

## La fine del mondo da un vulcano?

Abbiamo visto come siano più o meno ben documentate in epoca storica eruzioni vulcaniche di grande intensità, che sono state anche in grado, in qualche caso, di produrre conseguenze sulle attività umane non solo nell'immediato, ma anche a medio termine. È però pensabile un grado ancora maggiore di violenza esplosiva, suscettibile addirittura di mettere in ginocchio l'intero pianeta, diciamo di VEI 8? Senz'altro sì. È stato possibile documentare dal punto di vista geologico in modo abbastanza dettagliato 40 eruzioni di tipo esplosivo e 13 di tipo effusivo avvenute in tempi preistorici appartenenti al tipo VEI 8, avvenute fra 454 milioni e 27 000 anni fa, che hanno portato a quantità di materiale emesso fra i 1000 e gli 8600 km<sup>3</sup>. Ci soffermiamo brevemente sulle due di cui si è probabilmente scritto di più,

una di tipo esplosivo, l'altra di tipo effusivo. L'eruzione del supervulcano Toba, situato nella parte settentrionale dell'isola di Sumatra in Indonesia, si fa risalire a circa 70-75 000 anni fa. È ritenuta una delle più catastrofiche degli ultimi 500 000 anni. Secondo alcuni ricercatori, il volume del materiale eruttato deve essere stato all'incirca di 2800 km<sup>3</sup>, di cui 800 km<sup>3</sup> di ceneri, che seppellirono l'intera regione sotto uno spesso deposito. Si calcola che nella regione attorno al vulcano esse raggiunsero un'altezza superiore ai 400 metri, e strati sedimentari di oltre 4 m di materiale, che può essere messo in relazione alle stesse ceneri, sono presenti in molte regioni indiane. Questa eruzione avrebbe avuto un ruolo sull'evoluzione dell'umanità la cui importanza appare difficile sottovalutare. Infatti, si è constatato che le variazioni nel DNA umano sono molto piccole rispetto a quelle delle altre specie. Sembra insomma che i sette miliardi di uomini moderni discendano da una popolazione umana ridottasi a pochissimi individui, forse solo poche centinaia, in seguito ad un evento catastrofico avvenuto quando ancora non era uscita fuori dal continente africano. Sono stati proposti due scenari, fra loro concomitanti. Fra 195 000 e 123 000 anni fa il sopravvenire, probabilmente per cause astronomiche, del cosiddetto stadio glaciale 6, produsse un raffreddamento di tutto il continente esiziale per la sopravvivenza della nostra specie, che fu letteralmente decimata, continuando a sopravvivere solo in una ristretta zona sulla costa meridionale africana. L'altro è appunto quello dell'eruzione del lago Toba: questo evento rese ancora più rigido il clima, e questa volta su scala mondiale, quindi con ripercussioni anche in Africa. Ciò condusse all'estinzione di molte specie, fra cui tutte quelle umane, eccettuate *Neanderthal* e *Sapiens*, ridotta quest'ultima, però, ai minimi termini.

Nel 1987 è stata fatta l'ipotesi che la grande estinzione avvenuta 65 milioni di anni fa, che portò fra l'altro all'estinzione degli ultimi dinosauri e all'inesco della parabola evolutiva di successo dei mammiferi, al confine fra Cretaceo e Terziario, sia stata indotta da copiose e prolungate eruzioni effusive avvenute in India. L'anomalo contenuto di iridio, elemento chimico raro sulla Terra, dello strato al limite fra Cretaceo e Terziario, che sarebbe la "firma" dell'impatto, sarebbe altresì facilmente spiegabile perché comunque questo elemento è contenuto nel magma terrestre. Anzi, affermano i sostenitori dell'ipotesi vulcanica, l'anomalia di iridio non si sarebbe depositata in meno di un anno, come sostenuto dal gruppo del geologo americano Walter Alvarez, paladino dell'ipotesi impattista, ma fa i 10 000 e i 100 000 anni, del tutto in linea con un'origine eruttiva. Le enormi colate di lava prodotte da queste supereruzioni avrebbero prodotto i cosiddetti trappi del Deccan, un plateau basaltico che si estende per circa 10 000 km<sup>2</sup> e ha un volume di 10 000 km<sup>3</sup>. Lo spessore delle colate si aggira fra i 10 e i 50 metri e talvolta raggiunge i 150 metri. In una regione dell'India occidentale si arriva addirittura a 2400 metri di spessore. In origine, però, i depositi lavici dovevano essere ancora più imponenti, raggiungendo i due milioni di km<sup>2</sup> di estensione e il volume

di due milioni di km<sup>3</sup>. Anche un altro fattore che sembrava esclusivo di un evento da impatto, il ritrovamento di granuli di quarzo deformati con effetto da shock, che si trovano di norma solo in crateri da impatto noti o in luoghi di esplosioni nucleari sotterranee, e che si formano per sollecitazione dinamica in presenza di pressioni di 100 000 atmosfere (che si creano appunto in condizioni impattanti), si possono formare nel corso di eruzioni vulcaniche, a pressioni molto più basse, perché la roccia si riscalda prima di essere sollecitata. Infatti, quando il magma risale di norma si decomprime, libera i gas e si raffredda; però se il raffreddamento è troppo rapido i gas rimangono intrappolati e la pressione aumenta dando luogo ad esplosioni e forti onde d'urto, che potrebbero produrre, se la temperatura e la durata del fenomeno fossero sufficienti, cristalli di quarzo come quelli osservati. Attraverso delle simulazioni si è ipotizzato che i trappi del Deccan abbiano immesso in atmosfera in poche centinaia di anni fino a 30 000 miliardi di tonnellate di anidride carbonica, 6000 miliardi di tonnellate di zolfo e 60 miliardi di tonnellate di elementi reattivi come cloro e fluoro. Ma gli studi magnetici e paleontologici, oltre a vari altri indizi, sembrano assegnare al vulcanismo del Deccan una durata non inferiore a 500 000 anni. Si può quindi immaginare l'enorme quantità di materiale immesso in atmosfera, i cui risultati sarebbero stati analoghi a quelli provocati da un impatto: oscurità con conseguente blocco della fotosintesi ed interruzione della catena alimentare, raffreddamento prolungato, piogge acide su vasta scala.

La stima dell'età delle lave del Deccan, effettuata dal geofisico francese Vincent Courtillot col metodo potassio-argento (si determina quanto potassio si è trasformato in argento, attraverso il decadimento radioattivo, nelle rocce prese in esame), ha dato il risultato di 64-68 milioni di anni fa, del tutto compatibile con l'estinzione alla fine del Cretaceo. In ogni modo, come già detto, nel 1990 è stato trovato nello Yucatan, a Puerto Chicxulub, il cratere prodotto dall'impatto di 65 milioni di anni fa, e nel 2010 un convegno internazionale

*Sia nel caso di un impatto di un asteroide, che in quello di una supereruzione vulcanica, l'immissione in atmosfera di enormi quantità di gas e polveri avrebbe portato al raffreddamento del clima condannando all'estinzione molti animali di grande taglia e favorendo l'affermazione dei piccoli mammiferi, come quelli raffigurati in primo piano (dipinto di Don Davis).*



stabili che da parte degli scienziati vi era unanime consenso sul fatto che quell'estinzione fosse stata prodotta da un impatto. Tuttavia un'emissione di lava ancora più consistente si è verificata 250 milioni di anni fa, producendo i cosiddetti Trappi Siberiani, che si estendono attualmente per due milioni di km<sup>2</sup> e originariamente probabilmente per almeno sette milioni di km<sup>2</sup>. Il volume originale di lava fuoriuscita doveva essere compreso fra uno e quattro milioni di km<sup>3</sup> e l'eruzione durò non meno di un milione di anni. Questo evento è citato come una delle possibili cause della grande estinzione avvenuta al confine fra il Permiano e il Triassico.

Potrebbero verificarsi ancora oggi supereruzioni così intense e violente come quella di Toba e del Deccan? Sicuramente sì, in quelle strutture che in precedenza abbiamo definito come supervulcani o supercaldere, in gran parte le stesse che hanno dato luogo ai 53 esempi di supervulcanismo della preistoria. Anche se non sono mai state osservate in tempi storici eruzioni in queste aree, e attualmente sembrano presentare un'attività vulcanica molto modesta, esse costituiscono una minaccia latente da cui guardarsi nel futuro. Nella tabella sotto vediamo alcune delle zone in cui potrebbe avvenire un evento vulcanico VEI-8 nel prossimo futuro, con l'indicazione dell'epoca dell'ultima eruzione e della sua entità.

Nome	Ubicazione	Ultima eruzione	Volume
Lago Bennett	Canada	50 milioni	850 km <sup>3</sup>
Caldera La Garita	Colorado	27,8 milioni	5000 km <sup>3</sup>
Caldera Valles	New Mexico	15 milioni	600 km <sup>3</sup>
Caldera Pacana	Cile settentrion.	4 milioni	2500 km <sup>3</sup>
Caldera Pastos Grandes	Bolivia	2,9 milioni	820 km <sup>3</sup>
Cerro Galan	Argentina sett.	2,5 milioni	1050 km <sup>3</sup>
Caldera Long Valley	California	760 000	600 km <sup>3</sup>
Caldera di Yellowstone	Wyoming	640 000	1000 km <sup>3</sup>
Monte Aso	Giappone	300 000	600 km <sup>3</sup>
Lago Toba	Sumatra	75 000	2800 km <sup>3</sup>
Campi Flegrei	Italia	39 280	500 km <sup>3</sup>
Lago Taupo	Nuova Zelanda	26 500	1170 km <sup>3</sup>

Da notare che a Yellowstone sono avvenute eruzioni ciclopiche anche 6,4, 6, 4,5 e 2,1 milioni di anni fa, con emissioni rispettivamente di 750, 1500, 1800 e 2500 km<sup>3</sup>. E che in Italia, oltre che il vulcano più pericoloso del mondo, il Vesuvio, abbiamo anche una delle aree che potrebbero trasformarsi in una minaccia per l'intera umanità. Davvero, non ci facciamo mancare nulla! Quella citata in tabella è anche la maggiore eruzione vulcanica di cui si ha

notizia in questa zona, che portò alla fuoruscita di una nube di cenere e gas che ricoprì l'intera Europa e il bacino del Mediterraneo. Alcuni archeologi pensano che questa catastrofe abbia provocato l'estinzione dell'*Homo Neanderthalensis* e segnato l'inizio del successo dell'*Homo Sapiens*. Naturalmente questi fenomeni non avvengono dall'oggi al domani: è stato stimato che la loro frequenza sia in media, su tutto il pianeta, di uno ogni 50 000-100 000 anni. È certo anche che questi fenomeni dovrebbero presentare dei forti segni premonitori, e che queste aree, proprio per questo motivo, sono costantemente monitorate.

Oltre alle eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo, c'è anche la possibilità che si possano produrre ingenti e prolungati flussi di lava come quelli che hanno creato i plateau dei Trappi Siberiani e del Deccan. Molti vulcanologi pensano che l'Islanda sia una regione che si sta avviando verso questo destino.

Certo, nel caso che eventi di questo tipo si verificassero davvero, non so proprio quali mezzi di emergenza potrebbero essere messi in atto, su scala planetaria. Evacuare la zona più immediatamente colpita e vicina all'evento, d'accordo, ma il resto del pianeta? Forse, anche qui, bisognerebbe cominciare a proporre qualcosa di concreto sul fronte dei piani globali d'emergenza, invece che continuare a gingillarci con le armi atomiche...

### La minaccia più vicina?

Un buon banco di prova per la messa in opera di strategie di contenimento potrebbe essere quanto ora esporrò. Recentemente l'attenzione degli esperti si è concentrata sul vulcano Cumbre Vieja, nella parte meridionale dell'i-

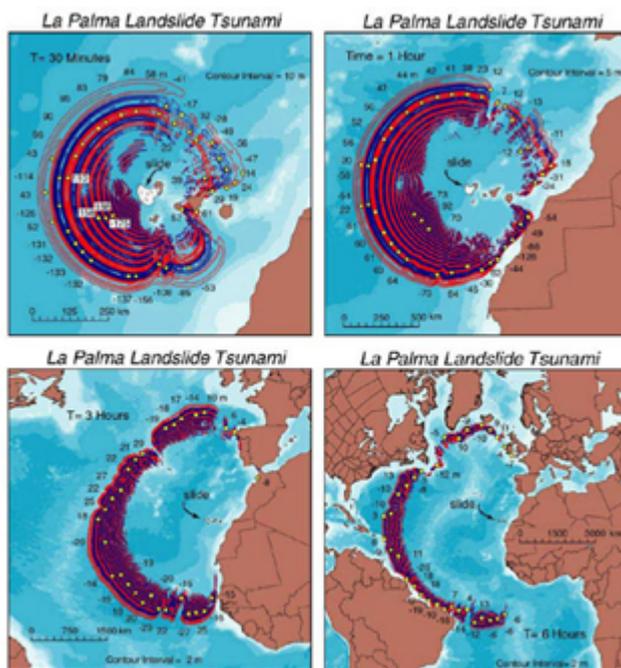


*In questa immagine del Cumbre Vieja si possono vedere le quattro bocche vulcaniche che hanno prodotto le eruzioni del 1949 (Duraznero, San Juan e Hoyo Negro) e del 1971 (Teneguia). Sullo sfondo il profilo della Caldera de Taburiente (Fotos aereas de Canarias).*

sola di La Palma nelle Canarie, alto 1950 metri. Un'eruzione, avvenuta nel 1949, fu accompagnata da due terremoti che ebbero come conseguenza l'apertura di una frattura lunga 2,5 km sul fianco occidentale del vulcano. Una successiva eruzione del 1971 lasciò le cose come stanno e oggi la frattura sembra simile a come era nel 1949. Tuttavia vari vulcanologi ritengono che la montagna sia instabile e temono per il possibile scivolamento in mare, in caso di una futura eruzione, di una gigantesca frana, di 500 km<sup>3</sup> di volume e 1500 miliardi di tonnellate di massa.

È stato calcolato che l'evento potrebbe provocare un'onda gigantesca di tsunami alta inizialmente 900 metri, che si abbatterebbe in poche ore su tutti i paesi costieri atlantici. Arriverebbe in 15-60 minuti sulle altre isole delle Canarie e sulla costa africana occidentale, con onde alte 50-100 metri. Tuttavia verso nord l'impatto sarebbe frenato dalla mole stessa dell'isola di La Palma, e le onde arriverebbero, dopo circa due-tre ore, sulle coste spagnole e inglesi con un'altezza limitata a 5-10 m. Dall'altra parte dell'Atlantico, invece, dopo circa sei ore lo tsunami si abbatterebbe con ondate alte ancora 15-25 m, e in Florida, a causa della conformazione dei fondali, fino a 50 m. Il fenomeno provocherebbe decine di milioni di morti distruggendo città come Fortaleza, Caracas, Miami, Boston, New York, Philadelphia, e non solo, spingendosi fino a 20-25 km nell'entroterra.

Naturalmente, ci sono pareri contrastanti sulla precarietà della frana, ma sembra che né il governo spagnolo né quello statunitense abbiano voglia di spendere il becco di un quattrino per monitorare in maniera continuativa ed approfondita il vulcano. Forse, pensano, a che serve? Se viene giù non ci sarà comunque niente da fare. Eh, ma allora!



*Il profilo delle onde di tsunami che potrebbero formarsi in seguito al grande smottamento del Cumbre Vieja (da Ward e Day, Geophysical research letters, 2001).*

## CAPITOLO V

### SUPERNOVA!

#### Anche le stelle non ce la fanno più

Una supernova (SN) rappresenta o il destino finale di una stella con massa iniziale, al momento della formazione, superiore alle otto masse solari (SN tipo II, Ib e Ic), oppure il risultato finale dell'interazione di una stella nana bianca con un'altra stella in un sistema binario stretto (SN tipo Ia).

Nel primo caso, quando una stella massiccia, che può essere una supergigante di tutti i tipi spettrali,<sup>11</sup> ha finito di trasformare, a temperature, livelli di contrazione e pressioni via via crescenti, nel nucleo, tutti gli elementi dall'idrogeno fino al ferro, raggiunge un punto di non ritorno. Infatti il nucleo del ferro è in natura il più stabile di tutti: per formare nuovi elementi chimici l'unica possibilità è quella di bombardarlo con neutroni che, essendo privi di carica, non sono soggetti alla repulsione elettrostatica. Ed è proprio quello che succede quando il nucleo della stella, contraendosi ancora, innalza la temperatura a otto miliardi di gra-

di: le collisioni fra nuclei diventano frequentissime e violentissime. I nuclei di ferro, bombardati intensamente, reagiscono inizialmente convertendosi in elio. La reazione è però enormemente endoenergetica e si verifica perciò un rapido e grande assorbimento di energia: l'equilibrio interno si rompe e il nucleo della stella collassa in un tempo brevissimo, dell'ordine di un decimo di secondo, raggiungendo una temperatura di 200 miliardi di gradi e formando una stella di neutroni o un buco nero.

L'improvvisa implosione del nucleo origina un'onda d'urto che



*Simulazione dell'esplosione di una supernova di tipo II (European Southern Observatory).*

11. Quindi supergiganti rosse, azzurre, bianche, gialle. Fino al 1987 si pensava che ad esplodere come SN di tipo II potessero essere solo supergiganti rosse. Quell'anno la comparsa della SN 1987A nella Grande Nube di Magellano ad una distanza relativamente vicina permise di identificare il corpo progenitore, una supergigante azzurra, e questo portò alla revisione dei modelli relativi alle ultime fasi di vita delle stelle supermassicce.



*Simulazione delle interazioni in atto in un sistema progenitore di supernova di tipo Ia (dipinto di David A. Hardy).*

rimbalza verso l'esterno e trascina via il resto della stella, generando una supernova. Nei sottotipi Ib e Ic, la stella coinvolta ha in precedenza perduto l'involucro di idrogeno, a causa di forti venti stellari o del campo gravitazionale di una compagna, diventando una cosiddetta stella di Wolf-Rayet. Inizia allora a bruciare rapidamente l'elio e gli elementi più pesanti fino a raggiungere le condizioni di instabilità che portano all'esplosione, come nei classici eventi di secondo tipo.

Nel secondo caso siamo in presenza di un sistema binario costituito da una stella ordinaria e da una nana bianca. Quest'ultima è il risultato finale dell'evoluzione di una stella di massa intermedia, fra 0,8 e 8 masse solari che, trasformati nel nucleo gli elementi fino al carbonio o al silicio, non ha massa sufficiente per contrarsi oltre e si arresta, diventando un corpo estremamente denso e compatto, grande come la Terra ma contenente centinaia di migliaia di volte la sua massa. A causa della vicinanza alla sua compagna, la stella nana riesce a catturare da questa del gas in grande quantità, fino a che diventa così massiccia da superare il limite oltre il quale non è più stabile, collassa e va incontro a un processo di fusione nucleare parossistica destinata a distruggerla completamente. Vi è però anche un'altra possibilità, che vede coinvolte due nane bianche. Esse girano una attorno all'altra dissipando energia sotto forma di onde gravitazionali e avvicinandosi progressivamente con un moto a spirale che, alla fine, le fa precipitare una contro l'altra, facendole superare il limite di stabilità e facendole esplodere completamente.



*L'ultima supernova abbastanza luminosa è apparsa il 31 maggio 2011 nella galassia Vortice (M 51) nella costellazione dei Cani da Caccia, distante 23 milioni di anni luce. Ha raggiunto la magnitudine 12,1. Un quesito per il lettore: qual è la supernova? (fotografie dell'autore).*

In tutti i casi l'esplosione di supernova è uno degli eventi più energetici che possano avvenire in natura: le SN di tipo II raggiungono mediamente la magnitudine assoluta  $-17$ ,<sup>12</sup> ovvero una luminosità pari a mezzo miliardo di volte il Sole, mentre le SN Ia raggiungono  $M -19$ , oltre tre miliardi di volte la luminosità del Sole. In entrambi i casi queste stelle possono diventare luminose come l'intera galassia che le ospita. Nel periodo di visibilità di una supernova (da qualche mese a qualche anno) viene emessa una quantità di energia pari a quella che il Sole produce in tutta la sua esistenza.

## Le supernovae storiche

Come si può immaginare, le esplosioni di SN sono eventi rari, tanto che, da quando è stato inventato il telescopio, non se ne è osservata neanche una nella nostra Galassia (l'ultima è del 1604). Eppure le statistiche, ricavate sulla base delle migliaia di esplosioni, osservate soprattutto a partire dalla metà degli anni Novanta nelle galassie esterne, ci dicono che appare in media una SN per galassia ogni 67 anni. Ecco un breve elenco delle SN storicamente osservate nella Via Lattea, con l'anno di apparizione:

**SN del 185.** È la più antica di cui si hanno testimonianze. È citata esclusivamente in una fonte cinese e fu visibile per 20 mesi. Apparve vicino alle stelle

---

12. La magnitudine assoluta  $M$  è una misura che vuole esprimere in qualche modo la luminosità intrinseca dell'astro, indipendentemente da quanto distante si trova. È la luminosità che avrebbe una stella se posta alla distanza standard di 10 parsec, ovvero 32,62 anni luce. Per confronto il Sole, a questa distanza, avrebbe  $M 4,78$ , ovvero sarebbe una debole stella appena visibile a occhio nudo.

Rigel Kentaurus e Hadar il 7 dicembre 185. Raggiunse una magnitudine apparente di circa -8. Probabilmente di tipo Ia, esplose a 9100 anni luce di distanza. Ha una controparte radio nella sorgente G 315,4 - 2,3 e il suo residuo è il guscio gassoso RCW 86.

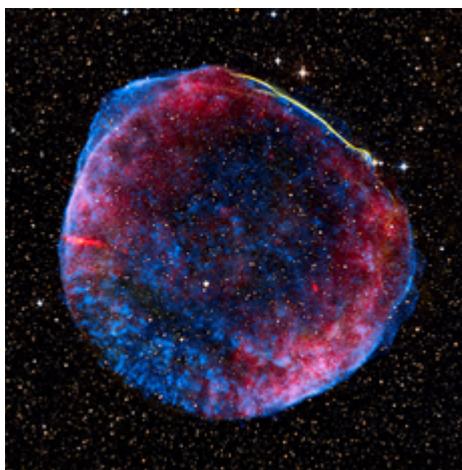
**SN del 393.** Apparve nella coda dello Scorpione nel mese di marzo, rimase visibile per otto mesi, fu osservata solo in Cina e raggiunse la magnitudine -1. Correlata col residuo gassoso RX J1713,7-3946, a 3300 anni luce di distanza. Appartenente al tipo II o Ib.

**SN del 1006.** È la SN storica più brillante, probabilmente di tipo Ia, esplosa a 7200 anni luce di distanza. Apparsa nella costellazione del Lupo fra il 30 aprile e l'1 maggio, fu descritta da osservatori in Svizzera, Italia, Egitto, Iraq, Yemen, Cina e Giappone. Raggiunse una magnitudine apparente di circa -9, rimanendo visibile per almeno tre anni. Nel 1965 è stata scoperta la controparte radio, PKS 1459-51, mentre nel 1976 il suo residuo, una fioca nebulosità.

**SN del 1054.** La celebre Supernova del Granchio apparsa nella costellazione del Toro il 4 luglio e osservata dagli astronomi cinesi, giapponesi e a Costantinopoli,<sup>13</sup> talmente brillante da risultare visibile durante il giorno per 23 giorni consecutivi e durante la notte fino al 6 aprile 1056. Situata nella nostra Galassia ad una distanza di 6500 anni luce, era una supernova di tipo II e raggiunse la magnitudine -5. Quello che attualmente resta di SN 1054 è la Nebulosa del Granchio, Messier 1. Nel 1968 fu individuata una pulsar all'in-



*Immagine del residuo gassoso RCW 86 della SN 185, ottenuto compositando dati e immagini di quattro telescopi spaziali: XMM-Newton e Chandra (raggi X), Wise e Spitzer (infrarosso) (NASA/ESA/JPL-Caltech/UCLA/CXC/SAO).*



*Contributi ottici (telescopi Schmidt Curtis di Cerro Tololo, Cile, e UK di Siding Spring, Australia), radio (radiotelescopi di Green Bank, West Virginia e Very Large Array, New Mexico) e in raggi X (Chandra) sono stati necessari per ricostruire questa immagine del fioco residuo della SN del 1006 (NASA/CXC/Rutgers/G.Cassam-Chenai/J.Hughes/NRAO/AUI/NSF/GBT/VLA/Dyer, Maddalena & Cornwell/F.Winkler/NOAO/AURA/NSF/Middlebury College/CTIO Schmidt & DSS).*

13. Vi sono anche indizi di osservazioni europee, ma non sufficientemente confermati.



*La Crab Nebula, residuo della supernova del 1054, in una fotografia dell'autore. La freccia indica la stella di neutroni, sede della pulsar, di magnitudine 16,5.*

terno della nebulosa, la Pulsar del Granchio, che ruota 30 volte al secondo.

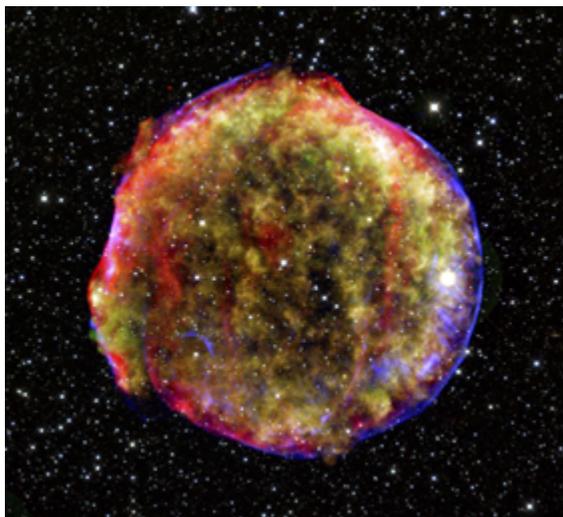
**SN del 1181.** Visibile dal 6 agosto e osservata da astronomi cinesi e giapponesi. Apparve nella costellazione di Cassiopea e rimase visibile nel cielo notturno per 185 giorni. Raggiunse la magnitudine 0. È stata correlata con la pulsar e sorgente radio 3C58, ma di

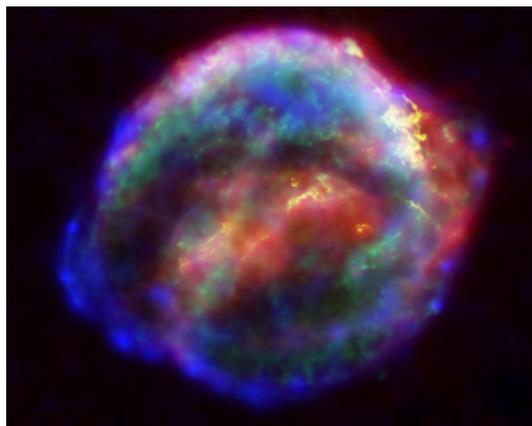
recente l'identificazione è stata messa in dubbio. Il tipo rimane incerto, ma dovrebbe essere II, Ib o Ic.

**SN del 1572.** Apparsa nella costellazione di Cassiopea il 6 novembre fu osservata in Cina, Corea ed estensivamente anche dagli astronomi europei, fra cui Tycho Brahe, per cui è talvolta chiamata Supernova di Tycho. Raggiunse la magnitudine -4 e fu visibile per 18 mesi. Nel 1959 è stata identificata la controparte radio con la sorgente 3C10, nel 1960 la controparte gassosa, molto debole, B Cas. SN di tipo Ia, esplosa a 12 400 anni luce di distanza.

**SN del 1604.** Conosciuta anche come la Supernova di Keplero (poiché fu colui che la studiò in modo più approfondito), fu scoperta nella costellazione dell'Ofiuco il 9 ottobre, ad una distanza di 20 000 anni luce dalla Terra e fu osservata estensivamente in Europa, in Cina e in Corea. Di tipo Ia, fu visibile per 12 mesi, e al suo picco raggiunse la magnitudine -3. Nel 1943 Walter Baade trovò il piccolo guscio gassoso residuo dell'esplosione (Kepler's SNR). Ha una controparte radio nella sorgente G4,5 + 6,8. Quindi gli astronomi attendo-

*Immagine del residuo della supernova del 1572 ottenuto con contributi nei raggi X dal satellite Chandra, e in infrarosso dal satellite Spitzer e dall'Osservatorio di Calar Alto (NASA/JPL/Caltech/CXC/Calar Alto/O. Krause/Max Planck Institute for Astronomy).*





*Immagine del residuo della supernova di Keplero ottenuto da immagini in ottico di Hubble, in infrarosso di Spitzer e da dati in raggi X di Chandra (NASA/ESA/JPL-Caltech/R. Sankrit e W. Blair-John Hopkins University).*

no con ansia trepidante la comparsa della prossima SN galattica, anche per poter finalmente studiare da vicino uno fra i fenomeni più importanti dell'universo. Sarà anche indubbiamente un grande spettacolo mediatico,

perché l'astro diventerà, come è già successo per le apparizioni storiche del passato, di gran lunga la stella più brillante del cielo.

## Quale pericolo per la Terra?

C'è da sperare, tuttavia, che l'esplosione non avvenga troppo vicino a noi, in quanto l'emissione di grandi quantità di raggi gamma e raggi cosmici<sup>14</sup> che accompagna questi fenomeni potrebbe avere effetti devastanti sullo strato protettivo di ozono: essi rompono le molecole di ossigeno e di azoto e producono ossidi di azoto, che entrano in reazioni chimiche che consumano ozono, assottigliando lo scudo in modo tale da esporre la superficie alla radiazione ultravioletta solare e ai raggi cosmici di altra provenienza. Noi oggi siamo abituati ad un'atmosfera che filtra il 99% degli UV e ci preoccupiamo comunque dei danni da essi derivanti. Figuriamoci come sarebbe senza scudo protettivo: gli UV ad alte dosi causano ustioni gravissime e danneggiano in modo irreparabile il DNA delle cellule; una superficie esposta continuamente ai raggi ultravioletti diventerebbe ben presto completamente sterile. Anche nel mare gli effetti sarebbero irreparabili: verrebbero distrutti tutto il plancton e le comunità biologiche delle barriere coralline, con conseguenze esiziali sulla catena alimentare di tutti gli organismi marini. I raggi cosmici, da parte loro, hanno effetti ionizzanti sui tessuti biologici paragonabili a quelli delle radiazioni nucleari e della radioattività naturale fino ad arrivare, ad altissime dosi, a dare effetti simili a quelli dell'esposizione ad una esplosione nucleare, ovvero un avvelenamento acuto da radiazione con tassi di mortalità del 100% entro 7-14 giorni dall'esposizione.

Nel 1977 venne avanzata l'ipotesi che l'estinzione al limite fra Cretaceo e Terziario di 65 milioni di anni fa fosse stata prodotta dall'esplosione di una

14. Le SN di tipo Ia generano più raggi gamma, quelle di tipo II più raggi cosmici.

SN distante circa 900 anni luce, ma abbiamo già visto come si sia trovato un candidato killer molto migliore.

Non è ancora ben chiaro quale dovrebbe essere, fra l'altro, la distanza limite al di sotto della quale una SN potrebbe essere letale, o anche solo pericolosa. Ma, dagli studi che finora sono stati prodotti, sembra proprio che la distanza debba essere molto minore di 900 anni luce. Nel 1974 Ruderman trovò che un'esplosione entro 55 anni luce dalla Terra avrebbe prodotto una riduzione dell'80% dell'ozonofera per circa due anni a causa della radiazione gamma, e una riduzione dal 40 al 90% della durata di centinaia di anni a causa dei raggi cosmici. Nel 1976 Whitten et al. suggerirono che gli effetti dovevano essere molto minori, mentre nel 1978 Reid et al. trovarono risultati simili a quelli di Ruderman, confermati anche da Ellis e Schramm nel 1995. Nel 2003, con un'analisi più puntuale e accurata, Gehrels et al. trovarono che una SN avrebbe dovuto trovarsi a non più di 26 anni luce per portare, con l'azione combinata di raggi gamma e cosmici, ad una riduzione di circa la metà dello strato di ozono. Mentre Ruderman pensava che la frequenza di tali eventi fosse stata tale da aver distrutto diverse volte lo scudo di ozono nell'ultimo mezzo miliardo di anni, con conseguenze da estinzione di massa, Ellis e Schramm sostennero che questo evento fosse avvenuto "una o più volte" nello stesso periodo di tempo, e Gehrels e coll. affermarono che la probabilità dello scoppio di una SN così vicina alla Terra è solo di una ogni 670 milioni di anni. Tuttavia lo studio di Gerhels riguardava solo le SN di tipo II, più deboli, ed egli ammetteva che il potere distruttivo di quelle di tipo Ia, benché siano cinque volte meno comuni, producano meno raggi cosmici ed emettano raggi gamma solo per un sesto del tempo rispetto alle SN II, è leggermente maggiore perché nel complesso emettono 10 volte più raggi gamma. Nel 2005 Brian Thomas e coll. hanno analizzato il potenziale distruttivo di una SN II collocata a 100 anni luce, prendendo in considerazione però solo il contributo dei raggi gamma. Lo studio ha mostrato che la distruzione dell'ozonofera raggiungerebbe complessivamente il 7% e in alcuni punti il 15%, avendo come risultato un incremento del 7% nella radiazione UV che arriverebbe a terra per diversi mesi a latitudini equatoriali. Sebbene non deleterio su scala globale, tale aumento sarebbe letale per molti microorganismi marini. A questa distanza la frequenza esplosiva sarebbe di circa una ogni 50 milioni di anni.

Il più recente evento vicino in qualche modo documentato risale a 2,8 milioni di anni fa, quando nelle savane africane era di casa il nostro progenitore Australopiteco. Nel 2004 un gruppo guidato da Klaus Knie del Politecnico di Monaco trovò una concentrazione anomala di un isotopo radioattivo del ferro, che viene prodotto durante le esplosioni di supernova, in vari pezzi di crosta sotto l'Oceano Pacifico databili fra i 2,4 e i 3,2 milioni di anni fa. La quantità deposta è coerente con un evento avvenuto ad una distanza compresa fra 50 e 400 anni luce. Vista la distanza, probabilmente il danno alla



*Un australopiteco col suo piccolo osserva nelle savane africane la luce abbagliante della supernova apparsa 2,8 milioni di anni fa (Mark A. Garlick/Sky & Telescope).*

Terra non fu di grande entità, a meno che la SN non fosse alla distanza minima e non fosse di tipo Ia. Forse ci furono estinzioni localizzate e mutazioni genetiche, ma certo nessuna estinzione di massa. Tuttavia, vi sono indizi geologici di un raffreddamento climatico avvenuto circa tre milioni di anni fa, che potrebbe essere correlato al bombardamento di raggi cosmici, e di un successivo inaridimento ambientale, che potrebbe aver giocato un ruolo non trascurabile nell'evoluzione degli ominidi. Chissà, forse la comparsa dell'*Homo habilis*, appartenente al nostro stesso genere e nostro diretto antenato, che comparve proprio 2,4 milioni di anni fa, deve la sua fortuna ad un evento cosmico. In ogni modo, fu uno spettacolo sensazionale: la stella brillò di magnitudine -14, tre volte più luminosa della Luna piena, fu visibile in pieno giorno per diversi mesi e di notte per anni e anni.

## I candidati pericolosi

Stando così le cose, vi sono stelle candidate ad esplodere come SN ad una distanza per noi pericolosa nei prossimi anni? Non possiamo dirlo, perché i tempi di vita delle stelle, anche delle più massicce e dispendiose, si misurano in milioni di anni e quindi dire che una stella è in procinto di esplodere significa che la cosa potrebbe avvenire fra 1000 o fra un milione di anni, ma anche domani, non lo sappiamo. Comunque la stella più vicina di grande massa che genererà sicuramente una SN a breve (si fa per dire...) termine sarà la luminosa Betelgeuse, nella costellazione di Orione. Si tratta di un astro di massa compresa fra 12 e 17 volte quella del Sole. Ha temperatura superficiale di 3100 K, è una variabile semiregolare, e si trova proprio in quella fase di instabilità, dovuta a pulsazioni, generalmente periodiche, ma con occasionali irregolarità, che sembra preludere ad un cataclisma stellare. Il suo periodo di variazione è di 5,777 anni, durante il quale la sua brillantezza passa da 5700 a 14 000 volte quella del Sole. Durante le pulsazioni il suo diametro si modifica addirittura più del 60%, ed è compreso fra i valori colossali di 460 e 780 volte quello del Sole. La distanza di Betelgeuse però è abbastanza elevata da consentirci di dormire sonni tranquilli, 427 anni luce.

Il candidato più promettente a SN di tipo Ia è un po' più inquietante, e si tratta di IK Pegasi, nella costellazione del Pegaso, appena visibile ad occhio nudo. Si tratta di un sistema binario stretto, con le componenti distanti solo 30 milioni di km l'una dall'altra. La stella primaria è una stella bianca variabile della classe  $\delta$  Scuti. Queste stelle pulsano in modo caratteristico a causa del fatto che una parte della loro atmosfera diventa più o meno trasparente alla radiazione a causa della parziale ionizzazione di alcuni elementi. Ha un diametro 1,6 volte quello del Sole, massa 1,65 volte, temperatura superficiale di 7700 K, luminosità otto volte quella della nostra stella. La sua compagna è una delle nane bianche più massicce conosciute, con una massa pari a 1,15 volte quella del Sole e una temperatura di ben 35 500 K. La sua luminosità è però solo il 12% di quella del Sole e il diametro appena 1,3 volte quello della Terra (densità  $800 \text{ g/cm}^3$ ). Quando la primaria si espanderà diventando una gigante rossa, la nana ne succhierà il materiale superando la soglia di stabilità ed esplodendo come supernova. La cattiva notizia è che IK Pegasi è abbastanza vicina, 150 anni luce, distanza alla quale le sue emissioni di raggi gamma potrebbero effettivamente essere molto pericolose. La buona notizia è che la primaria non evolverà tanto presto e, poiché il sistema ha una velocità spaziale molto alta, si allontana da noi di un anno luce ogni 15 000 anni e fra poco più di due milioni di anni avrà raddoppiato la sua distanza. Tuttavia, poiché le nane bianche sono molto comuni e molto deboli, è probabile che ne esistano altre più vicine, in sistemi binari che non sono ancora stati studiati e in cui l'altra stella è sul punto di espandersi in gigante rossa. Anche così, comunque, la probabilità di un tale evento è pressoché trascurabile.

## La prossima supernova galattica

Appare invece verosimile che entro una generazione possa apparire la tanto sospirata supernova galattica. Nelle tabelle sotto vediamo quali stelle si presentano come possibili candidate a questo ruolo di grande diva dei cieli. Nella seconda colonna è dato il numero della stella in vari cataloghi disponibili con i software planetari per facilitarne l'identificazione. Nell'ultima viene data la luminosità raggiunta all'esplosione, tenendo conto, per le grandi distanze, dell'assorbimento interstellare operato dalle polveri galattiche.

### Candidate a SN di tipo Ia

Stella	Catalogo	Coordinate al 2012	Dist. a.l.	Masse solari	Tipi spettrali	m	M
IK Pegasi	HIP 105860	21h27m +19°26'	150	1,65-1,15	A8m:-Da	6,08	-15,7
KPD 1930+2752		19h33m +27°59'		0,49-0,94	sdB-D	15,65	

### Candidate a SN di tipo II

Stella	Catalogo	Coordinate al 2012	Dist. a.l.	Massa solare	Tipo spettrale	m	M
Betelgeuse	HIP 27989	5h56m +7°24'	427	12-17	M2Ib	0,45v	-11,4
$\alpha$ Lupi	HIP 71860	14h43m -47°27'	550	10,1	B2Ib	2,28	-10,9
Antares	HIP 80763	16h30m -26°28'	600	12	M1Ib	1,06	-10,7
$\pi$ Puppis	HIP 35264	7h18m -37°07'	1110	11,7	K5Ia	2,68	-9,3
119 Tauri	HIP 25945	5h33m +18°36'	1920	14	M4Ia	4,31	-7,8
Garnet Star	HIP 107259	21h44m +58°50'	2800	19,2	M2Ia	4,08v	-7,9
VY Canis Majoris	HIP 35973	7h24m -25°48'	3820	17	M4eIa	8,06v	-5,7
P Cygni	HIP 100044	20h18m +38°05'	6520	55	B1Ia+	4,8v	-3,5
HD 168625	HIP 89963	18h22m -16°22'	7200	20-25	B6Ia+	8,36	-3,1
$\eta$ Carinae	HD 93308	10h46m -59°45'	7500	120	B1ae-0	4,6v	-2,9
IRC+10420	TYC 1063-2082-1	19h27m +11°21'	11 400	10	F8Ia+	11,71	-1,2
$\rho$ Cassiopeaie	HIP 117863	23h55m +57°34'	13 050	40	G8Ia	4,5v	-1,4
Wray 17-96		17h42m -30°07'	15 000		B3	17,8	+0,9
Sher 25		11h16m -61°20'	19 890	60	B1,5Iab	12,2	+2,4

### Candidate a SN di tipo Ib-Ic

Stella	Catalogo	Coordinate al 2012	Dist. a.l.	Mass solare	Tipo spettrale	m	M
$\gamma^2$ Velorum B	HIP 39953	8h10m -47°23'	850	10	WC8	2,75v	-9,9
WR 104		18h03m -23°38'	7830	25	WC9d	13,54	-2,7

Come si vede nell'ultima colonna, quando qualcuna di queste stelle esploderà, lo spettacolo sarà assicurato. Il bagliore provocato dall'esplosione sarà compreso fra +2,4 (per Sher 25), pari quasi alla luminosità della Polare, e

-15,7 (per IK Pegasi), ovvero 15 volte la luce della Luna piena. In quest'ultimo caso si farà molta fatica a dormire la notte con le tapparelle aperte: la luce della stella, tutta concentrata in un punto, non potrà essere fissata senza almeno un paio di occhiali da Sole!

Certo, nei casi in cui ad esplodere non sarà una delle stelle più vicine, speriamo solo che ci sarà chi ancora osserva il cielo ad occhio nudo, perché altrimenti si rischierà di mancare almeno le prime fasi, quelle più importanti scientificamente, dell'esplosione. Dico questo perché sembra molto probabile che l'umanità stia mancando di osservare gran parte delle stelle novae<sup>15</sup> luminose, quelle appunto visibili a occhio nudo, esplose negli ultimi tempi. Infatti, le statistiche mostrano che fra il 1900 e il 1949 furono scoperte 16 novae più luminose della magnitudine 6, e 18 fra il 1950 e il 1999. Estrapolando questi dati, dal 2000 ad oggi se ne sarebbero dovute scoprire almeno quattro, invece se ne è vista soltanto una. Davvero, nessuno guarda più il cielo ad occhio nudo!

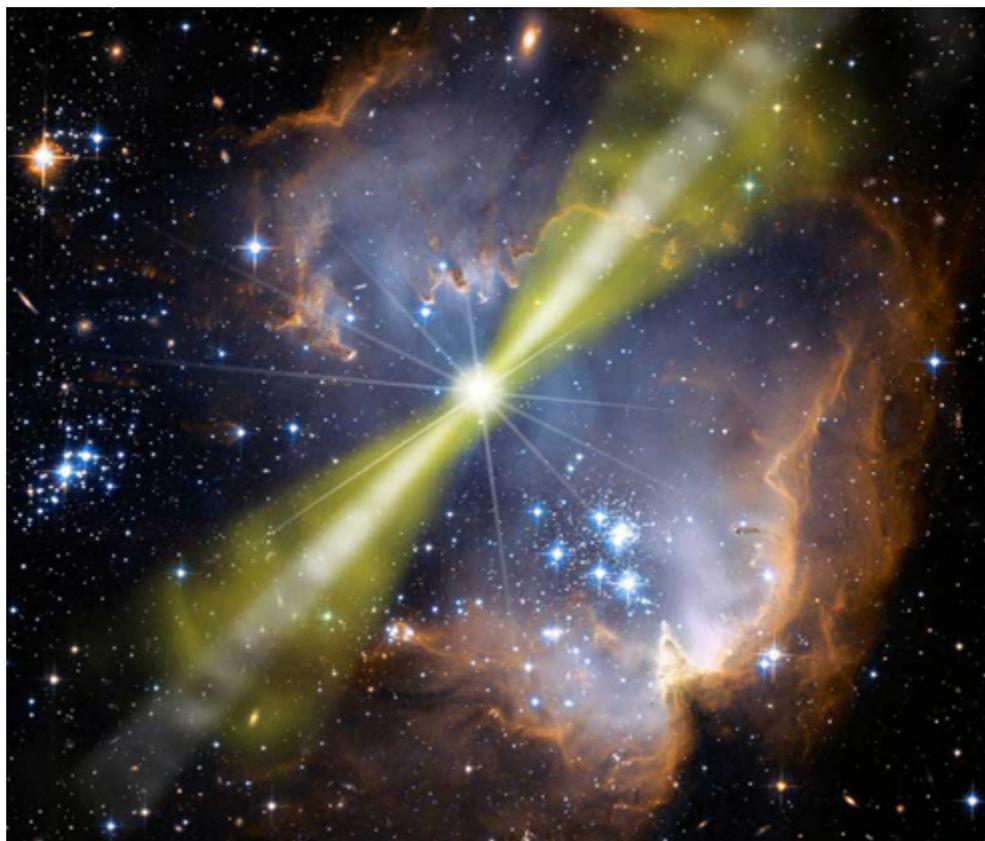
---

15. Le novae si producono in sistemi a contatto nei quali del gas viene catturato da una nana bianca alla sua compagna e forma un disco di accrescimento attorno alla nana. Quando abbastanza gas si è accumulato sulla superficie della nana avvengono delle reazioni nucleari esplosive che provocano l'espulsione degli strati esterni della stella, generando un guscio in espansione. La luminosità del sistema può aumentare di circa 60 000 volte e la magnitudine assoluta arrivare alla -8, quindi da 4000 a 25 000 volte meno luminosa di una SN.

## CAPITOLO VI

### LA FINE AVVERRÀ IN UN LAMPO?

#### I lampi gamma



*Rappresentazione artistica del modello di lampo gamma (NASA/Swift/Mary Pat Hrybyk-Keith e John Jones)*

I lampi gamma (in inglese *gamma ray burst* o *GRB*) sono fortissimi lampi di raggi gamma che hanno una durata compresa fra 10 millisecondi e diversi minuti. Si tratta del fenomeno più energetico conosciuto nell'universo. La loro frequenza è mediamente quotidiana. I primi impulsi furono rilevati da satelliti militari: a scoprirli, nel 1967, in piena guerra fredda, furono i satelliti statunitensi *Vela*, ubicati a ben 105 000 km di altezza e utilizzati per svelare i raggi gamma prodotti da eventuali test nucleari che gli USA sospettavano

i sovietici stessero realizzando nello spazio. Nel 1972 e nel 1978 vi furono conferme da parte dei satelliti *76-B* e *P-78-1* dell'US Air Force. L'esistenza fu confermata anche da diverse missioni spaziali successive: le *Venera*, la *Mars-5* e la *Phobos* sovietiche, e la *ISEE 3*, frutto di una collaborazione NASA-ESA.

## Progressi dai satelliti

Nell'aprile 1991 la NASA lanciò il *Compton Gamma Ray Observatory* a bordo dello *Space Shuttle*, in grado di rilevare e localizzare i lampi con buona precisione. Dal lavoro del satellite emerse che i lampi sono isotropi, ovvero sono distribuiti uniformemente nel cielo. Poiché la Via Lattea ha una forma notevolmente appiattita, ciò escludeva un'origine interna alla nostra Galassia. Anche prendendo in considerazione l'alone galattico, l'ipotesi dell'origine extragalattica era preferibile, sia perché comunque l'alone ha una forma ellissoidica e non sferica, sia perché dal nostro punto di vista, periferico al centro galattico, nel caso di un'origine galattica la distribuzione dei lampi avrebbe dovuto essere sbilanciata in direzione del centro.

Anche se vi sono molte differenze nelle singole modalità di emissione e ampie sovrapposizioni, i lampi gamma possono essere classificati in due categorie apparentemente distinte, corti e lunghi. I lampi corti durano tipicamente meno di due secondi, hanno una durata media di 0,2 secondi, costituiscono il 30% del totale e le emissioni sono dominate da fotoni ad alta energia; i lampi lunghi durano tipicamente più di due secondi, hanno una durata media di



*Il Compton Gamma Ray Observatory, qui mentre viene rilasciato dallo Space Shuttle Atlantis nel 1991, è stato il secondo grande telescopio spaziale della NASA, lanciato un anno dopo Hubble (gli altri sono i più volte citati Chandra e Spitzer), e il più massiccio satellite posto in orbita fino a quel momento, 17 tonnellate (per 21 m di lunghezza). È rimasto operativo fino al 2000 e i suoi risultati hanno permesso di rivoluzionare letteralmente l'astronomia gamma (NASA, Compton Gamma Ray Observatory Science Support Center).*

30 secondi e le emissioni sono dominate da fotoni a bassa energia. Questa classificazione ovviamente sembra suggerire due differenti classi di progenitori.

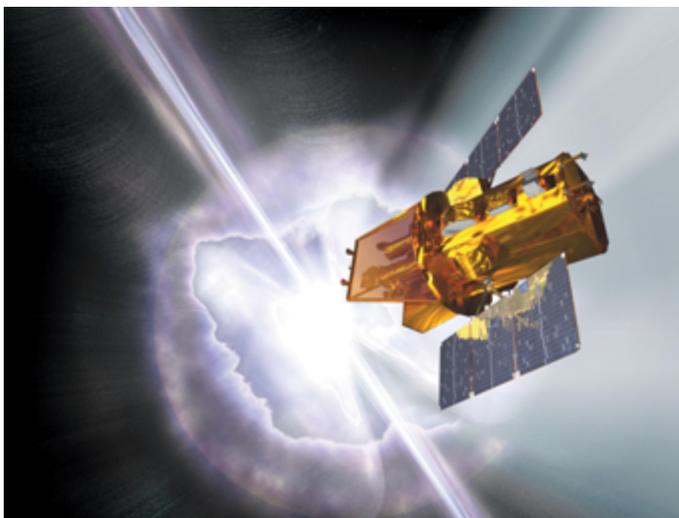
A causa della bassa risoluzione dei primi rivelatori di raggi gamma impiegati, non era mai stato possibile associare nessun lampo a delle controparti, né identificare un possibile ospite (come per esempio una stella o una galassia). Tuttavia si poteva sperare di risolvere questa situazione di stallo perché i modelli postulati per l'origine dei GRB prevedevano che il lampo iniziale avrebbe dovuto essere seguito da un'emissione di radiazioni a maggiore lunghezza d'onda, causata dall'interazione del lampo con il gas interstellare, la cosiddetta coda di emissione del GRB, in inglese *afterglow* ("post-luminescenza").

Nel 1997 il satellite italo-olandese *Beppo-SAX* rilevò un GRB e, quando il suo rivelatore di raggi X fu puntato nella stessa direzione, rivelò delle emissioni di raggi X in fase di indebolimento. Un telescopio a terra, 20 ore dopo, identificò una debole controparte ottica. Anche se non fu possibile per molti anni stabilire la distanza

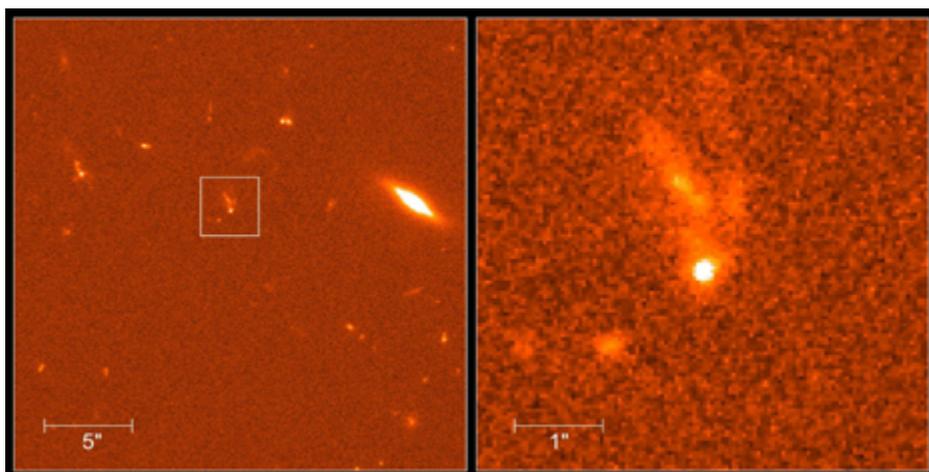
di questo oggetto, a causa della sua estrema debolezza, pochi mesi dopo *BeppoSax* trovò un'altra coda di emissione per un altro GRB, e questa volta fu possibile stimare la distanza della controparte in 6 miliardi di anni luce. Questi due eventi dimostrarono pertanto che i lampi gamma avvenivano in galassie estremamente distanti ed entro pochi mesi la controversia sulle loro distanze



*Disegno raffigurante il satellite per raggi X BeppoSax, realizzato in gran parte da aziende italiane e operativo dal 1996 al 2003 (Agenzia Spaziale Italiana/BeppoSAX Science Data Center).*



*Rappresentazione artistica di Swift con un lampo gamma sullo sfondo. Il satellite è frutto di una collaborazione fra la NASA, l'Agenzia Spaziale Italiana e l'Università di Leicester (Spectrum Astro).*



*Coda di emissione ottica di un GRB. A sinistra si intravede appena la galassia ospite, meglio visibile nell'ingrandimento a destra. Immagine ripresa dallo Space Telescope Imaging Spectrograph di Hubble (NASA/ESA/STScI/Andrew Fruchter).*

aveva trovato una conclusione. Nel 1998 un lampo gamma fu seguito il giorno successivo dall'esplosione di una supernova brillante, fornendo il primo indizio circa la natura del fenomeno e stabilendone una connessione con le fasi finali della vita di stelle di grande massa.

Un progresso ancora più sostanziale si è avuto con la messa in orbita del satellite *Swift* nel 2004. La missione, ancora operativa, combina un rilevatore di raggi gamma molto sensibile in grado di localizzare molto precisamente un evento entro 15 secondi, con un telescopio per raggi X e uno ottico/ultravioletto in grado di puntare il GRB quasi altrettanto rapidamente alla ricerca della coda di emissione e della controparte ottica. Questo ha permesso, assieme al contributo di altri importanti satelliti come *Fermi* e alla robotizzazione di molti telescopi terrestri che sono stati resi in grado di mobilitarsi rapidamente alla ricerca delle controparti ottiche, la scoperta di code di emissione anche per i lampi brevi, la raccolta di numerosi dati sul comportamento delle code di emissione anche prima che l'emissione di raggi gamma sia cessata, la scoperta dell'oggetto più luminoso dell'universo e di quello più distante mai osservato, a circa 13 miliardi di anni luce.

## Luci dall'universo lontano

I lampi di raggi gamma lunghi sembrano avvenire solo nell'universo lontano e molto lontano, a distanze tipiche non inferiori a otto miliardi di anni luce. Se la loro emissione fosse uniformemente distribuita in tutte le direzioni gli eventi più intensi porterebbero ad un rilascio totale di energia di

$10^{47}$  Joule, che corrisponde a tutta quella emessa dal Sole nel corso della sua intera carriera, che dura dieci miliardi di anni. Anche se la stragrande maggioranza dell'energia viene liberata nei raggi gamma, qualche lampo è molto energetico anche nell'ottico. Nel 2008, per esempio, un lampo gamma osservato a 7,5 miliardi di anni luce di distanza rimase visibile a occhio nudo per 30 secondi, raggiungendo la magnitudine 5,8. A quella distanza, tanto per capirci, un'intera galassia, e di quelle grandi, che contengono, diciamo, 500 miliardi di stelle, avrebbe magnitudine 21,8 e ci vorrebbe un telescopio da tre metri di diametro per vederla!

Tuttavia si ritiene che l'energia dei *GRB* lunghi venga rilasciata lungo un getto con un angolo di pochi gradi e quindi il valore di energia risultante è inferiore, sui  $10^{44}$  Joule, confrontabile con quello di una super supernova di Tipo Ib/c (o ipernova). In effetti alcune ipernovae<sup>16</sup> sono apparse in concomitanza con alcuni *GRB*. E, a rafforzare il modello relativo al getto, nel caso di una supernova fra quelle identificate che hanno accompagnato un lampo gamma, sono state osservate caratteristiche fortemente asimmetriche nell'esplosione. Se i *GRB* lunghi hanno davvero tutti una simmetria a getto allora il numero di tali eventi nell'universo è senz'altro maggiore di quelli rilevati, perché mancheremo di rilevare tutti i getti che non sono puntati nella nostra direzione. Anche tenendo conto di questo aspetto, comunque, la frequenza di comparsa dei lampi è piuttosto piccolo, circa uno per galassia ogni 100 000 anni.

I *GRB* corti sembrano provenire da distanze inferiori, sono meno luminosi dei *GRB* lunghi, appaiono generalmente meno collimati e talvolta non collimati affatto. Anche se vengono osservati più raramente, a causa della minore luminosità, la loro frequenza è probabilmente superiore.

## Le cause dei *GRB*

Attualmente si crede che esistano due possibili cause per questo tipo di fenomeni: nel caso dei lampi lunghi il collasso dei nuclei di stelle massicce a basso contenuto metallico<sup>17</sup> e



*Raffigurazione artistica del disco di accrescimento e dei getti collimati attorno ad un buco nero (NASA/Dana Berry, SkyWorks Digital).*

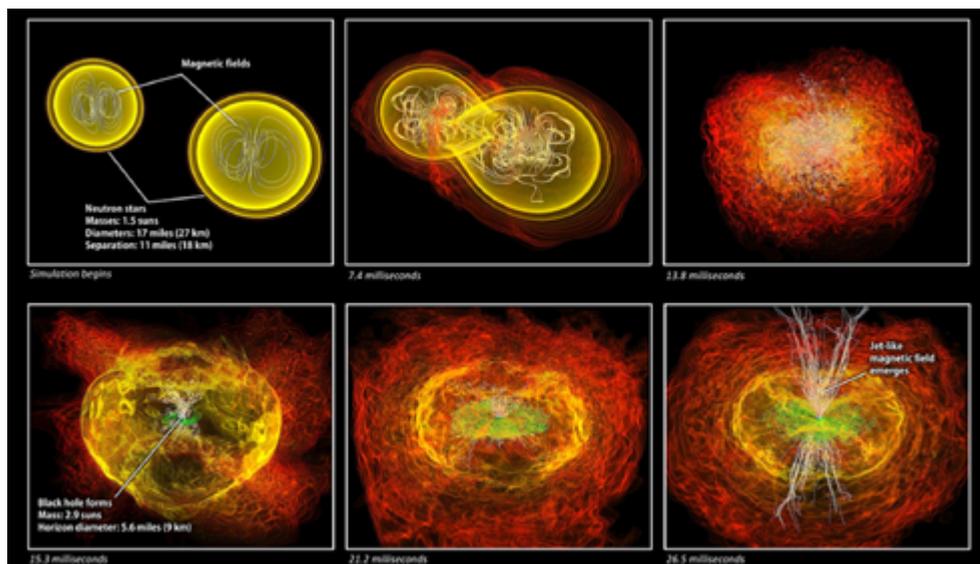
16. L'esistenza delle ipernovae è suggerita da recenti fenomeni di SN che hanno raggiunto la magnitudine assoluta -21 e -22, ma è ancora ampiamente congetturale.

17. Gli astronomi indicano come metalli tutti gli elementi chimici che non sono idrogeno ed elio. Poiché gli elementi chimici vengono trasformati all'interno del nucleo delle stelle, un alto contenuto di metalli sta ad indicare una stella evoluta, vecchia o almeno matura, un basso

che hanno perduto in precedenza l'involuppo di idrogeno (SN di tipo Ib/c): la parte esterna della stella esplose come SN e il nucleo, se ha una massa superiore a 3,2 masse solari, forma un buco nero. La materia intermedia, quella che non è esplosa e non è collassata, continua a precipitare attratta dal buco nero e inizia a ruotargli attorno turbinosamente andando a costituire un disco di accrescimento di elevata densità. Quando il materiale del disco cade nel buco nero si originano due getti posti lungo l'asse di rotazione (dove la densità di materia è minore), in direzione dei poli della stella, e il materiale erutta dalla superficie stellare accelerato a velocità prossime a quelle della luce, rilasciando la sua energia soprattutto nella forma di raggi gamma.

Questa teoria è corroborata dal fatto che in diversi casi, dopo un lampo gamma, nei giorni successivi si è verificata un'esplosione di supernova di tipo Ib/c. Certamente, la frequenza delle coincidenze non può essere molto alta, in quanto le distanze in gioco sono così elevate che nemmeno i nostri telescopi più potenti sono in grado di rilevare l'eventuale esplosione di SN. Inoltre i lampi appaiono in galassie in cui esiste una recente ed abbondante formazione stellare, come le irregolari e le spirali, e mai nelle ellittiche, dove la formazione stellare è cessata. Questa è una prova del legame con le stelle molto massicce, che evolvono e muoiono nel giro di poche centinaia di milioni di anni in zone a forte formazione stellare.

Nel caso dei lampi corti le cose sono un po' più complicate. Infatti finora sono state individuate le galassie ospiti solo per pochissimi eventi e questi



*La sequenza degli eventi che attualmente sembra costituire la migliore spiegazione alla dinamica dei lampi gamma corti, la fusione di due stelle di neutroni in un buco nero (simulazione NASA/AEI/ZIB/M. Koppitz e L. Rezzolla).*

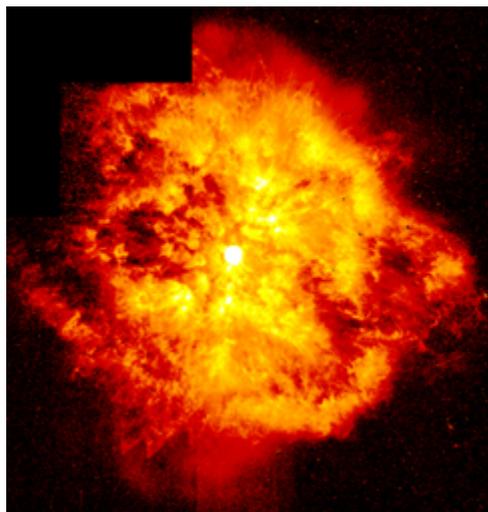
---

contenuto una stella giovane.

sembrano confermare una radicale differenza fra lampi corti e lunghi. Infatti, anche se un lampo corto è stato trovato nella regione centrale, ad alta formazione stellare, di una galassia, diversi altri sono stati osservati nelle regioni esterne, e anche nell'alone, di grandi galassie ellittiche. Inoltre, nonostante i *GRB* corti siano molto più vicini, non è mai stato possibile associarli ad alcuna esplosione di supernova. La loro breve durata suggerisce come provenienza una sorgente molto compatta, estesa meno di 0,2 secondi luce, ovvero meno di 60 000 km. Si fa l'ipotesi di un sistema binario in cui due stelle di neutroni, dissipando energia sotto forma di onde gravitazionali, si avvicinano lentamente l'una all'altra finché si fondono e collassano in un buco nero. L'osservazione abituale in questi fenomeni, dopo il brevissimo impulso gamma, di emissioni di raggi X che durano da qualche minuto a qualche ora, sembra anche coerente con un processo che vede del materiale di una stella di neutroni che viene inghiottito da un buco nero in meno di due secondi, seguito da un processo che dura fino a qualche ora, meno energetico, come per esempio materiale residuo della stella di neutroni che è rimasto a spiraleggiare in un disco di accrescimento attorno al buco nero e che infine precipita nella singolarità.

## Bagliori dalla Galassia?

Abbiamo visto che i *GRB* sono eventi extragalattici. Il più vicino a noi è avvenuto a 1,3 miliardi di anni luce, distanza di assoluta sicurezza. Ma potrebbero accadere anche nella nostra Galassia? Certo, e sicuramente è già successo molte volte in passato e questi eventi, come gli impatti di asteroidi e comete, le supereruzioni vulcaniche, le esplosioni di SN, devono aver provocato, o contribuito a provocare, una o più delle tante estinzioni in massa che segnano la storia del nostro pianeta. È stato calcolato che la frequenza di un *burst* lungo per una galassia come la Via Lattea è di uno ogni 100 000 o un milione di anni, ma naturalmente solo una percentuale di essi sarebbe rivolta verso la Terra. Un tasso paragonabile è probabile per i *GRB* corti. A conti fatti, un *GRB* in grado di avere potenziali effetti devastanti sulla vita sulla Terra potrebbe aver luogo ogni cinque milioni di anni circa, e sicuramente è già capitato molte volte nella nostra storia. Gli effetti sull'ozonosfera sarebbero simili a quelli già visti nel caso di una SN vicina, ma i raggi gamma e la controparte ultravioletta prodotta da un *GRB* molto vicino sarebbero probabilmente in grado di penetrare direttamente attraverso l'atmosfera agendo in modo devastante sull'ecosfera terrestre, con le stesse modalità. In più, con processi simili a quelli che producono la distruzione dell'ozono, la radiazione gamma sarebbe in grado, attraverso la creazione di ossidi di azoto, di produrre grandi quantità di smog fotochimico, che filtrerebbe e indebolirebbe fortemente la luce solare in arrivo, facendo cadere a precipizio le temperature.



*La stella di Wolf-Rayet WR 124 ripresa dalla Wide Field Planetary Camera 2 del Telescopio Spaziale Hubble (Yves Grosdidier, (University of Montreal e Observatoire de Strasbourg/Anthony Moffat, Université de Montreal/Gilles Joncas, Université Laval/Agnes Acker, Observatoire de Strasbourg/NASA).*

Potrebbe succedere ancora in futuro? Certamente, e non sarà sfuggito al lettore che i *GRB* lunghi sono prodotti con un meccanismo che vede coinvolte le SN di tipo Ib/C che hanno come precursori stelle di Wolf Rayet. Nella lista posta a p. 63 abbiamo due di queste stelle. È stato calcolato che se la WR 104 emettesse un lampo gamma di soli 10 secondi questo porterebbe alla scomparsa del 30% dello strato di ozono, con punte del 50% in alcune località, con effetti sicuramente molto pesanti sulla catena alimentare, portando all'estinzione molte famiglie di animali e piante e forse provocando un'estinzione di massa. D'altra parte, se ad emettere un *GRB* fosse la molto più vicina  $\gamma^2$  Velorum B, la devastazione conseguente sarebbe inimmaginabile. Comunque il danno verrebbe provocato solo se i lampi fossero collimati sulla nostra

linea visuale, e questo è molto improbabile. Altrettanto improbabile è che questi lampi possano verificarsi entro breve tempo. Quasi sicuramente il prossimo lampo gamma vicino colpirà la Terra provenendo da tutt'altra parte, anche se quando lo sapremo sarà troppo tardi per fare qualcosa!

## CAPITOLO VII

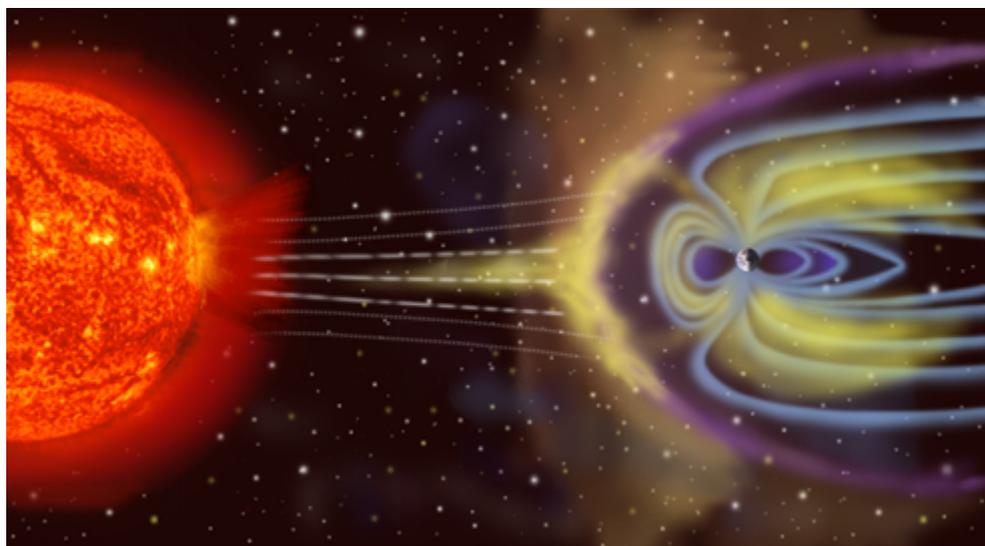
### CAMPI MAGNETICI E TEMPESTE SOLARI

#### Il campo geomagnetico

Alcuni hanno sostenuto che il 21 dicembre 2012 potrebbe verificarsi un'inversione del campo magnetico terrestre, in concomitanza con una tempesta solare di potenza inaudita, innescata dal raggiungimento del massimo solare, con conseguenze assolutamente catastrofiche. Vediamo di capire se questa ipotesi ha qualche fondamento.

Il campo magnetico terrestre ha una forma particolare, allungata, poiché la forza del vento solare lo comprime dal lato del Sole, mentre lo fa allungare dalla parte opposta in una coda, simile a quella di una cometa, che si propaga nello spazio fino a 1,5 milioni di km, formando così una struttura chiamata *magnetosfera*. Il campo geomagnetico è un formidabile scudo nei confronti delle particelle cariche del vento solare e dei raggi cosmici.

I poli magnetici del campo occasionalmente invertono la polarità, ma senza alcuna periodicità regolare. La più recente inversione è avvenuta 780 000 anni fa, un intervallo più lungo di quello normale fra due eventi. L'intensità del campo si è indebolita di un terzo negli ultimi 2000 anni, alimentando l'idea che ci stiamo avviando a un grande cambiamento nei prossimi 1000 o 2000 anni. Benché nessuno sappia cosa succede durante questi episodi, alcu-



*Interazione fra plasma solare e campo magnetico terrestre in una simulazione NASA.*

ni geofisici credono che in qualche modo il campo magnetico globale vada a zero, si spenga, prima di riaccendersi con la polarità opposta. Ciò lascerebbe per qualche tempo la terra senza scudo magnetico di protezione. Non si conoscono tuttavia estinzioni o danni permanenti alla vita seguiti ad episodi di inversione di polarità. Il nostro antenato *Homo erectus*, vissuto fra 1,8 milioni e 250 000 anni fa,<sup>18</sup> sperimentò diversi di questi episodi senza che vi sia stato alcun declino nella popolazione. Sicuramente, comunque, niente del genere accadrà il 21 dicembre 2012, poiché la maggior parte delle stime valuta che ci vogliano da 1000 a 10 000 anni perché un'inversione magnetica abbia luogo.

## Il ciclo solare

Quanto al Sole, la nostra formidabile fornace termonucleare, le sue parti superficiali sono caratterizzate da numerosi fenomeni, influenzati in larga misura dal suo proprio, fortissimo, campo magnetico che affiora alla superficie dove è più intenso, determinando o un'inibizione dei moti turbolenti foto-



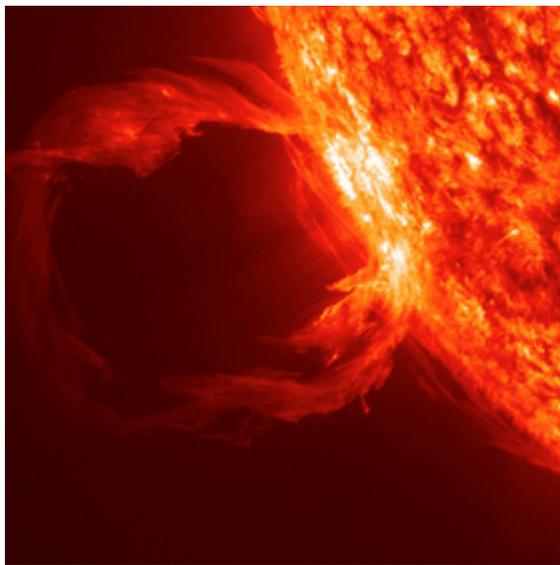
*La corona solare, l'estesa atmosfera esterna della nostra stella, ripresa durante l'eclisse totale del 1999 (foto dell'autore).*

---

18. Almeno, questi sono gli estremi della datazione dei fossili che sono stati trovati di questa specie.

sferici che sono causa di dissipazione dell'energia trasportata dall'interno, producendo una regione molto brillante, o facola, o, nel caso in cui il flusso magnetico sia ancora più intenso, ostacolando il trasporto di energia stesso, provocando un forte raffreddamento locale e la formazione delle macchie solari, che appaiono scure perché si trovano a temperature più basse della superficie.

Nella cromosfera (la parte più interna e densa dell'atmosfera solare) e nella corona (la parte più esterna, molto meno densa ma spazialmente molto più estesa) si producono i brillamenti solari. Si tratta di eruzioni brillanti innescate dall'annichilazione rapida di potenti campi magnetici. I brillamenti riscaldano il gas cromosferico (fino a 10 000 K) e coronale (fino a uno e anche due milioni di gradi), e producono un intenso campo elettrico che a sua volta accelera vigorosamente le particelle cariche, fino a 1000 km al secondo. I brillamenti producono degli intensi getti di plasma solare, le protuberanze, che si allontanano nello spazio fino a centinaia di migliaia di km e poi ricadono sulla superficie, talvolta descrivendo archi spettacolari. Quando l'energia associata al brillamento è maggiore, i getti di plasma si staccano dalla superficie e si producono le emissioni di materiale coronale (in inglese *coronal mass ejections*, o CME.) Queste possono riversare nello spazio fino a un miliardo di tonnellate di materiale, possono avvenire anche più volte al giorno e accelerano il vento solare fino a 2000 km al secondo in prossimità della Terra. Tutte queste manifestazioni avvengono seguendo un ciclo, di durata undecennale, che presenta dei minimi e dei massimi di attività. Quando il Sole si trova in una fase di minimo si vedono poche macchie o nessuna del tutto, e si formano pochi brillamenti e hanno luogo poche o nessuna CME. Il contrario avviene in fase di massimo, con tutte queste manifestazioni portate all'estremo. Tuttavia vi sono massimi e massimi. Fino a prima del presente ciclo il Sole aveva mostrato una successione di massimi sempre più attivi, in un crescendo di energia che sembrava senza soste fin da quando le macchie solari erano state osservate al telescopio, ovvero dal 1610, e secondo alcuni anche da molto tempo prima.



*Spettacolare protuberanza fotografata dal Solar Dynamics Observatory della NASA il 30 marzo 2010 (NASA/SDO).*

## Aurorae

L'apoteosi fu raggiunta nel 2003: nell'autunno di quell'anno, nel giro di venti giorni, due aurore boreali furono visibili dall'Italia, cosa mai prima successa. Le aurore polari, sempre presenti alle alte latitudini, sono provocate dall'interazione del vento solare con gli atomi e le molecole dell'alta atmosfera terrestre. Esse possono scendere più a sud in fase di massimo solare perché gli



*Archi aurorali multipli fotografati in Islanda dall'autore durante l'ultimo massimo solare: il 18 agosto 2002 una potente CME colpì la Terra, il giorno 20 il campo magnetico interplanetario ruotò a sud favorendo le condizioni per la liberazione dell'energia e il 21 si presentarono meravigliose aurore boreali in veloce e spettacolare evoluzione dinamica in molti paesi del Nord Europa e del Nordamerica.*

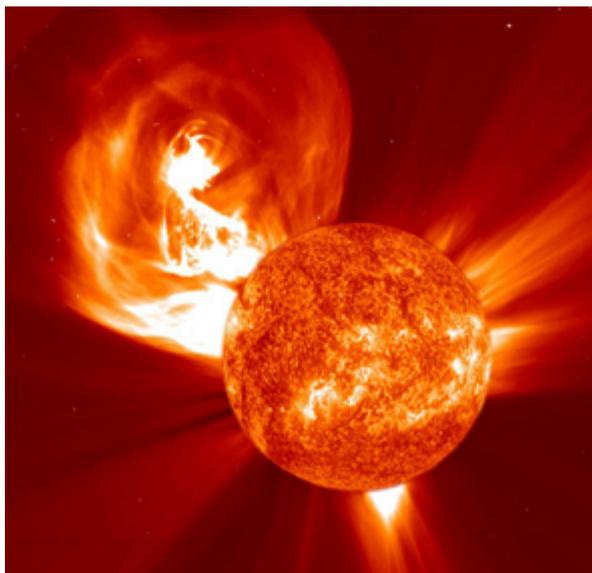
elettroni del vento solare vengono accelerati dai brillamenti e dalle CME e, quando raggiungono il plasma solare più lento già presente nelle vicinanze della Terra, producono un'onda d'urto che impatta la magnetosfera con grande forza e causa un aumento di luminosità e un'espansione dell'aurora. Ma soprattutto, se il campo magnetico del vento solare è diretto a sud, ovvero è opposto a quello della Terra sul piano dell'eclittica, esso può mescolarsi con la magnetosfera creando in essa una crepa e permettendo la connessione delle linee di forza del campo magnetico solare con quello terrestre.

Dopo il 2003 vi fu una brusca diminuzione dell'attività solare, fino ad ar-



*La spettacolare aurora del 20 novembre 2003, visibile a basse latitudini, fotografata da Giuseppe Menardi dell'Associazione Astronomica Cortina.*

rivare agli anni 2008-2009 nei quali praticamente non si vide alcuna macchia sul Sole, cosa che non succedeva dai tempi del minimo di Maunder (1645-1715). Inoltre il minimo si prolungò molto oltre il normale, con il Sole che soltanto da un anno a questa parte mostra un livello appena “normale” di macchie. Gli astronomi solari prevedono che il prossimo picco di attività sarà nel 2013, e non nel 2012 come affermano i guru della fine del mondo, e che sarà insolitamente debole; pertanto, anche se per assurdo avesse luogo un’inversione



*Enorme emissione di materiale coronale fotografata dalla sonda Soho (ESA/NASA).*

del campo magnetico, non ci sarebbe da preoccuparsi troppo per l'esposizione terrestre all'attività solare. E, comunque, non è mai stata trovata alcuna correlazione fra il fenomeno dell'inversione del campo geomagnetico e il raggiungimento del massimo solare.

## **La tempesta perfetta**

In ogni modo, nonostante l'estrema debolezza dell'attuale ciclo solare, e pur senza minacce di inversione geomagnetica, nel futuro, anche prossimo, potrebbe capitare una tempesta solare dalle conseguenze drammatiche per la nostra civiltà. Il modello a cui fare riferimento è la grande tempesta solare del 1859.

Il 28 agosto 1859 un'aurora boreale apparve in tutto il mondo. In America fu vista dal Maine alla punta della Florida, da Cuba all'equatore, illuminando la notte di luci cremisi che si innalzavano fino a metà della volta celeste. Fu vista anche in Italia, dalle 2 alle 4, inizialmente sotto forma di un chiarore generale per tutto il cielo, con una colorazione rosata e rossa verso nord, poi come raggi e colonne luminose verticali di colore giallo salenti a nord ovest, continuamente rinnovantisi e sovrapposti al fondo rosso del cielo.

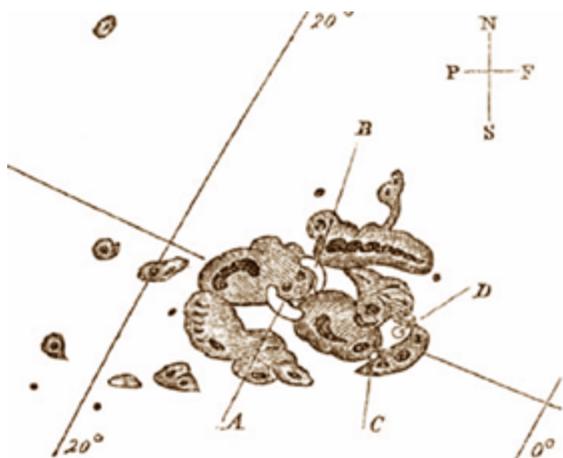
In tutto il mondo gli strumenti che, già allora, misuravano le variazioni del magnetismo terrestre balzarono fuori scala, e correnti elettriche spurie si generarono nelle linee telegrafiche. A Baltimora i telegrafisti impiegarono 14



*Frederick Edwin Church è stato un pittore statunitense famoso per le sue opere, di grandi dimensioni, di efficace impronta naturalistica, ricche di dettagli scientifici ma anche di straordinaria spiritualità. Questo suo quadro, Aurora Borealis, del 1865, conservato allo Smithsonian American Art Museum di Washington, raffigura la nave del suo amico esploratore polare Isaac Hayes. Church ha lavorato sugli schizzi fornitigli da Hayes, ma forse è stato anche ispirato dai fenomeni avvenuti nell'agosto del 1859.*

ore per trasmettere un notiziario di appena 400 parole. Quattro giorni dopo, in Inghilterra, gli astronomi Richard Carrington e Richard Hodgson stavano osservando un gruppo di macchie solari davvero enorme, tanto da essere visibile a occhio nudo, quando videro due intensi lampi di luce bianca proveniente dal gruppo, che durò per cinque minuti. La sera successiva una seconda ondata di aurore trasformò la notte in giorno fino alla latitudine di Panama. La luce, di colore cremisi e verde, era abbastanza intensa da permettere di leggere il giornale. I minatori delle Montagne Rocciose si alzarono e consumarono la colazione all'una di notte, pensando che fosse già sorto il Sole! Le aurore continuarono anche le due sere successive. Le linee telegrafiche di tutta Europa e Nord America divennero inutilizzabili. Anzi no: in alcune regioni gli operatori staccarono i sistemi dalle batterie e spedirono messaggi utilizzando solo la corrente indotta dalle aurore!

L'impatto della tempesta del 1859 non fu molto grave, poiché la tecnologia era ancora allo stadio iniziale. Ma se un evento simile si ripetesse adesso potrebbe danneggiare seriamente i nostri satelliti artificiali, interrompere le comunicazioni radio e provocare blackout elettrici su interi continenti, che richiederebbero mesi o anni per essere riparati. Per fortuna tempeste solari



*I brillamenti osservati da Carrington l'1 settembre 1859, contrassegnati dalle lettere A e B (Royal Astronomical Society/Photo Researchers).*

di quella intensità si verificano mediamente solo ogni 500 anni; tuttavia fenomeni con forza pari alla metà di quello del 1859 hanno luogo ogni 50 anni circa. Il più recente, avvenuto il 13 novembre 1960, provocò perturbazioni geomagnetiche e interruzioni delle

comunicazioni radio in tutto il mondo. Ed è probabile che, se non saremo pronti, i costi di una futura supertempesta solare supereranno di molto quelli di un grande uragano o terremoto.

Le condizioni all'origine della supertempesta del 1859 si manifestarono intorno al massimo solare, con la comparsa delle macchie osservate da Carrington. Quando venne emessa la prima CME le macchie erano proprio di fronte alla Terra. Tuttavia, non è necessario che l'allineamento sia così preciso. Quando una CME arriva all'altezza dell'orbita terrestre si espande fino ad un'ampiezza di circa 50 milioni di chilometri, 4000 volte il diametro del nostro pianeta.

La supertempesta emise due CME. La prima, più lenta, impiegò circa 50 ore per raggiungere la Terra. Quando la colpì il campo magnetico del plasma puntava verso nord, e questo portò ad una compressione e a un rinforzo del campo geomagnetico, minimizzando gli effetti dell'impatto: la CME passò quasi inosservata. Tuttavia, mentre il carico di plasma superava la Terra, il suo campo magnetico ruotò lentamente. Dopo 15 ore risultò opposto, anziché concorde, a quello terrestre, mettendo in contatto le linee di forza orientate verso nord del campo geomagnetico con quelle orientate verso sud del campo del plasma. La connessione delle linee di forza che si verificò liberò enormi quantità di energia e in questo momento iniziarono i disturbi al telegrafo e i fenomeni aurorali.

In occasione delle CME più intense si producono anche uno o più brillamenti di grande energia, e così fu per la supertempesta del 1859. Fra le due CME, il Sole emise il brillamento più luminoso mai registrato, non solo in luce visibile (quello osservato da Carrington e Hodgson), ma anche in X e gamma, che raggiunse la Terra alla velocità della luce, in otto minuti, anticipando di parecchio la seconda CME. L'energia dei raggi X riscaldò l'alta atmosfera e la fece espandere di decine o addirittura centinaia di chilometri. La seconda CME, molto più veloce, e con il campo già dall'inizio orientato a sud, rag-

giunse la Terra in appena 18 ore, innescando un caos geomagnetico totale. La violenza dell'impatto fu tale da ridurre la grandezza della magnetosfera terrestre, che normalmente si estende per circa 60 000 chilometri, ai minimi termini, probabilmente fino addirittura a respingerla all'interno dell'alta stratosfera. Le fasce di radiazione di Van Allen che circondano la Terra furono temporaneamente fatte fuori, e quantità gigantesche di protoni ed elettroni furono depositate nell'alta atmosfera, producendo le spettacolari aurore rosse osservate in molte parti del mondo. La pioggia di protoni ridusse l'ozono stratosferico del cinque per cento: furono necessari quattro anni perché si tornasse alla normalità.

Via via che le aurore si diffondevano dalle alte alle basse latitudini, le correnti elettriche ionosferiche e aurorali che le accompagnavano indussero nel terreno intense correnti elettriche su scala continentale, che riuscirono a penetrare nei circuiti telegrafici, provocando diversi casi di folgorazione e di incendio di stazioni telegrafiche.

## **Un duro colpo alla nostra presunzione tecnologica?**

Quando avverrà di nuovo una tempesta simile, i primi a patire saranno i satelliti in orbita. Anche in condizioni normali, i raggi cosmici erodono i pannelli solari e riducono la generazione di energia dei satelliti del 2% all'anno e interferiscono con i circuiti elettronici. Molti satelliti per comunicazioni sono stati già danneggiati o perduti in questo modo. Una grande tempesta solare può far invecchiare un satellite di 1-3 anni in poche ore, provocando centinaia di anomalie. Il danno totale potrebbe arrivare ai 60 miliardi di euro, che sono all'incirca i profitti di un anno di tutti i satelliti per comunicazione esistenti.

Altri effetti di una supertempesta sui satelliti sarebbero dovuti alla deposizione di raggi X, che provocherebbe l'espansione dell'atmosfera, aumentando l'attrito sui satelliti in orbita a quote inferiori a 600 chilometri, facendoli rientrare anzitempo, bruciando in atmosfera.

Una supertempesta solare provocherebbe danni incalcolabili alle linee di distribuzione elettrica. I grandi trasformatori sono messi a terra elettricamente e quindi possono subire danni da correnti continue geomagneticamente indotte. Queste correnti fluiscono nel trasformatore da cavi collegati al suolo e possono provocare picchi di temperatura di 200 °C o più negli avvolgimenti, causando nella peggiore delle ipotesi l'evaporazione del liquido di raffreddamento e l'arrostimento del trasformatore, e nella migliore trasformando una parte della corrente in frequenze che i dispositivi elettrici non sono in grado di filtrare ed eliminare, portando ad un collasso della regolazione di tensione su più reti nazionali. Una tempesta come quella del 1859 potrebbe rendere inutilizzabile l'intera rete elettrica. Per riparare o sostituire tutti i



*In questa rappresentazione artistica vediamo un esempio dei danni alla rete elettrica causati dalle correnti prodotte durante una supertempesta solare.*

componenti guasti potrebbero occorrere mesi o addirittura anni. La situazione potrebbe essere drammatica soprattutto per gli Stati Uniti, di gran lunga la nazione più popolosa vicina al polo nord magnetico. Soccorrere e assistere per la totale e prolungata mancanza di elettricità una popolazione colpita che potrebbe anche essere di oltre 100 milioni di persone potrebbe non rivelarsi una cosa semplice. Un blackout prolungato creerebbe gravi disagi o addirittura potrebbe mettere in ginocchio i sistemi di comunicazione, i trasporti, il sistema bancario e quello finanziario, gli ospedali, i servizi alla persona. La distribuzione dell'acqua potabile potrebbe essere compromessa per lungo tempo, così come la conservazione dei cibi e dei dispositivi medici. È stato calcolato che i costi arrecati da un tale scenario, in un unico paese come gli USA, potrebbero ammontare a 1000-2000 miliardi di dollari solo per il primo anno, e che ci vorrebbero dai quattro ai dieci anni per tornare alla normalità. Una supertempesta interferirebbe anche con i segnali radio, inclusi quelli dei sistemi GPS. Ne risulterebbero errori di posizione di 50 metri o più, che renderebbero quasi inutilizzabili i sistemi. Inoltre interferirebbe con le comunicazioni radio degli aerei, costringendo le compagnie a cambiare la rotta di centinaia di voli.

Nonostante il progredire della nostra tecnologia ci esponga sempre più al pericolo delle tempeste solari, sembra che si riduca sempre più la consapevolezza del rischio nell'opinione pubblica e nei media. Eppure le tempeste

solari di piccola e media entità che si sono verificate in anni recenti sono già costate molto in termini di perdita di satelliti e di incremento del prezzo industriale dell'energia elettrica.

Riuscire a prevedere con una buona dose di accuratezza le tempeste solari e geomagnetiche potrebbe consentire ai controllori dei satelliti di rimandare manovre delicate e rimediare ad anomalie che potrebbero trasformarsi in gravi emergenze; le compagnie aeree potrebbero anticipare lo spostamento programmato delle rotte; le aziende elettriche potrebbero individuare i componenti vulnerabili delle reti e ridurre al minimo le interruzioni del servizio, deviare temporaneamente i flussi di potenza dai punti della rete che potrebbero essere più esposti al danno, spegnere addirittura alcuni trasformatori.

Varie agenzie ed enti governativi lavorano da tempo per migliorare le capacità predittive nel campo della meteorologia spaziale, fornendo bollettini quotidiani a migliaia di aziende private ed enti statali, ma lavorando con un budget che è appena un centomillesimo delle entrate delle industrie che si servono di quelle previsioni. È necessario quindi potenziare un servizio, che attualmente può contare solo su sonde spaziali progettate per altri scopi e che è in grado di fare previsioni soltanto ad un livello di accuratezza confrontabile con quello delle previsioni meteo negli anni Cinquanta, inviando nello spazio sonde dedicate, ma poco costose, che possono rilevare le condizioni meteorologiche nello spazio usando semplici strumenti di serie.

Nonostante il Sole attraversi, per così dire, una fase "tranquilla", probabilmente l'eventualità di una supertempesta a breve non è così peregrina: giova ricordare, infatti, che la CME che provocò la seconda delle aurore visibili a basse latitudini del 2003 si produsse sul lembo solare e che quindi sfiorò soltanto la Terra. Se fosse avvenuta più al centro del Sole, secondo gli esperti avrebbe probabilmente provocato una supertempesta come quella del 1859. Sta a noi, solo a noi, attrezzarci al meglio per far sì che la prossima volta possiamo uscirne senza le ossa rotte.

## CAPITOLO VIII

### ROTTA VERSO LA FINE?

#### Uno, cento, mille 2012

Sicuramente, come ha scritto E.C. Krupp, molto di quello che viene detto sul 2012 è frutto di immaginazione malata, ignoranza dell'astronomia e della scienza, follie pseudoscientifiche e livelli di paranoia degni di un film sugli zombi. Tuttavia, non possiamo nemmeno dimenticare che dietro a queste stupidaggini *new age* si nascondono, da parte di moltissime persone, angosce reali e sincere preoccupazioni sul futuro del nostro pianeta. Angosce e timori che, va detto chiaramente, non possiamo che condividere.

#### È lo spazio che ha fatto sorgere la coscienza ecologista?

Il timore per la sorte del nostro pianeta è una storia recente e curiosamente, ma forse non tanto, è iniziato proprio con l'esplorazione spaziale. Personalmente ricordo ancora, intorno al Natale del 1968, la fortissima emozione provocata dalle immagini della Terra riprese dagli astronauti della missione *Apollo 8* intorno alla Luna. La Terra era già stata ripresa molte volte dallo spazio, già a partire dal 1946, da un razzo V2 lanciato dagli americani, ma sempre da vicino, dall'orbita terrestre, e queste prime immagini erano in bianco e nero. Ben 21 sonde automatiche statunitensi dei programmi *Ranger*, *Orbiter*, *Surveyor* e 34 sovietiche dei programmi *Luna* e *Zond* vennero mandate sulla Luna, ma nessuna di esse, per quanto possa apparire assurdo, era stata programmata per riprendere immagini della Terra, con l'unica eccezione del *Lunar Orbiter 1*: ma la fotografia era in bianco e nero, sgranata, non sembrava nemmeno la Terra.

Anche Borman, Lovell e Anders dell'*Apollo 8* non fecero caso alla Terra per le prime tre orbite (sei ore) attorno alla Luna. Erano un po' presi dalle incombenze: la loro missione fino a quattro mesi prima non era nemmeno in schedula; ma l'indisponibilità del modulo lunare aveva convinto la NASA a programmare una missione sulla falsariga dei libri di Jules Verne *Dalla Terra alla Luna* e *Intorno alla Luna*, senza atterraggio sul satellite. Quindi, col minor tempo che avevano avuto a disposizione per l'addestramento, i tre erano comprensibilmente concentrati sulle sfide che la grande novità della missione poneva loro: erano i primi uomini a lasciare l'orbita terrestre, i primi a entrare in orbita lunare, i primi a vedere da vicino la Luna, i primi a vedere il suo lato nascosto. Ma alla quarta orbita il loro sguardo cadde per caso sulla



*La storica fotografia della Terra ripresa da William Anders dell' Apollo 8 la vigilia di Natale del 1968. Esposizione di 1/250 a f/11 con Hasselblad (NASA).*

Terra che, a causa del moto della nave, stava sorgendo sull'orizzonte lunare. Quella visione li mandò fuori di testa, e mandò fuori di testa il mondo intero. "Oh mio Dio! Guarda quell'immagine laggiù!" esclamò il comandante Frank Borman, che di solito era una sfinge taciturna. "È la Terra che sorge. Wow, è bellissima!". Borman fece una fotografia, ma aveva solo della pellicola in bianco e nero nella fotocamera. Anders allora si fece passare della pellicola a colori per immortalare quel momento e il risultato è quello che vediamo in questa pagina. In seguito Borman ha ricordato quel momento come la visione più bella e toccante della sua vita. Una volta tornato sulla Terra, dichiarò: "Gli interessi nazionalistici, le carestie, le guerre e le pestilenze non si vedono da quella distanza. Da lassù è davvero un unico mondo". E il suo collega James Lovell: "Nell'intero universo, ovunque abbiamo guardato, il solo punto di colore era la Terra. Le persone qui non si rendono conto di ciò che hanno". William Anders venne sopraffatto da un pensiero: "Abbiamo fatto tutta questa strada fino alla Luna e tuttavia la cosa più significativa che stiamo guardando è il nostro pianeta madre, la Terra". Il pianeta era già stato fotografato a colori dai satelliti geostazionari, la prima volta dal venerabile ATS-3,<sup>19</sup> l'anno prima. Ma dall'orbita geostazionaria, da 36 000 km di altezza,

19. L'ATS-3 della NASA è stato un mito dello spazio, di gran lunga il satellite per telecomunicazioni opera-

la Terra è larga una spanna, tanto grande da riempire considerevolmente una fetta del cielo, non ha l'aspetto fragile e delicato di quando viene fotografata dalla Luna, dieci volte più piccola e quasi sperduta nello spazio. E poi forse, o soprattutto, non c'era la mano dell'uomo, dietro alla fotocamera, il suo occhio.

La fotografia di Anders fu inserita dalla rivista *Life* nel 2003 fra le 100 che cambiarono il mondo, e venne definita come "la fotografia ambientalista più influente che sia mai stata fatta". È perfino possibile che sia stata questa immagine a far decollare negli anni Sessanta il movimento ambientalista, che convenzionalmente si fa iniziare con la pubblicazione del libro *Primavera silenziosa* di Rachel Carson, nel 1962. In effetti nel 1969 l'immagine venne trasformata nella bandiera della Terra dal promotore dei diritti umani John McConnell e venne fondato il movimento *Friends of the Earth*. Da quell'anno il *Whole Earth Catalog*, organo di controcultura ecologista, fondato l'anno prima, ha sempre pubblicato in copertina le prime fotografie del pianeta madre. Nel 1970 McConnell istituì l'Earth Day, che continua a comparire nei calendari di tutto il mondo.

## La terra finirà

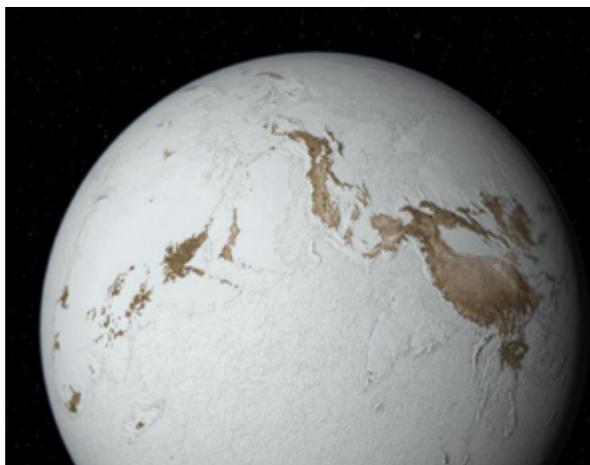
Sicuramente il nostro mondo, cioè il nostro pianeta, la Terra, prima o poi finirà, non c'è dubbio. E non finirà per alcuna delle pur terribili catastrofi endogene o esogene che abbiamo passato in rassegna. Queste sono già capitate, altrettanto sicuramente, nella storia del pianeta, e la Terra, la nostra cara vecchia Gaia, ce l'ha sempre fatta a tirarsi fuori. Anche perché gli eventi distruttivi che abbiamo visto sono sì terribili, ma mettono in pericolo, più che l'integrità del pianeta, la sopravvivenza della vita su di esso: anch'essa però, bene o male, pur se posta molte volte di fronte al pericolo estinzione globale, si è sempre ripresa. Questo forse ci fa capire che la teoria di Gaia proposta nel 1979 dall'insigne scienziato inglese James Lovelock ha qualche fondamento. Com'è noto, secondo Lovelock, e altri che hanno contribuito ad articolare questa teoria, fra cui più di tutti forse la microbiologa americana Lynn Margulis, il nostro pianeta non si comporta come una sfera inanimata di roccia e terra, bensì come un superorganismo biologico, capace di autoregolarsi e di adattarsi perfino a quelle situazioni critiche di forte inquinamento o addirittura di tipo catastrofico.

Possiamo essere giustamente scettici (ed io per primo lo sono) di fronte a questa idea, ma come possiamo spiegare altrimenti, per esempio, il fatto che

---

tivo per più lungo tempo, dal 1967 al 2001! La sua notevole capacità di raccolta delle immagini lo ha reso anche utilissimo per la documentazione dell'evoluzione degli uragani o le operazioni di soccorso durante catastrofi naturali, come l'eruzione del Monte Sant'Elena nel 1980 o il terremoto messicano del 1985.

pur avendo attraversato, a causa principalmente di particolari sinergie fra le variazioni dello schiacciamento dell'orbita, dell'inclinazione dell'asse e del suo orientamento nello spazio, delle fasi climatiche estreme, il nostro pianeta è riuscito a venirci fuori? In almeno due occasioni fra i 2,7 e i 2,3 miliardi e gli 800 e i 600 milioni di anni fa la Terra si è coperta completamente di una coltre di ghiaccio spessa chilometri, dai poli all'equatore. È il cosiddetto scenario della "palla di neve". In queste condizioni, durate per dieci milioni di anni o più, la temperatura media scese come su Marte, a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e quasi tutti gli organismi viventi furono letteralmente spazzati via. La vita rimase appesa a un filo. Per fortuna, l'attività vulcanica, anche in tali condizioni, non cessò del tutto, e portando alla continua produzione di anidride carbonica, che si accumulò in atmosfera e raggiunse infine una concentrazione mille volte quella che c'è attualmente, fece risalire la temperatura e in relativamente poco tempo il pianeta riuscì a liberarsi dalla morsa di ghiaccio. La Terra, e la vita, ce l'ha fatta anche in molte altre occasioni, riuscendo a risollevarsi anche dopo impatti con asteroidi molto più grandi di quello dei dinosauri, dopo eruzioni vulcaniche anche maggiori di quelle del Deccan, quando fu sottoposta a radiazioni da lampi gamma devastanti, molte volte nel passato, quando la luce delle supernovae vicine faceva della notte un altro giorno, quando neppure c'era uno scudo di ozono a proteggere la vita nei mari superficiali. Eppure, la Terra finirà, prima o poi, non c'è dubbio, come tutto finisce. E finirà anche Gaia. Non sarà per colpa di un asteroide grande come il Texas, o di terremoti distruttivi della scala 10,5 Richter, o per l'impazzimento del clima, o perché il suo nucleo smetterà di ruotare, tanto per citare ancora pessime pellicole di Hollywood. Sarà perché il Sole, nel corso della sua evoluzione,



*Più di una volta, nelle epoche passate, la Terra si è ricoperta completamente, o quasi, di spesse coltri di ghiaccio e neve.*

diventerà troppo caldo per permettere la vita, perfino quella batterica, dalle nostre parti. Ma di questo non dobbiamo preoccuparci troppo, perché succederà non prima di 800 milioni di anni.

Nel frattempo, la Terra resisterà a tutti gli impatti, a tutte le aggressioni, portate da tutti, anche dalla specie più aggressiva finora comparsa sulla sua superficie, l'*Homo sapiens*. Quello che non sopravvivrà, invece, sarà proprio quest'ultimo, se non cambia registro, e nelle prossime pagine cercherò di

dimostrare che quella a cui stiamo andando incontro è, effettivamente, soltanto *la nostra fine*, e che questa, anche se certo non avverrà per la fine del 2012, non è poi così lontana.

## La minaccia nucleare e della corsa agli armamenti

Nel terzo capitolo abbiamo visto come parte del potenziale nucleare terrestre potrebbe essere impiegato per distruggere o deviare una cometa in rotta di collisione con il nostro pianeta. Questo è l'unico motivo che potrebbe giustificare la permanenza di qualcosa che, a tutti gli effetti, è la più micidiale minaccia alla sopravvivenza del genere umano. Vi sono nove paesi al mondo che possiedono armi nucleari: Stati Uniti, Russia, Regno Unito, Francia, Cina, India, Pakistan, Corea del Nord, Israele. Altri cinque paesi, Italia, Belgio, Germania, Olanda, Turchia detengono sul proprio suolo bombe di proprietà USA, sotto l'egida della NATO. La corsa agli armamenti durante gli anni della guerra fredda ha fatto produrre alle varie potenze la bellezza di 130 000 ordigni nucleari! Non occorre neanche dirlo: con i soldi spesi sarebbe stato possibile affrontare e risolvere, per sempre, tutti i problemi in cui si dibatte ormai da decenni l'umanità. Le motivazioni di questa folle corsa non sono chiari neanche oggi, quando si consideri che il potenziale accumulato era nelle varie fasi sufficiente per annientare le difese dell'avversario non una, ma cento volte! La massima quantità di testate nucleari contemporaneamente attive, 65 000, è stato raggiunto verso il 1985. Da allora, con i vari trattati di disarmo, si è arrivati alle attuali circa 19 000, per il 95% detenute da Russia e Stati Uniti. In teoria, con gli ultimi trattati SORT (2002) e New Start (2010) le due potenze dovrebbero arrivare, entro la fine del 2012, a non detenere più di 1550 armi nucleari a testa. Quindi, formalmente, sul pianeta vi sono attualmente non più di 4000 ordigni nucleari attivi. Approfondendo un po' la questione, tuttavia, si scopre che le altre bombe non sono state distrutte, ma o solo parzialmente smantellate o sistemate in qualche deposito, e possono essere di nuovo rese operative nel giro di poche settimane o addirittura giorni. Nei decenni scorsi l'umanità ha rischiato a più riprese l'innescio di una guerra nucleare. Basti ricordare la crisi dei missili a Cuba del 1962, l'escalation Libia-USA del 1981, o l'esercitazione Able Archer del 1983, e queste sono solo le crisi conosciute, chissà quante altre volte, coperte dal segreto di stato, i presidenti americani e i segretari generali del PCUS sono stati sul punto di aprire la loro valigetta nera per lanciare un attacco nucleare. E certamente anche oggi non possiamo stare tranquilli, vista anche l'elevata probabilità che ai vertici delle potenze nucleari non vadano uomini politici di specchiata virtù e sanità mentale, come più volte è già successo.

Anche nel caso in cui, comunque, il tutto non finisca in un bagno di sangue, appare veramente intollerabile il permanere degli importi folli per le spese



*Un esempio delle follie delle spese militari, il bombardiere strategico B2 Spirit, costato la bellezza di oltre due miliardi di dollari ad esemplare, equivalenti al costo del Telescopio Spaziale Hubble. E gli Stati Uniti ne costruirono 21 negli anni Novanta (US Air Force).*

militari. La maggior parte dei paesi spende per gli armamenti il doppio di quanto destina alla ricerca! E ogni anno nel mondo si spendono 1400 miliardi di euro per comprare armi, ovvero cose che ci si augura non dover mai usare. Si può pensare a qualcosa di più stupido?

## **Gli errori del passato**

Anche prima, molto tempo prima, di inventare le armi di distruzione di massa, la specie umana, a causa della sua particolare capacità di manipolare l'ambiente (molti la chiamano intelligenza ma, a causa dei bei risultati che ha prodotto, forse dovremmo rivedere la definizione), ha sviluppato una capacità distruttiva senza uguali. Negli ultimi decenni lo sfruttamento spietato delle risorse naturali, la distruzione di molte specie animali e vegetali, i danni arrecati all'ambiente si sono accelerati ad un ritmo tale che tutto ciò non potrà essere sostenuto per un altro secolo, forse nemmeno per mezzo secolo. Per diverse volte nella sua storia l'uomo ha sperimentato come la distruzione delle risorse naturali possa portare drammaticamente al collasso della civiltà che questo sfruttamento ha compiuto. Si possono fare molti esempi al riguardo. Uno è quello dell'Isola di Pasqua, che fu colonizzata dai polinesiani intorno al 900 d.C. Quando essi arrivarono, l'isola era ricoperta di foreste. Gli uomini cominciarono ad abbattere gli alberi, per ottenere terreno da poter coltivare, per costruire barche, per erigere i famosi Moai. Attorno al 1550 la popolazione, che contava inizialmente probabilmente i pochi individui che potevano stare su qualche barca (l'isola è lontanissima da qualsiasi altra e difficilmente poteva essere stata raggiunta in modo programmato da una spedizione numerosa) era arrivata a 15 000 individui, con una densità di ben 124/km<sup>2</sup>. Erano state costruite quasi 900 statue, fino a 270 tonnellate di peso, erette su piattaforme pesanti fino a 9000 tonnellate, ma l'isola non aveva più un solo albero. L'erosione del suolo fece crollare i raccolti e la mancanza di materiale per costruire le barche fece venir meno la risorsa della pesca. La popolazione,



*Nel luglio 2010 l'Isola di Pasqua è stata meta di centinaia di appassionati da tutto il mondo che hanno assistito ad un'eclisse totale di Sole con uno sfondo unico e suggestivo, le file di Moai che si trovano ancor oggi sull'isola a testimoniare il tragico destino di una comunità del passato (foto dell'astrofilo spagnolo Juan Carlos Casado).*

troppo numerosa per le ormai limitate risorse a disposizione, si avviluppò in una tragica spirale di violenze, guerre e episodi di cannibalismo. Quando l'isola fu scoperta dagli europei, nel 1722, la popolazione si era ridotta ad appena 2500 abitanti.

Un altro esempio è quello del popolo che occupava i *pueblo* del New Mexico, gigantesche abitazioni a più piani, con edifici fino a 650 stanze e che gli attuali indiani navajo della regione chiamarono *anasazi*, "gli antichi", noti anche per possedere sofisticate conoscenze astronomiche e per creare complessi sistemi di orientamento degli edifici. Essi si stanziarono nel VII secolo in siti relativamente asciutti, ma ricoperti di boschi che abbondavano di pini e ginepri, e vi fondarono comunità floride inventando complessi sistemi di irrigazione per le colture. Tuttavia, la deforestazione compiuta per procurarsi legna da ardere e legname per la costruzione lasciò, verso l'anno 1000, la zona completamente priva di alberi e innescò una crisi, che peggiorò a causa di problemi relativi anche a sopraggiunte difficoltà di irrigazione delle colture, portando a episodi di guerre intestine, cannibalismo, violenza, come a Pasqua, e al definitivo abbandono dei siti, diventati nel frattempo completamente aridi, come sono oggi, nel XII secolo.

Un caso simile è quello vissuto dai coloni islandesi della Groenlandia. Nel 986 due dozzine di navi lasciarono l'Islanda, seguendo Eirik Thorvaldsson

*Veduta aerea delle rovine di Pueblo Bonito, la più grande casa di Chaco Canyon, con circa 700 stanze e 36 kivas, vani circolari a cui si accedeva dall'alto. Pueblo Bonito è orientato ai punti cardinali con un errore di solo  $\frac{1}{2}$  di grado e quasi tutti gli edifici di Chaco Canyon risultano orientati e correlati astronomicamente fra loro secondo direzioni solstiziali e lunari (fotografia di Bob Adams).*



che quattro anni prima aveva esplorato, alla ricerca del luogo adatto per un insediamento, le coste di quella che battezzò Grönaland (“Terra Verde”), per incentivare i suoi compatrioti a recarvisi. I pascoli erano veramente verdi e vasti, la terra era ricca di selvaggina, il mare di pesci di varie specie, e gli islandesi stabilirono ben presto due insediamenti, uno chiamato Orientale e l’altro Occidentale, anche se entrambi sorgevano sulla costa occidentale, più ospitale, a circa 500 km uno dall’altro. Nell’Insediamento Orientale si trovavano 190 case coloniche, in quello Occidentale 90. Iniziata con meno di 500 coloni, alla fine la popolazione groenlandese salì a circa 5000 abitanti. La Groenlandia si diede una costituzione, delle leggi e un parlamento simili a quelli islandesi. I coloni vivevano soprattutto di pastorizia, caccia e commercio. Tuttavia i maiali e le mucche, che i coloni avevano portato con sé, non erano adatti al clima rigido della Groenlandia. I primi estirpavano la fragile vegetazione e rovinavano il suolo; le seconde potevano pascolare solo per uno o al massimo due mesi l’anno e nel resto dell’anno avevano bisogno di enormi quantità di fieno disseccato. Molto più adatti al clima si rivelarono pecore e capre. I coloni coltivavano cavoli, rape, rabarbaro, lattuga, forse un po’ d’orzo e di grano, ma in così piccole quantità, a causa della rigidità del clima, che i vegetali dovevano quasi costituire un genere di lusso. La caccia era praticata nei confronti di foche, caribù, piccoli mammiferi, uccelli marini. Incredibilmente, nonostante la pescosità dei mari, il pesce non faceva parte della loro dieta, tanto che lo scienziato statunitense Jared Diamond pensa che avessero sviluppato un tabù per il pesce. Ipotesi tutt’altro che peregrina, perché i popoli scandinavi usavano, e usano ancor oggi, metodi di fermentazione per preservare il pesce fino a livelli che noi definiremmo tranquillamente “marcio”; probabilmente uno dei primi coloni dev’essere stato male o essere addirittura morto per aver mangiato del pesce in quelle condizioni. Tra i beni

*Resti della chiesa di Hvalsey, nell'Insediamento Occidentale, l'edificio meglio conservato delle colonie vichinghe goenlandesi (Wolfgang Kaehler/CORBIS).*



esportati dai groenlandesi c'era soprattutto la lana, le zanne del narvalo e del tricheco, le pelli di orso, di capra, di tricheco, di foca, di bovino, fra quelli im-

portati il ferro, il legno, il catrame, il miele, il sale.

Dopo qualche secolo di prosperità, le colonie groenlandesi cominciarono a deperire, sia per l'epidemia di peste del 1348 che uccise più di metà degli abitanti della Norvegia, mettendo in ginocchio il principale partner commerciale dei coloni, sia per il calo della domanda di avorio in Europa, sia per l'irrigidimento del clima, sia per l'arrivo di indigeni *inuit*. Ma tutte queste difficoltà avrebbero potuto essere superate se i coloni fossero stati più previdenti e non avessero commesso delle ingenuità che poi si rilevarono fatali. Innanzitutto bruciarono interi boschi per creare terreni da pascolo e abbatterono gli alberi per procurarsi legna per costruire e da ardere. Le foreste non riuscirono a rigenerarsi sia per la crudeltà del clima sia perché gli animali da pascolo estirpavano le piante appena nate e calpestarono il terreno. Inoltre, brucando tutta l'erba, gli animali eliminarono in poco tempo il manto erboso, esponendo la superficie all'erosione. Il suolo venne trascinato via dalle piogge e dai venti, spogliando il terreno dello strato coltivabile: ecco forse perché i vegetali furono così poco presenti nella dieta dei coloni. Quando venne a mancare la legna, i groenlandesi asportarono le zolle di torba dal terreno per usarle come combustibile e materiale da costruzione. Tutto ciò a lungo andare distrusse i pascoli, e quindi la base stessa di sostentamento dell'economia dei coloni. La mancanza di legno andò anche a limitare in modo esiziale la disponibilità di ferro: per estrarre il metallo dai depositi groenlandesi, sedimenti nelle paludi, occorrevano alte temperature, come pure per lavorare i lingotti che arrivavano dalla Norvegia. La penuria di ferro limitò la capacità e soprattutto la celerità con cui i coloni potevano raccogliere il grano, macellare una carcassa o tosare una pecora, che poteva essere fatto negli ultimi tempi solo con utensili litici o di osso. Limitò anche la disponibilità di armi e tolse ai coloni un potenziale vantaggio nei confronti delle popolazioni *inuit*, con le quali vi furono negli ultimi periodi della colonizzazione degli scontri. Questa situazione peggiorò anche perché i coloni consideravano gli *inuit* dei

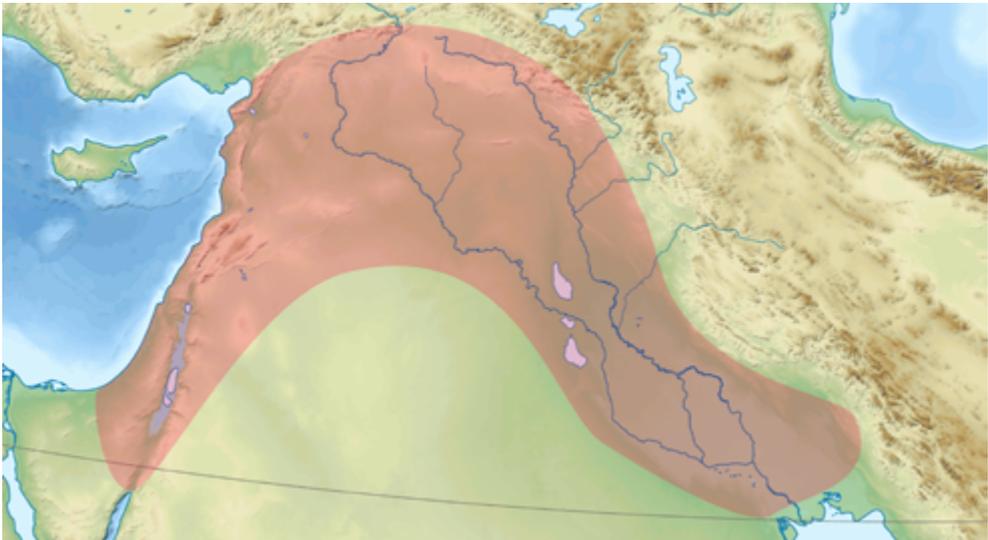
barbari, a loro inferiori, e non vollero avere con essi nessuna strategia di collaborazione. Tutto ciò, unito ad un notevole conservatorismo di base, impedì per esempio ai coloni di adottare comportamenti tipici degli *inuit* che avrebbero loro consentito di continuare a sopravvivere in quegli ambienti, come per esempio l'uso di grasso di balena e di foca per scaldare e illuminare, o il cibarsi di pesce, o l'allestimento di complesse imbarcazioni adatte alla caccia delle balene o della specie più diffusa di foca in quei mari, che i vichinghi non erano in grado di cacciare. Così la comunità di origine islandese collassò e nel 1364 l'Insediamento Occidentale fu abbandonato. La colonia orientale probabilmente continuò la sua vita fino intorno al 1435, ma infine su quelle che erano state le prime colonie europee nel Nuovo Mondo calò il silenzio. Lo stesso tipo di problemi, ma su scala molto maggiore, ha dovuto affrontare anche la grande civiltà maya il cui periodo di massimo splendore, il cosiddetto periodo classico, va dal 250 circa fino intorno al 900. Dopo questo periodo si assistette ad un suo crollo che, anche se non generalizzato, coinvolse comunque la maggior parte delle città-stato; in particolare, poi, tutte le regioni meridionali (negli attuali Guatemala, Honduras, Belize e El Salvador) furono abbandonate e il centro della cultura maya si spostò nello Yucatan e sparirono completamente, da qualsiasi sito, i segni di maggiore complessità sociale, come la costruzione di palazzi, le istituzioni politiche, le iscrizioni, l'uso del calendario. Oltre al problema della deforestazione e dell'erosione del suolo, i Maya si trovarono ad affrontare un altro problema, sempre provocato da loro stessi, quello demografico, che rendeva drammati-



*Veduta dell'edificio chiamato El Castillo a Tulum, un sito sulla costa orientale dello Yucatan, fondato verso il 1200, quando la civiltà maya era già in decadenza (foto dell'autore).*

co l'aspetto relativo alla diminuzione della terra disponibile per l'agricoltura. I Maya erano in cinque milioni su un territorio più piccolo di quello italiano, densità altissime per quei tempi. Probabilmente la deforestazione provocò anche un periodo di siccità localizzato. Ad aggravare le cose cominciarono a manifestarsi sempre più spesso guerre, che già erano endemiche nei periodi "normali", per il controllo delle sempre più scarse risorse.

Oltre a queste vicende emerge, da varie testimonianze coeve e dalla documentazione archeologica, che la decadenza di varie civiltà antiche fu dovuta all'esaurimento delle risorse disponibili. In particolare si nota, per esempio, un graduale spostamento da oriente verso occidente del centro di potere delle antiche civiltà occidentali. Il primo di questi centri fu il Medio Oriente (di volta in volta Babilonia, Assiria, Persia, Turchia, Egitto), sede delle più importanti innovazioni e progressi umani fondamentali, come l'agricoltura, la scrittura, la domesticazione di animali, l'organizzazione statale, le invenzioni militari, ecc. Poi, dopo la conquista di Alessandro Magno il centro del potere si spostò principalmente in Egitto e in Grecia, poi a Roma, poi in Spagna, Francia e Inghilterra. Questo spostamento trova un contraltare nell'aspetto che hanno oggi i paesi in cui si trovavano questi antichi centri di potere, in gran parte degradato e semidesertico. In tempi antichi invece il Medio Oriente e la parte orientale del Mediterraneo erano rigogliosi di boschi e di fertili valli (la cosiddetta "mezzaluna fertile"). Migliaia di anni di deforestazione, erosione del suolo, sfruttamento intensivo, eccesso di pascolo trasformarono quei luoghi così come li vediamo oggi, in gran parte aridi e spogli. Questi esempi possono non sembrare molto significativi, perché riguardano

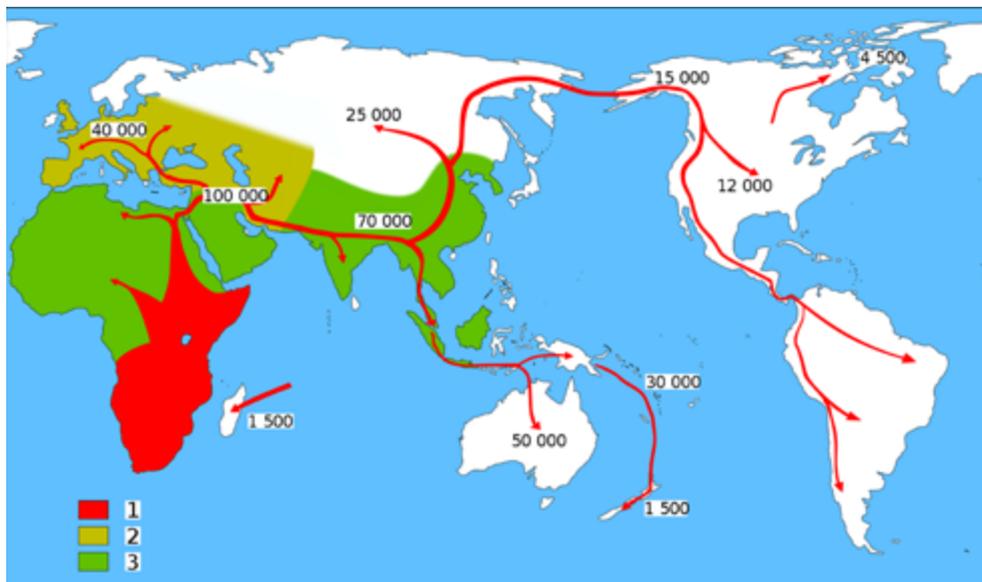


*Il termine "mezzaluna fertile" per indicare la culla della civiltà moderna in Mesopotamia e Levante è stato usato per la prima volta nel 1906 dall'archeologo americano J.H. Breasted. In seguito il termine è stato esteso a comprendere anche l'antico Egitto (Sémhur/Rafy/Wikipedia).*

realità piccole e quindi non s'immagina che un destino simile possa essere seguito addirittura dall'intera civiltà umana. Ma prima vorrei far riflettere ancora il lettore su alcune cose.

## Ciò che ci ha ormai perduto

La nostra specie ha da sempre provocato danni all'ambiente, ma negli ultimi decenni questa nostra capacità è diventata leggendaria. Basti pensare, per iniziare, a come e quanto riusciamo a far estinguere velocemente le altre specie. Fino a 50 000 anni fa *Homo sapiens* era confinato nella sola Africa e nelle aree più calde di Asia ed Europa. A partire da 48 000 anni fa popolammo l'Australia e la Nuova Guinea, da 20 000 anni fa la Siberia, da 14 000 anni fa le Americhe, da 4000 anni fa le isole del Pacifico. L'umanità conobbe in questo periodo un'espansione demografica senza precedenti, passando da meno di un milione di individui a mezzo miliardo intorno al 1600. Il nostro potenziale distruttivo aumentò a dismisura in questo lasso di tempo, grazie al miglioramento delle nostre capacità venatorie e, a partire da 10 000 anni fa, con l'invenzione dell'agricoltura e del perfezionamento degli utensili di pietra nonché, a partire da 6000 anni fa, con l'invenzione della metallurgia. In tutti i continenti il nostro arrivo coincise con vere e proprie estinzioni di massa: l'Australia perse canguri giganti, leoni marsupiali e altri grossi marsupiali; l'America vide scomparire leoni, ghepardi, mammut, cavalli, mastodonti e



La diffusione degli ominidi *Erectus* (3) e *Neanderthalensis* (2) e la diffusione e le migrazioni dell'*Homo Sapiens* (1) (Altaileopard/SVG by Magasjukur2/Wikipedia).

decine e decine di specie di altri grandi mammiferi; le isole del Pacifico varie specie di uccelli. Circa il 73, l'80 e l'86 per cento dei grandi mammiferi si estinsero rispettivamente in Nordamerica, Sudamerica e Australia dopo l'arrivo dell'uomo.

Noi riusciamo a provocare le estinzioni in vari e fantasiosi mezzi. Innanzitutto con la caccia indiscriminata. Probabilmente per motivi di ordine psicologico, relativi a qualche atavico e non risolto complesso di inferiorità, probabilmente anche a sfondo sessuale (io non conosco cacciatrici donne, e voi?) l'uomo si è particolarmente concentrato nel far fuori tutti gli animali di grossa taglia. Non ci siamo ancora del tutto riusciti, ma siamo sulla buona strada. Le poche balene che sopravvivono sono alla mercé di stati come il Giappone, Islanda, Far Oer, Russia, Norvegia che continuano lo sterminio dei grossi cetacei sulla base di motivazioni risibili e addirittura condite da ragioni pseudoscientifiche. Gli elefanti e i rinoceronti vengono massacrati dai bracconieri in Africa per ricavarne avorio e corni da esibire come trofei. Animali come tigri e leoni stanno scomparendo a causa della caccia: si stima che esistano fra i 16 000 e i 30 000 leoni in tutto il mondo e solo 3200 tigri. Entro un decennio o due anche questi saranno scomparsi. Ma naturalmente non ci facciamo mancare nemmeno di sterminare le piccole prede.

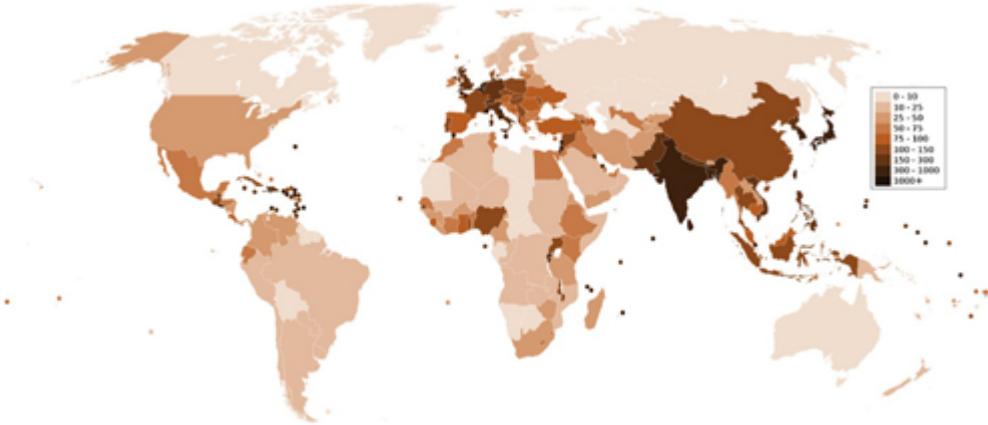
Anche quando l'uomo introduce, volontariamente o involontariamente, una nuova specie in una regione, questa spesso causa la scomparsa di qualche specie locale, inserendosi nella catena alimentare come predatore, cibandosi o trasmettendole delle malattie verso cui questa non ha mai sviluppato difese, o ancora distruggendo l'ambiente. È successo centinaia di volte in passato: di recente per esempio gatti e volpi introdotti dall'uomo in Australia hanno già sterminato molti piccoli marsupiali locali; altri esempi sono le numerose erbe infestanti che danneggiano le colture umane o altre piante selvatiche autoctone, vari parassiti e agenti patogeni che hanno colpito gli animali d'allevamento.

La distruzione degli habitat conduce all'annientamento di migliaia di specie. Si pensi, per esempio che, anche se la Terra è coperta solo per il 6% da foreste pluviali, in esse vive oltre la metà delle specie esistenti sul'intero pianeta. E probabilmente entro il 2050 quasi tutti questi ambienti verranno distrutti dall'uomo. Si ricordi che la deforestazione è stata la più importante causa delle catastrofi ecologiche di cui abbiamo parlato in precedenza. Le barriere coralline sono l'equivalente delle foreste pluviali, perché costituiscono l'habitat di molte specie marine e un terzo è già stato danneggiato. Entro il 2050 potrebbero sparire tutte a causa del crescente uso della dinamite per pescare, dell'eccessivo prelievo delle specie erbivore che si cibano di alghe (il cui proliferare danneggia la barriera), dello scarico degli inquinanti sulle coste. Inoltre gran parte dei mari sono quasi completamente stati depredati delle risorse ittiche (il Mediterraneo, già da anni, è quello di gran lunga messo peggio, praticamente un *lacus morti*). Poiché due miliardi di persone dipen-

dono quasi esclusivamente dal mare per soddisfare il loro bisogno proteico si fa presto a capire che cosa questo implichi per l'immediato futuro. La piscicoltura non è tanto meglio: i pesci di allevamento sono nutriti con altri pesci catturati in mare, con scarsa efficienza (spesso servono venti chili di selvatico per un chilo di pesce di allevamento), e contengono molte più tossine del selvatico, inoltre le sostanze usate per l'allevamento si disperdono in mare, inquinandolo ed eutrofizzandolo.

Poiché tutte le specie sono collegate nell'ecosistema, l'estinzione di una specie ha ripercussioni che possono essere infinite su tutte le altre, e può portare all'estinzione di altre specie, la cui estinzione a sua volta può portare alla scomparsa di altre ancora. Per esempio, se si estingue un grande predatore, possono moltiplicarsi i predatori di medie dimensioni, di cui i primi si cibavano; questi, non essendo più predati conoscono un'esplosione demografica e, non avendo più concorrenza, possono predare molto più di prima le prede di cui inizialmente si cibavano entrambi i gruppi, portandole all'estinzione. Stando così le cose, è probabile che la metà delle specie oggi esistenti, che sono già molto meno di quanto erano pochi decenni fa, sia estinta entro il 2050. Ovvero 12 milioni di specie spariranno a causa dell'uomo, al ritmo di 250 000 all'anno, un ritmo centinaia di volte superiore a quello naturale. Ci si potrebbe domandare: e che ce ne frega? L'importante è che sopravviviamo noi. Appunto. Poiché tutte le specie sono fra loro interdipendenti, è assolutamente certo che tutto ciò porterà conseguenze incalcolabili, e quasi sicuramente accelererà anche la nostra, di estinzione. Infatti, le specie selvatiche ci forniscono gratuitamente servizi che altrimenti sarebbero molto costosi da ottenere: basti pensare ai lombrichi, indispensabili per mantenere fertile il terreno, ai batteri che sintetizzano gratuitamente l'azoto che serve da nutriente al suolo, agli insetti impollinatori che fanno riprodurre a costo zero le piante, agli uccelli e ai mammiferi che disseminano per i prati e i boschi i frutti selvatici, ai batteri e alle piante che degradano i rifiuti, a tutti i predatori terrestri e marini che mantengono bilanciata la catena alimentare.

Non c'è dubbio che i danni ambientali provocati dall'uomo sono diventati inarrestabili soprattutto a causa dell'incremento demografico della nostra specie, una vera piaga biblica: siamo passati dal miliardo del 1804, ai tre miliardi di quando io ero bambino, alla metà degli anni Sessanta, ai sette miliardi oggi e, anche se si assiste ad un rallentamento, soprattutto per merito della Cina (che, grazie alla politica dell'unico figlio per coppia si sta avvicinando alla crescita zero), non se ne vede la fine; secondo le attuali stime raggiungeremo i nove miliardi fra meno di trent'anni. Forse questo è il problema più sottovalutato fra tutti quelli che affrontiamo qui, anzi si continua, almeno nel nostro Paese, a sentire deliranti servizi giornalistici e interventi di sociologi sull'invecchiamento della popolazione e sul fatto che non facciamo più figli, quando invece uno dei pochi fiori all'occhiello dell'Italia è proprio quello di far parte del ristretto club di paesi a decrescita demografica (appena 16 su

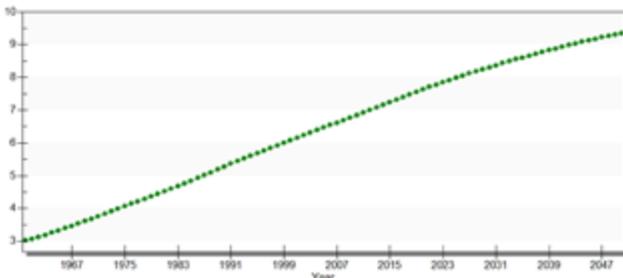


*Densità di popolazione nei vari paesi del mondo (Miguel Contreras).*

197). A livello mondiale invece, purtroppo, la popolazione cresce ancora al tasso dell'1,16% l'anno, ovvero di oltre 80 milioni di persone l'anno. Il triste primato della crescita spetta al Niger, col 3,57% l'anno. Mi pare abbastanza evidente, del resto, che qualsiasi appello alla procreazione viene propagato dai mass-media non per nobili scopi di preoccupazione della salvaguardia della specie, bensì per intenti puramente consumistici, e quindi colposamente criminosi.

Altre modalità di distruzione dell'ambiente, connesse con i problemi della sovrappopolazione, sono quelle stesse inerenti all'agricoltura, l'invenzione della quale si dice sia stata una manna dal cielo. L'agricoltura, soprattutto quella superintensiva praticata al giorno d'oggi, provoca un'erosione del suolo migliaia di volte più rapida rispetto a quella a cui va incontro un terreno ricoperto naturalmente da foreste, la salinizzazione, la perdita di fertilità, l'acidificazione e l'alcalinizzazione.

L'erosione è resa ancora più rapida e tragica dalla cementificazione selvaggia, della quale in Italia siamo tristi paladini. Il terreno, reso sempre più impermeabile (già oltre la metà del territorio comunale in molte delle città italiane), è sempre più preda di frane, smottamenti e alluvioni, che causano periodicamente decine di morti e miliardi di euro di danni. Per quanto ri-



*Andamento della popolazione mondiale dal 1960 fino al 2050 espressa in miliardi di abitanti (Pardee Center for International Futures).*

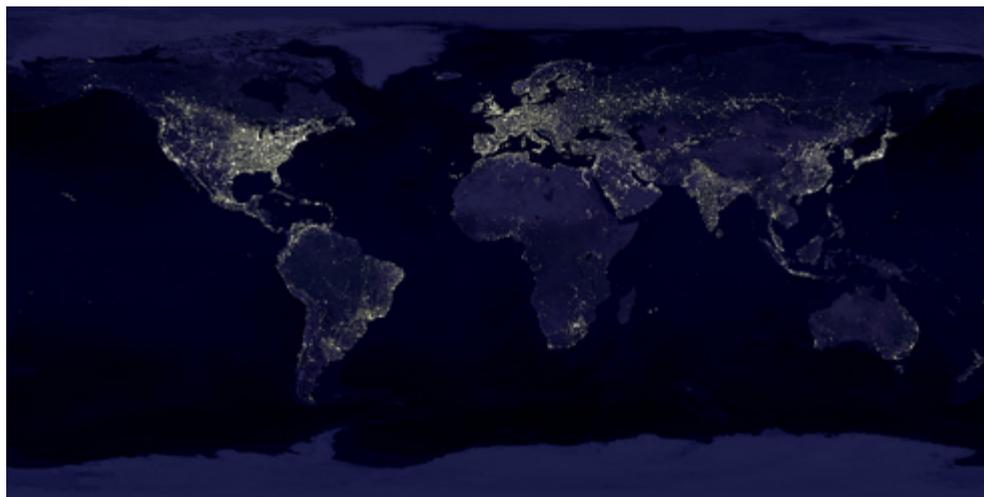
guarda l'agricoltura è stato calcolato che negli ultimi dieci anni il terreno coltivato sia diminuito in Italia di oltre 500 ettari al giorno a causa della cementificazione, perdendo in questo periodo una superficie pari quasi a quella del Piemonte. Tutto questo ha già danneggiato irrimediabilmente, con ogni probabilità, secondo alcune stime, oltre la metà del terreno agricolo mondiale. Il risultato è che il cibo scarseggerà sempre più nei prossimi decenni, proprio nel momento in cui il selvaggio incremento demografico avrebbe bisogno di renderne disponibile maggiori quantità. Fao e Ocse avvertono che per sfamare i 9 miliardi di persone che saremo nel 2040 bisognerà aumentare la produzione agricola del 60% e invece fra poco tempo questa inizierà inevitabilmente a diminuire!

Inoltre, non ci stiamo rendendo conto della rapidità con cui si stanno esaurendo le risorse idriche. Impiegata in modo massiccio per irrigare, per usi domestici e industriali, per trasporto, per la pesca, perfino per piscine o parchi acquatici, l'acqua dolce è destinata presto a finire. Le falde acquifere sono sfruttate a un ritmo molto maggiore rispetto a quello con cui possono reintegrarsi. Desalinizzare l'acqua marina è troppo costoso e impossibile da usare in certe zone, troppo lontane dal mare.

Stiamo utilizzando troppo della capacità fotosintetica della Terra, ovvero quella necessaria per produrre vegetazione, per altri scopi: agricoltura, selvicoltura, oppure intercettando la luce solare con l'asfalto delle strade o il cemento degli edifici. Entro il 2050 con il tasso attuale di crescita demografica poca luce solare rimarrà per la crescita spontanea della vegetazione.

I combustibili fossili, petrolio, gas naturale e carbone, si stanno ormai esaurendo o, comunque, estrarli diventa sempre più difficile e costoso, e produce danni ambientali sempre più grandi. Le modalità con cui si compie la ricerca e l'applicazione nel campo delle energie alternative procedono a rilento e spesso con impasse di tipo politico, connessioni con la corruzione e il malaffare, conflitti d'interesse e di attribuzione, polemiche di tipo strumentale sui danni ambientali e al paesaggio. Ma, soprattutto, i modi con cui consumiamo energia stanno diventando sempre più discutibili. Infatti, il modello consumistico capitalista si è ormai affermato solidamente anche in campo energetico. Utilizzi come quelli di un'eccessiva illuminazione notturna, dell'abuso di riscaldamento (fino a 25° e oltre!) e dei condizionatori (fino a 18-20°) non possono più essere tollerati. Così come la costruzione e l'utilizzo di abitazioni non adeguatamente coibentate. Oppure l'utilizzo di enormi quantità di carburante per il trasporto privato.

Produciamo troppe sostanze tossiche, gas di scarico e da combustione, insetticidi, pesticidi, mercurio, detersivi, materiali plastici. I danni di queste sostanze sono ben note: si calcola che nel mondo siano responsabili almeno di 1,5 milioni di morti all'anno, e di svariati altri milioni di danni al sistema immunitario, malattie congenite, ritardo dello sviluppo mentale. I danni a lungo termine sono ancora più micidiali: è a queste sostanze che si deve



*Uno dei modi più stupidi che ha inventato l'uomo per sprecare l'energia è certamente quello di costruire lampioni e luci per esterni che inviano, come si vede in quest'immagine, fino al 50% della loro luce verso l'alto e in più rimangono accesi per tutta la notte, come se ognuno di noi, a casa propria, tenesse tutte le luci accese dal tramonto all'alba per tutti i santi giorni dell'anno! (NASA Goddard Space Flight Center).*

quello che può essere già definito l'inizio del nostro processo di estinzione come specie, ovvero la diminuzione del numero e della mobilità degli spermatozoi nell'eiaculato, tanto che le capacità riproduttive umane nel corso degli ultimi cinquant'anni si sono ridotte della metà. Fra l'altro molte di queste sostanze sono quasi impossibili da eliminare dall'ambiente o, se lo sono, a costi proibitivi.

Con le nostre attività produciamo gas serra e gas che danneggiano lo strato di ozono. Rispetto a quest'ultimo aspetto, anche se attualmente la produzione dei freon si è azzerata, si sospetta fortemente che anche l'idrogeno abbia potere distruttivo nei confronti dell'ozonosfera. Attualmente si producono 50 milioni di tonnellate di idrogeno (cinquanta volta il quantitativo dei freon nel 1988) e la brutta notizia è che questo gas dovrebbe essere sempre più impiegato a breve termine nei trasporti e come combustibile, aumentando la sua produzione di due ordini di grandezza. Riguardo ai gas serra, c'è ormai consenso abbastanza unanime sul fatto che l'anidride carbonica, prodotta dalla combustione dei combustibili fossili e dai gas di scarico dei veicoli e il metano, prodotto dalla fermentazione negli intestini dei ruminanti, dalle miniere di carbone e dai gasdotti, dalla decomposizione dei rifiuti solidi urbani, siano almeno in parte responsabili del riscaldamento globale. Il lettore, di fronte a questa cauta affermazione forse si stupirà, sentendo su di sé quasi quotidianamente, si sarebbe tentati di dire, l'effetto dell'aumento di temperatura, soprattutto alla fine di un'estate rovente come quella del 2012. In realtà le impressioni soggettive non hanno molta importanza e possono

essere fuorvianti. Diffidare poi dell'informazione giornalistica e televisiva, quasi mai documentata e tesa solo a fare del sensazionalismo. Stiamo parlando, infatti, di un aumento di temperatura su scala planetaria, non locale, di appena 0,74 °C negli ultimi cento anni, ovvero di qualche decimo di grado nell'arco della vita dei miei lettori più anziani. Dubito che qualcuno possa averlo sentito, per così dire "sulla propria pelle". E non si creda, comunque, che la media sia fatta dalla composizione di squilibri, poniamo di tre gradi in più da una parte e di quattro in meno dall'altra. No, gli scarti sono sempre minimi, nelle varie località, a livello statistico. Quindi non ha nessun senso prendere a parametro le temperature di un agosto particolarmente caldo, ma solo le medie di alcuni mesi in sequenza. Facendo così, anche a livello locale, si possono avere delle sorprese: qualche anno fa, per esempio, confrontando le medie moderne di gennaio di cinque località alpine (Feltre, Belluno, Trento, Cortina e Bolzano) ho scoperto che erano sei decimi di grado più basse di quelle degli anni Venti! Un altro esempio: si parla molto del ritiro dei ghiacciai alpini, negli ultimi tempi, ma è notizia di oggi (25 agosto 2012) che sul ghiacciaio dell'Adamello sono saltate fuori, a causa dello scioglimento dei ghiacci, le postazioni della Grande Guerra! Che strano, però, i giornalisti non si sono accorti che, stando così le cose, cent'anni fa i ghiacciai dovevano essere ancora più ridotti! Detto questo, tuttavia, si hanno fondati motivi per ritenere che entro il 2100 l'aumento delle temperature medie globali possa oscillare fra 1,5 e 5 gradi. Anche se sembrano ancora numeri piccoli, questa volta però fanno paura, quando si pensi che durante l'ultima glaciazione le temperature erano soltanto 5° inferiori a quelle di oggi.

Un altro problema, che sembra banale, ma non lo è, è quello costituito dai rifiuti. L'esempio del nostro Paese è particolarmente devastante, soprattutto in termini di spese che, incredibilmente, vengono fatte ricadere quasi esclusivamente sui cittadini. Infatti, noi paghiamo i rifiuti cinque volte: la prima, quando paghiamo al momento dell'acquisto la confezione che non è un bene di consumo, ma di scarto; la seconda, quando paghiamo al comune la tassa sui rifiuti; la terza, in termini di tempo impiegato per lo smaltimento differenziato che, come ognuno sa, corrisponde a molte ore nel corso di un anno; la quarta, in termini differenziali, perché la frazione di riciclo è ancora bassa, e le modalità di incenerimento e conferimento in discarica sono molto più costose; la quinta, in termini di costi sanitari, dovuti al fatto che gran parte dei rifiuti vengono inceneriti o va ancora in discarica, con danni ambientali e di tossicità ingenti. Invece, non si fa nulla per disincentivare a monte la produzione di rifiuti, penalizzando e multando le aziende che fanno uso eccessivo di imballaggi, e adottando delle strategie di minimizzazione dei prodotti di imballaggio, per esempio l'adozione di recipienti riciclabili per i detersivi, per i prodotti per la casa, per la distribuzione dei prodotti alimentari, ecc. Il risultato è che noi produciamo ancora 550 kg di rifiuti all'anno e che la produzione di rifiuti, invece di diminuire come sarebbe logico, sta



*L'ingegnere di volo Tracy Caldwell, nel modulo Cupola della Stazione Spaziale Internazionale, osserva la Terra durante la missione Expedition 24, del 2010. È uno sguardo senza speranza? Ci sarà ancora qualcuno, laggiù, nel 2110?*

crescendo del 3% l'anno. Mentre nel contempo, ovviamente, sta diminuendo a livello globale la capacità dell'ambiente di assorbire i rifiuti. Tutti questi problemi sono ancora nulla se pensiamo a quello che è il problema dei problemi, e cioè che, ovviamente, i paesi in via di sviluppo ambiscono ad arrivare ad avere lo stesso livello di benessere che abbiamo noi. Attualmente un abitante del Giappone, degli Stati Uniti, dell'Europa Occidentale consuma una quantità di risorse e produce una quantità di rifiuti 30 volte superiore a quella di un africano. Se già il mondo è in crisi adesso, pensiamo a cosa sarà fra pochi anni, quando l'impatto umano sull'ambiente triplicherà o decuplicherà. Perché succederà, non c'è dubbio: tutti vorranno una vita all'occidentale mentre, dall'altra parte, gli abitanti del "nord" del mondo non accetteranno di rinunciare al loro livello di benessere. Eppure, questa situazione, come ognuno capisce facilmente, non sarà sostenibile. Eppure, i nostri governanti, ma anche noi stessi, in primo luogo, continuiamo a compiere delle scelte irresponsabili, a perseguire delle logiche iperconsumistiche, in piena logica dello spreco. Continuiamo a comprare cose di cui non abbiamo assolutamente bisogno, buttiamo via cose perfettamente funzionanti perché un nuovo prodotto ha una tecnologia che ci sembra più accattivante, realizziamo luci notturne, rotonde e megatunnel stradali, arredi urbani assolutamente inutili, e poi magari ci accorgiamo che già adesso non abbiamo le

risorse necessarie per far funzionare adeguatamente gli ospedali e le scuole. Per non parlare dei governanti, che continuano a fare scelte sbagliate,<sup>20</sup> essenzialmente perché vivono in ambienti privilegiati e sembra non si rendano conto delle difficoltà in cui si dibatte il popolo. Naturalmente, la loro illusione è che questi problemi non li dovranno mai affrontare, dall'alto del loro piedistallo e della loro situazione favorevole. Non si accorgono però che è una strategia miope: toccherà anche a loro, l'unico privilegio che avranno sarà morire per ultimi, ma moriranno anche loro.

Tornando agli esempi precedenti, il lettore potrebbe obiettare che i tracolli di cui abbiamo parlato colpiscono sistemi piccoli e isolati e lo stesso destino non potrà mai capitare all'intero pianeta. Ma è evidente, al contrario, che la globalizzazione ha reso le società odierne così interconnesse che il rischio di un tracollo globale è molto alto. Sotto questo profilo, quindi, l'intero pianeta è diventato piccolo, ed è da ritenere un sistema isolato. Nessun aiuto potrà giungerci da fuori, quando avremo finito di depredare la Terra.

Non sappiamo certo quando il crollo avverrà, ma se continuiamo così avverrà di certo, e fra non molto tempo. Anche a chi, mille volte miope, ritiene che non vi siano segni dell'imminente disfatta, e continua a ritenere che va tutto bene (ma non va tutto bene!), giova forse ricordare che tra l'apparente apogeo di una civiltà e il suo rapido declino può passare pochissimo tempo. Io ho da un po' di tempo l'impressione, per esempio, che questa crisi economica e finanziaria che dura già da cinque anni (una durata inconsueta per una crisi) e non se ne vuole andare, sia già l'inizio della fine.

Noi non riusciamo a capire l'enorme stupidità di chi, a Pasqua, abbatté l'ultimo albero o di chi, a Herjolfsnes, nell'Insediamento Occidentale, asportò l'ultima zolla di torba. Come poterono non rendersi conto di quello che facevano? E noi? Ci stiamo forse rendendo conto della nostra stupidità nel compiere non uno, ma centinaia di piccoli grandi passi nella direzione di un suicidio di massa?

Fred Hoyle, nel suo romanzo, immagina che un'intelligenza aliena, trovando nel 1986 la Terra sull'orlo del collasso, faccia staccare un frammento della cometa di Halley che si sta avvicinando e la faccia impattare sul nostro pianeta (anche se in modo *soft*, tale da minimizzare i danni), per lanciare un monito e scoraggiare i governanti dal continuare con le politiche autolesionistiche. E nella trama, a quanto pare, il monito ha successo. Ma, come si dice, è solo un libro. La realtà è ben diversa. I nostri governanti sono troppo stupidi. Forse anche noi, nel complesso, siamo troppo stupidi. Non ci salveremo. Anche se quando ripasserà la Halley nel 2062, qualcuno pensasse di sacrificarne un altro pezzo per noi, potrebbe già essere troppo tardi...

---

20. Nel nostro Paese, dove vige evidentemente una cleptocrazia, con livelli di corruzione, ignavia e menefreghismo irridente, non solo, ma naturalmente non è questa la sede per affrontare questo argomento, che ci porterebbe troppo lontano dagli scopi del libro.

## Bibliografia

Questo è un elenco delle principali opere cartacee consultate:

- Bruno Accordi e Elvidio Lupia Palmieri. *Il globo terrestre e la sua evoluzione*, Zanichelli, Bologna, 1987.
- Daniel R. Altschuler. *L'universo e l'origine della vita*, Mondadori, Milano, 2005.
- Walter Alvarez e Frank Asaro. "Che cosa causò l'estinzione in massa? Un impatto extraterrestre", *Le Scienze*, 268, 38-46, 1990.
- Anthony Aveni. *Gli imperi del tempo: calendari, orologi e culture*, Dedalo, Bari, 1993.
- Daniel N. Baker e James L. Green. "The perfect solar superstorm", *Sky & Telescope*, **121**, 2, 28-34, 2011.
- Katherine Barnes. "Europe's ticking time bomb", *Nature*, **473**, 140-141, 2011.
- Hans A. Bethe e Gerald Brown. "Come esplodono le supernovae", *Le Scienze*, 203, 70-80, 1985.
- M.F. Bietenholz "Radio images of 3C 58: expansion and motion of its wisps", *The astrophysical journal*, **645**, 1180-1187, 2006.
- Alfonso Bosellini. *Le scienze della Terra*, Bovolenta, Bologna, 1989.
- Andrea Carusi. "Oggetti vicini alla Terra: scoperta e difesa", *Le Scienze*, 317, 42-50, 1995.
- Stefano Caserini. *Guida alle leggende sul clima che cambia*, Ambiente, Milano, 2009.
- Vittorio Castellani. *Introduzione all'astrofisica nucleare*, Newton Compton, Roma, 1981.
- Vittorio Castellani. *Astrofisica stellare*, Zanichelli, Bologna, 1986.
- Clark Chapman e David Morrison. *Catastrofi cosmiche*, Geo, Milano, 1991.
- Clark R. Chapman e David Morrison. "Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard", *Nature*, **367**, 33-40, 1994.
- Roger A. Chevalier. "Supernova 1987 A at five years of age", *Nature*, **355**, 691-696, 1992.
- Christopher F. Chyba, Paul J. Thomas e Kevin J. Zahnle. "The 1908 Tunguska explosion: atmospheric disruption of a stony asteroid", *Nature*, **361**, 40-44, 1993.
- David H. Clark e Richard F. Stephenson. *The historical supernovae*, Pergamon Press, Oxford, 1977.
- Arthur C. Clarke. *Incontro con Rama*, Mondadori, Milano, 1973.
- Vincent E. Courtillot. "Che cosa causò l'estinzione in massa? Un'eruzione vulcanica", *Le Scienze*, 268, 47-54, 1990.
- Charles Darwin. *L'origine delle specie*, Boringhieri, Torino, 1967.
- Paul Davies. *Uno strano silenzio: siamo soli nell'universo?*, Codice, Torino, 2012.
- Dan Durda. "How to deflect a hazardous asteroid", *Sky & Telescope*, **120**, 6, 22-28, 2010.
- John Ellis e David N. Schramm. "Could a Nearby Supernova Explosion have Caused a Mass Extinction?", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **92**, 1, 235-238, 1995.
- Mario Fracastoro. "Spiacenti, lo spettacolo è rinviato", *L'Astronomia*, 5, 46-47, 1980.
- Peter Francis e Stephen Self. "L'eruzione del Krakatoa", *Le Scienze*, 185, 80-91, 1984.
- Mark A. Garlick. "The Supernova Menace", *Sky & Telescope*, **113**, 3, 26-31, 2007.
- Neil Gehrels, Claude M. Laird, Charles H. Jackman, John K. Cannizzo, Barbara J. Mattson e Wan Chen. "Ozone depletion from nearby supernovae", *The astrophysical journal*, **585**, 2, 1169-1176, 2003.
- S. Geier, S. Nessler, U. Heber, N. Przybilla, R. Napiwotzki e R.-P. Kudritzki. "The hot subdwarf B + white dwarf binary KPD 1930+2752 - a supernova type Ia progenitor candidate", *Astronomy & Astrophysics*, **464**, 299-307, 2007.
- Richard Gillespie. "Dating the first Australians", *Radiocarbon*, **44**, 2, 455-472, 2002.
- Roberto Gorelli. "Il gemello brasiliano della Tunguska", *Astronomia*, 4, 2, 1992.
- David A. Green e F. Richard Stephenson. "The historical supernovae", in *Supernovae and Gamma Ray Bursters* (ed. K. W. Weiler), Springer-Verlag, New York, 2003.
- Cesare Guaita. "Shoemaker-Levy, una cometa in frantumi", *L'Astronomia*, 134, 30-37, 1993.
- Alan Harris. "What Spaceguard did", *Nature*, **453**, 1178-1179, 2008.
- Roger Hékinian. "Vulcani sottomarini", *Le Scienze*, 193, 34-43, 1984.
- Paul F. Hoffman e Daniel P. Schrag. "Una Terra a palla di neve", *Le Scienze*, 382, 82-89, 2000.
- Fred Hoyle. *La voce della cometa*, Longanesi, Milano, 1986.
- Gwin Jones. *I Vichinghi*, Newton Compton, Roma, 1990.

- Lawrence E. Joseph. *Gaia*, Geo, Milano, 1991.
- James B. Kaler. "La morte di una stella in diretta", *Le Scienze*, 287, 94-96, 1992.
- James B. Kaler. *Stelle*, Zanichelli, Bologna, 1995.
- Oliver Krause, Masaomi Tanaka, Tomonori Usuda, Takashi Hattori, Miwa Goto, Stephan Birkmann e Ken'ichi Nomoto. "Tycho Brahe's 1572 supernova as a standard type Ia as revealed by its light-echo spectrum", *Nature*, 456, 617-619, 2008.
- E.C. Krupp. "The 2012 great scare", *Sky & Telescope*, 118, 5, 22-26, 2009.
- Jane X. Luu e David C. Hewitt. "La fascia di Kuiper", *Le Scienze*, 57, 337, 40-46, 1996.
- Paolo Maffei. *I mostri del cielo*, Mondadori, Milano, 1976.
- Paolo Maffei. *L'universo nel tempo*, Mondadori, Milano, 1982.
- Giulio Magli. *Misteri e scoperte dell'archeoastronomia*, Newton Compton, Roma, 2006.
- Stephen P. Maran (a cura di). *The astronomy and astrophysics encyclopedia*, Van Nostrand Reinhold e Cambridge University Press, New York e Cambridge, 1992.
- Robert Naeye. "Real potential disasters", *Sky & Telescope*, 118, 5, 28-32, 2009.
- R.L. Newburn, M. Neugebauer e J. Rahe (a cura di). *Comets in the Post-Halley era*, 2 voll., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.
- René D. Oudmaijer, M.A.T. Groenewegen, H.E. Matthews, J.A.D.L. Blommaert e K.C. Sahu. "The spectral energy distribution and mass-loss history of IRC + 10420", *Monthly notices of Royal Astronomical Society*, 280, 1062-1070, 1996.
- Aurelio Peccei. *Cento pagine per l'avvenire*, Mondadori, Milano, 1981.
- Leonida Rosino. *Le stelle variabili*, Curcio, Roma, 1988.
- Archie E. Roy. "La celeste eredità di Atlantide", *L'Astronomia*, 24, 6-14, 1983.
- Roberto Scandone. "Le eruzioni vulcaniche esplosive", *Le Scienze*, 222, 70-78, 1987.
- Zdenek Sekanina. "The problem of split comets in review", in *Comets* (a cura di L. Wilkening), University of Arizona Press, Tucson, 1982.
- Nathan Smith. "Discovery of a nearby twin of SN 1987A's nebula around the luminous blue variable HD 168625: was SK-69 202 an LBV?", *Astronomy & astrophysics*, 133, 1034-1040, 2007.
- Sydney van den Bergh. "The optical remnant of the Lupus supernova of 1006", *The astrophysical journal*, 208, L17, 1976.
- Gabriele Vanin. *Manuale di astronomia*, Agorà, Feltre, 2004.
- Gabriele Vanin. "Le grandi comete", *L'Astronomia*, 142, 26-34, 1994.
- Gabriele Vanin. *I Grandi Fenomeni Celesti*, Mondadori, Milano, 1997.
- Steven Ward e Simon Day. "Cumbre Vieja Volcano - Potential collapse and tsunamis at La Palma, Canary Islands", *Geophysical research letters*, 28, 3397-3400, 2001.
- Stephen Webb. *Se l'universo brulica di alieni... dove sono tutti quanti?*, Sironi, Milano, 2004.
- S. J. Weidenschilling. "Origin of cometary nuclei as «rubble piles»", *Nature*, 368, 721-723, 1994.
- Craig J. Wheeler e Robert P. Harkness. "Supernovae ricche di elio", *Le Scienze*, 233, 22-30, 1988.
- Stan Woosley e Tom Weaver. "La grande supernova 1987 A", *Le Scienze*, 254, 20-29, 1989.
- Kevin Yau, Donald Yeomans e Paul Weissman. "The past and future motion of Comet P/Swift-Tuttle", *Monthly notices of Royal Astronomical Society*, 266, 305-316, 1994.
- Donald Yeomans. *Comets: a chronological history of observation, science, myth, and folklore*, New York, Wiley, 1991.

Naturalmente, la scrittura di un libro nella fase storica attuale non può fare a meno di prescindere dalla consultazione del web, ma relativamente pochi sono i siti che contengono informazioni veramente utili. Fra questi è da raccomandare in primo luogo *Wikipedia* in lingua inglese. Gli ultimi studi comparativi la ritengono addirittura superiore all'*Enciclopedia Britannica* per attendibilità. *Wikipedia* ha però molti altri pregi che nessuna enciclopedia cartacea può avere, ovvero il continuo aggiornamento e il trattamento di voci formate non da una singola parola, ma da più di una o addirittura da frasi, la cui ricerca in cartaceo è o impossibile o molto complicata e/o dispendiosa in termini di tempo. Inoltre *Wikipedia* inglese possiede di norma un apparato bibliografico imponente e di ottima qualità, spesso con link diretti ai vari rimandi. Purtroppo non sempre si può dire la stessa cosa della controparte italiana, le cui voci spesso sono solo la traduzione o il riassunto di quella inglese (senza però l'apparato bibliografico); quando le voci sono autonome appaiono spesso di livello non omogeneo, contenenti molti errori o sviste, addirittura spesso sciatte dal punto di vista formale (errori di sintassi e grammatica).

Fra le voci consultate, segnalo le seguenti: Asteroid, Asteroid impact avoidance, Earthrise, Gamma-ray burst, List of human evolution fossils, List of impact craters on Earth, List of supernova candidates, Maya calendar, Near Earth Supernova, 2012 phenomenon, Volcanic Explosivity Index, Volcano, World population.

Un altro sito imprescindibile è il SAO/NASA Astrophysics Data System, un database che contiene indicazioni su oltre otto milioni di articoli specialistici riguardanti l'astronomia e l'astrofisica: per quasi tutti gli articoli è disponibile un riassunto, per gli articoli più vecchi di un anno o due c'è la possibilità di scaricarli integralmente gratuitamente e per i più recenti di versare, sempre online, una modica sottoscrizione per averli comunque sul proprio computer: <http://www.adsabs.harvard.edu/>

Voglio segnalare inoltre la pagina della NASA relativa agli asteroidi geosecanti:

<http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>

Il sito della Sezione Sole dell'Unione Astrofili Italiani con le statistiche complete dell'attività solare degli ultimi anni:

<http://sole.uai.it/>

Il sito che monitora costantemente l'attività solare e le interazioni fra Terra e Sole:

<http://www.spaceweather.com/>

Il sito delle Nazioni Unite sulle statistiche della popolazione mondiale:

<http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>

Il sito dell'Imperial College di Londra dove è possibile calcolare, inserendo i parametri opportuni, gli effetti dell'impatto di un asteroide o di una cometa sulla Terra:

<http://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEffects/>

Il sito dello Smithsonian National Museum of Natural History *Global Volcanism Program*, con informazioni sui vulcani di tutto il mondo:

<http://www.volcano.si.edu/index.cfm>

Un filmato interessante e molto inquietante sul pericolo rappresentato dal vulcano Cumbre Vieja:

<http://www.youtube.com/watch?v=QN83XPrXAqw>

Mi rendo conto che il contenuto dell'ultimo capitolo possa non apparire convincente a molti. D'altra parte, sono stato costretto, per motivi di spazio, a contrarre molto alcune argomentazioni. Per chi vuole un quadro più esauriente non posso che invitarlo a leggere le opere di Jared Diamond, su cui mi sono principalmente documentato. Spero possano aprire gli occhi anche a voi:

*Il terzo scimpanzé: ascesa e caduta del primate Homo sapiens*, Bollati Boringhieri, Torino, 1994.

*Armi, acciaio e malattie: breve storia del mondo negli ultimi tredicimila anni*, nuova edizione accresciuta, Einaudi, Torino, 2006.

*Collasso: come le società scelgono di morire o vivere*, Einaudi, Torino, 2005.

Purtroppo, io non condivido il cauto ottimismo di Diamond sulle sorti dell'umanità. Anche perché l'allarme su questi temi è stato lanciato già da molti anni, e autorevolmente, da molte altre parti. Ricordo solo il rapporto commissionato dal Club di Roma al Massachusetts Institute of Technology, *I limiti dello sviluppo*, pubblicato già nel 1972 (e tutti quelli, altrettanto autorevoli, che ne sono seguiti); *L'avvertimento degli scienziati del mondo all'umanità*, firmato da 1700 scienziati fra cui la maggioranza dei Premi Nobel in campo scientifico, pubblicato nel 1992; l'appello *Our best point the way* firmato nel 2001 da 104 Premi Nobel. Tutto ciò è rimasto più o meno inascoltato, e i timidi tentativi di marcia indietro non basteranno certo ad arginare la catastrofe. E del resto molti eminenti scienziati sono altrettanto pessimisti, come per esempio Frank Fenner, autorevolissimo biologo australiano, sul cui testamento spirituale il lettore può trovare una quantità di siti sul web, oppure l'astronomo reale inglese, l'insigne Martin Rees, che nel libro *Il secolo finale: perché l'umanità rischia di autodistruggersi nei prossimi cento anni* (Mondadori, Milano, 2004), stima che l'umanità abbia solo il 50% di probabilità di salvarsi.

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>CAPITOLO I. NON È COLPA DEI MAYA</b>	<b>4</b>
Il vizio del Giorno del Giudizio, 4. Aiuto, i pianeti si allineano!, 5. Il calendario maya, 6. Delirio totale, 10. Stiamo sereni, 12.	
<b>CAPITOLO II. L'IMPATTO DI UN ASTEROIDE</b>	<b>14</b>
Da sempre una bella storia per il cinema e la fiction, 14. La scoperta degli asteroidi, 14. Cosa sono gli asteroidi?, 17. Oggetti pericolosi, 17. Impatti su Giove, 20. <i>Spaceguard</i> , un'assicurazione sulla vita, 21. La scala di Torino, 23. Le conseguenze di un impatto, 24. Evitare l' <i>Armageddon</i> , 28.	
<b>CAPITOLO III. L'IMPATTO DI UNA COMETA</b>	<b>32</b>
Dal paradiso all'inferno, 32. Da dove vengono, 32. Comete killer, 34. Lavatrici contro comete, 35. <i>Project Icarus</i> e altre storie atomiche, 37.	
<b>CAPITOLO IV. SUPERERUZIONI VULCANICHE</b>	<b>39</b>
I vari tipi di vulcano, 39. La scala delle eruzioni vulcaniche, 43. Le più grandi eruzioni della storia, 43. La fine del mondo da un vulcano?, 48. La minaccia più vicina?, 52.	
<b>CAPITOLO V. SUPERNOVA!</b>	<b>54</b>
Anche le stelle non ce la fanno più, 54. Le supernovae storiche, 56. Quale pericolo per la Terra?, 59. I candidati pericolosi, 62. La prossima supernova galattica, 63.	
<b>CAPITOLO VI. LA FINE AVVERRÀ IN UN LAMPO?</b>	<b>65</b>
I lampi gamma, 65. Progressi dai satelliti, 66. Luci dall'universo lontano, 68. Le cause dei <i>GRB</i> , 69. Bagliori dalla Galassia?, 71.	
<b>CAPITOLO VII. CAMPI MAGNETICI E TEMPESTE SOLARI</b>	<b>73</b>
Il campo geomagnetico, 73. Il ciclo solare, 74. <i>Aurorae</i> , 76. La tempesta perfetta, 77. Un duro colpo alla nostra presunzione tecnologica?, 80.	
<b>CAPITOLO VIII. ROTTA VERSO LA FINE?</b>	<b>83</b>
Uno, cento, mille 2012, 83. È lo spazio che ha fatto sorgere la coscienza ecologista?, 83. La Terra finirà, 85. La minaccia nucleare e della corsa agli armamenti, 87. Gli errori del passato, 88. Ciò che ci ha ormai perduto, 94.	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>103</b>