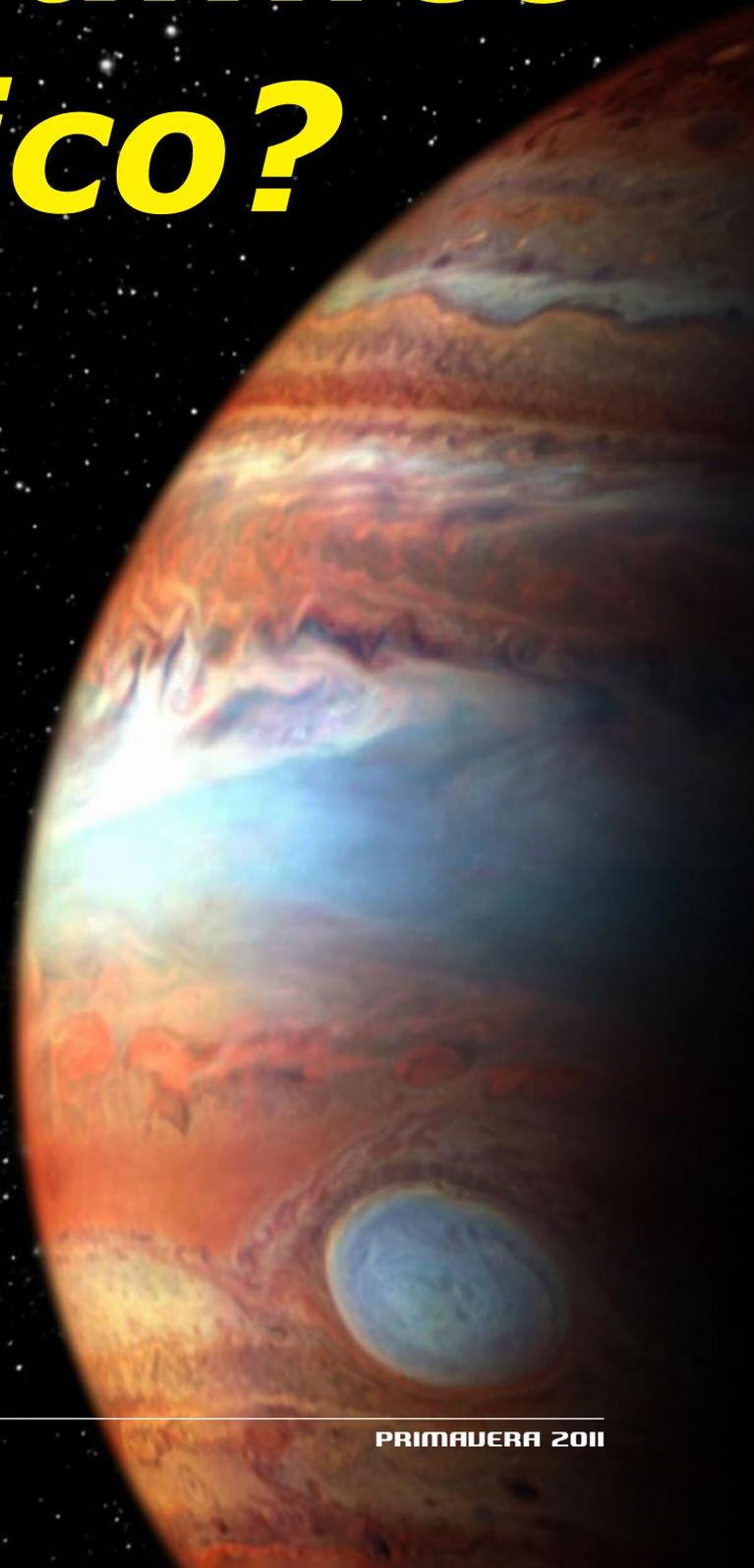


Giove: amico o nemico?

124



Per lungo tempo Giove è stato ritenuto avere un'influenza protettiva verso la Terra, schermandola da asteroidi e comete che avrebbero potuto altrimenti minacciare l'esistenza della vita sul nostro pianeta. In anni recenti, due scienziati britannici hanno esaminato più da vicino il ruolo che Giove riveste nel determinare il tasso col quale i corpi minori collidono con la Terra, scoprendo che la situazione è molto più complicata di quanto precedentemente creduto. Ma allora, Giove, è un amico o un nemico? Per saperlo, continua a leggere...

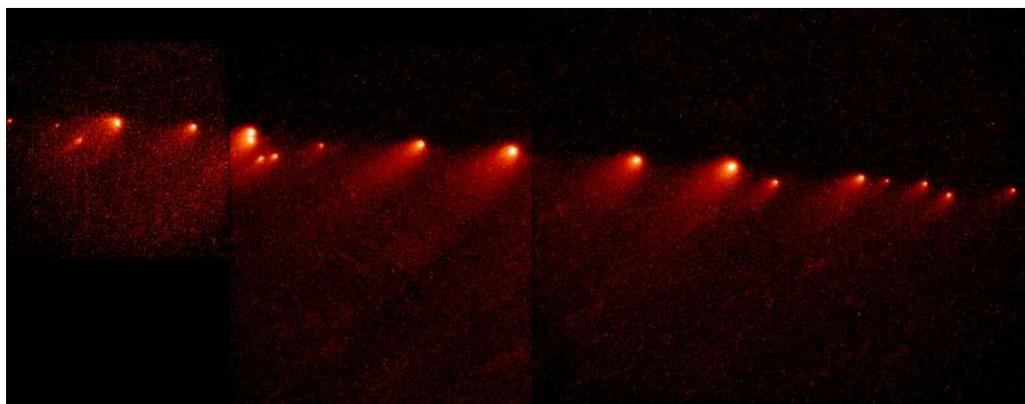
Si è a lungo creduto che il pianeta Giove avesse un ruolo protettivo nel nostro sistema solare, agendo come un "tutore della legge celeste" nel rimuovere oggetti potenzialmente pericolosi, prima che questi avessero l'opportunità di impattare sulla Terra. L'idea in sé è straordinariamente

uno studio volto a colmare quella lacuna nella ricerca, con l'obiettivo di rispondere una volta per tutte alla domanda: "Giove è un amico o un nemico?".

Nel nostro sistema solare vi è una gran varietà di oggetti. Gli otto pianeti si muovono attorno al Sole su percorsi approssimati-

125

Nella primavera del 1993 fu scoperta una cometa molto curiosa. Non era un oggetto singolo, bensì un gruppo di frammenti cometari disposti in fila. Ricostruendo la loro orbita nel passato si è scoperto che provenivano probabilmente da un unico corpo che si frantumò nel 1992, passando molto vicino a Giove [NASA/HST, H. Weaver, T. Smith]



pervasiva e può essere trovata ovunque, dal materiale didattico per bambini agli articoli accademici che considerano anche i vari fattori che possono determinare se un pianeta di tipo terrestre attorno a una stella distante può ospitare la vita. È piuttosto sorprendente, dunque, realizzare che fino a tempi recenti quasi nessun ricercatore si era fatto carico di esaminare se la teoria si adattava alla realtà.

Verso la fine del 2006, gli autori, il Dr. Jonti Horner e il Prof. Barrie Jones, intrapresero

vamente circolari e hanno quasi ripulito i loro dintorni dai detriti una volta presenti. Fra le orbite di Marte e Giove risiede una vasta popolazione di oggetti, noti nel loro insieme come Fascia degli asteroidi.

A dispetto del fatto che gli asteroidi all'interno della Fascia si siano gradualmente frantumati fin dalla nascita del sistema solare, attraverso reciproche collisioni che hanno sparpagliato frammenti rotanti nello spazio, esiste ancora una significativa quantità di materiale in movimento, e in-

fatti si stima che contenga, probabilmente, oltre un milione di oggetti con diametro maggiore di 1 km.

Gli asteroidi della Fascia percorrono orbite che tipicamente sono stabili per periodi di tempo comparabili con l'età del sistema solare, ma che sono anche disturbate gra-

Nettuno, è presente un altro disco di detriti, residuo della formazione del nostro sistema solare.

La fascia di Edgeworth-Kuiper (così è chiamato quel disco) è simile alla fascia degli asteroidi per molti motivi: comprende un ampissimo numero di oggetti (ma si ritiene

Questo mosaico di immagini dell'HST mostra l'evoluzione di uno dei siti di impatto su Giove della cometa SL9.

[R. Evans, J. Trauger, H. Hammel and the HST Comet Science Team and NASA/ESA]

vitazionalmente, soprattutto da Giove, il che favorisce nuove collisioni.

I frammenti degli asteroidi distrutti possono essere lanciati su nuove orbite, meno stabili, a partire dalle quali possono farsi largo verso il sistema solare interno, dove divengono asteroidi di tipo near-Earth.

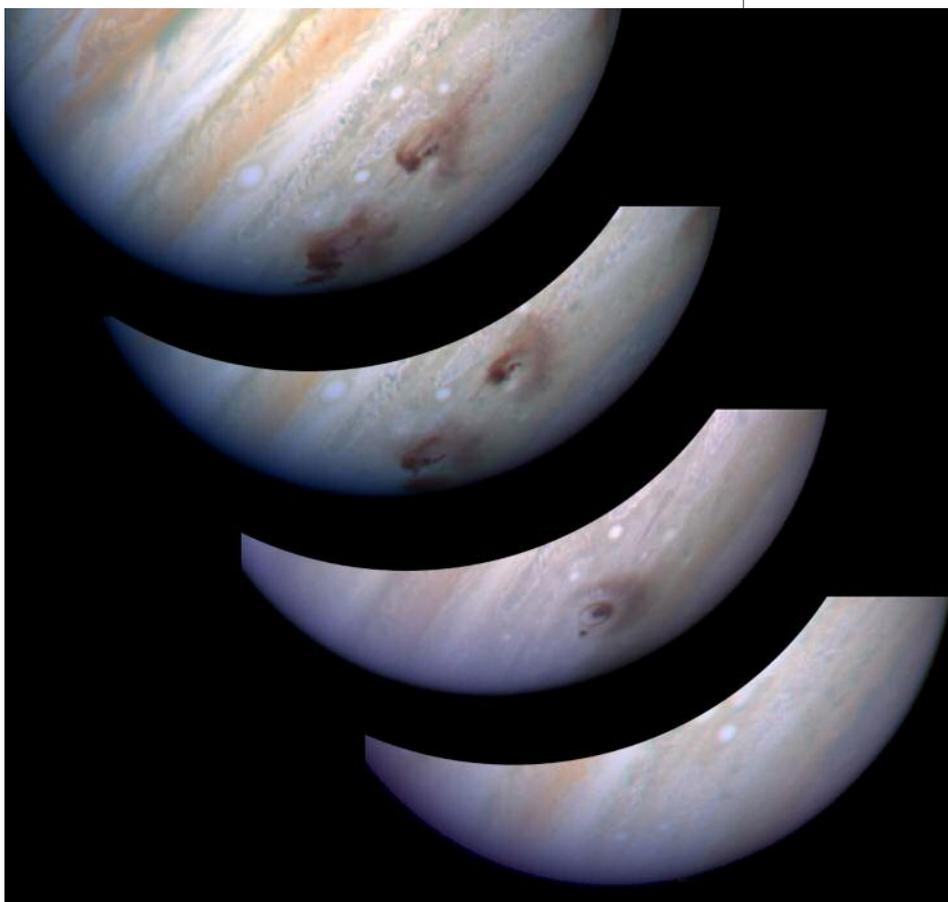
Una volta che un asteroide si è posizionato su un'orbita compresa nel sistema solare interno, da quella sarà rapidamente rimosso, o per collisione con il Sole o con uno dei pianeti, o per un incontro ravvicinato con uno di questi ultimi e conseguente espulsione (effetto

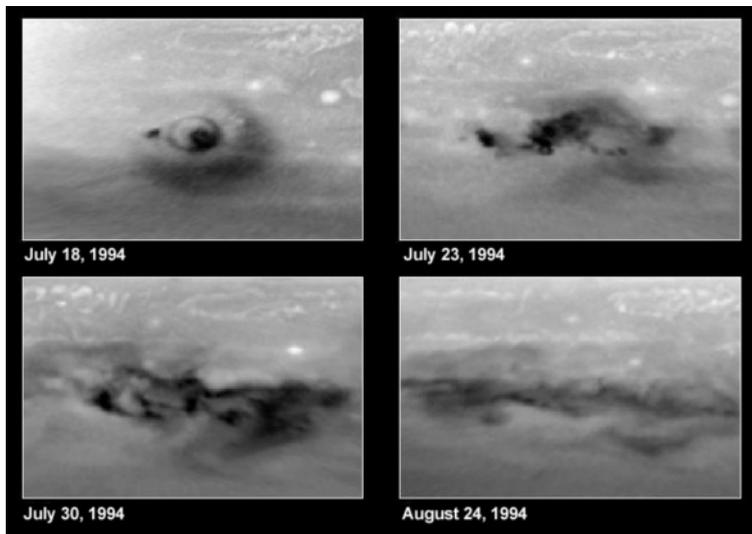
"fionda") dal sistema solare, senza possibilità di ritorno. Abbiamo pertanto una riserva stabile di oggetti, la Fascia degli asteroidi, e una popolazione figlia instabile di oggetti potenzialmente pericolosi, gli asteroidi near-Earth.

Ci sono attualmente oltre un migliaio di "Potentially Hazardous Asteroids" conosciuti, ed è probabile che all'incirca lo stesso numero rimanga ancora da scoprire. È indiscutibile che tali oggetti rappresentino un rischio importante per la Terra. Lontano dal Sole, appena oltre l'orbita di

che possa contenere molto più materiale della Fascia degli asteroidi), tutti in movimento su orbite molto stabili, tanto che se fosse possibile tornare indietro di un miliardo di anni, la vedremmo essenzialmente identica ad oggi.

La fascia di Edgeworth-Kuiper ha una popolazione compagna, il "disco diffuso", che si muove essenzialmente nella stessa regione di spazio, ma su orbite piuttosto instabili. La maggior parte degli oggetti contenuti nel disco diffuso vi rimarrà probabilmente ancora per un miliardo di





Evoluzione dei siti di impatto D e G su Giove. [NASA, HST Team]

vono su orbite altamente eccentriche, molte delle quali le portano a incrociare l'orbita della Terra. Avvicinandosi quindi al Sole, il materiale ghiacciato contenuto nella loro massa evapora, portando con sé grandi quantità di polveri e trasformando la "piccola palla di neve sporca" in uno dei più grandi oggetti del sistema solare. La chioma gassosa di una cometa può essere grande come il Sole, e la coda di gas e polveri, sotto l'azione del vento solare, può allungarsi verso l'esterno fino a raggiungere la distanza che c'è fra il Sole e Marte! Le comete della famiglia di Giove si muovono su orbite che richiedono tipicamente appena 5 o 6 anni per essere completate, il che significa che frequentano il sistema solare interno per lungo tempo. La Terra è essenzialmente un bersaglio in movimento in un poligono di tiro pieno di questi oggetti. Un bersaglio molto piccolo, ma dando abbastanza tempo è certo che sarà colpito.

Lontano, molto più lontano dal Sole della fascia di Edgeworth-Kuiper e del disco diffuso, c'è una terza vastissima riserva di piccoli oggetti, conosciuta come Nube di Oort. Se la Fascia degli asteroidi e le varie popolazioni presenti poco oltre l'orbita di Nettuno sono ritenute annoverare milioni o decine di milioni di oggetti con diametro maggiore di 1 km, si pensa che la Nube di Oort possa contenere un milione di milioni di oggetti oltre quella minima dimensione, se non di più.

anni, ma occasionalmente, forse come risultato della collisione fra due oggetti o per le lontane perturbazioni dei pianeti giganti, un numero imprecisabile di essi uscirà dal disco e si inserirà in orbite che li porteranno più vicini al Sole di quanto lo sia Nettuno.

Da riserva stabile ecco dunque che questi oggetti si uniscono a quella popolazione asteroidale nota col nome di Centauri, i cui membri si muovono in modo caotico, principalmente nella regione fra Nettuno e Giove, e appaiono disperdersi in avanti e indietro come le palline del flipper. Alla fine, su periodi di milioni di anni, i Centauri sono rimossi praticamente nello stesso modo visto per gli asteroidi near-Earth. Circa un terzo di essi sarà scagliato nel sistema solare interno da Giove, diventando comete a corto periodo. Queste si muo-

Un esempio di frammentazione di un nucleo cometario è quello della 73P/Schwassmann-Wachmann 3, iniziato nel 1995.

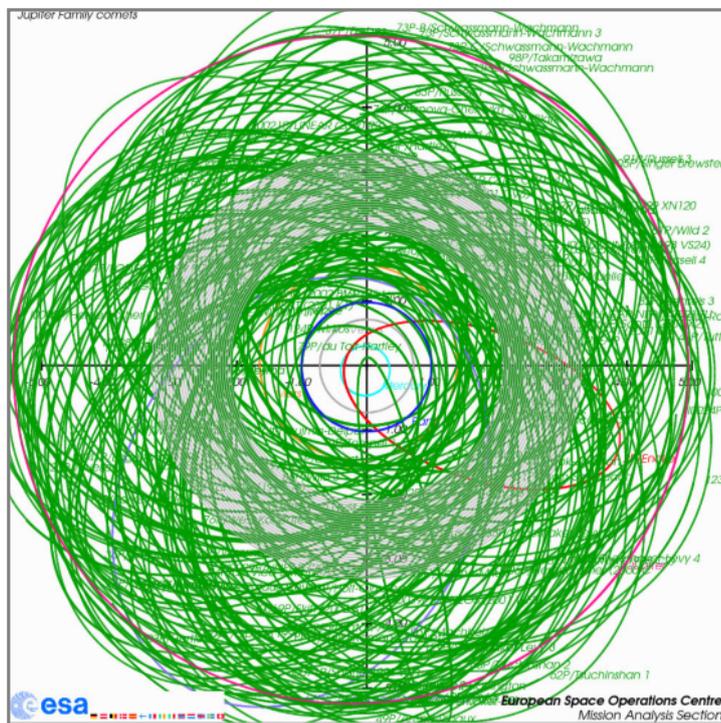


In altre parole, si pensa possa contenere almeno 100000000000 di palle di neve sporca, tutte più grandi di 1 km. Nonostante questa immensa popolazione, la densità del materiale nella Nube è notevolmente bassa, infatti un suo tipico oggetto non è meno distante dal suo vicino più prossimo della distanza che c'è fra il Sole e Urano (circa 19 volte la distanza Terra-Sole).

La Nube di Oort è ritenuta estendersi verso l'esterno fino a circa metà strada con la

biamo tre distinte riserve stabili che, al loro interno contengono un enorme numero di comete e asteroidi avanzati dalla formazione del sistema solare stesso (in realtà, ci sono altre due riserve, ed entrambe possono contribuire alla popolazione dei Centauri, i troiani di Giove e Nettuno, ma meriterebbero una trattazione a parte).

Ci sono di conseguenza anche tre distinte popolazioni di oggetti potenzialmente pericolosi. Gli asteroidi near-Earth, i figli della popolazione della Fascia principale, sono



Rappresentazione delle orbite della numerosissima famiglia di comete legate a Giove. In fucsia l'orbita del pianeta; in rosso quella della cometa di Encke; in blu quella della Terra. [ESOC/ESA]

attualmente considerati contribuire per i 3/4 al flusso di impatti sulla Terra, con il restante quarto costituito dalle comete della famiglia di Giove e della Nube di Oort. Ognuna di queste popolazioni è perturbata in modi fortemente diversi dall'influenza gravitazionale dei pianeti, ma per tutte Giove gioca un ruolo chiave nel

stella più vicina; è così vasta che la luce impiegherebbe 4 anni per viaggiare da un capo all'altro.

Gli oggetti appartenenti alla Nube rimangono tipicamente lontani dal sistema solare interno, ma "pizzicotti" gravitazionali dati da stelle di passaggio e la leggera spinta gravitazionale esercitata della nostra galassia nella sua interezza generano un flusso continuo di questi oggetti verso il regno dei pianeti, dove divengono visibili come comete di lungo periodo, o "comete della Nube di Oort".

Pertanto, nel nostro sistema solare, ab-

determinare il destino dei loro membri.

Al fine di esaminare la reale influenza di Giove sul tasso di impatti contro la Terra è quindi necessario considerare il suo effetto su ognuna delle tre popolazioni di oggetti pericolosi discussi più sopra. L'idea che Giove agisca come un amico della Terra, schermandoci dagli impatti, risale probabilmente agli anni Sessanta, quando si iniziò ad accettare che i crateri sulla Terra e sulla Luna fossero il risultato di impatti di oggetti provenienti dallo spazio. A quel tempo erano conosciute pochissime comete della famiglia di Giove e pochissimi



Le due luminose comete del 2007. Sopra: la cometa a corto periodo 17P/Holmes, ripresa all'inizio di dicembre. Sotto: la cometa a lungo periodo C/2006 P1 McNaught, fotografata il 28 gennaio. [Bob Nanz (San Diego Astronomy Association) - Miloslav Druckmuller (Brno University of Technology)]

asteroidi near-Earth, e pertanto si credeva che le comete della Nube di Oort rappresentassero il contributo principale al flusso di impatti sulla Terra.

Un consistente numero di comete della Nube è stato osservato abbastanza bene da poterne calcolare le orbite con un certo grado di accuratezza, e una caratteristica comune sembra essere che una significativa frazione viene lanciata fuori dal sistema solare dopo esservi passata attraverso, e questo principalmente come risultato di lontane perturbazioni gravitazionali dovute a Giove. Sembrerebbe dunque logico supporre che senza un Giove in circolazione, in grado di allontanare definitivamente questi oggetti, essi potrebbero tornare più volte, divenendo una minaccia ancor più grande per la Terra. Giove, quindi, sarebbe un amico.

Dai decenni in cui questa idea divenne prevalente, la nostra conoscenza del sistema solare è estremamente cambiata. Non appena telescopi e sensori sono divenuti più

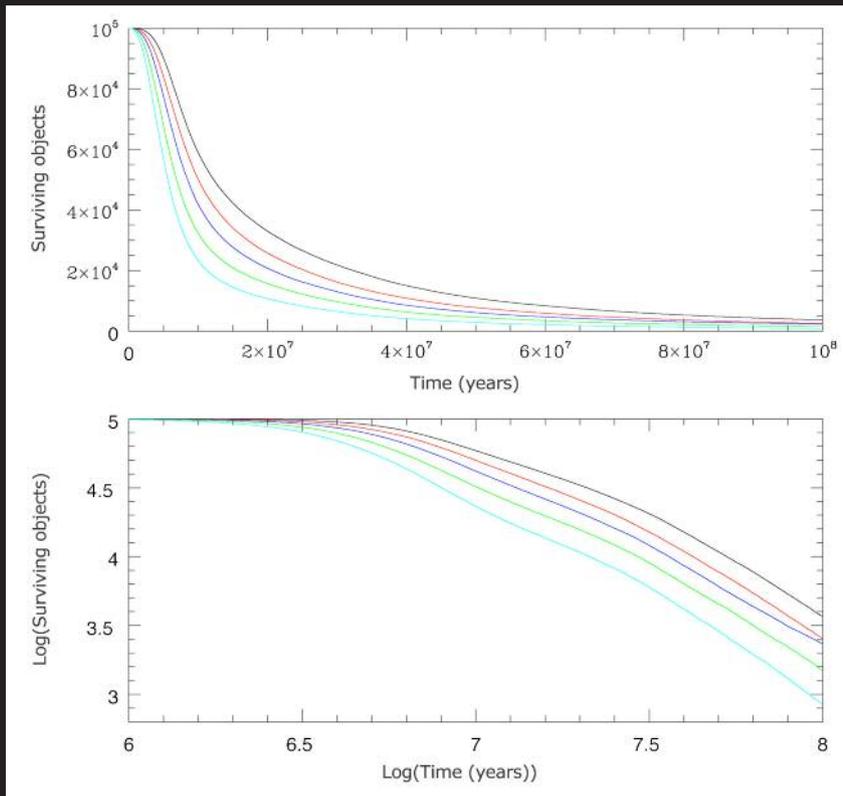
potenti, un gran numero di asteroidi near-Earth e di comete della famiglia di Giove sono stati presto scoperti. Oggi si ritiene che le comete della Nube siano in realtà la meno minacciosa delle tre popolazioni di oggetti potenzialmente pericolosi, contribuendo minimamente agli impatti.

Nonostante l'idea basasse unicamente sul modo in cui Giove si sbarazza delle comete della Nube, il concetto di "Giove, l'amico" ha continuato a essere ampiamente predicato.

Nel tentativo di rimediare a ciò, gli autori hanno eseguito una serie di simulazioni al computer altamente dettagliate, modellizzando l'evoluzione di vaste popolazioni di potenziali impattatori, sotto l'influenza gravitazionale dei pianeti, per periodi di decine di milioni di anni. Poiché le tre popolazioni di oggetti potenzialmente pericolosi si comportano in modi nettamente diversi, hanno considerato una popolazione alla volta e hanno semplicemente contato la frequenza con cui gli oggetti impattano virtualmente la Terra.

Per determinare il ruolo di Giove, gli autori hanno ripetuto le simulazioni più volte e ogni volta usando un "Giove" con una massa diversa (da un piccolo pianeta con 1/100 della reale massa gioviana, fino a un gigante grande il doppio di Giove). Gli autori hanno persino considerato scenari in cui nessun pianeta era presente.

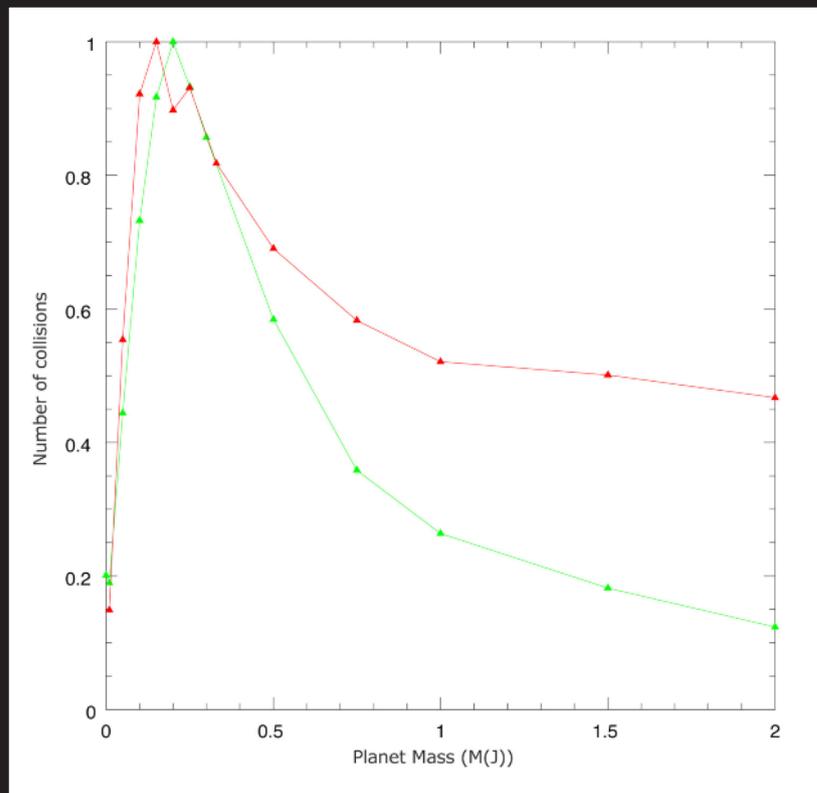
Ora, se Giove è veramente amico della Terra, più massiccio è (e quindi maggiore è l'effetto che può avere), meno impatti



I grafici qui sopra mostrano il numero di comete a lungo periodo che sopravvivono in funzione del tempo, su una popolazione iniziale di 100 000 oggetti, disposti su orbite che li portano più vicini al Sole dell'orbita di Saturno. A causa degli enormi periodi orbitali di queste comete e della bassa probabilità di ciascuna di impattare la Terra, abbiamo utilizzato il numero rimanente nel sistema come approssimazione della minaccia di impatto contro la Terra (se una cometa è rimossa, non torna a minacciare il nostro pianeta). Quindi, se abbiamo lo stesso flusso in entrata di nuove comete dalla Nube di Oort, ma un numero minore di esse sono espulse, significa che abbiamo un maggior numero di ritorni pericolosi per la Terra e quindi una maggiore minaccia di impatto. Il grafico più in alto mostra il calo del numero delle comete in funzione del tempo (la linea nera è lo scenario con Giove alla minima massa, mentre la linea ciano è lo scenario con la massa più ele-

vata). Come si può vedere, al crescere della massa le comete di lungo periodo sono espulse dal sistema solare con crescente efficienza, portando a una riduzione di quelle che ritornano e quindi a una riduzione della minaccia di impatto contro la Terra.

Nel riquadro qui sotto sono mostrate le curve del tasso di impatto contro la Terra relative a oggetti appartenenti alla Fascia degli asteroidi e ai Centauri, sempre in funzione del tempo. Questo è un po' più semplice da capire, poiché mostra solo il numero di impatti contro la nostra Terra "gonfiata" durante le integrazioni. Per entrambe le popolazioni il picco del flusso degli impatti è quando "Giove" ha all'incirca la stessa massa del vero Saturno, con il tasso che precipita non appena il Giove virtuale diviene più o meno massiccio di quel valore.



Questa catena di crateri sulla luna gioviana Ganimede fornisce la dimostrazione che le comete possono essere frammentate di frequente dalla gravità dei pianeti prima di collidere con essi o con le loro lune. [NASA/JPL]

dovrebbe subire la Terra. D'altra parte, se Giove fosse invece un nemico, la frequenza degli impatti sulla Terra dovrebbe aumentare via via che il pianeta diventa più massiccio.

Tenendo presente questo, gli autori hanno contato il numero di impatti sulla loro Terra virtuale, per popolazioni di oggetti riproducenti gli asteroidi near-Earth e le comete della famiglia di Giove.

Nonostante le simulazioni permettessero di seguire l'evoluzione di centinaia di migliaia di simili oggetti per dieci milioni di anni, la Terra è in realtà un bersaglio così piccolo che, anche nel peggiore degli sce-

Gli asteroidi near-Earth

Quando gli autori hanno osservato il modo in cui varia il tasso di impatti degli asteroidi near-Earth sulla Terra in funzione della massa di Giove, hanno trovato qualcosa di sorprendente. Invece di calare al crescere della massa di Giove, il tasso degli impatti era cresciuto, quindi ciò che accadeva era più complicato del previsto. A masse gioviane basse, il tasso degli impatti sulla Terra era molto basso (Giove era semplicemente troppo piccolo per scagliare oggetti sul nostro cammino). Ad alte masse gioviane, il tasso degli impatti era ancora



nari, ci si poteva aspettare pochissimi impatti. Per aggirare questo problema, e al fine di ottenere una statistica significativa, la Terra virtuale degli autori era molto più grande del nostro pianeta (così da allargare il centro del bersaglio al quale gli oggetti pericolosi dovevano mirare). Comparando i risultati a differenti masse del Giove virtuale, non c'era verso che il tasso degli impatti crescesse dello stesso fattore.

Ma allora, Giove, è realmente un amico o è un nemico? Vediamo i risultati ottenuti per ogni popolazione di oggetti minacciosi.

relativamente basso, ma a masse intermedie (attorno a 1/5 della massa del vero Giove), il tasso degli impatti era di gran lunga più alto che non alla massa estrema. La frequenza degli impatti cresce rapidamente al crescere della massa gioviana, fin quando viene raggiunto il picco al valore suindicato, dopodiché si abbassa non appena la massa cresce ulteriormente. Ricordando che gli asteroidi near-Earth, nel nostro sistema solare, sono ritenuti contribuire per circa il 75% alla minaccia da impatto contro la Terra, è chiaro da questi risultati che l'idea di un Giove amico

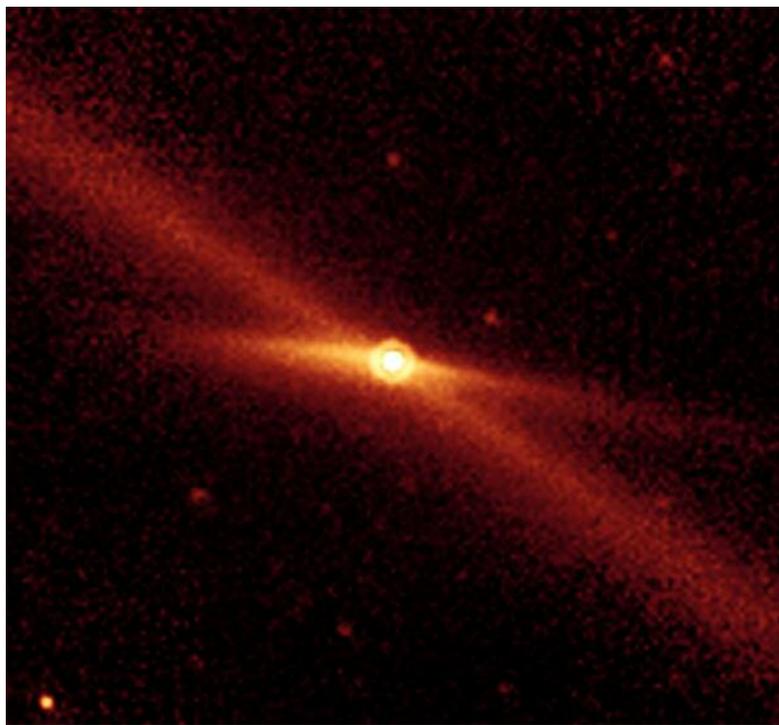
è, a dir poco, un'eccessiva semplificazione della situazione reale. Perché il tasso degli impatti si comporta in quel modo?

Allora, risulta che uno dei modi più efficienti attraverso il quale gli oggetti sono dirottati dalla Fascia degli asteroidi verso il sistema solare interno è attraverso gli effetti di un qualcosa chiamato "risonanza secolare u6". Quando Giove è di massa molto piccola, gli effetti di questa risonanza sono molto deboli e il pianeta è quindi incapace di inserire molto materiale nel sistema solare interno. Al crescere della massa gioviana, la posizione di questa risonanza secolare si muove gradualmente verso l'interno, attraverso la Fascia degli asteroidi. L'ampiezza della risonanza au-

di risonanza crescono, ma a quel punto la posizione della risonanza si sposta sul bordo più interno della Fascia asteroidale, lontana dalla maggior parte del materiale che vi risiede. In aggiunta, la risonanza si restringe. Entrambi questi effetti implicano che l'efficienza con cui la risonanza può sospingere materiale verso di noi cala nuovamente, portando direttamente alla riduzione del tasso degli impatti.

Le comete della famiglia di Giove

Anche in questo caso il lavoro degli autori produce risultati inattesi. Come avvenuto per gli asteroidi near-Earth, trovano che il tasso degli impatti relativo a questi



La cometa Encke (celebre membro della famiglia di Giove) ripresa dallo Spitzer Space Telescope. [NASA/JPL-Caltech/M. Kelley (Univ. of Minnesota)]

oggetti era molto basso quando Giove era di piccola massa. Ad elevate masse gioviane il tasso era ancora relativamente basso, ma era significativamente maggiore rispetto alle masse più piccole. Tuttavia, quando Giove era circa 1/5 della massa reale, c'era ancora un ampio picco nel tasso degli impatti contro la Terra.

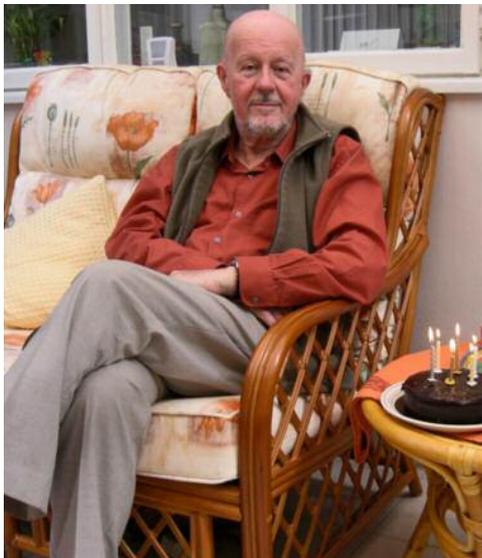
Ancora una volta, il

menta e la sua forza cresce, tanto che, quando la massa del Giove virtuale è approssimativamente 1/5 di quella del vero Giove, la risonanza produce un'ampia lacuna nella distribuzione degli asteroidi, capace di sospingere grandi quantità di materiale nel sistema solare interno.

Non appena la massa del pianeta cresce ulteriormente, anche la forza degli effetti

pianeta non era proprio un amico, e nemmeno un nemico, ma piuttosto poteva assumere entrambi i ruoli a seconda del valore della sua massa.

Il ragionamento in questo caso è un po' più preciso che per gli asteroidi near-Earth. Quando Giove è di massa molto modesta, è semplicemente troppo leggero per perturbare facilmente oggetti provenienti dal



Uno degli autori, il Professor Barrie Jones.

sistema solare esterno (i Centauri) e inserirli su orbite Earth-crossing. Al crescere della massa, il pianeta diviene più abile in questo ruolo e il numero di comete della faglia di Giove potenzialmente pericolose aumenta. Infine, se la massa continua a crescere, Giove diventa abbastanza grosso da spedire oggetti del nostro sistema solare su orbite senza ritorno.

Da quel punto in avanti, se la massa cresce ancora, il pianeta diventa sempre più efficiente nel rimuovere oggetti dal sistema solare interno, e così, sebbene esso inserisca comete nuove a un tasso screscente, quelle comete passano un periodo di tempo così breve dalle parti del Sole prima di essere espulse, che la possibilità di ognuna di esse di impattare la Terra svanisce, e quindi si riduce anche il flusso totale degli impatti.

Le comete della Nube di Oort

Qui la situazione è assai semplice. Come è noto dalle osservazioni delle comete della Nube e da precedenti studi sulla loro evoluzione orbitale, Giove è particolarmente efficiente nel rimuovere definitivamente questi oggetti dal sistema solare. Al crescere della massa del pianeta cresce anche l'efficienza con cui le comete della Nube sono espulse, e quindi poche di esse ridiventano una minaccia potenziale per la Terra. Fino a questo punto quindi, per quanto riguarda le comete della Nube, sembra che Giove sia veramente nostro amico. Tuttavia, poiché esse costituiscono solo una frazione relativamente piccola della minaccia di impatti contro la Terra, ciò cambia di poco le conclusioni generali.

Giove: amico o nemico?

Il risultato finale del lavoro degli autori è che il ruolo giocato da Giove nella determinazione della frequenza con cui la Terra subisce collisioni da parte di piccoli oggetti è molto più complicato di quanto precedentemente ritenuto. Prendendo i risultati dei loro tre studi nel loro insieme, emerge che il nostro Giove causa probabilmente alla Terra pochi più impatti di quanti ce ne sarebbero se Giove stesso non esistesse. Tuttavia, se il pianeta fosse più massiccio il tasso degli impatti sarebbe inferiore a quello osservato.

Ciò che possiamo dire per concludere è che se Giove avesse una massa simile a quella di Saturno, la Terra subirebbe molti più impatti e la storia del nostro pianeta, e dell'evoluzione della vita su di esso avrebbero preso un corso molto diverso e molto più caotico.

Jonti Horner è Research Fellow alla University of New South Wales, e si è da poco trasferito in Australia dal Regno Unito. È impegnato nella ricerca di pianeti attorno ad altre stelle coordinata dal Prof. Chris Tinney all'UNSW, ma continua a produrre simulazioni dettagliate sulla formazione ed evoluzione del nostro sistema solare, così come ricerche sull'abitabilità dei pianeti. È membro del comitato dell'Astrobiology Society e dell'Astrobiology Society of Great Britain. Il suo sito web personale è <http://jontihorner.com>.

Barrie Jones è Professore Emerito di Astronomia presso la Open University. Poco dopo la scoperta del primo esopianeta annunciata nel 1995, ha iniziato una ricerca volta a stabilire se la "Goldilocks zone" di ogni sistema extrasolare può offrire orbite stabili per quei pianeti di tipo terrestre ancora da scoprire. Questo lavoro era stato condotto con due PhD students. Più recentemente, Jones ha lavorato con il Dr. Horner sulla possibilità che Giove ci schermi da eccessivi impatti di asteroidi e comete. Oltre a contribuire ai corsi di Fisica e Astronomia della Open University, ha, prima e dopo il "pensionamento", scritto i suoi libri di Astronomia, l'ultimo dei quali è "Pluto: Sentinel of the Outer Solar System", pubblicato da Cambridge University Press nell'agosto 2010. Il suo sito web personale è <http://barriewjones.com>.