

RISCHIO IMPATTI



Prof. Angelo Angeletti
30 ottobre 2012

Che cosa è il rischio asteroidi

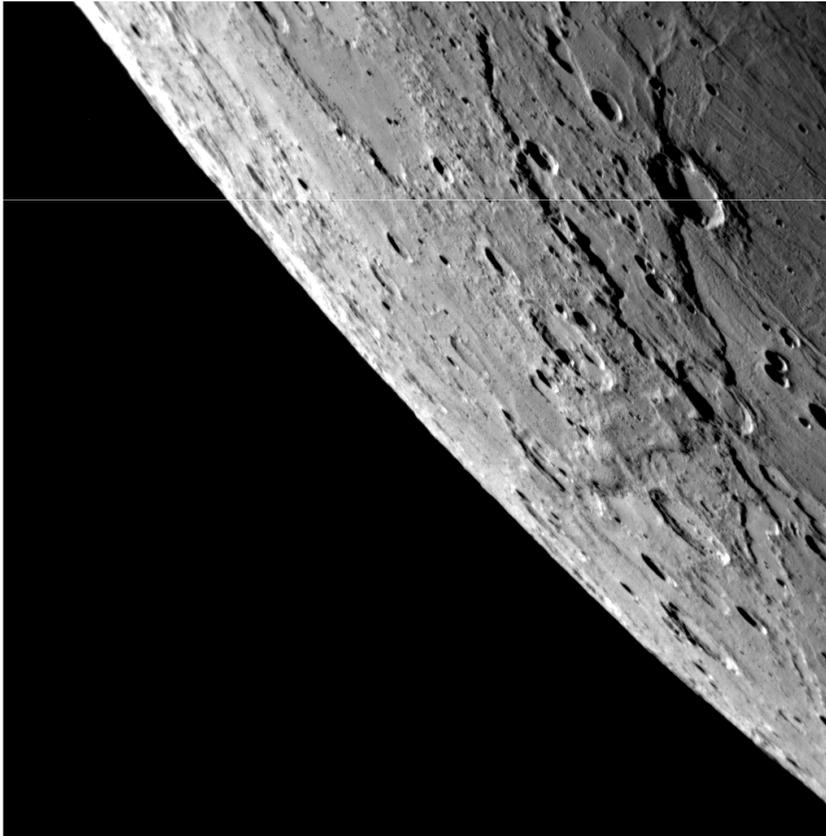
Ormai è in fatto noto, nel Sistema Solare gli impatti tra i corpi minori e i pianeti e le lune sono eventi ordinari ed hanno contribuito all'evoluzione del Sistema Solare stesso.



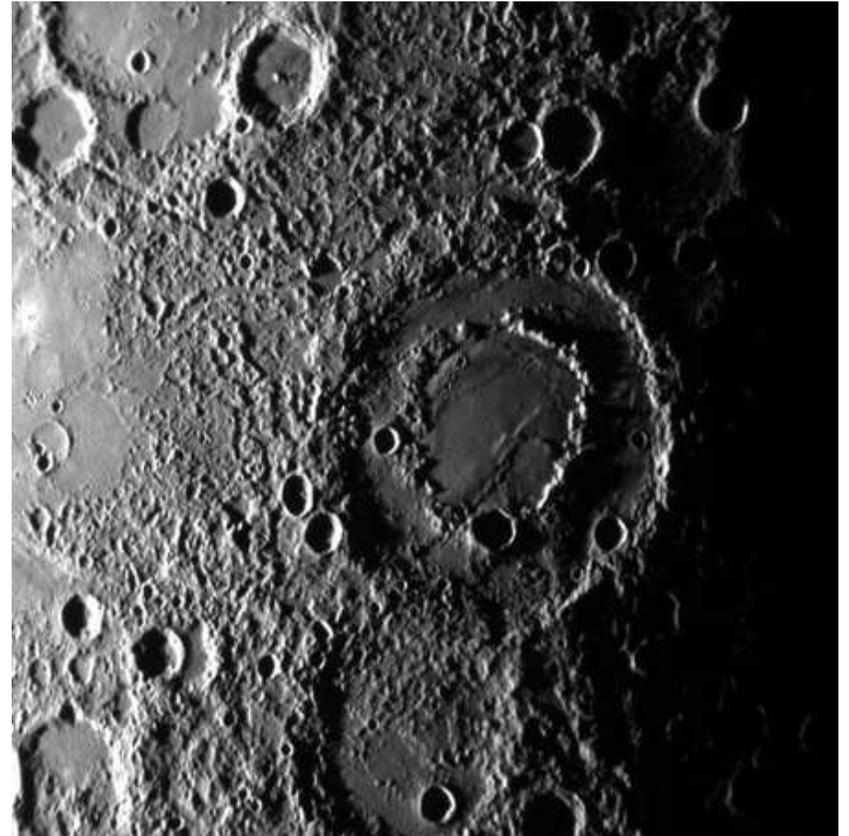
La Terra:
il Meteor
Crater
dell'Arizona

Che cosa è il rischio asteroidi

Ormai è in fatto noto, nel Sistema Solare gli impatti tra i corpi minori e i pianeti e le lune sono eventi ordinari ed hanno contribuito all'evoluzione del Sistema Solare stesso.

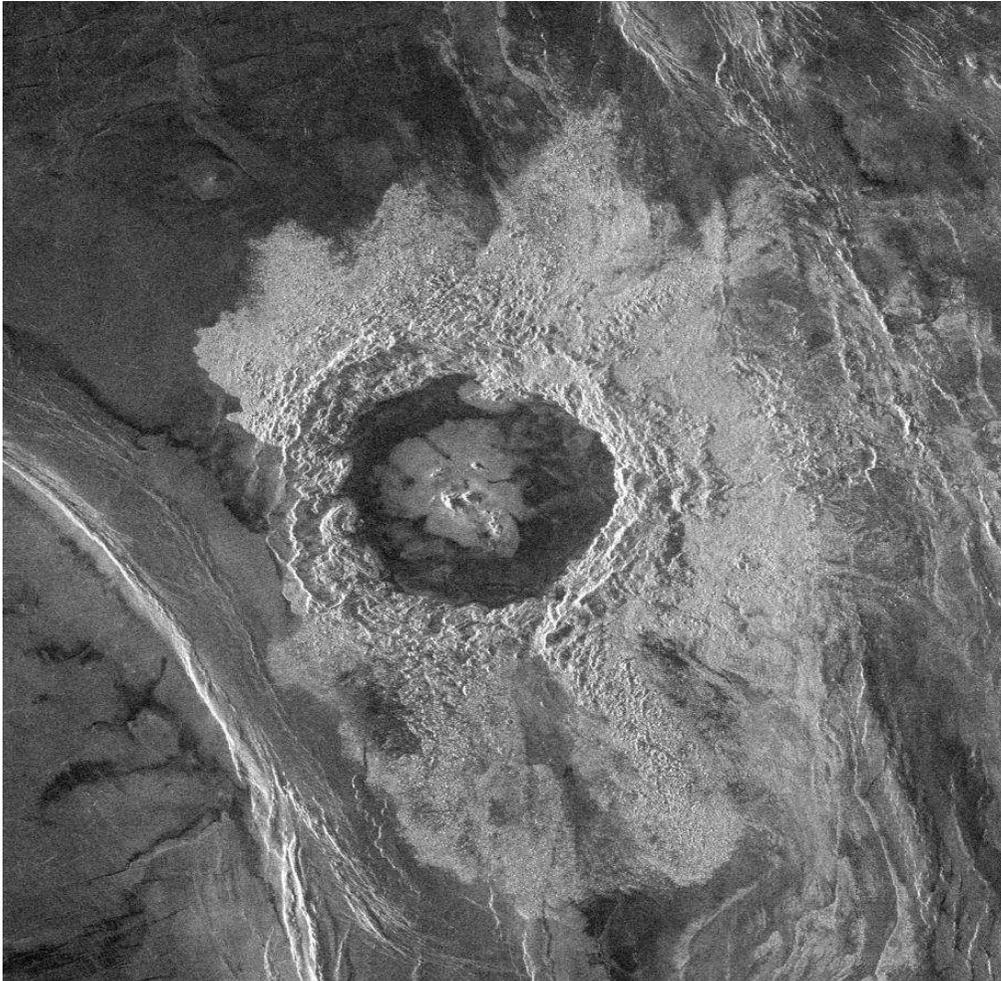


Mercurio



Che cosa è il rischio asteroidi

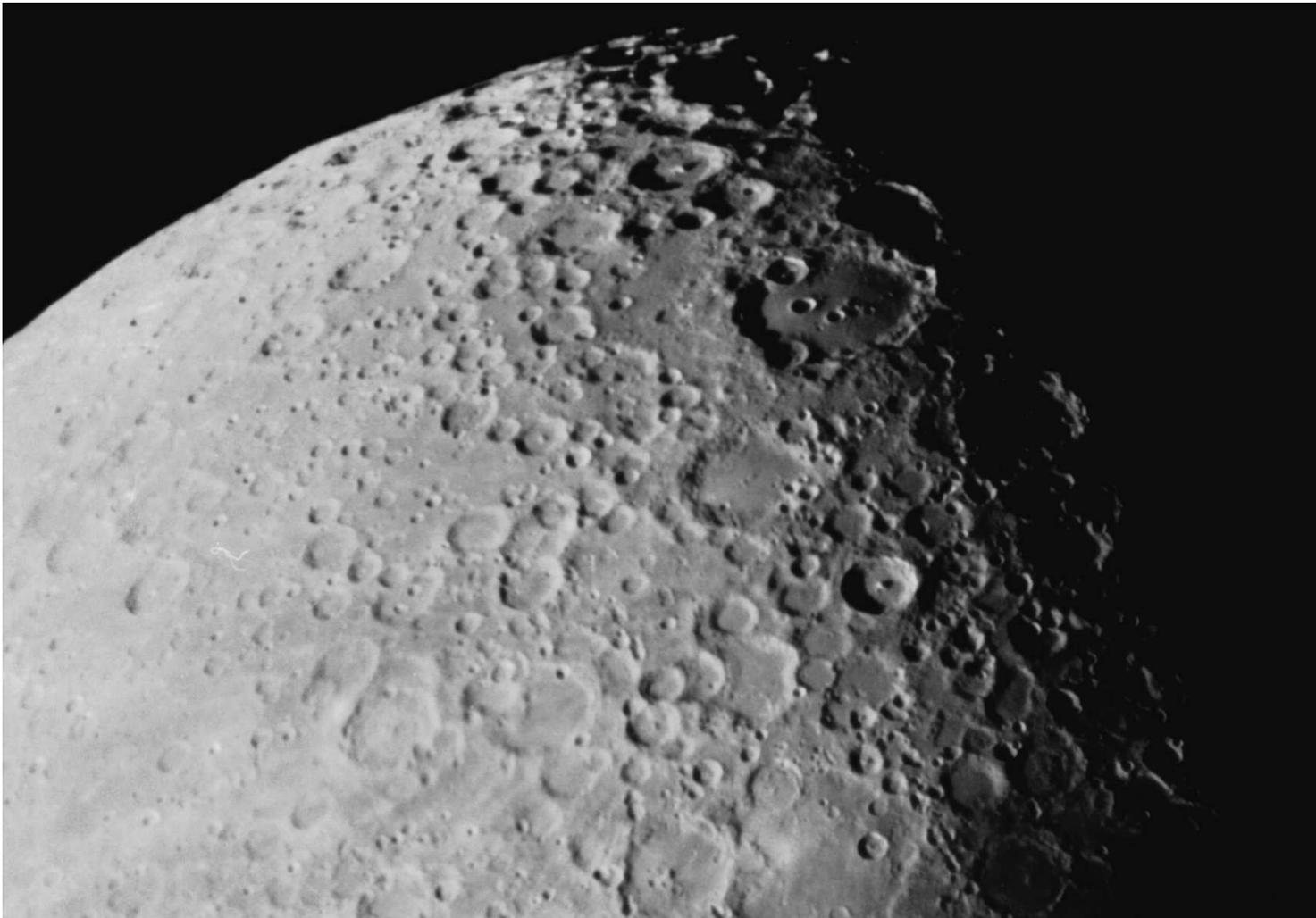
Ormai è in fatto noto, nel Sistema Solare gli impatti tra i corpi minori e i pianeti e le lune sono eventi ordinari ed hanno contribuito all'evoluzione del Sistema Solare stesso.



Venere

Che cosa è il rischio asteroidi

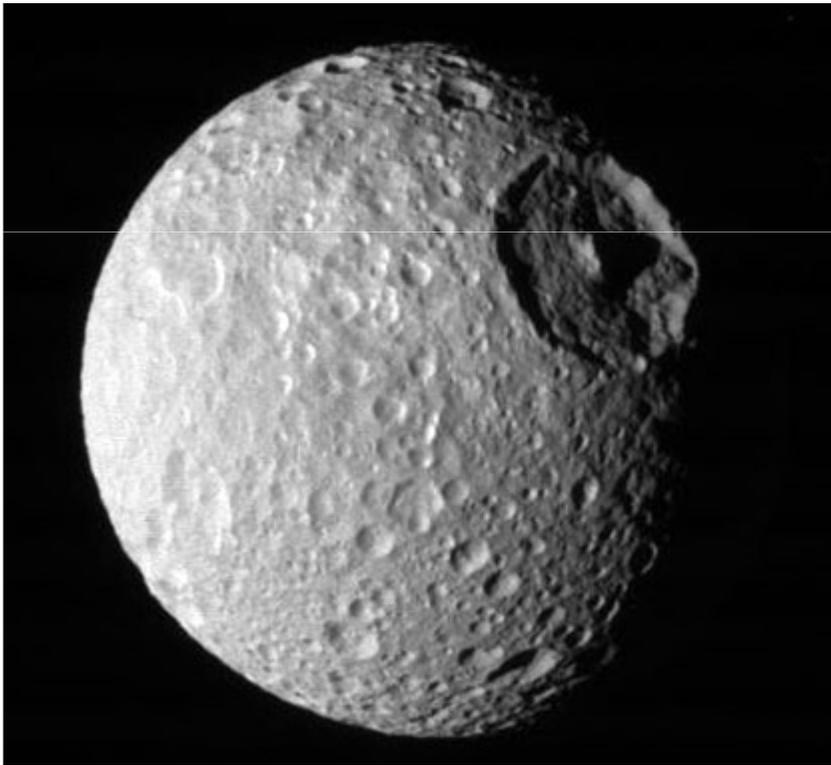
Ormai è in fatto noto, nel Sistema Solare gli impatti tra i corpi minori e i pianeti e le lune sono eventi ordinari ed hanno contribuito all'evoluzione del Sistema Solare stesso.



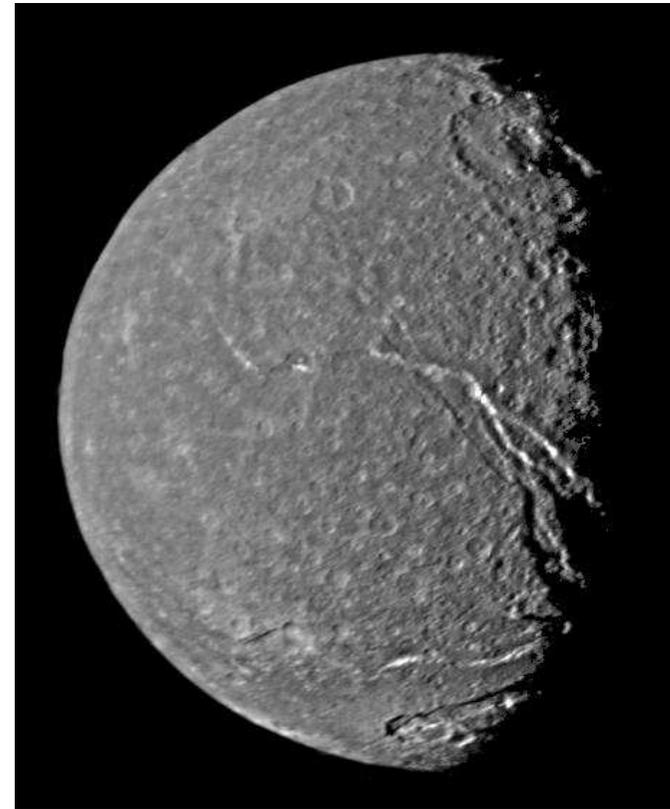
La Luna

Che cosa è il rischio asteroidi

Ormai è in fatto noto, nel Sistema Solare gli impatti tra i corpi minori e i pianeti e le lune sono eventi ordinari ed hanno contribuito all'evoluzione del Sistema Solare stesso.



La luna di Saturno Mimas, 400 km



La luna di Urano, Titania 1600 km

Che cosa è il rischio asteroidi

Ormai è in fatto noto, nel Sistema Solare gli impatti tra i corpi minori e i pianeti e le lune sono eventi ordinari ed hanno contribuito all'evoluzione del Sistema Solare stesso.



Eros



Gaspra

Perché “rischio asteroidi”

Quando gli impatti avvengono con altri corpi del Sistema Solare non ci sono ripercussioni sull'uomo (ancora viviamo solo sulla Terra), ma quando questi impatti avvengono con la Terra allora le cose cambiano e diventa un problema, anche molto serio, se l'oggetto impattatore è sufficientemente grande.

Gli studi attuali hanno evidenziato che ci sono stati molti impatti nel passato e ce ne saranno nel futuro.

La questione non è **SE** ci saranno impatti tra un oggetto celeste e la Terra, ma **QUANDO** ci sarà il prossimo che possa mettere a rischio la vita dell'uomo.

Oggi sappiamo che ci sono decine di migliaia di oggetti celesti grandi e piccoli che hanno orbite prossime a quella della Terra; vengono chiamati **NEO**

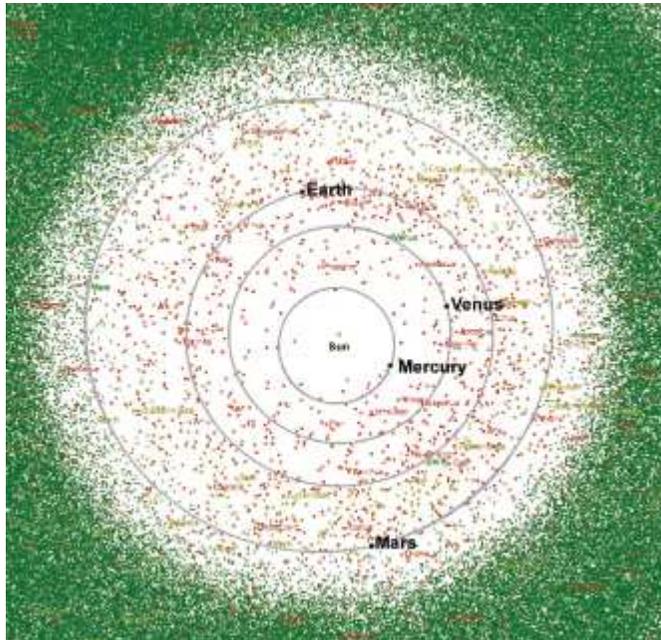
Che cosa sono i NEO (NEAR EARTH OBJECT)

I NEO sono oggetti del Sistema Solare la cui orbita può intersecare quella della Terra.

Tutti i NEO hanno la distanza del [perielio](#) inferiore a 1,3 UA.

I NEO comprendono i seguenti tipi di oggetti:

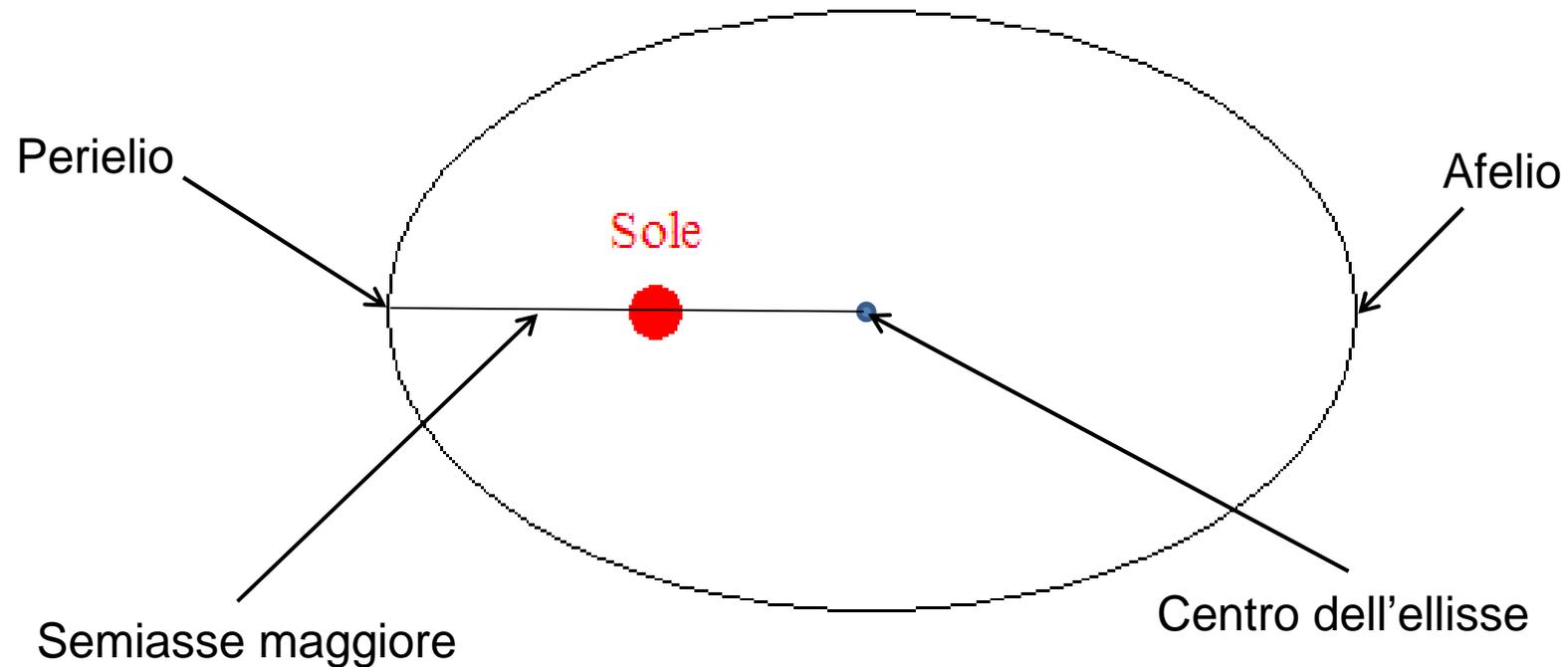
- ❖ alcune migliaia di **asteroidi** (NEA = NEAR EARTH ASTEROID)



I dati provenienti da indagini spaziali condotte nel 2006 mostrano i NEA di varie dimensioni che incrociano (rosso) o sono al di fuori (verde) dell'orbita della Terra orbita. (NASA/JPL)

Prima legge di Keplero

L'orbita di un oggetto intorno al Sole è in genere un'ellisse con il Sole in uno dei due fuochi



FAMIGLIE DI NEA (NEAR EARTH ASTEROID)

I NEA vengono in genere classificati in 4 sottoclassi:

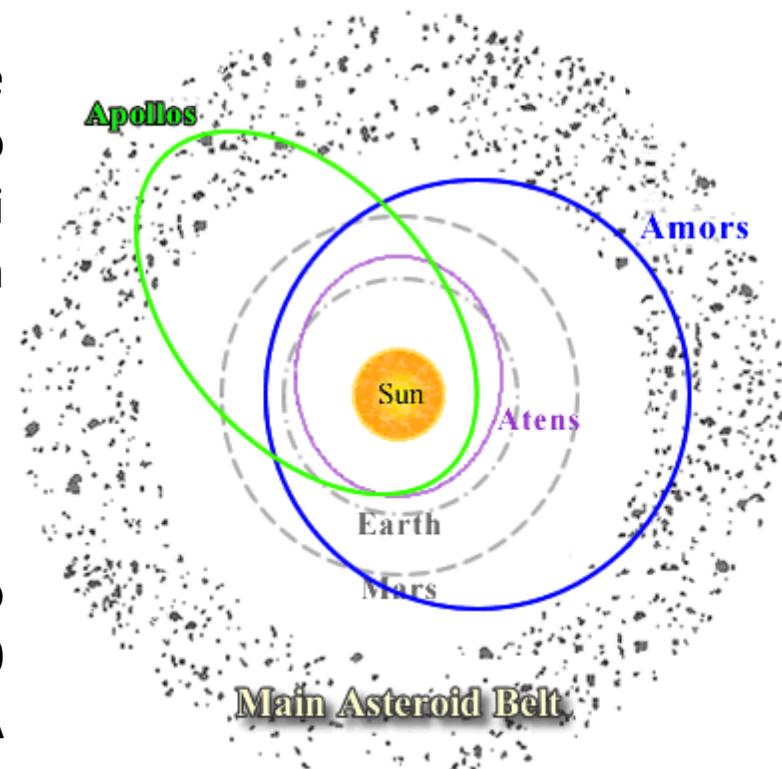
☉ **Aten** con semiasse maggiore inferiore a 1 UA, afelio a maggior distanza del perielio della Terra (0,983 UA). Si muovono tipicamente all'interno dell'orbita terrestre. Se ne conoscono 735 perché prospettivamente, dalla Terra, non si allontanano ma troppo dal Sole.

☉ **Apollo** con semiasse maggiore di quello terrestre e perielio inferiore all'afelio terrestre (1,017 UA). Se ne conoscono 4614.

☉ **Amor** con semiasse maggiore compreso tra le orbite della Terra e di Marte e perielio esterno all'orbita terrestre (1,017 – 1,3 UA). Gli asteroidi Amor spesso incrociano l'orbita marziana ma non quella terrestre. Se ne conoscono 3900

Il nome deriva dal primo oggetto scoperto

☉ **PHA** (Potentially Hazardous Asteroids) Sono oggetti potenzialmente pericolosi di circa 100 metri che possono avvicinarsi alla Terra a 0,05 UA (7,5 milioni di chilometri). Se ne conoscono 1340.



FAMIGLIE DI NEA (NEAR EARTH ASTEROID)

Oltre che dai PHA, le minacce potenziali maggiori per il nostro pianeta sono costituite dagli asteroidi delle famiglie Atena e Apollo perché intersecano l'orbita della Terra.

Quelli della famiglia Amor non intersecano l'orbita terrestre anche se alcuni possono avvicinarsi molto e nel tempo modificare la loro orbita fino a diventare un Aten o un Apollo.

Le orbite di questi corpi non sono stabili e un oggetto che oggi appartiene ad una classe potrebbe, in un futuro neanche troppo lontano, diventare di un'altra classe.

Per quanto riguarda i PHA essendo oggetti relativamente piccoli se ne scoprono in continuazione tanto che la tabella seguente, tratta dal sito

<http://www.spaceweather.com/>
viene continuamente aggiornata.

I PHA

che nei prossimi mesi passeranno in prossimità della Terra registrati al 29 ottobre 2012

Asteroide	Data (UT)	Distanza (LD)	Dimensioni
1991 VE	Oct 26	34	1.1 km
2012 UW9	Oct 29	9.4	31 m
2012 UU169	Oct 29	3	33 m
2001 CV26	Oct 30	68	2.4 km
2012 UX136	Nov 4	2.7	42 m
2007 PA8	Nov 5	16.8	2.4 km
2012 UV136	Nov 10	5.8	34 m
2012 UY68	Nov 14	6.7	42 m
2010 JK1	Nov 25	9.3	56 m
2009 LS	Nov 28	55.2	1.1 km
2009 BS5	Dec 11	8.4	15 m
4179 Toutatis	Dec 12	18	2.7 km
2003 SD220	Dec 23	59.8	1.8 km
1998 WT24	Dec 23	69.2	1.1 km
2003 UC20	Dec 29	25.7	1.0 km

Nota: LD=Lunar Distance (Distanza Lunare) 1 LD = 384.401 km. 1 LD = 0,00256 UA.

NOTA SUL NOME DEGLI ASTEROIDI

Agli asteroidi appena scoperti viene assegnato un nome provvisorio: una sigla in cui i primi 4 caratteri sono l'anno della scoperta, seguiti da una lettera maiuscola che indica la metà del mese in cui l'asteroide è stato individuato (si omettono la I e la Z).

Un'ulteriore lettera maiuscola (si omette sempre la I ma stavolta si considera la Z), indica l'ordine di scoperta entro il periodo di 15 giorni. La corrispondenza fra lettere e ordine di scoperta è data da: A = 1°, B = 2°, . . . , Z = 25°. Se il numero di corpi individuati è maggiore di 25 si ricomincia daccapo riciclando la seconda lettera, cui viene aggiunto un indice numerico. Viene messo 1 se si tratta del primo riciclaggio, 2 per il secondo e così via.

Ad esempio, il 25° asteroide scoperto nella prima metà di gennaio del 2007 viene designato con 2007 AZ, il successivo, cioè il 26°, con 2007 AA1, quindi il 27° con 2007 AB1, e così via; al termine della metà mese caratterizzata dalla lettera A la sequenza riparte e l'asteroide successivo riceve la designazione 2007 BA.

Quando l'orbita è conosciuta con precisione l'asteroide riceve un numero progressivo e lo scopritore può attribuirgli un nome, che diventa ufficiale dopo la pubblicazione nel bollettino del Minor Planet Center.

A	1 – 15 gen	B	16 – 31 gen
C	1 – 15 feb	D	16 – 29 feb
E	1 – 15 mar	F	16 – 31 mar
G	1 – 15 apr	H	16 – 30 apr
J	1 – 15 mag	K	16 – 31 mag
L	1 – 15 giu	M	16 – 30 giu
N	1 – 15 lug	O	16 – 31 lug
P	1 – 15 ago	Q	16 – 31 ago
R	1 – 15 set	S	16 – 30 set
T	1 – 15 ott	U	16 – 31 ott
V	1 – 15 nov	W	16 – 30 nov
X	1 – 15 dic	Y	16 – 31 dic

I NEA

GRUPPO	DESCRIZIONE	DEFINIZIONE	NUMERO
NEA	Potenziali impattatori	$q < 1,3 \text{ UA}$	Qualche decina di migliaia, di cui più di 2000 con diametro superiore ad un chilometro.
Aten	Oggetti che incrociano l'orbita terrestre con semiasse maggiore più piccolo di quello della Terra	$a < 1,0 \text{ UA}$, $T < 1 \text{ anno}$ $Q > 0,983$	735
Apollo	Oggetti che incrociano l'orbita terrestre con semiasse maggiore di quello terrestre	$a > 1,0 \text{ UA}$ $q < 1,017 \text{ UA}$ $T > 1 \text{ anno}$	4614
Amor	I più esterni, si avvicinano all'orbita terrestre e intersecano quella di Marte	$a > 1,0 \text{ UA}$ $1,017 \text{ UA} < q < 1,3 \text{ UA}$	3900
PHA	Oggetti potenzialmente pericolosi	$\text{MOID} < 0,05 \text{ UA}$ $H < 22 \text{ mag}$	1340

q = distanza afelica; distanza afelica della Terra = 1,017 UA

Q = distanza perielica; distanza perielica della Terra = 0,983 UA

a = semiasse maggiore dell'orbita

MOID = distanza minima tra l'orbita dell'oggetto e l'orbita terrestre

H = magnitudine assoluta (quella che l'oggetto avrebbe alla distanza di 1 UA dalla Terra e dal Sole).

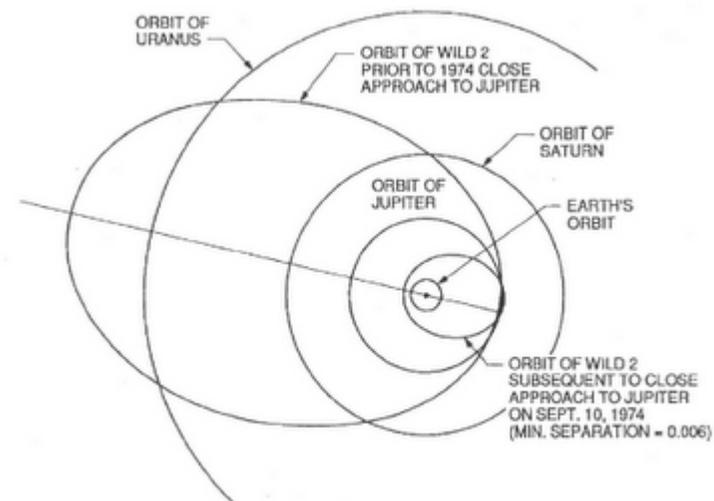
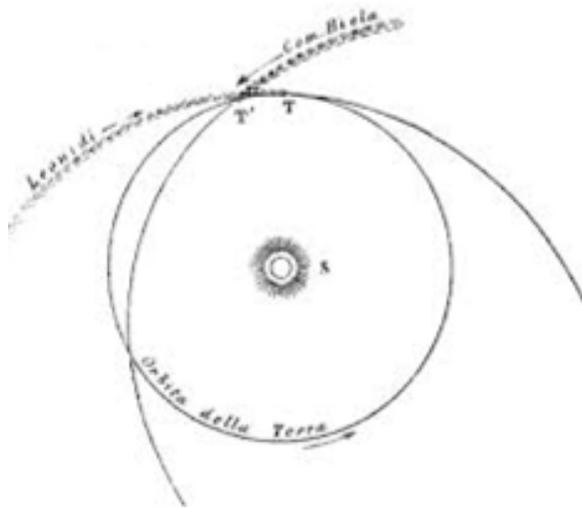
Che cosa sono i NEO (NEAR EARTH OBJECT)

I NEO sono oggetti del Sistema Solare la cui orbita può intersecare quella della Terra.

Tutti i NEO hanno la distanza del perielio inferiore a 1,3 UA.

I NEO comprendono i seguenti tipi di oggetti:

- ❖ **le comete** la cui orbita si avvicina alla Terra.



Che cosa sono i NEO (NEAR EARTH OBJECT)

I NEO sono oggetti del Sistema Solare la cui orbita può intersecare quella della Terra.

Tutti i NEO hanno la distanza del perielio inferiore a 1,3 UA.

I NEO comprendono i seguenti tipi di oggetti:

- ❖ **le sonde e i loro detriti** che orbitano intorno al Sole e alla Terra.



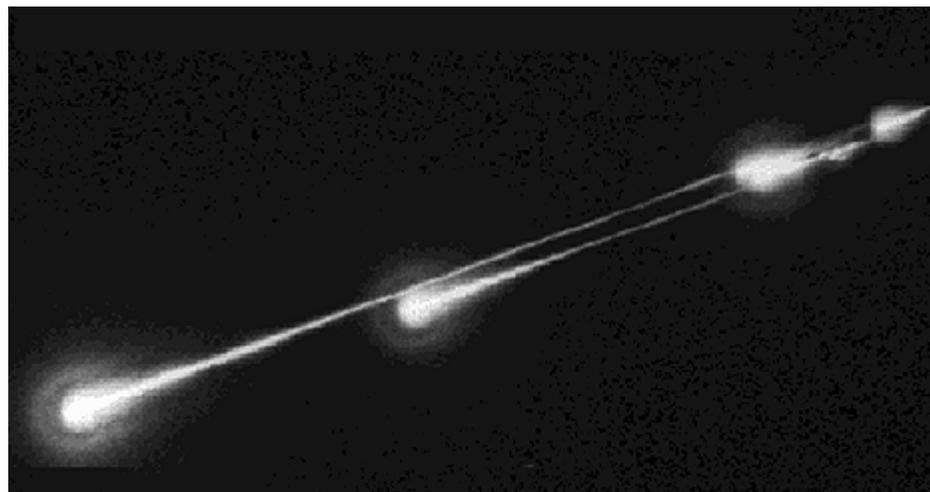
Che cosa sono i NEO (NEAR EARTH OBJECT)

I NEO sono oggetti del Sistema Solare la cui orbita può intersecare quella della Terra.

Tutti i NEO hanno la distanza del perielio inferiore a 1,3 UA.

I NEO comprendono i seguenti tipi di oggetti:

- ❖ i **meteoroidi** sufficientemente grandi da essere intercettati nello spazio prima di colpire la Terra.



Meteoroidi

È un corpo roccioso o metallico relativamente piccolo; secondo i limiti stabiliti nel 1961 dall'Unione Astronomica Internazionale, hanno massa compresa fra 10^{-9} e 10^7 kg.

Quando entrano nell'atmosfera di un pianeta, i meteoroidi si surriscaldano per attrito con le molecole dei gas atmosferici e si vaporizzano parzialmente o completamente.

I gas lungo il percorso del meteoroidi si ionizzano, emettendo luce di vario colore.

La traccia luminosa prodotta nel cielo è chiamata **meteora**, o **stella cadente**. Per la Terra, le velocità di ingresso in atmosfera dei meteoroidi appartenenti al Sistema Solare sono comprese fra gli 11,2 e i 72,8 km/s.



Meteoroidi

L'attraversamento dell'atmosfera normalmente distrugge totalmente il meteoroidi lasciando come residui solo **polveri meteoritiche**, che cadono molto lentamente verso il suolo in tempi dell'ordine dei giorni/settimane.

A volte sopravvivono frammenti più cospicui, i **meteoriti** che in genere arrivano al suolo dopo essersi frantumati a causa della resistenza dell'atmosfera incontrata dal meteoroidi.

I meteoroidi sono generati dagli scontri fra asteroidi e dal dissolvimento dei nuclei cometari in prossimità del Sole

Una parte è originata da impatti tra asteroidi e comete con la superficie dei pianeti di tipo terrestre o dei satelliti.

Ogni anno, piovono sulla Terra circa 15.000 tonnellate di meteoroidi.



[Meteorite di Fermo](#)

Peso 10,2 kg; misura 19x24x16 cm

Meteoroidi



Il bolide di Peekskill (New York) osservato il 9 ottobre 1992.
Il bolide si è frantumato in molti pezzi e sono stati recuperati 12,4 kg di materiali.

<http://www.youtube.com/watch?v=RrL-cWaYdno>

Da dove vengono i NEA?

L'instabilità delle loro orbite porta i NEA a cadere su Sole o su uno dei pianeti interni in tempi dell'ordine di 10 milioni di anni.

Avendo il Sistema Solare circa 4,5 miliardi di anni, tutti i NEA dovrebbero essere spariti!

Com'è che non è così?

La risposta sta nel fatto che essi sono continuamente rimpiazzati da corpi che vengono essenzialmente dalla fascia principale degli asteroidi per effetto dell'azione gravitazionale di Giove, ma anche di Marte.

Risonanze di moto medio

Uno dei principali fenomeni che producono i NEO sono le **risonanze**.

Si parla di risonanza quando i periodi orbitali di due corpi sono commensurabili.

Nel Sistema Solare un corpo descrive intorno al Sole un'orbita che in prima approssimazione è un'ellisse (prima legge di Keplero) caratterizzata da diversi parametri, detti elementi orbitali.

Dato il semiasse maggiore a dell'orbita è noto anche il periodo T con cui il corpo percorre l'orbita (terza legge di Keplero: $a^3/T^2 = \text{costante}$).

Il moto perfettamente ellittico è tipico dei sistemi a due corpi, e nel Sistema Solare ci sono numerosi altri corpi, anche di massa rilevante che lo perturbano; l'orbita cambia nel tempo forma e orientazione.

Le forze di interazione fra due corpi hanno intensità e direzione che variano nel tempo.

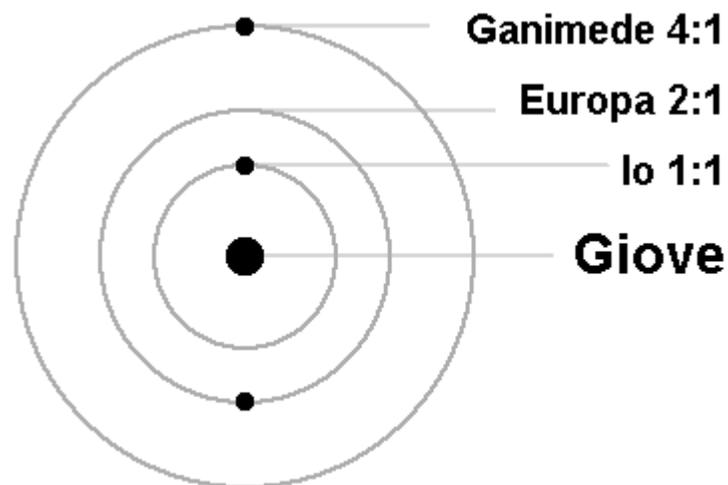
Risonanze di moto medio

Quando i periodi dei due corpi sono fra di loro **incommensurabili** le configurazioni in cui essi sono allineati con il Sole (coniunzione o opposizione di fase), e in cui la reciproca interazione è massima o minima, avvengono in direzioni casuali.

Questo fa sì che molti effetti dinamici, mediati sul tempo, possano annullarsi.

La situazione è diversa quando i due periodi sono **commensurabili**.

Nel caso banale in cui il periodo di un corpo più interno è uguale a metà di quello di uno più esterno (risonanza di moto medio 2:1), dopo un periodo del corpo più esterno (o due di quello interno) la configurazione si replica esattamente nella stessa direzione.



Risonanze di moto medio
delle lune di Giove:
Europa-Io 2:1
Ganimede-Io 4:1
Ganimede-Europa 2:1

Risonanze di moto medio

Qualcosa di analogo succede anche se il rapporto fra i due periodi è dato da una frazione ($2/3$, $2/5$, $3/5$,...), ma l'effetto decresce di intensità con l'aumentare di numeratore e denominatore.

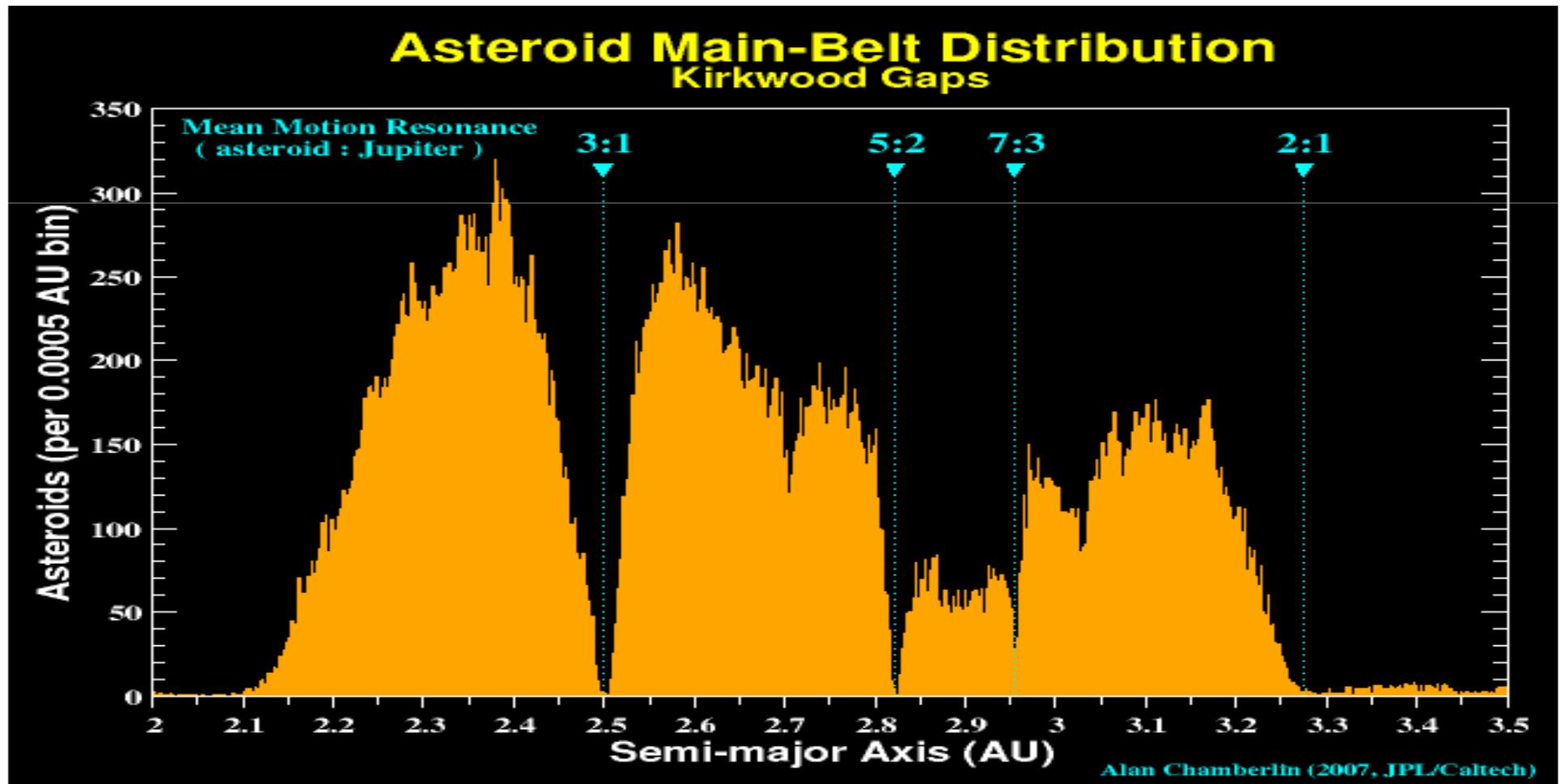
Non è possibile prevedere in modo generale l'effetto dinamico di una risonanza, si parla quindi di **moto caotico** del corpo in questione.

L'amplificazione dell'effetto perturbativo, che consegue dalla ripetizione delle configurazioni, causa in molti casi la instabilità dell'orbita risonante, per esempio aumentandone rapidamente l'eccentricità.

Risonanze di moto medio con Giove

Anche in combinazione con altri effetti, o con risonanze secolari questo può provocare lo svuotamento di regioni nello spazio degli elementi orbitali (come nel caso delle Lacune di Kirkwood).

Nella fascia asteroidale sono particolarmente importanti le risonanze 2:1, 7:3, 5:2 e 3:1 con Giove.



Risonanze secolari

Se la precessione al perielio di due corpi è sincronizzata si ha la **risonanza secolare**.

Quando un corpo celeste di piccole dimensioni entra in risonanza secolare con uno più grande (come ad esempio un pianeta), la precessione del più piccolo si allineerà con quella del più grande.

Nel corso di milioni di anni, la risonanza secolare cambierà l'inclinazione orbitale e l'eccentricità del corpo più piccolo.

Trasferimento dinamico di un asteroide

Qualora un asteroide dovesse essere inserito all'interno di una risonanza si avrebbe una somma delle perturbazioni gravitazionali causate dal pianeta gigante.

In tempi relativamente brevi, parametri orbitali come l'eccentricità e l'inclinazione tenderebbero a crescere in modo pressoché continuo.

In tempi variabili a seconda della risonanza coinvolta, ma sempre da considerare brevi (da pochi a parecchie decine di milioni di anni), l'eccentricità orbitale potrebbe raggiungere valori molto grandi, anche prossimi al valore limite 1, che implicherebbero teoricamente la degenerazione dell'ellisse in una parabola.

Durante questa variazione così "rapida" dell'eccentricità, l'orbita manterrebbe quasi inalterato il valore del semiasse maggiore.

Questo significa che l'ellisse che descrive il moto dell'oggetto, si "allungherebbe" spostando il perielio dell'orbita sempre più vicino al Sole.

Durante questo processo di trasformazione, l'asteroide "catturato" dalla risonanza attraverserà le orbite dei pianeti che prima erano lasciate sempre all'interno.

Trasferimento dinamico di un asteroide

Inizierebbe perciò ad attraversare l'orbita di Marte, poi quella della Terra, di Venere, per arrivare fino entro quella di Mercurio.

Se il meccanismo potesse giungere fino a valori estremi l'asteroide impatterebbe con la nostra stella.

Questo fenomeno accade in realtà con grande frequenza.

Questo processo non darebbe alcun "fastidio" ai pianeti più interni del Sistema Solare e si esaurirebbe con la scomparsa relativamente rapida di tutti gli oggetti inseriti all'interno di una risonanza.

In realtà però le cose sono più complesse, innanzitutto non tutte le risonanze che attraversano la fascia principale degli asteroidi possono portare fino al limite estremo il loro meccanismo di trasformazione orbitale. Se è vero che l'aumentare dell'eccentricità fa avvicinare il perielio verso il Sole, è anche vero che spinge l'afelio verso le zone più esterne.

Trasferimento dinamico di un asteroide

Se la risonanza che sta agendo è localizzata nella parte esterna della fascia principale, prima che il perielio possa penetrare all'interno delle orbite dei pianeti interni l'afelio si sarà spinto già molto vicino o addirittura al di là dell'orbita di Giove.

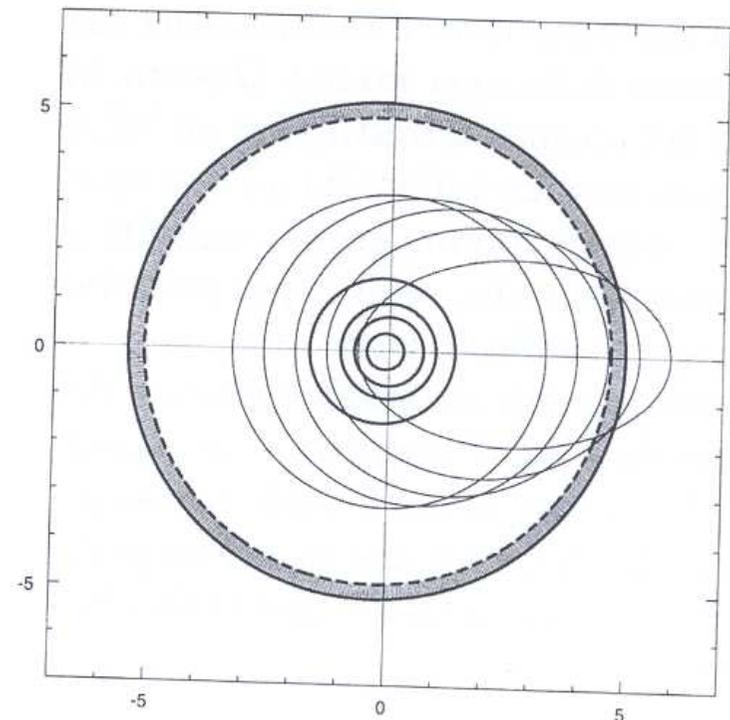
Prima o poi l'oggetto si troverà a passare vicino al pianeta gigante e le perturbazioni, già sensibili nello stato originario, possono diventare del tutto insostenibili e l'asteroide subirà allora un cambiamento drastico della sua orbita, semiasse maggiore compreso.

L'oggetto verrebbe "estratto" dalla risonanza e costretto da Giove ad immettersi su una traiettoria completamente diversa da quella precedente.

Normalmente in questi casi l'asteroide tende ad essere espulso dal Sistema Solare.

Questo secondo scenario è quello dominante nel caso di risonanze la cui distanza dal sole superi 2,8 UA.

Non è da escludere però che una piccola percentuale di oggetti sia capace di evitare Giove e di sopravvivere abbastanza a lungo nella zona dei pianeti interni.



Trasferimento dinamico di un asteroide

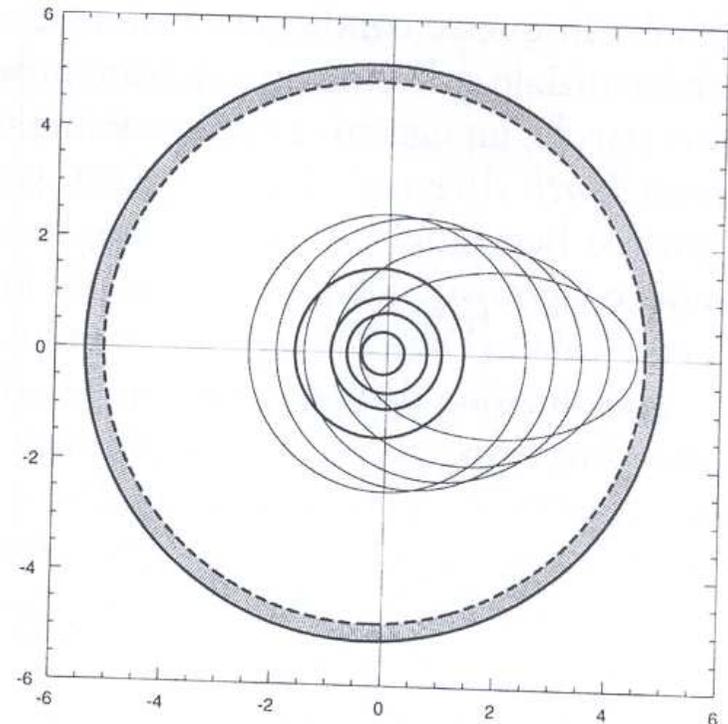
Gli oggetti coinvolti nelle risonanze più vicine al Sole (come la ν_6 [una risonanza secolare] o la 3/1) non sempre seguono il percorso che li porta a cadere sul Sole.

Anche i pianeti interni possono esercitare un effetto perturbativo non trascurabile sugli asteroidi che si spingono all'interno delle loro orbite.

Date le masse minori, per poter produrre modifiche delle orbite analoghe a quelle prodotte da Giove, è necessario che gli asteroidi passino molto vicino ai pianeti interni.

Nel caso dei pianeti di tipo terrestre, i più efficienti ad estrarre asteroidi dalle risonanze sono ovviamente la Terra e Venere perché hanno una massa superiore a quella di Marte e Mercurio.

Un oggetto che a seguito di uno o più incontri ravvicinati viene fatto uscire da una risonanza cambia drasticamente la sua orbita e tende ad inserirsi sempre più profondamente all'interno della zona più vicina al Sole.



Trasferimento dinamico di un asteroide

In queste condizioni, l'asteroide diventa un oggetto a rischio di impatto per i pianeti terrestri, cioè un NEA.

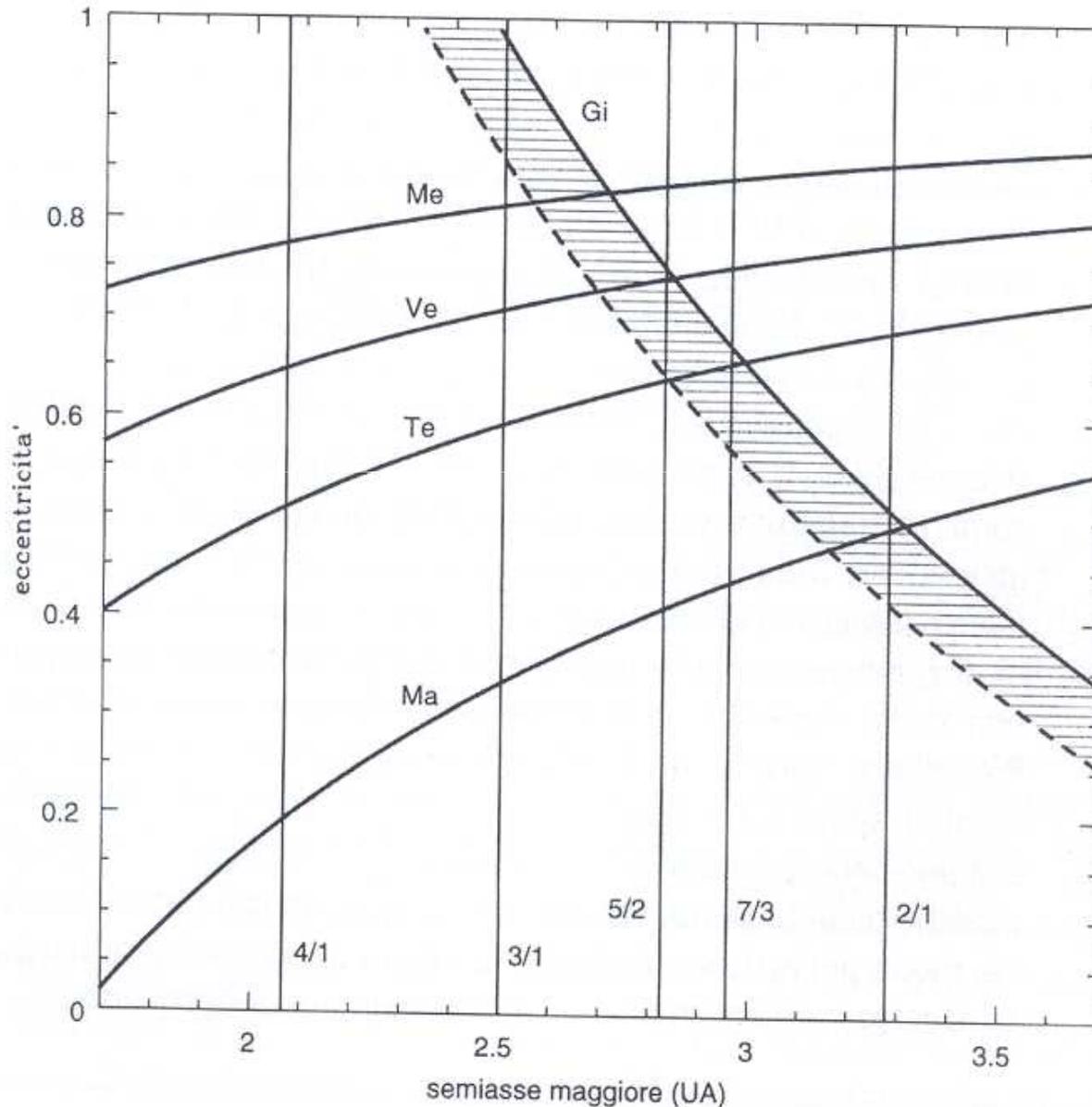
La sua orbita, pur non essendo più legata ad una risonanza, non è stabile. È continuamente soggetta a nuovi e vigorosi "strattoni" causati da incontri successivi, sempre più probabili, con i pianeti che condividono con lui lo spazio a disposizione.

L'evoluzione dell'orbita continua ad essere quindi altamente caotica per tempi anche molto brevi (centinaia di anni).

In tal modo alcuni asteroidi potrebbero essere reinseriti all'interno di una risonanza principale e quindi finire nel Sole, altri potrebbero sopravvivere più a lungo sfruttando l'esistenza di piccole risonanze con i pianeti interni, altri ancora potrebbero essere inseriti su orbite tali da avvicinarli a Giove e quindi venire poi espulsi dal Sistema Solare.

Altri infine potrebbero impattare con uno dei pianeti terrestri, soprattutto la Terra e Venere.

Trasferimento dinamico di un asteroide



Le linee verticali si riferiscono alle risonanze di moto medio più importanti. Le linee quasi orizzontali riportano il valore dell'eccentricità necessaria ad un asteroide per portare il proprio afelio all'interno dell'orbita dei vari pianeti interni. Un asteroide che si muove verticalmente lungo una risonanza, ossia aumenta la sua eccentricità, incrocerà via via le orbite dei pianeti e potrà diventare un NEA sempre più profondo. La linea tratteggiata si riferisce invece all'eccentricità necessaria per incrociare la sfera d'influenza di Giove. Si nota come le risonanze tipo 4/1 e 3/1 permettano all'oggetto di attraversare tutte le orbite dei pianeti interni prima di arrivare a Giove, mentre la 2/1 incontra per primo il pianeta gigante.

Trasferimento dinamico di un asteroide

Da queste considerazioni sembrerebbe che in poche decine di milioni di anni le risonanze sarebbero svuotate e gli asteroidi o lanciati in orbite che li porterebbero al di fuori del Sistema Solare o cadrebbero sul Sole o sui pianeti.

Comunque oggi non ci dovrebbero essere più NEA.

Ovviamente non è così.

Questo significa che ci sono dei meccanismi che portano continuamente nuovi oggetti nelle risonanze e di conseguenza nelle regioni interne del Sistema Solare.

Uno di questi sono le continue **collisioni** che avvengono tra gli asteroidi.

Anche se gli urti non sono così violenti da far sì che vengano spinti direttamente nelle regioni interne del Sistema Solare, sono sufficienti per immetterli in qualche risonanza.

MARS-CROSSER

Un'altra famiglia di oggetti che rifornisce i NEA è quella dei **Mars-crosser**, ossia asteroidi che attraversano l'orbita di Marte.

Questi oggetti non sono del tutto stabili, a causa degli incontri ravvicinati con Marte la loro orbita viene perturbata e in tempi dell'ordine di 20-25 milioni di anni vengono trasferiti nelle zone di risonanza (ν_6 e 3/1).

I Mars-crosser sono oggetti con dimensioni superiori al chilometro.

Anche i Mars-crosser dovrebbe svuotarsi in circa 200 milioni di anni se non ci fosse un meccanismo di ripopolamento.

Calcoli recenti sembrano dimostrare che urti nella fascia interna degli asteroidi (2, 2,5 UA) possano produrre i corpi delle dimensioni giuste che sarebbero poi trasportati nelle zone di risonanza dall'effetto Yarkovsky

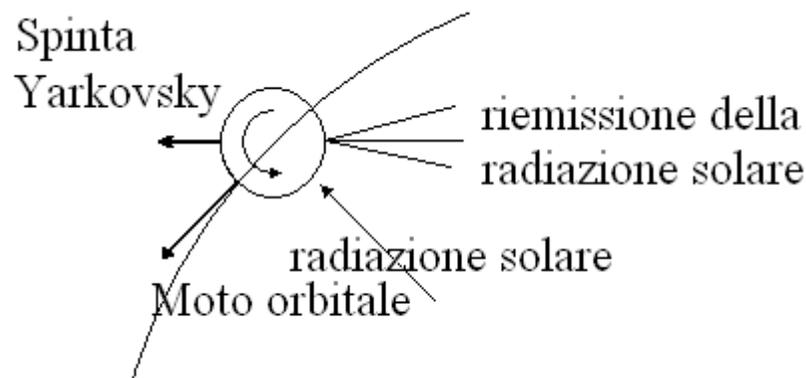
Effetto Yarkovsky

L'effetto è così chiamato in onore dell'ingegnere civile russo Ivan Osipovich Yarkovsky (1844-1902) che per primo lo ipotizzò.

Esso indica una variazione indotta dalla radiazione solare sull'orbita degli asteroidi e viene prodotto nel momento in cui gli asteroidi assorbono energia dal Sole e la re-irradiano nello spazio come calore.

È stato misurato per la prima volta sull'asteroide 6489 Golevka, largo mezzo chilometro e con una massa di oltre 200 milioni di tonnellate.

A causa di questo fenomeno gli asteroidi tendono ad emettere una maggiore quantità di calore dalla zona superficiale che si trova a "pomeriggio" ossia la parte più calda dell'oggetto cosmico irradia maggiore energia rispetto alla parte più fredda; ciò genera una forza che agisce sul corpo in una direzione che dipende dall'orientazione dell'asse di rotazione e dal senso di rotazione.



Effetto Yarkovsky

La forza prodotta è estremamente piccola, ma applicata per milioni di anni ha un effetto notevole sull'orbita dell'asteroide.

Le osservazioni condotte su Golevka per 12 anni hanno mostrato che l'effetto ha prodotto una deviazione di 15 chilometri.

Oltre all'effetto appena descritto, che viene chiamato effetto Yarkovsky diurno, esiste un effetto Yarkovsky stagionale scoperto da Rubincam e Farinella nel 1998.

La spinta che si produce dipende dall'inclinazione dell'asse di rotazione del corpo.

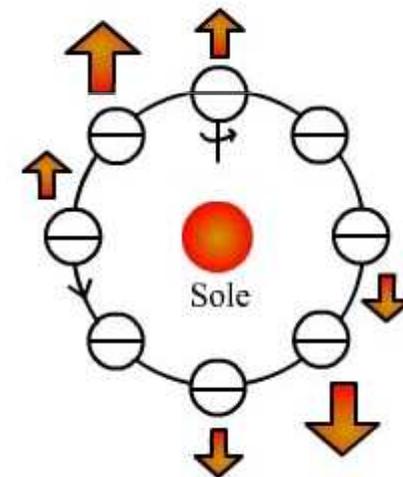
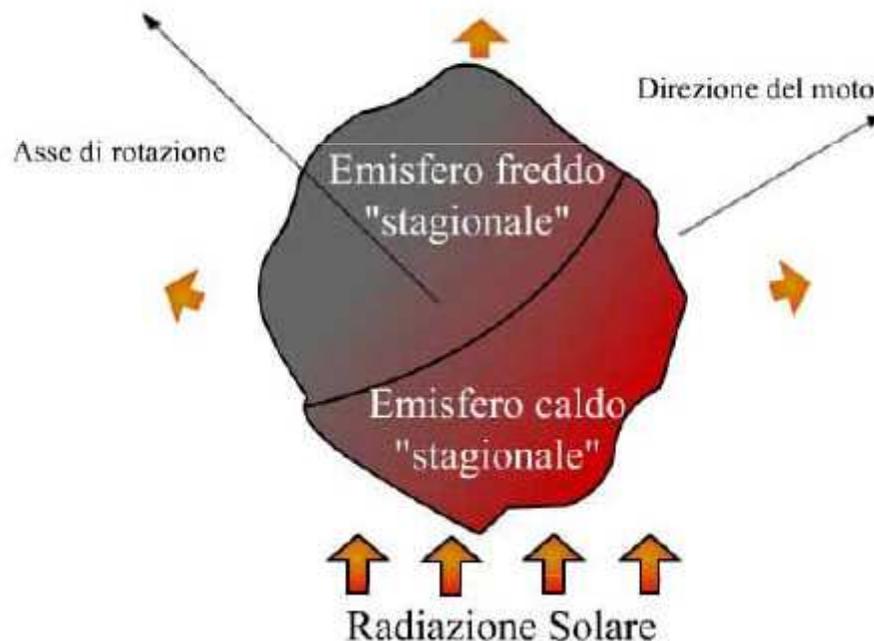
Come avviene per la Terra, se l'asse di rotazione di un corpo celeste è inclinato rispetto al piano dell'orbita, esso presenta le stagioni.

Per un certo intervallo di tempo uno degli emisferi risulta maggiormente esposto alla radiazione solare. Il calore accumulato durante questa fase viene reirradiato dall'emisfero "estivo", spingendo l'oggetto tanto più intensamente quanto maggiore è l'area riscaldata.

Effetto Yarkovsky

L'effetto interessa maggiormente corpi di dimensioni inferiori al centimetro, perché in queste condizioni la spinta impressa dall'effetto stagionale è più intensa della forza attribuita all'Effetto Yarkovsky diurno.

L'intensità non dipende dal moto di rotazione, ma dalla capacità termica del materiale di cui sono composti i corpi e dalla loro albedo.



Trasferimento dinamico di un asteroide

Come detto tra i NEO ci sono anche delle comete.

Il trasporto di una cometa dalla Nube di Oort o dalla fascia di Edgeworth-Kuiper fino alle vicinanze del Sole è un meccanismo talvolta piuttosto complesso e laborioso.

Conviene distinguere tra comete a lungo periodo e comete a medio/corto periodo.

Le prime sono quelle che provengono direttamente dalla Nube di Oort. Esse sono disturbate nel loro movimento quasi circolare intorno al Sole dal passaggio di stelle vicine e/o dalla presenza di nubi molecolari particolarmente dense e delle forze mareali galattiche. Queste perturbazioni sono in grado di "strappare" un certo numero di comete dalla loro posizione stabile ed immetterle in orbite estremamente allungate, praticamente paraboliche.

In queste condizioni, e senza ulteriori fonti di disturbo, le comete possono spingersi anche a distanze dal Sole molto ridotte, attraversando in tal modo le orbite dei pianeti interni. Tuttavia, dopo il loro giro attorno al Sole, ritornano verso i confini del Sistema Solare, con ottime probabilità di uscirne fuori e di perdersi nello spazio interstellare.

Rappresentano quindi solo fugaci apparizioni ed il rischio che durante la loro corsa possano impattare un pianeta è praticamente nullo.

Trasferimento dinamico di un asteroide

Alcune di queste comete a lungo periodo potrebbero però transitare vicino ai pianeti giganti, in particolar modo da Giove subendo forti perturbazioni e potrebbero, analogamente a quanto abbiamo visto per gli asteroidi, subire drastici cambiamenti orbitali ed essere immesse su orbite meno allungate, di tipo ellittico.

Diventerebbero abitatori stabili del Sistema Solare più interno ed avrebbero frequenti passaggi in prossimità del Sole

Maggiore è il numero di volte che la cometa transita e maggiore è la probabilità che abbia incontri abbastanza ravvicinati con qualche pianeta.

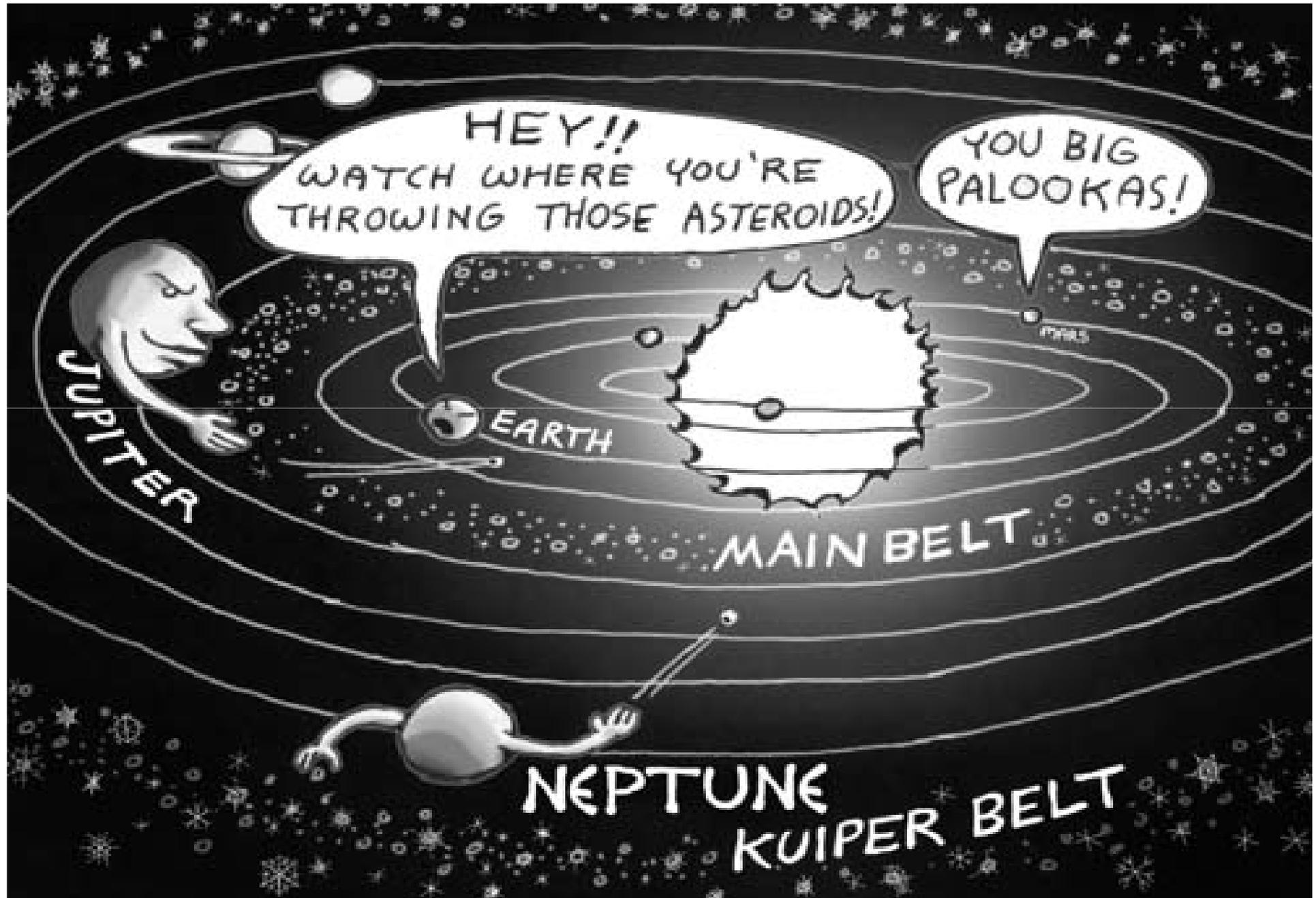
L'evoluzione dell'orbita potrebbe essere molto complessa fino al punto da non differire molto da quella degli asteroidi.

Un'evoluzione di quest'ultimo tipo è sicuramente più prevedibile per le comete che risiedono nella fascia di Edgeworth-Kuiper.

Questa può essere considerata come una fascia asteroidale "esterna".

I corpi che la compongono possono collidere tra di loro ed essere inseriti in risonanze di moto medio con i pianeti più esterni, soprattutto Nettuno.

L'origine dei NEO



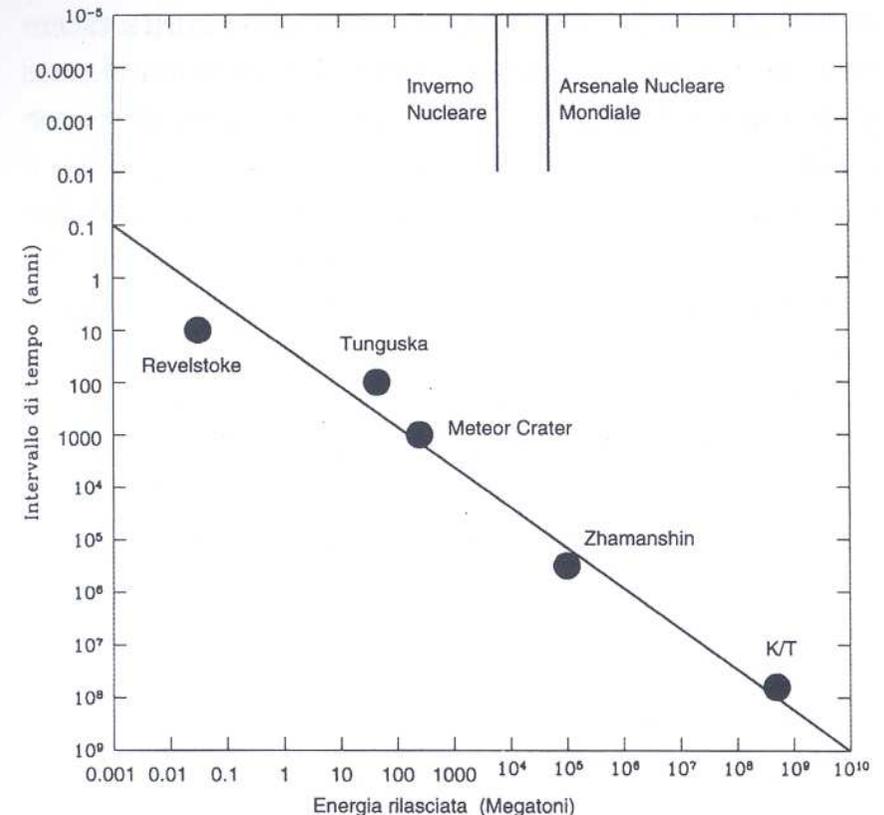
Probabilità di impatto

✚ Oggetti con diametro di **5-10 m** impattano con l'atmosfera terrestre circa **una volta l'anno**, con un'energia simile a quella della bomba di Hiroshima, (circa 15 kton = 15.000 tonnellate di TNT – 1 ton = $4,2 \cdot 10^9$ J), esplodendo nell'alta atmosfera, vaporizzando gran parte della materia solida di cui sono composti.

✚ Oggetti con diametro di circa **50 m** impattano con l'atmosfera terrestre circa **una volta ogni migliaia di anni**, producendo esplosioni comparabili con quella verificatisi a Tunguska nel 1908.

✚ Oggetti con diametro dell'ordine di **1 km** impattano la Terra **mediamente ogni milione di anni**.

✚ Oggetti con diametro dell'ordine dei **5 km** impattano con la Terra **approssimativamente ogni 10 milioni di anni**.



Probabilità di impatto

È scientificamente privo di senso predire la collisione con un asteroide, anche ben conosciuto, su tempi superiore al secolo.

Si può solo quantificare la probabilità intrinseca di collisione.

Mediamente la probabilità d'impatto intrinseca dei NEO va da 0,5 a 4 per miliardo di anni. In altre parole, la probabilità media, per anno che un singolo NEO colpisca la Terra è compresa tra 0,5 su 1 000 000 000 e 4 su 1 000 000 000

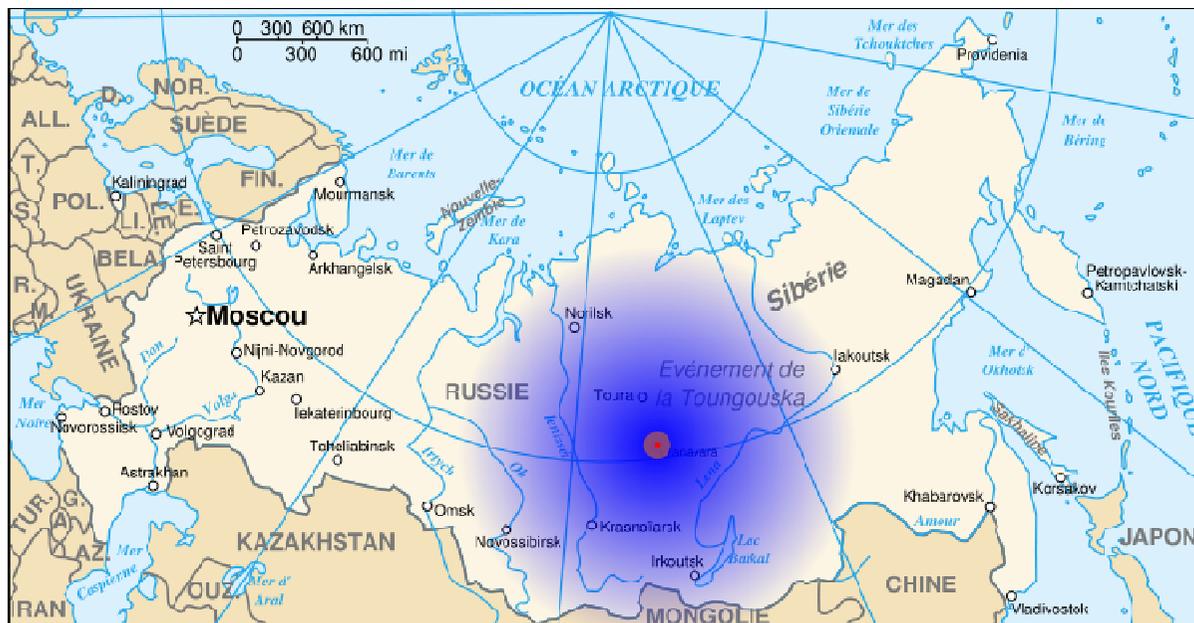
Effetti di un impatto

La maggior parte degli oggetti che incontrano la Terra sono di piccole dimensioni e in questi casi l'atmosfera è in grado di bloccarli.

Si stima che il limite di dimensioni di un oggetto cosmico per non raggiungere intatto il suolo e venire quindi distrutto nelle varie fasi di attraversamento atmosferico, si aggiri intorno ai 40 m per oggetti metallici e ai 100 m per oggetti meno densi.

Il fatto che l'oggetto si disintegri in atmosfera non vuol dire che gli effetti al suolo siano del tutto trascurabili. Vedi Tunguska (30 giugno 1908).

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



Effetti di un impatto

All'indirizzo internet

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

è disponibile un programma, realizzato da Robert Marcus, H. Jay Melosh e Gareth Collins dell'Imperial College di Londra, che permette di simulare gli effetti dell'impatto di un corpo celeste con la Terra.

Si inseriscono alcuni parametri relativi all'oggetto e al punto di impatto, si dà la distanza a cui si trova l'osservatore e il programma calcola gli effetti.

Effetto degli impatti

Il parametro fondamentale per valutare gli effetti dell'impatto è l'energia cinetica:

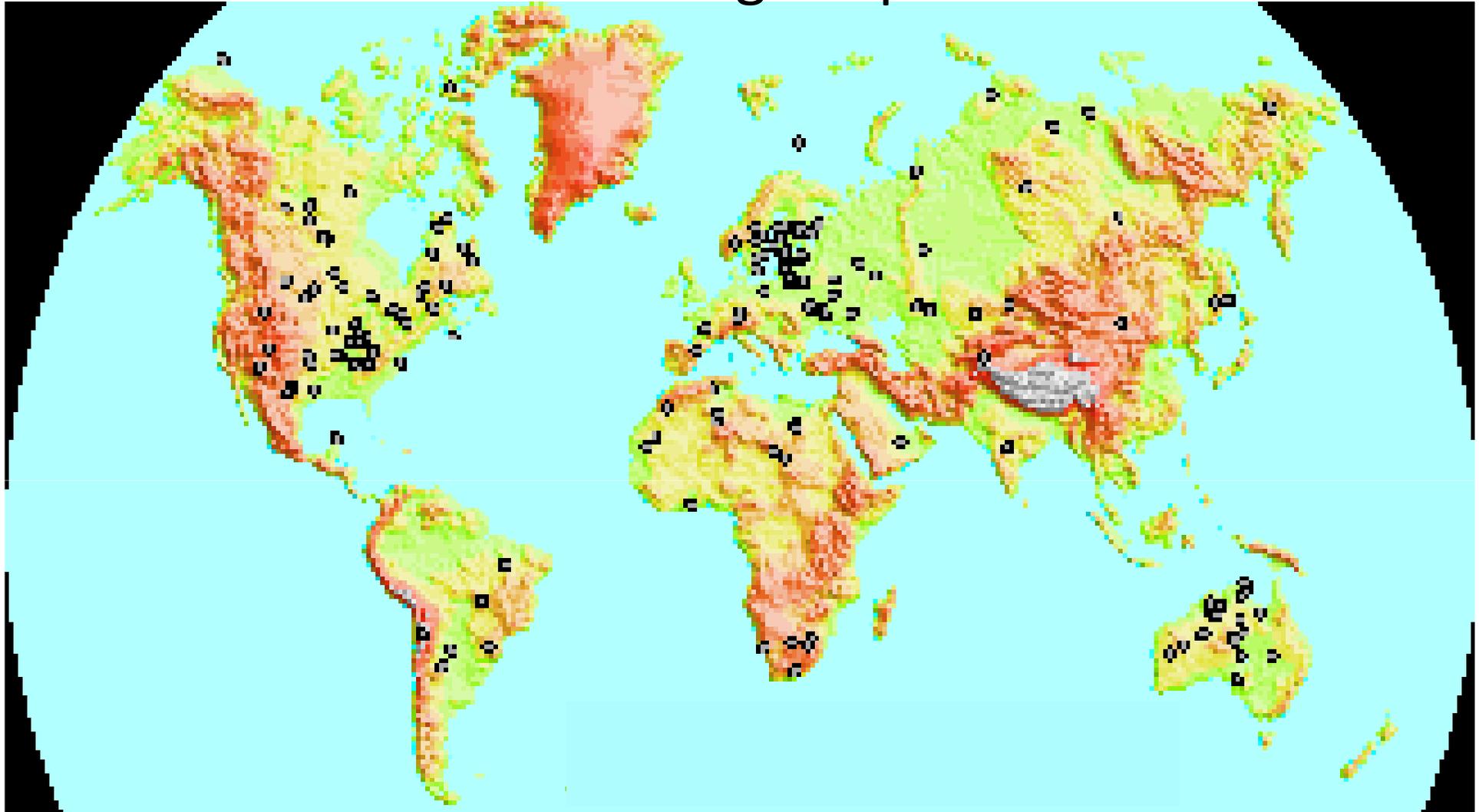
$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

La massa m è legata alle dimensioni e alla densità dell'oggetto. Le dimensioni possono essere stimate sulla base della luminosità, mentre la densità può variare a seconda della natura dell'oggetto. Per le comete può essere anche molto minore a quella dell'acqua (1 g/cm^3), mentre sale fino a 5 g/cm^3 per gli asteroidi ferrosi.

Per quanto riguarda le velocità v , quella più probabile per le comete è dell'ordine di 50 km/s , mentre per gli asteroidi si aggirano intorno ai 20 km/s .

Non ci sono grandi differenze tra le conseguenze di un impatto con un asteroide o con una cometa se l'energia è sufficientemente alta.

Effetto degli impatti



Se l'oggetto cade sulla terra ferma il primo effetto è la formazione di un **cratere da impatto**.

Sulla Terra l'evoluzione geologica ha provocato l'erosione e la sedimentazione (il riempimento) dei crateri da impatto, fino al punto che se ne riescono ad identificare solo 120, quasi tutti in zone geologicamente stabili.

Effetti di un impatto

Diametro del Proiettile	Diametro del cratere	Energia (J)	Energia (TNT)	Intervallo medio degli impatti (anni)	Eventi Terrestri paragonabili ed eventuali effetti
2 m	35 m	21×10^{12}	0,5 kton	4	Piccoli terremoti
6 m	120 m	$8,3 \times 10^{13}$	20 kton	35	Hiroshima 1945 (Bomba atomica)
23 m	450 m	$4,2 \times 10^{15}$	1 MTon	370	Bomba all'Idrogeno
50 m	1 km	$4,6 \times 10^{16}$	11 MTon	1600	Wolf Creek Crater, Australia
55 m	1,1 km	$6,2 \times 10^{16}$	15 MTon	1900	Barringer Meteor Crater, Arizona; Tunguska
90 m	1,8 km	$2,5 \times 10^{17}$	60 MTon	4400	Terremoto di S.Francisco (1906)
155 m	3,1 km	$1,3 \times 10^{18}$	310 MTon	12 000	Eruzione del St. Helens (1981)
360 m	7,2 km	$1,7 \times 10^{19}$	3,7 GTon	55 000	Eruzione del Krakatoa (1883)
1 km	20 km	$3,7 \times 10^{20}$	87 GTon	350 000	Ries Crater (Germania)
2,5 km	50 km	$5,8 \times 10^{21}$	1300 GTon	4,5 Ma	Cratere Montagnais (Canada)
5 km	100 km	$4,6 \times 10^{22}$	11000 GTon	26 Ma	Cratere Popigai (Russia)
10 km	200 km	$3,7 \times 10^{23}$	87000 GTon	150 Ma	Chicxulub (Messico)
La tabella indica vari dati legati alle dimensioni di corpi che colpiscono (<i>Bevan 1998</i>)					

Effetto degli impatti

Gli effetti dell'impatto vanno ben oltre il cratere.

Si stima che un oggetto del diametro di 70-80 m possa distruggere completamente una città di dimensioni medie.

Una metropoli verrebbe spazzata via da un corpo di 150-200 m, un oggetto di 350 m sarebbe sufficiente a distruggere una regione, mentre uno di 700 m potrebbe cancellare una piccola nazione.

La prima causa della distruzione è l'onda d'urto, a cui farebbero seguito terremoti e incendi di proporzioni gigantesche con energia in gioco è dell'ordine dei 10 Gton.

Questi effetti sono tuttavia paragonabili ad alcuni eventi che si verificano normalmente sul nostro pianeta come terremoti, uragani e grandi eruzioni vulcaniche.

Effetto degli impatti

Il rischio aumenta se si pensa che la Terra è coperta dai mari per circa il 71% della sua superficie.

Gli effetti di un asteroide che cade in acqua sono superiori a causa dello tsunami che si genera.

La distruttività dello tsunami è legata al fatto che sulla piattaforma continentale l'onda prodotta dall'asteroide è 10-20 volte più alta e la velocità è di centinaia di chilometri all'ora.

Per esempio un piccolo asteroide sarebbe in grado di causare onde di tsunami alte fino ad oltre 100 m. Il fronte d'onda arriverebbe fino a 20 km dalla costa.

La frequenza è però molto bassa: uno ogni qualche migliaio di anni.

Effetto degli impatti

Le cose diventano estremamente drammatiche con oggetti che sviluppano energie dell'ordine dei Gigatoni.

In questi casi la distruzione è totale nel senso che ne risentirebbe tutta la terra con effetti oltre il 25% del genere umano che perirebbe.

Si stima che questi eventi corrispondano con impatti di corpi con diametri compresi tra 1,5 e 3 km e che si verificano in media ogni 2 milioni di anni.

L'effetto più tragico di questi eventi consiste nel liberare nell'atmosfera quantità enormi di polveri.

Alle particelle liberate dall'impatto e dalla vaporizzazione del suolo e dell'impattatore, vanno ad aggiungersi quelle prodotte dagli enormi incendi che si svilupperebbero.

Questi avrebbero origine dal rientro in atmosfera e il successivo impatto col suolo, anche a grandi distanze, dei frammenti creati dall'impatto primario, scagliati in tutte le direzioni a grandi velocità.

Effetto degli impatti

Tutto questo fa sì che, oltre alla devastazione della zona più direttamente interessata all'impatto, tutto il clima planetario ne risentirebbe.

L'atmosfera diventerebbe opaca per periodi di tempo prolungati e si avrebbe anche una distruzione massiccia dello strato di ozono che ci protegge dalla radiazione ultravioletta.

Ad energie dieci volte maggiori, corrispondenti ad impattatori di circa 5 km, l'opacità dell'atmosfera diventa tale da creare un'oscurità al suolo capace di arrestare la sintesi clorofilliana e oltre certi valori anche le acque degli oceani potrebbero cambiare la loro acidità a causa dello zolfo presente nell'impattatore uccidendo molte specie di pesci.

L'evento K/T, probabile causa dell'estinzione dei dinosauri, molto probabilmente portò alla formazione di un denso aerosol di composti di zolfo che avvolse per lungo tempo il pianeta.

Probabilità di morire per

La probabilità di morire a causa della caduta di un corpo planetario vagante, per “singolo” individuo è di circa $1/20\ 000$

Paragonando questo rischio con quello di altre calamità naturali risulta:

è compatibile a quello di morire in un incidente aereo

è maggiore a quello di morire durante un tornado.

Mentre però la gente ha paura di volare, quasi nessuno ha paura di morire per colpa di un asteroide che colpisce la Terra.

In effetti, mentre gli incidenti aerei e i tornado sono fenomeni di cui si parla spesso, nessuno ha mai sentito parlare di morti per cadute di asteroidi.

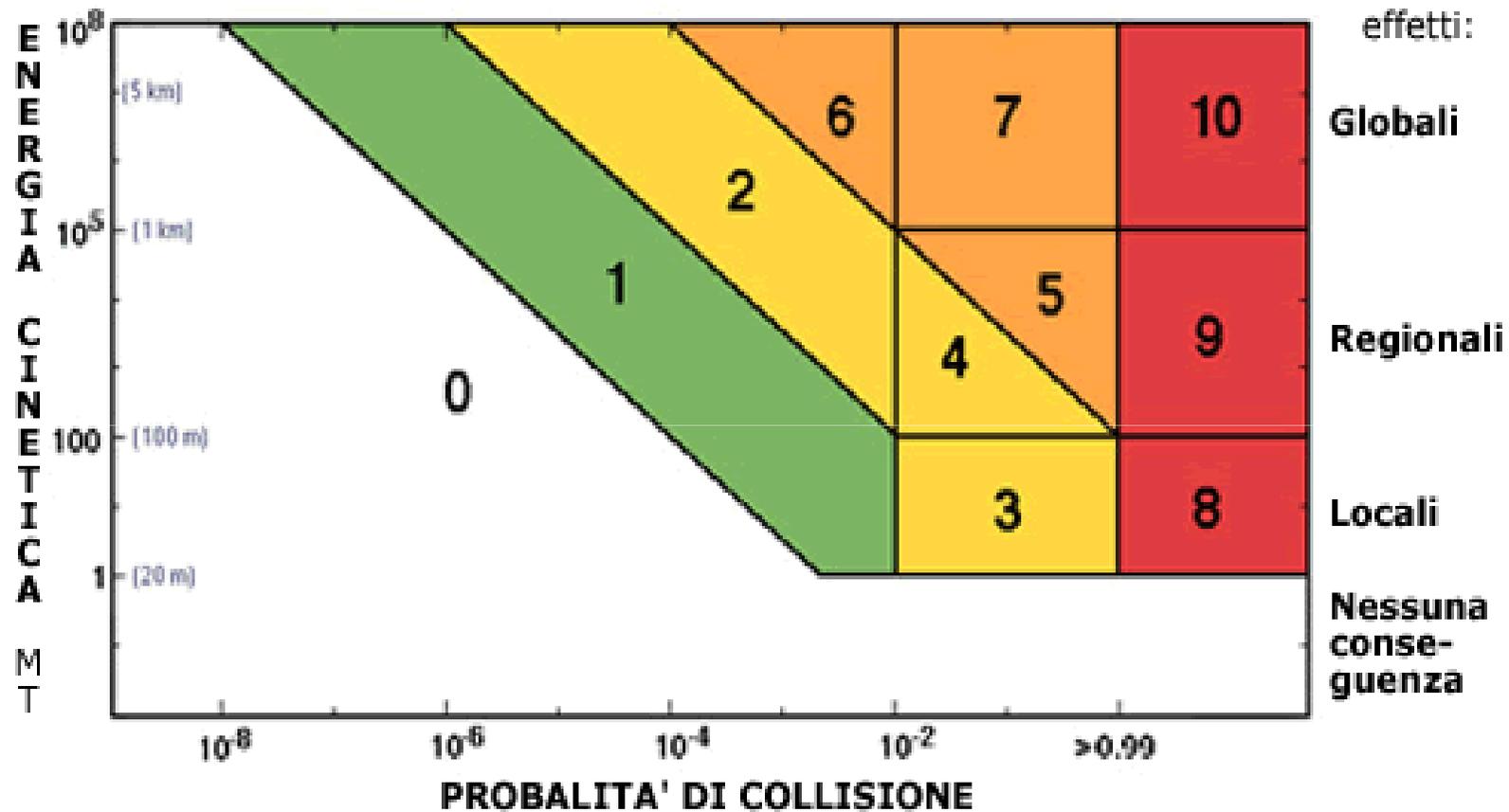
Sono fenomeni estremamente rari, ma che causano danni enormi.

Scala Torino

La Scala Torino è stata creata dal Professor Richard P. Binzel del Dipartimento di Scienze Planetarie del MIT. La prima versione, chiamata **Indice di pericolosità dei NEO**, è stata presentata nel corso di una conferenza alle Nazioni Unite nel 1995. Una versione modificata è stata poi presentata nel Giugno 1999 al simposio internazionale di Torino. I partecipanti hanno approvato la nuova versione, chiamandola *Scala Torino*. Nel 2005 è stata diffusa una versione parzialmente riscritta per permettere di comunicare meglio al grande pubblico il grado di rischio.

non comporta alcuna conseguenza	0	La probabilità di collisione è zero, o molto al di sotto di quella di un oggetto occasionale qualsiasi non conosciuto. Questa classe si applica anche agli oggetti talmente piccoli da non riuscire a raggiungere la superficie terrestre.
necessita un controllo continuo dell'oggetto	1	La probabilità di collisione è estremamente bassa, circa la stessa di un oggetto occasionale non conosciuto.
necessita attenzioni particolari e possibili studi di intervento	2	La probabilità di un incontro ravvicinato è leggermente superiore alla media, ma la probabilità di collisione è molto bassa.
	3	L'incontro è sicuramente ravvicinato. La probabilità di impatto è di almeno 1%. La collisione può causare solo distruzioni locali.
	4	Come il 3, ma le distruzioni sarebbero su scala regionale.
da considerare allarmanti e necessitano preparazione di interventi	5	L'incontro è sicuramente ravvicinato. La probabilità di impatto è elevata e la distruzione è su scala regionale.
	6	Come il 5, ma le distruzioni sarebbero su scala globale.
	7	La collisione ha una probabilità alta. Le distruzioni sarebbero su scala globale.
collisioni sicure e necessitano interventi	8	La collisione è sicura ma le distruzioni sarebbero su scala locale. Questi eventi accadono mediamente fra 1 e 50 volte per migliaia di anni.
	9	La collisione è sicura ma con distruzioni su scala regionale. Ciò accade mediamente tra 1 volta ogni 1000 anni e 1 volta ogni 100000 anni.
	10	La collisione è sicura ma con distruzioni su scala globale. Questi eventi accadono in media non più di una volta ogni 1000000 di anni.

Scala Torino



non hanno
conseguenze
probabili



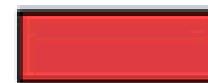
eventi che
meritano accurato
esame



eventi che
meritano
preoccupazione



eventi
minacciosi



collisioni
certe

Scala Torino

Al momento della scoperta di un nuovo oggetto è molto difficile prevedere dove potrà trovarsi nelle settimane o nei mesi successivi.

Tale incertezza dipende dal fatto che i dati osservativi disponibili riguardano un tratto molto breve dell'orbita e ciò introduce dei limiti nella precisione dei calcoli.

Nella maggior parte dei casi i dati a disposizione consentono fin dal primo momento di escludere, per circa un centinaio d'anni nel futuro, che si possano verificare passaggi ravvicinati pericolosi per la Terra.

Purtroppo, però, rimangono ancora dei casi per i quali il rischio di una collisione non può essere del tutto escluso e per questi viene indicato il grado di potenziale pericolosità.

La Scala Torino impiega dei numeri da 0 a 10: lo zero significa che un oggetto non ha probabilità di collidere con la Terra mentre il dieci indica la collisione certa con ripercussioni su scala globale.

Scala Torino

Un evento viene classificato valutando due fattori:
la probabilità che avvenga la collisione e l'energia cinetica posseduta dall'oggetto.

Un oggetto in grado di avvicinarsi più volte alla Terra potrà avere distinti valori nella Scala, uno per ciascuno dei suoi passaggi ravvicinati.

C'è da sottolineare che la classificazione di un evento non è mai un fatto stabilito una volta per tutte: la posizione assegnata ad un evento nella Scala è soggetta a mutare con il passare del tempo.

Il cambiamento dipende dall'affinamento della nostra conoscenza dell'orbita e in genere la classe in cui viene inserito l'oggetto scende a zero.

È quasi impossibile il contrario: un oggetto classificato fin dall'inizio di grado zero ben difficilmente potrà cambiare con il tempo questa sua collocazione.

Scala Palermo

La **Scala Palermo** è una scala logaritmica usata per valutare il rischio di impatto di NEO che prende il nome dalla città siciliana.

La scala combina in un singolo valore sia la probabilità di impatto, sia l'energia cinetica che verrebbe liberata nell'impatto stesso, e quindi il danno causato.

Un valore 0 indica un rischio equivalente al **rischio di fondo** (definito come il rischio medio che un altro oggetto maggiore o uguale possa impattare la Terra nello stesso periodo, cioè fino al tempo del possibile impatto).

Un valore +2 indica un rischio 100 volte maggiore del rischio di fondo.

Il valore P della Scala Palermo, è definito come il logaritmo in base 10 del rapporto della probabilità di impatto p_i , con il rischio di fondo nel tempo (in T anni) che intercorre al possibile impatto:

$$P = \log \frac{p_i}{f_B T}$$

Scala Palermo

Il rischio di fondo annuo, cioè la frequenza annua di un impatto, è definito come:

$$f_B = 0.03E^{-0.8}$$

dove E indica l'energia dell'impatto misurata in megatoni.

Valori inferiori a -2 si riferiscono ad eventi per i quali non ci sono conseguenze, mentre i valori compresi tra -2 e 0 indicano situazioni che meritano un attento monitoraggio.

Valori positivi della scala di Palermo in genere indicano situazioni che meritano un certo livello di preoccupazione.

Scala Torino e scala Palermo

Ad oggi, secondo i responsabili del Near Earth Object Program della NASA (<http://neo.jpl.nasa.gov/neo/>), ci sono due soli oggetti che nella scala Torino sono a rischio 1:

2001 AG5 di 140 m di diametro che ha una probabilità di impatto tra il 2040-2047 di $2 \cdot 10^{-3}$

2007 VK184 di 130 m di diametro che ha una probabilità di impatto tra il 2048-2057 di $5,7 \cdot 10^{-4}$.

2001 AG5 detiene anche il valore massimo sulla Scala Palermo (-1,0).

Per un breve periodo nel dicembre 2004, l'asteroide **(99942) Apophis (2004 MN4)**, un asteroide roccioso di circa 300 m, detenne il record nella Scala Palermo, con un valore di 1,12 per una possibile collisione nell'anno 2029.

Tale valore indicava che la probabilità di collisione con questo asteroide era considerata 12,6 volte maggiore del rischio di fondo: 1 su 37 invece che 1 su 472.

Con successive osservazioni la possibilità di impatto nel 2029 è stata scartata, ma a marzo 2006 lo stesso asteroide ha raggiunto il valore $-1,4$ nella Scala Palermo per una possibile collisione nell'anno 2036.

Oggi per un impatto tra il 2036 e il 2103 viene data una probabilità di $7,4 \cdot 10^{-6}$ con un valore nella scala Palermo di -2.97

(99942) Apophis (2004 MN4)

Venerdì 13 aprile 2029 Apophis passerà a circa 30000 km dalla Terra e sarà ben visibile da tutta l'Europa come una stellina di terza magnitudine che si muove nella costellazione del Cancro ad una velocità superiore a 40° al l'ora.

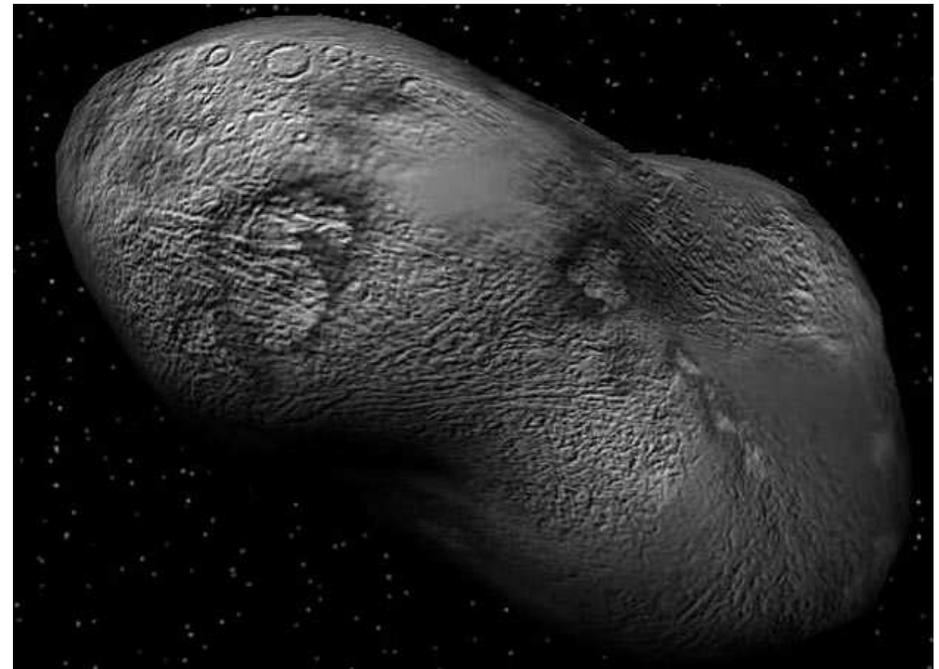
Qualora Apophis, nei suoi incontri successivi con la Terra vi cadesse sopra, svilupperebbe una energia di circa 1 Gton = 65 000 la bomba di Hiroshima.

Se cadesse sulla terra ferma creerebbe un cratere di diametro compreso tra 3 e 6 km.

Se cadesse in mare formerebbe un tsunami con onde di un centinaio di metri.

L'impatto che formò il Meteor Crater (circa 50000 anni fa) liberò una energia di circa 10 Mton, l'eruzione del vulcano Krakatoa nel 1883 fu equivalente a circa 200 Mton.

Una rappresentazione
artistica di Apophis



Le estinzioni di massa

Nella storia della Terra si sono riscontrate alcune **estinzioni di massa**.

Una estinzione di massa, è un periodo geologicamente breve durante il quale vi è un massiccio sovvertimento dell'ecosistema terrestre, con scomparsa di un grande numero di specie viventi e sopravvivenza di altre che divengono dominanti.

Si sono osservati almeno cinque grandi picchi di estinzione (chiamate anche big five), intervallate l'una dall'altra rispettivamente da circa 69, 124, 71 e 115 milioni di anni.

Marine Genus Biodiversity: Extinction Intensity

Ordoviciano-Siluriano

(circa 450 milioni di anni fa)

Tardo Devoniano

(circa 377 milioni di anni fa)

Permiano-Triassico

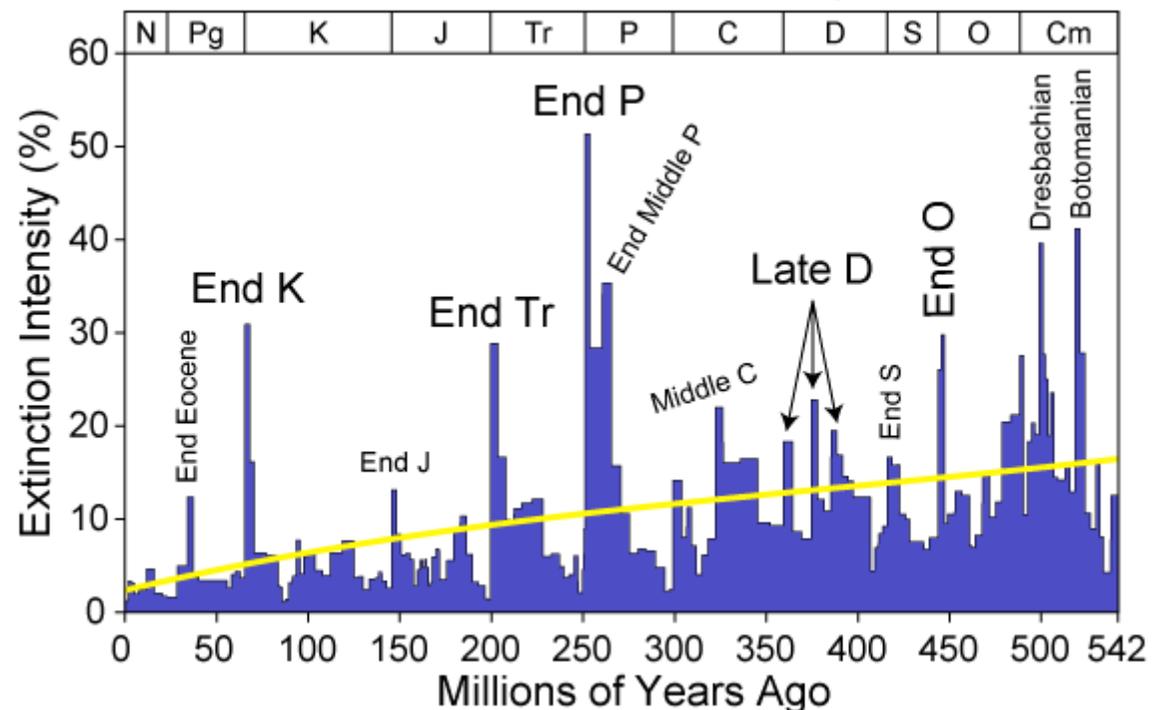
(circa 251 milioni di anni fa)

Triassico-Giurassico

(circa 203 milioni di anni fa)

Cretaceo-Terziario

(circa 66 milioni di anni fa)



Le estinzioni di massa

Ordoviciano-Siluriano (circa 450 milioni di anni fa)

In un periodo di tempo di pochi milioni di anni, probabilmente a causa di imponenti glaciazioni, il livello marino si abbassò drasticamente causando l'estinzione di molte specie marine.

Depositi glaciali di questo periodo sono stati trovati anche nel deserto del Sahara, suggerendo un drastico raffreddamento del clima mondiale.

Si pensa che, a causa della deriva dei continenti, il supercontinente Gondwana, sia transitato vicino al Polo Sud e abbia causato una prolungata glaciazione.

Si stima che l'estinzione abbia riguardato circa l'85% delle specie allora esistenti tra invertebrati e pesci primitivi.

Secondo una recente ipotesi, avanzata da Prof. Adrian L. Melott dell'Università del Kansas, questa estinzione di massa sarebbe stata causata da lampi di raggi gamma dovuti all'esplosione di una supernova relativamente "vicina" (qualche migliaio di anni luce) particolarmente massiccia, che avrebbe causato gravissimi squilibri nella catena alimentare e nel clima.

Le estinzioni di massa

Tardo Devoniano (circa 377 milioni di anni fa)

Al passaggio Frasniano-Famenniano (Devoniano superiore) si verificò un'estinzione di massa che interessò una percentuale stimata in circa l'82% delle specie viventi.

Anche se alcuni ricercatori suggeriscono come causa dell'estinzione alcuni impatti asteroidali, non dovrebbe essersi trattato di un evento improvviso in quanto le estinzioni si svilupparono durante un periodo di circa 3 milioni di anni.

Le estinzioni di massa

Permiano-Triassico (circa 251 milioni di anni fa)

Si tratta sicuramente dell'estinzione di massa più catastrofica di tutti i tempi; circa il 96% delle specie animali marine si estinse e complessivamente scomparve il 50% delle famiglie animali esistenti.

Secondo alcuni ricercatori questa estinzione avvenne in un periodo rapidissimo, secondo altri invece si sono verificati tre o più episodi durante un periodo di tempo di circa 3 milioni di anni.

Nel sottosuolo australiano è stato scoperto recentemente un antico cratere da impatto, largo circa 120 chilometri, che risale all'epoca della grande estinzione.

Alcuni scienziati sono convinti che a provocare l'estinzione sia stato un episodio di vulcanismo intenso che si è verificato proprio 250 milioni di anni fa.

Recentemente, una prova all'ipotesi del meteorite è stata fornita dall'enorme cratere della Terra di Wilkes di 450 km di diametro rilevato in Antartide che sembra risalire proprio a 250 milioni di anni fa.

La scoperta è avvenuta grazie al satellite della Nasa Grace.

Le estinzioni di massa

Un'ulteriore ipotesi, proposta recentemente, prevede che al seguito del periodo di intenso vulcanismo la percentuale di anidride carbonica presente in atmosfera potesse essere aumentata oltre un valore limite stimato in 1000 ppm.

In conseguenza di ciò le acque dei mari sarebbero diventate estremamente acide liberando nell'aria bolle di gas venefico su tutto il pianeta.

Il gas avrebbe avuto in seguito effetti deleteri anche sullo scudo dell'ozono.

Questa ipotesi sembra giustificare l'enormità dell'estinzione in ambiente marino e, di conseguenza, poi in ambiente terrestre.

Le estinzioni di massa

Triassico-Giurassico (circa 203 milioni di anni fa)

Al termine del Triassico, la temperatura salì di circa 5 gradi Celsius e si estinse circa il 76% delle specie viventi.

Tra le cause proposte per spiegare questa estinzione, oltre a impatti di corpi extraterrestri, ricordiamo variazioni climatiche verso una crescente aridità, variazioni del livello del mare e diffusa anossia dei fondi marini a causa della divisione di Pangea o, con l'ultima ipotesi in ordine di tempo, rilascio di grandi quantità di metano dal fondo degli oceani, come suggerirebbe una recente ricerca sviluppata da Antony Cohen e colleghi della Open University.

Nel corso dei successivi 150.000 anni, il riscaldamento globale del pianeta ha provocato un aumento dell'erosione delle rocce sulla superficie terrestre di almeno un 400%, causando reazioni chimiche che consumarono il biossido di carbonio in eccesso ponendo fine al riscaldamento globale.

Le estinzioni di massa

Cretaceo-Terziario (circa 66 milioni di anni fa)

Al limite Cretaceo-Terziario è stimata l'estinzione di circa il 76% di tutte le specie viventi, compresi i dinosauri (una linea dei quali, tuttavia, sopravvive ancora oggi, rappresentata dagli uccelli).

La causa di questa estinzione rimase un mistero a cui si diedero le spiegazioni più diverse e assurde, finché, nel 1980, il premio Nobel per la chimica Luis Alvarez, suo figlio Walter e Frank Asaro misurarono in alcuni livelli geologici risalenti al limite K-T (abbreviazione per Cretaceo-Terziario) trovati vicino a Gubbio, la presenza di una concentrazione insolita di iridio, un elemento chimico piuttosto raro sulla Terra, ma comune nelle meteoriti.

Si avanzò pertanto l'ipotesi che l'estinzione di massa fosse stata provocata dall'urto con un meteorite.



Limite K-T di Gubbio

Le estinzioni di massa

Tra gli anni 1980 e 1990 si sono trovati una serie di indizi che hanno portato alla scoperta di un'enorme struttura circolare sotterranea situata nella penisola dello Yucatan, vicino alla città di Puerto Chicxulub presso Mérida.

Lo studio su questo cratere ha portato alla conclusione che il meteorite che avrebbe colpito la Terra alla velocità stimata di 30 km/s, avrebbe avuto un diametro di almeno 10 km e avrebbe liberato un'energia pari a 10.000 volte quella generabile da tutto l'arsenale nucleare ai tempi della guerra fredda.

Secondo la rivista *Le Scienze*, Paul Renne nel 2008 e altri ricercatori dell'Università della California a Berkeley e del Berkeley Geochronology Center, grazie a una nuova e sofisticata tecnica di datazione sono riusciti a ridurre l'incertezza nella misurazione dal 2,5 al 0,25 %. Questo ha permesso di fornire la più precisa datazione assoluta anche per l'estinzione del Cretaceo, ora stimata in 65,95 milioni di anni fa, con un margine d'errore di 40.000 anni.

Le estinzioni di massa

Un'altra possibile struttura candidata a essere la testimonianza dell'impatto di un corpo celeste con la terra, provocando l'estinzione di fine cretaceo è il cratere di Shiva, oggi localizzato sul fondo dell'oceano Indiano, a ovest di Mumbai.

Il suo cratere, dal diametro di circa 500 km, sarebbe stato prodotto da un meteorite avente un diametro di circa 40 km.

Analisi geochimiche, svolte in una sequenza argillosa Paleogenica trovata a Kulstirenden in (Danimarca) e depostasi immediatamente al di sopra del limite K-T, indicano che la produttività biologica marina riprese dopo un centinaio di anni.

Le estinzioni di massa

Piccole estinzioni

Oltre alle grandi estinzioni vi sono stati periodi in cui si sono verificate estinzioni di minore entità.

Tra le piccole estinzioni si possono annoverare quelle avvenute 2, 11, 35-39, 90-95 e 170 milioni di anni fa.

Per spiegare queste estinzioni, che presentano una certa ciclicità, sono state proposte diverse ipotesi alcune delle quali legate a fenomeni astronomici.

Una suggerisce che il ciclo di estinzioni sia stato causato da una non ancora osservata stella binaria compagna del Sole chiamata Nemesis. Essa, periodicamente, influirebbe sulla Nube di Oort causando la deviazione di diverse centinaia o migliaia di asteroidi e comete verso il Sole (e di conseguenza verso la Terra) una volta ogni 26 milioni di anni.

Un'altra, nota come ipotesi di Shiva, suggerisce che nel suo moto intorno al centro della Galassia, il Sistema Solare oscilli ciclicamente attraverso il piano galattico e ciò, a causa dell'attraversamento di regioni più densamente ricche di polveri e gas interstellari, provochi un anomalo e intenso flusso cometario verso il sole.

Tunguska

Il 30 giugno 1908 alle 7 del mattino, ora locale, in Evenkia, “una palla di fuoco brillante come il Sole” discese fino a 8 km di altezza dove ebbe luogo un’immense esplosione, mentre una nube di fumo si levava in una regione compresa tra i fiumi Nizhnjaja Tunguska (Tunguska Inferiore) e Pokkamennaja Tunguska (Tunguska Pietrosa).

La palla di fuoco fu vista entro un raggio di 1 500 km, un’onda sismica fu registrata in tutta l’Eurasia, mentre l’onda di pressione atmosferica effettuò il giro del pianeta.

La foresta venne rasa al suolo per oltre 2000 km² con 60 milioni di alberi abbattuti.



L' ECATOMBE DI ALBERI,
SRADICATI COME FIAMMIFERI
DAL GIGANTESCO
SPOSTAMENTO D' ARIA.



LA FORESTA "PIETRIFICATA", A
TESTIMONIANZA DEL
CATACLISMA AVVENUTO IL
SECOLO SCORSO.



COME SI PRESENTA AI GIORNI
NOSTRI, LA FORESTA DI
TUNGUSKA

Tunguska

Se l'oggetto di Tunguska fosse esploso sulla verticale di Macerata???
La linea nera segna una regione identica a quella distrutta nell'evento Tunguska.



Che fare ?

Se un asteroide si avvia ad un impatto sulla Terra e ce ne accorgiamo in tempo, possiamo pensare a diverse strategie di intervento

- **La distruzione totale dell'asteroide, mediante esplosivi.**
Non funziona: per la polverizzazione occorrerebbe una energia enorme, migliaia o milioni di Mton.
- **Una possibile mitigazione legata alla frammentazione del corpo in più corpi, sempre mediante esplosivi.**
Forse fattibile, ma non è detto che le conseguenze siano minori: quello che conta nell'impatto è l'energia totale in circolazione, e quella non cambia.
- **Devviare l'asteroide, con varie possibili tecniche**
Esplosione a lato, o altro, questa potrebbe funzionare.

Cosa ci vuole per la deviazione

Sicuramente bisogna saperne di più sulla natura dell'asteroide.
Non è lo stesso se è un corpo monolitico o un conglomerato, una cometa o un
asteroide.

Anche la composizione chimica può contare.

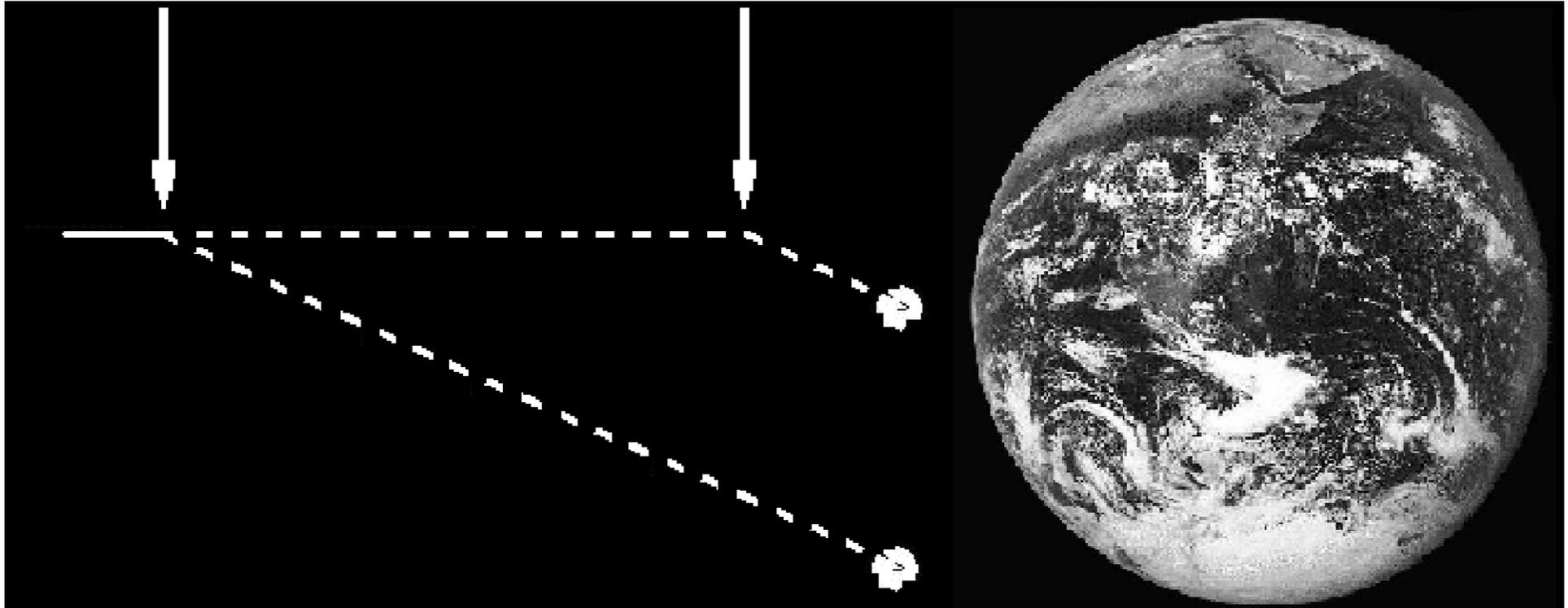
Studi fisici
(spettroscopia, proprietà rotazionali, studi radar, ecc.)

Ma soprattutto ...

...è assolutamente indispensabile prevedere l'impatto con un congruo anticipo
(dell'ordine di almeno dieci anni).

Una deviazione è efficace se effettuata con molto anticipo.
Altrimenti occorre una deviazione molto grande e una energia (di nuovo) enorme.

Cosa ci vuole per la deviazione



Più lontano si interviene e meno energia bisogna spendere per deviare un eventuale oggetto impattatore.

Cosa ci vuole per la deviazione

Per arrivare in tempo occorre:

Studiarne sistematicamente l'orbita per prevedere i possibili impatti.

Scoprire tutti i possibili asteroidi pericolosi.

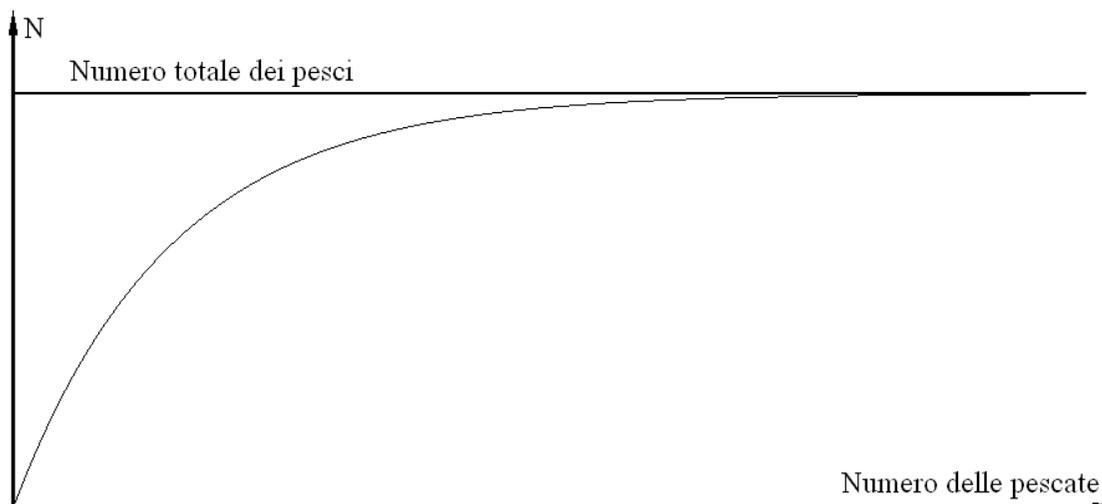
Il primo problema è in realtà il più semplice. Una volta scoperto un asteroide (e di questo parleremo poi) si definisce una orbita di prova, con una certa incertezza. Dei sistemi automatizzati (come Neodys, a Pisa) ne calcolano l'orbita anche tenendo conto dei possibili errori e assegnano una probabilità di impatto per un certo numero di anni. Se è diversa da zero si cercano in archivio o si programma nuove osservazioni, per una migliore definizione dell'orbita.

Il problema di scoprirli tutti

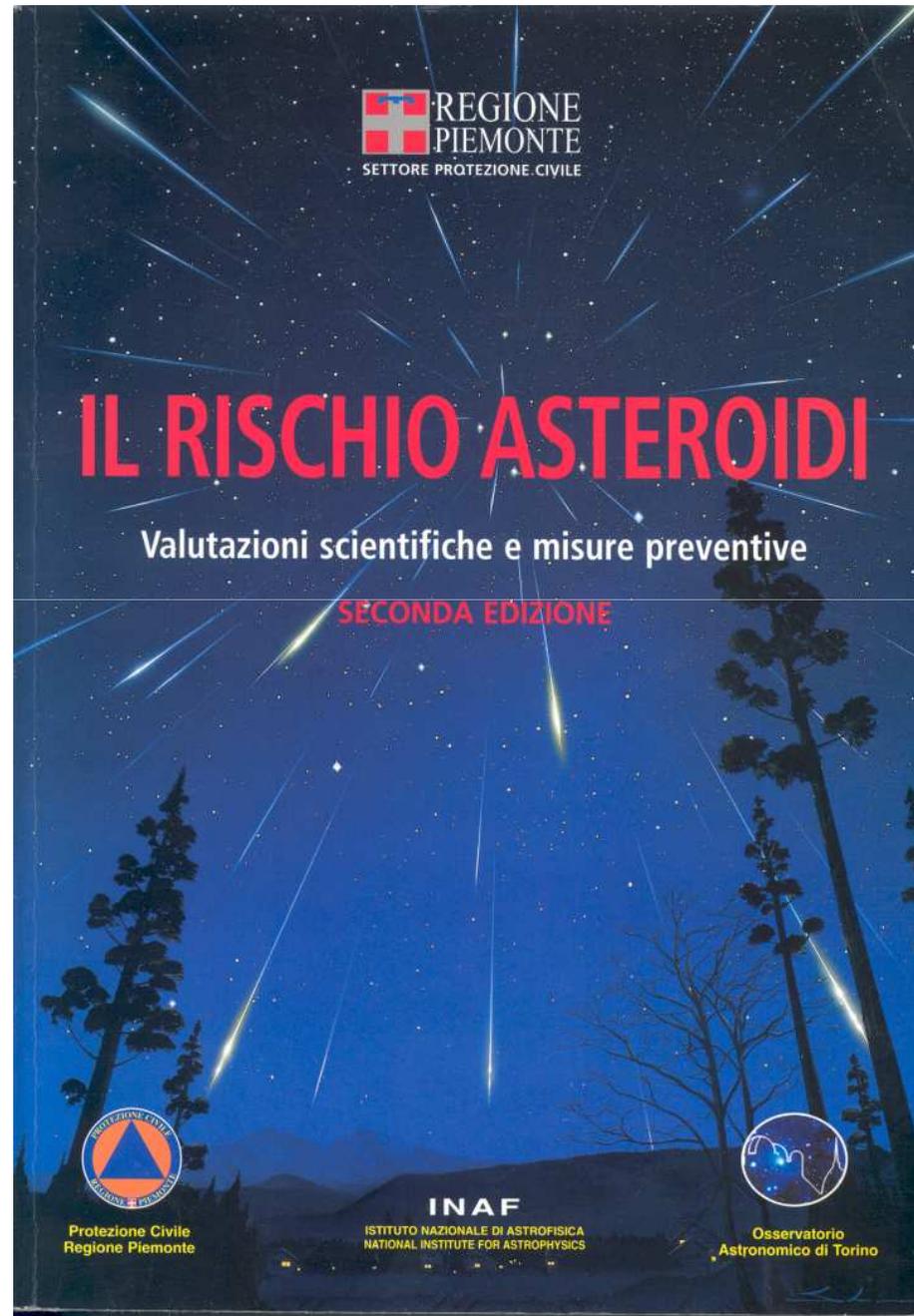
Motivati anche dalla valutazione del pericolo potenziale, anche organismi governativi e parlamentari hanno chiesto alla comunità scientifica di scoprire tutti i possibili oggetti pericolosi.

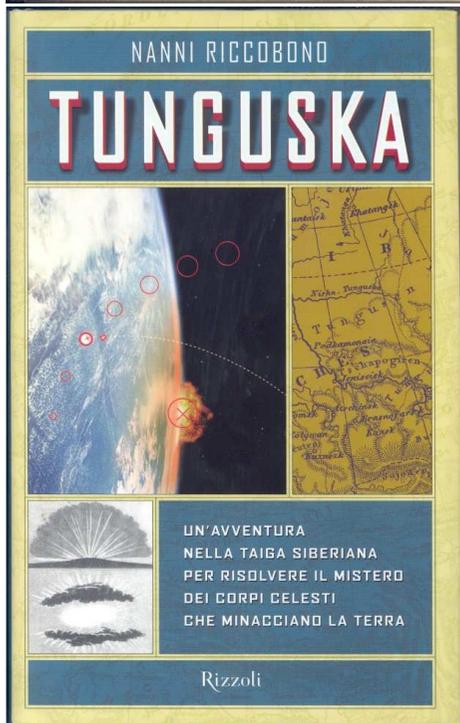
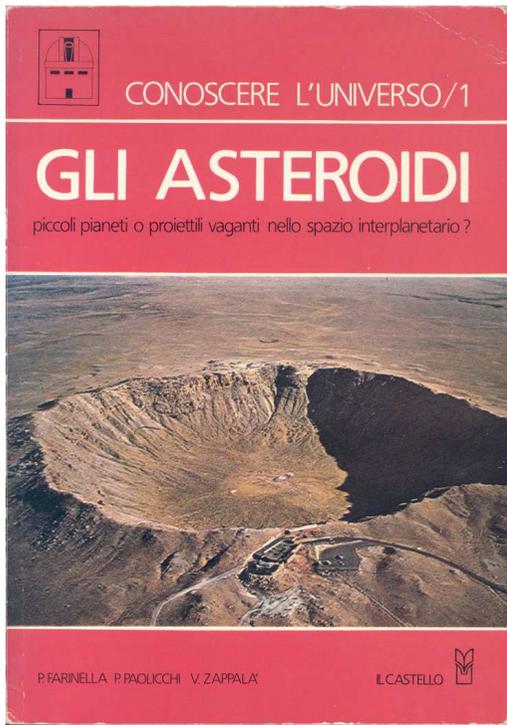
Gli americani vorrebbero scoprire tutti o quasi quelli pericolosi da un chilometro nel giro di pochi anni, con una campagna già molto avanti.

Per capire come si può fare utilizziamo un'analogia: se vogliamo sapere quanti pesci ci sono in un laghetto li possiamo pescare con un retino e, dopo averli contrassegnati con una croce, ributtarli in acqua. Continuando in questo modo, ad un certo punto inizieremo a ripescare pesci contrassegnati, che saranno tanti di più quante più volte effettuiamo la pesca. Un po' di matematica ci permetterà di stabilire quanti sono i pesci in tutto; all'aumentare del numero delle pescate, il numero di nuovi pesci diminuisce sempre più.

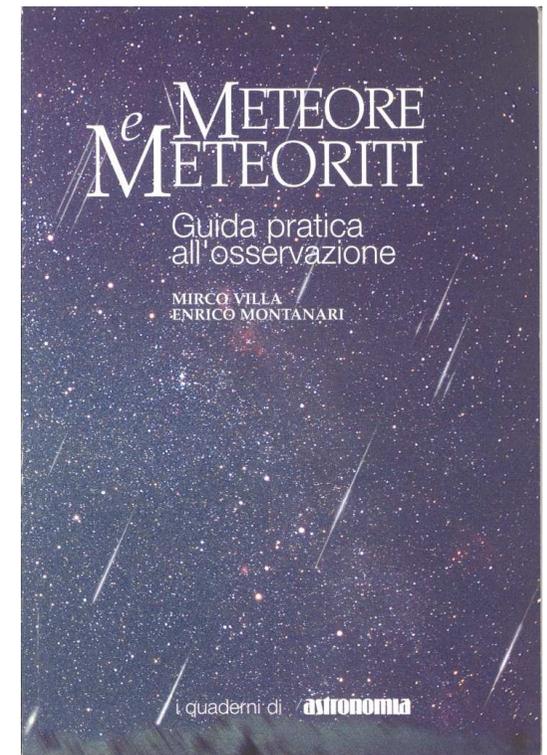
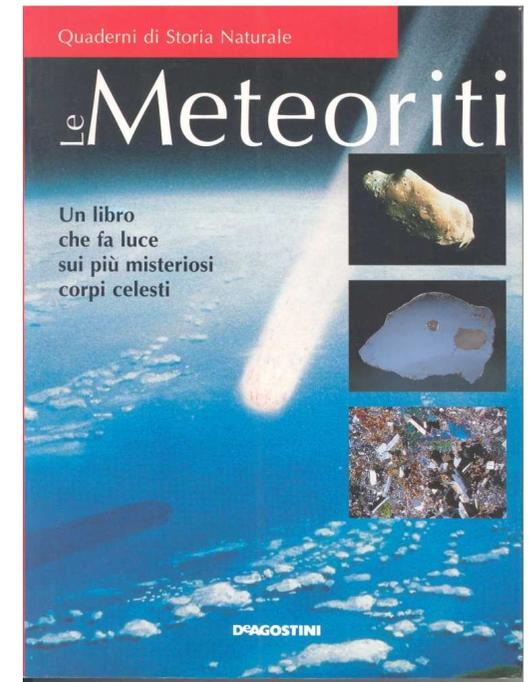
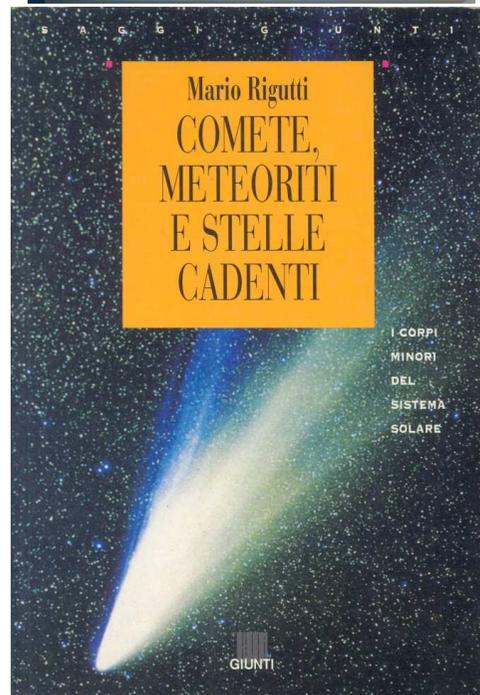


Principale testo di riferimento





Altri testi



*Grazie per la pazienza e
l'attenzione*

FINE