* NOVA *

N. 2527 - 9 MARZO 2024

ASSOCIAZIONE ASTROFILI SEGUSINI

NESSUNO TOCCHI APOPHIS

Il 13 aprile 2029 l'asteroide Apophis, di circa 350 metri di diametro, farà un passaggio ravvicinato con la Terra, portandosi all'interno delle orbite dei satelliti geostazionari. La probabilità di collisione con la Terra è zero. Tuttavia questo vale nell'ipotesi che Apophis non venga colpito da altri asteroidi che dovesse incontrare sul suo cammino da qui al 2029. Potrebbe accadere? La risposta è teoricamente sì, ma non accadrà. Ecco perché.
Da MEDIA INAF *del 7 marzo 2024 riprendiamo, con autorizzazione, un articolo di Albino Carbognani.*



Il Kitt Peak National Observatory in Arizona, da dove nel 2004 è stato scoperto Apophis.
Crediti: Kpno/Noirlab/Nsf/Aura/B. Tafreshi Photo

Il 19 giugno 2004, quasi 20 anni fa, Roy Tucker, David Tholen e Fabrizio Bernardi dall'osservatorio di Kitt Peak (Arizona) scoprirono l'asteroide *near-Earth* 2004 MN4, ora noto come (99942) Apophis. Questo asteroide, per diversi mesi dopo la scoperta, **è stato il corpo minore con la più alta probabilità di impatto con la Terra**, che **crollò a zero** appena fu possibile disporre di un numero sufficiente di osservazioni astrometriche. Dal punto di vista dinamico l'asteroide si muove su un'orbita inclinata di pochi gradi sul piano dell'eclittica con un semiasse maggiore di 0,9227 unità astronomiche (au) e un'eccentricità di 0,1914 che viene percorsa in circa 324 giorni. Questo significa che al perielio l'asteroide arriva fino a 0,746 au dal Sole, mentre all'afelio si porta a 1,099 au. Come si vede si tratta di un asteroide su un'orbita di tipo Aten, come tale trascorre la maggior parte del tempo all'interno dell'orbita terrestre ed è per questo motivo che le osservazioni astrometriche sono difficili: per lo più l'asteroide è troppo vicino al Sole per poter essere osservato agevolmente.

Dalla meccanica celeste sappiamo che **non vi è alcun rischio che Apophis possa colpire il nostro pianeta per almeno un secolo**, anche se la sera del **13 aprile 2029** alle 21:46 Utc, l'asteroide passerà a circa **37400 km dal centro della Terra**. Considerate le dimensioni non indifferenti, circa **350 metri di**

La *Nova* è pubblicazione telematica aperiodica dell'A.A.S. - Associazione Astrofili Segusini APS di Susa (TO) riservata a Soci e Simpatizzanti.
È pubblicata senza alcuna periodicità regolare (v. Legge 7 marzo 2001, n. 62, art. 1, comma 3) e pertanto non è sottoposta agli obblighi previsti della Legge 8 febbraio 1948, n. 47, art. 5.
I dati personali utilizzati per l'invio telematico della *Nova* sono trattati dall'AAS secondo i principi del *Regolamento generale sulla protezione dei dati* (GDPR - Regolamento UE 2016/679).
www.astrofilisusa.it

diametro, e la distanza ridotta Apophis potrà essere **visto in cielo, a occhio nudo**, brillante come una stella di terza grandezza e in sensibile movimento sulla sfera celeste: **sarà il primo asteroide a essere chiaramente visibile a occhio nudo**.

In attesa del *flyby* di Apophis possiamo riflettere sul fatto che la frase "Apophis non colliderà con la Terra per almeno un secolo", vale solo nell'ipotesi – sottointesa – che non ci siano "interferenze" da parte di altri corpi minori del Sistema solare. Di solito, quando si propaga la posizione di un asteroide avanti nel tempo, si tiene conto sia della gravità del Sole, sia di quella dei pianeti e degli asteroidi maggiori e anche dell'effetto della radiazione solare, ma nelle simulazioni numeriche non si includono tutti i corpi minori noti. In effetti questi ultimi potrebbero anche collidere con il nostro asteroide e cambiarne l'orbita, com'è avvenuto a Dimorphos quando è stato colpito dalla sonda Dart della Nasa. Potrebbe succedere una cosa del genere ad Apophis? **Potrebbe, la collisione con un altro asteroide, immettere Apophis su un'orbita di impatto con la Terra?** Si tratta di un evento assai improbabile, ma considerate le dimensioni ragguardevoli di Apophis e la ridotta distanza del *flyby* con la Terra meglio esserne davvero sicuri. Tanto più che non è solo un problema di collisione diretta di Apophis con un altro asteroide: anche i passaggi ravvicinati potrebbero essere rischiosi per l'eventuale presenza di satelliti o massi, dovuti a una precedente collisione o a un'attività di superficie dell'asteroide principale.

Questa è la domanda che si è posto l'astronomo **Paul Wiegert** del Dipartimento di fisica e astronomia dell'Università del Western Ontario (Canada) che, insieme al collega **Ben Hyatt** (Università di Waterloo, Canada), ha cercato di ottenere una risposta. Il problema, in linea di principio, è apparentemente facile: si prendono tutti i corpi minori conosciuti (circa 1,3 milioni fra asteroidi e comete), e se ne propaga in avanti nel tempo l'orbita per vedere se da qui al *flyby* del 2029 ne esiste qualcuno che possa trovarsi a distanza ravvicinata con Apophis. Dal punto di vista pratico una cosa del genere richiederebbe tantissimo tempo computazionale, quindi bisogna prima di tutto ridurre il numero dei potenziali asteroidi che possono interferire con Apophis. Wiegert e Hyatt hanno preso in considerazione due cataloghi di corpi minori: lo Small-Body Database, mantenuto dal Jet Propulsion Laboratory della Nasa (con 1,3 milioni di asteroidi e comete) e il NeoDyS-2 database, mantenuto dalla SpaceDyS di Pisa per conto dell'Esa (con circa 32mila oggetti *near-Earth*). Da questi cataloghi sono stati subito eliminati asteroidi e comete che non possono intersecare l'orbita di Apophis perché hanno il perielio più grande dell'afelio del nostro o viceversa. Questa prima scrematura ha ridotto il catalogo del Jpl a circa 30mila oggetti che sono stati analizzati ulteriormente, insieme a tutti quelli di NeoDyS-2, calcolandone la Moid (Minimum Orbit Intersection Distance) con l'orbita di Apophis. Alla Moid, la distanza minima che possono raggiungere due corpi che si muovono su orbite diverse, è stato posto un limite superiore a 0,001 au: tutti i corpi minori con Moid superiore a questo limite (pari a circa 150mila km), sono stati eliminati. In questo step gli elementi orbitali di ciascun oggetto sono stati mantenuti costanti, ossia sono state trascurate le perturbazioni gravitazionali dei pianeti. Così sono rimasti **376 oggetti del catalogo Jpl e 396 del catalogo NeoDyS-2, con 322 comuni alle due liste**. A questo punto sono state propagate numericamente le orbite nel futuro (stavolta tenendo conto delle perturbazioni gravitazionali planetarie, ma senza includere l'effetto Yarkowsky) usando duemila cloni per ogni asteroide generati dalla matrice di covarianza, in modo tale da tenere in dovuto conto le incertezze orbitali intrinseche per ogni asteroide. Dalle simulazioni numeriche sono stati estratti **solo gli asteroidi aventi almeno un clone con una Moid inferiore a 10mila km** rispetto all'orbita di Apophis e con una differenza di tempo di volo, inferiore a 12 ore. Il tempo di volo è il tempo per andare dalla posizione corrente alla Moid, quando la differenza è zero si ha la collisione.

L'unico asteroide che ha ben mille cloni che rispettano queste condizioni in entrambi i database è risultato il *near-Earth* (4544) Xanthus per il 25 dicembre 2026, con una Moid di 9600 km e una differenza di tempo di volo di -4 ore: Xanthus, che ha un diametro stimato di 1,3 km, passerà alla Moid 4 ore dopo Apophis e la distanza minima fra i due asteroidi sarà di oltre 500mila km. Non esistono satelliti noti per Xanthus, e anche se ci fossero sarebbero troppo vicini al corpo principale per poter collidere con Apophis. Inoltre si tratta di un asteroide che non si è mai mostrato attivo e anche la perturbazione gravitazionale che eserciterà su Apophis nel passaggio alla minima distanza avrà effetti trascurabili. Dai calcoli sono usciti altri asteroidi che rispettano i criteri di cui sopra, come 2009 JG2, 2016 FB12, 2022

KN3 o 2016 CL18, ma le probabilità di collisione sono in tutti i casi zero. Eventualmente questi asteroidi potranno essere osservati per vedere se si tratta di asteroidi attivi che possano avere disseminato l'orbita con massi di varie dimensioni che possano colpire Apophis, ma la probabilità è estremamente bassa. In sostanza, fino al 2029 possiamo stare tranquilli; Apophis non devierà dalla sua orbita per effetto di collisioni con altri corpi minori noti.

Naturalmente noi **non conosciamo tutti i corpi minori del Sistema solare**. Ad esempio si stima che i piccoli asteroidi *near-Earth* di qualche metro di diametro siano circa **un paio di miliardi**. Si tratta di asteroidi che colpiscono la Terra e si disintegrano in atmosfera in media ogni due settimane e che in qualche caso vengono scoperti poche ora prima di colpire il nostro pianeta, come è successo recentemente per 2023 CX1 e 2024 BX1. In effetti Apophis potrebbe collidere con un asteroide ancora sconosciuto di piccole dimensioni e questo potrebbe cambiare l'orbita quel tanto che basta per collidere con la Terra nel 2029. Quanto è probabile uno scenario del genere? Considerato che il rapporto fra la "sezione d'urto" della Terra e di Apophis è circa un miliardo **possiamo aspettarci una collisione di Apophis con i piccoli asteroidi *near-Earth* circa una volta ogni 10 milioni di anni**. Anche l'imprevisto è assai improbabile, per quanto riguarda Apophis si può stare tranquilli.

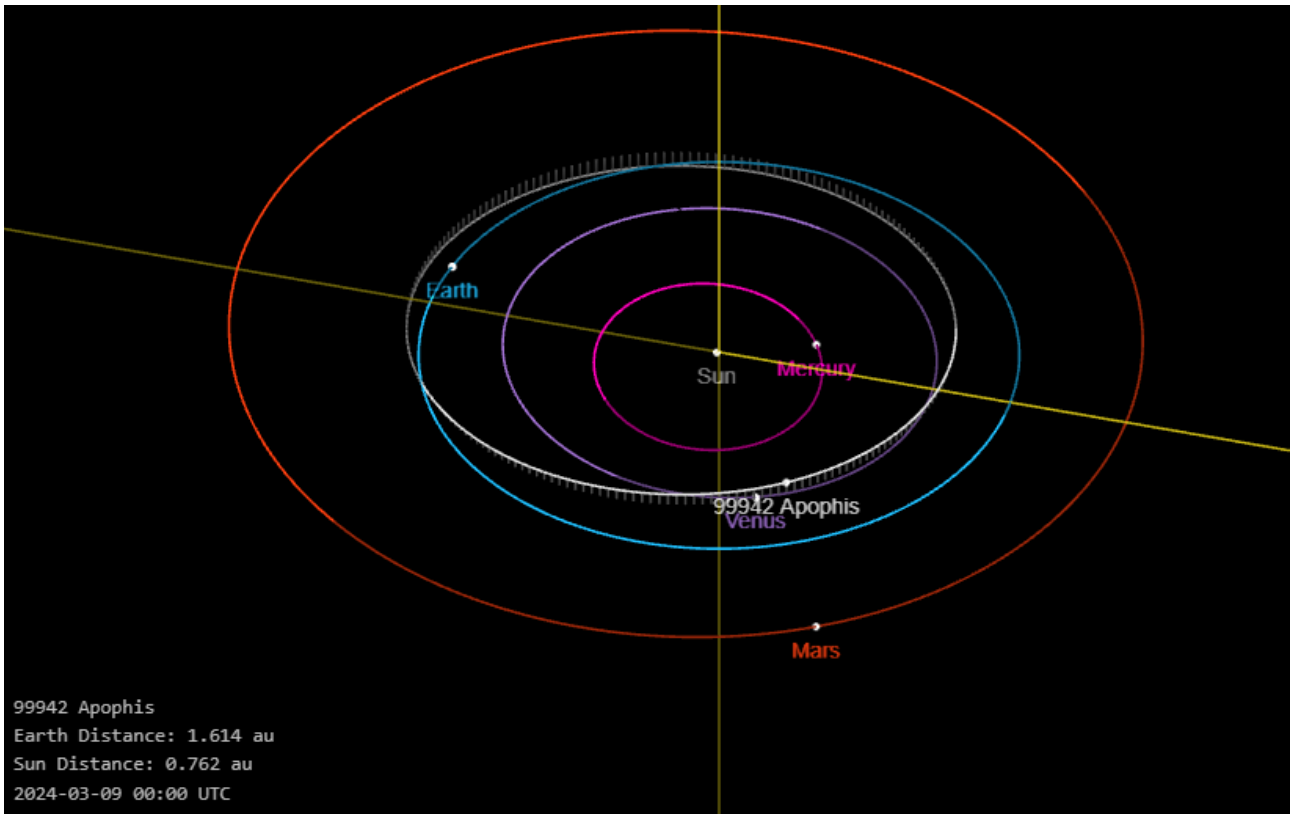
Albino Carbognani

https://www.media.inaf.it/2024/03/07/nessuno-tocchi-apophis/

Preprint dell'articolo di Paul Wiegert e Ben Hyatt, in uscita su *Planetary Science Journal*, "Encounter circumstances of asteroid 99942 Apophis with the catalogue of known asteroids"

https://science.nasa.gov/solar-system/asteroids/apophis/

https://www.space.com/nasa-asteroid-apophis-approach-earth



L'orbita di (99942) Apophis, da JPL - Solar System Dynamics
https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=99942&view=VOP

V. anche:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/03/Earth_s_gravity_will_alter_Apophis_orbit_during_2029_flyby