

L'asteroide 2018 WV1 un frammento lunare?

The asteroid 2018 WV1 could be a lunar fragment?

Abstract

The asteroid 2018 WV1 could be a lunar fragment ejected following an impact. Orbital parameters, $a = 1.039$, $e=0,060$, $incl. = 1,653^\circ$, $H=30.2$, and the low speed of encounter with the Earth of ~ 1.88 km/s, fit with the assumption.

Introduzione

L'attività di ricerca di nuovi asteroidi è ormai appannaggio quasi esclusivo delle grandi *Survey*, telescopi professionali che ogni notte scrutano porzioni di cielo alla ricerca di nuovi asteroidi e comete, ed in genere riescono ad effettuare 3-4 misure astrometriche per ogni oggetto scoperto. Pertanto, al fine di determinare anche solo in modo approssimativo l'orbita, sono necessarie ulteriori misure di posizione, e qui possono entrare in gioco gli astrofili. Con i loro strumenti e la loro flessibilità nel gestire il tempo osservativo, si possono dedicare al *follow-up* di questi oggetti, ottenendo importanti risultati e contribuendo in modo significativo al loro studio e caratterizzazione.

Un esempio tra tanti è la conferma, ovvero le prime misure di posizione effettuate dopo quelle degli scopritori, dell'ormai famoso primo oggetto interstellare 'Oumuamua [1], ottenuta dagli astrofili dell'osservatorio di San Marcello Piteglio (MPEC 2017-U181) [2], o come nel caso di comete dove gli astrofili segnalano la presenza della chio-

ma e/o coda, confermandone così la sua natura.

In questa attività la fanno da padrone i NEO (*Near-Earth Object*), asteroidi con perielio $q < 1.3$ UA, la cui orbita è vicina a quella della Terra. Ne sono stati catalogati più di 19 000 e di questi, 795 sono considerati a rischio di impatto. In genere quando vengono scoperti, sono sufficientemente lontani dalla Terra ma in alcuni casi possono passare tra l'orbita del nostro pianeta e la Luna ad una distanza inferiore a 384 000 km. Uno dei casi più eclatanti è l'asteroide 2008 TC3 [3] scoperto il 6/10/2008, 22 ore prima che andasse ad impattare nei cieli del Sudan. In quel caso si trattava di un oggetto di circa 5 metri che è esploso in atmosfera; anche in questo caso le misure ottenute dagli astrofili hanno contribuito a determinare con sufficiente precisione il punto di impatto, con il ritrovamento al suolo di alcuni piccoli frammenti.

La notte del 1 gennaio 2014 un piccolo asteroide di 3 metri denominato 2014 AA [4] fu scoperto dal *Catalina Sky Survey* (USA), ma non essendoci state misure di *follow-up*, è stato perso,



Paolo Bacci ^{1,2}
Martina Maestripietri ²

¹ UAI - Unione Astrofili Italiani
www.uai.it

² GAMP - Gruppo Astrofili Montagna
Pistoiese
www.gamp-pt.net





andando probabilmente ad impattare sopra il cielo dell'Oceano Pacifico poche ore dopo la sua identificazione.

Ci sono altri casi di asteroidi peculiari come il 2006 RH120 [5,6,7], che per un anno è stato considerato come la seconda Luna terrestre, progenitore della classe di asteroidi *Temporarily Captured Orbiters* (TCOs) [7] o *Easily Retrievable Objects* (ESOs) [8].

Il serbatoio dei NEO è la fascia principale (MBA - *Main Belt Asteroid*), una regione tra Marte e Giove dove orbitano circa il 90% degli asteroidi conosciuti.

Alcuni, a seguito delle influenze gravitazionali di Giove e Saturno e/o per le risonanze secolari, vengono deviati dalla loro orbita. In determinate circostanze si dirigono verso l'interno del Sistema Solare andando ad alimentare i NEO. Si presume, inoltre, che il 20% dei *Near Earth Object* sia composto da comete estinte [9].

Il ritrovamento di meteoriti di tipo HED (*Howardite Eucrite Diogenite*), il cui corpo progenitore è l'asteroide Vesta [10], o alcuni di origine marziana e lunare, sono la chiara dimostrazione che anche gli impatti tra corpi solidi del Sistema Solare hanno creato una nuvola di asteroidi di piccole dimensioni che ha alimentato la popolazione dei NEO.

I TCOs sono dei piccoli corpi con semiasse $a \sim 1.0$ UA, eccentricità $e \sim 0.0$ ed inclinazione $incl. \sim 0.0$. Si presume che la maggior parte di questi oggetti abbiano dimensioni di circa un metro con magnitudine assoluta $H > 29.5$ (corrispondente ad un diametro di 3-7 metri). Quindi si tratta di oggetti particolarmente difficili da osservare per la loro distanza geocentrica media da 4.3 a 5.7 LD (*Lunar Distance* circa 0.00275 UA) con una magnitudine $V \sim 23.1$. Inoltre, essendo vicini alla Terra, il loro moto orario è elevato, 12-15°/giorno, rendendo ancora più difficoltosa la loro identificazione.

L'asteroide più piccolo finora conosciuto è il 2008 TS26 [11], scoperto da Andrea Boattini, dal Catalina Sky Survey, Arizona (USA) che ha un valore di $H \sim 33.2$, con dimensioni inferiori ad un metro ed è stato osservato quando si trovava a sole 0.00011 UA.

I meteoriti lunari trovati sulla Terra sono diversi, la loro origine è dovuta ai numerosi impatti subiti dal nostro satellite nel passato, che hanno eiettato del materiale nello spazio a diverse velocità, andando così a formare una nube di detriti TCOs. Per poter essere espulso, un frammento deve avere una velocità di fuga > 2.38 km/s, (mentre quella della Terra è di 11.2 km/s), diversamente ricadrebbe sul suolo lunare [12].

Alcune simulazioni di impatti lunari [13] a bassa velocità (3 km/s; 5 km/s e 7 km/s) giungono alla conclusione che in base all'angolo di impatto (90° 60° e 45°) gran parte del materiale ($> 50\%$) ricada sulla Luna, mentre negli altri casi i frammenti vengono espulsi.

Il materiale eiettato può assumere un'orbita eliocentrica o posizionarsi su un'orbita simile a quella della Terra, effettuando periodicamente incontri con la stessa. Dopo centomila anni, alcuni frammenti si dirigeranno verso altri pianeti, mentre altri con periodo di 10 milioni di anni potrebbero ricadere sulla Terra.

Anche i NEO alimentano la popolazione dei TCOs e dai calcoli è stato determinato che c'è la possibilità dello 0.00001% per anno, che un tale oggetto possa essere catturato temporaneamente.

Apparentemente sembra una probabilità molto piccola, ma i NEO conosciuti con un diametro < 30 metri sono $\sim 3\,800$, una piccola frazione di tutti quelli scoperti, mentre ci si aspetta che oggetti di piccole dimensioni siano molto più numerosi di quelli più grandi: gli asteroidi di un metro dovrebbero essere $\sim 10^9$.

Il primo caso di un asteroide la cui origine potrebbe essere lunare è il 1991 VG [14]. Dalle simulazioni di meccanica celeste, effettuate analizzando i suoi elementi orbitali $e \sim 0.05$; $a \sim 1.03$ ed $incl. \sim 1.4$, le probabilità che l'oggetto provenga dalla fascia principale degli asteroidi è da escludersi, ed anche le risonanze secolari non convergono con questa ipotesi. Si poteva presumere che si trattasse, viste le sue dimensioni metriche, di un detrito di qualche missione spaziale ma in base alle osservazioni ed in particolare al valore dell'albedo, tale ipotesi fu esclusa da alcuni ricercatori. Altro parametro importante è il valore *Tisserand* [15] che in questo caso, e come vedremo più avanti per altri oggetti, è ~ 3 rispetto alla Terra, così come accade per quei corpi che hanno un simile valore rispetto a Giove, ad esempio le comete gioviane o le quasi-Hilda, che vengono temporaneamente catturate dal pianeta gassoso. Per cui l'ipotesi che 1991 VG sia un frammento eiettato da un grande impatto non è da escludersi, se non addirittura la più plausibile congettura.

Il ritrovamento di questo piccolo asteroide nel 2017 [16] da parte di O. Hainaut, D. Koschny, M. Micheli ha permesso di indagare ulteriormente sulla sua origine, anche se non si possono escludere le precedenti ipotesi. 1991 VG ha un'orbita simile alla Terra, ma non è co-orbitante; la sua orbita è caotica; secondo calcoli, nel 1992 per circa un mese è stato un satellite naturale della Terra; ha un'orbita inusuale per un NEO, ma simile a 2001 GP, 2008 UA202 e 2014 WA366; non si può escludere che si tratti di un satellite artificiale ma è molto improbabile; non è un artefatto alieno (come da qualcuno ipotizzato); per essere un frammento lunare dovrebbe essere stato generato da un impatto potente verificatosi almeno 1 miliardo di anni fa, e solo recentemente essere reinserito nell'orbita terrestre [17].

Un altro caso interessante di un oggetto candidato ad essere "minimoon" è l'asteroide 2018 AV2, [18,19]: inizialmente si pensava che fosse stato catturato nel 1980 in orbita terrestre, ma grazie a successive misure astrometriche è stato appurato che si trattava di un oggetto artificiale e quindi cancellato dall'elenco degli asteroidi con MPCs 109635¹ ed inserito nella *The Distant Artificial Satellites Observation Page* del *Minor Planet Center* (MPC) con la sigla ZA9872D = "2018 AV2".

Osservazione

La sera del 29/11/2018 nel corso dell'attività di *follow-up* dei NEOCP pubblicati sul sito del *Minor Planet Center*, dall'Osservatorio Astronomico della Montagna Pistoiese di San Marcello (MPC 104) utilizzando il telescopio da 0.60 m f/4 munito di CCD Apogee U6

1 Personale comunicazione con Williams Gareth, Responsabile del Minor Planet Center.



con dimensioni 1024x1024 pixel, risoluzione di 2"/pixel e un FOV 35'x35', viene osservato l'oggetto (immagine di icona pag. 29) con la sigla ZWOC3A5, scoperto poche ore prima dal telescopio *Catalina Sky Survey* (MPC 703) *Tucson Arizona* (USA), ed osservato da altri 3 osservatori per un totale di 18 misure di posizione. Sono state effettuate pose da 10 secondi in virtù del moto orario che era di 16.95"/min, con P.A. 270.2, e una luminosità di 19.5 magnitudine. Con la tecnica dello *stack and track*, le immagini ottenute sono state sommate sul moto dell'asteroide a gruppi di 15, per incrementare il SNR dell'oggetto ed avere così una migliore precisione, ottenendo tre misure astrometriche. Utilizzando il software *Find_orb* [20] al fine di verificare la coerenza dei residui delle misure effettuate, si ha la possibilità di ottenere i parametri orbitali ed alcune caratteristiche da esse derivate. L'asteroide, in quel momento, risultava avere un valore di eccentricità $e=0.122$, inclinazione di 0.760° , magnitudine assoluta $H=30.3$ (quindi un oggetto tra 1 e 5 metri), *Earth MOID* di 0.0004 UA e si trovava ad una distanza stimata di 470 000 km dalla Terra. In base ai dati ottenuti si evinceva che l'oggetto era in avvicinamento, con un'orbita circolare e che la sua velocità, relativa al moto terrestre, era di 2.7 km/s. Il giorno 02/12/2018 avrebbe raggiunto una distanza di 0.0002208 UA (33 031 km dalla Terra), come estrapolato dai dati pubblicati sul sito di NEODYs [21].

Le caratteristiche

Il 30/11/2018 il *Minor Planet Center* rilasciava la M.P.E.C. 2018-W81 [22] con la quale veniva annunciata la scoperta dell'asteroide NEO 2018 WV1 di tipo Apollo.

Successivamente sono state effettuate altre osservazioni che hanno migliorato i parametri orbitali di seguito riportati:

Epoch 2019 Apr. 27.0 TT = JDT 2458600.5 MPC
 M 169.01899 (2000.0) P Q
 n 0.93008050 Peri. 145.89323 +0.84490712
 -0.53425971 T = 2458418.77489 JDT
 a 1.0394151 Node 246.42188 +0.48411680
 +0.78475451 q = 0.9767056
 e 0.0603315 Incl. 1.65246 +0.22751457
 +0.31420842 Earth MOID = 0.00009 AU
 P 1.06 H 30.2 G 0.15 U 2

From 84 observations 2018 Nov. 29-Dec. 12, mean residual 0".37.

Estrapolando dal sito NEODYs le misure effettuate, sono stati determinati gli elementi orbitali con il software *Find_orb* utilizzando 78 osservazioni di 87.

Orbital elements: 2018 WV1

Perihelion 2018 Oct 25.946317 +/- 2.6e-5 TT
 = 22:42:41 (JD 2458417.446317)
 Epoch 2018 Dec 12.0 TT = JDT 2458464.5 Earth MOID: 0.0004 Find_Orb
 M 43.7596701450 +/- 0.000039 (J2000 ecliptic)
 n 0.9299945834887 +/- 4.18e-7 Peri. 142.8629051020 +/- 0.000037
 a 1.0394791194219 +/- 3.11e-7 Node 247.8126851008 +/- 0.000027
 e 0.063435468854 +/- 3.5e-7 Incl. 1.7424500035 +/- 0.000010
 P 1.06/387.09d H 30.3 G 0.15 U 2.9
 q 0.9735392741166 +/- 7.59e-8 Q 1.1054189647271 +/- 6.94e-7
 78 of 87 observations 2018 Nov. 29-Dec. 12; mean residual 0".27

I parametri ottenuti sono coerenti con quelli pubblicati dal MPC ed inoltre, *Find_orb* fornisce ulteriori informazioni come la velocità di incontro tra la Terra e l'oggetto, che adesso risulta essere di 1.88 km/s; quindi si tratta di un oggetto che ha un'orbita simile a quella terrestre con bassa velocità.

Dal MPC sono state estrapolate le effemeridi dell'asteroide nel periodo che va dal 01/01/2000 al 08/05/2027, con uno step di 7 giorni. Analizzando la magnitudine V come mostrato in Figura 1, si evidenzia che l'oggetto poteva essere scoperto dalle *Survey* solo in una finestra temporale di pochi giorni tra la fine di novembre e l'inizio di dicembre 2018 quando raggiungeva la luminosità di 18.5 magnitudine. Il 2 dicembre si è avvicinato alla minima distanza con la Terra a 0.0002208 UA (~34 000 km). Diversamente, nel periodo in esame, si trovava ad una distanza >0.022 UA quando la sua luminosità era sempre oltre la 23 mag., così come mostrato in Figura 2, quindi troppo poco luminoso per poter essere scoperto.

Si è proceduto ad effettuare una ricerca tra gli asteroidi catalogati, con i parametri orbitali simili a 2018 WV1: eccentricità e da 0 a 0.08; semiasse a da 0.98 a 1.1; inclinazione $incl.$ da 0 a 3; interrogando il *JPL Small-Body Database Search Engine*, ne sono stati individuati 32 con tali caratteristiche, il cui risultato è riportato in Tabella 1.

Di ogni asteroide è stata determinata la velocità di incontro con la Terra e il parametro *Tisserand* utilizzando *Find_orb* (Tabella 1).

Confrontando questi valori, c'è una correlazione, anche se dispersiva, tra la velocità di incontro con la Terra (metodo *Barbee*) e il valore *Tisserand*, come mostrato in Figura 3, e si nota che ad un valore di $T \sim 3$ la velocità di incontro è minore, mentre per valori di $T < 2.996$ la velocità è >1.5 km/s.

Con il software *Solex* [23] di Aldo Vitagliano, si è indagato, per quanto possibile, sull'orbita di 2018 WV1. In Figura 4 si mostra il flyby del 02/12/2018: come si può notare in meno di 24 ore ha attraversato l'intera orbita della Luna. Dopo questo passaggio ravvicinato, l'asteroide ha lievemente cambiato l'orbita (Figura 5), come confermato dai parametri orbitali estrapolati dal NEODYs di seguito riportati, dove si può notare che i valori a, e, i sono variati dopo il flyby.

	09/10/2018			06/12/2018			
	Value	1- σ variation	Units	Value	1- σ variation	Units	
a	1.08344	8.543e-07	au	a	1.04326	3.586e-07	au
e	0.101695	7.188e-07		e	0.068758	3.896e-07	
i	0.572	1.04e-05	deg	i	1.907	1.13e-05	deg
Ω	254.293	9.34e-05	deg	Ω	248.512	2.213e-05	deg
ω	207.785	4.609e-05	deg	ω	141.364	3.442e-05	deg
M	286.008	0.0001868	deg	M	38.482	5.036e-05	deg

a =semiasse maggiore, e =eccentricità, i =inclinazione, Ω =longitudine del nodo ascendente, ω =argomento del perielio, M =anomalia media.

Esaminando l'orbita topocentrica dal 01/01/2010 al 09/02/2019 (Figura 6), si evidenzia che 2018 WV1 si è avvicinato alla Terra il 12 dicembre 2010 e ha effettuato il flyby il 02/12/2018 quando appunto è stato scoperto.



Ipotizzando che 2018 WV1 sia un frammento lunare, con un albedo di 0.12 (riflettività media lunare) ed un valore $H=30.2$, si determina un diametro di 3.5 metri [24] che potrebbe corrispondere ad un oggetto di massa di 3 500 kg: quindi per essere espulso dal suolo lunare, come abbiamo visto, si deve verificare un importante impatto a bassa inclinazione. Sulla Luna ci sono alcuni crateri che hanno un'età di soli 16 milioni di anni, ma la maggior parte si sono formati durante i primi 800 milioni di anni dalla nascita del Sistema Solare.

Recentemente è stato pubblicato uno studio per determinare l'età dei crateri lunari da impatto ed è stato evidenziato che negli ultimi 290 milioni di anni le collisioni sono triplicate rispetto ai precedenti 700 milioni di anni [25].

I frammenti espulsi potrebbero essere entrati in orbita geocentrica o eliocentrica, alcuni intrappolati per un tempo sufficiente all'interno della sfera di Hill o nei punti *lagrangiani*. Forze non gravitazionali come gli effetti *Yorp* e *Yarkovsky* hanno un'influenza non trascurabile per oggetti di queste dimensioni, tanto da poterli deviare in un'orbita di rientro terrestre [26].

Conclusioni

L'asteroide 2018 WV1, in base alle caratteristiche orbitali con semiasse $a=1.039$, eccentricità $e=0.060$, inclinazione $incl.=1.653^\circ$, magnitudine assoluta $H=30.2$, ed in considerazione della velocità rispetto a quella terrestre di ~ 1.88 km/s, potrebbe trattarsi un frammento di ~ 4 metri eiettato dal suolo lunare a seguito di un impatto avvenuto in passato. Come abbiamo visto ci sono almeno altri 31 asteroidi con caratteristiche simili che potrebbero essere classificati come TCOs, ma purtroppo per avere la conferma che si trattino di frammenti provenienti dalla Luna sono necessari ulteriori dati. Come abbiamo visto, questo tipo di oggetti sono poco luminosi, con un elevato moto orario e la loro osservabilità è per soli pochi giorni, per cui è particolarmente difficile poter effettuare studi per comprenderne la loro morfologia tramite analisi spettroscopiche, curve di luce o per determinarne l'indice di colore.

Non si può escludere che si tratti di un detrito di una sonda spaziale, come nel caso di 2018 AV2, ma più probabilmente valgono le considerazioni fatte per lo studio di 1991 VG, ovvero che si tratti di un corpo naturale, la cui origine non può essere stabilita con certezza in quanto non ci sono sufficienti dati scientifici.

È molto probabile che nei prossimi anni altri oggetti con tali caratteristiche saranno scoperti con più anticipo, in modo da poter essere studiati più approfonditamente, magari anche con il contributo degli astrofili.

Reference

- [1] Cuk M., *11/Oumuamua as a tidal disruption fragment from a binary star system*, arXiv:1712.01823
- [2] Bacci P. et al, *MPEC 2017-U181*, <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K17/K17U11.html>
- [3] Oszkiewicz D., Muinonen K., Virtanen J., Granvik M., Bowell E., *Modeling collision probability for Earth-impactor 2008 TC3*, arXiv:1211.3862
- [4] Kowalski R. A. et al, *MPEC-A02*, <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K14/K14A02.html>
- [5] Clark D. L., Spurný P. et al, *Impact detections of temporarily captured natural satellites*, arXiv:1602.03123
- [6] Bacci P., *La seconda luna: asteroide 2006 RH120*, Coelum <http://www.coelum.com/articoli/astrotecnica/serata-osservativa-6r10db9-la-nostra-seconda-luna>
- [7] Granvik M., Jedicke R., Bolin B., *Earth's Temporarily-Captured Natural Satellites*, Institute for Astronomy
- [8] García Yáñez D., Sánchez J. P., McInnes C. R., *Easily Retrievable Objects (ESOs)*, arXiv:1304.5082
- [9] Fevig R. A., *Orbit-dependent spectral trends for the near-Earth asteroid population*, 2006
- [10] Buratti B. J. et al, *Vesta, vestoids, and the HED meteorites: Interconnections and differences based on Dawn Framing Camera observations*, Journal of Geophysical Research: Planets, Vol. 118, 1991, 2003
- [11] Boattini A., *MPEC 2008-T119*, <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K08/K08TB9.html>
- [12] Gladman B. et al, *Delivery of Lunar Meteorites to Earth*, Cornell University Ithaca, NY LPS XXVI, p. 465
- [13] Bland P.A., Artemieva N. A. et al, *Asteroids on the moon: projectile survival during low velocity impact*, Lunar and Planetary Science XXXIX, 2008
- [14] Tancredi G., *An asteroid in an Earth-like orbit*
- [15] Buzzi L. et al, *T3: finding comet in the asteroid population*, MACE, Vienna, 2006
- [16] Hainaut O. et al, *MPEC 2017-L02*, <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K17/K17L02.html>
- [17] De la Fuente Marcos C. and De la Fuente Marcos R., *Dynamical evolution of near-Earth asteroid 1991 VG*, 2017
- [18] Ries J. G. et al, *MPEC 2018-A63*, <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18A63.html>
- [19] Jedicke R. et al, *Earth's Minimoons: Opportunities for Science and Technology*, Astronomy and Space Sciences, doi 10.3389, May 2018.
- [20] Bill G., *Find_orb software*, Projet Pluto
- [21] NEODyS, Site Web <https://newton.spacedys.com/neody/index.php?pc=1.1.8&n=2018%20WV1>
- [22] Bacci P. et al, *MPEC 2018-W81: 2018 WV1*, <https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18W81.html>
- [23] Vitagliano A., *SOLEX software*, <http://http://www.solexorb.it/>
- [24] CNEOS, *Asteroid Size Estimator*, https://cneos.jpl.nasa.gov/tools/ast_size_est.html
- [25] Ghent R. et al, *Earth and Moon impact flux increased at the end of the Paleozoic*, Science, Vol. 363, p. 253-257, 2019
- [26] Jedicke R., Bryce T. B. et al, *Earth's Minimoons: Opportunities for Science and Technology*, Frontiers in Astronomy and Space Sciences, 2018, www.frontiersin.org



Object	a (AU)	e	i (°)	Ω (°)	ω (°)	q (AU)	Q (AU)	P (yrs)	H (mag)	Vel km/s	V _{be} km/s	TsE
(1991 VG)	1.032	0.053	1.430	71.267	26.836	0.978	1.087	1.049	28.3	1.57	1.03	2.997
(2001 GP2)	1.038	0.074	1.278	196.799	111.473	0.961	1.114	1.057	26.9	2.18	2.56	2.994
(2006 QQ56)	0.985	0.046	2.798	161.183	331.525	0.940	1.030	0.978	25.9	2.01	1.66	2.995
(2006 RH120)	1.002	0.035	1.088	292.794	226.781	0.967	1.037	1.003	29.5	0.81	0.67	2.999
(2007 UN12)	1.054	0.060	0.236	215.994	134.468	0.990	1.118	1.082	28.7	1.30	1.58	2.998
(2008 EA9)	1.059	0.080	0.425	129.511	335.846	0.975	1.144	1.090	27.7	1.96	1.25	2.995
(2008 EL68)	1.039	0.057	1.039	357.321	234.837	0.979	1.098	1.059	27.7	0.05	0.74	3.000
(2008 HU4)	1.071	0.056	1.391	215.298	350.573	1.012	1.131	1.109	28.3	0.69	1.23	2.995
(2008 UA202)	1.033	0.069	0.263	21.112	300.923	0.962	1.104	1.050	29.4	1.94	2.31	2.995
(2009 BD)	1.010	0.042	0.384	58.128	109.871	0.968	1.052	1.015	28.1	0.93	1.25	2.999
(2010 JW34)	0.981	0.055	2.259	49.801	43.700	0.927	1.035	0.972	28.1	2.15	1.69	2.994
(2010 UE51)	1.055	0.060	0.624	32.299	47.248	0.992	1.118	1.084	28.3	1.29	0.69	2.998
(2010 VQ98)	1.023	0.027	1.475	46.171	341.726	0.995	1.051	1.035	28.2	1.06	1.10	2.998
(2011 MD)	1.060	0.041	2.562	273.960	4.675	1.016	1.103	1.091	28	1.01	1.51	2.998
(2012 TF79)	1.050	0.038	1.005	199.888	265.646	1.010	1.090	1.076	27.4	0.30	0.15	2.999
(2013 RZ53)	1.016	0.028	2.109	343.484	64.646	0.988	1.045	1.025	31.1	2.25	1.77	2.994
(2014 WU200)	1.028	0.071	1.266	265.697	226.482	0.955	1.101	1.042	29.1	2.15	2.30	2.994
(2014 WX202)	1.036	0.059	0.413	244.011	214.015	0.975	1.097	1.054	29.6	2.59	2.10	2.992
(2014 WA366)	1.034	0.072	1.559	67.103	287.610	0.960	1.108	1.052	26.9	2.16	1.70	2.994
(2015 JD3)	1.058	0.008	2.719	43.645	60.043	1.050	1.067	1.089	25.5		1.54	2.999
(2015 KK57)	1.092	0.064	1.032	194.424	100.089	1.022	1.161	1.141	27.5	0.00	1.20	3.001
(2015 VC2)	1.053	0.074	0.868	186.178	288.184	0.975	1.131	1.081	27.4	1.93	1.29	2.995
(2015 XZ378)	1.014	0.035	2.719	87.584	108.008	0.979	1.050	1.022	27.2	1.70	1.75	2.996
(2016 RD34)	1.046	0.035	1.958	349.599	11.025	1.010	1.083	1.070	27.6	0.93	1.19	2.999
(2017 BN93)	1.044	0.051	2.120	315.801	23.375	0.991	1.098	1.067	25.4	1.58	1.68	2.997
(2017 FT102)	1.038	0.059	1.516	6.717	239.662	0.977	1.100	1.058	29.5	2.15	2.49	2.994
(2017 SV19)	1.063	0.041	1.303	343.841	156.798	1.020	1.106	1.096	25	0.00	0.69	3.000
(2017 TP4)	1.079	0.038	1.558	281.240	137.661	1.038	1.120	1.121	26.3	0.00	0.65	3.001
(2018 AV2)*	1.030	0.030	0.119	349.455	107.631	0.999	1.061	1.045	28.7	0.54	0.001	2.999
(2018 BC)	1.048	0.070	2.865	297.231	212.688	0.975	1.121	1.073	29.4	3.05	2.62	2.989
(2018 LQ2)	1.091	0.058	2.126	178.320	142.836	1.028	1.154	1.140	24.8	0.00	1.47	3.000
(2018 WV1)	1.039	0.060	1.653	246.422	145.893	0.977	1.102	1.060	30.2	1.88	1.75	2.996

* 2018 AV2 è un satellite artificiale.

Tabella 1. Asteroidi selezionati tramite il servizio JPL Small-Body Database Search Engine, a [0.98 : 1.1]; e [0 : 0.08]; incl. [0 : 3]. Nella prima colonna la designazione dell'oggetto, a seguire: semiasse, eccentricità, inclinazione, longitudine del nodo ascendente, argomento del perielio, perielio, afelio, periodo rivoluzione, magnitudine assoluta; velocità di incontro con la Terra in km/s; velocità di incontro con la Terra (metodo Barbee) in km/s; valore Tisserand relativo alla Terra (questi ultimi tre parametri ricavati da Find_orb).



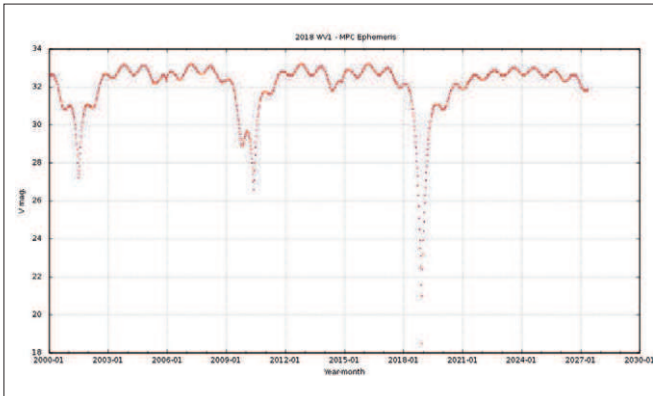


Figura 1. Luminosità dell'asteroide 2018 WV1 dal 2000 al 2027 estrapolata dal MPC: si evidenzia che al momento della scoperta aveva una luminosità di circa 20 mag. e quindi rilevabile dalle principali Survey.

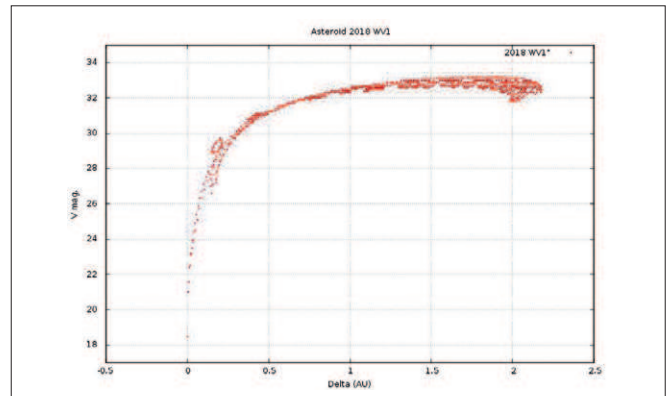


Figura 2. Asteroide 2018 WV1. Si confronta la magnitudine V e la distanza in UA dalla Terra dal 2000 al 2027: solo nel periodo novembre/dicembre 2018 si è avvicinato sufficientemente da poter essere rilevato dai telescopi terrestri. Ad una distanza > 0.022 UA dalla Terra la luminosità è oltre la 23 mag.

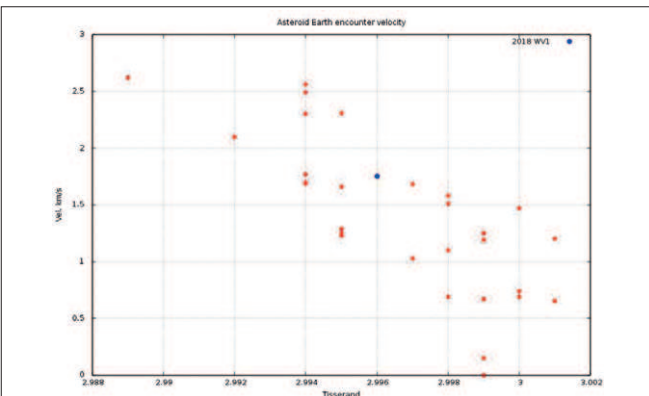


Figura 3. Confronto tra il valore Tisserand e la velocità di incontro (metodo Barbee Find_orb) dei 32 asteroidi presi in esame. Si nota che per valori $T \sim 3$ la velocità è minore.

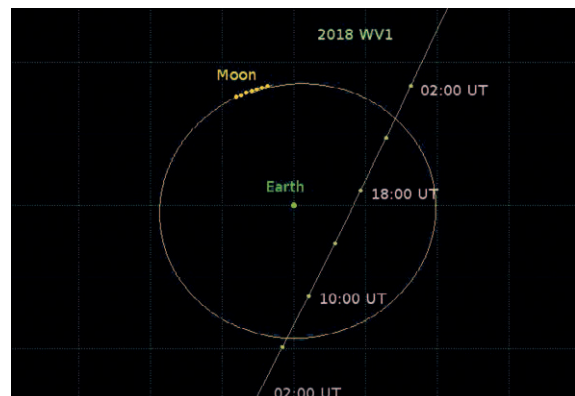


Figura 4. Il flyby dell'asteroide 2018 WV1 con la Terra il 02/12/2018. Ogni punto corrisponde a 4 ore. In giallo l'orbita della Luna intorno alla Terra.

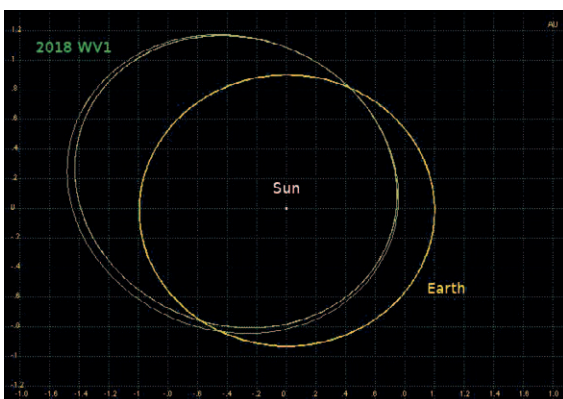


Figura 5. L'orbita eliocentrica dell'asteroide 2018 WV1 (in verde) e quella della Terra (in giallo). Dopo il passaggio radente con la Terra del 02/12/2018, la traiettoria è lievemente cambiata diminuendo leggermente il suo semiasse e la sua eccentricità.

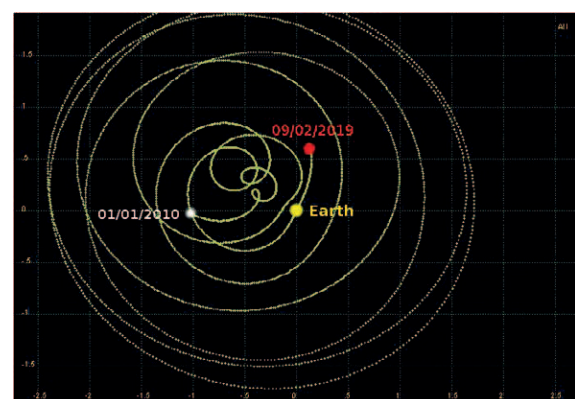


Figura 6. L'orbita topocentrica dell'asteroide 2018 WV1 dal 01/01/2010 fino al 09/02/2019.