

Scoperta di un oggetto di taglia planetaria nella fascia di Kuiper

M.E. Brown (1), C.A. Trujillo (2), D.L. Rabinowitz (3)

mbrown@caltech.edu, trujillo@gemini.edu, david.rabinowitz@yale.edu

ABSTRACT

In quest'articolo presentiamo la scoperta e le iniziali caratteristiche fisiche e dinamiche dell'oggetto 2003 UB313. Il corpo è talmente brillante che per ogni ragionevole valore dell'albedo si ha la certezza che le sue dimensioni siano maggiori di quelle di Plutone. Osservazioni precedenti alla scoperta risalenti al 1989 sono state usate per ottenere un'orbita con errori estremamente piccoli. L'oggetto è attualmente all'afelio in quella che sembra una tipica orbita di un oggetto "diffuso" della fascia di Kuiper con l'eccezione che l'inclinazione è di 44 gradi sull'eclittica. La presenza di un oggetto così grande a tale estrema inclinazione suggerisce che i corpi ad alta inclinazione si siano formati preferenzialmente più vicino al Sole. Osservazioni dal Gemini Observatory mostrano che lo spettro infrarosso, come per Plutone, è dominato dalla presenza di metano ghiacciato, sebbene la fotometria in luce visibile mostri che l'oggetto ha un colore quasi neutro paragonato al colore estremamente rosso di Plutone. È probabile che 2003 UB313 subisca sostanziali cambiamenti stagionali nel corso delle grandi variazioni di distanza dal Sole della sua orbita; è probabile che Plutone alla sua distanza attuale dal Sole possa essere usato come analogia per capire meglio le variazioni stagionali su questo corpo.

Testata del soggetto: comete: generico - infrarosso: sistema solare - corpi minori

1. Introduzione

Fin dalla scoperta di alcuni piccoli corpi oltre Nettuno (Jewitt & Luu 1993) gli astronomi hanno speculato sull'esistenza di oggetti più grandi di Plutone nella fascia di Kuiper.

Estrapolazioni sulla distribuzione delle dimensioni dei piccoli oggetti della fascia di Kuiper (KBOs) sono state talvolta usate per stimare il numero dei corpi più grossi, (i.e. Bernstein et al. 2004), però queste stime si sono rivelate inconcludenti. Uno degli obiettivi della nostra ricerca di KBOs brillanti (Trujillo & Brown 2003) è di scoprire i rari oggetti brillanti all'estremo superiore della distribuzione in luminosità. Questi oggetti brillanti sono importantissimi come soggetti di studi fisici dettagliati (Marchi et al. 2003; Jewitt & Luu 2004; de Bergh et al. 2005; Trujillo et al. 2005), in aggiunta al fatto di essere dei traccianti per popolazioni asteroidali precedentemente sconosciute. (Brown et al. 2004; Kenyon & Bromley 2004; Morbidelli & Levison 2004).

Il KBO recentemente scoperto 2003 UB313 è attualmente il quarto oggetto più brillante conosciuto nella fascia di Kuiper (dopo Plutone, 2003 FY9, e 2003 EL61) ed è attualmente il più distante oggetto conosciuto orbitante il Sole. Essendo un oggetto ragguardevole per la sua luminosità, distanza e dimensione, 2003 UB313 sarà certamente oggetto di studi intensivi. Qui presentiamo dettagli sulla sua scoperta, osservazioni preliminari sulle caratteristiche della sua superficie, e alcune indicazioni sui processi fisici operanti su questo corpo.

2. Scoperta

2003 UB313 fu scoperto il 21 Ottobre 2003 da dati ottenuti dalla nostra ricerca con il telescopio schmidt da 48 pollici Samuel Oschin al Palomar Observatory. Al momento della scoperta l'oggetto si stava muovendo alla velocità di 1.42 secondi d'arco all'ora, più lento della sensibilità minima che avevamo impostato (Trujillo & Brown 2003). La nostra ricerca effettua tre immagini in un periodo di tre ore; con una qualità tipica dell'immagine di 2-3 secondi d'arco, movimenti anche più lenti sono facilmente determinabili, ma noi usammo per la nostra analisi un limite minimo di 1.5 secondi d'arco per ora per ridurre i numerosi falsi positivi fra gli oggetti più lenti. La scoperta di Sedna (Brown et al. 2004), con un movimento di solo 1.75 secondi d'arco per ora, comunque, ci suggerì la necessità di cercare con maggiore efficienza oggetti lontani dal moto ancora più lento.

Ora abbiamo rianalizzato tutti i dati con un secondo ("lento") schema di ricerca in aggiunta a quello standard ("veloce"). Questo schema lento identifica movimenti fra 1 e 2 secondi d'arco all'ora tra la prima e la terza immagine in una sequenza di tre. Quando un potenziale oggetto è stato trovato, viene verificata per consistenza anche la seconda immagine, senza cercare il movimento tra la prima e la seconda o tra la seconda e la terza. In ultimo, per ridurre il grande numero di falsi positivi causato dalle stelle, tutte le potenziali scoperte che sono entro 2 secondi d'arco da una stella del catalogo USNO sono rimosse senza

venire esaminate. Questo schema lento genera da 10 a 20 volte più falsi positivi rispetto lo schema veloce, generando circa 1200 candidati al mese. Questi candidati sono esaminati ad occhio e generalmente scartati rapidamente. In alcune occasioni abbiamo usato il database Skymorph (4), scoprendo che un potenziale candidato era in realtà una stella immobile. Dopo due anni passati ad esaminare i dati con lo schema "lento", ad oggi abbiamo trovato solo due oggetti reali: Sedna (precedentemente riconosciuto anche con lo schema veloce) e 2003 UB313.

L'estrema luminosità e la bassa velocità di 2003 UB313 ci hanno reso facile identificarlo come oggetto in movimento nei dati di archivio. L'oggetto è stato identificato in molte immagini dal database Skymorph e finalmente trovato in una lastra del 1989 presa dal telescopio schmidt UK al Siding Springs Observatory. Con questo arco orbitale, di 16 anni, l'orbita baricentrica calcolata usando il metodo di Bernstein & Khushalani (2000) ha per il semiasse maggiore, eccentricità e inclinazione i seguenti valori: $a = 67:89 \pm 0:01$, $e = 0:4378 \pm 0:0001$, e $i = 43:993 \pm 0:001$, rispettivamente. 2003 UB è attualmente vicino all'afelio, alla distanza di $97:50 \pm 0:01$ UA dal Sole e non giungerà al perielio, alla distanza di 38.2 UA, fino all'anno 2257.

Basandosi sul semiasse maggiore e sull'eccentricità, 2003 UB313 sarebbe classificato come un tipico membro della fascia di Kuiper diffusa (Morbidelli & Brown 2005). L'inclinazione di 44 gradi, comunque, è estrema per questa zona. Solo un altro oggetto altrimenti irrilevante (2004 DG77) è stato riconosciuto avere un'inclinazione orbitale così alta. Mentre i primi modelli fisici della fascia di Kuiper (Duncan & Levison 1997) erano incapaci di spiegare oggetti in zone a così alta inclinazione, lavori recenti (Gomes et al. 2005) suggeriscono che una combinazione di diffusione gravitazionale, interazione risonante del moto medio, migrazioni planetarie e del meccanismo di Kozai può essere capace di posizionare oggetti in orbite come queste.

Simulazioni aggiuntive mostrano che gli oggetti che sono inizialmente nella parte interna del disco di pre-migrazione (a distanze di ~ 20 AU, simili a Urano, n.d.t) sono sparsi in orbite con inclinazione più elevata di quelli più esterni (Gomes 2003). Ci aspettiamo che in media queste regioni interne portino alla formazione di corpi più grandi sia a causa delle maggiori densità nebulari che di tempi di accrescimento più brevi. Prevediamo inoltre di trovare altri grandi oggetti ad alte inclinazioni nella fascia di Kuiper diffusa. Infatti gli altri due KBOs diffusi appena scoperti dalla nostra ricerca, 2005 FY9 e 2003 EL61, hanno entrambi inclinazioni prossime ai 30 gradi e si avvicinano alle dimensioni di Plutone.

3. Spettro

Fotometria nella banda visibile di 2003 UB313 è stata ottenuta il 5, 6, e 7 gennaio 2005 utilizzando il telescopio da 1.3 metri SMARTS. I dati sono stati ottenuti e ridotti in maniera identica a quella descritta da Rabinowitz et al (2005). Fotometria nella banda infrarossa è stata ottenuta il 25 e 26 gennaio dal Gemini North Observatory. Nessuna evidenza di variazioni fotometriche è stata vista nei brevi tempi a disposizione. La tabella 2 dà i valori fotometrici e di riflettività dalla banda visibile al vicino infrarosso. Nessun tentativo è stato fatto per correggere gli effetti di fase, che sono dell'ordine di 0.01 magnitudini per Plutone per un angolo di fase di 0.5 gradi. (Tholen & Buie 1997). La luminosità relativa di 2003 UB313 è massima con i filtri R e I. Abbiamo trovato una magnitudine assoluta di $H_r = -1.48$, che corrisponde ad un diametro di $2250 \times \rho^{-r^{(-1/2)}}$ km, dove ρ -r è l'albedo nella banda R. Perfino se il valore dell'albedo fosse un inverosimilmente alto 100% a queste lunghezze d'onda, l'oggetto avrebbe un diametro approssimativamente come quello di Plutone.

Spettri nel vicino infrarosso a media risoluzione sono stati ottenuti nelle notti del 25-27 gennaio con lo strumento Near Infrared Imager and Spectrograph (NIRI, Hodapp et al. 2003) del telescopio Gemini North. Le bande J, H e K sono state misurate usando 3 regolazioni diverse del reticolo di dispersione e con tempi di posa di 1,1 e 2 ore rispettivamente. La riflettività relativa è stata calcolata dividendo gli spettri per una stella analoga al Sole (classe G2V) ad un simile coefficiente di estinzione atmosferica di 2003 UB313. Ogni spettro fu sottratto in accoppiamento per rimuovere il bias del sensore, quindi spianato e infine rettificato. I pixel difettosi e i raggi cosmici sono stati mascherati in ogni spettro prima della misurazione. Gli spettri estratti furono ricampionati ad una scala comune di lunghezze d'onda, facendo attenzione a mascherare le regioni con le brillanti righe dell'OH. Le barre d'errore sono state calcolate partendo dalla riproducibilità dei dati spettrali ad ogni lunghezza d'onda. Sebbene 2003 UB313 sia moderatamente brillante, il rapporto segnale-rumore dello spettro è solo discreto a causa del fatto che al momento della scoperta l'oggetto tramontava alla svelta nel cielo serale. La Figura 1 mostra la riflettività relativa di 2003 UB313, con i singoli spettri J, H, and K riscaldati per corrispondere alla fotometria nel vicino infrarosso e ai colori nel vicino infrarosso di Plutone. A causa delle incertezze nella pendenza dello spettro nel vicino

infrarosso, non riteniamo che il riscaldamento tra questi tre spettri separati sia affidabile. Lo spettro nel vicino infrarosso è dominato dall'assorbimento del CH₄ (metano, n.d.t.) e assomiglia molto a quello di Plutone. Con l'attuale rapporto segnale-rumore e livello di riproducibilità sistematica, non c'è rilevazione affidabile di nessun altro elemento su 2003 UB313, neppure, si noti, la riga a 2.15 μm dell' N₂, quella a 1.58 μm del CO, entrambe riconosciute su Plutone (Owen et al. 1993), e quelle a 2.01 and 2.07 μm del CO₂ trovate su Tritone (Cruikshank et al. 1993). In molti casi queste linee sono al limite del riconoscimento, ma trovandosi in regioni spettrali contaminate da brillanti righe del cielo oppure da assorbimento variabile, non ci si può fidare senza osservazioni aggiuntive e relativa conferma.

Una grossa differenza tra lo spettro di 2003 UB313 e quello di Plutone è che la regione nel visibile di 2003 UB313 è molto meno rossa di quella di Plutone. Se i colori rossi sui corpi ghiacciati vengono interpretati come composti organici irradiati, la differenza tra Plutone e 2003 UB313 è sorprendente data la similarità degli spettri del metano nei due corpi. Una differenza più sottile fra gli spettri è un leggero spostamento delle posizioni delle righe di assorbimento del metano (Tabella 2). Su Plutone il metano è un componente minore dissolto nel ghiaccio di N₂ come soluzione solida. L'isolamento delle molecole del metano porta ad un leggero ma misurabile spostamento di energia nello spettro (Quirico & Schmitt 1997). Le migliori quattro righe del metano misurate di 2003 UB313, invece, appaiono molto più vicine alle posizioni misurate in laboratorio per il metano puro piuttosto che per il metano incorporato nell' N₂.

4. Discussione

2003 UB313 è il più grande oggetto conosciuto in orbita oltre Nettuno e come il secondo oggetto più grande, Plutone, il suo spettro è dominato dall'assorbimento dovuto al metano. I ghiacci di metano soggetti agli ioni e radiazioni UV irreversibilmente si decompongono e ricostituiscono in idrocarburi più complessi (Moore et al. 2003), portando eventualmente alla formazione di toline rosso scuro (Khare et al. 1984). La presenza continuativa e abbondante di metano su 2003 UB313 suggerisce il bisogno, come suggerito per Plutone, (Spencer et al. 1997), per una sorgente interna che rigeneri il metano. La presenza di metano su 2003 UB313 come su Plutone suggerisce che questo processo sia onnipresente nel sistema solare esterno e che il metano non sia trattenuto nei corpi più piccoli dove le velocità di fuga sono maggiori (Trafton et al. 1997).

I colori rossi e le grandi variazioni di albedo sulla superficie di Plutone dovrebbero essere dovuti a regioni coperte da queste toline rosso scuro. Alla distanza eliocentrica attuale di Plutone, le regioni scure assorbono abbastanza luce solare da diventare troppo calde per la condensazione del metano, mentre le regioni chiare funzionano come trappole per il metano, rinforzando così ogni contrasto già esistente (Brown 2002). Alla distanza di 97 UA di 2003 UB313, invece, perfino le regioni scure sono talmente fredde che quando il metano si congela in atmosfera o viene rifornito dal sottosuolo copre l'intero corpo, abbassando le variazioni d'albedo e nascondendo le toline rosse. Questo modello porta alla previsione che 2003 UB313 abbia decisamente meno variazioni d'albedo di Plutone e che la sua albedo sia pari o superiore a quella di Plutone.

La temperatura più bassa di 2003 UB313 potrebbe anche spiegare la differenza dello stato del metano nei due corpi. La temperatura prevista al Sole di un corpo con il 70% d'albedo alla distanza di 97 UA è di ~30 K. A questa temperatura la pressione di vapore del ghiaccio di N₂ è 420 nanobar, mentre quella del ghiaccio di metano puro è inferiore al picobar (Spencer et al. 1997). Diversamente dallo stato su Plutone, il metano su 2003 UB313 è essenzialmente non volatile e in atmosfera non si mescola con l'azoto. Durante il movimento di 2003 UB313 verso l'afelio nei prossimi due secoli l'azoto e il metano potrebbero separarsi, forse verticalmente. Quando 2003 UB313 tornerà verso il perielio potrebbe esserci un mescolamento simile a Plutone.

La scoperta di 2003 UB313 ci dona un nuovo laboratorio per basse temperature per lo studio di molti dei processi discussi per Plutone, incluso congelamento e fuga atmosferici, chimica dei ghiacci, transizioni di fase dell'azoto, e trasporto e miscelamento dei composti volatili. La variazione di temperatura fra perielio e afelio di 2003 UB313 è perfino più estrema di quella di Plutone. Spettri infrarossi di qualità maggiore, che dovrebbero essere prontamente ottenibili su questo oggetto moderatamente luminoso, saranno un componente chiave per gli studi futuri.

Ringraziamenti: Questa ricerca è stata finanziata dal California Institute of Technology ed è inoltre supportata dal programma NASA Planetary Astronomy program (MB e DR), e dal Gemini Observatory (CT). Parti di questa ricerca sono basate su osservazioni ottenute al Gemini

Observatory, che è governato dalla Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., tramite un accordo cooperativo con il NSF con il permesso della Gemini partnership: la National Science Foundation (United States), il Particle Physics and Astronomy Research Council (United Kingdom), il National Research Council (Canada), CONICYT (Chile), l' Australian Research Council (Australia), CNPq (Brazil) e CONICET (Argentina).

Le osservazioni del Gemini incluse in questo lavoro sono state effettuate nell'ambito del programma GN-2004B-Q-2.

(1) Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125

(2) Gemini Observatory, 670 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720

(3) Yale Center for Astronomy and Astrophysics, Yale University, New Haven, CT 06520

(4) <http://skys.gsfc.nasa.gov/skymorph/skymorph.html>

REFERENZE

Bernstein, G. & Khushalani, B. 2000, AJ, 120, 3323

Bernstein, G. M., Trilling, D. E., Allen, R. L., Brown, M. E., Holman, M., & Malhotra, R. 2004, AJ, 128, 1364

Brown, M. E. 2002, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 30, 307

Brown, M. E., Trujillo, C., & Rabinowitz, D. 2004, ApJ, 617, 645

Cruikshank, D. P., Roush, T. L., Owen, T. C., Geballe, T. R., de Bergh, C., Schmitt, B., Brown, R. H., & Bartholomew, M. J. 1993, Science, 261, 742

de Bergh, C., Delsanti, A., Tozzi, G. P., Dotto, E., Doressoundiram, A., & Barucci, M. A. 2005, A&A, 437, 1115

Doutè, S., Schmitt, B., Quirico, E., Owen, T. C., Cruikshank, D. P., de Bergh, C., Geballe, T. R., & Roush, T. L. 1999, Icarus, 142, 421

Duncan, M. J. & Levison, H. F. 1997, Science, 276, 1670

Gomes, R. 2003, Earth Moon and Planets, 92, 29

Gomes, R. S., Gallardo, T., Fernandez, J. A., & Brunini, A. 2005, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, 91, 109

Grundy, W. M. & Fink, U. 1996, Icarus, 124, 329

Hodapp, K. W., Jensen, J. B., Irwin, E. M., Yamada, H., Chung, R., Fletcher, K., Robertson, L., Hora, J. L., Simons, D. A., Mays, W., Nolan, R., Bec, M., Merrill, M., & Fowler, A. M. 2003, PASP, 115, 1388

Jewitt, D. & Luu, J. 1993, Nature, 362, 730

Jewitt, D. C. & Luu, J. 2004, Nature, 432, 731

Kenyon, S. J. & Bromley, B. C. 2004, Nature, 432, 598

Khare, B. N., Sagan, C., Thompson, W. R., Arakawa, E. T., Suits, F., Callcott, T. A., Williams, M. W., Shrader, S., Ogino, H., Willingham, T. O., & Nagy, B. 1984, Advances in Space Research, 4, 59

Marchi, S., Lazzarin, M., Magrin, S., & Barbieri, C. 2003, A&A, 408, L17

Moore, M. H., Hudson, R. L., & Ferrante, R. F. 2003, Earth Moon and Planets, 92, 291

Morbidelli, A. & Brown, M. E. 2005, Comets II, ed. M.C. Festou, H.U. Keller, H.A. Weaver

(U. Arizona Press: 2005)

Morbidelli, A. & Levison, H. F. 2004, AJ, 128, 2564

Owen, T. C., Roush, T. L., Cruikshank, D. P., Elliot, J. L., Young, L. A., de Bergh, C., Schmitt, B., Geballe, T. R., Brown, R. H., & Bartholomew, M. J. 1993, Science, 261, 745

Quirico, E. & Schmitt, B. 1997, Icarus, 127, 354

Rabinowitz, D., Tourtellotte, S., Brown, M., & Trujillo, C. 2005, DPS abstract 56.12

Rudy, R. J., Venturini, C. C., Lynch, D. K., Mazuk, S., Puetter, R. C., & Brad Perry, R. 2003, PASP, 115, 484

Spencer, J. R., Stansberry, J. A., Trafton, L. M., Young, E. F., Binzel, R. P., & Croft, S. K. 1997, Pluto and Charon, ed. S.A. Stern, D.J Tholen (U. Arizona Press:1997)

Tholen, D. J. & Buie, M. W. 1997, Pluto and Charon, ed. S.A. Stern, D.J Tholen (U. Arizona Press:1997)

Trafton, L. M., Hunten, D. M., Zahnle, K. J., & McNutt, Jr., R. L. 1997, Pluto and Charon, ed. S.A. Stern, D.J Tholen (U. Arizona Press:1997)

Trafton, L. M. & Stern, S. A. 1996, AJ, 112, 1212

Trujillo, C. A. & Brown, M. E. 2003, Earth Moon and Planets, 92, 99

Trujillo, C. A., Brown, M. E., Rabinowitz, D. L., & Geballe, T. R. 2005, ApJ, 627, 1057

Tabella 1: Fotometria di 2003 UB313

filter	magnitude	relative reflectance
B	19.54 ± .01	0.88
V	18.83 ± .02	0.92
R	18.38 ± .02	1.00
I	18.05 ± .02	1.00
J	17.82 ± .02	0.86
H	18.11 ± .03	0.51
K	18.51 ± .05	0.32

Tabella 2: Posizioni delle righe del metano

line identification	2003 UB313 ^a (μm)	pure methane ^b (μm)	methane in nitrogen ^b (μm)
$\nu_2 + 2\nu_3 + \nu_4$	1.138	1.139	1.136
$2\nu_3 + \nu_4$	1.165	1.165	1.161
$2\nu_3$	1.670	1.670	1.666
$\nu_2 + \nu_3 + \nu_4$	1.723	1.725	1.720

^a Incertezze sulle lunghezze d'onda sono circa $\pm 0.002\mu\text{m}$

^b Dati di laboratorio di Quirico & Schmitt (1997)

Fig. 1. Riflettività relativa di 2003 UB313 (pallini neri con barre d'errore) and riflettività assoluta di Putone (linea rossa). I pallini larghi sono la filettività derivata da fotometria BVRIJHK. Ogni riga identificabile in maniera affidabile nella regione 1 - 2.5 μm dello spettro di 2003 UB313 è dovuta all'assorbimento di metano solido. L'albedo geometrica assoluta di 2003 UB313 non è ancora conosciuta. La riflettività relativa

è riscalata per coincidere con quella di Plutone nella banda I per confronto. Lo spettro di Plutone è tratto da Trafton & Stern (1996), Grundy & Fink (1996), Rudy et al. (2003), and Doutè et al. (1999).

