

Salvo Spampinato, Saverio Cammarata, Emilio Lo Savio, Giuseppe Marino, Fabio Salvaggio
Gruppo Astrofili Catanesi "Guido Ruggieri"

Fotometria di PHEMU con webcam e camera digitale

Abstract

The authors report on photometry of mutual phenomena of the Galilean satellites, performed during the *PHEMU 2003* international campaign. For the first time, the opportunity to obtain scientifically relevant light curves using commercial webcams and digital cameras is demonstrated. All the 20 light curves are analysed to determine the times of minimum and the flux drops. The times of minimum in many cases show considerable deviations from the expected theoretical central instants. A test for detecting volcanic activity on Io's surface was tried.

Introduzione

La sigla PHEMU indica i fenomeni mutui - eclissi e occultazioni - che coinvolgono i satelliti di Giove nelle epoche in cui la Terra viene a trovarsi sul prolungamento ideale del loro piano orbitale, all'incirca ogni sei anni.

Nell'eclisse, un satellite intercetta il cono d'ombra di un altro, mentre nell'occultazione si ha il passaggio del disco di un satellite davanti al disco di un altro. In entrambi i casi, durante l'evento, può essere osservata una diminuzione della luminosità dell'insieme dei satelliti coinvolti.

L'importanza di osservare i PHEMU risiede nella possibilità, attraverso l'analisi temporale delle curve di luce, di determinare le posizioni relative dei satelliti con elevata precisione astrometrica, elementi di indubbia utilità nei calcoli di meccanica celeste. Dati sufficientemente precisi possono inoltre consentire di ricavare informazioni sulla superficie dei satelliti interessati dal fenomeno [1].

Le campagne PHEMU sono coordinate da Jean-Eudes Arlot (*Institut de Mécanique Céleste e de Calcul des Ephémérides – Observatoire de Paris*) a cui vanno inviate le osservazioni. E' opportuno che queste siano effettuate attenendosi alle note tecniche riportate in [1] e nel sito dell'IMCCE (http://www.bdl.fr/phemu03_eng.html).

Osservazioni e strumenti

Le osservazioni sono state condotte sotto cieli cittadini da 8 membri del Gruppo Astrofili Catanesi (GAC - Catania) e da Eriberto Tontodonati (AIDA - Ragusa), coordinati dal Forum degli Astrofili Siciliani (FAS - <http://www.astrofilisiciliani.org/>).

Data l'entità dell'impegno determinato dalla piena adesione del GAC alla campagna osservativa, è stato necessario costruire un solido apparato organizzativo che definisse gli incarichi, le scadenze e la loro verifica. Gli sforzi sono stati supportati, anche finanziariamente, da tutti i soci GAC. Nella Tab. 1 sono elencati gli osservatori e il ruolo di ciascuno di essi.

Osservatore	Associazione	Ruolo
Saverio Cammarata	GAC	Osservazioni, test, linearità webcam, riduzioni dati
Davide Ferrara	"	Osservazioni
Emilio Lo Savio	"	Osservazioni, test
Giuseppe Marino	"	Osservazioni, test, analisi dei dati
Fabio Salvaggio	"	Osservazioni, test, riduzioni
Concetto Sciuto	"	Osservazioni
Salvo Spampinato	"	Osservazioni, test, linearità webcam, riduzioni, analisi dei dati
Eriberto Tontodonati	AIDA	Osservazioni, test, riduzioni
Aldo Vitale	GAC	Osservazioni

Tab. 1 – Elenco degli osservatori e dei contributi individuali.

I telescopi utilizzati sono elencati nella Tab. 2. Il GAC ha applicato una webcam Philips Toucam Pro al fuoco diretto (un filtro IR-cut è stato adottato solo per l'evento del 31 maggio osservato con lo Schmidt-Cassegrain da 25 cm). Tontodonati ha utilizzato una camera digitale Nikon Coolpix 4500 dotata di filtro IR-cut al fuoco diretto di un catadiottrico da 127 mm.

Per quanto riguarda il campionamento dei dati, il GAC ha acquisito un'immagine (in formato FITS) ogni 0.6 s circa (tranne per il 6 gennaio dove il campionamento è stato di un'immagine ogni 5 s). Le riprese di Tontodonati sono state acquisite (nel formato BMP) a frequenze comprese tra 0.5 e 1 *frame* al secondo.

Per una corretta registrazione dei tempi (con precisioni da 0.2 a 0.5 s) il computer utilizzato per la ripresa è stato sincronizzato con un segnale orario universale circa un quarto d'ora prima di ogni evento.

Fotometria

Per i dati GAC, le misure fotometriche sono state eseguite sulle immagini utilizzando il *software freeware* IRIS (<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>) secondo il procedimento descritto in [2]. I risultati sono consistenti con quelli ottenuti attraverso il programma professionale IRAF. Tontodonati ha ricavato le misure fotometriche per mezzo di un programma autoprodotta *ad hoc* dallo stesso.

Il test descritto in [2] ha evidenziato un'accettabile linearità della risposta della webcam.

Le curve di luce, mostrate nelle Figg. 1 e 2, riportano le differenze di magnitudine tra il satellite eclissato e uno o più satelliti di confronto. Per le occultazioni, non potendo distinguere il satellite occultato da quello occultante, è riportata la differenza tra la magnitudine globale dei due satelliti coinvolti e la magnitudine di un satellite di confronto.

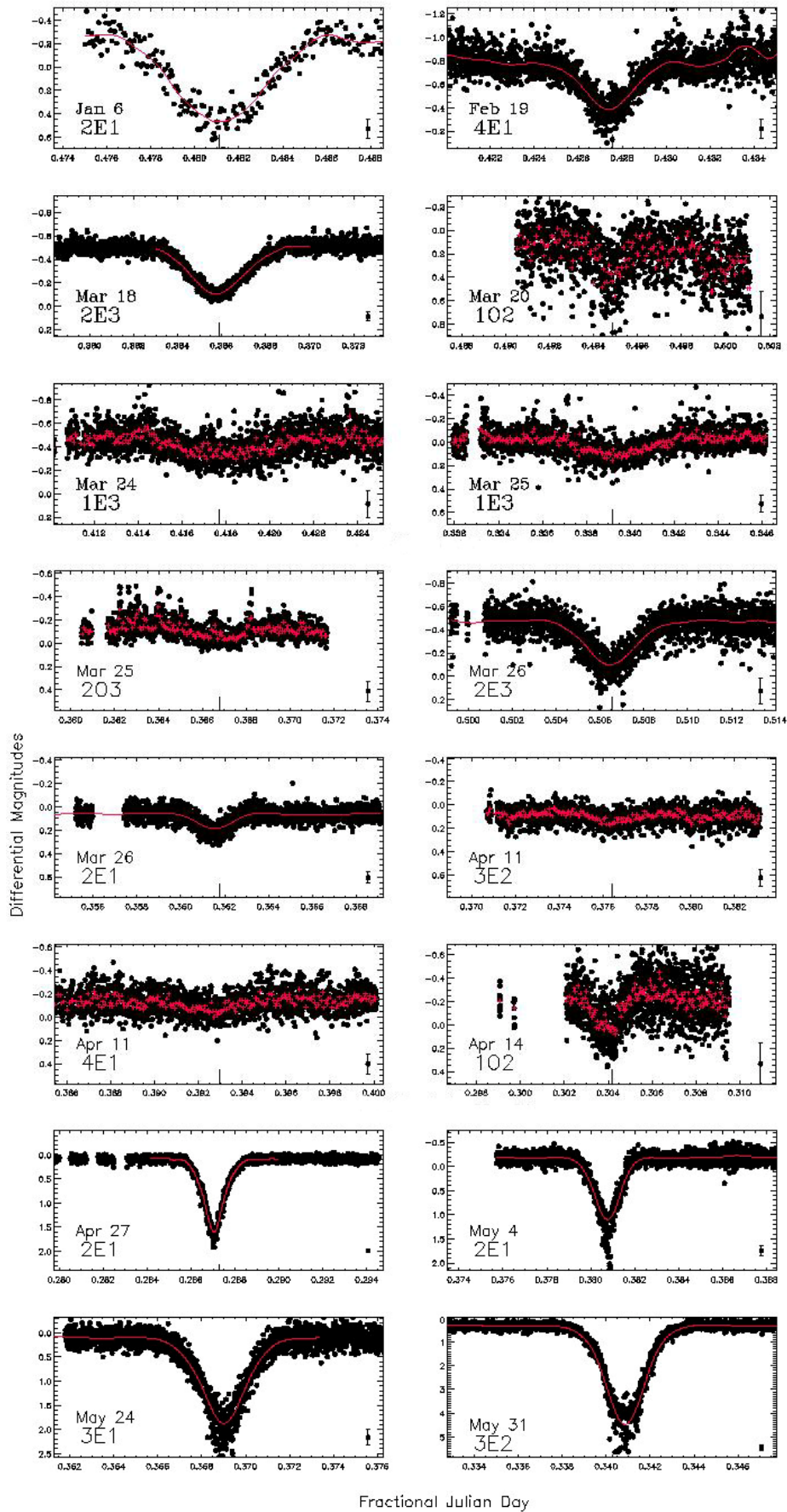


Fig. 1 – Curve di luce dei PHEMU ottenute nel 2003 dal Gruppo Astrofili Catanesi. Il trattino verticale alla base di ogni grafico indica l'istante di minimo teorico. In basso a destra è indicata la barra d'errore ottenuta sui dati fuori minimo. La scala dei grafici è la stessa, tranne che per le ultime quattro curve.

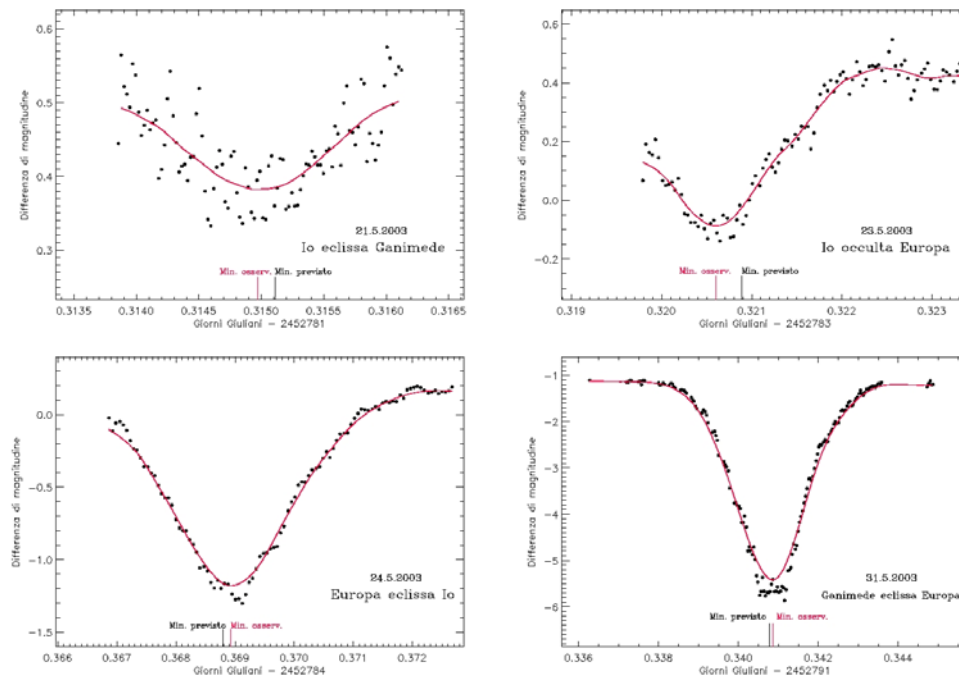


Fig. 2 – Le curve di luce ottenute da Tontodonati (Ragusa) da immagini acquisite con camera digitale.

Analisi dei dati

Interpolazione dei dati e determinazione dei minimi.

Le curve continue, sovrapposte ai punti fotometrici nelle Figg. 1 e 2, rappresentano le interpolazioni dei dati (*fit*) ottenute con il programma AVALON di Adriano Gaspani (Osservatorio Astronomico di Brera). Per i dati del GAC il *fit*, ove tracciato, è stato determinato sulle medie a 5 o a 10 punti. L'analisi con AVALON ha permesso in tali casi di stimare gli istanti di minimo. Quando i dati sono caratterizzati da notevole dispersione rispetto alla profondità del minimo, vengono rappresentate solo le medie a 10 punti (crocette): in questi casi non è stato tracciato il *fit*, ma è stato possibile stimare l'istante di minimo mediante una procedura iterativa basata sulla tecnica del bisettore, appositamente scritta da uno degli autori. Sulle osservazioni di Tontodonati è stata effettuata l'analisi con AVALON dei dati mediati a 3 punti per l'evento del 21 maggio e dei dati non mediati per le altre curve di luce.

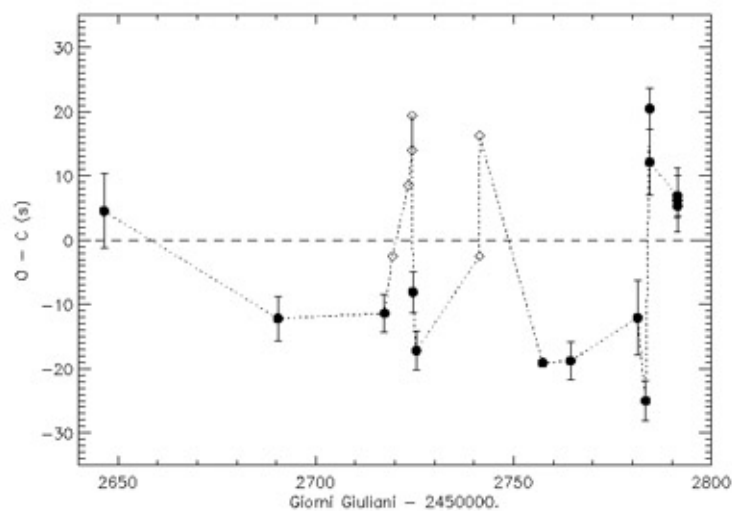


Fig. 3 – Deviazioni degli istanti di minimo osservati da quelli previsti. I rombi vuoti rappresentano gli O-C aventi incertezza maggiore di ± 10 s (su essi è stata omessa la barra d'errore per maggiore chiarezza grafica).

Nella Tab. 2 sono riportati i risultati della suddetta analisi, insieme alle determinazioni della caduta totale di magnitudine. L'O-C, è dato dalla differenza tra l'istante di minimo stimato dalle osservazioni e quello previsto da Arlot [1]. Gli O-C sono riportati rispetto al tempo nella Fig. 3 dove non emergono deviazioni sistematiche, benché si possano intravedere alcuni indizi di raggruppamento degli anticipi e dei ritardi in periodi di tempo distinti.

Notte	Evento	Strum.	Minimo osservato (T.U)	Errore medio (s)	O – C (s)	Variazione di magnitudine	Errore medio sulla variaz. di mag.
6.1.2003	2E1	G20	23:32:50.3	±5.8	4.5	0.73	±0.16
19.2.2003	3E1	"	22:15:28.1	3.4	-12.2	0.42	0.15
18.3.2003	2E3	G25	20:46:40.3	3.0	-11.4	0.40	0.05
20.3.2003	1O2	G14	20:52:31.2	10.7	-2.5	0.26	0.32
24.3.2003	1E3	G25	22:01:35.8	18.2	8.5	0.12	0.15
25.3.2003	1E3	"	20:08:39.1	20.9	13.9	0.14	0.11
25.3.2003	2O3	"	20:48:28.8	18.4	19.3	0.07	0.09
26.3.2003	2E3	"	00:09:16.7	3.2	-8.1	0.39	0.15
26.3.2003	2E1	"	20:40:38.9	3.0	-17.2	0.16	0.07
11.4.2003	3E2	"	21:01:56.0	22.2	-2.5	0.06	0.08
11.4.2003	4E1	"	21:25:55.3	35.6	16.2	0.07	0.11
27.4.2003	2E1	G20	18:53:20.9	0.6	-19.1	1.58	0.12
4.5.2003	2E1	G25	21:08:17.9	3.0	-18.8	1.45	0.20
21.5.2003	1E3	T	19:33:33.5	5.8	-12.1	0.13	0.09
23.5.2003	1O2	T	19:41:40.0	3.1	-25.0	0.51	0.09
24.5.2003	3E1	G25	20:51:23.6	3.2	20.4	1.86	0.3
24.5.2003	3E1	T	20:51:15.3	5.1	12.1	1.45	0.08
31.5.2003	3E2	G25	20:10:50.5	3.1	6.9	4.41	1.44
31.5.2003	3E2	G20	20:10:48.9	1.9	5.3	4.39	0.89
31.5.2003	3E2	T	20:10:46.1	5.0	6.2	4.5	0.4

Tab. 2 – Analisi dei minimi Gli osservatori e gli strumenti sono indicati con:
G20: G.A.C. – Schmidt-Cassegrain 20 cm; **G25:** G.A.C. – Schmidt-Cassegrain 25 cm;
G14: G.A.C. – Newton 14 cm; **T:** Tontodonati – Schmidt-Cassegrain 13 cm.

Vulcani di Io

Descamps *et al.* [3] hanno rivelato la presenza dei vulcani attivi e macchie calde (*hot spot*) sulla superficie di Io durante un'occultazione di Io da parte di Europa. L'effetto è stato osservato nell'infrarosso intermedio (in particolare nella banda L'), zona dello spettro in cui la radiazione luminosa emessa dai vulcani attivi può contribuire in maniera rilevante su quella proveniente dall'intera superficie del satellite. In particolare, un gradino di circa 0.3 magnitudini all'interno del minimo fu causato dall'occultazione da parte dal disco di Europa che transitava davanti al disco di Io, dell'emissione infrarossa del vulcano Loki.

Pur attendendoci un effetto molto minore nella banda del visibile e del vicino infrarosso (a cui il *chip* della webcam è sensibile), abbiamo tentato la ricerca di irregolarità nella curva di luce dell'eclisse di Io da parte di Europa del 27 marzo 2003, essendo i dati caratterizzati da un discreto rapporto segnale/rumore (la deviazione standard fuori eclisse era pari a 0.04 magnitudini).

La Fig. 4 riporta i residui rispetto al *fit* di AVALON; ivi, le irregolarità non possono essere distinte dal rumore evidenziato dalla barra di errore di ±0.04 mag. La Fig. 5 mostra l'analisi con il metodo del bisettore: l'insieme dei punti disposti in verticale, i mediani tra i punti fotometrici aventi la stessa ordinata, evidenzia una lieve asimmetria generale della curva, da addebitare all'effetto di fase o alla presenza di estese regioni di diversa albedo, ma anche in questo caso non emerge nessun effetto ricollegabile al passaggio dell'ombra di Europa sui numerosi vulcani di Io presenti al momento.

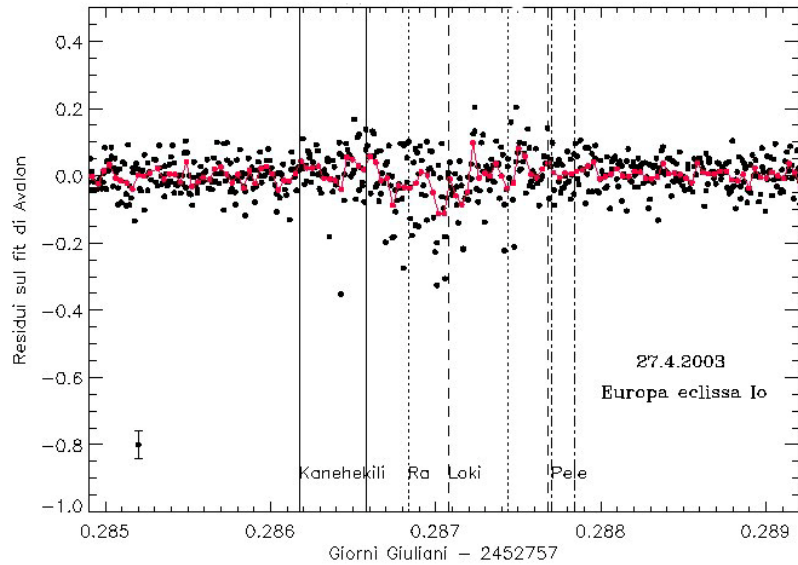


Fig. 4. – Residui delle magnitudini rispetto al *fit* della curva di luce per il PHEMU del 27 aprile 2003. La linea spezzata mostra gli stessi residui mediati cinque a cinque. Le linee verticali rappresentano gli istanti di ingresso dei vulcani di Io (annotati in basso) nell'ombra di Europa.

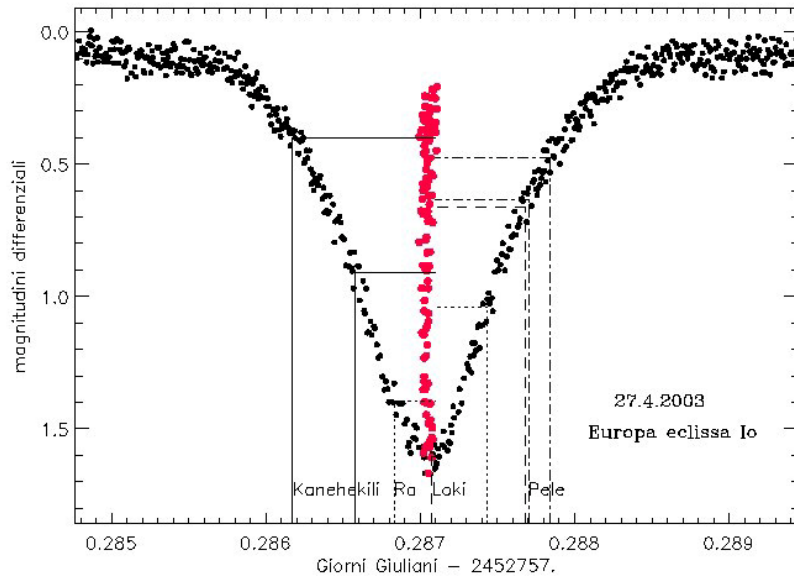


Fig. 5 – Il bisettore (i punti a cascata verticale) della curva di luce del PHEMU del 27 aprile 2003.

Conclusioni

La linearità della risposta e la notevole stabilità fotometrica del *chip* della webcam, unitamente a una buona sensibilità, hanno permesso a un gruppo di astrofili siciliani di ottenere delle curve di luce di PHEMU utilizzabili ai fini scientifici.

Nei dati presentati abbiamo riscontrato delle deviazioni (O-C) rispetto agli istanti previsti. Esse sono quasi sempre più grandi dell'incertezza sulla loro determinazione e, negli eventi osservati in

contemporanea da più osservatori, i risultati sono confermati anche utilizzando tecniche differenti. Tali deviazioni sono probabilmente soggette a qualche effetto di raggruppamento periodico, piuttosto che a deviazioni sistematiche o casuali. Ciò potrebbe suggerire un aggiornamento dei parametri inclusi negli algoritmi di calcolo delle effemeridi o l'introduzione di effetti finora trascurati o sconosciuti.

La mancata rivelazione di effetti ricollegabili alla presenza di regioni attive sulla superficie di Io, entro ± 0.04 mag., potrebbe inoltre porre un limite superiore alla temperatura e alla dimensione delle regioni attive presenti al momento delle osservazioni.

I dati qui presentati sono stati inviati all'IMCCE e saranno resi disponibili alla comunità scientifica con una pubblicazione curata dallo stesso istituto su una rivista scientifica internazionale con *referee*. In passato, l'elaborazione preliminare della grande mole di dati pervenuti, la stesura dell'articolo (si veda per esempio [4]) e il "referaggio", precedente all'accettazione, hanno richiesto tempi dell'ordine di sei anni.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. C. Blanco (Università di Catania) e il dott. V. D'Ambrosio (Osservatorio di Collurania) per l'incoraggiamento e gli importanti suggerimenti, come pure il dott. J.-E. Arlot e il dott. C. Ruatti (IMCCE – Observatoire de Paris) per i chiarimenti forniti con scrupolo e cortesia. Infine, desideriamo esprimere la nostra gratitudine a Eriberto Tontodonati per aver fornito parte dei dati su cui si basa il presente lavoro.

Bibliografia

- [1]. Arlot, J., 2002, *Astronomy & Astrophysics* **383**, 719-723.
- [2]. Gruppo Astrofili Catanesi, 2003, *Le Stelle* **6**, 86-89.
- [3]. Descamps P., Arlot J.-E., Thuillot W., *et al.*, 1992, *Icarus* **100**, 235.
- [4]. Arlot J.-E., *et al.*, 1997, *Astronomy & Astrophysics Suppl. Ser.* **125**, 399.