Campagna PHEMU97: osservazioni fotoelettriche

Sergio Foglia, Gianpaolo Pizzetti e Matteo Damiani
Osservatorio Astronomico Serafino Zani

Abstract

Abstract. *Photometric observations of mutual phenomena of galileian satellites in 1997 are explained. The following events were obtained by Serafino Zani Observatory using a 40-cm Ricthey-Chretien telescope with a one-channel 1P21 photoelectric photometer connected to computer; the data acquisition was 10 points for seconds: 1997 may 29 (1E2 P), 1997 jul 25 (3O2 P), 1997 sep 25 (1O3 P, 1E3 A). The techniques of connection photometer-computer is further explained.*

Breve introduzione ai fenomeni dei satelliti galileiani

I principali satelliti di Giove (Io, Europa, Ganimede e Callisto) sono stati scoperti da Galileo nel 1610. A partire da questa data sono stati costantemente studiati. Le caratteristiche dei quattro satelliti sono riportate nella tab.1.
Il sistema gioviano dista dalla Terra da 4,2 UA a 6,2 UA e piccoli effetti perturbatori (da parte principalmente del Sole, di Giove stesso e di Saturno) possono essere facilmente evidenziati. I galileiani sono visibili con piccoli telescopi, e sono caratterizzati da due tipi di fenomeni: i fenomeni che interessano i satelliti e Giove, e i fenomeni mutui.

Fenomeni che interessano i satelliti e Giove

I fenomeni che interessano Giove ed i satelliti sono originati dalle posizioni relative del Sole, di Giove e della Terra. Questi fenomeni sono: le eclissi (quando un satellite transita nel cono d'ombra di Giove), le occultazioni (quando un satellite è occultato dal disco di Giove), i transiti (quando un satellite transita davanti al disco di Giove), e i transiti delle ombre (quando l'ombra del satellite transita sul disco di Giove). I fenomeni più osservati sono le eclissi in quanto è facile la loro rilevazione: un satellite scompare o riappare dal cono d'ombra di Giove spesso abbastanza lontano dal disco del pianeta. Questi fenomeni sono stati osservati nel corso degli anni ed hanno costituito la base della maggior parte delle effemeridi dei satelliti galileiani. L'osservazione delle eclissi dei satelliti gioviani rappresenta ancora un valido campo di ricerca; gli eventuali interessati possono contattare l'ALPO (Association of Lunar and Planetary Observers) che ha attivo questo specifico programma, presso il dr. John E. Westfall, P.O. Box 16131, San Francisco, CA.94116, USA.

Fenomeni Mutui

Questi fenomeni sono originati dalle reciproche posizioni del Sole, della Terra, e dei satelliti, indipendentemente da Giove. I fenomeni mutui possono prodursi solamente ogni sei anni, quando il Sole e la Terra attraversano il piano delle orbite dei satelliti galileiani (fig. 1). Quando la Terra attraversa il piano delle orbite dei satelliti si possono produrre le occultazioni mutue tra due satelliti, quando è il Sole ad attraversare questo piano, si producono le eclissi mutue. I fenomeni mutui si possono osservare fin tanto che le declinazioni giovicentriche della Terra e del Sole sono prossime allo zero. La fig. 2 mostra l'andamento delle declinazioni giovicentriche del Sole e della Terra per il 1997-98 e per il 2002-3.
L'assenza di atmosfera nei quattro satelliti galileiani permette di effettuare osservazioni molto accurate in merito alla determinazione dell'istante del fenomeno, della sua durata e della sua ampiezza. Le osservazioni da un determinato punto della Terra sono condizionate dalla declinazione di Giove durante il periodo dei fenomeni muti. Nel 1997-98 la declinazione di Giove è stata compresa fra -18° e -4°, mentre i prossimi fenomeni mutui saranno più favorevoli per l'emisfero boreale in quanto la declinazione di Giove nel 2002-3 varierà da +23° a +18°.
Un fenomeno mutuo si produce quando la distanza apparente tra due satelliti è minore della somma dei loro raggi apparenti. Se questa condizione è verificata dalla Terra si producono le occultazioni mutue, se è verificata dal Sole si producono le eclissi mutue. Se il moto dei satelliti fosse circolare e senza perturbazioni il calcolo delle previsioni dei fenomeni mutui sarebbe semplice: per ciascuna congiunzione eliocentrica o geocentrica si produrrebbe un fenomeno. Gli effetti delle perturbazioni devono invece essere considerati e, nonostante l'affinamento delle teorie, possono riscontrarsi apprezzabili differenze tra gli istanti di previsione e quelli di osservazione degli eventi: lo studio di questi scarti può essere utile per migliorare la teoria orbitale dei satelliti galileiani.
La geometria delle eclissi e delle occultazioni mutue, viste dalla Terra, è rappresentata nella fig. 3.
La precisione ottenibile dalle osservazioni varia in funzione dell'apertura dello strumento ottico e del tipo di rilevatore (occhio, fotometro, CCD,...) utilizzati.
I fenomeni mutui possono essere parziali, anulari o totali. Le curve di luce ottenute saranno quindi diverse a seconda del tipo di fenomeno. Nella fig. 4 sono rappresentate le varie curve di luce ottenibili nel caso delle occulta-

satellite	raggio	periodo	semiasse	magn.
Io	1840	1,76986	0,002820	4,8
Europa	1552	3,55409	0,004486	5,2
Ganimede	2650	7,16639	0,007155	4,5
Callisto	2420	16,75355	0,012586	5,5

Tab. 1. Caratteristiche dei satelliti galileiani di Giove. Sono dati i raggi in km, il periodo orbitale in giorni, il semiasse maggiore in UA, la magnitudine V.

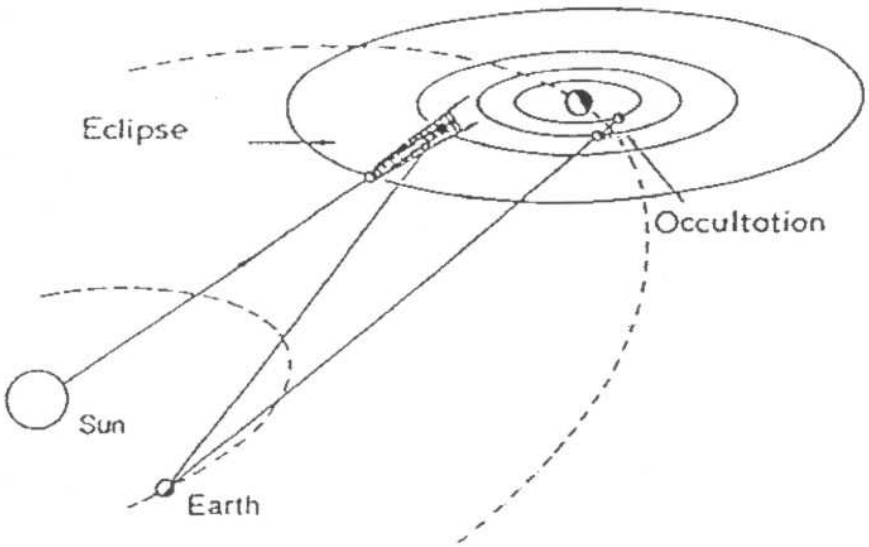

Fig. 1. Origine dei fenomeni mutui.

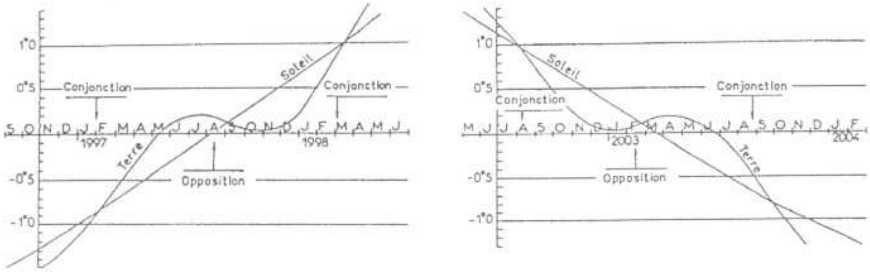

Fig. 2. Declinazioni giovicentriche del Sole e della Terra per il 1997-98 e per il 2002-3.

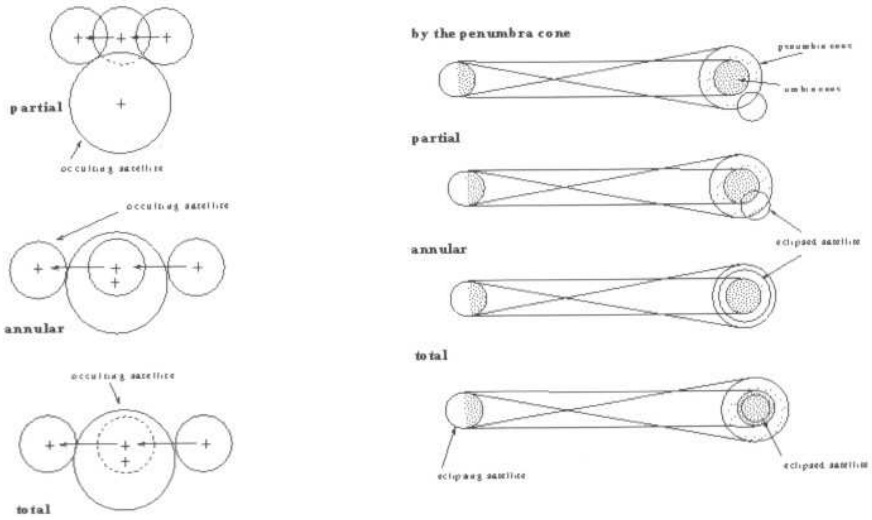

Fig. 3. Geometria delle occultazioni mutue (a sinistra) e delle eclissi mutue (a destra).

zioni mutue (o nel caso di un'eclisse con i due satelliti vicini): la curva (1) si riferisce ad una occultazione parziale, la (2) ad un fenomeno anulare, la (3) ad un fenomeno totale.
Nella fig. 5 sono rappresentate le varie curve di luce ottenibili nel caso delle eclissi mutue (con i due satelliti sufficientemente lontani): la curva (1) si riferisce ad una occultazione parziale, la (2) ad un fenomeno anulare, la (3) ad un fenomeno totale.

La previsione dei fenomeni mutui e la tecnica di osservazione

Il Bureau des Longitudes ha attivato una campagna di ricerca per la osservazione dei fenomeni mutui dei satelliti galileiani, coordinando le varie osservazioni a livello mondiale e raccogliendo tutti i dati ottenuti. La campagna osservativa è stata denominata PHEMU97 [1, 2].
Le previsioni per i fenomeni mutui sono state distribuite dallo stesso Bureau mediante due programmi per computer, *Phemu97* [3] e *Satel121* [4]. Ogni osservatore ha potuto calcolare le previsioni dei fenomeni per la propria postazione di osservazione grazie al primo programma e visualizzare la configurazione dei satelliti tramite il secondo. Nella tab. 2 sono riportate le previsioni dei soli fenomeni osservati.
Tre erano le tecniche di osservazione disponibili: visuale, fotoelettrica e CCD. La tecnica CCD è stata scartata in virtù della rapidità dei fenomeni visto che l'acquisizione ed il salvataggio delle immagini richiedeva un certo tempo che, seppur limitato, era rilevante rispetto alla durata dei fenomeni stessi. Ci siamo allora orientati sulla tecnica fotoelettrica: il fotometro fotoelettrico, oltre ad essere lo strumento principe per gli studi fotometrici, è in grado di fornire un campionamento migliore dei dati di quanto possa fare una camera CCD. A partire dai primi di giugno il fotometro è stato collegato al computer tramite convertitore A/D; questo intervento ha permesso di ottenere un campionamento dei dati dell'ordine di 10 letture al secondo. La tecnica visuale doveva essere impiegata in caso di imprevisti dell'ultimo minuto. Il paragrafo seguente approfondisce gli aspetti tecnici del collegamento del fotometro col computer.

Date	Phen.	Begin		Maxi	End		Flx.dr.	Dur	Djup
		Penum.	Um/Oc		Um/Oc	Penum.			
y m d		h m s	h m s	h m s	h m s	h m s		s	Rjup
1997 5 29	1E2 P	1 7 0	1 8 8	1 9 52	1 11 36	1 12 44	0,809	343	5,8
1997 7 25	3O2 P		23 44 21	23 49 59	23 55 39		0,228	678	9,2
1997 9 25	1O3 P		19 51 53	19 54 28	19 57 1		0,063	308	5,2
1997 9 25	1E3 A	22 28 24	22 30 15	22 32 38	22 35 2	22 36 51	0,449	506	6,5

Tab. 2. Previsione dei fenomeni osservati.

Il convertitore A/D per fotometro fotoelettrico e programma di acquisizione dati

Vista la tipologia dei fenomeni da osservare era necessaria la massima velocità di lettura del fotometro per poter ricostruire una curva di luce adeguata. Si è quindi pensato di interfacciare il fotometro al computer attraverso una scheda di conversione analogico-digitale che ne permettesse la lettura in modo completamente automatico.

L'hardware

L'hardware è stato realizzato da Gianpaolo Pizzetti con l'aiuto di Mauro Capelli, ed è basato sul chip ZN449. Si tratta di un convertitore A/D a 8 bit in scatola di montaggio della Velleman (kit K2610) in grado di lavorare con ottima linearità in un intervallo da 0 a 5 volt in entrata restituendo in uscita valori compresi tra 0 e 255 con una accuratezza di lettura pari quindi a 0,0195 volt. Purtroppo questo kit, pur avendo un costo particolarmente contenuto (60 000 lire) è stato progettato per l'utilizzo attraverso il vecchio home computer ZX Spectrum e viene venduto senza che questa informazione sia indicata nelle caratteristiche tecniche. Il nostro scopo era quello di utilizzare il personal computer e non eravamo certo intenzionati a rispolverare lo Spectrum, anche in considerazione del fatto che occorreva poi realizzare un software specifico per la lettura ottimizzata dei dati. L'unica soluzione era quindi di modificare il convertitore rendendolo adatto alle nostre esigenze. Abbiamo quindi escluso fisicamente la parte di circuiteria relativa all'interfaccia I/O dello Spectrum. Abbiamo poi costruito un piccolo circuito oscillatore utilizzando l'integrato 555 che pilota un transistor che funge da interruttore per inviare sul piedino 1 dello ZN449 un rapido segnale logico intermittente. Tale circuito aggiuntivo si è reso necessario perché all'integrato ZN449 occorre un segnale di start per avviare una conversione A/D ed un segnale di reset prima di un'ulteriore conversione. A questo punto il byte poteva essere letto attraverso la porta parallela del PC prelevando gli otto bit direttamente dai piedini di uscita dell'integrato.

Qui è sorto un secondo problema, in quanto la porta parallela del nostro computer era una porta standard (non bidirezionale) e quindi solo 4 bit potevano essere letti in entrata: per non

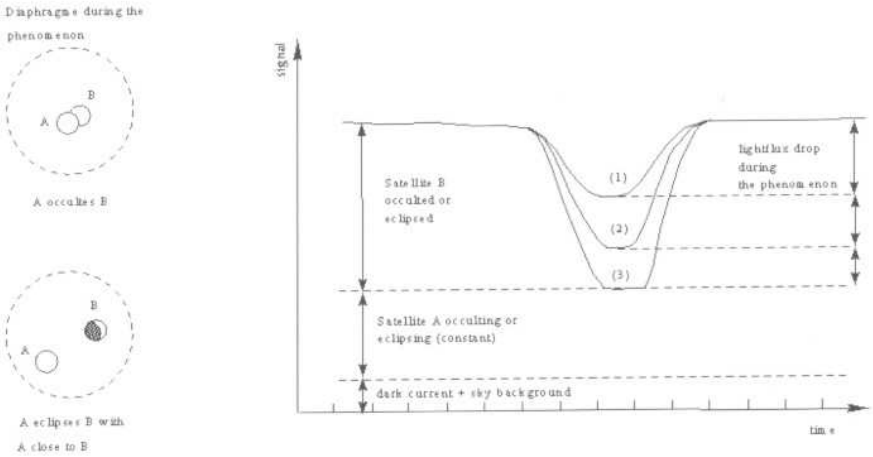

Fig. 4. Curve di luce delle occultazioni mutue.

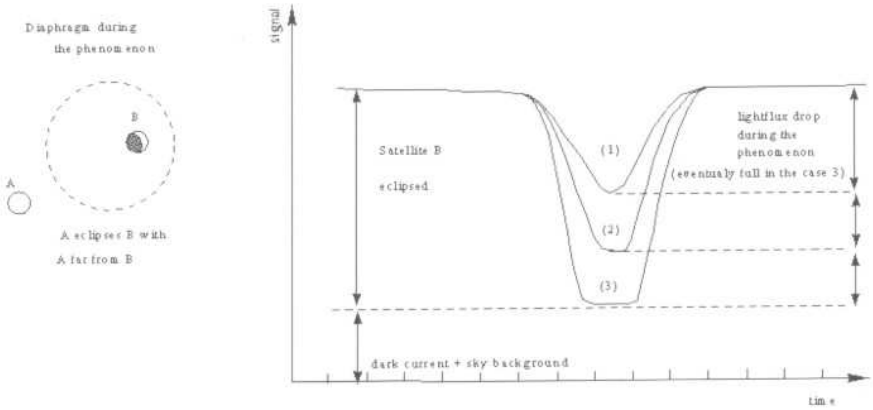

Fig. 5. Curve di luce delle eclissi mutue.

cambiare la porta parallela abbiamo utilizzato l'integrato 74LS157 in grado di spezzare il byte rendendolo disponibile in due blocchi da 4 bit.

Il software

Il software è stato realizzato da Gianpaolo Pizzetti in linguaggio C con alcune parti in linguaggio assembler ed è costituito essenzialmente da tre parti: 1) sincronizzazione; 2) lettura dei dati dalla porta parallela; 3) uscita su file dei dati.
Volendo rilevare gli istanti temporali precisi per i dati letti dal fotometro, è necessaria la perfetta sincronizzazione dell'orologio interno del PC con il TU. Non avendo possibilità di collegamento a linee telefoniche in osservatorio, non era possibile utilizzare una sincronizzazione automatica del computer a mezzo modem. Avevamo però a disposizione un DCF autocostruito che, una volta sincronizzato via radio, può emettere un bip allo scoccare di ogni secondo; l'idea è stata quindi di far emettere al computer un bip di pari frequenza ad ogni secondo, creando poi una funzione in grado di sfasare il clock interno del computer di alcuni millisecondi.
La sincronizzazione è così ottenuta manualmente, dopo aver regolato l'orologio interno, in modo approssimativo (± 1 s) mettendo a breve distanza dal computer il DCF; si agisce poi su due tasti per cercare di ottenere la massima sovrapposizione dei due segnali acustici emessi rispettivamente dal DCF e dal Computer. Dalle prove effettuate questo sistema permette la sincronizzazione con un margine di errore inferiore alla massima frequenza di campionamento che, per motivi vari di circuiteria, non si è potuta abbassare al di sotto di 0,05 s (20 letture/s).
La seconda parte del software è una veloce funzione in linguaggio macchina per la lettura dei dati dalla porta parallela. Il programma invia un segnale di start ad un piedino dell'integrato 74LS157 leggendo poi immediatamente il primo mezzo byte, viene inviato quindi un secondo segnale e viene letto il secondo mezzo byte. Ad ogni doppia lettura viene ricomposto il byte che rappresenta numericamente il valore letto in millivolt dal fotometro.
Il programma permette di impostare l'istante di inizio lettura, la durata e la frequenza di campionamento. Dopo

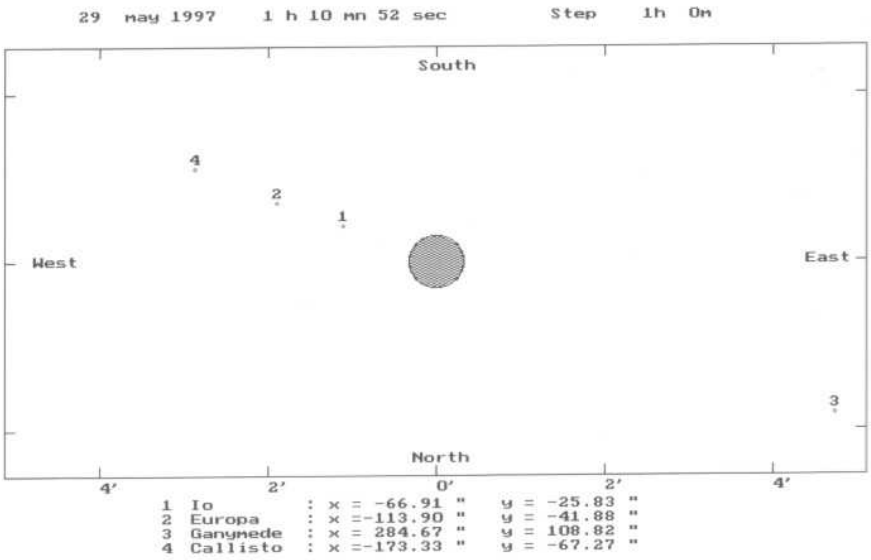

Fig. 6. Configurazione dei satelliti alle 1:09:52 UT del 29 maggio 1997.

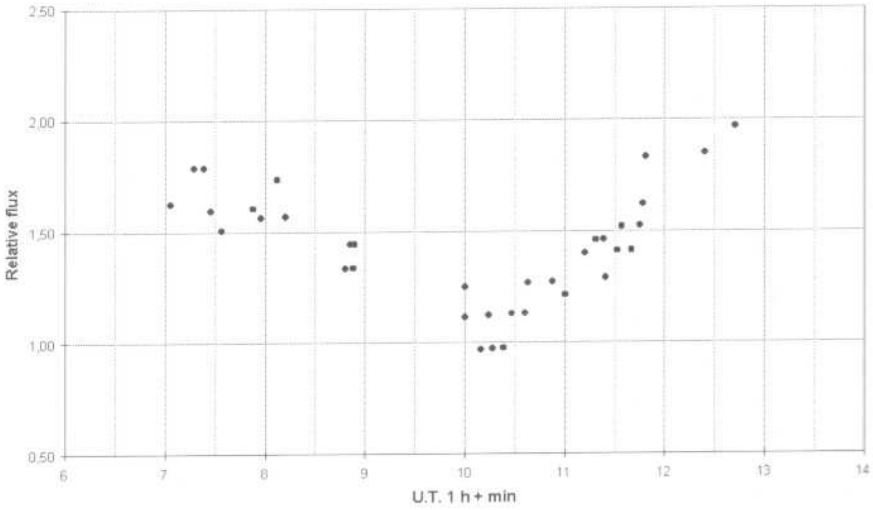

Fig. 7. Io eclissa Europa (parziale) del 29 maggio 1997 - dati osservativi.

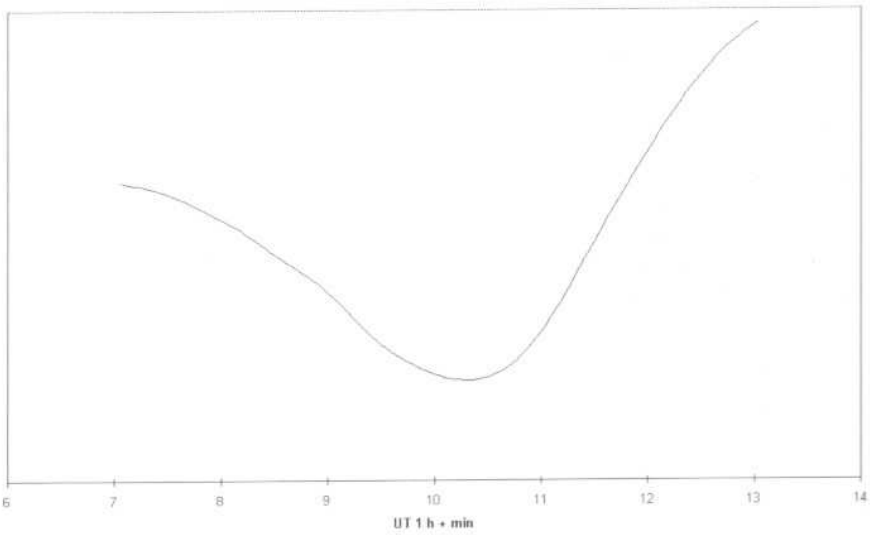

Fig. 8. Io eclissa Europa (parziale) del 29 maggio 1997 - curva di luce.

l'acquisizione, i dati immagazzinati in memoria vengono associati ai relativi istanti temporali attraverso una interpolazione tra l'istante iniziale e quello finale. Vengono visualizzati poi i dati in forma grafica per vederne l'andamento. Le informazioni possono poi essere salvate in un file ASCII standard utilizzabile da altri programmi per l'analisi e la ricostruzione della curva di luce.

Osservazioni e riduzione dei dati

I fenomeni di seguito descritti sono stati osservati dal gruppo di ricercatori dell'Osservatorio Astronomico *Serafino Zani* composto da M. Bignotti, M. Damiani, S. Foglia, G. Pizzetti e W. Marinello.

Io eclissa Europa (parziale), 29 maggio 1997

Questo evento è stato osservato con il fotometro fotoelettrico; all'epoca il fotometro non era ancora collegato al computer, così le misurazioni si sono succedute con la classica tecnica della lettura dei valori di intensità luminosa dall'amperometro. Le letture sono state registrate insieme al segnale orario DCF su audiocassetta. Nel processo di restituzione dei dati si è considerata anche la deriva del registratore. La fig. 6 mostra la configurazione dei satelliti all'istante previsto di centralità del fenomeno [4].
Le previsioni [3] fornivano i seguenti valori:

Inizio evento:	01:07:00 UT
Centralità:	01:09:52 UT
Fine evento:	01:12:44 UT
Durata:	343s
Caduta di Flusso:	0,809

Distanza da Giove: 5,8 raggi gioviani
La curva di luce ottenuta è mostrata nella fig. 7. L'analisi del fenomeno è stata affidata al programma *Avalon 5.0* [5], in grado di determinare l'istante di estremo e di ricostruire la curva di luce (v. fig. 8). Il programma utilizzato per la riduzione dei dati ha fornito il seguente risultato: istante di minimo osservato: 01:10:18,08 ± 10,66^s UT; O-C: +26,08^s.

Ganimede occulta Europa (parziale), 25 luglio 1997

Questo evento è stato osservato con il fotometro fotoelettrico collegato al computer. Il campionamento è stato

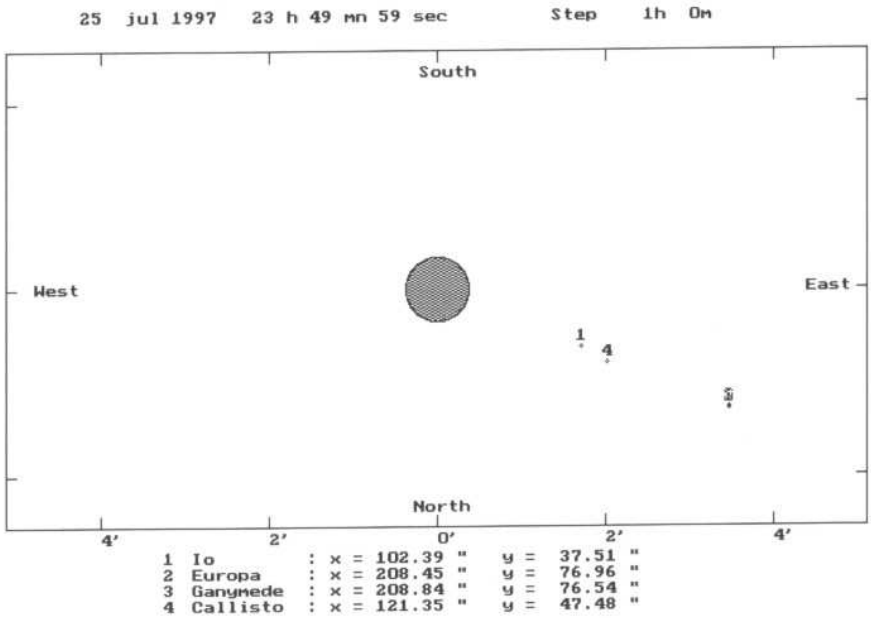

Fig. 9. Configurazione dei satelliti alle 23:49:59 UT del 25 luglio 1997

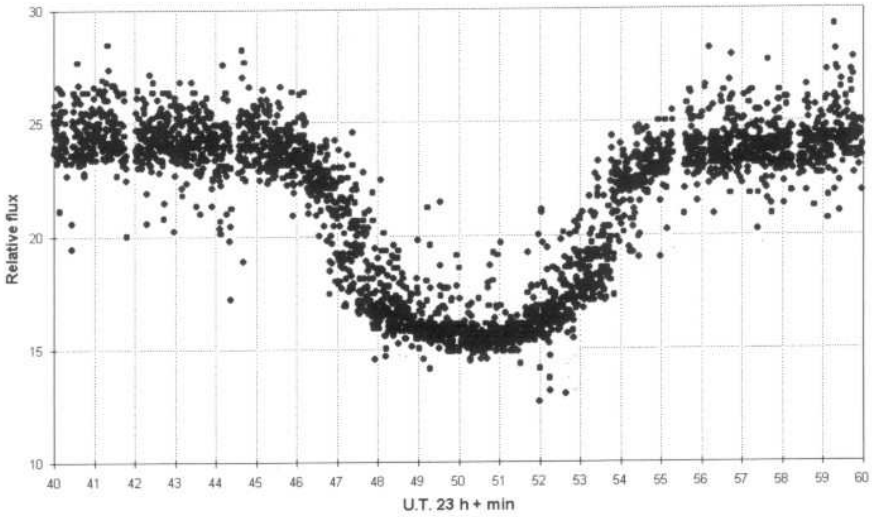

Fig. 10. Ganimede occulta Europa (parziale) del 25 luglio 1997 - dati osservativi.

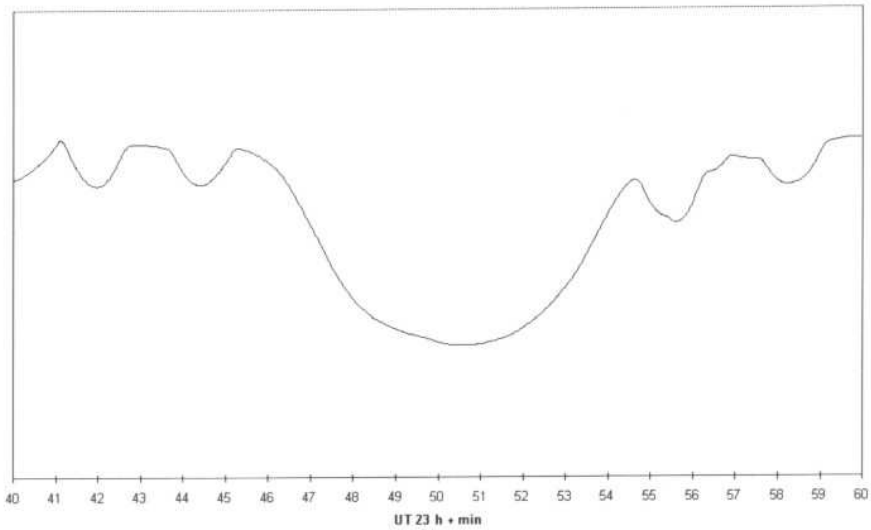

Fig. 11. Ganimede occulta Europa (parziale) del 25 luglio 1997 - curva di luce.

di 10 punti al secondo. La fig. 9 mostra la configurazione dei satelliti all'istante previsto di centralità del fenomeno [4].
Le previsioni [3] fornivano i seguenti valori:

Inizio evento:	23:44:21 UT
Centralità:	23:49:59 UT
Fine evento:	23:55:39 UT
Durata:	678s
Caduta di Flusso:	0,228

Distanza da Giove: 9,2 raggi gioviani
La curva di luce ottenuta è mostrata nella fig. 10. Di nuovo, l'analisi del fenomeno è stata affidata al programma *Avalon 5.0*: v. in fig. 11 la curva di luce ottenuta. Il programma di riduzione dei dati ha fornito il seguente risultato: istante di minimo osservato: 23:50:28,66 ± 1,69^s UT; O-C: +29,66^s.

Io occulta Ganimede (parziale), 25 settembre 1997

Questo evento è stato osservato con il fotometro fotoelettrico collegato al computer. Il campionamento è stato di 10 punti al secondo. La fig. 12 mostra la configurazione dei satelliti all'istante previsto di centralità del fenomeno [4].
Le previsioni [3] fornivano i seguenti valori:

Inizio evento:	19:51:53 UT
Centralità:	19:54:28 UT
Fine evento:	19:57:01 UT
Durata:	308s
Caduta di Flusso:	0,063

Distanza da Giove: 5,2 raggi gioviani
La curva di luce ottenuta è mostrata nella fig. 13. La fig. 14 mostra la curva di luce ottenuta col programma *Avalon 5.0*. Il programma utilizzato per la riduzione dei dati ha fornito il seguente risultato: istante di minimo osservato: 19:55:48,44 ± 0,41^s UT; O-C: + 80,44^s.

Io eclissa Ganimede (anulare), 25 settembre 1997

Questo evento è stato osservato con il fotometro fotoelettrico collegato al computer. Il campionamento è stato di 10 punti al secondo. La fig. 15 mostra la configurazione dei satelliti all'istante previsto di centralità del fenomeno [4]. Nonostante il passaggio di alcune nuvole durante la prima parte del fenomeno la bontà della rilevazione non è stata compromessa.
Le previsioni [3] fornivano i seguenti valori:

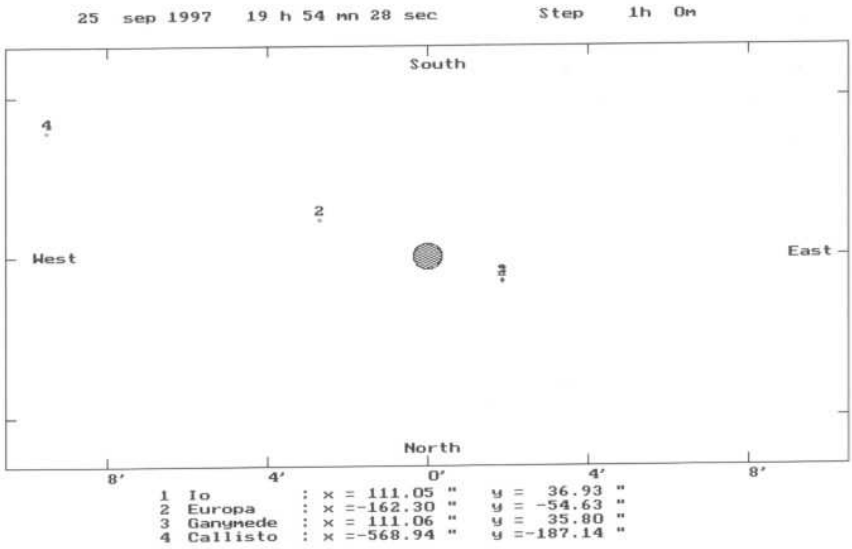

Fig. 12. Configurazione dei satelliti alle 19:54:28 UT del 25 settembre 1997.

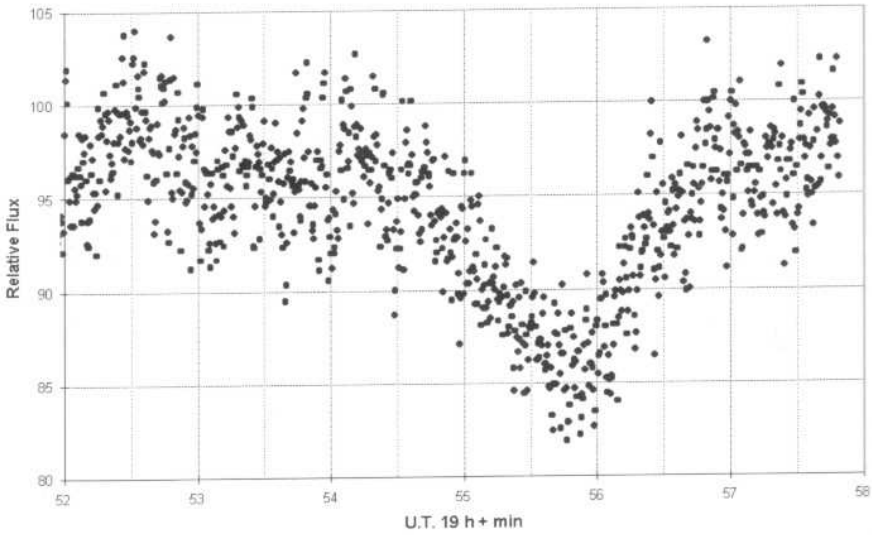

Fig. 13. Io occulta Ganimede (parziale) del 25 settembre 1997 - dati osservativi.

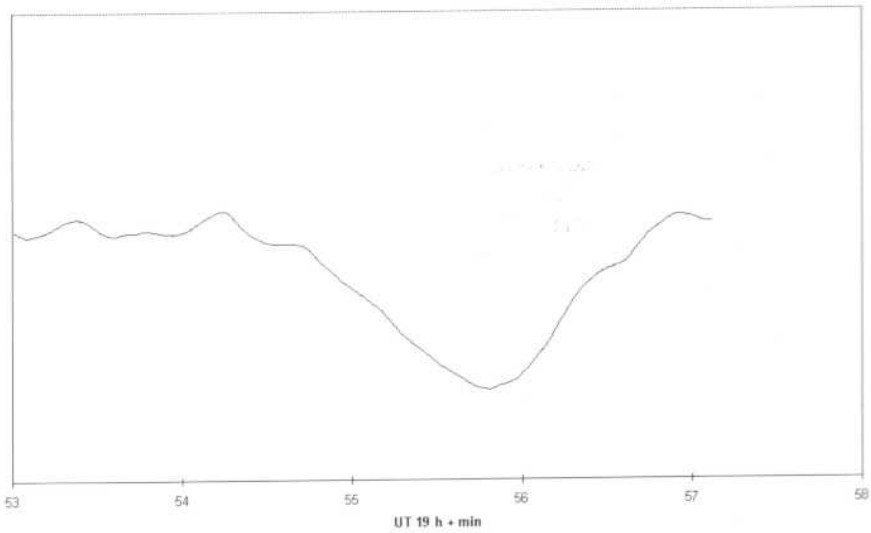

Fig. 14. Io occulta Ganimede (parziale) del 25 settembre 1997 - curva di luce.

Inizio evento: 22:28:24 UT
Centralità: 22:32:38 UT
Fine evento: 22:36:51 UT
Durata: 506s
Caduta di Flusso: 0,449
Distanza da Giove: 6,5 raggi di Giove. La curva di luce ottenuta è mostrata nella fig. 16. L'analisi del fenomeno, affidata, come di consueto, al programma *Avalon 5.0*, ha consentito di ottenere la curva di luce visibile in fig. 17. Il programma di riduzione dei dati ha fornito il seguente risultato: istante di minimo osservato: 22:32:39,37 ± 0,61ˢ UT; O-C: +1,37ˢ.

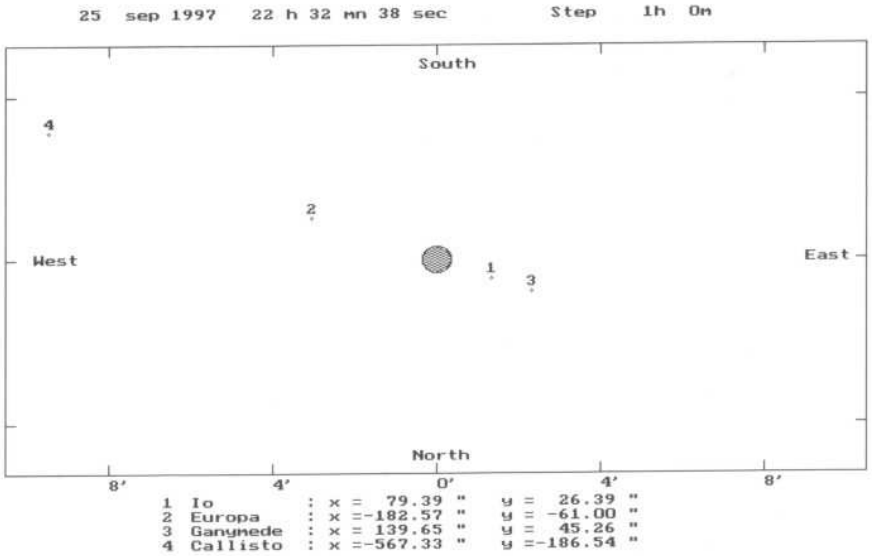

Fig. 15. Configurazione dei satelliti alle 22:32:38 UT del 25 settembre 1997.

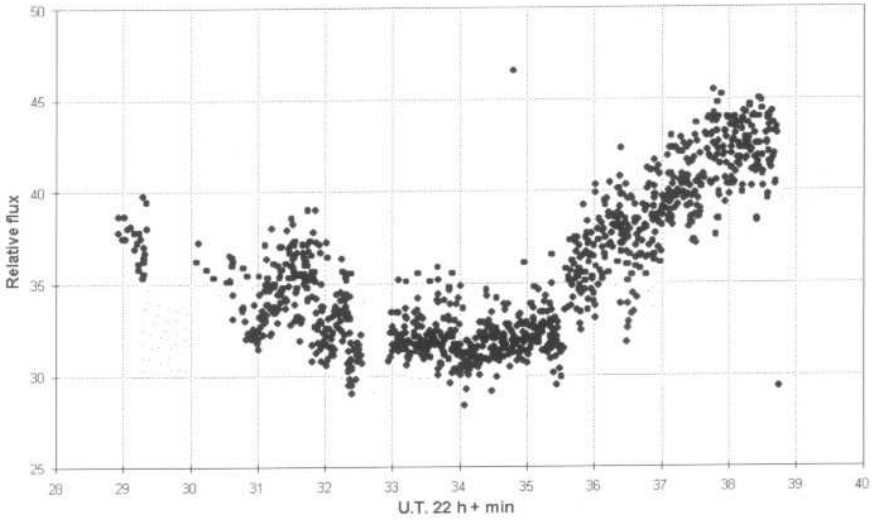

Fig. 16. Io eclissa Ganimede (anulare) del 25 settembre 1997 - dati osservativi.

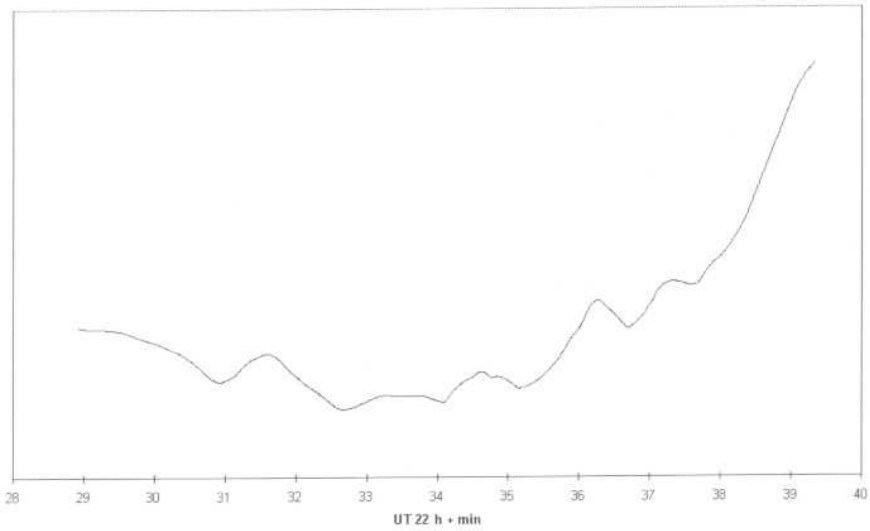

Fig. 17. Io eclissa Ganimede (anulare) del 25 settembre 1997 - curva di luce.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Bureau des Longitudes, in particolare il dr. J.-E. Arlot e il dr. C. Ruatti, per la disponibilità dei programmi per computer *Phemu97* e *Satel121* e per il supporto fornito durante la campagna osservativa PHEMU97 promossa dallo stesso istituto.
Desideriamo inoltre ringraziare il dr. A. Gaspani, dell'Osservatorio Astronomico di Brera, per la disponibilità del programma *Avalon* per la riduzione dei dati osservativi, e il sig. Mauro Capelli per il prezioso aiuto nella realizzazione del convertitore A/D per il collegamento del fotometro al computer.

Bibliografia

[1]. Arlot, J.-E. *Presentation of the galileian satellites of Jupiter, of their mutual phenomena and the campaigns of observations* (Bureau des Longitudes, Parigi, 1997)
[2]. Arlot, J.-E.; Lechaceux, J. *The photometric observations of the mutual events* (Bureau des Longitudes, Parigi. 1997).
[3]. *Phemu97 - Observation of the mutual events of the galilean satellites of Jupiter during the 1997 period*, v. 1.0 (Bureau des Longitudes, Parigi, 1996).
[4]. Colas, F. *Satel121* (Bureau des longitudes, Parigi, 1996).
[5]. Gaspani, A. *Avalon: artificial neural network searching for the time of extremum of a sampled noisy function*, Rel. 5.0 (Milano-Brera, 1995).