

Manuale per l'Osservazione dei Transiti dei Pianeti Extrasolari

M. Barbieri¹ & C. Lopresti²

¹ LAM, Traverse du Siphon, BP 8, Les Trois Lucs, 13376 Marseille Cedex 12, France
e-mail: mauro.barbieri@oamp.fr

² IRAS, UAI La Spezia, Italia
e-mail: yclop@yahoo.it

26 gennaio 2008

Sommario

Note osservative e sulla riduzione dati per gli osservatori di transiti exoplanetari. . .

1. Setup strumentale

1.1. Sincronizzazione temporale

Per un perfetto sincronismo dei fenomeni che si vogliono osservare, vi è la necessità di sincronizzare l'orologio del proprio PC via internet. Può essere usato, ad esempio Time Memo per Windows2000 oppure Atomic Clock Sync che si possono impostare per controllare l'orologio ogni ora. I programmi utilizzabili sono tanti: a questa pagina ne trovate un lungo elenco: <http://www.oink.com/misc/timesync.html>. Chi usa XP può più semplicemente settare l'opzione corrispondente sull'orologio di Windows. Un altro interessante programma freeware è quello di Gianni Benintende, che potete scaricare alla pagina <http://www.astrogb.com/astroalarm.htm>. Se non avete impostato in automatico questa correzione, fatelo manualmente prima dell'inizio di ogni sessione osservativa.

1.2. CCD

Le pose vanno fatte il più lunghe possibile per abbattere la scintillazione (sezione 1.5), cercando di non superare l'80-90% del valore di saturazione per le stelle più brillanti usate come riferimento e allo stesso tempo di non scendere mai al di sotto del 70%. Se si usa un sensore dotato di anti-blooming è necessario verificare con qualche stella di analogia magnitudine a quella in esame, la linearità del sensore, nel caso si riscontrino problemi di linearità conviene sfocare la stella (sezione 1.6). Durante le osservazioni mantenere l'autoguida sempre accesa.

Regole generali per le osservazioni:

- non usare CCD dotati di anti-blooming perchè introduce non linearità del sensore
- lavorare sempre e solo nella zona di risposta lineare del CCD
- non usare il binning, cioè usare configurazione binning 1x1

Molti si chiedono perchè usare un binning 1x1 e non un binning 2x2 o maggiore: gli unici effimeri vantaggi che ci sono ad usare questo tipo di binning rispetto al binning 1x1 sono:

1. diminuire il tempo di lettura (che è già basso)
2. diminuire il RON (che è già basso)

il resto sono solo svantaggi:

1. mancanza di uniformità nel modo di fare il binning nei vari chip ed eventuale perdita di precisione nella conversione a 16 bit (problematiche dei differenti costruttori i chip)
2. tempi di posa più corti (aumenta la scintillazione)
3. maggior sensibilità ai pixel caldi/morti/cosmico (se uno è caldo/morto/cosmico, lo diventa tutto il pixel binnato)
4. a parità di defocus in numero di pixel su cui fare la fotometria diminuisce, diminuendo quindi il rapporto segnale rumore

1.3. Immagini di calibrazione

Per le immagini di calibrazione:

- i dark devono avere lo stesso tempo di posa delle immagini
- i flat field vanno ripresi o ad inizio o a fine sessione osservativa
- devono essere ripresi anche i bias

Un'utile guida in italiano comprendere i concetti legati alle immagini di calibrazione e molto altro lo si può trovare nel blog di Martino Nicolini <http://astronomiadigitale.blogspot.com>

Per chi ha montature tedesche ed è necessario ribaltare il telescopio durante le osservazioni, a causa del passaggio al meridiano i dati utili sono da considerarsi solo per una delle due configurazioni, possibilmente quella che contiene la maggior parte dei punti. Altrimenti, per non perdere la precisione, sarà necessario, per la serie di immagini prese dopo il ribaltamento, ripetere i flat fields. Teoricamente, non sarebbe necessario e basterebbero i flat presi prima del ribaltamento, ma l'esperienza dimostra che bene ripetere i flat, anche perchè non siamo sicuri che nell'operazione non vi sia qualche piccola flessione del CCD rispetto al tubo ottico, oppure dello specchio, o altro.

1.4. Filtri

Le pose vanno fatte nel filtro più rosso che si ha a disposizione. Per abbattere i problemi di estinzione all'interno del campo, la scelta migliore sarebbe un filtro I (o z), ma a queste lunghezze d'onda i sensori CCD tipicamente risentono del fringing e non è mai facile trattare con questo disturbo. Il consiglio è quindi di utilizzare un filtro R. Non è necessario che il filtro R sia un filtro fotometrico, ma l'importante è che tagli le lunghezze d'onda

blu che sono quelle che comportano maggiori problemi per la scintillazione. In assenza di un filtro R si può usare un filtro V.

L'idea di sfruttare il filtro stretto può sembrare buona ma in realtà è controproducente. L'unico serio vantaggio che si ha con questo setup è che se il tempo di lettura del CCD è abbastanza lungo, si può con pose lunghe ottimizzare il duty cycle osservativo (minimizzare il tempo sprecato per la lettura del CCD).

Per osservare transiti bisogna avere il più grande numero di fotoni possibili per ridurre il rumore, e per definizione il filtro stretto taglia moltissimi fotoni quindi non è indicato, inoltre il rapporto segnale rumore che si otterrebbe non sarebbe paragonabile a quello di una stella sfocata fatta con filtro a banda larga.

Inoltre i filtri stretti possono avere la spiacevole caratteristica di essere sensibili a righe di emissione, righe che nelle stelle non ci sono complicando di molto il confronto tra una e l'altra rendendo le misure molto sensibili alle variazioni del fondocielo/atmosferiche.

Queste considerazioni possono sembrare brutte per chi è sempre stato abituato a fare fotometria mettendo bene a fuoco le stelle, ma per questa particolare applicazione si è costretti a ricorrere a queste tecniche defocali che raramente nel passato sono state utilizzate.

1.5. Scintillazione

In Tab. 1 è riportata la scintillazione attesa in banda R per alcuni diametri tipici e tempi di posa tipici. Per ottenere le migliori prestazioni fotometriche possibili è necessario ridurre al minimo il contributo della scintillazione. Poichè la scintillazione è dominante quando i telescopi hanno un diametro inferiore a 40 cm circa, utilizzando questi telescopi è necessario sfocare sino a raggiungere un tempo di posa che permetta di abbattere la scintillazione, questo avviene quando la scintillazione ha un valore massimo di 3 mmag.

Formula della massa d'aria

$$A = \sec z - 0.0018167 \sec(z - 1) - 0.002875 \sec^2(z - 1) - 0.0008083 \sec^3(z - 1) \quad (1)$$

dove $\sec z = 1/(\cos z)$ e z è la distanza zenitale. Formula della scintillazione in mmag:

$$s = \frac{90d^{-2/3}A^{1.75}e^{-h/8000}}{\sqrt{2t_{exp}}} \quad (2)$$

dove d è il diametro del telescopio in cm, A è la massa d'aria, h è l'altezza sul livello del mare in m, t_{exp} è il tempo di esposizione in secondi.

1.6. Sfocatura

Per alcuni telescopi (specialmente quelli di maggior diametro) le stelle osservate sono molto brillanti e saturano in poco tempo, in questo caso è opportuno sfocare la stella in modo da avere gli stessi fotoni ma su più pixel. L'operazione di sfocamento non pregiudica in nessun modo la fotometria d'apertura. La diaframmatura del telescopio è controproducente e assolutamente sconsigliata in quanto fa solo aumentare la scintillazione e quindi il rumore sul segnale.

Per ottenere il valore del diametro della stella sfocata in arcosecondi è sufficiente moltiplicare il diametro misurato in pixel

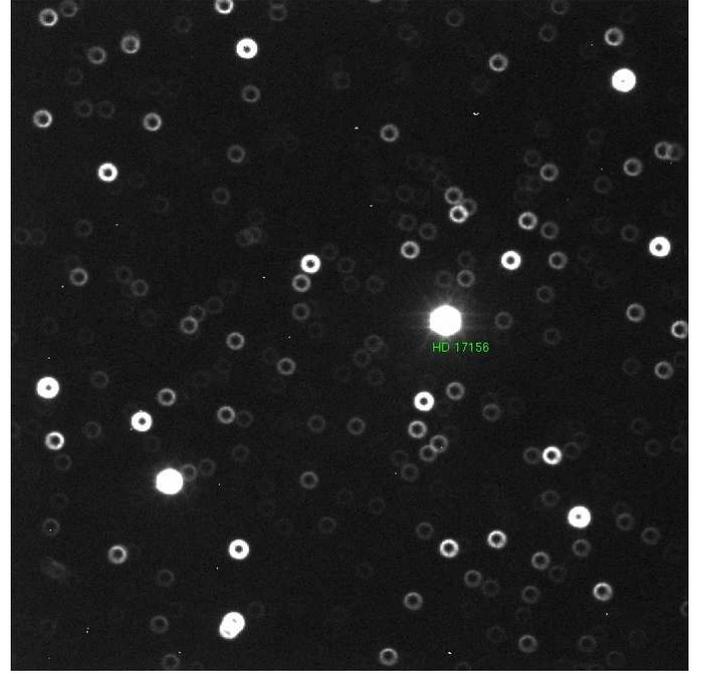


Figura 1. Esempio di immagine defocata da ottenere.

per la scala del telescopio. La scala del telescopio in $''/px$ è data dalla formula seguente:

$$scala = \frac{206.265 \cdot px}{f} [''/px] \quad (3)$$

con px espresso in μm ed f in mm

È da mettere bene in evidenza il fatto che bisogna sfocare moltissimo, approssimativamente sui 30 secondi d'arco per arrivare a tempi di posa dell'ordine di 1 minuto circa. Non importa la bellezza dell'immagine ma solo la possibilità di fare buone misure sui fotoni che arriveranno. Quindi non abbiate paura a sfocare quanto più possibile.

Il defocus da ottenere è qualcosa di simile alle ciambelle che si vedono in Fig.1. Questo naturalmente comporta un problema di guida, che si può risolvere utilizzando un telescopio di guida in parallelo.

1.7. Calcolo del tempo di posa

Il tempo di posa per ottenere un fissato rapporto segnale rumore SNR è pari a:

$$t_{exp} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4)$$

dove:

$$a = N^2 \quad (5)$$

$$b = -SNR^2(N + n_{pix}(N_S + N_D)) \quad (6)$$

$$c = -SNR^2n_{pix}N_R^2 \quad (7)$$

SNR è il rapporto segnale rumore voluto, N è il numero di elettroni per secondo della sorgente, n_{pix} è il numero di pixel usati per il calcolo del SNR, N_S è il numero totale di fotoni dal fondo cielo, N_D è il numero di fotoelettroni generati dalla corrente di buio, N_R è il read out noise (RON)

z	massa d'aria	t=30 s			t=40 s			t=50 s			t=60 s		
		20 cm	30 cm	40 cm	20 cm	30 cm	40 cm	20 cm	30 cm	40 cm	20 cm	30 cm	40 cm
90	1.00	1.5	1.2	1.0	1.3	1.0	0.8	1.2	0.9	0.7	1.1	0.8	0.8
75	1.04	1.6	1.2	1.0	1.4	1.1	0.9	1.2	1.0	0.8	1.1	0.9	0.9
60	1.15	2.0	1.5	1.2	1.7	1.3	1.1	1.5	1.2	1.0	1.4	1.1	1.1
45	1.41	2.8	2.1	1.8	2.4	1.8	1.5	2.2	1.6	1.4	2.0	1.5	1.5
30	2.00	5.1	3.9	3.2	4.4	3.4	2.8	3.9	3.0	2.5	3.6	2.7	2.7
15	3.82	15.8	12.1	10.0	13.7	10.5	8.6	12.3	9.4	7.7	11.2	8.5	8.5

Tabella 1. Valori della scintillazione in mmag per alcuni tempi di posa tipici e diametri tipici. I valori per tempi di posa intermedi e/o diametri medi posso essere calcolati per interpolazione. La scintillazione è calcolata per una altezza sul livello del mare di 300 m, altezze minori forniscono scintillazioni maggiori, viceversa altezze maggiori diminuiscono la scintillazione. Entro 0 e 1000 metri le differenze sono del decimo di mmag. Solo oltre 2000 m di quota si comincia ad apprezzare una sensibile riduzione della scintillazione.

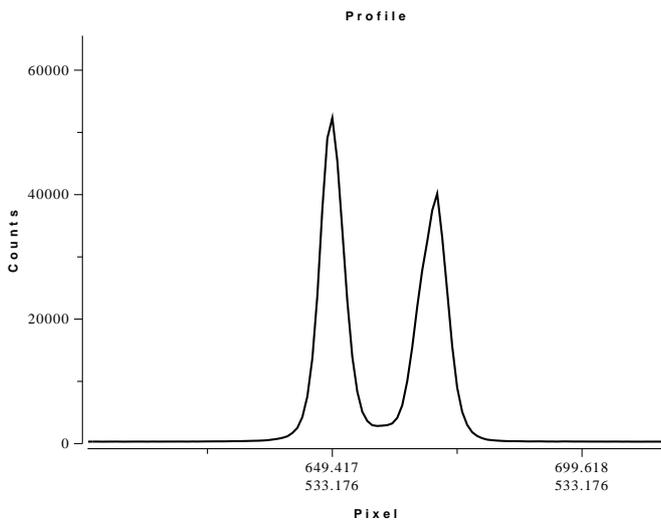


Figura 2. Profilo di HD 17156, ottenuto dalla Fig. 1

2. Creazione delle curve di luce

2.1. Preparazione delle immagini per IRIS

Esistono molti software per fare la riduzione delle immagini e vi sono consigli particolari su quale utilizzare, tuttavia per quanto riguarda la fotometria IRIS <http://astrosurf.com/buil/iris> risponde quasi appieno alle esigenze di fotometria differenziale. Nel costruire le curve di luce è molto veloce, per l'allineamento e la fotometria di circa 300 immagini da 700x700 pixel impiega 20 minuti su di un portatile con processore AMD Duron a 800 MHz.

In sede di ripresa può essere utilizzato il vostro normale programma di acquisizione. Poi però dovremo adottare alcuni accorgimenti per rendere il tutto compatibile con IRIS. Prima di tutto le immagini devono essere realizzate rigorosamente in formato FITS.

Se ad ogni immagine ripresa attribuite manualmente il nome, fatelo già in modo compatibile con IRIS. Poniamo che il programma che voi usate per acquisire le vostre immagini, se usate una sequenza automatica, attribuisca questi nomi ai files:

```
nome001.fit
nome002.fit
nome003.fit
...
```

conviene nominare i files in questo modo (ci servirà dopo in sede di analisi con IRIS):

```
NNNCCxxx001.fit
NNNCCxxx002.fit
NNNCCxxx003.fit
...
```

dove NNN = prime tre lettere del vostro nome CCC = prime tre lettere del vostro cognome xxx = codice (o nome) dell'oggetto ripreso 001, 002, 003, ecc. è la numerazione progressiva in ordine cronologico delle immagini dell'oggetto che il programma attribuirà automaticamente.

Qualunque sia il programma di acquisizione, prima di usare la procedura di IRIS, dovrete rinominare le immagini da 1 a 99 (e facendo attenzione che siano in ordine cronologico di ripresa) nel modo seguente (altrimenti IRIS si fermerà e vi darà un messaggio di errore)

```
NNNCCxxx1.fit
NNNCCxxx2.fit
NNNCCxxx3.fit
...
NNNCCxxx97.fit
NNNCCxxx98.fit
NNNCCxxx99.fit
```

In pratica dovete togliere tutti gli zeri iniziali da 001, 002, 003 ...Esiste però, a questo proposito, un programma (BulkFileRenamer) scaricabile a questo link <http://www.bexonsoft.com/BulkFileRenamer/index.htm> che consente di rinominare sequenze di immagini e far risparmiare molto tempo.

Vi è ancora un problema da risolvere, prima di usare IRIS. Le immagini sul vostro PC sono probabilmente a 16 bit, e quindi i valori dei pixel possono arrivare da 0 a 65535 ($2^{16} = 65536$) ovviamente tale valore non va superato nelle stelle che volete misurare. Ma qui il problema è che IRIS può leggere e misurare valori che vanno da -32768 a +32767 (fra il minimo e il massimo di questi due valori, zero compreso, fa sempre 65536). Morale della favola: tutti i valori che superano 32767 per IRIS saranno a fondo scala, e quindi tutti i pixel oltre questo valore saranno ritenuti saturi. Impossibile pensare di fare fotometria in queste condizioni. Il rimedio è il seguente: occorre usare una utility di IRIS che divide per due tutti i pixel della vostra sequenza, che andrà messa in una apposita directory. Occorre aprire la finestra di dialogo di IRIS, quella dei comandi diretti, e il comando da dare è questo:

```
CONVERTSX [IN] [OUT] [NUMERO]
```

dove IN è il nome del file a 65536 livelli e OUT è il nome del risultato della divisione fatta dal programma e NUMERO è il numero delle immagini da convertire. Facciamo un esempio: avete 68 immagini nella directory

```
c:\pippo
```

```
denominate
```

```
xxx1
```

```
xxx2
```

```
...
```

```
xxx68
```

e volete chiamarle

```
pluto1
```

```
pluto2
```

```
...
```

```
pluto68
```

Il comando da dare sarà

```
CONVERTSX c:\pippo\xxx c:\pippo\pluto 68
```

2.2. Analisi fotometrica

Si procede ora all'analisi fotometrica delle immagini. Caricare la prima immagine della sequenza con il comando `LOAD`. Selezionare le stelle da misurare (la prima sarà la nostra stella variabile). Aprire la finestra *Select objects*, aprire la finestra *Automatic photometry*. Fare click prima sulla stella oggetto della ricerca, e poi sulle stelle di confronto (fino a 4 al massimo). Nella finestra *Input generic name* occorre inserire il nome completo della parte comune a tutti i files, e cioè nel nostro caso

```
c:\pippo\pluto
```

nella finestra *Output data file* va indicato il file di output che verrà prodotto da IRIS come file di testo (cioè il risultato dell'analisi). Nel nostro caso, se vogliamo chiamarlo *valori-adu.txt*, dovremo inserire:

```
c:\pippo\valori-adu.txt
```

Alla pagina web http://astrosurf.com/buil/iris/tutorial1157doc38_us.htm nel paragrafo *Automatic photometry of a sequence* si trovano tutte le istruzioni per effettuare la fotometria differenziale, ma alla procedura vanno fatte alcune modifiche:

1. Nella finestra *Number* va messo il numero delle immagini da analizzare, nel nostro caso 68.
2. La finestra *magnitude output* non va selezionata (poiché vogliamo il risultato in ADU).
3. Non selezionare *No matching* e lasciare fare l'allineamento delle immagini al programma.
4. Va selezionato *Aperture photometry* e vanno messi i valori della finestra fotometrica (*Radius 1*) e dell'anello (*anulus*) esterno per la misura del fondo cielo (*Radius 2 Radius 3*).
5. Ovviamente la dimensione di questi raggi dipenderà dalla dimensione delle stelle sfuocate che avrete ottenuto.

Il raggio dell'apertura da utilizzare (*Radius 1*) è, indicativamente, 3 volte la FWHM, i due raggi ulteriori (*Radius 2* e *Radius 3*) sono da scegliere in modo che siano sufficientemente lontani dalla stella e allo stesso tempo non troppo lontani, indicativamente il primo dei due a $5 \times \text{FWHM}$ e il secondo a $6 \times \text{FWHM}$ il valore dei raggi in IRIS è espresso in pixel e la scelta del raggio della finestra fotometrica (3 volte la FWHM) può essere fatta utilizzando la funzione *growth curve* (presente in molti software di acquisizione) o in alternativa anche analizzando il profilo stellare (in IRIS con il menu *View*, *Slice* in Astroart con il menu

Visualizza, *Profilo*, *Liberò*) in modo da scegliere un valore che includa il valore indicato.

Nelle misure di fotometria accurata vi è da fare però attenzione al fatto di non includere stelle all'interno della finestra fotometrica o all'interno della corona circolare del fondo cielo. Nel caso di fotometria differenziale questo elemento può disturbare, ma non è essenziale ai fini della determinazione del transito planetario. È ovvio che il raggio della finestra e della corona dipende dalle dimensioni che le stelle avranno nelle immagini, che sarà più grande quanto più le stelle sono state sfuocate in ripresa.

Il risultato nel file *valori-adu.txt* (se avete solo 2 stelle di confronto) sarà una cosa di questo tipo:

```
2454438.3960000 456731 387401 114158
2454438.3963773 468255 379549 115525
2454438.3967824 456391 385427 114006
2454438.3971759 458411 389396 114350
```

dove (ad esempio) la prima riga rappresenta le misure fatte nell'immagine n. 1, la seconda riga le misure dell'immagine 2, ecc

- 2454438.3960000 è il tempo (in giorni giulian JD)
- 456731 è il valore in ADU della stella oggetto della ricerca
- 387401 è il valore in ADU della prima stella di confronto
- 114158 è il valore in ADU della seconda stella di confronto

Questo file, così prodotto sarà il risultato della vostra serata osservativa ed è quello che serve per l'approfondimento delle analisi fotometriche sui pianeti extrasolari.

Il programma fornisce le curve di luce di solo 5 stelle alla volta, quindi è necessario ripetere la procedura per tutte le stelle di cui si vuole ottenere le curve di luce. Nelle successive iterazioni per ottenere le curve di tutte le stelle, non si deve riottenere la fotometria anche della stella in cui si sta ricercando il transito. Le stelle di cui vanno ottenute le curve di luce sono tutte quelle nel campo entro 2 massimo 3 magnitudini (usare 3 se e solo se il campo è privo di stelle sufficientemente brillanti)

Alla fine è necessario creare un unico file di testo delle curve di luce fatto così:

```
JD, ADU stella, ADU ref1, ADU ref2, ADU ref3, ...
```

3. Analisi delle curve di luce

Descrizione del pacchetto di programmi per l'analisi delle curve di luce. I programmi sono scritti in Fortran 90 e per girare richiedono o Linux o MacOSX o in alternativa sotto Windows è necessario avere installato Cygwin. Il compilatore Fortran consigliato è G95: <http://g95.sf.net>.

mettere link al sito per il download dei programmi

3.1. Scelta delle stelle di confronto adatte

Prima di tutto è necessario visualizzare le curve di luce delle singole stelle per stimare la loro qualità.

Per ottenere una curva di luce è sufficiente fare il grafico di JD contro ADU stella/(somma ADU ref) ed eventualmente rifarlo (cioè ottenere la fase fotometrica dal JD), in definitiva le formule da utilizzare sono:

$$\phi = \text{modulo} \left(\frac{HJD - T_c}{P}, 1 \right) \quad (8)$$

HJD tempo dell'osservazione in HJD, T_c tempo della centralità del transito in HJD, P periodo orbitale in giorni.

$$\text{Flusso} = \frac{\text{ADU}_{\text{stella}}}{\sum \text{ADU}_{\text{rif}}} \quad (9)$$

Esempio di script per Gnuplot¹ per produrre i grafici delle curve di luce <http://maueo1.googlepages.com/grafici.plt>

La creazione delle differenti combinazioni delle curve di luce si effettua con il programma *lcurve-comb*. Il programma crea tutte le combinazioni delle differenti curve di luce e determina quale sia la migliore combinazione che meglio approssima il transito teorico, che poi servirà per la successiva analisi.

La curva così ottenuta potrebbe avere (quasi sicuramente) una pendenza che potrebbe essere originata o dalla massa d'aria o dal differente colore delle stelle utilizzate o dalla variabilità intrinseca di una delle stelle usate come riferimento. Usualmente si corregge questo problema facendo un fit lineare dei punti fuori transito, e sottraendo il risultato di questo fit alla curva di luce. Questa correzione si effettua con il programma *lcurve-detrend*.

...

3.2. Fit dei parametri orbitali

La determinazione dei parametri orbitali si effettua con il programma *lcurve-analysis*. Il programma effettua un fit con una curva di luce trapezoidale e fornisce in output il momento della centralità del transito, la durata del transito e la profondità del transito.

Una volta ottenuto questo fit si utilizza il programma *lcurve-analysis-real* per ottenere il fit con una curva di luce dipendente dai parametri orbitali. Come valori di input vanno forniti gli output di *lcurve-analysis*.

...

4. Programmazione delle osservazioni

Raccolta di formule utili per la programmazione delle osservazioni.

Probabilità di occorrenza di un transito in funzione dei parametri orbitali del pianeta noti dalle velocità radiali:

$$P_{tr} = 0.0045 \left(\frac{1 \text{AU}}{a} \right) \left(\frac{R_{\star} + R_{pl}}{R_{\odot}} \right) \left[\frac{1 + e \cos(\frac{\pi}{2} - \varpi)}{1 - e^2} \right] \quad (10)$$

Equazione delle effemeridi

$$T_c = T_{c0} + NP \quad (11)$$

T_c tempo della centralità del transito in HJD, T_{c0} tempo della centralità del primo transito in HJD, N numero di transiti trascorsi dal primo transito, P periodo orbitale in giorni.

Errore sulle effemeridi

$$\sigma_{T_c} = \sqrt{N^2 \sigma_P^2 + \sigma_{T_{c0}}^2} \quad (12)$$

σ_{T_c} errore sul tempo della centralità del transito in HJD, $\sigma_{T_{c0}}$ errore sul tempo della centralità del primo transito in HJD, N numero di transiti trascorsi dal primo transito, σ_P errore sul periodo orbitale in giorni.

Durata del transito formula approssimata

$$D = \frac{PR_s}{\pi a} \quad (13)$$

Durata del transito formula per orbite eccentriche (corretta entro pochi %)

$$D = \frac{2(R_s + R_p)r_t}{\sqrt{G(M_s + M_p)a(1 - e^2)}} \sqrt{1 - \frac{r_t^2 \cos^2 i}{(R_s + R_p)^2}} \quad (14)$$

dove

$$r_t = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\pi/2 - \omega)} \quad (15)$$

Profondità del transito in flusso

$$\frac{dL}{L} = \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2 \quad (16)$$

Profondità del transito in magnitudini

$$\delta M = -2.5 \log_{10} \left(1 - \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2 \right) \quad (17)$$

Densità di un pianeta, assumendo che sia una sfera di densità costante

$$\rho = \frac{3 M_p}{4\pi R_p^3} \quad (18)$$

Calcolo dell'istante della centralità del transito T_c a partire dalla conoscenza del momento del passaggio al periastro T_0

$$T_c = T_0 + \frac{P(E - e \sin E)}{2\pi} \quad (19)$$

dove P è il periodo orbitale, e è l'eccentricità orbitale, E è l'anomalia eccentrica al momento del passaggio al periastro calcolabile risolvendo l'equazione di Keplero.

5. Link utili

5.1. Pianeti Extrasolari

Extrasolar Planets Encyclopedia di Jean Schneider: <http://exoplanet.eu>

I pianeti extrasolari in transito, raccolti e commentati da Frederic Pont: <http://obswww.unige.ch/~pont/TRANSITS.htm>

Il progetto Transitsearch.org di Gregory Laughlin: <http://www.transitsearch.org>

Il blog di Gregory Laughlin sui pianeti extrasolari: <http://www.oklo.org>

L'archivio delle curve di luce amatoriali dei transiti extrasolari di Bruce Gary: <http://brucegary.net/AXA/x.htm>

5.2. Tool utili

Immagini Meteosat in tempo reale: http://www.eumetsat.int/Home/Main/Image_Gallery/Real-time

Calcolo della visibilità degli oggetti: <http://catserver.ing.iac.es/staralt/index.php>

Conversione di coordinate: <http://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/Lookup/wwLookup>

Fasi lunari: <http://stardate.org/nightsky/moon>

Orari di sorgere e tramonto del Sole: <http://stardate.org/nightsky/riseset>

Conversione di JD in data standard e viceversa: <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/JulianDate.php>

¹ <http://www.gnuplot.info>

5.3. Creazione delle curve di luce teoriche

...

6. Programma osservativo e risultati

6.1. HD 46375

Nessun transito noto : priorità elevatissima, possibile transito identificato a dicembre, la stella non sarà più visibile da marzo.

6.2. HD 17156b

Scoperto il transito, osservato in due occasioni, prossimo transito 19 marzo: priorità elevata, necessaria copertura fotometrica lungo tutta l'orbita.

6.3. GJ 436b

Transito noto, nessun transito osservato da noi: priorità elevata, possibile variazione dei tempi del transito a causa di un altro compagno planetario

6.4. HD 68988b

Transito non noto : priorità normale

6.5. ν And b

Transito non noto : priorità normale

6.6. HD 118203b

Transito non noto : priorità normale

6.7. Transiti noti : oggetti a bassa priorità

HD 209458: numerosi transiti osservati
 HAT-P1: numerosi transiti osservati
 HAT-P2: numerosi transiti osservati
 WASP-1: numerosi transiti osservati
 WASP-2: numerosi transiti osservati
 XO1: numerosi transiti osservati
 XO2: numerosi transiti osservati
 XO3: 2 transiti osservati

7. Rapporto osservativo

Al termine delle osservazioni è necessario compilare un rapporto osservativo e inviare i files relativi alla fotometria. I files da inviare sono tre:

1. un file di testo contenete il rapporto osservazioni notturne (non utilizzate files DOC e nel testo non aggiungere i caratteri speciali per i gradi od accenti). Se possibile compilarlo in inglese, altrimenti in italiano.
2. un'immagine JPG del campo con indicate le stelle utilizzate per la fotometria
3. il file di output di IRIS contenete la fotometria in ADU

Se uno dei campi riportati non è possibile riempirlo perché non sono disponibili le necessarie informazioni, lasciate il campo vuoto e non cancellatelo dal report (questo per facilitare il programma di lettura).

7.1. Esempio di rapporto osservativo compilato

- Object: XO-2 (NOME OGGETTO)
- Date: 2008 01 24 (DATA INIZIO OSSERVAZIONI)
- Site : Astronomical Observatory - University of Siena - Italy (LUOGO)
- Coord: Lat +43 18 45 N - Long 11 20 12 E (NO CARATTERI SPECIALI)
- Observers: A.Borsi, M.Conti, A.Marchini, F.Marchini (OSSERVATORI)
- From: 2008.01.24 h 18.30 UT (INIZIO OSSERVAZIONI)
- To: 2008.01.25 h 01.15 UT (FINE OSSERVAZIONI)
- JD Time: UT GEOCENTRIC (with NO heliocentric correction) (TIPO DI JD FORNITO, QUESTO E' IL DEFAULT DI IRIS)
- Sky: clear, seeing 3-4/5 (CONDIZIONI DEL CIELO)
- Moon: 2 days after full moon (16.4 days old), 93% illuminated, rises h 18.34, more than 50 degrees from ccd-field (LUNA)
- Filter: V Johnson-Cousins (Schuler) (FILTRO USATO)
- Telescope diameter: (25 DIAMETRO TELESCOPIO IN cm)
- Focal length : 1600 (LUNGHEZZA FOCALE IN mm)
- Focal ratio: 6.3 (RAPPORTO FOCALE)
- CCD: Starlight Xpress SX-L8 (TIPO CCD)
- FoV: 16.5x16.5 (CAMPO DI VISTA IN PRIMI D' ARCO)
- Scale: 1.93 (IN ARCOSECONDI/PIXEL)
- Exposure: 90 (IN SECONDI)
- Defocus : Y (Y = IMMAGINI SFOCATE, N = IMMAGINI A FUOCO)
- Defocus size : 10 (DIMENSIONI DELLA FWHM IN PIXEL)
- Acquisition software: Astroart
- Data reduction software: Iris
- Calibration dark : Y (Y = IMMAGINI DI DARK RIPRESE E UTILIZZATE, N = NO DARK NON CONSIGLIATO)
- Calibration flat-field : Y (Y = IMMAGINI DI FLAT-FIELD RIPRESE E UTILIZZATE, N = NO FLAT FIELD NON CONSIGLIATO)
- Photometry iris: aperture 5 pixels - gap 26 - annulus 7 (PARAMETRI PER LA FOTOMETRIA CON IRIS)
- Information about object and ref stars (for photometry):
- Obj1: XO-2 = TYC/GSC 3413:0005 (NOME OGGETTO DI CATALOGO DELL'OGGETTO)
- coord: RA 07 48 06.468 DE +50 13 32.96 (COORDINATE)
- mag: V=11.25 R=10.80 (MAGNITUDINI)
- Ref1: GSC 3413:0210 B=12.30, R=11.10 (STELLA DI RIFERIMENTO E MAGNITUDINI DI CATALOGO)
- Ref2: GSC 3413:0011 V=11.15 (STELLA DI RIFERIMENTO E MAGNITUDINI DI CATALOGO)
- Chk1: GSC 3413:0187 V=12.06 (STELLA DI RIFERIMENTO E MAGNITUDINI DI CATALOGO)
- Additional notes: (NOTE ADDIZIONALI UTILI A CAPIRE L'ANDAMENTO DELLE OSSERVAZIONI)
- - we had tracking problems with the telescope pointing the field, in some images we had blurred stars
- - the sky background was noisy due to the presence of the moon
- - we used 90 s. of exp.time; for the problems mentioned above we had a low Signal to Noise Ratio in many images
- - flat-field frames (dome flats) and the relative dark-frames taken at the end of the session
- Notes on photometry:
- - with Iris we used Ref1, Ref2 and Chk1 as ref stars

- - used a large gap radius to avoid the close stars XO-2 and Ref1 could influence each other
- Notes on weather conditions: (NOTE ADDIZIONALI SU TEMPERATURA E UMIDITÀ SE LE AVETE)
- h 18.30 DOME Temp 10.1 C ; Humid 38%; CCD Temp -24.0 C
- h 1.00 DOME Temp 4.3 C ; Humid 52%; CCD Temp -25.0 C

7.2. *Template*

```

===== REPORT ===
Object:
Date:
Site :
Coord:
Observers:
From:
To:
JD Time:
Sky:
Moon:
Filter:
Telescope diameter:
Focal length :
Focal ratio:
CCD:
FoV:
Scale:
Exposure:
Defocus :
Defocus size :
Acquisition software:
Data reduction software:
Calibration dark :
Calibration flat-field :
Photometry iris:
Information about object and ref stars (for photometry):
Obj1:
coord:
mag:
Ref1:
Ref2:
Chk1:
Additional notes:
Notes on photometry:
Notes on weather conditions:
===== END OF REPORT ===

```

Acknowledgements. Si ringraziano Flavio Castellani, Alessandro Marchini e Riccardo Papini per gli utili consigli su IRIS, Federico Manzini per le prove sulla fotometria con uso di diaframma.