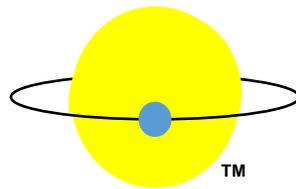


# Una guida pratica all'osservazione di esopianeti

Revisione 4.2  
Ottobre 2018



di

**Dennis M. Conti**

[dennis@astrodennis.com](mailto:dennis@astrodennis.com)

[www.astrodennis.com](http://www.astrodennis.com)

## Sommario

1. Introduzione.....	4
2. Sfondo .....	5
3. Esopianeta in osservazione .....	6
4. Strumentazione .....	7
4.1. Montare .....	7
4.2. Gruppo tubo ottico (OTA) .....	8
4.3. Fotocamera per immagini .....	9
4.4. Autoguida .....	9
4.5. Filtri .....	10
5. Preliminari .....	11
5.1. Raccolta delle informazioni .....	11
5.2. Considerazioni per la selezione di un esopianeta target .....	11
5.3. Previsioni Meridian Flip .....	12
6. Buone pratiche .....	12
6.1. Fase di preparazione .....	13
6.1.1. Directory dei file .....	13
6.1.2. Stabilizzazione del sistema di imaging alla temperatura appropriata .....	13
6.1.3. Generazione di file flat .....	13
6.1.4. Autoguida .....	13
6.2. Fase di imaging .....	14
6.2.1. Scelta della categorizzazione .....	14
6.2.2. Scelta del tempo di esposizione .....	14
6.2.3. Sincronizzazione dell'ora .....	15
6.2.4. Sistema orario .....	15
6.2.5. Temperatura di esercizio .....	16
6.2.6. Acquisizione di immagini .....	16
6.3. Fase di calibrazione dell'immagine .....	16
6.3.1. File di calibrazione .....	16
6.3.2. Tecniche di flat fielding .....	17
6.3.3. Creazione di file master .....	19
6.3.4. Aggiornamento delle informazioni sull'intestazione FITS .....	19

6.4. Fase di apertura e fotometria differenziale .....	19
6.4.1. Fotometria dell'apertura .....	20
6.4.2. Fotometria differenziale .....	20
7. Utilizzo di AstrolmageJ .....	21
7.1. Caricamento di immagini in AIJ .....	22
7.2. Calibra immagini scientifiche .....	23
7.2.1. Specificare immagini scientifiche e file di calibrazione .....	25
7.2.2. Aggiornamento delle informazioni sull'intestazione FITS .....	26
7.2.3. Inizia il processo di calibrazione .....	29
7.2.4. Funzionamento in tempo reale .....	30
7.2.5. Opzioni aggiuntive.....	30
7.3. Caricamento delle immagini di calibrazione .....	30
7.4. Plate Solving utilizzando AIJ .....	31
7.4.1. Alternative ad Astrometry.net .....	31
7.4.2. Informazioni astrometriche .....	32
7.5. Condurre fotometria differenziale .....	32
7.5.1. Selezionare le impostazioni appropriate per l'apertura e l'anello .....	33
7.5.2. Prepararsi e iniziare la fotometria differenziale .....	35
7.5.3. Gestione delle immagini disallineate .....	38
7.5.4. Gestire un Meridian Flip .....	39
7.5.5. Memorizzazione e successivo recupero delle posizioni della destinazione e delle stelle di confronto .....	39
7.6. Prepararsi per l'adattamento del modello .....	40
7.7. Condotta Adattamento del modello .....	41
7.8. Grafico curva di luce .....	43
7.9. Schermata Raccordi Data Set .....	44
7.10. Salvataggio dei dati del modello .....	49
7.11. Ottimizzazione dell'adattamento del modello .....	49
7.12. Ingresso a programmi esterni .....	51
8. Riepilogo .....	52

## 1. Introduzione

Questa è una guida passo passo all'osservazione di esopianeti destinata sia al nuovo arrivato che osserva gli esopianeti, sia all'osservatore più esperto di esopianeti. Per i primi, è auspicabile che l'utente abbia una certa esperienza nell'imaging del cielo profondo o di stelle variabili. L'osservatore più esperto di esopianeti potrebbe trovare questa Guida utile come aggiornamento sulle "migliori pratiche", nonché una guida pratica per l'utilizzo di AstroImageJ (AIJ) per l'elaborazione delle immagini e la modellazione del transito degli esopianeti. AIJ è un software freeware che è un pacchetto all-in-one per la calibrazione delle immagini, la fotometria differenziale e la modellazione di esopianeti. AIJ sta rapidamente diventando il *di fatto* standard per l'analisi e la modellazione di esopianeti per astrofili professionisti e avanzati.

Questa Guida guiderà l'utente attraverso tutte le fasi dell'osservazione di esopianeti, dalla selezione di target di esopianeti adeguati alla modellazione dei transiti di esopianeti. I transiti effettivi di esopianeti vengono utilizzati per dimostrare le tecniche e le capacità AIJ per la modellazione del transito di esopianeti.

I collegamenti all'ultima versione di questa Guida e al materiale di accompagnamento sono disponibili all'indirizzo

<http://astrodennis.com> .

In varie sezioni di seguito, vengono fatti riferimenti a una Guida per l'utente AIJ separata che è stata creata dallo sviluppatore di AIJ e descrive più dettagli e opzioni sull'uso di AIJ rispetto a quelli trattati in questa guida. L'ultima versione della Guida per l'utente AIJ e un collegamento al forum degli utenti AIJ possono essere trovati sul sito Web di AIJ: <http://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/> .

Una descrizione approfondita delle funzionalità AIJ può essere trovata nel seguente documento:

<http://arxiv.org/abs/1601.02622> .

Recentemente c'è stata una maggiore necessità di osservazioni da terra per supportare le indagini di pianeti extrasolari a tutto cielo come KELT (Kilodegree Extremely Little Telescope) (Pepper *et al.*, 2007) e TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) (Ricker *et al.*, 2015). Per tali indagini, uno degli scopi principali delle osservazioni a terra è di aiutare a distinguere i veri transiti di esopianeti dai falsi positivi (p. Es., A causa di un binario quasi eclissante). Pertanto, è stato preparato un documento complementare a questa Guida che descrive i metodi e le migliori pratiche per rilevare i falsi positivi. L'ultima versione di questo documento può essere trovata su:

<http://astrodennis.com/FalsePositiveDetection.pdf> .

Questa guida utilizzerà le seguenti definizioni di "esopianeta candidato" e "esopianeta confermato". come affermato nel Glossary of the TESS Science Writers 'Guide (NASA 2018):

**Candidato esopianeta:** Un segnale nei dati che mostra le caratteristiche di un esopianeta in transito ma non è stato ancora confermato.

**Esopianeta confermato:** Un segnale nei dati che mostra le caratteristiche di un esopianeta in transito ed è stato confermato, tipicamente con dati aggiuntivi da indagini complementari o analisi statistiche di dati esistenti.

Infine, sebbene questa Guida sia stata scritta pensando agli astronomi dilettanti, le migliori pratiche e metodi qui descritti sono applicabili anche agli astronomi professionisti con accesso a telescopi sub-metrici.

## 2. Sfondo

Nel 1995, 51 Pegasi b è stato il primo esopianeta rilevato attorno a una stella della sequenza principale. Ad oggi, finita 3.700 esopianeti sono stati confermati da Kepler e da altri osservatori spaziali e terrestri.

Gli astronomi dilettanti rilevano con successo esopianeti da almeno un decennio e lo hanno fatto con incredibile precisione! Inoltre, sono stati in grado di effettuare tali osservazioni con la stessa attrezzatura che usano per creare favolose immagini del cielo profondo o curve di luce stellari variabili.

Esistono diversi esempi di astronomi dilettanti che forniscono dati preziosi a sostegno della ricerca sugli esopianeti. Nel 2004, un team di astronomi professionisti / dilettanti ha collaborato al progetto XO, che ha portato alla scoperta di diversi esopianeti. Il programma KELT utilizza una rete mondiale di astronomi dilettanti e piccoli college, insieme ad astronomi professionisti, per condurre osservazioni di follow-up di esopianeti candidati in transito in stelle luminose. Una rete di astronomi dilettanti ha recentemente supportato un'indagine Hubble di circa 15 esopianeti conducendo osservazioni nella lunghezza d'onda ottica, mentre Hubble stava studiando questi stessi esopianeti nel vicino infrarosso (Conti, 2015 e Motta, 2017). Le osservazioni di astronomo dilettante come queste aiutano a confermare i pianeti extrasolari candidati, oltre a perfezionare le effemeridi di pianeti extrasolari già noti. scoprire nuovi esopianeti! Ad esempio, rilevando le variazioni nel tempo di transito di un esopianeta noto (una tecnica chiamata "variazioni del tempo di transito", o TTV), gli astronomi dilettanti possono aiutare a rilevare l'esistenza di un altro pianeta in orbita attorno alla stella ospite.

La formalizzazione delle "migliori pratiche" per il rilevamento di esopianeti da parte di astronomi dilettanti è iniziata nel 2007 con la pubblicazione di Bruce Gary di "Exoplanet Observing for Amateurs". Allo stesso tempo, Gary ha iniziato uno sforzo per archiviare le osservazioni di esopianeti di altri astronomi dilettanti. Questo archivio, il Amateur Exoplanet Archive (AXA), è stato successivamente trasferito al progetto Exoplanet Transit Database (ETD), ora più attivo, un archivio online sponsorizzato dalla Czech Astronomical Society ( <http://var2.astro.cz/ETD/contribution.php> ).

Come nuovi telescopi spaziali come TESS e JWST (James Webb Space Telescope) (NASA, 2017) sono online, la necessità di partecipazione degli astrofili alla ricerca sugli esopianeti non farà che aumentare.

Per contribuire alla scienza degli esopianeti, le osservazioni di astronomi dilettanti richiedono un approccio molto più rigoroso di quello richiesto per le attività più tipiche degli astrofili, come il cielo profondo o l'imaging planetario. Questa guida descrive le migliori pratiche che si sono evolute fino ad oggi per condurre tali osservazioni di esopianeti a livello di ricerca.

La sezione 3 fornirà una panoramica dell'osservazione di esopianeti. La sezione 4 discuterà alcune delle considerazioni coinvolte nella selezione dell'attrezzatura per l'osservazione di esopianeti. La sezione 5 esaminerà le fasi preliminari da intraprendere prima dell'osservazione stessa. La sezione 6 esaminerà quindi le migliori pratiche coinvolte nell'osservazione di un esopianeta. La sezione 7 presenterà una descrizione dettagliata dell'uso dell'AIJ nella riduzione dell'immagine degli esopianeti e nella modellazione del transito. Infine, la sezione 8 descriverà vari scenari di falsi positivi e metodi di rilevamento.

### 3. Osservazione di esopianeti

Il concetto di base dell'osservazione di un esopianeta implica l'acquisizione di una serie di immagini del campo che circonda la stella ospite di un esopianeta prima, durante e dopo i tempi previsti del transito di un esopianeta attraverso la faccia della sua stella ospite.

Poiché il metodo di transito è la tecnica dominante utilizzata dagli astronomi dilettanti per condurre osservazioni di esopianeti, questa guida si concentrerà sulle tecniche di osservazione e modellazione relative a questo metodo. Il metodo del transito è stato molto utile per rilevare un "Giove caldo", vale a dire un grande pianeta la cui orbita è vicina alla sua stella ospite e dove il pianeta passa direttamente di fronte alla stella dalla prospettiva di un osservatore sulla Terra. Con missioni come TESS, il metodo di transito verrà persino utilizzato per rilevare la Terra e pianeti di dimensioni super-terrestri attorno a stelle fresche e luminose. Il metodo di transito si basa sulla misurazione del flusso della sospetta stella ospite (qui denominata anche "la stella bersaglio"), nonché del flusso di più "stelle di confronto" che si trovano tutte nello stesso campo visivo.

I transiti di esopianeti durano in genere 2-4 ore. Tuttavia, condurre un'osservazione di esopianeti comporta anche l'inizio della sessione di imaging almeno 30 minuti prima dell'inizio previsto del transito ("pre-ingresso") e la prosecuzione per almeno 30 minuti dopo il transito previsto ("postgress"). Questi tempi di "pre-ingresso" e "post-uscita" vengono utilizzati per stabilire una linea di base fuori transito (OOT). Pertanto, non è insolito che una sessione di osservazione di un esopianeta duri 6 ore.

Una tecnica chiamata fotometria differenziale viene utilizzata per determinare i cambiamenti di luminosità (flusso) della stella ospite dell'esopianeta che potrebbero indicare un transito di un esopianeta. Questa tecnica confronta la differenza relativa tra la stella ospite e una o più (presunte non variabili) di confronto o stelle "comp" durante la sessione di imaging. Poiché la differenza di luminosità della stella ospite e delle stelle comp è ugualmente influenzata da fattori comuni come le sottili nuvole sopra la testa, il bagliore della luna, l'inquinamento luminoso, ecc., Un cambiamento in questa differenza sarebbe una misura degli effetti del calo di luminosità della stella ospite a causa di un esopianeta in transito di fronte ad essa.

I punti dati che rappresentano il cambiamento relativo di luminosità della stella vengono quindi utilizzati per modellare il transito degli esopianeti. A partire da questi punti dati viene quindi creato un modello di transito "best fit". Questo miglior adattamento si traduce in stime dei parametri chiave sull'esopianeta e sul suo transito. Questi parametri includono:

1. il quadrato del rapporto tra il raggio dell'esopianeta ( $R_p$ ) a quella della sua stella ospite ( $R_*$ ),

2. il rapporto tra il raggio orbitale semipianeta dell'esopianeta ( $un$ ) per  $R^*$ ,
3. il punto centrale  $T_c$  e la durata del transito,
4. l'inclinazione dell'orbita dell'esopianeta rispetto alla linea di vista dell'osservatore.

Quindi, conoscendo il raggio  $R^*$  della stella ospite dell'esopianeta, l'osservatore dell'esopianeta può quindi stimare effettivamente il raggio dell'esopianeta, nonché il raggio della sua orbita semi-maggiore.

Come si vedrà, questa misura del raggio può anche essere un fattore importante per rilevare uno degli scenari falsi positivi, vale a dire se il corpo in transito è più probabile che una stella secondaria che eclissa un'altra stella rispetto a un pianeta che eclissa la sua stella ospite.

## 4. Strumentazione

Certamente il costo è un fattore quando si seleziona il complemento di equipaggiamento da utilizzare nell'osservazione di esopianeti. E come previsto, una maggiore precisione richiede attrezzature a costi più elevati. Pertanto, la scelta dell'attrezzatura (e quindi la precisione associata a tale attrezzatura) è determinata principalmente dall'economia. Tuttavia, gli astronomi dilettanti con attrezzature modeste dell'ordine di quello che viene tipicamente utilizzato per l'imaging del cielo profondo hanno contribuito materialmente alla scienza degli esopianeti.

Come si vedrà, un tema ricorrente in questa guida è il desiderio di ridurre al minimo il movimento del campo stellare attraverso il rivelatore CCD durante una sessione di osservazione di più ore.

Di seguito vengono descritte le caratteristiche delle apparecchiature che maggiormente influenzano la precisione dell'osservazione degli esopianeti e aiutano a ridurre gli effetti della sistematica.

### 4.1. Montare

I tre tipi di montatura più popolari sono montature equatoriali tedesche (GEM), montature a forcilla e montature altaz (altitudine azimutale). Delle tre, la montatura altazimutale è la meno desiderabile per l'osservazione di esopianeti a causa delle continue correzioni che devono essere apportate su tre (3) assi per mantenere una stella relativamente nella stessa posizione per tutta la sessione di osservazione. Queste correzioni devono essere apportate in elevazione, azimut e angolo di posizione. Ovviamente, ciò significa che la precisione associata a una qualsiasi di queste correzioni su tre assi influenzerà la capacità complessiva dell'osservatore di ridurre al minimo il movimento delle stelle. Le correzioni dell'angolo di posizione, ad esempio, sono normalmente effettuate da un rotatore e la dimensione del passo incrementale del rotatore, così come la cadenza di tali correzioni,

GEM, che sono popolari supporti economici per l'imaging del cielo profondo e planetario. Tuttavia, i GEM richiedono tipicamente un capovolgimento del meridiano quando la stella bersaglio passa attraverso il meridiano. Sebbene alcuni GEM possano continuare a tracciare per un certo periodo di tempo dopo il meridiano, le osservazioni che richiedono un tracciamento più lungo richiederanno alla fine un capovolgimento del meridiano. Un capovolgimento del meridiano comporta due fattori che influenzano la precisione: (1) punti dati preziosi vengono persi durante il tempo necessario per il capovolgimento del meridiano e (2) senza rotazione della catena di imaging, il target e il confronto

le stelle cadranno dalla parte del rilevatore della telecamera che è diagonalmente opposta a dove erano prima del ribaltamento. L'implicazione di quest'ultimo è che il flusso delle stelle aumenterebbe o diminuirebbe artificialmente a causa del loro atterraggio su una parte di una ciambella di polvere che non è stata completamente corretta dal flat fielding. Anche se la catena dell'immagine fosse ruotata, sarebbe praticamente impossibile ottenere il target e le stelle di confronto quasi nelle stesse posizioni dei pixel del pre-flip. Va notato che un software come AIJ può aiutare a compensare gli effetti di un capovolgimento del meridiano, specialmente se si verifica vicino al transito intermedio.

Sebbene le montature a forcella siano quindi le montature più adatte per l'osservazione di esopianeti a causa della loro capacità di seguire continuamente una stella bersaglio per una lunga durata senza dover essere interrotte per eseguire un capovolgimento del meridiano, le GEM sono state utilizzate da astronomi dilettanti e professionisti per fare alte osservazioni di esopianeti di precisione.

Indipendentemente dal tipo di montatura utilizzata, la precisione di tracciamento è anche una funzione di qualsiasi errore periodico negli ingranaggi della montatura. La correzione periodica degli errori (PEC) e l'autoguida aiuteranno a mitigare tali errori periodici. Va notato che alcuni dei supporti odierni possono funzionare per minuti con errori minimi; questo ovviamente ha un costo maggiore.

Le migliori pratiche associate al funzionamento della montatura stessa includono:

1. polare allineare la montatura il più accuratamente possibile (ad esempio, entro pochi secondi d'arco dal polo celeste);
2. bilanciare la montatura per ridurre gli errori di RA;
3. nel caso di un montaggio GEM, ridurre il gioco dell'AR mantenendo sempre la montatura "Est pesante" - questo aiuterà con qualsiasi soluzione di piastra che potrebbe essere necessaria dopo un capovolgimento del meridiano per tornare sul bersaglio;
4. minimizzare il gioco DEC, che consentirebbe migliori correzioni DEC durante l'autoguida;
5. ridurre al minimo gli errori periodici verificando la presenza di granulosità di vite senza fine o corona dentata, nonché utilizzando PEC per correggere eventuali errori rimanenti.

#### 4.2. Gruppo tubo ottico (OTA)

Le migliori pratiche associate alla scelta e alla manutenzione del gruppo tubo ottico (OTA) del telescopio includono quanto segue:

1. L'apertura è importante, quindi maggiore è l'apertura, maggiore è la capacità di raccogliere fotoni in una data unità di tempo. Ciò è particolarmente importante per le stelle target più deboli.
2. L'OTA dovrebbe essere *sul posto* per un tempo sufficiente affinché si acclimatasse alla temperatura del suo ambiente operativo. Ciò contribuirebbe a ridurre qualsiasi turbolenza interna dell'aria dovuta al cambiamento della temperatura all'interno dell'OTA.
3. Al fine di produrre una funzione di diffusione puntiforme (PSF) ben formata per l'obiettivo e ciascuna stella di confronto, l'OTA dovrebbe essere ben collimato.

4. Per le OTA Schmidt-Cassegrain, il mirror primario dovrebbe essere bloccato, se possibile, al fine di ridurre gli effetti del "mirror flop".

#### 4.3. Fotocamera per immagini

Una varietà di telecamere è stata utilizzata per l'osservazione del transito di esopianeti. Questi includono CCD stand-alone e telecamere CMOS simili a quelle utilizzate per l'imaging del cielo profondo, così come le DSLR. Tuttavia, per condurre osservazioni di esopianeti di livello di ricerca, la telecamera dovrebbe essere monocromatica. In questo modo sarebbe possibile utilizzare diversi filtri fotometrici standard. Poiché le fotocamere DSLR sono intrinsecamente a colori e quindi non si prestano all'uso di filtri, sono la scelta di fotocamera per immagini meno desiderabile.

Le migliori pratiche per la scelta di una telecamera di imaging da utilizzare nell'osservazione di esopianeti dipendono da fattori quali:

1. Le condizioni di visibilità attese nella posizione dell'osservatore. Questo è definito come il tipico full-width-at-half-maximum (FWHM) delle stelle misurato nella posizione dell'osservatore ed espresso in secondi d'arco.
2. La dimensione (cioè il formato) del rilevatore della telecamera. Sebbene un formato più grande consenta una maggiore varietà di stelle di confronto tra cui scegliere, i rilevatori di piccolo formato sono stati utilizzati con successo nell'osservazione di esopianeti di livello di ricerca.
3. Il bias, la corrente oscura e il rumore di lettura della fotocamera. Questi fattori, tuttavia, sono molto ridotti nelle fotocamere più recenti di oggi.

In generale, la maggior parte delle moderne fotocamere monocromatiche che l'osservatore ha o acquisterà per altre applicazioni come l'imaging del cielo profondo, dovrebbero essere soddisfacenti per l'osservazione di esopianeti.

#### 4.4. Autoguida

L'autoguida è essenziale per l'osservazione di esopianeti di livello di ricerca al fine di ridurre al minimo la deriva delle stelle bersaglio e di confronto. La deriva dovuta al disallineamento polare, ad esempio, causerà la rotazione del campo delle stelle e quindi il loro movimento nel campo visivo. Questo movimento su un'immagine non completamente corretta in campo piatto può compromettere seriamente la precisione dell'osservazione.

Gli approcci più comuni all'autoguida e i loro pro e contro sono:

1. Uso di un ambito di guida separato: questo è il metodo meno desiderabile a causa di problemi di flessione che possono verificarsi durante la sessione di osservazione.
2. Guida fuori asse - sebbene usata frequentemente dagli imager del cielo profondo per ottenere stelle puntiformi, questa tecnica si tradurrà comunque in una certa quantità di rotazione del campo delle stelle bersaglio e di confronto in presenza anche di una piccola quantità di disallineamento polare. Questo è vero anche con il movimento al di sotto del secondo d'arco della stella guida stessa. La quantità di rotazione del campo (cioè la deriva in AR e DEC) sarà una funzione di:

- un. la distanza della stella guida dalle stelle target o comp in questione;
  - b. la quantità di disallineamento polare;
  - c. la quantità di movimento delta della stella guida stessa;
  - d. l'angolo di declinazione quando viene scattata l'immagine (il disallineamento polare avrà un effetto maggiore, specialmente nell'AR, quando si acquisisce un'immagine a declinazioni più elevate).
3. Guida in asse: questa tecnica utilizza un divisore di fascio diecrico per separare il percorso della luce dell'immagine principale in un percorso del vicino infrarosso (NIR) e un percorso della luce visibile (di Cicco, 2012). Qui, la telecamera guida vede, attraverso il percorso a infrarossi, parte della stessa immagine della telecamera per immagini (a seconda delle dimensioni del rilevatore della telecamera guida). Con questa tecnica, la stella guida è più vicina al bersaglio e alle stelle di confronto, e quindi gli effetti di qualsiasi disallineamento polare sono ridotti rispetto all'approccio di guida fuori asse. Inoltre, nel caso di meridian flips con GEM, la stessa stella guida utilizzata prima del capovolgimento può essere utilizzata anche dopo il capovolgimento, eliminando così la necessità di un rotatore o della ricerca di un'altra stella guida, in assenza di catena di imaging avviene la rotazione.
4. Guida alle immagini: una tecnica di autoguida relativamente nuova consiste nell'eseguire correzioni di montaggio tra le esposizioni in base alla quantità di spostamento totale dell'immagine scientifica stessa. (Nota : il termine immagine scientifica viene utilizzato in questa guida per fare riferimento alle immagini grezze del campo visivo contenente la stella ospite dell'esopianeta; tali immagini sono spesso denominate Luci da altri software di elaborazione delle immagini.) È in fase di sviluppo una variante di questo (Baudat, 2017), in base alla quale verranno apportate correzioni di montaggio durante esposizioni delle immagini scientifiche.

Oltre alle tecniche di autoguida di cui sopra, sono disponibili anche dispositivi di ottica attiva (AO) per l'astronomo dilettante in modo che una varietà di errori di marcia rapidi possa essere corretta senza creare "urti" fisici alla montatura. Questa tecnica utilizza uno specchio "inclinabile" o una finestra ottica diritta che si trova nel percorso ottico per mantenere una stella guida centrata senza creare "urti" fisici alla montatura.

Il software di guida automatica è disponibile opzionalmente per la maggior parte dei pacchetti software di imaging più diffusi. Un popolare pacchetto software di guida freeware è PHD2 (vedi <http://openphdguiding.org> ).

#### 4.5. Filtri

Come accennato in precedenza, è auspicabile che un filtro fotometrico standard venga utilizzato per il lavoro sui pianeti extrasolari, come i filtri Johnson-Cousins U, V, B, Rc e Ic o l'SDSS (Sloan Digital Sky Survey) u', g', r' e i' filtri. Questo è vero per almeno tre ragioni:

1. i coefficienti di oscuramento degli arti utilizzati durante il processo di modellazione del transito sono una funzione del tipo di filtro (standard), nonché dei parametri stellari della stella bersaglio;
2. distinguere i transiti dovuti a binari eclissanti rispetto a pianeti extrasolari utilizza filtri standard alternati durante la sessione di osservazione - la profondità di transito del binario eclissante sarà generalmente diversa per due filtri diversi;
3. I risultati di due diversi osservatori possono essere confrontati meglio.

Anche se non è un filtro fotometrico "standard", è possibile utilizzare un filtro CBB (Clear Blue Blocking), a volte chiamato "Filtro esopianeta", per ridurre gli effetti del bagliore del cielo.

## 5. Preliminari

Questa sezione discute alcuni dei passaggi preliminari che possono essere eseguiti diversi giorni prima dell'osservazione effettiva degli esopianeti che porteranno a una sessione di osservazione più efficace.

### 5.1. Raccolta di informazioni

L'Appendice A è un esempio di un foglio di lavoro Excel che l'osservatore può utilizzare per registrare alcune informazioni critiche sull'osservazione e fornirà anche una comoda fonte di informazioni necessarie per AIJ. I dati illustrati nell'Appendice A sono anche usati come base per l'esempio in questa Guida, vale a dire la modellazione di un transito completo dell'esopianeta WASP-12b. Se non vengono apportate modifiche agli strumenti o alla posizione dell'osservatore, gli elementi 12-23 nell'Appendice A possono essere utilizzati in più sessioni di osservazione.

L'ultima versione di questo foglio di lavoro può essere scaricata da <http://www.astrodennis.com>. Il foglio di calcolo contiene anche hot link a risorse web in cui l'utente può ottenere alcune delle informazioni, se disponibili, sui parametri della stella bersaglio e degli esopianeti necessari come input per la fase di modellazione del transito, inclusi i coefficienti di oscuramento degli arti appropriati per il particolare filtro utilizzato nell'osservazione.

### 5.2. Considerazioni per la selezione di un esopianeta target

Per gli esopianeti confermati, le seguenti sono fonti utili per prevedere i transiti di esopianeti per un dato periodo di tempo nella posizione di un particolare osservatore:

Archivio esopianeti della NASA: <http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgibin/TransitView/nph-visibletbls?dataset=transits>

Sito web del database di transito degli esopianeti (ETD): <http://var2.astro.cz/ETD/predictions.php>.

Se l'osservatore di esopianeti sta selezionando il proprio target di esopianeti (cioè, uno non specificato come parte di una particolare campagna di ricerca), allora dovrebbero essere considerati i seguenti criteri di selezione che si tradurranno in un risultato più soddisfacente:

1. Ora di inizio del transito - poiché è auspicabile che la sessione di imaging inizi almeno 30 minuti prima dell'inizio del transito, ciò potrebbe negare alcuni candidati esopianeti poiché questo potrebbe anteporre l'ora di inizio o addirittura durante il crepuscolo.
2. Durata del transito - con alcune durate di transito più lunghe di altre, l'osservatore può scegliere un candidato il cui tempo totale di sessione (considerando il desiderio di immaginare 30 minuti dopo l'effettiva fine del transito) è adatto all'osservatore.

3. Magnitudine della stella ospite e profondità del transito: le stelle ospiti degli esopianeti possono variare in magnitudine V da 8,0 a oltre 13,0, e gli abbassamenti di magnitudine della stella dovuti al transito di esopianeti possono variare da centesimi a millesimi di magnitudine. L'osservatore potrebbe quindi scegliere un obiettivo di esopianeta con un calo% previsto maggiore di grandezza rispetto a un altro potenziale obiettivo.

Per missioni come KELT e TESS, il cui obiettivo è confermare inizialmente se un transito rilevato è dovuto a un esopianeta o un falso positivo, l'osservatore avrà accesso a un "rilevatore di transito" che può fornire stime per la profondità di transito, la durata del transito e tempi di ingresso / uscita per i transiti previsti nella posizione dell'osservatore durante un periodo di tempo specificato dall'utente.

Le profondità di transito degli esopianeti sono spesso espresse in milli-magnitudo (mmag), dove 1 mmag = 0,001 magnitudine. Pertanto, una profondità di transito di 10 mmag equivale a un calo di magnitudo dello 0,01 o dell'1%. Profondità di transito inferiori a 10 mmag sono state ottenibili utilizzando telescopi con apertura inferiore al metro in condizioni di visibilità adeguate. Si noti che la relazione tra magnitudine e flusso è tale che  $f_1 / f_2 =$

$2.512^{(m_2 - m_1)}$ , dove  $f_1$  e  $f_2$  sono flussi e  $m_1$  e  $m_2$  sono le grandezze corrispondenti. Pertanto, una diminuzione di 0,01 di magnitudine equivale a una variazione relativa di flusso di 0,009. Poiché il flusso e la magnitudine a queste piccole quantità sono approssimativamente uguali, le variazioni relative del flusso sono spesso utilizzate come sostituto della magnitudine quando si misura e si fa riferimento alla profondità di transito. In effetti, indagini più recenti come TESS stanno ora esprimendo le profondità di transito in "ppt" (parti per mille).

### 5.3. Previsioni Meridian Flip

Per gli osservatori con montatura equatoriale tedesca, l'osservatore dovrebbe prevedere approssimativamente quando, se non del tutto, potrebbe essere necessario un capovolgimento del meridiano durante la sessione di imaging. Questa previsione viene tipicamente eseguita utilizzando il software di navigazione dell'osservatore ed è utile in modo che l'osservatore possa essere disponibile durante il capovolgimento del meridiano per apportare le modifiche necessarie per riposizionare il campo visivo del sistema di imaging il più rapidamente possibile.

Gli osservatori con montature equatoriali tedesche possono anche affrontare un altro problema associato a un capovolgimento del meridiano. Vale a dire, se non vi è rotazione della catena di imaging, sarà necessario acquisire una nuova stella di guida quando si utilizza la guida fuori asse. La sezione 4.4 ha discusso i vantaggi della guida in asse per questa situazione.

## **6. Migliori pratiche**

Questa sezione descrive le migliori pratiche associate all'effettiva osservazione di esopianeti. Queste migliori pratiche dovrebbero aiutare l'osservatore di esopianeti a ottenere il massimo livello di precisione per un dato pacchetto di strumentazione. Sono organizzati dalla rispettiva fase del processo di osservazione degli esopianeti a cui si applicano.

## 6.1. Fase di preparazione \_\_\_\_\_

### 6.1.1. Directory di file

Sul computer che esegue il software di acquisizione delle immagini dell'osservatore, è meglio impostare inizialmente le seguenti sottodirectory: AIJ Analysis, Bias, Darks, Flats, Quarantined Images e Science Images. La sottodirectory AIJ Analysis è dove possono essere archiviati i file di misurazione e adattamento del modello da AIJ. Le sottodirectory Bias, Darks e Flats sono dove possono essere memorizzati i rispettivi file di calibrazione. La sottodirectory Science Images conterrà le immagini grezze contenenti la stella bersaglio, e la sottodirectory Quarantined Images è dove possono essere parcheggiate immagini scientifiche "cattive" dovute a colpi di raggi cosmici, satelliti, tracce, ecc. Se l'utente desidera utilizzare altri nomi per queste sottodirectory, tali nomi possono essere sostituiti dalle rispettive controparti negli esempi che seguono.

### 6.1.2. Stabilizzazione del sistema di imaging alla temperatura appropriata

Il sistema di imaging deve essere installato con un tempo sufficiente per raggiungere il setpoint di temperatura desiderato, che potrebbe anche richiedere l'abilitazione del suo sistema di raffreddamento.

### 6.1.3. Generazione di file flat

Sia che vengano presi appartamenti crepuscolari o che siano generati appartamenti utilizzando un pannello di elettroluminescenza, dovrebbero (idealmente) essere rifatti prima o dopo ogni sessione di imaging utilizzando la stessa catena di imaging utilizzata per acquisire le immagini scientifiche e senza che la catena di imaging sia stata spostata o spostata. Vedere la Sezione 6.3.2 per le linee guida sulla creazione di appartamenti.

### 6.1.4. Autoguida

L'autoguida dovrebbe essere utilizzata durante la fase di imaging di seguito, a meno che la montatura dell'osservatore non sia di una precisione tale da poter mantenere la guida entro pochi pixel per la durata dell'osservazione del transito (dove il valore effettivo di "pochi" dipende dal FWHM della stella ospite). Vedere la sezione 4.4 sopra per una panoramica delle varie tecniche di guida automatica. Il meccanismo di autoguida dell'osservatore dovrebbe essere calibrato, se non ancora fatto o se il software di autoguida non corregge automaticamente i cambiamenti di declinazione. Se necessario, la calibrazione deve essere eseguita anche per qualsiasi sistema di ottica attiva (AO) in uso.

## 6.2. Fase di imaging \_\_\_\_\_

### 6.2.1. Scelta del binning

Il FWHM delle stelle nel campo target dovrebbe essere distribuito su 3-5 pixel. Se la telecamera di imaging è normalmente impostata per il bin più di 1x1, potrebbe essere necessario ridurre il binning per ottenere questo risultato. Ciò quindi si tradurrebbe in una scala dell'immagine accettabile (a volte chiamata "scala del piatto" o "scala dei pixel"). La scala dell'immagine è espressa in secondi d'arco per pixel ed è una funzione della lunghezza focale del telescopio e delle dimensioni del fotosite CCD. Ad esempio, si supponga che FWHM sia di 3,0 secondi d'arco e che la scala dell'immagine non abbinata del sistema di imaging dell'osservatore sia di 0,5 secondi d'arco / pixel. Ciò significa che, senza binning, l'FWHM sarebbe distribuito su 6 pixel e che il binning 2x2 significherebbe che l'FWHM sarebbe distribuito su 3 pixel, sempre all'interno della parte accettabile, sebbene inferiore, dell'intervallo.

Le stelle dovrebbero essere messe a fuoco con precisione se non altro per ottenere una misura accurata di FWHM. Tuttavia, se la stella bersaglio è troppo luminosa e potrebbe saturare la telecamera di imaging, potrebbe essere necessario sfocare l'OTA. Se lo sfondo del cielo non è troppo alto, la sfocatura che si traduce in una PSF di 10-20 pixel è accettabile, a condizione che questa sfocatura non si traduca nel flusso di una stella vicina che si fonde con il flusso della stella bersaglio.

### 6.2.2. Scelta del tempo di esposizione

Il tempo di esposizione ottimale è quello che massimizza l'SNR della stella bersaglio, senza saturare il rivelatore della telecamera di imaging. Per una data stella bersaglio, i fattori che influenzano il tempo di esposizione ottimale includono:

1. la dimensione dell'apertura del telescopio,
2. il filtro utilizzato,
3. l'efficienza quantistica (QE) della fotocamera per immagini,
4. se la stella sta salendo al meridiano locale, o ha passato il meridiano e sta cadendo, e
5. vedendo le condizioni.

I rivelatori CCD odierni hanno tipicamente un intervallo lineare fino a un certo punto, dopodiché diventano non lineari e poi, a un certo punto, diventano saturi. Al suo punto di saturazione, eventuali fotoni aggiuntivi che colpiscono il fotosite CCD non verranno registrati. Pertanto, è fondamentale che il bersaglio e le stelle comp non raggiungano mai la saturazione e idealmente non raggiungano anche la non linearità (va notato, tuttavia, che il software come AIJ fornisce una struttura per effettuare correzioni di non linearità). È importante che il tempo di esposizione sia scelto in modo tale da ottenere un SNR decente, ma non abbastanza lungo da non verificarsi né non linearità né saturazione. Se si prevede che la stella bersaglio salga verso il meridiano locale e quindi la sua luce passerà attraverso una massa d'aria sempre minore, potrebbe verificarsi una di queste due situazioni. Quindi, l'osservatore dovrebbe tenerne conto anche nella scelta del tempo di esposizione. Nota che anche la sfocatura potrebbe aiutare questa situazione.

Per impostare inizialmente il tempo di esposizione corretto, è necessario acquisire una serie di immagini di prova con un tempo di esposizione crescente. L'SNR della stella bersaglio, così come i suoi conteggi ADU, potrebbero quindi essere misurati per ciascuna impostazione di esposizione. La Sezione 7.5.1 descrive come l'AIJ può essere usato per determinare l'SNR di una stella. Un'impostazione dell'esposizione che massimizza l'SNR, ma non presenta un potenziale di saturazione durante la sessione di imaging, dovrebbe quindi essere considerata come il tempo di esposizione ideale.

Si raccomanda la seguente procedura di best practice, condotta immediatamente prima della sessione di osservazione effettiva, per determinare il tempo di esposizione ottimale:

1. Nella posizione attuale del cielo della stella bersaglio, acquisire immagini di prova con diversi tempi di esposizione. In primo luogo, selezionare il tempo di esposizione con il più alto SNR per la stella target in cui il conteggio di picco di ADU è inferiore al 75% del punto di saturazione del rivelatore della telecamera di imaging. Nota: questo limite del 75% potrebbe dover essere ridotto se si prevede che la fotocamera raggiunga la non linearità molto prima.
2. Se la stella salirà verso il meridiano locale, ridurre il tempo di esposizione in modo che il rivelatore non raggiunga la saturazione.
3. Se la stella cadrà dal meridiano locale, aumentare il tempo di esposizione in modo tale che il conteggio massimo di ADU della stella bersaglio sia uguale al 75% del punto di saturazione del rivelatore.

Ci sono alcune situazioni in cui il team scientifico professionista potrebbe richiedere una certa cadenza delle immagini, il che potrebbe andare a scapito del tempo di esposizione ottimale (più lungo). Questo può essere il caso in cui i dettagli più fini del modello della curva di luce sono più importanti della precisione della profondità della curva di luce stessa. Inoltre, per confermare alcuni scenari falsi positivi, potrebbe essere necessario aumentare il tempo di esposizione, e quindi l'SNR, di una stella debole in prossimità del target originario, a scapito della possibile saturazione del target.

### 6.2.3. Sincronizzazione dell'ora

A causa della deriva naturale dell'orologio del computer di acquisizione delle immagini, dovrebbe essere frequentemente sincronizzato con il server dell'ora Internet dell'Osservatorio navale degli Stati Uniti. Questo può essere fatto utilizzando software (freeware) come Dimension 4 (vedi <http://www.thinkman.com/dimension4/>). Il periodo di aggiornamento per tali sincronizzazioni dell'orologio dovrebbe essere impostato almeno ogni 2 ore.

### 6.2.4. Time System

A causa dell'esistenza di diversi sistemi temporali, l'osservatore di esopianeti dovrebbe essere consapevole di quale viene utilizzato per la previsione del transito, quale viene inserito nelle intestazioni FITS dell'immagine, quale viene utilizzato durante il processo di modellazione della curva di luce, ecc. I sistemi orari più comunemente usati sono:

- a) Julian Date / Universal Coordinated Time (JD<sub>UTC</sub>),
- b) Data giuliana eliocentrica / Ora coordinata universale (HJD<sub>UTC</sub>),
- c) Barycentric Julian Date / Barycentric Dynamical Time (BJD<sub>TDB</sub>).

Se i risultati dell'osservazione di esopianeti devono essere utilizzati in una collaborazione professionale / amatoriale, BJD<sub>TDB</sub> sarebbe lo standard di tempo desiderato da utilizzare durante il processo di adattamento del modello. Sezioni

7.2.2 e 7.6 descrivono come AIJ può convertire il tempo delle immagini acquisite in BJD<sub>TDB</sub> tempo.

### 6.2.5. temperatura di esercizio

Il sistema di imaging deve essere inserito nel suo ambiente operativo con un tempo sufficiente per raggiungere un punto di regolazione della temperatura il più basso possibile, il che potrebbe anche richiedere l'abilitazione del suo sistema di raffreddamento.

### 6.2.6. Acquisizione di immagini

Il normale software di acquisizione delle immagini dell'osservatore viene utilizzato per acquisire le immagini scientifiche nella sottodirectory Science Images durante questa fase. Se durante la sessione di imaging è necessario un capovolgimento del meridiano, nel momento in cui è necessario il capovolgimento del meridiano, l'osservatore deve:

1. Interrompere il software di acquisizione delle immagini
2. Arrestare l'autoguida
3. Eseguire il capovolgimento del meridiano
4. Riposizionare la stella di destinazione secondo necessità nel campo visivo della telecamera
5. Abilitare l'autoguida
6. Abilitare il software di acquisizione delle immagini.

## 6.3. Fase di calibrazione dell'immagine

### 6.3.1. File di calibrazione

Prima o dopo l'acquisizione di immagini scientifiche, l'utente acquisisce anche una serie di file di calibrazione dark, flat field e bias e li archivia nelle rispettive sottodirectory. Una regola pratica è (idealmente) catturare un numero dispari di immagini per ciascuna di queste serie di calibrazione. Si suggerisce un numero dispari, poiché questo consente di utilizzare meglio una mietitrebbia mediana per creare i file master dark, master flat e / o master bias. In ogni caso, dovrebbero essere catturate almeno sedici (16) immagini per ogni tipo di file di calibrazione.

Le linee guida per i tempi di esposizione per ciascuno di questi tipi di file di calibrazione sono le seguenti:

1. File scuri: il tempo di esposizione dovrebbe essere uguale a quello delle immagini scientifiche e dovrebbe essere preso alla stessa temperatura delle immagini scientifiche.
2. File flat field: il tempo di esposizione dipende dalla tecnica di flat field utilizzata, ma in genere richiede 3 secondi o meno. Tuttavia, questo tempo di esposizione potrebbe dover essere aumentato per le fotocamere con otturatori automatici in modo che non si verifichino ombreggiature. Una regola pratica consiste nel creare frame di campo piatto in modo tale che l'istogramma risultante si trovi a metà della gamma dinamica del rilevatore CCD. Ad esempio, per un rilevatore con un massimo tipico

Conteggio ADU di 65.000, la luminosità della sorgente luminosa verrebbe impostata in modo tale che il centro dell'istogramma risultante sia a 32.000 ADU. Come discusso nella Sezione 6.3.2 di seguito, è necessaria una considerazione speciale per la creazione di file flat.

3. File bias: un file bias è un file scuro con tempo di esposizione di 0 secondi.

In genere, vengono creati anche file scuri piatti poiché i campi piatti stessi contengono corrente scura che deve essere sottratta. Quando vengono utilizzati, le "scure piatte" vengono prese con lo stesso tempo di esposizione dei file flat field stessi. Tuttavia, come visto nella Sezione 7.2 di seguito, una tecnica impiegata da AIJ che può scalare il Master Dark allo stesso tempo di esposizione del Master Flat elimina la necessità per l'utente di generare file scuri piatti.

### 6.3.2. Tecniche di flat fielding

Poiché il movimento delle stelle su pochi pixel è inevitabile anche con l'autoguida e l'allineamento polare abbastanza accurato, si fa affidamento sulla correzione del campo piatto per mitigare gli effetti delle ciambelle di polvere e della vignettatura. Uno scarso flat fielding è uno dei maggiori contributori alla sistematica. Ad esempio, la Figura 1 mostra un campo piatto e il potenziale movimento di una stella su una ciambella di polvere vicina. La figura 2 mostra cosa accadrebbe nel caso di un capovolgimento del meridiano, vale a dire che la stella si capovolgerebbe lungo la diagonale del rivelatore e potrebbe atterrare su un'altra ciambella di polvere. Se la correzione flat field non viene eseguita per nessuno di questi due casi, il flusso della stella in questione cambierebbe artificialmente.

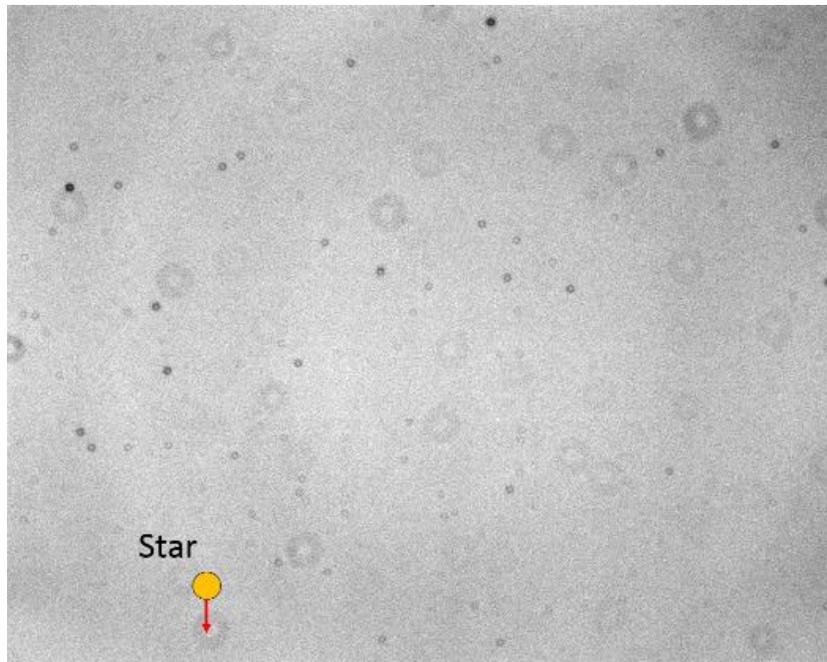
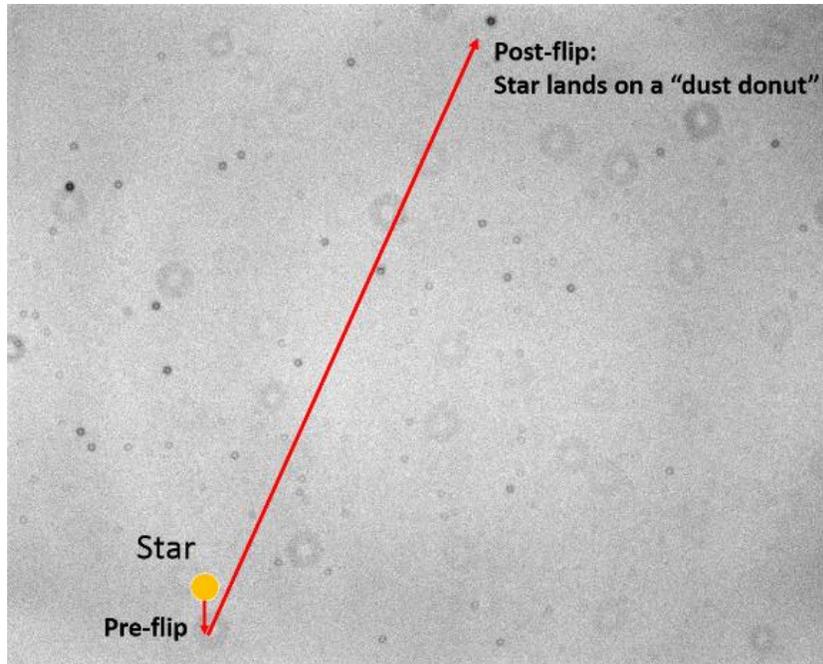


Figura 1. Movimento delle stelle in un campo piatto non corretto



**Figura 2. Movimento delle stelle dopo un capovolgimento del meridiano**

I campi piatti dovrebbero idealmente essere creati prima o dopo ogni sessione di osservazione, e certamente quando c'è qualche cambiamento nella catena di imaging.

Le seguenti sono tecniche comuni per la generazione di campi piatti da cui è possibile creare un appartamento principale:

1. **Appartamenti al crepuscolo:** gli appartamenti sono presi all'alba e al tramonto. A causa della velocità con cui cambiano le condizioni di illuminazione del cielo, è spesso scomodo prendere un buon set di appartamenti, specialmente se questo deve essere fatto per più filtri. In alcuni casi gli appartamenti possono mostrare stelle se il tempo di esposizione è troppo lungo. I diffusori fatti in casa che utilizzano una maglietta bianca sono stati un modo popolare per mitigare questo problema.
2. **Scatole luminose - scatole luminose fatte in casa** sono state utilizzate da alcuni astronomi dilettanti per creare appartamenti. Tuttavia, l'utilizzo di questa tecnica per produrre un campo luminoso uniforme a volte è difficile.
3. **Pannelli elettroluminescenti -** sebbene a un certo costo, la tecnica ha diversi vantaggi: può creare un campo luminoso uniforme relativamente buono, la sua luminosità può essere modificata per adattarsi a filtri diversi e possono essere presi a piacimento dell'osservatore.
4. **Appartamenti dell'osservatorio:** questa tecnica utilizzata negli osservatori permanenti consiste nel puntare il telescopio su un pannello bianco illuminato sulla parete dell'osservatorio. L'efficacia di questa tecnica varia ampiamente a seconda della natura del pannello bianco, dell'illuminazione ambientale, ecc.

### 6.3.3. Creazione di file master

La calibrazione dell'immagine elimina gli effetti dei seguenti fattori sottostanti che influenzano la precisione delle misurazioni: bias, corrente oscura, ciambelle di polvere e vignettatura. Di seguito sono riportate le migliori pratiche per gestire ciascuno di questi fattori:

1. I file bias dovrebbero essere presi in qualche momento prima o dopo la sessione di osservazione. Questi vengono quindi utilizzati per creare un file bias principale, idealmente utilizzando la combinazione mediana.
2. I file scuri dovrebbero essere presi alla fine della sessione di osservazione. Il motivo per prenderli alla fine della sessione di osservazione è assicurarsi che siano presi alla stessa temperatura delle immagini scientifiche. Da essi viene quindi creato un file master dark, sempre utilizzando la combinazione mediana.
3. I file flat dovrebbero essere presi all'inizio o alla fine della sessione di osservazione. Poiché i file flat stessi hanno corrente oscura e hanno un tempo di esposizione diverso rispetto alle immagini scientifiche, è necessario rimuovere la corrente oscura. Piuttosto che creare un master dark specificamente per eseguire la correzione dell'oscurità per i flat, un altro approccio consiste nell'utilizzare lo stesso file master dark creato per le immagini scientifiche, ma ridimensionarlo in base al tempo di esposizione dei flat file. Software come AIJ, ha una tale funzione di ridimensionamento. La sezione 6.3.2 sopra descrive le migliori pratiche per la creazione di file flat.

### 6.3.4. Aggiornamento delle informazioni sull'intestazione FITS

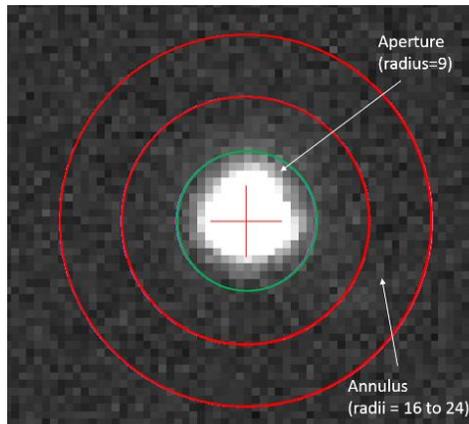
Durante la fase di calibrazione dell'immagine, alcuni pacchetti software come AIJ consentono all'utente di aggiornarsi le intestazioni FITS nelle immagini scientifiche con informazioni come l'equivalente  $BJD_{TDB}$  tempi dell'osservazione. Se non sono incluse nell'intestazione FITS dal software di acquisizione delle immagini, possono essere incluse anche altre informazioni importanti come AIRMASS. Come si vedrà in seguito, AIRMASS è uno dei parametri detrend più comunemente utilizzati durante il processo di modellazione del transito.

## 6.4. Fase di apertura e fotometria differenziale

Come accennato nella sezione 3, il metodo di transito degli esopianeti consiste nel confrontare la variazione relativa di luminosità tra la stella bersaglio e un insieme di stelle di confronto adatte. Prima di poter fare questo confronto, tuttavia, la luminosità di ogni stella deve essere regolata per qualsiasi conteggio di fotoni a causa del cielo di sfondo che potrebbe influenzare ogni particolare stella. Questo è fatto usando la fotometria dell'apertura. Fatto ciò, è possibile ottenere la variazione relativa del flusso (aggiustato) tra la stella ospite e le stelle di confronto. Questo processo è chiamato fotometria differenziale. Di seguito sono descritte le migliori pratiche associate all'apertura e alla fotometria differenziale.

#### 6.4.1. Fotometria dell'apertura

La fotometria di apertura implica la definizione sia dell'"apertura" di un certo raggio attorno a una stella, nonché di un "anello" esterno. L'idea dell'annulus è misurare lo sfondo del cielo attorno alla stella. La Figura 3 mostra un'apertura di raggio 9 e un anello che inizia a 16 pixel dal centroide della stella e termina nella posizione 24 dei pixel.



**Figura 3. Apertura e anello**

Al fine di compensare il contributo del cielo di fondo, i conteggi ADU per pixel nell'anello vengono utilizzati per regolare gli ADU nell'apertura. Alcuni software come AIJ hanno anche la capacità di rilevare e regolare le stelle deboli che potrebbero trovarsi nell'annulus e quindi influenzare i conteggi del cielo di sfondo. Come verrà descritto più avanti, le impostazioni dei raggi inizialmente impostate per l'apertura e l'annulus possono essere modificate dopo aver eseguito l'adattamento del modello di esopianeta per ottimizzare ulteriormente l'adattamento.

La sezione 7.5.1 descrive come utilizzare AIJ per selezionare la dimensione iniziale dell'apertura e dell'anello.

#### 6.4.2. Fotometria differenziale

La fotometria differenziale implica l'applicazione della fotometria di apertura sulla stella bersaglio e su più stelle di confronto e quindi il confronto delle differenze relative nel flusso (regolato). Le seguenti sono le migliori pratiche per la selezione di stelle di confronto adatte:

1. Idealmente, dovrebbero essere scelte almeno 8 stelle di confronto le cui magnitudini siano il più vicino possibile a quella della stella bersaglio - cioè, non maggiore di 0,75 di magnitudine (cioè, più debole) e non inferiore a 0,44 di magnitudine (cioè, più luminosa) rispetto alla stella di destinazione. Se ciò non è possibile, è necessario selezionare un insieme di stelle di confronto in modo tale che la media dei loro conteggi di apertura sia vicina a quella della stella bersaglio. Inoltre, quando si cerca di determinare se ci sono sorgenti che causano un falso positivo, l'osservatore può essere istruito a testare il verificarsi di un evento di transito per tutte le stelle entro un raggio specificato della stella bersaglio.
2. Le stelle di confronto dovrebbero essere idealmente di tipo stellare simile alla stella bersaglio per minimizzare le differenze nell'estinzione atmosferica. Tuttavia, se il software di modellazione del transito è in grado di "detrarre" gli effetti di AIRMASS, come è possibile con AIJ, allora

scegliere stelle di confronto di luminosità simile alla stella bersaglio è più importante che scegliere stelle di tipo stellare simile.

3. Le stelle di confronto non dovrebbero essere intrinsecamente variabili. Questo può essere determinato in seguito visualizzando la curva di luce di ciascuna stella di confronto come descritto nella sezione successiva, o utilizzando le informazioni dall'utility Variable Star Plotter di AAVSO (AAVSO, 2017).

I risultati della fase di fotometria differenziale saranno un file di misure che ha, come minimo, per ciascuna immagine: il timestamp dell'immagine, la variazione di flusso o magnitudine della stella bersaglio (relativa alle stelle di confronto) e le sue errori. A seconda del software di fotometria differenziale, altri dati preziosi potrebbero includere la variazione relativa del flusso o della magnitudine di ciascuna stella di confronto (relativa a tutte le altre stelle di confronto), i loro errori associati e le modifiche nelle coordinate dei pixel X, Y del bersaglio e stelle di confronto.

## 7. Utilizzo di AstrolmageJ

Il resto di questa guida descrive l'uso di AIJ per la post-elaborazione di immagini scientifiche e per condurre l'adattamento del modello di esopianeti. L'uso di AIJ presuppone che l'utente abbia già installato AIJ e abbia letto la Guida per l'utente AIJ, disponibile all'indirizzo:

<http://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/> .

L'utente è incoraggiato a controllare regolarmente la disponibilità di un aggiornamento del software AIJ. Questo viene fatto facendo clic su Aiuto nell'angolo in alto a destra della barra degli strumenti AIJ principale (vedere la Figura 4) e quindi selezionando "Aggiorna AstrolmageJ ...".

Viene quindi visualizzata una casella "Aggiorna a". **IMPORTANTE** : Se esiste una build giornaliera, caricala. Questo può essere trovato andando su nella casella Aggiorna a.

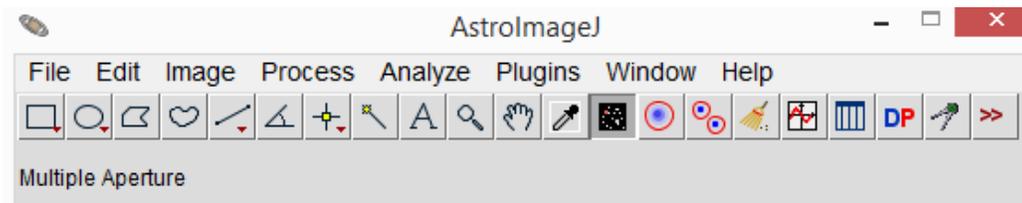


Figura 4. Barra degli strumenti AIJ

I dati dei transiti effettivi di esopianeti verranno utilizzati negli esempi nel resto di questa guida. Sia i file di calibrazione che le immagini originali per l'esempio WASP-12b possono essere trovati su

<http://astrodennis.com> .

Come supplemento a questa guida, è disponibile un "ricettario AIJ" che consiste in una serie sequenziale di passaggi che un osservatore può seguire per utilizzare AIJ dalla fase di calibrazione dell'immagine fino alla fase di modellazione del transito degli esopianeti. L'ultima versione di questo libro di cucina può essere trovata su:

<http://astrodennis.com/AIJCookbook.pdf> .

## 7.1. Caricamento di immagini in AIJ

È possibile caricare una singola immagine o una sequenza di immagini in AIJ.

Per aprire una singola immagine, selezionare File-> Apri dalla barra degli strumenti AIJ (Figura 4) e quindi selezionare il file desiderato. Viene quindi visualizzata la schermata di visualizzazione delle immagini (vedere la Figura 5). Un esempio di informazioni utili che possono essere ottenute da una qualsiasi delle immagini scientifiche sono i contenuti della sua intestazione FITS. Queste informazioni possono essere ottenute selezionando Modifica-> intestazione FITS nella parte superiore della schermata di visualizzazione dell'immagine. Molte delle operazioni sulla schermata di visualizzazione delle immagini descritte di seguito per una sequenza di immagini possono essere applicate anche a una singola immagine.

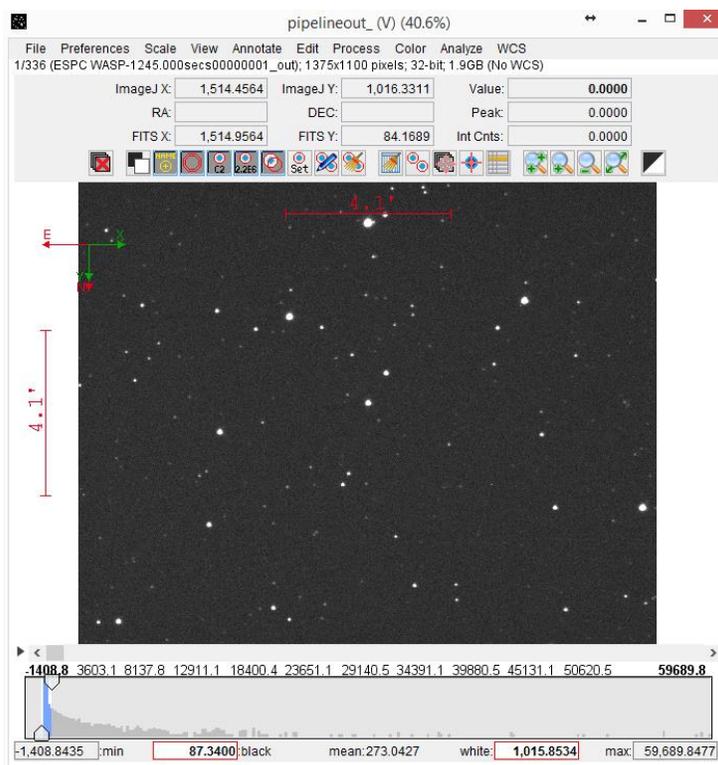
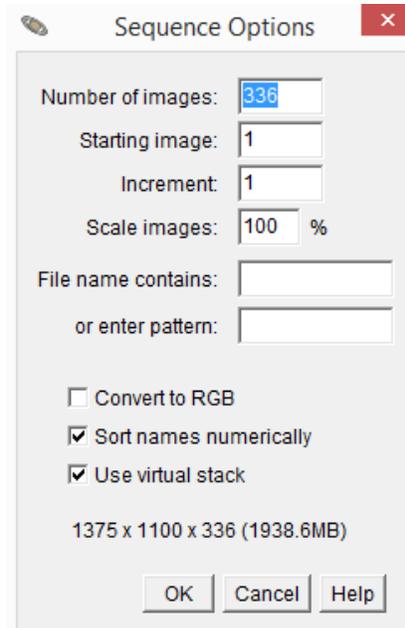


Figura 5. Schermata di visualizzazione dell'immagine

Una serie di immagini può essere caricata in quello che viene chiamato uno "stack" AIJ. Ogni immagine nello stack è chiamata "slice". Lo stack è un insieme attivo di immagini a cui è possibile applicare varie funzioni AIJ. Dalla barra degli strumenti AIJ selezionare File-> Importa-> Sequenza di immagini. Per gli utenti Windows, selezionare UN file nella sottodirectory contenente le immagini scientifiche calibrate (Nota : non provare a selezionare un intervallo di immagini; è necessario solo selezionare uno dei file nella sottodirectory). Per gli utenti MAC, selezionare la sottocartella contenente le immagini desiderate da visualizzare. Viene visualizzata una schermata simile a quella della Figura 6.



**Figura 6. Schermata delle opzioni della sequenza**

Se il computer che esegue AIJ ha memoria sufficiente per contenere tutte le immagini nello stack, è possibile deselezionare la selezione "Usa stack virtuale" nella schermata Opzioni sequenza, facendo sì che AIJ venga eseguito più velocemente poiché è possibile accedere direttamente alle immagini dalla memoria. Se in questo caso viene visualizzato un messaggio di memoria esaurita, è possibile allocare più memoria ad AIJ effettuando le seguenti operazioni:

1. Dalla barra degli strumenti AIJ principale, vai a Modifica-> Opzioni-> Memoria e thread ...
2. Modificare il valore di Memoria massima su un valore maggiore.

Successivamente, con le caselle selezionate come in Figura 6, con la possibile eccezione della selezione dello stack virtuale, selezionare OK. Questo crea uno stack AIJ delle immagini scientifiche calibrate. Il display immagini (Figura 5) mostra quindi la prima immagine nello stack.

## 7.2. Calibrare le immagini scientifiche

La funzione di elaborazione dati (DP) di AIJ può essere prima utilizzata per calibrare le immagini scientifiche acquisite durante la fase di imaging. Nota: prima di procedere con questa sezione, si consiglia vivamente al lettore di rivedere la Sezione 6 (Interfaccia utente DP) della Guida per l'utente AIJ. La funzione DP è

avviato facendo clic su  icona dalla barra degli strumenti principale di AIJ. La figura 7 è un esempio di uno di le due schermate che poi appaiono.

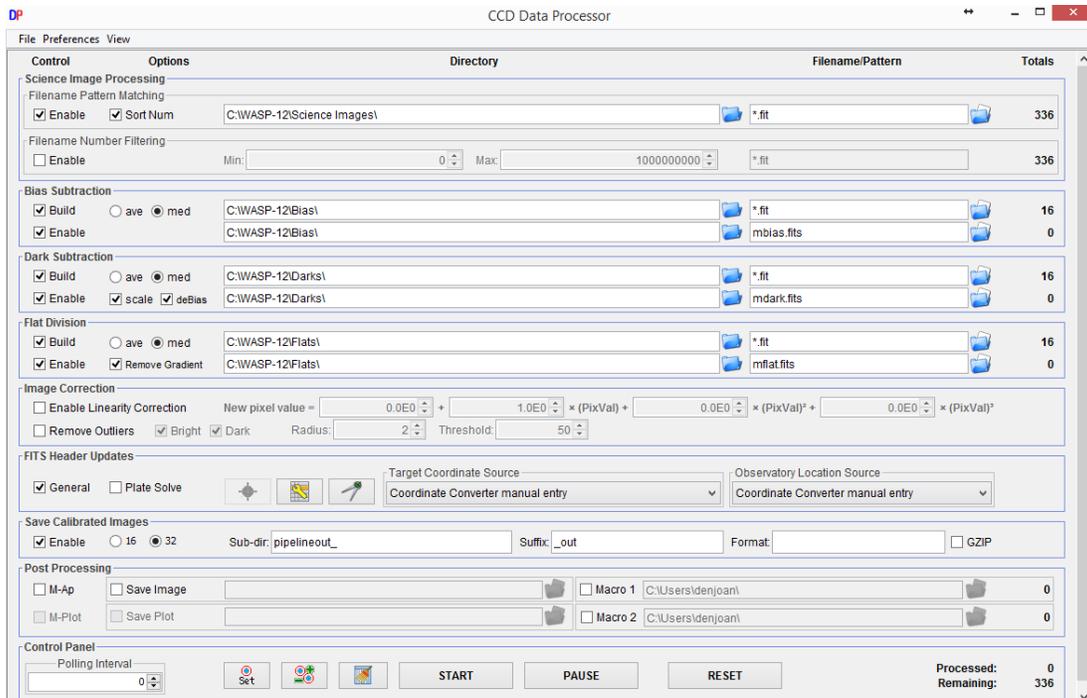


Figura 7. Schermata del processore dati CCD

Un esempio dell'altra schermata che appare è illustrato nella Figura 8, che inizialmente potrebbe coprire la schermata del processore dati CCD.

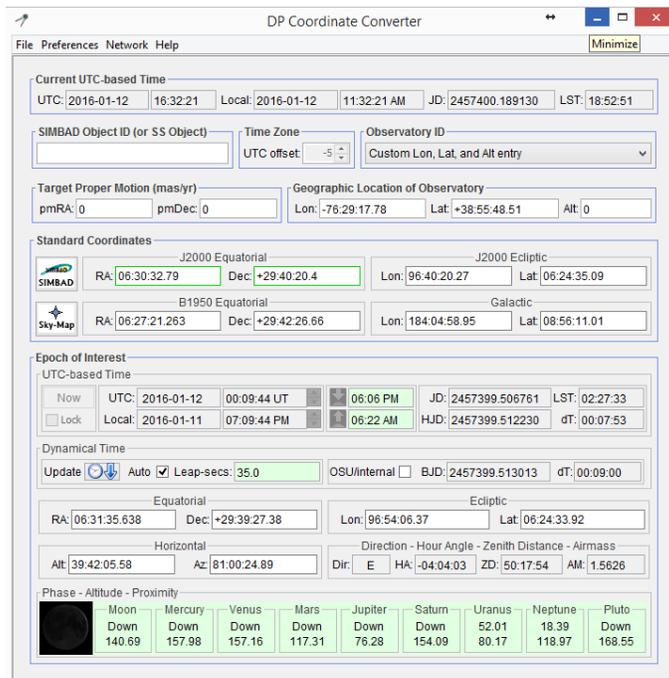


Figura 8. Schermata del convertitore di coordinate DP

Lo scopo della schermata CCD Data Processor è calibrare le immagini scientifiche utilizzando i file bias, dark e flat field acquisiti in precedenza. Esistono diversi modi, tuttavia, in cui è possibile creare i file master bias, dark e flat utilizzati per la calibrazione. Ad esempio, i file master possono essere creati in esecuzioni separate del CCD Data Processor, quindi un'ultima esecuzione specifica i file master in uso. Inoltre, l'utente può utilizzare altri programmi per eseguire la calibrazione e può semplicemente decidere di utilizzare AIJ per aggiornare semplicemente le intestazioni FITS dei file calibrati, processo descritto di seguito. Nell'esempio illustrato nella Figura 7 e descritto di seguito, AIJ utilizza uno eseguire per realizzare tutto: i file master vengono prima creati da singoli bias, file scuri e flat, questi file master vengono quindi utilizzati per calibrare le 336 immagini scientifiche e, infine, le intestazioni FITS dei file calibrati risultanti vengono aggiornate. Nell'esempio seguente, i file scuri originali e le immagini scientifiche avevano un tempo di esposizione di 45 secondi e i file flat field avevano un tempo di esposizione di 3 secondi.

#### 7.2.1. Specificare immagini scientifiche e file di calibrazione

Il primo passo nella conduzione della calibrazione dell'immagine è specificare dove AIJ può trovare le immagini scientifiche e i file di calibrazione.

Nella sezione Elaborazione immagini scientifiche nella schermata Elaboratore dati CCD, vengono selezionate le caselle "Abilita" e "Num. Ord." E viene inserita la directory in cui risiedono le immagini scientifiche (ciò può essere fatto anche facendo clic sull'icona della cartella e selezionando sottodirectory appropriata). Successivamente, viene immessa l'estensione file appropriata con l'indicatore jolly "\*" per il percorso del nome file. Se il percorso e l'estensione del nome file per le immagini scientifiche sono stati inseriti correttamente, il conteggio dei totali a destra dovrebbe essere corretto.

Il metodo sopra dovrebbe essere utilizzato anche per specificare le sottodirectory e le estensioni dei file per i file bias, dark e flat. Per ciascuno di questi set di file di calibrazione, è necessario immettere una sottodirectory e un nome file completo (non solo l'estensione) per i rispettivi file master da creare. Ad esempio, nella Figura 7, un master dark chiamato mdark.fits verrà creato nella stessa sottodirectory in cui si trovano i singoli dark.

Dovrebbero essere selezionate anche le caselle di controllo Build e Enable per ciascuno dei tipi di calibrazione e la scelta fatta per la combinazione media (ave) o mediana (med) deve essere utilizzata per creare i master. Se gli scuri devono essere ridimensionati e usati come scuri piatti, è necessario selezionare le caselle "scala" e "deBias".

Ci sono variazioni a quanto sopra. Ad esempio, per utilizzare master già creati, non è necessario selezionare le caselle "Build".

Nota: è importante che l'opzione "Rimuovi valori anomali" NON sia selezionata quando viene eseguita la fotometria differenziale e che l'intervallo di polling sotto il pannello di controllo sia impostato su 0. Inoltre, a meno che l'opzione "Abilita" per Filtro numero nome file o " Viene utilizzata l'opzione Abilita correzione linearità "(vedere Sezione 6.3.2.1 e Sezione 6.3.2.5, rispettivamente dell'utente AIJ

Guida), quindi dovrebbero non essere abilitato.

#### 7.2.2. Aggiornamento delle informazioni sull'intestazione FITS

AIJ ha due metodi per ottenere alcune informazioni essenziali come AIRMASS, BJD<sub>TDB</sub> volte, ecc., che saranno utili durante la fase di fotometria, disegno e modellazione. Il primo metodo è aggiornare il file delle misurazioni creato dopo l'applicazione della fotometria differenziale alle immagini calibrate. Questo metodo è descritto nella Sezione 7.6 di seguito. Questo metodo, tuttavia, funziona non aggiornare le intestazioni FITS dei file calibrati, quindi ogni volta che viene eseguita una nuova misura di fotometria differenziale sulle immagini calibrate, questo aggiornamento dovrebbe essere ripetuto. Va notato che alcuni software di acquisizione della fotocamera includeranno AIRMASS nel file

Intestazione FITS, ma molto probabilmente non BJD<sub>TDB</sub>.

Il secondo metodo, che avviene durante la Fase di Calibrazione, consiste nell'includere queste informazioni direttamente nelle intestazioni FITS dei file calibrati. Pertanto, al momento i file di calibrazione sono essendo corretti con qualsiasi pregiudizio, oscurità e bemolle, anche le loro intestazioni FITS vengono aggiornate. Questo è il preferito dei due metodi, poiché è possibile eseguire più cicli di modellazione con diverse impostazioni di fotometria, senza dover aggiornare il file delle misurazioni dopo ogni corsa con informazioni come AIRMASS e BJD<sub>TDB</sub> tempo.

Per aggiornare le intestazioni FITS durante il processo di calibrazione, l'utente deve selezionare Generale nella sezione Aggiornamenti intestazione FITS della schermata CCD Data Processor (vedere la Figura 7). Viene quindi visualizzata la schermata del convertitore di coordinate DP (Figura 8), se non è già aperta.

Per aggiornare le intestazioni FITS, AIJ necessita delle coordinate RA e DEC del target, nonché della posizione in cui è stata condotta l'osservazione. Queste informazioni possono essere inserite manualmente oppure AIJ può estrarre automaticamente questi dati dalle intestazioni FITS se sono state incluse lì dal software di acquisizione delle immagini dell'utente.

##### 7.2.2.1. Immissione di informazioni sulla posizione del bersaglio e di osservazione

In caso di immissione manuale delle coordinate del bersaglio e / o della posizione di osservazione, l'utente seleziona "Inserimento manuale del convertitore di coordinate" sotto una o entrambe le caselle Origine coordinate target e la casella Origine posizione osservatorio. Nella schermata del convertitore di coordinate DP, l'utente inserisce i campi Lon (Longitudine), Lat (Latitudine) e Alt (Altitudine) nella sezione Posizione geografica dell'Osservatorio e / o inserisce i campi RA e DEC del bersaglio in J2000 Equatorial sezione. Una descrizione di come l'utente può creare una voce per l'osservatorio dell'utente, in un elenco di osservatori predefiniti, può essere trovata in "Personalizza i dati dell'Osservatorio", che può essere raggiunta dalla scheda Guida nella schermata Convertitore coordinate DP.

Se le coordinate RA e DEC fanno già parte dell'intestazione FITS dell'immagine, l'utente selezionerà "FITS header target RA / DEC (2000)" nella casella Target Coordinate Source. Se la posizione dell'osservazione fa già parte dell'intestazione FITS dell'immagine, l'utente selezionerà "Longitudine e latitudine dell'intestazione FITS" nella casella Origine posizione dell'osservatorio.

#### 7.2.2.2. Aggiornamenti dinamici dell'ora

Indipendentemente dal metodo utilizzato da AIJ per ottenere le coordinate del bersaglio e la posizione di osservazione, l'utente deve eseguire le seguenti operazioni nella sezione Tempo dinamico della schermata del convertitore di coordinate DP:

1. Deve essere selezionato Auto.
2. Fare clic sul pulsante **Aggiorna**.

Queste azioni consentiranno ad AIJ di tenere conto del numero appropriato di secondi intercalari aggiuntivi quando esegue le conversioni temporali in BJD<sub>TDB</sub>.

#### 7.2.2.3. Altre informazioni di intestazione FITS richieste

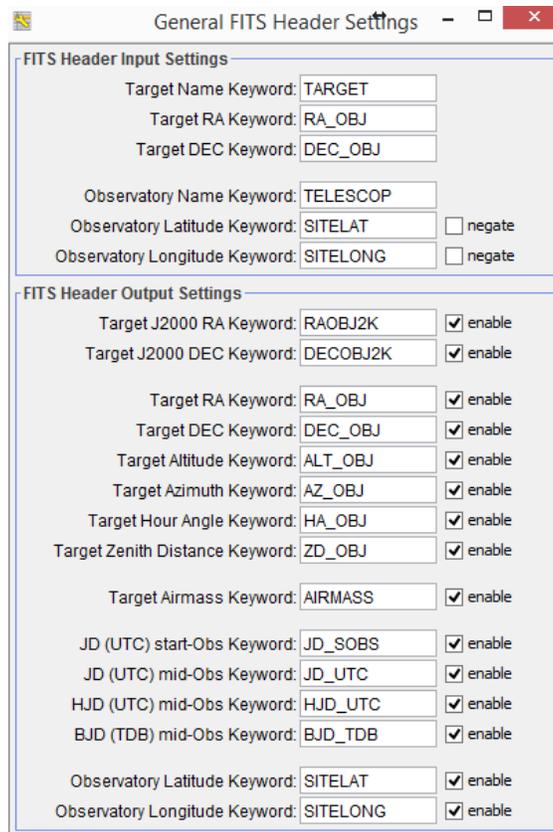
Successivamente, è importante che le immagini scientifiche grezze contengano informazioni nelle intestazioni FITS sulla data / ora di inizio dell'osservazione, nonché sul tempo di esposizione. Sezioni 6.3.2.6.1 e 6.3.2.6.2 della Guida utente AIJ descrive le parole chiave dell'intestazione FITS accettabili che AIJ può utilizzare per ottenere queste informazioni.

#### 7.2.2.4. Impostazioni intestazione FITS

Una volta che le informazioni sull'osservatorio e sul target di cui sopra sono state compilate e si è confermato che le intestazioni FITS contengono informazioni accettabili su data / ora e esposizione, l'utente selezionerà



nella schermata del processore dati CCD. Viene quindi visualizzata la schermata Impostazioni intestazione FITS generali (Figura 9).



**Figura 9. Schermata Impostazioni generali intestazione FITS**

Se il metodo di immissione automatica è stato utilizzato per le coordinate del target, le parole chiave appropriate nell'intestazione FITS dell'immagine associata a queste informazioni dovrebbero essere incluse nelle voci Target RA Keyword e Target DEC Keyword nella sezione FITS Header Input Settings dello schermo (vedere Figura 9). Le coppie di parole chiave comuni per queste informazioni sono: RA\_OBJ, DEC\_OBJ e OBJECTRA, OBJECTDEC; tuttavia, l'utente deve confermare quale coppia di parole chiave viene inserita nell'intestazione FITS delle immagini dal software di acquisizione delle immagini dell'utente.

Allo stesso modo, se il metodo di immissione automatica è stato utilizzato per la posizione di osservazione, le parole chiave appropriate nell'intestazione FITS dell'immagine associata a queste informazioni dovrebbero essere incluse nelle voci Parola chiave latitudine di osservazione e Parola chiave longitudine osservazione. SITELAT e SITELONG sono tali parole chiave. NOTA: alcuni software di acquisizione delle immagini, come SkyX Pro, potrebbero inserire un numero positivo nell'intestazione FITS per la longitudine anche se è la longitudine ovest (la longitudine ovest è tipicamente mostrata con un segno negativo, a meno che non sia espressa come elongitudine, cioè totale gradi da 0 longitudine.). Se la longitudine ovest è un numero positivo nell'intestazione FITS dell'utente, l'utente deve selezionare la casella "nega" per indicare ad AIJ che il numero trovato nell'intestazione FITS dovrebbe effettivamente avere un segno negativo associato.

La parte delle impostazioni di output dell'intestazione FITS dello schermo indica gli elementi a cui verranno aggiunti le immagini calibrate (indicate da quelle che hanno "abilitato" spuntato). Nota: si suggerisce che tutte le parole chiave rimangano "abilite".

**IMPORTANTE** : Se viene eseguito un aggiornamento AIJ, si consiglia all'utente di assicurarsi che la voce per la "parola chiave mid-Obs BJD (TDB)" nella schermata Impostazioni intestazione FITS generali sia impostata su BJD\_TDB (le versioni precedenti di AIJ impostano questo valore di immissione a BJD\_UTC).

#### 7.2.2.5. Informazioni WCS

Infine, sebbene non sia stato fatto in questo esempio, le coordinate del World Coordinate System (WCS) per ciascuna stella in ciascuna immagine possono essere ottenute selezionando l'opzione Plate Solve nella schermata CCD Data Processor. Va notato, tuttavia, che questo processo potrebbe richiedere molto tempo e in molti casi non è necessario (vedere la Sezione 7.4 di seguito per ottenere le coordinate WCS per le immagini selezionate).

#### 7.2.3. Inizia il processo di calibrazione

Usando quanto sopra come esempio, quando si seleziona il pulsante START, la routine DP eseguirà automaticamente i seguenti passaggi:

1. Creare un Master Bias (mbias.fits) dai 16 file bias.
2. Creare un Master Dark (mdark.fits) dai 16 file dark. Correggi questo Master Dark con il Master Bias. Pertanto, il Master Dark avrà rimosso i pregiudizi da esso.
3. Creare un Master Flat (mflat.fits) utilizzando i 16 file flat nel modo seguente:
  - un. calcolare prima un fattore di scala che rappresenta il rapporto tra i tempi di esposizione dei flat field e il tempo di esposizione dei dark file originali (in questo esempio, il fattore di scala sarebbe  $0,0667 = 3 \text{ sec} / 45 \text{ sec}$ );
  - b. eseguire la correzione del bias utilizzando il Master Bias;
  - c. eseguire la correzione del buio utilizzando il Master Dark, scalato con il fattore di scala; rimuovere i gradienti;
  - d.
  - e. normalizzare i piani calibrati.
4. Le intestazioni FITS dei file calibrati vengono aggiornate.
5. Calibrare ciascuna immagine scientifica utilizzando il Master Bias, il Master Dark e il Master Flat risultanti. Viene visualizzato un display immagini per ciascuna immagine durante la calibrazione.
6. Le immagini scientifiche calibrate vengono memorizzate in una sottodirectory di calibrazione nella sottodirectory che conteneva le immagini scientifiche. In questo esempio, la sottodirectory sarà chiamata pipelineout e i suoi file avranno un suffisso \_out.

#### 7.2.4. Operazione in tempo reale

Oltre a condurre la calibrazione dell'immagine dopo l'osservazione, AIJ è anche in grado di funzionare "in tempo reale" se l'intervallo di polling è impostato su un valore diverso da zero. In questo caso, alla velocità dell'intervallo di polling specificata, AIJ controllerà automaticamente la directory delle immagini scientifiche per i file appena aggiunti che corrispondono ai criteri di corrispondenza del modello di file e di filtro dei numeri specificati nella schermata del processore dati CCD. AIJ li calibrerà, opzionalmente condurrà su di essi la fotometria differenziale e opzionalmente aggiornerà la curva di luce (vedere le caselle di controllo sotto Post Processing nella schermata CCD Data Processor per selezionare queste opzioni).

#### 7.2.5. Opzioni aggiuntive

La sezione 6 della Guida per l'utente AIJ fornisce altre opzioni disponibili per la schermata CCD Data Processor.

#### 7.3. Caricamento delle immagini di calibrazione

Dopo la calibrazione, le immagini nella sottodirectory di calibrazione possono essere caricate in AIJ (vedere Sezione 7.1 su come caricare un set di immagini).

Per assicurarsi che gli indicatori del campo visivo (FOV) siano corretti sia per l'asse verticale che per quello orizzontale sullo schermo di visualizzazione dell'immagine per le immagini di calibrazione, è necessario impostare le scale di pixel X e Y corrette. Le scale dei pixel saranno state impostate correttamente se le coordinate WCS erano già state trovate utilizzando l'opzione Plate Solve sulla schermata del processore CCD DP (vedere la Sezione 7.2.2.5) o una delle opzioni di risoluzione WCS-> Plate nella schermata Image Display (vedere Sezione 7.4). In alternativa, è possibile inserire manualmente le scale di pixel corrette selezionando, nella parte superiore dello schermo di visualizzazione dell'immagine, "WCS-> Imposta scala di pixel per immagini senza WCS ...", quindi inserendo i valori di scala di pixel X e Y corretti.

Il cursore sotto l'immagine può quindi essere utilizzato per spostarsi attraverso tutte le immagini al fine di trovare quelle che dovrebbero essere eliminate a causa di un'eccessiva copertura nuvolosa, scarsa guida o altre anomalie. Se le immagini mostrano gradi crescenti di disallineamento, vedere la Sezione 7.5.3 come correggerlo. Le immagini scadenti possono essere eliminate richiamando quella particolare immagine sul display LCD e quindi selezionando semplicemente "elimina la sezione attualmente visualizzata"



nell'angolo superiore sinistro del display LCD.

In alternativa, è possibile selezionare Modifica-> Stack-> Elimina dalla barra dei menu sul display immagini. Si consiglia, tuttavia, di spostare tali immagini scadenti dalla sottodirectory di calibrazione in cui risiedono a una sottodirectory separata "Immagini in quarantena". In questo modo, se la fotometria differenziale deve essere rifatta sui file nella sottodirectory di calibrazione, l'utente non deve ripetere questo processo di eliminazione dell'immagine.

#### 7.4. Risoluzione di lastre utilizzando AIJ

La risoluzione delle lastre significa associare le stelle in un'immagine con le loro coordinate RA e DEC. Facoltativamente, queste informazioni possono anche essere memorizzate in modo permanente nell'intestazione FITS dell'immagine per un possibile utilizzo successivo. Le informazioni memorizzate nell'intestazione FITS utilizzano le informazioni WCS; questa informazione consente alle corse successive di identificare le coordinate RA e DEC delle stelle selezionate.

I seguenti sono esempi in cui potrebbe essere desiderabile utilizzare una o più immagini risolte con lastre:

1. può essere utile risolvere lastre un'immagine per localizzare la posizione esatta della stella bersaglio in un campo di stelle affollato;
2. se le immagini sono disallineate durante la sessione di osservazione, o si è verificato un capovolgimento del meridiano, può essere utile tracciare la posizione di particolari stelle da un'immagine all'altra durante il processo di fotometria differenziale usando le loro coordinate RA e DEC.

Le immagini che contengono informazioni WCS da altri software possono essere utilizzate da AIJ, oppure lo stesso AIJ può essere utilizzato per risolvere lastre una o più immagini nello stack di immagini. Questo viene fatto selezionando dal menu Visualizzazione immagini "WCS-> Risolvi lastre utilizzando Astrometry.net (con opzioni) ..." Apparirà quindi una schermata simile a quella della Figura 10.

The screenshot shows the 'Astrometry Settings' dialog box. It features a 'User Key' field at the top left and a '(Get key from: nova.astrometry.net)' label. Below these are several checkboxes, most of which are checked: 'Use Custom Server', 'Auto Save', 'Skip Images With WCS', 'Annotate', 'Add To Header', 'Process Stack', 'Median Filter', 'Centroid Near Peaks', 'Constrain Plate Scale', 'Constrain Sky Location', 'SIP Distortion Correction', and 'Show Results Log'. The 'Peak Find Options' section has 'Limit Max Peaks' unchecked. The right side of the dialog contains numerous input fields with spinners, including 'http://127.0.0.1:8080' for the custom server, '30.00' for Radius (pixels), '1' for Start Slice, '336' for End Slice, '2' for Filter Radius (pixels), '50000' for Max Peak (ADU), '1.00' for Noise Tol (StdDev), '50' for Max Num Stars, '13.00' for Radius (pixels), '24.00' for Sky Inner (pixels), '29.00' for Sky Outer (pixels), '0.620' for Plate Scale (arcsec/px), '0.150' for Tolerance (arcsec/px), '06:30:32.79' for Center RA (Hours), '+29:40:20.4' for Center Dec (Degrees), and '14.0' for Radius (arcmin). There is also a 'SIP Order' field set to '2'. At the bottom right, there are 'START' and 'CANCEL' buttons. An 'IMPORTANT WARNING: overwrites original image' message is displayed in the center.

Figura 10. Schermata Impostazioni astrometria

AIJ può quindi utilizzare la funzione online astrometry.net per la risoluzione delle lastre oppure gli utenti Windows possono utilizzare una versione locale che non richiede una connessione online. Di seguito viene descritta ciascuna di queste alternative.

##### 7.4.1. Alternative ad Astrometry.net

Alternativa 1: Risoluzione delle lastre utilizzando la versione online di Astrometry.net

Per questa alternativa, viene prima ottenuta una chiave Astrometry.net. Questo viene fatto accedendo a [http://nova.astrometry.net/signin/?next=/api\\_help](http://nova.astrometry.net/signin/?next=/api_help) utilizzando, ad esempio, le informazioni di accesso di Yahoo dell'utente. La chiave può quindi essere trovata sotto Il mio profilo. Si chiama "la mia chiave API". Questa chiave viene quindi inserita nel campo Chiave utente nella schermata delle impostazioni astrometriche di AIJ.

Alternativa 2: Risoluzione delle lastre utilizzando una versione locale di Astrometry.net

Gli utenti Windows possono utilizzare un'alternativa alla versione online di astrometry.net per eseguire la risoluzione delle lastre. In questo caso, AIJ utilizza un server astrometry.net locale. Il server, sviluppato da Andy Galasso, si chiama ansvr. Può essere installato andando su <http://adgsoftware.com/ansvr> e seguendo le istruzioni di installazione lì. Una volta installata, la risoluzione delle lastre può essere eseguita localmente abilitando "Usa server personalizzato" nella schermata delle impostazioni di astrometria (vedere la Figura 10).

#### 7.4.2. Informazioni sull'astrometria

Dopo aver scelto l'alternativa appropriata per invocare astrometry.net, le seguenti altre voci dovrebbero essere effettuate nella schermata delle impostazioni di astrometria:

1. "Salvataggio automatico" deve essere selezionato se l'utente desidera che le intestazioni FITS dei file immagine originali vengano aggiornate permanentemente con le informazioni WCS appropriate. La selezione dell'opzione "Annota" consente ad AIJ di disegnare intorno alle stelle, che si trovano in SIMBAD, un cerchio di dimensioni "Raggio (pixel)", insieme a un'annotazione del nome della stella. Se selezionato, "Aggiungi a intestazione" farà sì che queste annotazioni vengano aggiunte all'intestazione FITS dell'immagine.
3. Il numero (i) di slice delle immagini nella pila da risolvere su lastra deve essere immesso nei campi Start Slice e End Slice.
4. I raggi delle impostazioni dell'apertura e dell'anello che verranno utilizzati durante il processo di fotometria differenziale (vedere la Sezione 7.5.1 di seguito) devono essere inseriti nei campi Raggio, Cielo interno e Cielo esterno.
5. È quindi necessario immettere il valore corretto della scala dei pixel per il sistema di imaging dell'utente, nonché una certa tolleranza per la sua precisione.
6. Successivamente, le coordinate RA e DEC approssimative del centro dell'immagine, nonché un certo raggio di ricerca per stelle adatte che possono essere utilizzate durante il processo di risoluzione della piastra. L'utente potrebbe provare prima a partire dalla larghezza dell'immagine e poi ridurla da lì.
7. Tutti gli altri valori e le caselle di controllo possono essere impostati come appaiono nella Figura 10. Quando è selezionato START, inizierà il processo di risoluzione delle lastre

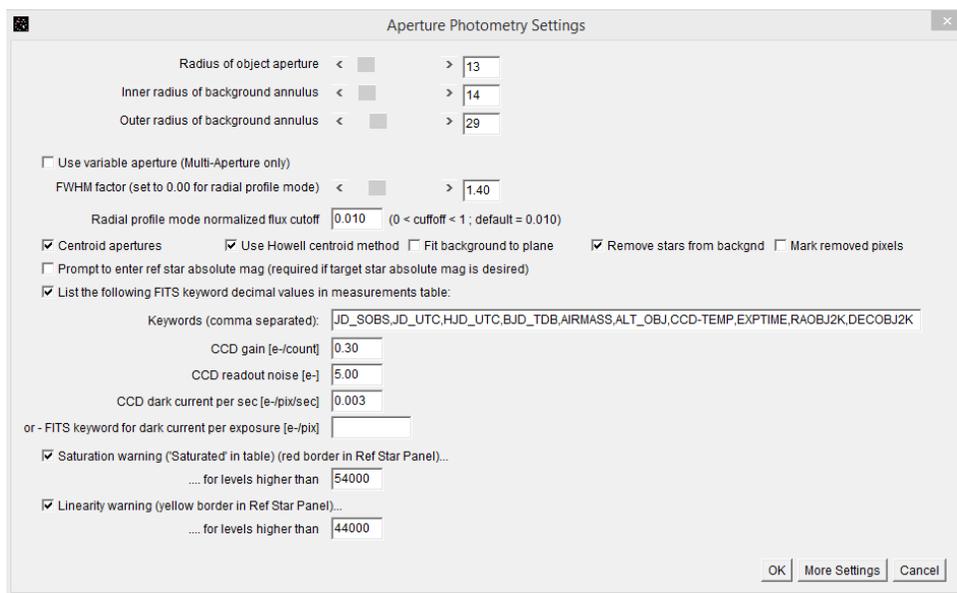
#### 7.5. Condurre fotometria differenziale

Con le stelle comp candidate note, la fotometria differenziale può avvenire sulle immagini nello stack. Vedere la Sezione 6.4.2 per le linee guida sulla selezione delle stelle di confronto adatte.

### 7.5.1. Selezionare le impostazioni appropriate per l'apertura e l'anello

Il primo passo è definire il raggio appropriato dell'apertura e i raggi degli anelli interno ed esterno dell'anello. Questo viene fatto come segue:

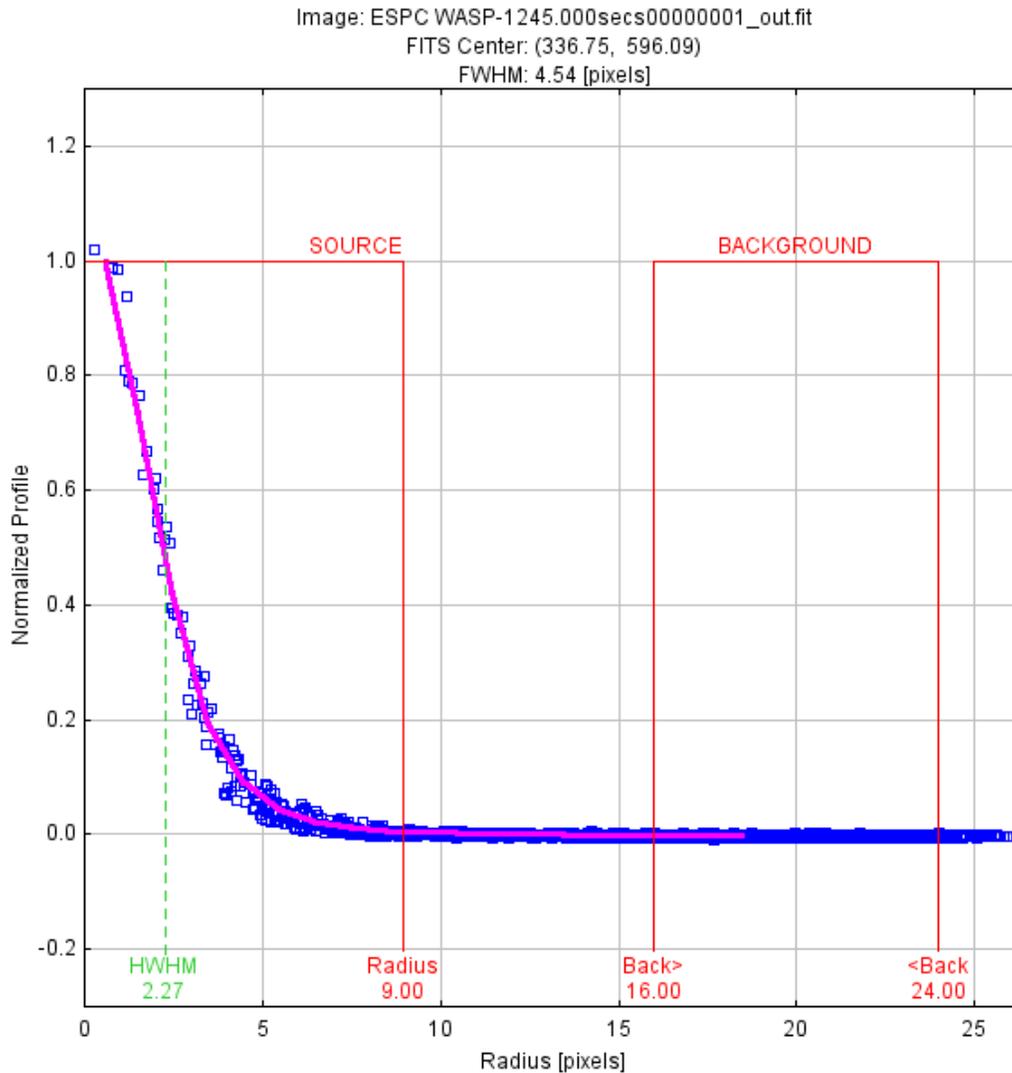
Il  viene selezionata l'icona nella schermata di visualizzazione delle immagini, provocando la visualizzazione della schermata delle impostazioni della fotometria dell'apertura (Figura 11).



**Figura 11. Schermata Impostazioni fotometria apertura**

Il iniziale i raggi dell'apertura e dell'anello possono quindi essere impostati in modo appropriato utilizzando uno qualsiasi dei tre metodi.

Metodo 1. Le impostazioni dei raggi iniziali possono essere determinate utilizzando la schermata Seeing Profile associata alla stella target (vedere la Figura 12). Questa schermata appare quando il mirino è posizionato sulla stella di destinazione e l'utente tiene premuto il tasto ALT mentre fa clic sulla stella (nota: il clic ALT sulla stella non mantiene il mirino sulla stella). Il raggio mostrato per la Sorgente e i valori di inizio e fine per lo Sfondo possono quindi essere utilizzati per il raggio di apertura iniziale e le impostazioni dei raggi dell'anello interno ed esterno, rispettivamente.



**Figura 12. Schermata di visualizzazione del profilo**

**Metodo 2.** I raggi iniziali possono anche essere determinati secondo le seguenti linee guida (si noti che la selezione automatica dei valori raccomandati da parte di AIJ tramite il Metodo 1 è coerente con queste linee guida):

1. Il raggio iniziale dell'apertura ( $r_1$ ) dovrebbe essere almeno 2 volte il numero di pixel FWHM.
2. Il raggio iniziale dell'anello interno ( $r_2$ ) dovrebbe essere scelto in modo tale che esso e il raggio dell'anello esterno creino una regione dell'anello che esclude qualsiasi altra stella che si trovi vicino alla stella bersaglio.
3. Il valore iniziale del raggio dell'anello esterno dovrebbe essere uguale a  $\text{SQRT}(4 * r_2^2 + r_1^2)$ . Questo la formula dovrebbe produrre un anello che contiene 4 volte il numero di pixel che si trovano nell'apertura.

Metodo 3. Infine, le impostazioni iniziali di apertura / anello possono essere determinate utilizzando quelle che massimizzano l'SNR della stella bersaglio. AIJ può essere utilizzato per determinare l'SNR della stella bersaglio nel modo seguente:

1. Fare clic sull'icona Imposta impostazioni diaframma  nella schermata di visualizzazione delle immagini. Imposta l'apertura e raggi dell'anello ad alcune impostazioni iniziali e quindi fare clic su OK.
2. Fare clic sull'icona Fotometria a apertura singola  sulla barra degli strumenti di AIJ. Posiziona il risultato cerchi concentrici sulla stella di destinazione nel display LCD e fare clic con il pulsante sinistro del mouse.
3. Questo produrrà una nuova tabella delle misurazioni che dovrebbe includere la misurazione SNR nella colonna Source\_SNR. Ogni successiva modifica delle impostazioni di apertura e delle selezioni Fotometria a apertura singola aggiungerà una nuova riga a questa tabella.

Nota : ciascuna riga appena creata (estranea) nella tabella delle misurazioni deve quindi essere eliminata prima che la tabella delle misurazioni venga utilizzata per la modellazione del transito. Questo viene fatto evidenziando le righe da eliminare nella tabella delle misurazioni e quindi selezionando Modifica-> Taglia dalla barra dei menu della tabella delle misurazioni.

Dei tre metodi precedenti, il Metodo 1 è quello preferito per ottenere una serie iniziale di impostazioni di apertura e anello.

Va notato che le impostazioni finali dell'apertura e dei raggi dell'annulus dovrebbero essere quelle che minimizzano il Root Mean Square (RMS) dei residui della curva di luce che si crea durante l'adattamento del modello di transito. RMS è una misura di quanto bene il modello "si adatta" ai dati osservati. Ciò implica che più corse dell'adattamento del modello, come descritto nella Sezione 7.11 di seguito, dovrebbero essere eseguite con valori diversi per le impostazioni dell'apertura e dei raggi dell'anello.

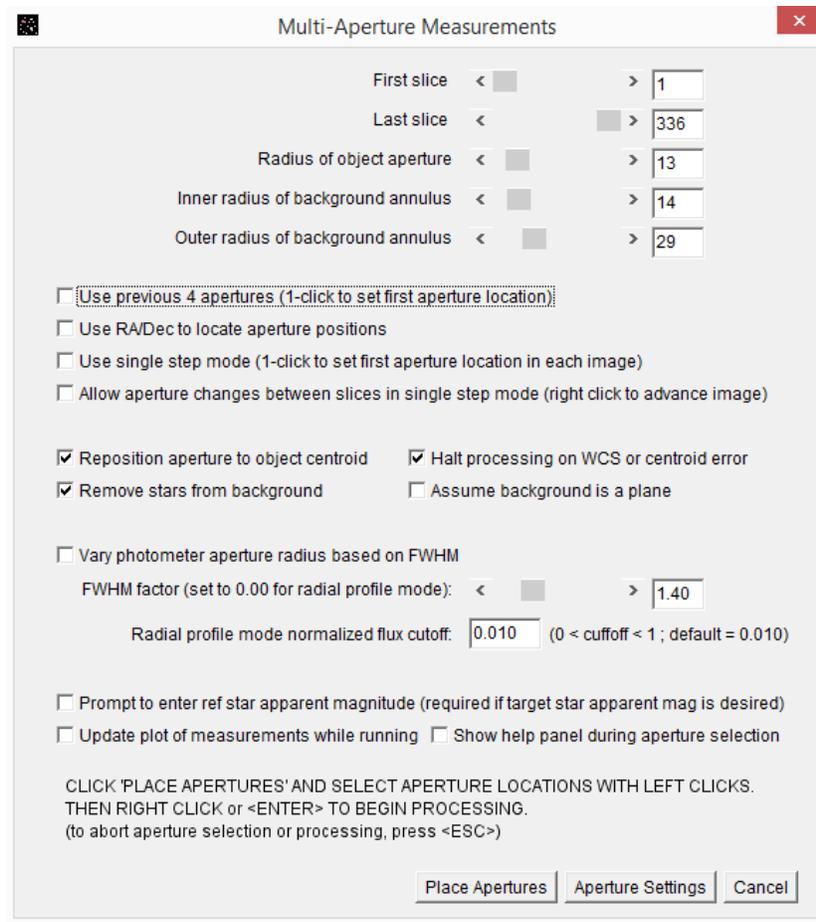
### 7.5.2. Preparati e inizia la fotometria differenziale

Durante la scansione delle immagini nella pila, può sembrare che siano gradualmente sfalsate l'una dall'altra e quindi non tutte allineate. Le sezioni 7.5.3 e 7.5.4 di seguito mostrano come gestire diversi gradi di disallineamento, nonché un capovolgimento del meridiano.

Nella schermata delle impostazioni della fotometria di apertura (Figura 11), l'utente deve inserire un elenco di parole chiave separate da virgole per qualsiasi valore di intestazione FITS che l'utente vorrebbe estrarre e aggiungere alla tabella delle misurazioni. Inoltre, devono essere inseriti i valori appropriati per il guadagno del CCD, il rumore di lettura e la corrente di buio. Infine, è necessario configurare le impostazioni appropriate per gli avvisi di saturazione e linearità. Tutte le altre caselle di controllo possono essere mantenute come mostrato nella figura

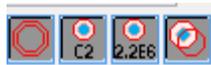
11. L'utente selezionerà quindi OK.

Successivamente,  viene selezionata l'icona sulla barra dei menu del display LCD per visualizzare Schermata delle misurazioni dell'apertura (vedere la Figura 13). I valori per l'intervallo di sezioni e l'apertura e i raggi dell'anello vengono inseriti automaticamente. Se tutte le immagini fossero risolte in lastra, è possibile controllare "Usa RA / Dec per individuare le posizioni di apertura". Tutte le altre caselle di controllo possono essere mantenute come in Figura 13.



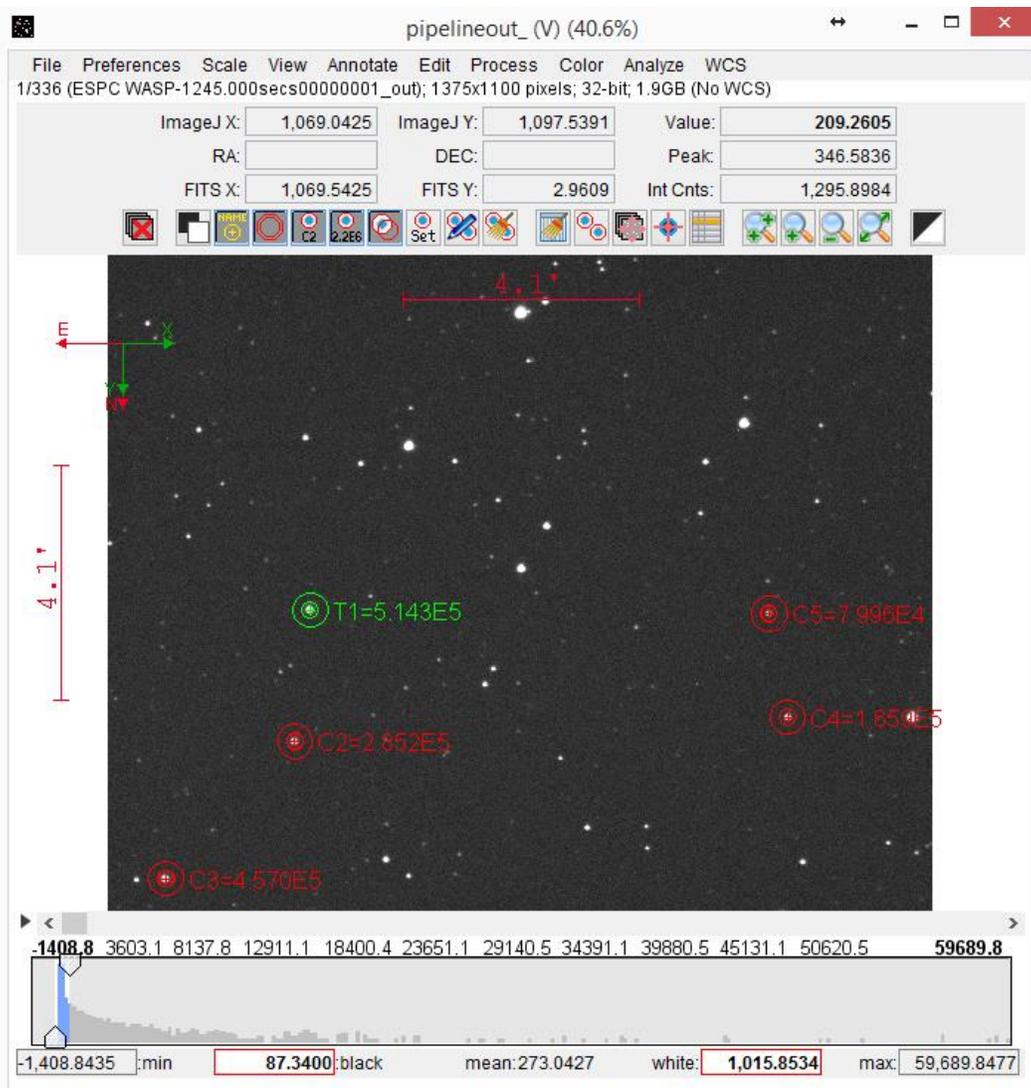
**Figura 13. Schermata delle misurazioni multi-apertura**

L'utente dovrebbe anche aver abilitato le seguenti quattro icone sulla barra dei menu di visualizzazione immagini:



Queste selezioni consentono di visualizzare gli anelli di apertura / anello con i nomi delle stelle target e comp e i conteggi di intensità associati, e aiutano a posizionare automaticamente gli anelli di apertura / anello sul centroide di ciascuna stella.

L'utente seleziona quindi Posiziona aperture, quindi posiziona e fa clic sui cerchi concentrici fluttuanti sulla stella di destinazione e sulle stelle di composizione. La visualizzazione delle immagini apparirà quindi simile a quella della Figura 14.



**Figura 14. Immagine campione con apertura / anello applicato  
Target e Comp Stars**

Successivamente, premendo Invio sulla tastiera, inizierà il processo di fotometria differenziale. Verrà costruita una tabella delle misurazioni con ogni riga che rappresenta le misurazioni per ogni fetta nella pila. Le etichette nell'intestazione della tabella delle misurazioni identificano il tipo di dati nella colonna dell'etichetta. Alcune di queste etichette corrispondono agli identificatori di intestazione FITS comuni, mentre altre sono le parole chiave specificate nella schermata Impostazioni fotometria apertura (vedere Figura 11).

Di seguito sono riportati alcuni dei valori più importanti nella tabella delle misurazioni che verranno successivamente utilizzati nell'analisi degli esopianeti (nella notazione sotto, xx = Tn per una stella designata come bersaglio e xx = Cn per una stella designata come stella di confronto):

Source-Sky\_xx - Conteggi ADU all'interno dell'apertura fotometrica, regolati per i conteggi dello sfondo del cielo che si trovano nell'anello fotometrico;

tot\_C\_cnts - conteggi totali Sorgente-Cielo di tutte le stelle di confronto selezionate;  
rel\_flux\_Tx - flusso relativo della stella bersaglio  $T_n = \text{Sorgente-Cielo di } T_n \text{ diviso per tot\_C\_cnts}$ ; rel\_flux\_Cx - flusso relativo della stella di confronto  $C_n = \text{Sorgente-Cielo di } C_n \text{ diviso per}$   
conteggi totali Source-Sky di tutti i altre stelle di confronto selezionate; rel\_flux\_err\_xx  
- errore associato al flusso relativo corrispondente.

A questo punto, la tabella delle misurazioni dovrebbe essere salvata in una sottodirectory come qualcosa chiamato Analisi AIJ. Ciò si ottiene selezionando File-> Salva con nome nel menu della tabella delle misurazioni e selezionando la sottodirectory Analisi AIJ. La tabella delle misurazioni può quindi essere memorizzata da AIJ con un'estensione di .xls, .tbl o .txt.

Va notato che se la fotometria differenziale deve essere rifatta sulle immagini attualmente in pila, è necessario eseguire i seguenti passaggi:

1. Svuotare gli anelli di apertura / anello esistenti selezionando "cancella aperture e annotazioni" dalla sovrapposizione "icona  sul display LCD.
2. Nella schermata Misurazioni multi-apertura (Figura 13), assicurarsi che la casella accanto a "Usa aperture X precedenti" sia deselezionata.

### 7.5.3. Trattare con immagini disallineate

Un cambiamento nell'orientamento dell'immagine e quindi un disallineamento potrebbe verificarsi se la guida è scarsa. Se lo spostamento dell'immagine non è troppo grave, la funzione Align Stack di AIJ potrebbe essere utilizzata per allineare le immagini

lo stack attivo. Ciò può essere ottenuto selezionando l'icona "allinea la pila utilizzando le aperture" nella schermata di visualizzazione delle immagini e inserendo un'impostazione di apertura abbastanza ampia, con impostazioni dell'annulus corrispondentemente più grandi. Le immagini nella pila vengono allineate utilizzando questa funzione e le immagini allineate risultanti vengono memorizzate in una nuova sottodirectory denominata "allineata". Le immagini in questa sottodirectory dovrebbero quindi essere quelle utilizzate durante la fase di fotometria differenziale. L'utente non deve dimenticare di riportare le impostazioni di apertura e annulus a quelle appropriate per la fase di fotometria differenziale. 

In caso di rotazione dell'immagine a causa di un forte spostamento dell'immagine, che la funzione Align di AIJ non può correggere, è possibile eseguire le seguenti operazioni:

1. Per prima cosa, la lastra risolve ogni immagine (vedere la Sezione 7.4).
2. Dopo che la risoluzione della lastra è stata completata, l'utente può quindi eseguire la fotometria differenziale come prima, ad eccezione di quella nella schermata Misurazioni multi-apertura (Figura 13), la casella "Usa RA / Dec per individuare le posizioni di apertura" dovrebbe essere selezionata. Inoltre, la prima e l'ultima fetta dovrebbero indicare l'intero intervallo di sezioni.
3. Quando il pulsante Posiziona aperture è selezionato in questa schermata, l'utente posiziona gli anelli di apertura / anello sul bersaglio e sulle stelle di composizione e, come prima, preme Invio sulla tastiera. Tutti le immagini nello stack vengono ora analizzate.

#### 7.5.4. Trattare con un Meridian Flip

Se durante la sessione di imaging si fosse verificato un capovolgimento del meridiano, le immagini verrebbero ruotate di 180 ° rispetto all'orientamento mostrato nella Figura 5. Pertanto, per le immagini scattate dopo il capovolgimento, gli anelli di apertura / anello non cadrebbero nelle posizioni corrette per l'obiettivo e le stelle comp. Nota: anche se la telecamera CCD stessa è stata ruotata immediatamente prima dell'inizio dell'imaging dopo il capovolgimento del meridiano, è improbabile che le stelle target e comp atterrino all'interno degli stessi anelli di apertura / anello.

Per condurre la fotometria differenziale con AIJ nel caso di un capovolgimento del meridiano, può essere utilizzato il seguente metodo (nota: se ci sono immagini disallineate durante il periodo pre-capovolgimento o durante il periodo post-capovolgimento, allora il metodo descritto nella Sezione 7.5. 3 dovrebbe essere usato):

1. Innanzitutto, la piastra risolve solo la prima immagine dell'intera sequenza. Ciò si ottiene immettendo "1" in entrambi gli Start Slice e Fine dei campi Slice della schermata Impostazioni astrometria. Questo farà sì che solo la prima immagine nella pila venga risolta come lastra.
2. Successivamente, il numero di slice per l'immagine nella pila immediatamente dopo il capovolgimento del meridiano dovrebbe essere inserito in questi due campi e dovrebbe essere risolto in lastra.
3. Nella schermata Misurazioni multi-apertura (vedere la Figura 13), la casella di controllo "Usa RA / Dec per individuare le posizioni di apertura" dovrebbe quindi essere CONTROLLATA e la casella di controllo "Interrompi elaborazione su WCS o errore centroide" dovrebbe essere NON SELEZIONATA.

quando la fotometria differenziale è ora condotta, AIJ procederà con il pre-flip

immagini, utilizzando le coordinate nella prima sezione per il posizionamento dell'apertura e dell'anello sulle successive immagini pre-ribaltamento, e quindi utilizzando le coordinate della prima sezione dopo il ribaltamento per le immagini rimanenti nella pila.

#### 7.5.5. Memorizzazione e successivo recupero delle posizioni delle stelle di confronto e di destinazione

A volte è desiderabile memorizzare, e quindi recuperare in un secondo momento, la posizione dell'obiettivo dell'utente e le selezioni della stella di confronto. AIJ fornisce questa capacità come segue.

1. Prima che inizi il processo di fotometria differenziale, almeno la prima immagine nella pila deve essere risolta su lastra.
2. Nella schermata Misurazioni multi-apertura, deve essere selezionata la voce "RA / Dec per individuare le posizioni di apertura" e NON devono essere selezionate le voci "Usa aperture x precedenti ..." e "Interrompi elaborazione su errore WCS o centroide".
3. Successivamente, l'utente deve posizionare le aperture sul bersaglio e le stelle di confronto desiderate, quindi premere Invio per condurre la fotometria differenziale su tutte le immagini.
4. Una volta creata la tabella delle misurazioni, dal display immagini l'utente deve selezionare File-> Esporta aperture in elenco RA / Dec ... e quindi memorizzare il file risultante delle posizioni di destinazione e stella di confronto nella directory AIJ Analysis.

Se l'utente desidera utilizzare la stessa selezione di stelle target e di confronto in un secondo momento, verrà seguito il seguente processo:

1. Nella schermata Misurazioni multi-apertura, dovrebbe essere selezionata la voce "Usa aperture x precedenti ...", così come la voce "RA / Dec per posizioni di apertura posizione".
2. Sul display immagini, l'utente seleziona File-> Importa aperture dall'elenco RA / Dec ... e sceglie il file precedentemente memorizzato delle posizioni della stella di riferimento e di confronto. Le selezioni delle stelle target e di confronto diventerebbero quindi rispettivamente verde chiaro e rosso. Successivamente, nella schermata Misurazioni multi-apertura,
3. l'utente seleziona la scheda Posizione aperture.
4. Le selezioni della stella di riferimento e di confronto diventerebbero quindi rispettivamente più luminose di verde e rosso.
5. L'utente dovrebbe quindi premere Invio per iniziare il processo di fotometria differenziale come al solito.

#### 7.6. Prepararsi per l'adattamento del modello

In preparazione per l'adattamento del modello, Multi-Plot Main



dovrebbe essere l'icona sulla barra degli strumenti AIJ

selezionato. Al termine, vengono visualizzate le seguenti quattro schermate:

Principale multi-trama

Impostazioni stella di riferimento multi-plot Dati Y

multi-plot

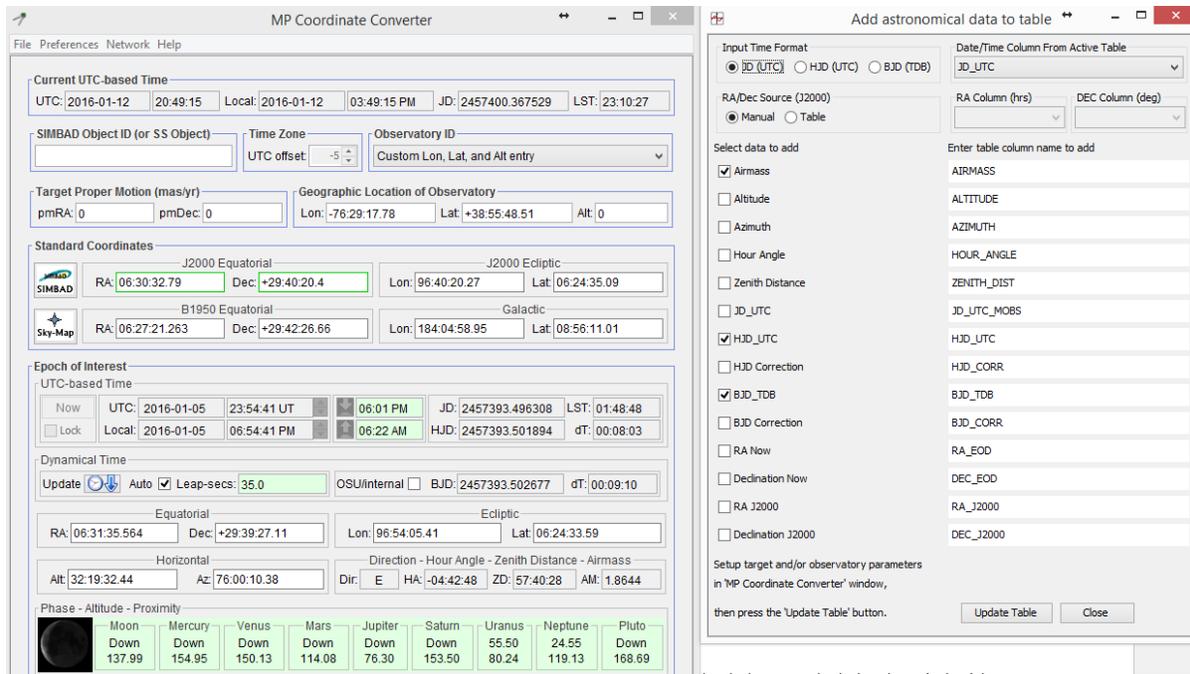
Impostazioni di adattamento del set di dati 2.

Un file AIJ con estensione .plotcfg contiene le informazioni utilizzate per creare queste schermate. Un file template.plotcfg con cui l'utente può iniziare può essere trovato in <http://astrodennis.com>. L'utente può aprire un file .plotcfg andando nell'angolo in alto a sinistra della schermata principale Multi-plot e selezionando "File-> Open plot configuration from file ...". Allo stesso modo, l'istanza corrente delle schermate sopra può essere memorizzata selezionando "File-> Salva configurazione del grafico ...".

Il primo passo è aggiornare i valori corretti nelle voci delle colonne AIRMASS, HJD\_UTC e BJD\_TDB nella tabella delle misurazioni se ciò non è stato fatto durante la fase di calibrazione (vedere la sezione

7.2 sopra). Ciò si ottiene come segue:

Dal menu principale Multi-plot, seleziona "Table-> Add new astronomical data columns to table". Vengono quindi visualizzate le due schermate seguenti: "Convertitore di coordinate MP" e "Aggiungi dati astronomici alla tabella" (vedere la Figura 15).



**Figura 15. Schermate per la correzione di AIRMASS e dei valori standard temporali**

Nella schermata del convertitore di coordinate MP, verificare che i valori siano corretti per la posizione geografica dell'osservatorio e le coordinate equatoriali J2000 per la stella di destinazione. Inoltre, seleziona Aggiorna e Auto nella sezione Tempo dinamico. Nella schermata "Aggiungi dati astronomici alla tabella", verificare che le caselle siano selezionate come mostrato nella schermata più a destra nella Figura 15, quindi selezionare Aggiorna tabella. Premi OK se il messaggio "Sovrascrivi dati esistenti?" appare la finestra di dialogo. Le colonne AIRMASS, HJD\_UTC e BJD\_TDB nella tabella delle misurazioni verranno quindi aggiornate.

#### 7.7. Eseguire l'adattamento del modello

Nella schermata principale del tracciato multipla, inserire le voci Titolo e Sottotitolo (vedere la Figura 16). Nella casella Adatta e normalizza selezione regione, vengono inserite le voci per le caselle Sinistra e Destra che rappresentano rispettivamente l'ora di inizio e di fine del transito previste. In alto a destra del Multi-

trama Schermata principale, l'icona della copia  viene quindi selezionato. Questo posiziona le entrate previste e Tempi di uscita previsti sui marcatori V. nei punti appropriati nella schermata Grafico delle misurazioni. I marcatori V. dovrebbero rimanere inalterati in seguito per mostrare quali erano le previsioni iniziali. Tuttavia, i marker Adatta e Normalizza dovrebbero essere successivamente posizionati sui punti di ingresso e uscita apparenti come mostrato nella schermata Grafico delle misurazioni (Figura 22). Inoltre, i campi Trim sinistro e Trim destro possono essere utilizzati per eliminare una certa quantità di dati di preincisione e post-uscita dal modello. Questo potrebbe essere fatto, ad esempio, se ci fosse sistematica all'inizio o alla fine della sessione di osservazione. I valori nelle caselle Meridian Flip, Fit e Normalize Region e V.Marker sono solo la parte decimale del tempo associato (ad esempio, 0,83508 verrebbe immesso se il tempo in questione fosse 2457395,83508). Se, tuttavia, l'ora di inizio è,

2457396.00175, la parte decimale iniziale dovrebbe essere 0,83508, ma la parte decimale finale dovrebbe essere 1,00175.

Quindi, sotto la casella Ridimensionamento asse X, seleziona il pulsante Intervallo X automatico e fai clic su



icona.

Le caselle X-min e X-max verranno automaticamente riempite con i valori X minimo e massimo (BJD\_TDB volte in questo esempio) che si trovano nella tabella delle misurazioni. Nota : affinché funzioni, almeno una riga nella schermata Multi-plot Y (vedi Figura 17) dovrebbe avere la sua casella di spunta selezionata nella colonna Plot. In alternativa, l'utente può fare clic sulla casella Intervallo X personalizzato e inserire diversi valori X-min e X-max. La casella Scala asse Y può essere utilizzata ora o successivamente per consentire di ridimensionare i vari grafici in modo che appaiano tutti nella schermata Grafico delle misurazioni (vedere la Figura

22). Le voci Plot Size vengono utilizzate per ridimensionare la schermata Plot of Measurements sul monitor del computer dell'utente.

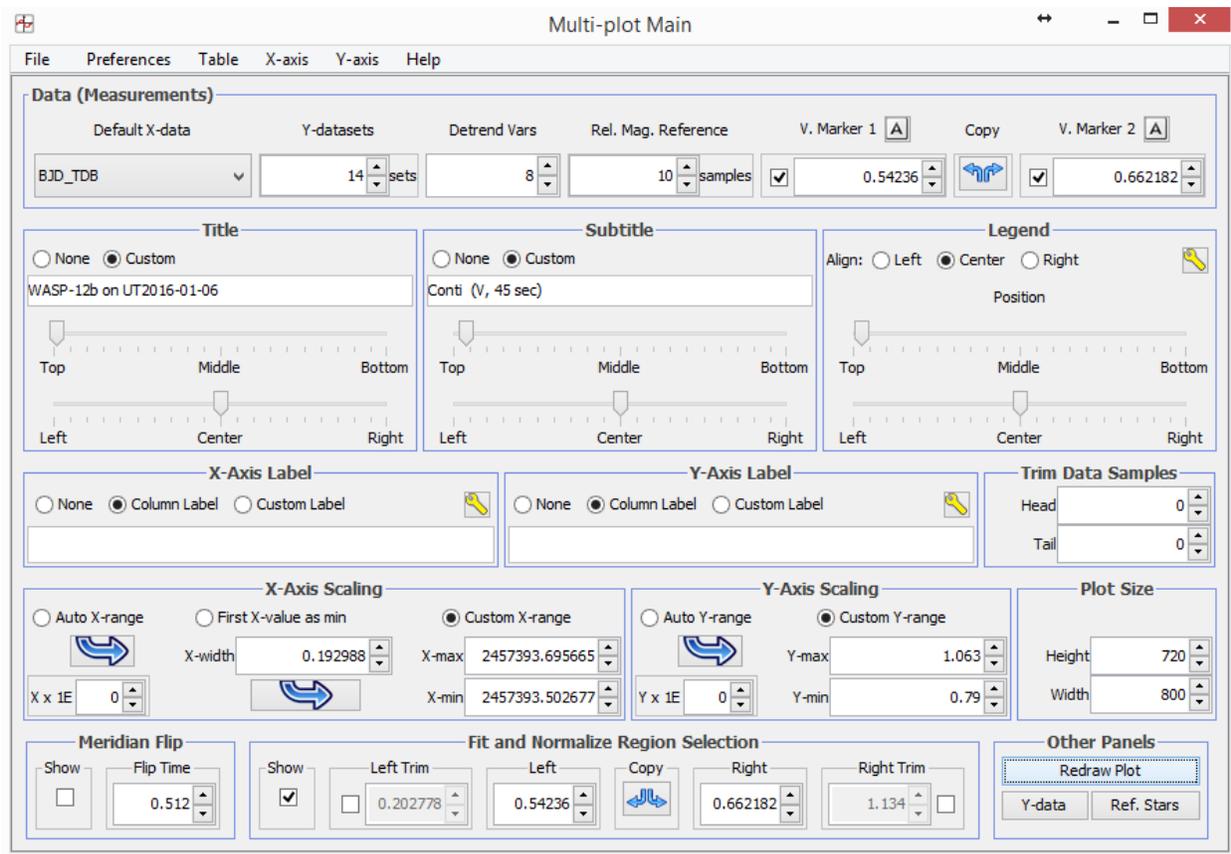


Figura 16. Schermata principale multi-plot

Se si è verificato un capovolgimento del meridiano o se si verifica un'interruzione nella sessione dell'immagine e le stelle si sono spostate in una parte diversa del rilevatore CCD, la casella Meridian Flip nella schermata principale del grafico multiplo viene utilizzata per inserire una linea al centro del divario in cui si è verificata questa discontinuità di dati. La casella Mostra deve essere selezionata e deve essere inserita una voce nella casella Tempo di rotazione in modo che la linea Meridian Flip sia posizionata nella schermata Plot of Measurements nel punto appropriato.

## 7.8. Grafico della curva di luce

Prima di poter ottenere un grafico visivo dei set di dati selezionati tramite la schermata Plot of Measurements (Figura 22), è necessario impostare la schermata Multi-plot Y Data (Figura 17). Questa è la schermata principale che determina dove e come vengono tracciati i diversi set di dati

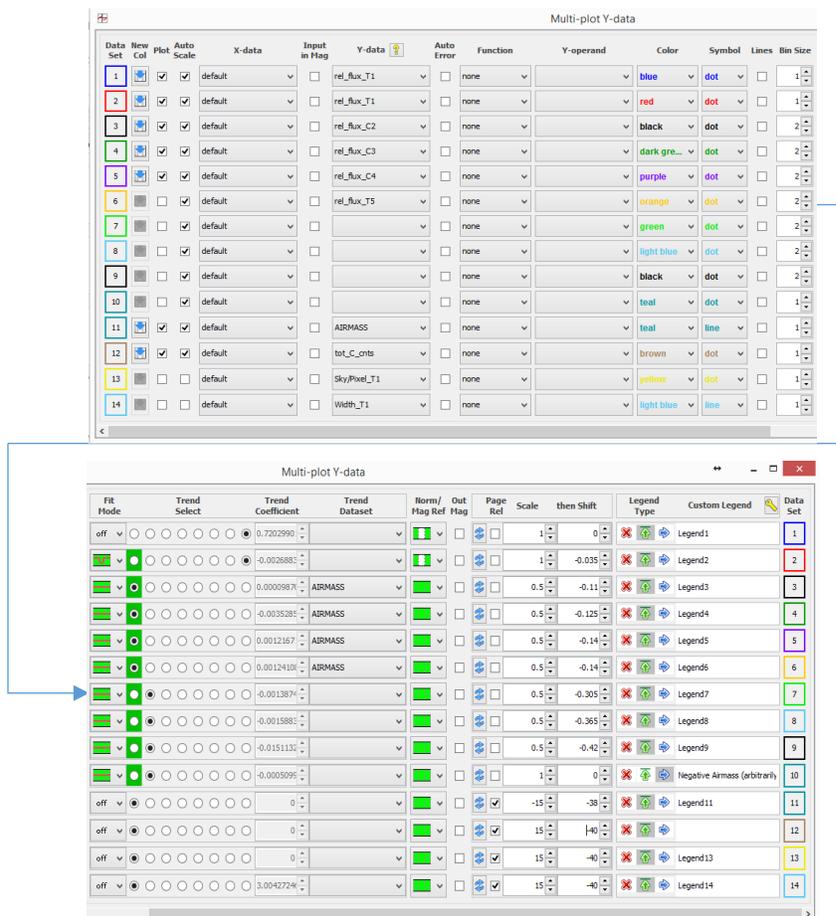


Figura 17. Schermata Dati Y multi-plot

Di seguito sono riportati i parametri chiave e le selezioni per la schermata Y multi-plot:

La colonna Plot viene utilizzata per selezionare se un particolare set di dati deve essere tracciato.

La colonna dei dati Y viene utilizzata per selezionare quali set di dati (ovvero quali colonne nella tabella delle misurazioni) sono associati a quale riga sullo schermo.

La colonna Dimensioni bin indica il numero di punti nel set di dati associato che vengono combinati (raggruppati) in un punto. Tipicamente, viene classificato solo il flusso relativo associato alle stelle comp (cioè, rel\_flux\_Ci). Si noti che la categorizzazione è solo a scopo di visualizzazione e non modifica i dati della tabella delle misurazioni sottostante.

La colonna Modalità di adattamento viene utilizzata per selezionare il tipo di adattamento da applicare al rispettivo set di dati, nonché l'intervallo di dati (indicato dall'area verde) che sarà incluso nell'adattamento. Pertanto, come mostrato nella Figura 22, i punti dati grezzi della variazione relativa del flusso di T1 vengono tracciati senza adattamento, mentre il secondo grafico è un adattamento di questi stessi dati utilizzando un modello di transito presunto. Infine, le variazioni di flusso relativo di tre stelle di composizione si adattano a un modello lineare (come si vedrà più avanti, una delle stelle di composizione originali, C5, è stata deselezionata dopo che si è scoperto che aveva errori residui significativi). La ragione per cui questi ultimi tre grafici sono lineari è perché si presume che non dovrebbero esserci cambiamenti relativi nella luminosità della stella composta durante la sessione di imaging,

La colonna Selezione tendenza ha due scopi. In primo luogo, riflette i parametri detrend che vengono applicati alla modalità di adattamento associata, che verranno selezionati nella schermata Impostazioni di adattamento del set di dati 2 (Figura 18). I parametri detrend attivi sono indicati in verde. In secondo luogo, la selezione di un particolare parametro di detrazione rifletterà il suo coefficiente di tendenza e il tipo associato di dati di detrazione (ad esempio AIRMASS).

La colonna Norm / Mag Ref indica l'intervallo di dati utilizzati per normalizzare il rispettivo set di dati. Nell'esempio in Figura 17, il flusso relativo di T1 è normalizzato in base ai dati fuori transito, ovvero i dati a sinistra dell'inizio del transito (punto di ingresso) ea destra della fine -transito (punto di uscita). Questi ultimi due punti sono impostati dai valori nelle caselle Adatta e Selezione regione normalizzata nella schermata principale del grafico multiplo (Figura 16).

Se selezionata, la colonna Page Rel indica che le colonne Scale e Shift devono essere interpretate come la percentuale dell'intervallo Y. Deselezionata significa che i valori di Scala e Spostamento sono numeri assoluti applicati all'intervallo Y. I valori di Scala e Spostamento, insieme ai valori Y-min e Y-max nella schermata principale Multi-plot, vengono utilizzati per posizionare correttamente i vari grafici nella schermata Plots of Measurements. Va notato che il set di dati grezzi che rappresenta il flusso relativo di T1 (vale a dire la prima riga nella Figura 17) dovrebbe sempre avere un valore di Scala = 1. Questo perché questi dati possono essere usati da altri programmi di adattamento globale e non dovrebbero essere scalati.

## 7.9. Schermata Raccordi set dati \_\_\_\_\_

La schermata Impostazioni adattamento set di dati 2 (Figura 18) si apre automaticamente ogni volta che è selezionato un adattamento di transito per un set di dati (in questo caso Set di dati 2) in Modalità adattamento nella schermata Dati Y multi-plot (Figura 17). Vengono effettuati i seguenti input dell'utente nella schermata Set di raccordi del set di dati 2 che influenzano la curva di luce risultante:

Periodo: immettere il periodo orbitale, se disponibile, da <http://exoplanets.org/> ; ad esempio, nel caso di WASP-12b, è 1.09142245 giorni.

Parametri stella ospite: immettere la voce del tipo spettrale (Sp.T) della stella ospite; questo è strettamente per stimare il raggio  $R^*$  della stella ospite, che a sua volta viene utilizzata semplicemente per calcolare il raggio dell'esopianeta. Se l'utente è a conoscenza di  $R^*$  (ad esempio, da <http://exoplanets.org/>), questo valore può essere inserito nel file  $R^*$  ( $R_{\text{sole}}$ ) scatola. In questo esempio per WASP-12,  $R^* = 1.630$ .

Quad LD U1 e Quad LD U2 - questi sono i coefficienti quadratici di oscuramento degli arti associati alla stella ospite e al particolare filtro utilizzato. Questi valori possono essere trovati utilizzando il calcolatore del coefficiente di oscuramento degli arti all'indirizzo <http://astroutils.astronomy.ohio-state.edu/exofast/limbdark.shtml>. Nell'esempio qui, i coefficienti utilizzati per WASP-12b sono rispettivamente 0,39056081 e 0,3026992. Notare che questi sono posti nella colonna Prior Center e bloccati.

Il valore AIRMASS Prior Center dovrebbe essere impostato su 0,0 nella maggior parte dei casi.



Figura 18. Schermata Impostazioni di adattamento del set di dati 2

I valori Y-min e Y-max sulla schermata principale del multi-plot possono essere regolati per visualizzare le parti desiderate della tabella delle misurazioni sul grafico, sebbene come accennato in precedenza, è meglio selezionare Auto-X-range sotto X-Axis Ridimensionamento nella schermata principale del grafico multiplo per visualizzare l'intero intervallo di valori X.

È possibile vedere come l'adattamento viene migliorato applicando un numero qualsiasi di parametri di detrazione. Il più comune è AIRMASS. È possibile selezionare anche altri parametri di tendenza. Se si è verificato un capovolgimento del meridiano o un'interruzione nella raccolta dei dati nel punto in cui le stelle si sono spostate sul rilevatore CCD, allora

È anche possibile selezionare Meridian\_Flip (si noti che, in tal caso, la selezione e il valore di Flip Time devono essere effettuati nella schermata principale Multi-plot). È anche possibile selezionare altri parametri di tendenza per vedere i loro effetti sull'adattamento del modello. Una buona regola pratica per stabilire se un parametro di detrazione è efficace è visualizzare il valore BIC (Bayesian Information Criterion). Se si riduce di oltre

2,0 quando viene selezionato un parametro di detrazione, è necessario selezionare quel parametro di detrazione. Se diminuisce di meno di 2,0 o aumenta, il parametro Detrend non è così rilevante. Vedere la Sezione 7.11 per una discussione più dettagliata sulla selezione dei parametri detrend.

Le impostazioni del grafico nella schermata Impostazione adattamento del set di dati 2 vengono utilizzate per definire se e come vengono visualizzati il modello di transito e i residui. Inoltre, un valore di Spostamento viene utilizzato per spostare il grafico dei residui in alto o in basso nella schermata Grafico delle misurazioni.

Infine, la schermata Multi-plot Reference Star Settings (Figura 19) viene utilizzata per deselegionare o selezionare le stelle di composizione che l'utente desidera includere nell'adattamento del modello. Ciò è utile se viene determinato dopo aver visualizzato il flusso relativo di una particolare stella composta nella schermata Plot of Measurements (Figura

22) che i suoi punti dati non seguono un adattamento lineare, ovvero un'indicazione che molto probabilmente è una stella variabile.

Nell'esempio qui, è stato determinato che la stella di confronto C5 aveva un gran numero di errori residui. Pertanto, è stato deselegionato dall'insieme delle stelle comp da utilizzare (vedere la Figura

20). Quando è avvenuta questa deselegione, l'identificativo della stella di confronto C5 è stato cambiato in T5 sia sullo schermo rappresentato nella Figura 20, sia sul display di immagini (vedere la Figura 21). La sua casella di selezione del grafico nella Figura 17 è stata quindi deselegionata in modo che il suo grafico non apparisse più nella Figura 22.

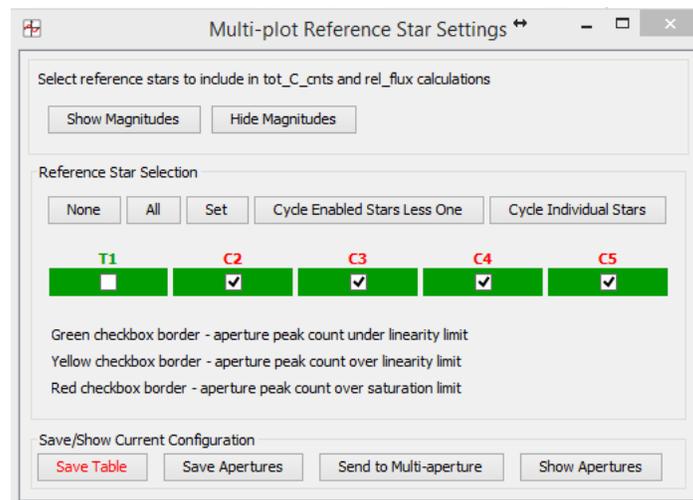


Figura 19. Schermata Impostazioni stella di riferimento multi-plot

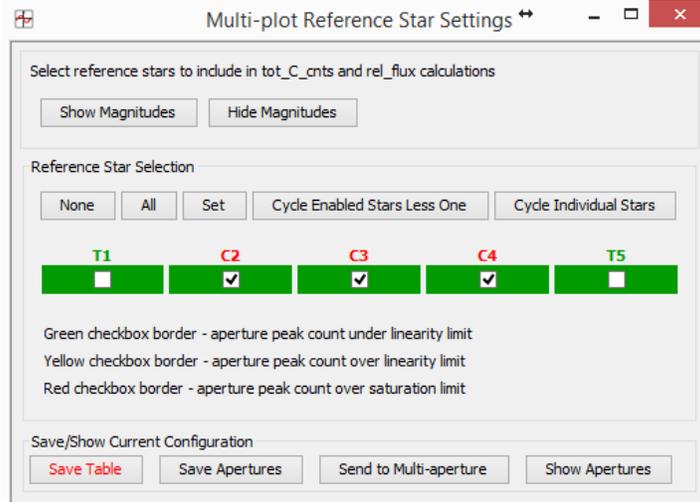


Figura 20. Schermata Impostazioni stella di riferimento multi-plot dopo che C5 è stato deselezionato

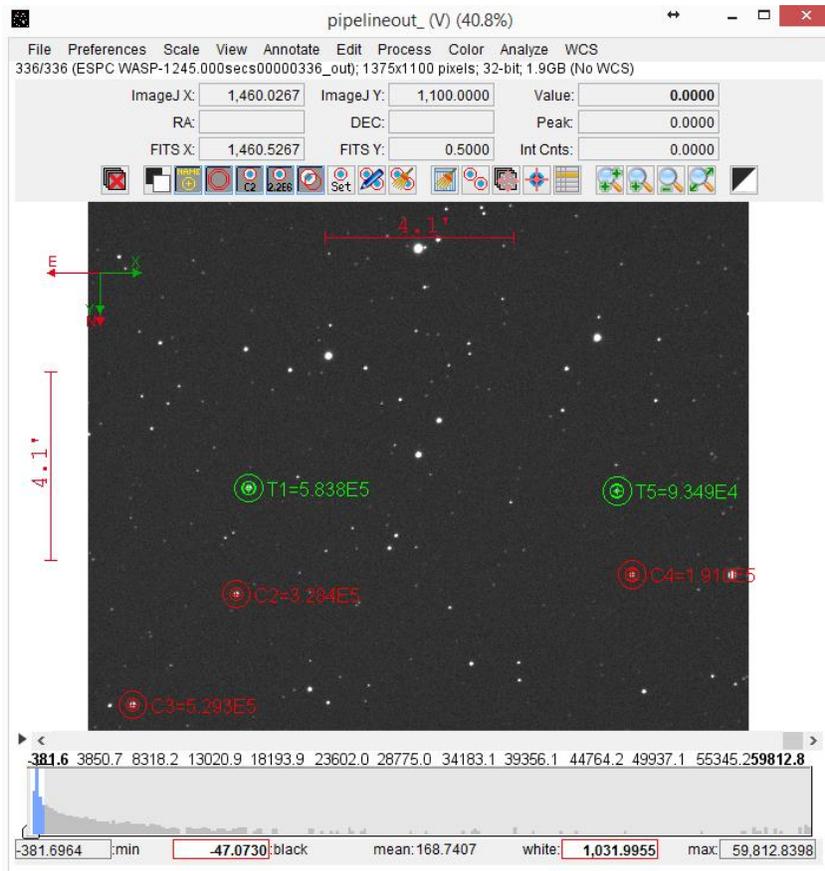


Figura 21. Visualizzazione delle immagini aggiornate che mostra C5 modificato in T5

Si noti che i dati di C5 ora non sono inclusi nell'adattamento del modello, ma i suoi dati sono ancora mantenuti nella tabella delle misurazioni.

Le impostazioni in Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 20 hanno prodotto la curva di luce e altri grafici mostrati nella Figura 22.

La Figura 23 è un esempio di adattamento di un esopianeta basato sui dati raccolti dall'astronomo dilettante Paul Benni per l'esopianeta Wasp-76b. Mostra come un parametro Meridian\_Flip detrend è stato utilizzato per prendersi cura di un offset nei punti dati causato dalle stelle target e comp che atterrano su una parte diversa del rivelatore CCD dopo che si è verificato il capovolgimento del meridiano.

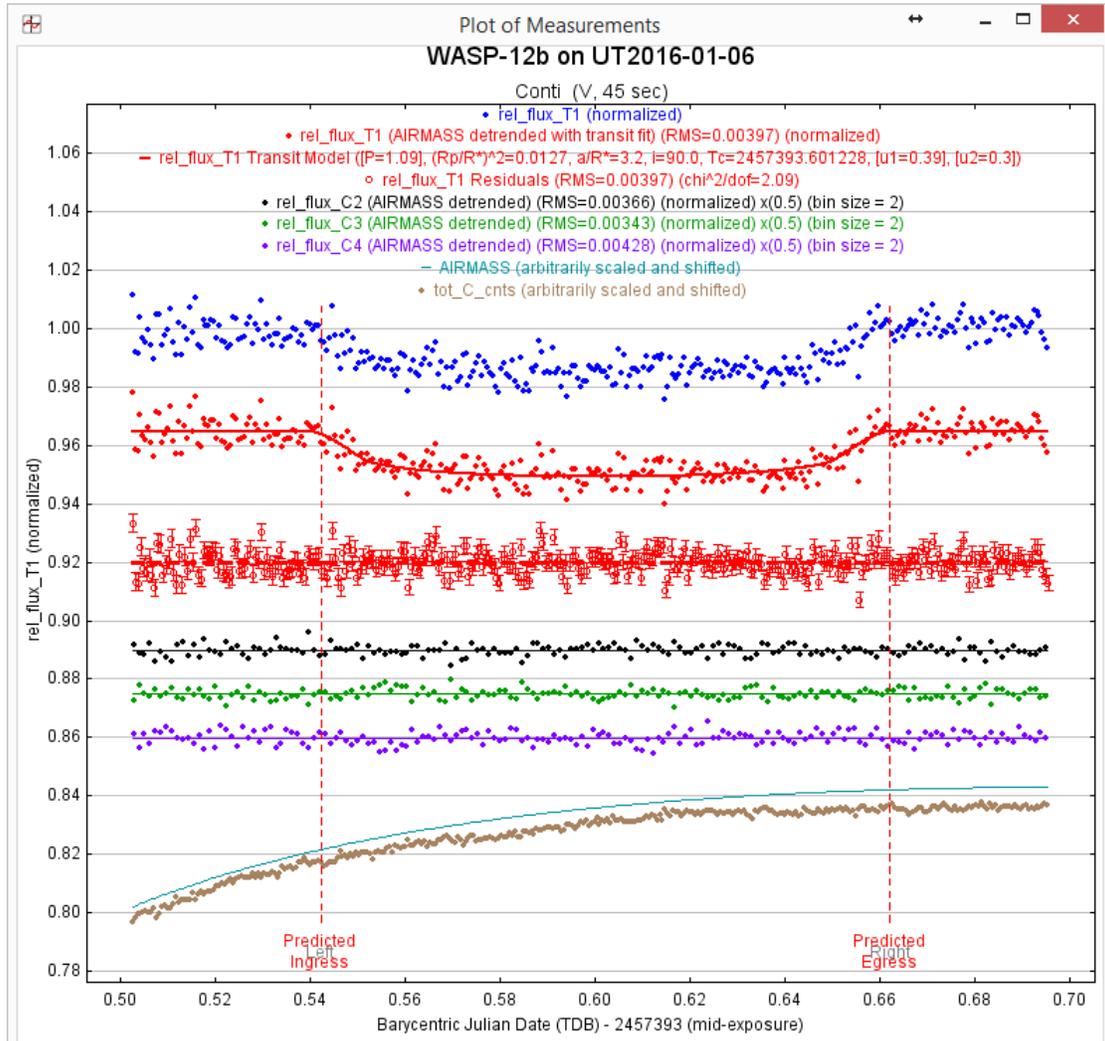


Figura 22. Schermata Grafico delle misurazioni

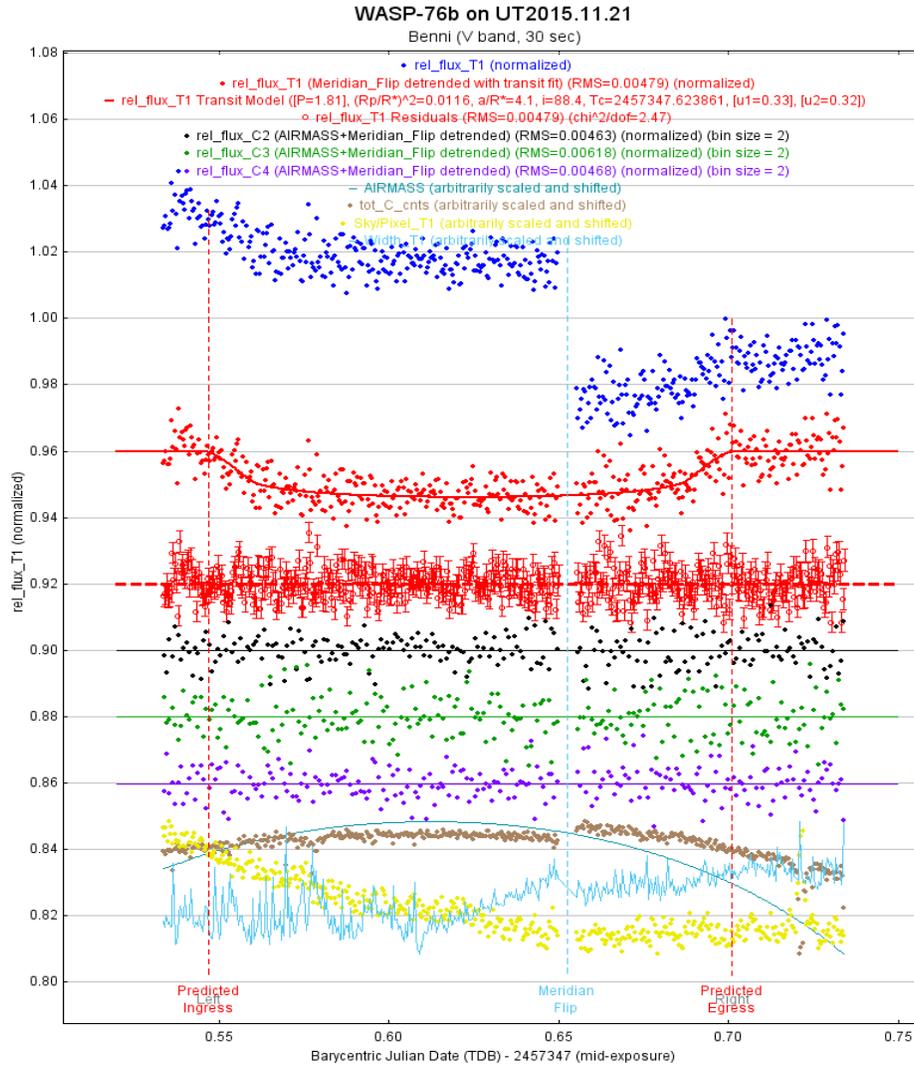


Figura 23. Esempio di utilizzo del parametro Meridian\_Flip Detrend

7.10. Salvataggio dei dati del modello

Poiché tutto l'adattamento e la detrazione del modello precedente non modifica la tabella delle misurazioni, si consiglia all'utente di salvare lo stato corrente di questi e di altri parametri di adattamento selezionando File-> Salva tutto o File => Salva tutto (con opzioni) nella in alto a sinistra della schermata principale Multi-plot.

7.11. Ottimizzazione dell'adattamento del modello

Con i vari input che l'osservatore di esopianeti può cambiare che potrebbero influenzare l'adattamento del modello a un dato insieme di dati, sorgono diverse domande:

1. Quali variabili di input dovrebbero essere modificate?
2. In quale ordine devono essere modificati?
3. Quando si ottiene il miglior adattamento del modello?

Per rispondere a queste domande, vengono fornite le seguenti linee guida. Questi sono intesi per ottimizzare solo i transiti completi, e non i transiti parziali, dopo un adattamento iniziale del modello:

1. Inizialmente seleziona AIRMASS come unico parametro dannoso. Se è stato eseguito un capovolgimento del meridiano, Meridian\_Flip deve essere mantenuto come parametro di detrazione durante i passaggi rimanenti di seguito.
  
2. Determinare gli effetti sulla RMS di varie stelle di confronto rimosse (come visto in precedenza, AIJ consente all'utente di "deselezionare" facilmente una stella di confronto, nel qual caso vengono rifatti tutti i calcoli associati a quella stella). Se il valore RMS diminuisce quando una particolare stella di confronto viene deselezionata, lasciarla fuori. A volte accade che il flusso relativo di tali stelle mostri anche una quantità di dispersione maggiore della stella bersaglio e delle altre stelle di confronto.
  
3. Con la selezione precedente di stelle di confronto e AIRMASS rimanenti come unico parametro di detrazione (con forse l'aggiunta di Meridian\_Flip), ripetere la fotometria differenziale e il modello si adatta con aperture e raggi anulari sempre più piccoli. Determina gli effetti su RMS per ogni nuova combinazione di raggi. Scegli la combinazione che produce il valore RMS più basso.
  
4. Ripetere il passaggio 2 su questa nuova serie di raggi per ottenere il miglior RMS. Oltre al valore RMS risultante, registra il valore BIC che va di pari passo con il miglior RMS.
  
5. Determinare gli effetti di diversi parametri dannosi. In primo luogo, rimuovere la detrazione AIRMASS e vedere se il BIC aumenta di 2 o più. Se lo fa, mantieni AIRMASS a detrimento; in caso contrario, non includere AIRMASS. Successivamente, aggiungi i seguenti parametri dannosi uno alla volta e osserva le modifiche nel valore BIC:

- un. Larghezza\_T1,
- b. Sky / Pixel\_T1,
- c. X (FITS) \_T1,
- d. Y (FITS) \_T1,
- e. tot\_C\_cnts,
- f. ora (ad esempio, BJD\_TDB),
- g. CCD-TEMP.

Di quei parametri detrend che determinano almeno una riduzione di due (2) nel valore BIC, scegliere i 3-4 parametri che causano la maggiore riduzione di questo valore.

Un modo per pensare ai parametri detrend e quali sono "legittimi" da utilizzare è chiedersi: quali fattori esterni, estranei al target stesso, possono influenzare il flusso relativo del target e il cui calcolo non è basato su fattori che influenzano anche il target misurazione del flusso relativo. Ad esempio, poiché il flusso relativo di, diciamo target T1, contiene Sorgente-

Sky come uno dei suoi elementi, quindi Source-Sky\_T1 non sarebbe ovviamente un parametro di detrazione appropriato per rel\_flux\_T1.

Inoltre, non si vorrebbe usare parametri detrend, come AIRMASS e tot\_C\_cnts, che sono essi stessi in qualche modo correlati (ad esempio, tot\_C\_cnts generalmente traccia più in alto con AIRMASS inferiore e inferiore con AIRMASS più alto).

6. Utilizzando il set di parametri detrend risultante, ripetere nuovamente il passaggio 2 per vedere gli effetti su RMS derivanti dalla rimozione di una o più stelle di confronto.

Va notato che il completamento di tutti i passaggi precedenti è facoltativo. Tuttavia, se i risultati dell'adattamento del modello vengono forniti a un team scientifico e questi passaggi non vengono condotti dall'osservatore, le immagini calibrate originali dell'osservatore potrebbero dover essere trasferite al team scientifico affinché possano condurre un'analisi più dettagliata.

## 7.12. Input a programmi esterni

Per alcune campagne di ricerca sugli esopianeti, all'osservatore degli esopianeti può essere chiesto di inviare determinati dati per l'utilizzo da parte di programmi esterni. L'esempio seguente mostra come creare un file per un programma di adattamento globale che richiede quanto segue per ciascun punto dati: il suo tempo BJD\_TDB, il flusso relativo normalizzato della stella target per quel punto dati, l'errore del flusso relativo normalizzato della stella di destinazione e valori per eventuali parametri detrend utilizzati nell'adattamento del modello AIJ.

La creazione di un file di questo tipo viene eseguita come segue:

Fare clic sulla freccia in basso New Col per il set di dati che rappresenta il flusso relativo normalizzato della stella bersaglio (nell'esempio utilizzato qui, questa sarebbe la prima freccia in basso New Col nella Figura 17). Viene quindi visualizzata una schermata a comparsa e le voci verranno inserite come mostrato nella Figura 24.

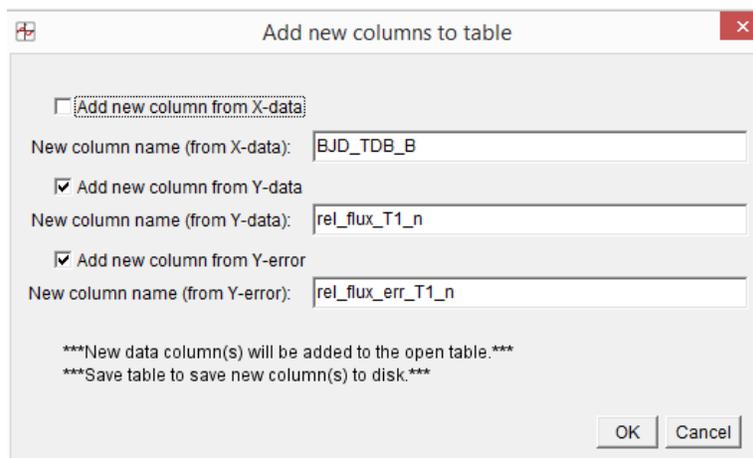
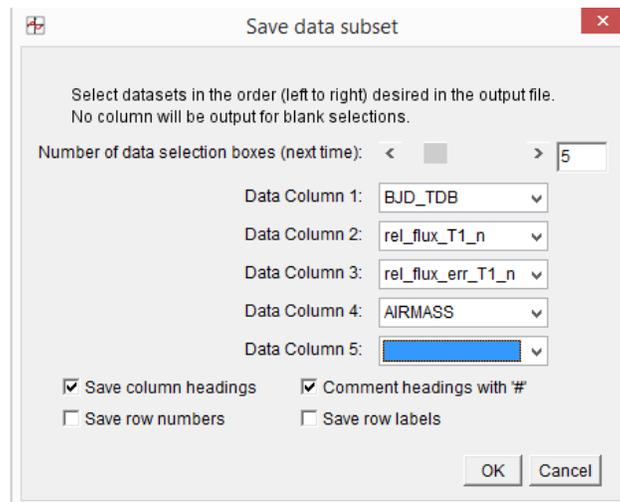


Figura 24. Schermata per aggiungere nuove colonne alla tabella delle misurazioni

Quando si seleziona OK, vengono aggiunte tre nuove colonne alla tabella delle misurazioni. Queste colonne aggiungono per ciascuna immagine il flusso relativo normalizzato della stella bersaglio e l'errore del flusso relativo normalizzato della stella bersaglio, oltre al tempo BJD\_TDB di nuovo.

Infine, per generare un file contenente queste informazioni per un programma di adattamento globale esterno, la selezione "File->Salva sottoinsieme di dati su file ..." viene effettuata dalla schermata principale Multi-plot. Viene quindi visualizzata la schermata Salva sottoinsieme di dati (Figura 25) e le immissioni vengono effettuate come mostrato. In questo caso, vengono selezionati il valore BJD\_TDB, il flusso relativo normalizzato della stella bersaglio, l'errore del flusso relativo normalizzato della stella bersaglio e i valori AIRMASS. AIRMASS è incluso perché è il parametro detrend utilizzato nell'adattamento del modello AIJ.



**Figura 25. Schermata Salva sottoinsieme di dati**

Quando si seleziona OK, viene creato un file separato che contiene questi valori. Nota: i valori per Bin Size, Scale e Shift nella schermata Multi-plot Y (vedere Figura 17) influenzano il calcolo del flusso relativo per T1 in questo esempio. Se uno qualsiasi di questi valori è stato modificato, ripristinalo su Bin Size = 1, Scale = 1 e Shift = 0 prima di fare clic sulla freccia giù New Col nell'esempio precedente, a meno che tali modifiche non siano intenzionali (ad esempio, se lo desideri per bin punti dati).

## 8. Riepilogo

Come affermato nell'introduzione, questa guida era intesa come un approccio pratico e graduale alla calibrazione delle immagini, alla fotometria differenziale, al tracciamento della curva di luce e alla modellazione del transito di esopianeti utilizzando AIJ. Gli utenti sono incoraggiati a contattare l'autore al seguente indirizzo e-mail per eventuali modifiche suggerite ad aree che non sono chiare e potrebbero utilizzare ulteriori spiegazioni: [dennis@astrodennis.com](mailto:dennis@astrodennis.com).

## RICONOSCIMENTI

L'autrice desidera offrire un ringraziamento speciale all'autrice di AIJ, la dott.ssa Karen A. Collins, per i suoi suggerimenti e commenti nella preparazione della versione iniziale di questa Guida e per il suo continuo supporto.

## RIFERIMENTI

AAVSO: <http://www.aavso.org/apps/vsp/> (2017)

Baudat, G., " *Guida e messa a fuoco full frame*, "Atti del NEAIC 2017, aprile 2017

Conti, D., " *Hubble Exoplanet Pro / Am Collaboration*, "Atti dell'Assemblea annuale dell'AAVSO 2015, novembre 2015.

di Cicco, D., " *L'ONAG di Innovation Foresights*, "Sky & Telescope, dicembre 2012.

Motta, M., " *I dilettanti seguono un esopianeta che si sta disintegrando*, "Sky & Telescope, aprile 2017.

NASA: <https://jwst.nasa.gov/> (2017).

NASA: TESS Science Writer's Guide (2018).

Pepper, J., et al. " *Il Kilodegree Extremely Little Telescope (KELT): un piccolo telescopio robotico per indagini sinottiche su grandi aree*, "(2007), arXiv: 0704.0460v2.

Ricker, G., et al. " *Satellite Survey Exoplanet in transit*, "(2015), Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems 1 (1).

**Appendice A:**  
**Foglio di lavoro per l'osservazione**

		Pianeta extrasolare: WASP-12b	
		Osservatore: Dennis Conti	
Articolo	Informazioni su host star / esopianeta:	<a href="#">(clicca qui)</a>	
1	RA:	06: 30: 32.79	
2	Dicembre:	29: 40: 20.4	
3	Periodo (giorni):	1.0914	
4	R*:	1.63	
5	T eff.:	6300	
6	Vmag:	11.7	
Intervallo suggerito di stelle comp: da 11,26 a 12,45 mag <a href="#">Link al documento di riferimento</a>			
7	(opzionale): <a href="https://arxiv.org/abs/1512.00464">https://arxiv.org/abs/1512.00464</a>		
8	Data di osservazione (UT):	5-6 / 01/2016	
		<b>BJD_TDB</b>	
9	Ingresso previsto:	2457393.53948	
10	Uscita prevista:	2457393.66431	
	Punto medio previsto:	2457393.60190	
11	Modello fit punto medio (T <sub>c</sub> ) in BJD_TDB:	2457393.60123	
		Differenza approssimativa:	1.0 minuti
Posizione di osservazione:			
12	Latitudine:	38: 55: 48,51 N	
13	Longitudine:	76: 29: 17,78 W.	
14	Altitudine (m):	0	
15	Apertura (mm):	280	
16	Lunghezza focale (mm):	3010	
17	Marca / modello della telecamera CCD: Guadagno	SX694M	
18	(e- / ADU):	0.3	
19	Rumore di lettura (e-):	5.0	
20	Corrente oscura (e- / pixel / sec):	0.003	
21	Punto in cui il CCD diventa non lineare (ADU):	45.000	
		<u>X</u>	<u>Y</u>
22	Numero di pixel (non abbinati):	2750	2200
23	Dimensione pixel (micron -unbinned): Binning	4.54	4.54
24	utilizzato per questa osservazione:	2	2
25	Tempo di esposizione (sec):	45	
26	Filtro utilizzato:	V	
Coefficienti di oscuramento degli arti: <a href="#">(clicca qui)</a>			
27	LD quadratico u1:	0.39056081	
28	LD quadratico u2:	0.3026992	
	Scala immagine (arcsec / pixel):	0.62	0.62
	FOV (arcmin):	14.26	11.41
29	FWHM (secondi d'arco):	2.68	
	FWHM (pixel):	4	
Impostazioni iniziali:			
30	FWHM pixel multipli ier: Raggio di apertura:	3	
		13	
31	Raggio dell'anello interno:	14	
	Raggio dell'anello esterno:	29	
Impostazioni finali:			
32	Raggio di apertura:	13	
33	Raggio dell'anello interno:	14	
34	Raggio dell'anello esterno:	29	
# di immagini scientifiche:			
35	# Originale:	336	Finale #: 336
36	Immagini non utilizzate:		