

Il progetto O.M.B.R.A. (OMB – Remote Astronomy)

Proposta per un laboratorio didattico di Astronomia

Flavio Castellani^{1,2}, Francesco de Sabata^{1,2,3}, Anna Bellamoli^{2,3}, Raffaele Belligoli^{1,2}



¹ O.M.B., Osservatorio astronomico del Monte Baldo, loc. Novezzina (Ferrara M. Baldo)

² C.A.V., Circolo Astrofili Veronesi

³ Liceo Scientifico Statale "Galileo Galilei", Verona



Abstract

Viene presentato O.M.B.R.A., un progetto di ricerca astrofisica svolto presso l'Osservatorio del Monte Baldo (OMB) in collegamento remoto via web, illustrando i risultati della prima realizzazione (una misura astrometrica di distanze stellari) e discutendone l'estensione e le ricadute in ambito didattico.

Lo scopo di questo progetto è di coinvolgere gruppi di studenti delle scuole superiori nei programmi di ricerca svolti presso l'Osservatorio astronomico del Baldo (OMB nel seguito), fornendo loro un approccio "hands on" all'astronomia e sviluppando le competenze ad esso relative.

L'idea di avviare un nuovo tipo di collaborazione con le scuole è nata l'estate scorsa da un incontro con alcuni docenti delle superiori, tenutosi in OMB per divulgarne e valorizzarne le attività e le possibilità in ambito didattico, in particolare gli stage estivi di formazione per studenti.

La riflessione sviluppata con i docenti sui limiti temporali e oggettivi della ricerca astronomica diretta, difficilmente conciliabile con i tempi e i luoghi delle attività scolastiche, ha portato la nostra attenzione sulla modalità di lavoro "in remoto", già efficacemente sfruttata dagli operatori grazie all'automatizzazione dell'OMB.

In particolare, l'attuale programmazione su schedula delle osservazioni di ricerca, che possono essere svolte anche in assenza di un operatore sul posto, permette di ottimizzare l'impiego degli strumenti, limitando nel contempo il lavoro notturno del personale e lasciando ad un momento successivo l'analisi dei dati acquisiti e la produzione dei risultati scientifici.

La modalità di acquisizione in remoto, già in atto per la ricerca di Supernovae e per lo studio di sorgenti variabili, è facilmente estensibile a tutte le ricerche sviluppate in OMB, sia astrometriche (misure di posizione di corpi celesti), che fotometriche (misure di luminosità in banda UBVRI), che spettroscopiche (produzione e studi di spettri a bassa dispersione).

Essa risulta quindi adatta a sviluppare la collaborazione con le scuole su diversi temi che possono essere inseriti nella programmazione delle singole materie scolastiche e approfonditi nei tempi e modi più opportuni.

Per verificare la fattibilità del progetto, valutandone in dettaglio tempi, modalità, risultati scientifici e ricadute didattiche, è stato scelto come tema di indagine pilota la misura fotometrica di alcune stelle, tra le quali alcune possibili variabili del tipo RR LYR.

Vengono qui di seguito riassunti a grandi linee il senso, le modalità e i risultati di tale indagine pilota, anticipando che la fattibilità del progetto O.M.B.R.A., le aspettative e le richieste iniziali sono state pienamente soddisfatte dalla realizzazione di questo studio.

Misure fotometriche per identificare possibili stelle variabili di tipo RR LYR: una proposta di lavoro per il laboratorio didattico di Astronomia in remoto

Premessa:

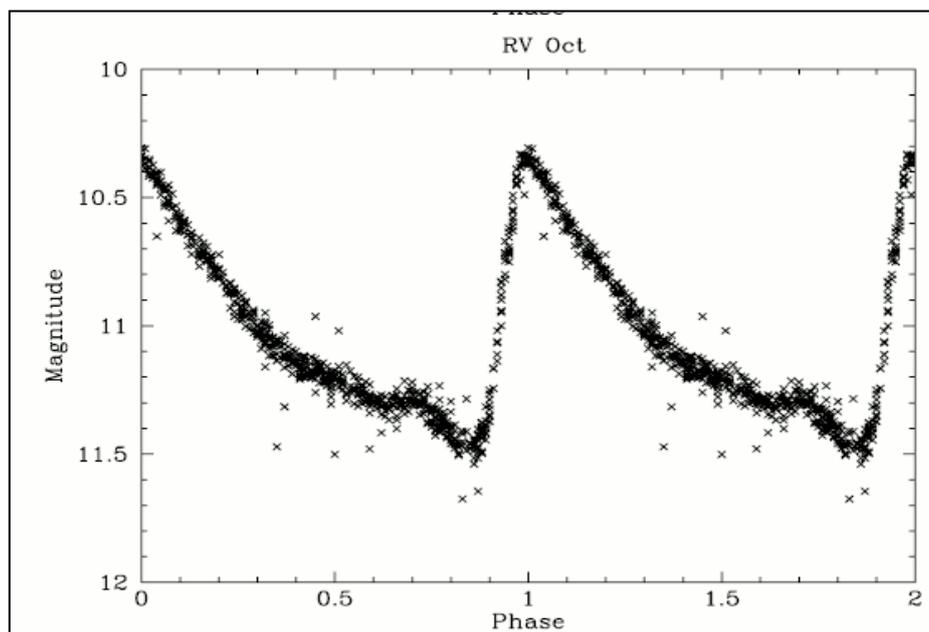
Le variabili RR LYR appartengono alla categoria delle stelle pulsanti o variabili intrinseche¹, con periodo di variabilità luminosa compresa tra qualche ora e poco più di un giorno. In seguito alla pulsazione radiale, cambia anche la temperatura superficiale della stella, e si modificano di conseguenza la luminosità, il colore e lo spettro.

Le variabili RR LYR si trovano spesso associate agli ammassi globulari: la loro importanza scientifica è legata al fatto che, come per le altre variabili Cefeidi, la loro relazione caratteristica tra periodo e luminosità permette di determinarne con precisione la distanza con misure del periodo di variabilità.

Si conoscono attualmente tre sottoclassi di variabili RR LYR con caratteristiche diverse, precisamente:

- RRAB, (le più abbondanti) con andamento tipico della curva di luce a “dente di sega” (si veda ad esempio il grafico in figura, relativo alla variabile RV Oct), periodi più lunghi e maggiori ampiezze nella variazione di magnitudine;
- RRC, con periodi più brevi, ampiezze minori, curve di luce più sinusoidali e variazioni ridotte all'interno della sinusoide;
- RRD, (rare) con due tipi distinti di pulsazione.

Per un impiego corretto dei dati raccolti su stelle di tipo RR LYR è quindi necessario stabilire prima di tutto la classe di appartenenza delle variabili in esame.



Curva di luce della variabile RV Oct¹, una RR LYR di tipo AB (RRAB)

Questa misura risulta non solo didatticamente istruttiva, ma è anche inserita in una vera attività di ricerca in corso, tesa ad identificare proprio le variabili di un certo ammasso. L'importanza di questa indagine è legata infatti alla scoperta di un particolare gruppo di stelle di provenienza extragalattica, detta Aquarius Stream^{2,3}, che attraversa il piano galattico in direzione prospettica della costellazione dell'Acquario.

¹ Rosino L., *Le stelle variabili*, (TCB 1979 Bologna)

² Wylie-de Boer E. et al., *Tracing the Origin of the Aquarius Stream. I*, *ApJ* 755 (2012), Issue 1, article id. 35

³ Williams M.E.K. et al., *The dawn of the Stream of Aquarius in RAVE*, *ApJ* 728 (2011) 102, doi:10.1088/0004-637X/728/2/102

Si ipotizza che queste stelle provengano da un ammasso globulare che attraversa ciclicamente il disco galattico, lasciando dietro di sé un arco di stelle allungato forse anche per decine di migliaia di anni luce. Le informazioni sull'Aquarius Stream potrebbero essere molto più precise se la distanza di qualche stella componente fosse misurata con cura. Tale misura è, in generale, complessa e non molto precisa, a meno di riuscire a lavorare proprio su stelle variabili di tipo RR LYR: da qui deriva la scelta in particolare di tale gruppo di stelle per la misura fotometrica.

Realizzazione:

Per l'occasione, l'apparato di misura dell'Osservatorio (un telescopio Ritchey-Chrétien da 400 mm accoppiato a un CCD e dotato di hardware e software per il puntamento e la registrazione di immagini su computer) è stato integrato da un ulteriore PC, dedicato specificamente al collegamento remoto tra studenti e OMB via web e al funzionamento degli opportuni software per la riduzione e l'analisi dei dati.

È stato anche predisposto da parte degli operatori OMB un manuale che illustra i principi della fotometria e le tecniche di riduzione dei dati fotometrici, poi distribuito tra i partecipanti allo stage 2012 proponendo loro di verificare l'operatività del sistema. Tre di loro si sono dichiarati disponibili ad eseguire la prova, nonostante la coincidenza con un periodo di lavoro scolastico piuttosto intenso. È stato quindi organizzato un incontro presso il Liceo "G. Galilei" di Verona per ripassare le tecniche di riduzione dati e sperimentare l'accesso al PC remoto.

Nel periodo compreso tra il 21 ottobre e il 10 dicembre 2012 sono stati realizzati 12 "search run" osservativi in diversi campi dell'Acquario con possibili variabili RR LYR, riprendendo tali aree nelle bande fotometriche B e V dei filtri standard Johnson per un totale di oltre 40 serie di misure in più bande e vari tempi di posa. Le osservazioni sono state programmate su schedula per registrare in sequenza le aree in esame; nelle serate in cui il disturbo dovuto alla luce lunare risultava eccessivo, i campi più vicini alla Luna sono stati esclusi dalla presa dati.

Le stelle oggetto della ricerca sono state scelte dal prof. U. Munari, (Università di Padova e INAF, Osservatorio di Asiago) tra quelle incluse nell'ultimo catalogo APASS⁴ (2012) in base a qualche indicazione di possibile variabilità: i dati identificativi sono riportati nella seguente tabella.

| Star name | RA° | DEC° | B | V | Assigned name |
|----------------|-------------|----------|-------|-------|---------------|
| GSC 5809-10002 | 333.4837554 | -14.7812 | 14.48 | 14.13 | GSC_5809 |
| GSC 5817-624 | 338.7924229 | -14.6367 | | 14.80 | GSC_5817 |
| GSC 5822-1161 | 352.3059358 | -8.8111 | | 14.00 | GSC_5822 |
| TYC 5822-877-1 | 352.2586551 | -8.96042 | 12.20 | 11.45 | TYC_5822 |
| TYC 5825-568-1 | 352.2853855 | -11.6465 | 11.73 | 11.53 | TYC_5825 |

Non essendo mai state studiate prima, queste stelle non sono incluse in campi fotometrici già tarati; i parametri relativi alle le stelle di calibrazione sono stati quindi ricavati dai cataloghi APASS⁴ e Tycho⁵.

In particolare, le stelle GSC_5809 e GSC_5817 si trovano all'interno di zone appena pubblicate della survey APASS: ciò ha permesso di costruire per esse due campi ricchi di stelle di riferimento fotometricamente ben definite. Per entrambi questi campi si sono utilizzate 21 stelle APASS nelle bande B e V di Johnson, sfruttando il fatto che in queste bande i filtri Sloan della survey APASS utilizzano la stessa finestra fotometrica.

Le tre stelle TYC_5825, TYC_5822 e GSC_5822 (le ultime due presenti nel medesimo campo) invece, si trovano in aree non ancora pubblicate della survey APASS. In questo caso, le stelle di riferimento impiegate per l'analisi fotometrica provengono dal Catalogo Tycho⁵ (1997), sono molte meno di quelle APASS e non

⁴ Henden, A. A., Welch, D. L., Terrell, D., Levine, S. E. 2009, *The AAVSO Photometric All-Sky Survey*, AAS 214, 0702. Per consultazione: <http://www.aavso.org/apass> data release 6 (2012, June 8th)

⁵ ESA, 1997, *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, ESA SP-1200, per consultazione vedi <http://archive.ast.cam.ac.uk/hipp/>

sono calibrate con i filtri Johnson in dotazione a OMB. Anche così, l'analisi fotometrica di queste tre stelle potrebbe comunque evidenziare un'eventuale variabilità, ma il calcolo del periodo e la determinazione dell'indice di colore risulterebbero piuttosto imprecisi.

Già durante la presa dati, una verifica preliminare ha evidenziato la variabilità fotometrica delle stelle GSC_5809 e GSC_5817, lasciando invece dubbi sulle altre tre, mentre l'avanzare della stagione riduceva i tempi disponibili per l'osservazione dei campi interessati. Per tutti i suddetti motivi, nelle ultime notti disponibili si è deciso di concentrare le osservazioni sulle due prime stelle.

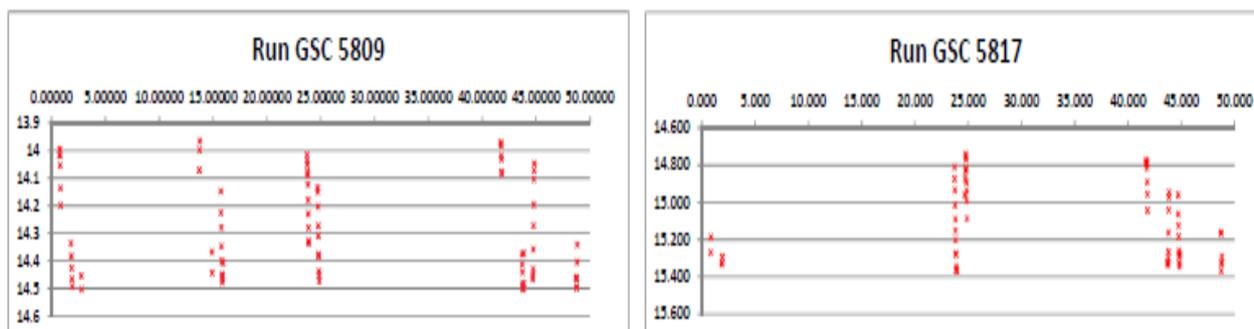


Figura 2: grafici di luminosità (in banda B) delle sorgenti GSC_5809 e GSC_5817 dal 23.10 al 10.12.2012

Riduzione e analisi dei dati sperimentali:

I dati acquisiti sono stati ridotti e analizzati usando il software dedicato *AnsPhotometry*©, sviluppato specificamente per questo tipo di studi dal dr. A. Frigo dell'Asiago Nova and Symbiotic Collaboration.

In estrema sintesi, *AnsPhotometry*© effettua una misura di flusso fotometrico della stella in esame per confronto con le stelle campione indicate dall'osservatore nello stesso campo visuale (per gli approfondimenti, si rimanda al sito dell'ANS <http://www.ans-collaboration.org/ansphotometry/>).

Con un'elaborazione successiva, è possibile convertire la luminosità relativa della sorgente in misura della distanza.

La riduzione dei dati è stata svolta in collegamento remoto dagli studenti (in massima parte da A. Bellamoli) durante l'interruzione natalizia della frequenza scolastica, con un totale di 184 misure per un impegno corrispondente a 18 ore di lavoro.

Contestualmente è iniziato anche il lavoro di ricerca per identificare eventuali variazioni periodiche nella luminosità delle sorgenti. Mentre è stato confermato che le stelle GSC_5822 TYC_5822 e TYC_5825 non mostrano variazioni apprezzabili su tempi minori o uguali a un giorno, le due stelle GSC_5809 e GSC_5817 hanno mostrato segni chiari indizi di variabilità, come risulta evidente dai grafici in figura 2, dove in ordinata è riportata la magnitudine assoluta della sorgente calcolata nelle diverse sessioni (in ascissa, i tempi corrispondenti).

L'analisi per confronto e sovrapposizione dei valori ottenuti in tempi/run successivi ha permesso di identificare con precisione il periodo di variabilità delle due sorgenti, che per GSC_5809 è risultato essere pari a $T=0.45035$ giorni, mentre per GSC_5817 è più breve, $T=0.3609$ giorni. I dati raccolti in tempi diversi sono stati quindi coordinati per ricostruire le curve di luce specifiche delle due stelle, come quella rappresentata in figura 3 per la GSC_5809.

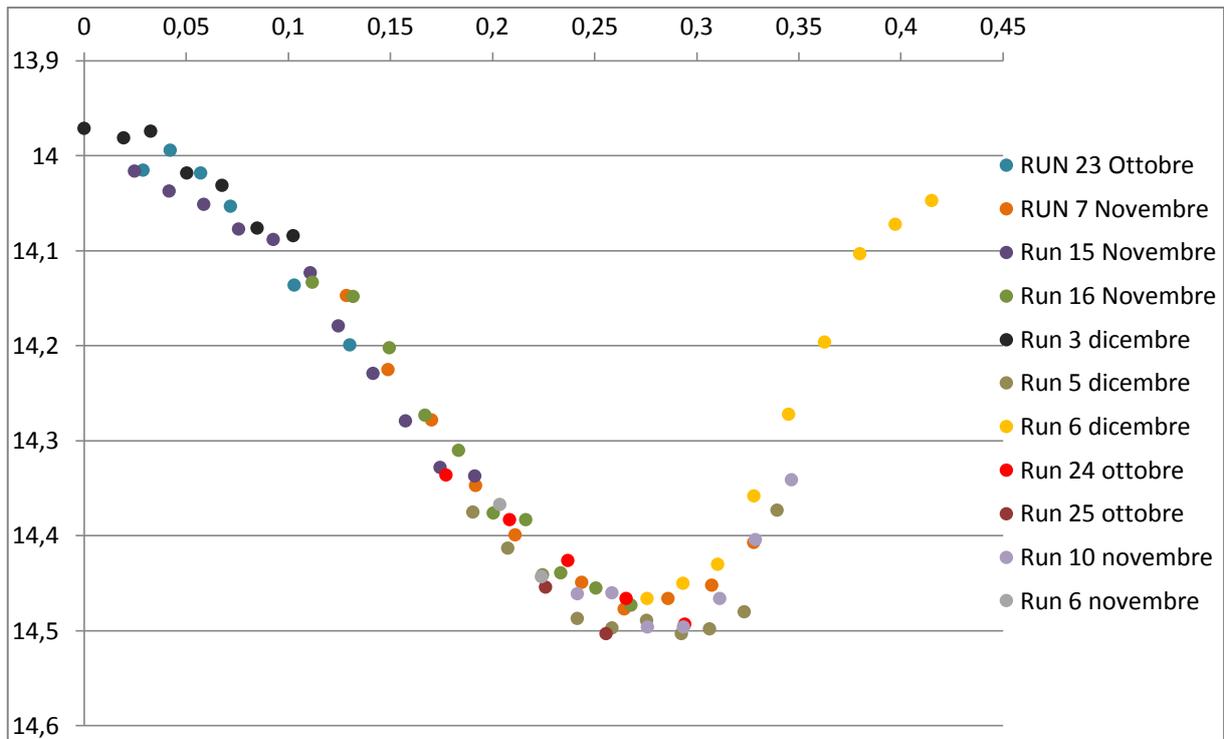


Figura 3: la curva di luce di GSC_5809 ricostruita con i dati presi dal 23.10.2012 al 10.12.2012

Lo studio successivo ha permesso di identificare i momenti di massimo e di minimo, stabilire l'epoca del massimo (JD 2456224.22598) e l'ampiezza della variazione nelle varie bande, che per GSC_5809 è risultata pari a $B=0.49$ e $V=0.39$, e la variazione sulla fase dell'indice di colore $B-V$: $0.17 - 0.32$ (vedi figure 4.a e 4.b).

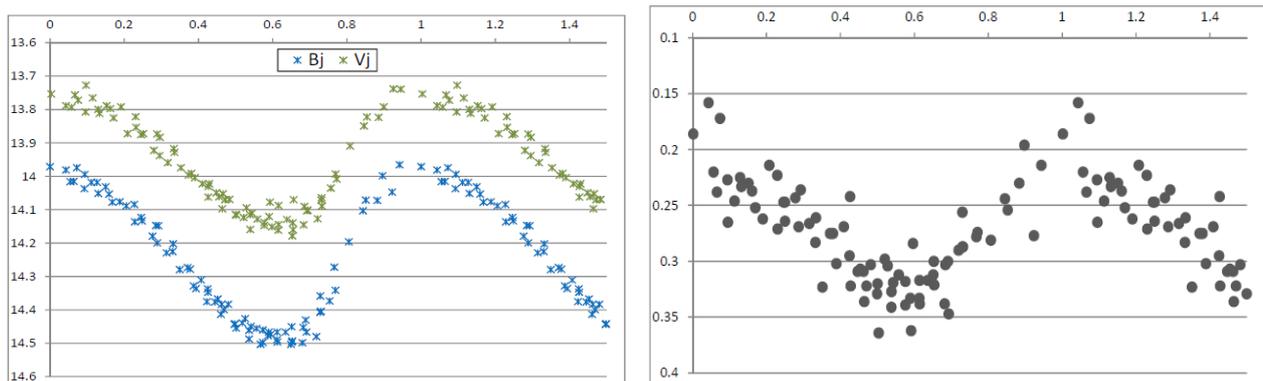


Figura 4: (a) Grafico di fase e (b) variazione sulla fase dell'indice di colore $B-V$ di GSC_5809

L'entità della variazione e la forma della curva rendono evidente l'appartenenza della GSC_5809 alla sottoclasse RRC delle variabili RR LYR.

Con lo stesso procedimento sono stati ottenuti per la GSC_5817 i seguenti risultati: Periodo: 0.3609 giorni, massimo di luminosità all'epoca: JD 2456224.07267, variazione nel B: 0.56, variazione nel V: 0.43, variazione indice di colore BV : $0.19-0.34$. Anche la curva di luce di GSC_5817 è quella tipica di una RRC, come evidenziato dai profili di variabilità in figura 5.

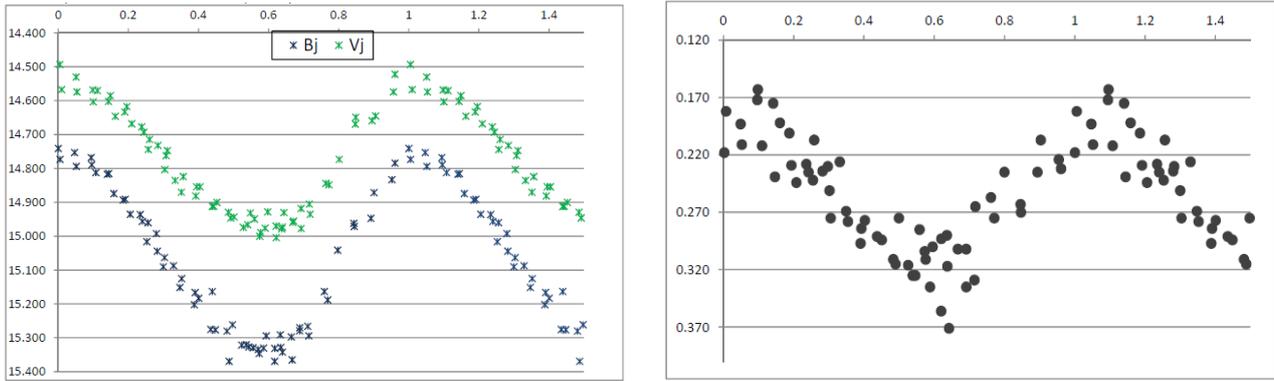


Figura 5: (a) Grafico di fase GSC_5817 e (b) variazione dell'Indice di colore B-V di GSC_5817

Calcolo della distanza:

Nel calcolo della distanza delle variabili di tipo RR LYR bisogna considerare alcune correzioni teoriche alla relazione periodo/luminosità che coinvolgono l'indice di colore e sono legate alla metallicità delle sorgenti; la giustificazione teorica e il calcolo di tali correzioni vanno però oltre gli scopi di questo lavoro.

Per calcolare la distanza delle sorgenti GSC_5809 e GSC_5817 in ambito didattico si è scelto di applicare la formula di Pogson: $M - m = -5 \cdot \log_{10}(d/10\text{pc})$, in cui M rappresenta la magnitudine assoluta e m la magnitudine apparente della sorgente, mentre d è la distanza espressa in parsec ($1\text{pc}=3,2615$ anni luce).

Nota la magnitudine assoluta M della stella, da una misura di quella relativa m si ottiene la distanza d come:

$$(1) d = 3,2615 * 10 * 10^{(m-M)/5} \text{ ly (anni luce)}$$

Assumendo per la magnitudine assoluta media il valore $M=+0.6$ riportato in letteratura⁶ per le RR LYR di breve periodo e inserendo nella formula (1) i rispettivi valori medi delle magnitudini relative misurati nel V per le due stelle, che risultano pari a $m_V = 13.95$ per GSC_5809 e $m_V = 14.74$ per GSC_5817, si ottengono come prima indicazione per le distanze i valori $d_{\text{GSC}_5809} = 15255$ ($\sim 15 \cdot 10^3$) ly e $d_{\text{GSC}_5817} = 21949$ ($\sim 22 \cdot 10^3$) ly.

Stima degli errori:

Il valore ottenuto per la magnitudine apparente è soggetto a due possibili fonti di errore, una strumentale, intrinseca all'acquisizione ed elaborazione dei dati fotometrici, l'altra legata al calcolo della magnitudine a partire dal periodo delle curve di luce ricostruite.

Il programma *AnsPhotometry*© fornisce il parametro TEB (Total Error Budget), che tiene conto sia degli errori diretti (definizione del cielo, correzione dell'immagine con Dark, Flat, Bias, variabilità Poissoniana del segnale), sia di quello introdotto riportando il sistema fotometrico locale al sistema standard (l'accuratezza della calibrazione con le rette).

Nei calcoli relativi alla GSC_5809 il TEB medio fornito da *AnsPhotometry*© è pari a 0.015 magnitudini (0.1%) sia nel B_j che nel V_j, mentre per la GSC_5817 il TEB fornito nelle due bande è risultato pari a 0.020 magnitudini (0.14 %).

Per verificare la correttezza dei risultati sperimentali, l'intero processo di riduzione dei dati e misura fotometrica è stato comunque ripetuto indipendentemente da due operatori OMB, fornendo valori di magnitudine molto simili a quelli ottenuti dagli studenti (differenze numeriche entro qualche parte su 10^5 , di fatto trascurabili rispetto al TEB) a sostanziale conferma della bontà del loro lavoro.

⁶ Tsujimoto T. et al., The absolute magnitude of RR Lyr stars derived from the Hipparcos catalogue, *ApJ* 479 (1998) 492 L79

Per quanto riguarda la magnitudine media calcolata a partire dalle curve di luce, occorre osservare che, sebbene la periodicità “a breve” delle RR LYR sia molto precisa, su periodi di maggiore durata questo tipo di sorgente mostra una lieve oscillazione in ampiezza della magnitudine. La sovrapposizione di più periodi per ottenere una singola curva di luce produce quindi un allargamento della curva stessa rispetto ad un singolo periodo “ideale”. D’altro canto, la serie di misure in nostro possesso non consente di stimare direttamente l’errore sulla magnitudine media con tecniche statistiche quali la FWHM del segnale.

Un’analisi ragionata delle curve di luce di GSC_5809 (figg. 3 e 4) e GSC_5817 (fig. 5) mostra che anche nei punti di minimo e massimo la dispersione in magnitudine è inferiore a 0.1 magnitudini, mentre nelle fasi di risalita e di discesa la dispersione è inferiore a 0.05 magnitudini.

Per tali ragioni, abbiamo ritenuto opportuno associare alla magnitudine media sperimentale m un errore prudenziale massimo $\varepsilon_m=0.10$ magnitudini.

Anche il valore da attribuire alla magnitudine assoluta M è soggetto a incertezza, in quanto esso dipende in modo sensibile dalla metallicità delle sorgenti, nel nostro caso non esplicitamente determinata, e dagli errori sulle parallassi associate alle sorgenti RR LYR note. Va ricordato che, per le stelle RR LYR presenti nel catalogo Hipparcos, le uniche parallassi disponibili sono di tipo statistico, essendo gli errori associati alle singole misure troppo grandi.

Una valutazione analitica di questi fattori⁶ porta ad attribuire al valore medio $M_{Vj} = +0.6$, comunemente accettato per le RR LYR di breve periodo (qualche ora) come quelle in esame, una possibile banda di oscillazione tra i valori 0.54 e 0.64. Nel presente lavoro, si è quindi assunto per la magnitudine assoluta il valore $M_{Vj} = +0.59 \pm 0.05$.

In sintesi, l’errore massimo complessivo da associare al calcolo delle magnitudini è pari per GSC_5809 a $\varepsilon = 0.015 + 0.10 + 0.05 = \pm 0.165$, mentre per GSC_5817 risulta $\varepsilon = 0.020 + 0.10 + 0.05 = \pm 0.175$. Il calcolo della distanza secondo la (1) fornisce corrispondentemente

$$(2) \quad d_{\text{GSC}_{5809}} = (15000 \pm 1000) \text{ anni luce}$$

$$(3) \quad d_{\text{GSC}_{5809}} = (22000 \pm 2000) \text{ anni luce}$$

Stante il metodo impiegato, l’errore calcolato nelle (2) e (3) è da intendersi come semidispersione massima.

Conclusioni:

Come dimostrato dai modi e tempi di realizzazione dello studio appena illustrato, è già possibile per (gruppi di) studenti accedere in remoto ai dati osservativi raccolti dai telescopi e conservati presso la sede OMB per procedere alla loro riduzione ed elaborazione in tempi successivi, ottenendo anche risultati direttamente utilizzabili per ricerche astrofisiche.

Tale lavoro di ricerca potrà quindi essere svolto, sia autonomamente che sotto la guida dei docenti di materie scientifiche, in orari, tempi e luoghi svincolati dall’attività osservativa, consentendo di sviluppare sinergie positive tra il mondo della scuola e quello della ricerca astronomica sul campo.

Si è visto che gli studenti imparano rapidamente a usare i software scientifici impiegati: è comunque prevista anche la disponibilità di alcuni operatori OMB a svolgere il ruolo di tutor on-line e di organizzare presso le scuole interessate un incontro propedeutico all’attività di ricerca.

Sarà anche possibile, per gruppi di studenti opportunamente supportati dai loro docenti di materie scientifiche, proporre direttamente un target osservativo di interesse scientifico, partecipando così alla ricerca sin dalla fase di progettazione.

Il progetto O.M.B.R.A. entrerà in fase operativa per l'anno scolastico 2013-2014, con la possibilità per le scuole di aderire sia a proposte di ricerca che ad attività di tipo laboratoriale/illustrativo.

È attualmente in via di definizione la lista delle possibili ricerche da proporre alle scuole: tra esse figureranno temi di lavoro quali:

- il calcolo dell'indice di colore di un ammasso stellare aperto e la costruzione del diagramma HR;
- il calcolo del periodo orbitale di stelle variabili ad eclisse;
- il calcolo della distanza di stelle variabili pulsanti.

È inoltre previsto l'ampliamento delle esperienze di laboratorio in remoto anche ai dati acquisiti dallo spettroscopio dell'OMB.