

OSSERVAZIONI DI RR LYRAE CON FILTRI A BANDA STRETTA

Nota di P. BROGLIA ed A. MASANI (*)

(Osservatorio Astronomico di Merate - Centro di Astrofisica del C.N.R.)

RIASSUNTO. — Si danno i risultati delle osservazioni fotoelettriche della RR Lyrae eseguite con filtri interferenziali aventi il massimo di trasmissione alle lunghezze d'onda $\lambda = 3620, 4160$ e 5220 \AA .

Si discutono le osservazioni fotometriche di Hardie e nostre e se ne cerca una interpretazione sulla base dei risultati teorici relativi alle atmosfere stellari.

ABSTRACT. — Photoelectric observations with interferential filters at $\lambda = 3620, 4160$ and 5220 \AA of the RR Lyrae star are given.

Our observations and the Hardie's light curves at the Johnson and Morgan system are discussed and to the theories compared.

Nella fotometria con filtri a banda larga è uso comune eseguire misure in ultravioletto usando filtri comprendenti la discontinuità di Balmer. Poichè si sa che i flussi emessi a destra e a sinistra della discontinuità variano in modo diverso al variare delle condizioni fisiche di una stella, ci è sembrato interessante eseguire misure su una variabile fisica con un filtro a banda stretta e situato a sinistra della discontinuità. Siccome in linea generale i filtri a banda stretta sono preferibili anche per le misure in altri colori perchè consentono di dare un peso maggiore al significato di λ_{eff} , si sono usati filtri di tale tipo anche negli altri due colori usati. I filtri ci sono stati forniti dalla Casa GAB del Liechtenstein. Ne abbiamo determinate le curve di trasmissione che sono riportate nella fig. 1. In ordinata è segnata la trasmissione, in ascisse la λ in cui si ha la massima trasparenza ($3620, 4160, 5220 \text{ \AA}$) e le lunghezze delle bande trasmesse al 50% e al 10% della trasmissione massima.

Si è osservata RR Lyrae al fotometro a cellula Lallemand applicato al riflettore da 102 cm di Merate. Come stella di confronto si è scelta la BD + 42°3325 che è stata pure usata da Hardie (1) il quale ne dà i seguenti valori nel sistema di Johnson e Morgan: $V = 7^{\text{m}}.01$

(*) Ricevuta il 10 dicembre 1956.

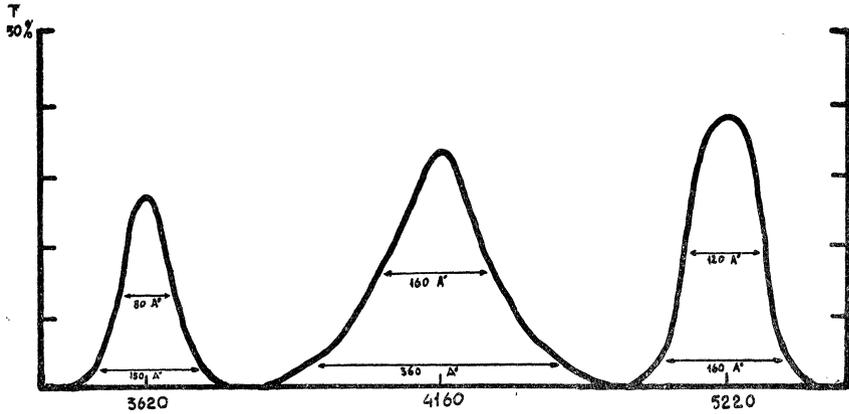


Fig. 1

$B - V = + 0^m.01$ $U - B = - 0^m.12$. I valori $\Delta m = m_{\text{var}} - m_{\text{conf}}$ sono riportati nella Tabella I arrotondati al mezzo centesimo accanto al G.G._{elloc} e alla fase eliocentrica calcolata secondo la ⁽²⁾:

$$\text{fase}_{\text{elloc}} = (\text{G.G.}_{\text{elloc}} - 2435000) P^{-1} \text{ con } P = 0^d.56683735.$$

Poichè i filtri usati sono a banda stretta la variabile e il confronto, anche se di I.C. differenti, sono osservate alla stessa λ_{eff} per cui non è stato necessario portare alcuna correzione per l'assorbimento differenziale.

Le nostre osservazioni non coprono completamente la curva di luce poichè a causa della risposta molto piccola del fotometro col filtro UV si sono potute avere delle misure utilizzabili solo con cielo particolarmente limpido. Esse sono comprese in un intervallo ristretto del secondo periodo ($P_2 = 41^d$) ad eccezione del ciclo G.G. 2435395. Sono tuttavia visibili differenze tra periodo e periodo dovute alla presenza della seconda periodicità (vedi fig. 2). Si è ottenuta la seguente epoca di massimo:

$$\text{Max}_{\text{elloc}} = \text{G.G. } 2435429.2463.$$

Ultimamente sono stati eseguiti due studi notevoli della RR Lyrae da H. A. Pels-Kluyver ⁽³⁾ e da Hardie ⁽¹⁾. Kluyver da misure spettroscopiche ha trovato che nel corso di un ciclo variano, tra le altre, queste quantità: g_e e P_e . La prima secondo l'Autrice è un poco incerta e le variazioni rivelate rientrano negli errori di osservazione. D'altra parte stando al valore del raggio, delle velocità radiali e della non elevata temperatura effettiva difficilmente potrebbe comprendersi una variazione di g_e . La variazione di P_e è invece plausibile. I valori ottenuti da noi saranno discussi in seguito.

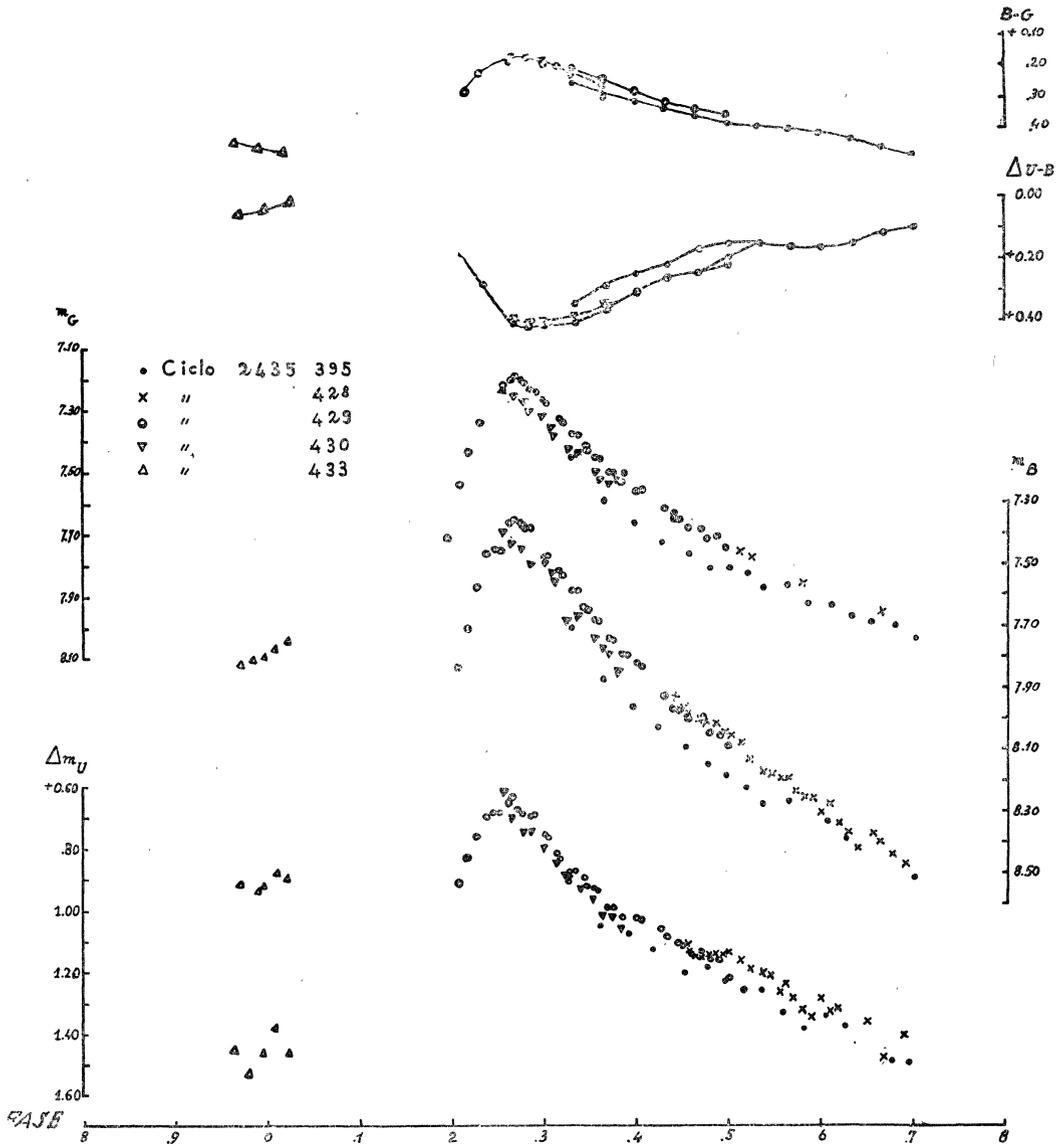


Fig. 2. — Le grandezze in giallo e in bleu e l'indice di colore $B-G$ sono riferite alle grandezze della BD + 42°3325 riportate da Hardie. I Δm_U sono nel verso $m_V - m_{cont}$. Lo zero della scala $U-B$ è arbitrario.

La ricerca di Hardie è simile alla nostra, solo che i filtri da lui adoperati sono quelli a banda larga di Johnson e Morgan. Non avendo noi misure al minimo confrontiamo le curve di luce nostre e di Hardie alle due fasi: $0^{\text{P}}.25$ prima del massimo, e al massimo. I Δm per i vari colori fra le due fasi suindicate sono:

Hardie	nostri
$\Delta m_G = .83$.82
$\Delta m_B = 1.04$	1.07
$\Delta m_{UV} = .94$.78

Come si vede, i Δm in G e in B sono quasi coincidenti, come era da attendersi. La lieve differenza è attribuibile in parte al non essere nella stessa fase del secondo periodo e in parte all'aver usato filtri diversi.

Un notevole disaccordo si ha invece in UV , ciò che era prevedibile avendo noi separato la discontinuità di Balmer. Di conseguenza si comprende che mentre gli indici di colore $B-V$ sono quasi uguali, gli indici $U-B$ sono notevolmente diversi. Quest'ultimo risultato mette in evidenza l'utilità di usare filtri come il nostro UV quando si misurano le grandezze in lunghezze d'onda intorno a 3650 Å.

Ci proponiamo adesso, sulla base dei risultati di Hardie e nostri, di cercare una interpretazione dei dati fotometrici.

Poichè un modello di atmosfera stellare è definito dai parametri ϑ_e e g (la composizione chimica assunta nei vari modelli di atmosfere essendo quasi sempre la stessa) è opportuno riportare sul piano $\vartheta_e - g$ le varie grandezze osservabili che ne dipendono: $I.C.$, D , P_e , N_n . Per questo motivo abbiamo riportato nei grafici di fig. 3 e 4 questi quattro parametri fondamentali. Essi sono stati dedotti dalla seguente bibliografia: D , P_e , N_n Vitense (⁴); $I.C.$ Sandage (⁵) estrapolato a $\vartheta_e = 0.9$ dai valori di Martini e Masani (⁶) i quali hanno eseguito un calcolo analogo nell'ipotesi: $I_\lambda(\vartheta) = I_\lambda(0) (1 - x_\lambda + x_\lambda \cos \vartheta)$.

Si possono riportare in questi grafici i dati di osservazione e confrontarli con quelli teorici. Per far questo occorre determinare un valore di g .

Pertanto occorre conoscere la massa e il raggio. Da considerazioni evoluzionistiche Sandage (⁷) ha dedotto $M = 1,25 M_\odot$ e questo valore è stato confermato dal lavoro posteriore dello stesso autore già citato (⁸). Il raggio è stato valutato da Stebbins (⁸) in maniera alquanto precisa da misure fotometriche in 6 colori separando nella curva di luce l'effetto della temperatura effettiva da quella del raggio ed è stato trovato un valore di $7 R_\odot$.

Per quanto riguarda la massa un valore assai diverso da quello sopra riportato è stato ottenuto per le RR Lyrae dell'ammasso globulare M3

da Robert e Sandage (⁹) i quali trovano $M = 0,70 M_{\odot}$. Occorre rilevare che un tale valore è ottenuto usando, nella relazione

$$P \left(\frac{M}{R^3} \right)^4 = Q$$

(P = periodo in giorni), per Q il valore di 0,041 secondo i risultati di Epstein (¹⁰). Se si tien conto però che la RR Lyrae ha una seconda periodicità, riferendoci alla curva di Ledoux e Elsen (¹¹) si ricava che usando quale periodo secondario quello dato da Walraven, il valore più appropriato di Q è 0,060. Con questo valore, eseguendo di nuovo i calcoli di Robert e Sandage, si trova una massa dell'ordine di $1,3 M_{\odot}$ cui corrisponde un raggio $5R_{\odot}$ valutato con la formula di sopra.

Bisogna tener presente che il periodo secondario dato da Walraven, col quale si è dedotto il nuovo valore di Q , non è esente da una certa imprecisione. Già Hardie ha rilevato che la formula per il max. data dal precedente autore non soddisfa alle sue osservazioni. Noi dobbiamo aggiungere che non soddisfa neppure alle nostre.

In queste condizioni ci sembra preferibile usare i valori $M = 1,25 M_{\odot}$.

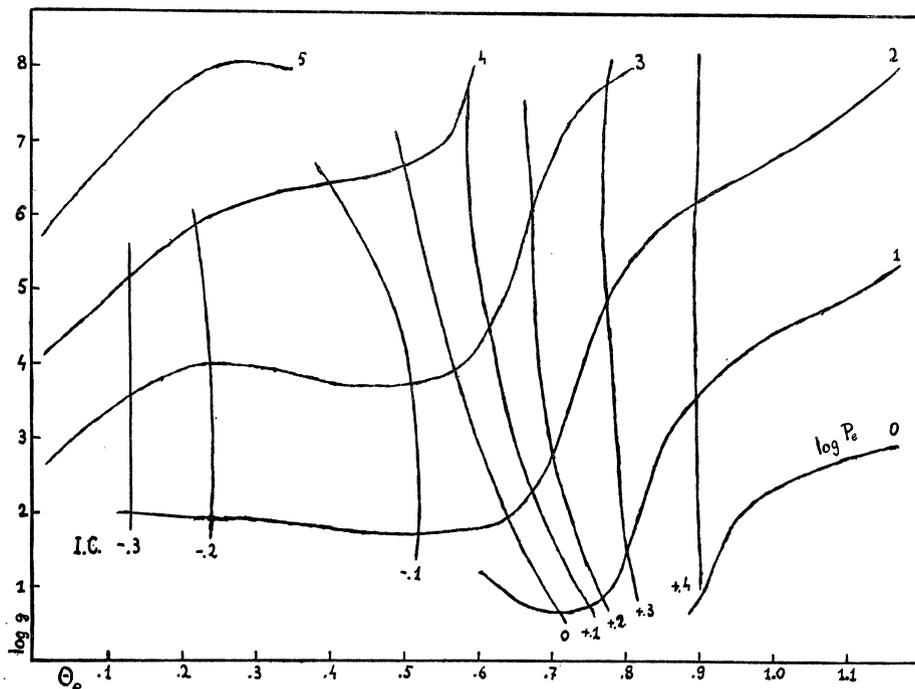


Fig. 3

e $R = 7R_{\odot}$ e ritenerli assai attendibili; con questi si ottiene un valore di $\log g = 2,85$.

Dato l'ordine di grandezza della T_e questo rimane anche il valore di g_{eff} e, si può aggiungere, durante l'oscillazione essa deve rimanere costante con buona approssimazione poichè la variazione di R e di T_e non sono tali da alterarne il valore ora indicato.

Per quanto riguarda l'indice di colore $B-V$ i valori di Hardie debbono essere corretti per un importo di $-0^{\text{m}}.12$ dovuto all'arrossamento interstellare, come risulta dallo studio di Sandage. Pertanto gli indici di colore al massimo e al minimo sono rispettivamente: $+0^{\text{m}}.08$ e $+0^{\text{m}}.33$.

I nostri risultati indicano una variazione maggiore di qualche cen-

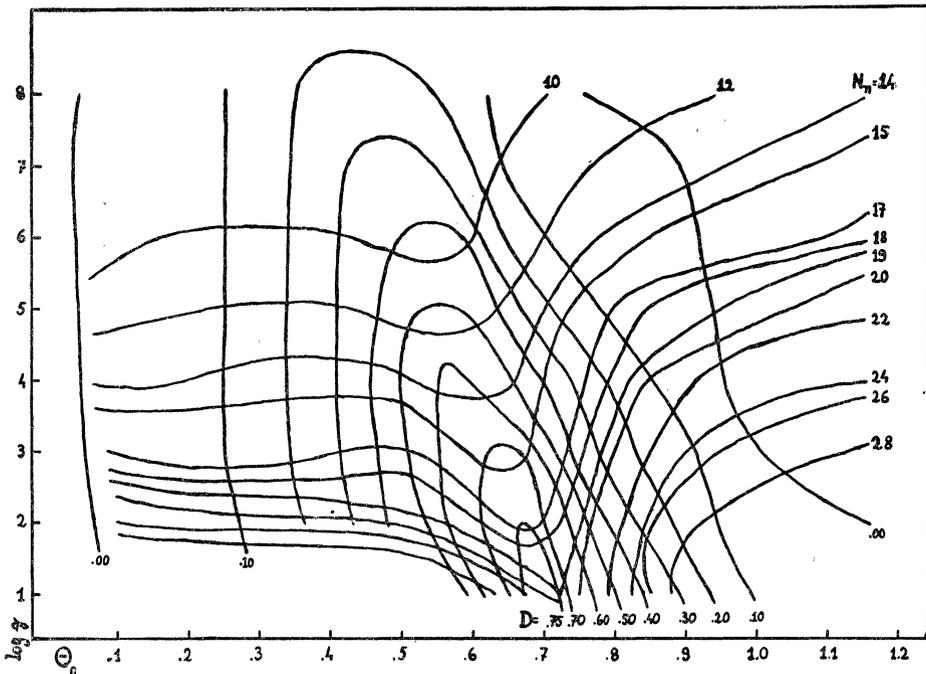


Fig. 4

tesimo, ma ciò può essere attribuito come si è detto a una diversa fase del secondo periodo relativa ai due gruppi di osservazioni ed ai filtri.

Se con questi valori dell'indice di colore e di g si entra nel grafico di figura 3 si ricavano immediatamente le ϑ_e alle diverse fasi. Se ora con questi valori di ϑ_e e di g si entra nel grafico di figura 4 si ricava quale deve essere la discontinuità di Balmer alle varie fasi se la stella irraggia in ognuna di esse secondo la teoria delle atmosfere stellari con la quale è

stata costruita la figura. Si trova così che i valori di D dovrebbero essere i seguenti :

$$\text{al max } D = 0,71 \qquad \text{al min } D = 0,21.$$

Noi non abbiamo una misura diretta della discontinuità poichè il filtro bleu è a $\lambda = 4160 \text{ \AA}$. Affinchè le nostre misure possano essere indicative per il valore di D occorre trasformarle secondo una scala opportuna. Per determinarla ci siamo valsei dei flussi teorici ottenuti da Canavaglia e Pecker (¹²) per stelle giganti aventi temperature comprese nel nostro intervallo. Tali stelle differiscono dalla RR Lyrae per avere un $\log g = 1,8$ invece di $2,85$ ma come risulta dallo studio dei due Autori e come d'altra parte la fig. 4 lo conferma, tale differenza non è molto importante nei confronti di D .

Se si considera la differenza $D - \frac{U-B}{2,5}$ di Canavaglia e Pecker si vede che mentre per $\vartheta_c = 0,65$ essa è praticamente nulla, per $\vartheta_c = 0,85$ può raggiungere il valore di $-0,14$ e mostrare pertanto che il nostro $\frac{U-B}{2,5}$ deve essere corretto in tale fase di questo importo affinchè possa essere indicativo della D .

Purtroppo le nostre misure non si estendono al minimo, tuttavia indicano una variazione certamente maggiore di $0,14$ e se le estrapoliamo verso il minimo seguendo l'andamento dell'*I.C. U-B* ci si rende conto che una variazione di $0,20$ è ancora plausibile per D . La variazione effettiva di D dovrebbe essere pertanto $0,20 + 0,14 = 0,34$.

Come si è detto il grafico di fig. 4 letto con i valori trovati per l'*I.C.* richiederebbe una variazione di $0,50$. Dalle nostre misure *U-B* sembra improbabile si possa ricavare una variazione così alta. Tuttavia questo disaccordo potrebbe trovare una giustificazione nel fatto che anche le misure di Chalonge e Barbier ottenute con stelle non variabili si scostano dai valori teorici nella zona che ci interessa di un importo pari a circa $0,2$. Pertanto il nostro disaccordo starebbe a indicare che la RR Lyrae si comporta nelle sue varie fasi come una stella normale.

Facciamo osservare inoltre che la notevole pendenza della nostra curva *U-B* e la sua notevole variazione potrebbero spiegare l'inversione dell'andamento *U-B* di Hardie che si verifica a circa mezza strada della salita al massimo senza che una analoga inversione debba verificarsi quando si adopera un filtro U.V. come il nostro. E se ciò accadesse sarebbe in accordo con quanto indicano i punti rappresentativi nella fig. 4.

La conclusione che potremmo dedurre dal nostro studio sarebbe dunque che :

al minimo			al massimo		
<i>I.C.</i>	D	ϑ_c	<i>I.C.</i>	D	ϑ_c
+ 0,44	+ .20	.83	+ 0,08	.54	63

mentre g_{eff} rimane praticamente costante durante le varie fasi e uguale a g .

Con questi valori il grafico della fig. 3 indica che $\log P_e$ varia fra circa 2,3 al massimo e 1,2 al minimo. Il fatto che dal massimo al minimo tale valore diminuisca è in accordo con la teoria delle pulsazioni adiabatiche. Anzi se con i valori di sopra si calcola la variazione del raggio con le formule già da noi usate (¹³) si constata che il raggio diminuisce dal minimo al massimo.

Il grafico della fig. 4 mostra inoltre che il numero N_n dell'ultima riga visibile della serie di Balmer dovrebbe oscillare fra 15 al massimo e 21 al minimo. Questo risultato è in disaccordo con i dati di osservazione di Kluyver la quale ottiene rispettivamente 21 e 23.

L'Atrice ha già rilevato la peculiarità del suo valore di N_n e ha cercato di attribuirne la causa a un valore di g più piccolo di quello assunto. Dai grafici di fig. 3 e 4 si ricava che si potrebbe ottenere effettivamente un migliore accordo per questo risultato diminuendo il valore di g . In tal caso allora la variazione osservata di $I.C.$ e di D comporterebbe una più piccola variazione anche di ϑ_e .

Però, a parte il fatto che un tale valore di g non si accorda con quello dedotto dalla massa e dal raggio, i quali sembrano assai attendibili, si dovrebbe ammettere una variazione di R notevole, stando ai Δm osservati, che dovrebbe avvenire nel senso opposto a quanto vuole la teoria delle pulsazioni adiabatiche e contraddirebbe in definitiva anche l'andamento già rilevato della pressione elettronica.

Ci sembra pertanto più plausibile trovare la causa di tale anomalia nel fatto che le righe dell'H debbono essere formate in uno strato otticamente diverso da quello del continuo cui fotoelettricamente ci si riferisce.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Ap. J. 122, 256 (1955).
- 2) B.A.N. 11, 17 (1949).
- 3) B.A.N. 12, 151 (1954).
- 4) Zs. f. Astroph. 29, 73 (1951).
- 5) Ap. J. 123, 278 (1956).
- 6) Memorie S.A.I. XXVI, 309 (1955).
- 7) Cinquième colloque de Liège, 254 (1954).
- 8) P.A.S.P., 65, 118 (1953).
- 9) A. J., 60, 185 (1955).
- 10) Ap. J., 112, 6 (1950).
- 11) Soc. Roy. Sc. de Liège, N. 6, (1955).
- 12) Ann. d'Astroph. 16, 17 (1953).
- 13) Memorie S.A.I. XXV, 431 (1954).

TABELLA I

G.G. elioc. 2435000 +	Fase eliloc.	Δm U. V.	Δm Bleu	Δm Verde	G.G. elioc. 2435000 +	Fase eliloc.	Δm U. V.	Δm Bleu	Δm Verde
395.2715	.3279	+ 0.905			428.2294	.4714	1.155		
.2729	.3303		+ 0.685		.2332	.4781		0.995	
.2736	.3316			+ 0.445	.2339	.4793	1.150		
.2796	.3598	1.050			.2374	.4855	1.145		
.2910	.3623		.860		.2381	.4867		.995	
.2923	.3645			.580	.2419	.4934	1.145		
.3076	.3915	1.075			.2429	.4952		1.030	
.3097	.3952		.940		.2461	.5008	1.135		
.3104	.3965			.650	.2467	.5019		1.040	
.3229	.4185	1.130			.2523	.5118			+ 0.735
.3250	.4222		1.010		.2527	.5125		1.060	
.3271	.4259			.705	.2533	.5136	1.160		
.3423	.4528	1.205			.2582	.5222		1.115	
.3430	.4540		1.075		.2589	.5234	1.190		
.3444	.4565			.750	.2596	.5247			.755
.3555	.4760	1.185			.2665	.5368	1.195		
.3562	.4773		1.130		.2669	.5375		1.160	
.3576	.4798			.795	.2721	.5467	1.210		
.3660	.4946	1.225			.2728	.5479		1.160	
.3673	.4969		1.165		.2763	.5541	1.265		
.3687	.4994			.795	.2776	.5564		1.174	
.3785	.5167	1.255			.2811	.5626	1.240		
.3791	.5177		1.205		.2818	.5638		1.175	
.3798	.5190			.810	.2860	.5712	1.285		
.3882	.5338	1.255			.2863	.5718		1.215	
.3889	.5350		1.255		.2908	.5797			.845
.3903	.5375			.855	.2915	.5809	1.320		
.4021	.5583	1.330			.2922	.5822		1.240	
.4041	.5618		1.245		.2964	.5896	1.345		
.4048	.5631			.855	.2978	.5921		1.240	
.4146	.5803	1.385			.3020	.5995	1.285		
.4173	.5851			.910	.3026	.6005		1.285	
.4285	.6049	1.340			.3075	.6092	1.330		
.4298	.6072		1.320		.3082	.6104		1.260	
.4326	.6121			.915	.3127	.6183	1.320		
.4403	.6257	1.375			.3138	.6203		1.320	
.4416	.6280		1.370		.3193	.6300		1.350	
.4437	.6317			.945	.3210	.6330	1.440		
.4569	.6550			.970	.3249	.6399		1.405	
.4680	.6746	1.490			.3308	.6502	1.361		
.4694	.6770		1.430		.3339	.6557		1.350	
.4708	.6795			.980	.3388	.6644		1.380	
.4805	.6966	1.495			.3395	.6656			.940
.4819	.6991		1.495		.3412	.6686	1.473		
.4833	.7016			1.025	.3454	.6760		1.425	
428.2145	.4451		+ 0.910		.3540	.6913	1.405		
.2172	.4499		0.950		.3546	.6922		1.455	
.2179	.4511	+ 1.115			429.2057	.1937			+ 0.695
.2204	.4555	1.135			.2129	.2065	+ 0.915		
.2210	.4566		.970		.2133	.2072		+ 0.815	
.2256	.4647	1.150			.2140	.2084			.530
.2287	.4701		.985		.2182	.2158	.830		

segue tabella I

G.G. elioc. 2435000 +	Fase eliloc.	Δm U. V.	Δm Bleu	Δm Verde	G.G. elioc. 2435000 +	Fase eliloc.	Δm U. V.	Δm Bleu	Δm Verde
429.2185	.2162		+ 0.695		429.2918	.3456	.920		
.2195	.2281			+ 0.420	.2925	.3469		.630	
.2237	.2255	+ 0.765			.2928	.3474			.415
.2251	.2280		.560		.2959	.3529	.930		
.2258	.2292			.330	.2966	.3541		.665	
.2300	.2366	.695			.2973	.3553			.440
.2307	.2378		.450		.2984	.3573	.935		
.2341	.2439	.685			.2991	.3585		.670	
.2348	.2451		.435		.2998	.3598			.445
.2383	.2513	.685			.3050	.3689	.995		
.2390	.2525		.370		.3057	.3702		.725	
.2397	.2537			.210	.3060	.3707			.490
.2438	.2610	.655			.3070	.3725	.995		
.2445	.2622		.355		.3074	.3732		.730	
.2449	.2629			.190	.3081	.3744			.490
.2459	.2647	.640			.3129	.3828			.520
.2463	.2654		.345		.3133	.3836		.775	
.2466	.2659			.180	.3140	.3848	1.030		
.2498	.2716	.675			.3150	.3866			.490
.2504	.2728		.350		.3157	.3878		.775	
.2508	.2733			.190	.3220	.3989			.550
.2512	.2740		.360		.3227	.4002		.805	
.2515	.2746	.690			.3234	.4014	1.025		
.2522	.2758		.365		.3248	.4039			.545
.2525	.2763			.200	.3251	.4044		.815	
.2563	.2830	.700			.3258	.4056	1.035		
.2570	.2843		.365		.3383	.4277	1.060		
.2577	.2855			.220	.3397	.4302			.605
.2581	.2862	.695			.3404	.4314		.910	
.2588	.2874		.385		.3411	.4326	1.085		
.2591	.2880			.230	.3452	.4399			.620
.2647	.2978			.260	.3459	.4411			.635
.2654	.2991		.465		.3466	.4423		.950	
.2661	.3003	.760			.3473	.4436	1.110		
.2668	.3015			.270	.3491	.4467			.640
.2675	.3028		.455		.3501	.4485		.955	
.2682	.3040	.770			.3508	.4497	1.115		
.2741	.3144	.820			.3550	.4571			.665
.2744	.3149		.505		.3557	.4584		.980	
.2751	.3162			.315	.3563	.4594	1.140		
.2765	.3186	.835			.3619	.4693			.670
.2768	.3192		.520		.3626	.4706		.985	
.2775	.3204			.335	.3633	.4718	1.135		
.2820	.3284	.880			.3671	.4785			.700
.2827	.3296		.570		.3678	.4797		1.025	
.2834	.3308			.365	.3682	.4804	1.155		
.2848	.3333	.875			.3723	.4877			.695
.2855	.3345		.570		.3730	.4889		1.035	
.2862	.3358			.370	.3741	.4908	1.160		
.2900	.3425	.895			.3779	.4975			.730
.2904	.3432		.620		.3786	.4988		1.070	
.2911	.3444			.405	.3800	.5012	1.220		

segue tabella I

G.C. elioc. 2435000 +	Fase eloc.	Δm U. V.	Δm Bleu	Δm Verde	G.C. elioc. 2435000 +	Fase eloc.	Δm U. V.	Δm Bleu	Δm Verde
430.2104	.9662	+ 1.450			433.2323	.2974			.310
.2118	.9687		+ 1.520		.2330	.2986		.480	
.2125	.9699			+ 1.110	.2337	.2998	.800		
.2188	.9810	1.530			.2379	.3072			.350
.2195	.9823		1.545		.2382	.3078		.510	
.2201	.9833			1.090	.2400	.3110			.370
.2264	.9944	1.460			.2403	.3115		.540	
.2271	.9957		1.525		.2407	.3122	.850		
.2278	.9969			1.080	.2469	.3231	.890		
.2340	.0079			1.055	.2480	.3251		.665	
.2347	.0091		1.485		.2487	.3263			.415
.2354	.0103	1.380			.2493	.3274	.900		
.2417	.0214		1.495		.2546	.3367			.425
.2424	.0227			1.030	.2552	.3378		.645	
.2431	.0239	1.465			.2559	.3390	.930		
433.2077	.2540			+ 0.220	.2636	.3526	.965		
.2080	.2545		+ 0.380		.2646	.3543		.725	
.2087	.2557	+ 0.620			.2657	.3563			.485
.2136	.2644	.705			.2691	.3623			.510
.2139	.2649		.415		.2698	.3635		.755	
.2143	.2656			.245	.2705	.3648	1.020		
.2198	.2753		.430		.2733	.3697			.525
.2202	.2760			.260	.2740	.3709		.775	
.2205	.2766	.750			.2747	.3722	1.020		
.2240	.2827			.285	.2785	.3789			.515
.2247	.2840		.485		.2792	.3801		.830	
.2254	.2852	.745			.2803	.3820	1.060		

