

GERBERTVS accoglie lavori sul papa astronomo, docente e matematico, musico, filosofo Gerberto d'Aurillac Silvestro II e su temi di scienza medievale e didattica.

ISSN 2038-3657

★ ORIONIS HVMERVS
OCCIDENTALIS

35

GERBERTVS

13

70

77° 16' 27" ★

GERBERTVS

★ ORIONIS HVMERVS
ORIENTALIS

69

84° 45' 5" ★

3847 7 Carinae 7 Argus.

GERBERTVS 13 è dedicato allo studio delle serie temporali dell'attività solare e della curva di luce di Betelgeuse, stella variabile di prima grandezza, nota come tale già agli antichi.

Ad occhio nudo è stato possibile ottenere, notte dopo notte dal 2012, una curva di luce molto accurata ai centesimi di magnitudine, e riconoscere un periodo principale di 1.2 anni e uno modulante di 5.8 anni. Come supergigante rossa esploderà come supernova dopo un collasso gravitazionale di mezz'ora; impiega mesi per toccare i minimi periodici di luce.

Il volume segue il convegno internazionale del 17.1.2020 all'ICRANet di Pescara *Betelgeuse dimming: the state of the star* mentre la stella raggiungeva il minimo più profondo registrato da almeno un secolo.

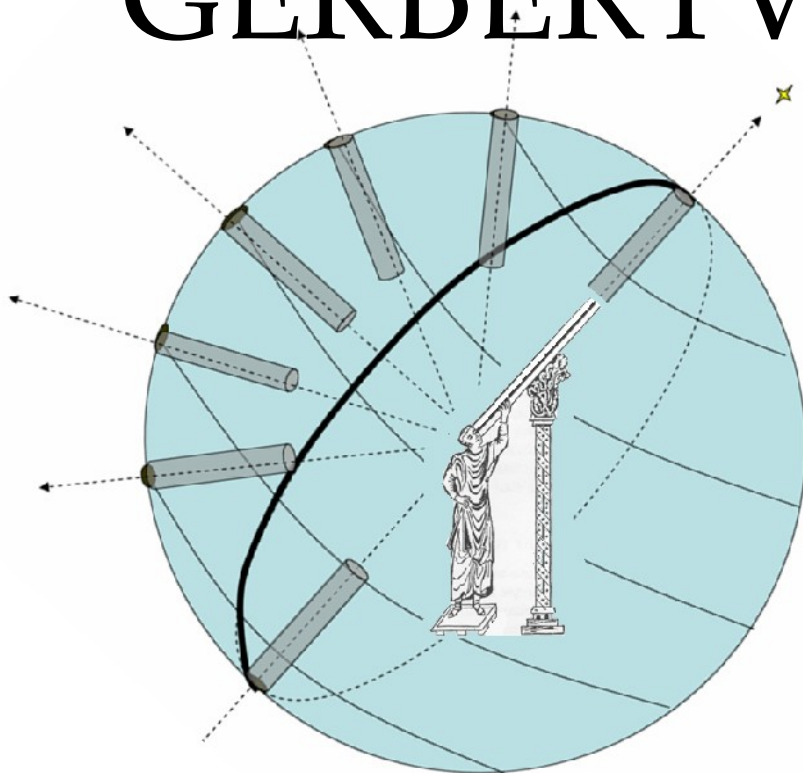
2020

<http://www.icra.it/gerbertus>

International academic online publication
on History of Medieval Science and Didactic
Vol. 13/ 2020

Prof. Costantino Sigismondi Editor

GERBERTVS



<http://www.icra.it/gerbertus>

**International academic online publication
on History of Medieval Science and Didactic
vol. 13/2020**

GERBERTVS

International academic online publication on History of Medieval Science

url: <http://www.icra.it/gerbertus>

Editorial Board:

Prof. Cosimo Palagiano (Accademia dei Lincei)

Prof. Paolo Rossi (Università di Pisa)

Prof. Cesare Barbieri (Università di Padova e Scuola Galileiana)

Dr. Marek Otisk (Accademia Ceca delle Scienze, e Ostrawa Un.)

Dr. Paolo Zanna (Oxford University)

Dr.ssa Irene Sigismondi (LUISS e Sapienza Università di Roma)

Publisher: Prof. Costantino Sigismondi

(ICRANet, Ateneo Pontificio Regina Apostolorum e

IIS F. Caffè, Roma) Via R.Grazioli Lante 15/A 00195 Roma

Copertina: Il Sole sulla Meridiana di S. Maria degli Angeli in
corrispondenza di Betelgeuse, Omero Orientale di Orione;
Schede di Eta Carinae all'AAVSO. Orione nel soffitto della
Grand Central Terminal a New York.

ISSN 2038-3657 (versione stampata)

ISSN 2038-355X (versione online)

ISSN 2038-3630 (CD-ROM)

Vol. 13 – 2020

Finito di stampare nel luglio 2020



Prefazione al volume 13 di Gerbertus: dalla variabilità stellare di Betelgeuse a quella solare

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza Università di Roma and IIS F. Caffè)

submitted 3 march 2020, accepted 2 July 2020.

Abstract

Stellar variability becomes evident to a general audience in the case of Betelgeuse. Its grand minimum of beginning 2020 is unprecedented in modern times, but probably well known to ancient civilization (Greeks, Australian Aboriginal, see papers of 1997AAVSO and Bradley Schaefer). The primary period of 1.2 year is modulated by a 5.8 years one; the expulsion of dust by this supergiant produces other modulations with longer periods, responsible of this last deep minimum. Some papers on this very deep minimum are presented and discussed, in order to introduce at school the Fast Fourier Analysis in the study of temporal series.

The temporal series of solar activity are available from sunspots observations since 1610 and from proxies of the same activity back to 11000 years BCE (Usoskin 2014). The periodicities of such series are shown in Scafetta (2020) who explains them in term of planetary periodical resonance bands. All planets are involved, because a nonlinear machine as the solar dynamo can be driven by very small, but periodical, perturbations.

Leamon et al. (2020) forecast with Hilbert transform on SunSpot Number the appearance of the terminator of the cycle XXIV on May 2020; this would give end to this second consecutive prolonged minimum with 2 years of no spots.

The observation of the sunspots on the Sun in March-July 2019 has prepared the Lucky Imaging method to be used in Mercury transit of November 11, 2019 (later observed through clouds veil in Pescara). The evolution of the large sunspots appeared in March-April 2019 occurred 150 years after the redaction of “Il Sole” the first italian textbook in Solar Physics, written by father Angelo Secchi in 1869. The Gerbertian congress of 2018 was dedicated to him, and we had also the occasion to know his thinking about extraterrestrial life. He was the first to speak about Canals for Mars in a letter to Schiaparelli. Finally the partial solar eclipse of June 21, 2020 has been analyzed to recover the contact timings and maximum phase with astrometrical accuracy.

Tema guida del volume 13

Il tema portante del presente volume 13 è la variabilità stellare di Betelgeuse, sia come tema di interesse nell'antichità, sia come palestra di astronomia osservativa di qualità sia pur fatta alla maniera degli antichi, e cioè ad occhio nudo. Ma anche il Sole come stella variabile è di nostro



interesse, e anche molto più a vasto raggio viste le implicazioni climatiche quantomai ignorate nel mantra dell'Anthropogenic Global Warming.

Serie temporale di Betelgeuse

La stella che ho seguito giornalmente dal 26 dicembre 2011 è Betelgeuse, alfa di Orione, con più di 680 osservazioni inviate al database AAVSO fino al maggio 2020. Nel caso di più osservazioni in una sola notte, si è potuto stabilire l'incertezza sperimentale del valore della magnitudine stimato, che nell'insieme dei dati è migliore di 5 centesimi di magnitudine.

Con l'insieme dei dati si ottiene una curva di luce, ossia intensità luminosa della stella al trascorrere degli anni, e una visione d'insieme della sua luminosità col tempo consente di individuare il periodo principale di 1.2 anni, e una modulazione più lunga, che la letteratura scientifica trova in 5.9 anni. L'analisi di Fourier mediante Fast Fourier Transform della curva di luce di Betelgeuse ha dato questi tempi caratteristici (Karovska, 1987), ma anche un'ispezione ad occhio consente di apprezzare i due periodi principali; così da poter introdurre direttamente e semplicemente il concetto di analisi di Fourier sulle serie temporali. Anche il teorema di Shannon-Nyquist sul Campionamento entra in gioco in questo approccio, poiché non si può essere certi che una funzione periodica abbia un certo periodo se non si è osservato un fenomeno almeno per la durata di questo periodo, meglio per due periodi. Sembra ovvio, ma quando si parte dai dati e non da un modello predittivo, tutto diventa più complicato.

Il caso del Sole, che è l'altra stella variabile la cui fenomenologia può essere alla portata dell'occhio nudo nei grandi telescopi a foro stenopeico (come lo Gnomone Clementino a S. Maria degli Angeli in Roma), è emblematico: conosciamo le macchie dal 1610 da quando Galileo le osservò per primo, ma solo nel XIX secolo Schwabe ne provò l'andamento ciclico di 10 anni poi ritoccato ad 11. Oggi si riscontrano periodicità più lunghe: 45-60; 80; 200-300; 800-1200 e 2300 anni, le ultime identificate dall'andamento di indicatori indiretti (anelli degli alberi, carote di ghiaccio...) dell'attività solare, che all'epoca non aveva spettatori al telescopio. Queste periodicità influenzano il nostro clima, e sono a loro



volta influenzate dai pianeti come mette in evidenza lo studio di Nicola Scafetta.

Un ciclo di attività dall'altro è separato da un minimo, che a differenza della luminosità stellare può essere caratterizzato anche da zero macchie per qualche anno come è capitato tra il XXIII e il XXIV nel 2009-2012 e ora alla fine del XXIV.

L'inizio di un nuovo ciclo viene studiato mediante un'altra trasformata, quella di Hilbert. Con questo approccio è stato identificato l'evento "terminator" di un ciclo undecennale, e per l'avvio del prossimo ciclo XXV è prevista la data di maggio 2020 entro 5 mesi di accuratezza.

Il Sole variabile

Dall'articolo di Scafetta (2020) la variabilità solare è di origine planetaria, e le sue periodicità dipendono dalle combinazioni dei moti orbitali di tutti i pianeti. Già da un *toy model*, modello semplificato, a orbite circolari vengono fuori bande di risonanza corrispondenti ai periodi già individuati dagli astronomi alla fine del XX secolo (Gleissberg, Eddy, Vries..).

Il Sole ha avuto una variabilità recente con il Minimo di Maunder (1645-1715) al culmine della Piccola Era Glaciale e quello di Dalton (1810-14), e recentissima con il massimo (di Eddy) del 1947 quando il Sole ha raggiunto il livello di attività più alto da quando esistono i telescopi. Negli ultimi due minimi è stato senza macchie per circa 2 anni di fila.

L'onset del minimo di Maunder non è stato ancora spiegato, e potrebbe ripetersi prima che troviamo come avviene, senza perdere la ciclicità di 11 anni che riemergerebbe ancora sincronizzata al suo termine.

La conclusione del XXIV ciclo con una serie di grandi macchie apparse -dopo un anno di quiete- all'equatore solare a marzo 2019, con strascichi fino a luglio 2019, ha anche fatto ricordare la tempesta solare di Halloween del 2003, citata da Leamon et al. (2020) nell'ambito di un articolo sulla previsione dell'inizio del prossimo ciclo XXV mediante il timing dei terminators, individuati mediante trasformata di Hilbert del conteggio delle macchie.



L'occasione divenuta piuttosto rara di osservare macchie solari ha favorito lo studio per mettere a punto un metodo di “lucky imaging” con video fatti al telescopio, raggiungendo il secondo d'arco di risoluzione con l'apertura effettiva di 10 cm con un telescopio Newton URANIA da 25 cm f/4 diaframmato per l'osservazione solare (fig. 1).

Ma cosa sarebbe accaduto se da queste macchie fosse partito un flare come quello di Carrington del 1 settembre 1859?

Cosa ne sarebbe della nostra civiltà informatica dopo una tempesta geomagnetica di quelle proporzioni?

Sono stati argomenti che hanno appassionato gli osservatori di quell'evento ormai divenuto raro, di una macchia grande più volte il pianeta dove ci troviamo, che mutava di giorno in giorno forma, sotto l'azione delle immani forze che emergono alla superficie del Sole.

Erano i mesi di marzo aprile e maggio 2019, subito dopo l'equinozio di Primavera.

Il Sole di Angelo Secchi e il convegno Gerbertiano del 2018

Nello stesso periodo si è compiuto il 150° anniversario della redazione del testo di Angelo Secchi “il Sole” in lingua italiana, scritto prima della più corposa edizione francese del 1877 (Parigi, Gauthier). Questo testo mostra come a Roma, sul tetto della Chiesa di S. Ignazio a Campo Marzio, padre Angelo Secchi seguiva l'evoluzione della nostra stella giornalmente, fino a conoscerne con precisione le fenomenologie e prevederne parecchi sviluppi. Secchi, del quale abbiamo celebrato nel 2018 il bicentenario della nascita, è uno dei padri (di nome e di fatto) fondatori dell'astrofisica solare. Di notte con la spettroscopia stellare ha contribuito, invece, alla fondazione della moderna astrofisica. Il Convegno Gerbertiano del 2018 è stato, perciò, dedicato a Secchi e allo studio delle sue attività.

La vita fuori dalla Terra

Interessante è notare che fu lui il primo a denominare “canali” quelli osservati su Marte dallo Schiaparelli a Milano, e dagli astronomi Europei (Antoniadi a Meudon, Cerulli a Collurania) e Americani (su tutti Lowell al suo osservatorio). Nel secolo XIX fino a gran parte del XX la vita sugli altri



pianeti era considerata possibile, se non certa. La stessa certezza oggi è spostata più in là, dove la risoluzione angolare non può arrivare... ma le lezioni di Giovanni Tinetti (Cattedra Enrico Fermi 2018/9 alla Sapienza e University College London) sui pianeti extrasolari sono state costellate di esemplificazioni di varie tecniche per l'individuazione di segnali di presenza di vita nell'atmosfera di un lontanissimo pianeta.

Fig. 1 regione attiva
NOAA/AR2741 osservata il 17
aprile 2019 alle 10:28 col Newton
25 cm/f4 diaframmato a 10 cm.

Cerulli (1897) aveva messo in evidenza come i canali fossero meglio visibili di taglio piuttosto che mentre erano in meridiano, spiegandone le ragioni ottiche.

Oggi che molte sonde hanno orbitato attorno a Marte e vi sono anche atterrate, la storia dei canali è considerata un esempio di pareidolia, ossia che il nostro cervello vede ciò che non c'è collegando idealmente con linee

delle regioni sul pianeta ad albedo minore delle altre.

Herbert George Wells nella Guerra dei Mondi (1938) ha immaginato che le forme di vita intelligenti marziane avessero deciso di colonizzare la Terra per le loro necessità metaboliche, visto che non perdevano tempo a digerire per nutrire il loro sangue... ma dopo aver imperversato per una settimana nei sobborghi di Londra, la città più popolosa del Mondo di allora, seminando morte e panico con la loro superiorità tecnologica di robot mossi direttamente dalla loro mente telepatica, quando anche le loro



piante conquistano velocemente le nicchie ecologiche terrestri... rimangono improvvisamente bloccati dai nostri batteri: si ammalano e muoiono. Gli eserciti di tutto il Mondo non avrebbero potuto nulla, fuorché l'atomo... che però era ancora ignoto all'epoca del racconto, eppure i nemici invisibili, perché microscopici, si mostrarono i migliori alleati della vita sulla Terra.

Oggi amminoacidi complessi sono stati trovati sulla Cometa CG-67 da Andrea Raponi et al. (2020) e sembra provengano dalla nube stellare da cui si è formato il nostro sistema solare. Sir Fred Whipple quando parlava di palla di neve sporca per le comete e panspermia per la diffusione della vita nel cosmo, non aveva una visione tanto differente da quella che i dati scientifici oggi tornano a farci intravedere. Vita, o suoi mattoni costituenti, dappertutto. Qualcuno ha già studiato la possibile correlazione tra epidemie e passaggi di comete, nel tentativo di superare la visione astrologica con una astrofisica... in cui la cometa porterebbe qua e là semi di vita aliena... (Hoyle, 1986).

Serie temporali dendrocronologiche e curve di luce delle stelle

Il problema dello studio di una serie temporale è molto simile in astrofisica e in botanica. Per Betelgeuse sono ben noti i minimi, ma nessun massimo è stato chiaramente rilevato. Per gli anelli di accrescimento degli alberi il confine tra un anno e l'altro può sfuggire nel rumore, tema del XI volume (2018). Dopo l'articolo di Scafetta vengono proposti i dati relativi all'eclissi di Sole del 21 giugno 2020, parziale e quasi radente per Roma.

Con questa eclissi si è dimostrata una volta di più la validità del metodo per la misura del diametro solare usando le eclissi, estendendolo anche al caso di fase parziale (questa è la vera novità) ritenuto fino ad ora troppo impreciso e/o "rumoroso" ai fini astrometrici. Questo dato di diametro solare, insieme agli altri, presi ad alta risoluzione, cioè con accuratezza statistica attorno a 0.1 arcsec, va a comporre una serie temporale sulla possibile variazione di diametro solare, di elevato interesse astrofisico.

Fino ad ora questi dati o mancano o sono isolati e limitati ai transiti di Mercurio e Venere osservati da SOHO e SDO (Emilio, 2019)



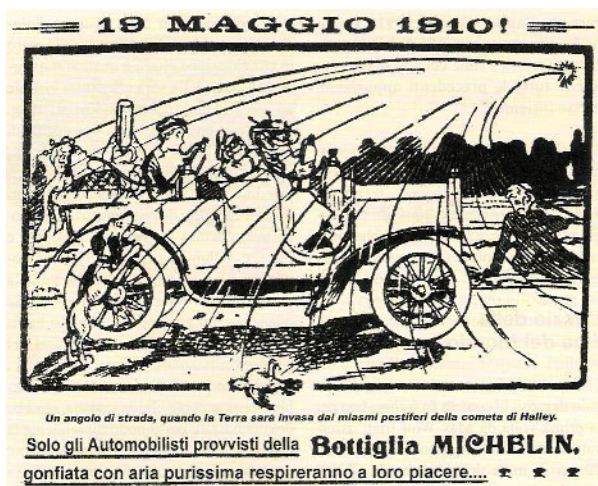


Fig. 2 La bottiglia MICHELIN del 19 maggio 1910 quando la Terra attraversò la coda della cometa di Halley

Un modello “cinematico” per Betelgeuse

Consentire ad uno studente di scuola secondaria di seguire un fenomeno come la variabilità stellare ad occhio nudo è lo scopo precipuo di questo volume. Ma anche gli strumenti matematici per impostarne l'analisi dei dati fanno parte di questo obbiettivo. Lungo il volume presentiamo vari modelli interpretativi della fenomenologia di Betelgeuse, sono ben esemplificati nella ristampa sull'occultazione asteroidale parziale del 2 gennaio 2012 (ce ne sarà un'altra totale da parte di 319 Leona (60 km, 94 mas sui 48 mas di Betelgeuse tra l'11 e il 12 dicembre 2023). La differenza tra discesa e risalita della curva di luce durante il minimo 2019-2020 è trattata nell'articolo sulle eclissi “polverose” di Betelgeuse. L'attenuazione progressiva di una nube di polvere lungo la linea di vista è un modello fisico di ciò che realisticamente stava accadendo attorno alla stella, corroborato da immagini ad alta risoluzione nell'ottico (VLT), IR (Safonov, et al 2020) e microonde (ALMA), si vedano le referenze a pag. 72. Due sinusoidi di periodo 1.2 e 5.9 anni, rappresentate a pag. 9, rappresentano grossolanamente, con il fenomeno dei battimenti, i periodi principali di oscillazione della luminosità di Betelgeuse. Questo è già un modello



“cinematico”, cioè che rappresenta, senza spiegare le ragioni, ciò che si osserva. Uso la parola “cinematica” che descrive il moto senza analizzarne le cause, compito della dinamica, ma potrei usare anche “fenomenologico” che indica un modello di qualsiasi natura che rappresenta i fenomeni, senza pretendere di spiegarli. Anche vedere un'attenuazione della luce di Betelgeuse, come parte di un fenomeno oscillatorio è un modello “cinematico”, approssimativo quanto vogliamo (perché non tiene conto della differenza di velocità osservata in discesa e in risalita), però consente di prevedere il raggiungimento del massimo dalla conoscenza dell'istante del minimo e di quello della maggior velocità di cambiamento della luminosità della stella. Proprio questo modello è stato tenuto in considerazione per l'ATel#13601 del 31 marzo 2020 che si deve tradurre e leggere così: *Betelgeuse è oggi a magnitudine 0.90 e sta cambiando la sua luminosità di 0.02 magnitudini al giorno; se questa resterà la massima velocità, è ragionevole aspettarsi che la stella raggiunga in altri 40 giorni il massimo attorno alla magnitudine 0.4.* Il minimo era stato raggiunto attorno al 21 febbraio a magnitudine (osservata da me) 1.45. La previsione “cinematica” sul max è stata verificata dalle osservazioni AAVSO tra il 10 maggio e il 12 giugno. Modelli dinamici e dati submillimetrici di JCMT, APEX, e tra 0.7 mm di ALMA e 10 cm di VLA includono il recente minimo di Betelgeuse (AGB)

Referenze

- H. G. Wells, La Guerra dei Mondi, Avvenimenti-Ultime Notizie 185 (1998)
F. Hoyle, La voce della Cometa, Longanesi (1986)
V. Cerulli, Mars en 1897, Rev. Astr. Soc. Astron. Belgique (1897)
G. Tinetti, I pianeti extrasolari, Il Mulino, Bologna (2013)
N. Scafetta, Solar Physics 295, art. 33 (2020)
Leamon, et al. Solar Physics 295, art. 36 (2020)
M. Karovska, Lecture Notes in Physics, 274, 260 (1987)
C. Sigismondi, Astronomer's Telegram #13601 (2020)
A. Raponi, et al. Nature Astronomy, 4, 500 (2020)
AGB Newsletter [No. 276](#) July 2020 (2020)
M. Emilio, Meeting *Mercurius in Sole Visu*, ICRANet Pescara 11 nov. 2019



Betelgeuse, Johannes Bayer and Purkinje effect

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè Rome, AAVSO)

submitted January 27, 2020 accepted May 21, 2020

Abstract

Betelgeuse is the alpha of Orion, and normally alpha means that it is the brightest star of its constellation. Johannes Bayer was the first in 1603 to order the stars with the greek letters in sequence of luminosity. Are several the cases when the alpha is less luminous than beta, and many more cases in which beta is dimmer than gamma et cetera. Why these incongruences?

One of the reasons is because some stars are variable and this is the case of Betelgeuse, but other is the Purkinje effect which made the red luminous stars more brilliant to the naked eye, when we stare at them.

Statistics on Betelgeuse

Its variability become recently a worldwide case with its deep minimum down to visual magnitude of 1.4, never registered in the last century. There are various harmonical components of its variability with the main ones of 1.2 and 5.9 years. Alternately every 5 cycles of 1.2 years a larger maximum or a deeper minimum is attained.

From a statistical point of view the probability to find in 1603 Betelgeuse at its absolute maximum, larger than Rigel, beta Orionis, is 38/600

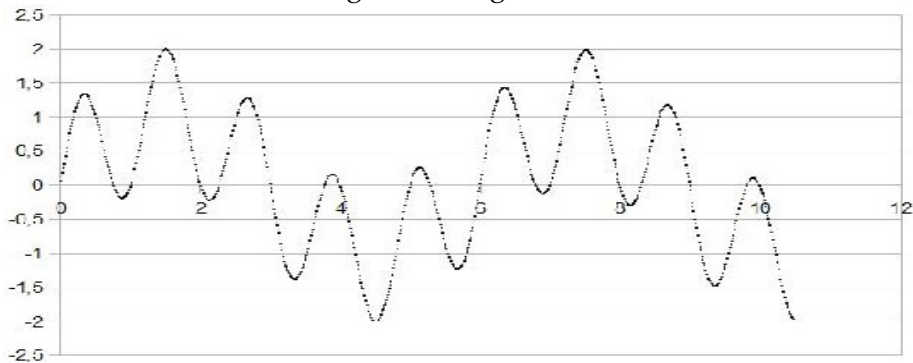


Fig. 1 Oscillations of two sinusoids with the main periods[yr]of Betelgeuse
This is a graphic of two sinusoids of period 1.2 and 5.9 years with equal intensity (same power in the Fourier spectrum). The time in which the



curve peaks above 1.5 is 38 parts over 600, i. e. 6.3%.

The choice of the "top 0.5 level" is due to the normal amplitude of the oscillations of Betelgeuse: from 2 to -2 is equivalent to 1 whole magnitude, from 0 to 1. Since Rigel is 0.13, the extension of 0.13 magnitude over 1 corresponds to 0.52 over the range of 4 [-2, 2], then the choice to evaluate the top 0.5 of the curve of figure 1.

The probability that casually Johannes Bayer evaluated Betelgeuse brighter than Rigel because actually it was so is 6.3%.

Frequency approach of probability

Using the frequencial approach of Bruno De Finetti, we can compute the probability to find Betelgeuse at its maximum by analyzing the last 8 years of its light curve, and the whole AAVSO light curve of alf Ori. The results are: 8 years V-band data (VOL/AAVSO 647 data):

8 years visual data (SGQ/AAVSO 602 data):

Both results are in the range of 5-10% of probability to occur by chance in 1603 when Bayer published his Uranometria.

Other odd cases

Beta Scorpil with Delta Scorpil: beta 2.5 vs delta 2.3 average and 1.8 at maximum luminosity. Delta is variable with 11 years period due to the orbital period of the companion. This case shows a "permanent error" not due to the color, since Beta and Delta are both white.

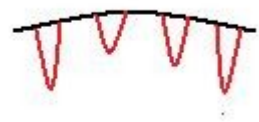
Sebastian Otero discovered in 2000 the variability of Delta Scorpil.

Alfa and Beta Geminorum are actually inverted in order, with Beta 1.16 and Alfa 1.58.

Purkinje effect

Staring at the red star it appears brighter at increasing staring time (up to a certain limit).

To avoid that effect it is recommended the quick glance method (Waagen, 2020)



The brightness of Betelgeuse at its normal luminosity is of 0.45 mag. Could have been it evaluated larger than the blue Rigel of 0.13 mag, during the luminosity assessment made by Bayer for Orion?

The probability that Betelgeuse would have been brighter than Rigel exactly in the assessment phase made by Bayer is very low, since, Betelgeuse does not exceed its average magnitude very often.



Fig. 2 Orion constellation by Johannes Bayer, with alf Ori at left hand side.

Conclusions: it is more probable that the Purkinje effect is the main cause of the listing of Betelgeuse as alfa Orionis, than the star was exactly at its absolute maximum, which occurs only for th 6.3% of the time, see also figure 3 of 90 years of light curve of Betelgeuse.

References:

Bayer J. Uranometria Augusta 1603

GCVS <http://www.sai.msu.su/gcvs/cgi-bin/search.cgi?search=alf+Ori>

https://en.wikipedia.org/wiki/Semiregular_variable_star (cfr. SRC)

https://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_effect



AAVSO database on alf Orionis www.aavso.org

De Finetti, B. Teoria delle Probabilità, Einaudi, Torino (1970).

Thomas, E. L., PhD thesis Radcliffe College, Harvard University (1948).

Sigismondi, et al. 2014 <https://arxiv.org/pdf/1410.8492.pdf> arXiv:1410.8492

O'Waagen, E. AAVSO circ#690, Rare, vey faint minimum of Betelgeuse, 2020

Sigismondi, 2000, Variable stars magnitudes estimations exploiting the eye physiology, arXiv1106.6356

Alpha Orionis (Semiregular) 1911-2001 (10-day means)

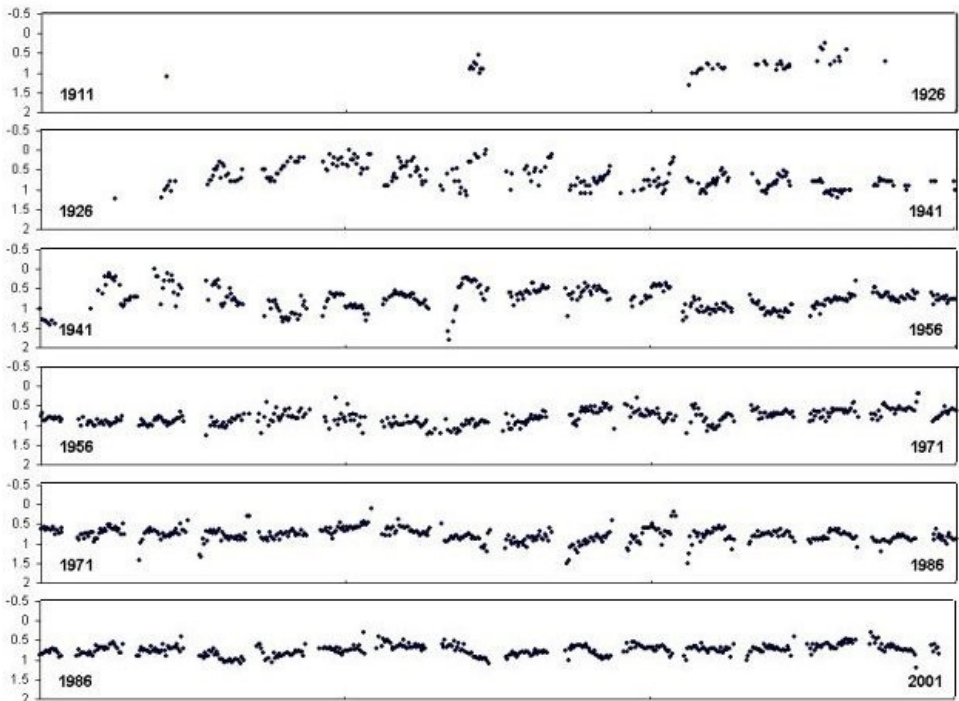
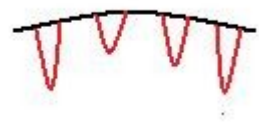


Fig. 3 Betelgeuse light curve during 90 years: it is found brighter than Rigel only around 1930 and 1940, say less than 1/9 of the times (Figure from M. Kidger, on AAVSO data)



Betelgeuse, Sirio, Antares e il cielo degli antichi

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO)

submitted February 15, 2020 accepted May 21, 2020

Abstract

Betelgeuse was considered in ancient times the painful shoulder of the giant Orion, more reliably because of its visible variability. Stellar variability in antiquity was included in the myths of the hosting constellations.

The magnitude system was introduced by Ptolemy for the Almagest catalog. The case of Betelgeuse (1-), Sirius (1 and red) and Antares (2) are discussed.

Introduzione: gli antichi e la variabilità nel cielo

Presso la Società Geografica Italiana per l'8 aprile 2020 era prevista una giornata di studio sull'antica rappresentazione cartografica e processi geomorfologici, ed ho pensato alle seguenti connessioni: l'uomo non può cambiare le carte del cielo, ma il cielo può cambiare (stelle variabili) e l'uomo antico lo ha notato nella mitologia. I miti portano con sé -come sappiamo da quello di Ercole...- anche informazioni astrofisiche, e questo ne è un esempio.

Propongo quindi una riflessione sul tema astronomico del momento, che è fonte di molta confusione nell'opinione pubblica e tra gli astronomi stessi: che sta succedendo a Betelgeuse? la prima stella di Orione, tra le prime del nostro emisfero... ha perso una magnitudine da settembre 2019, per poi riacquistarla a Maggio 2020, con un cambio di connotati a quella che è la costellazione più famosa del cielo, a cavallo dell'equatore.

Antichissime osservazioni astronomiche di Betelgeuse tra mito e tradizione sulla variabilità stellare

Per gli antichi la realtà era a due dimensioni: in basso la Terra con i suoi processi geomorfologici da considerare per la scelta di un sito abitativo sicuro, e in alto il Cielo, i cui segnali erano tenuti costantemente d'occhio nelle notti buie di cui l'uomo ha goduto fino a circa un secolo fa ovunque.

Per gli antichi il Cielo attraverso le sue costellazioni, che in ogni cultura



possono avere forme e collegamenti diversi, si presentava come migliaia di stelle fisse, con sette corpi che invece si muovono rispetto ad esse. Era un sistema di riferimento costante rispetto al quale era possibile osservare i moti dei sette pianeti: Sole, Luna, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno.

Le stelle che sono variabili, presentano escursioni in luminosità di qualche magnitudine, e spesso sono periodiche; Betelgeuse, Antares, Mira Ceti, Delta Cephei e Algol (Beta del Perseo) sono visibili ad occhio nudo, e le prime due sono di prima grandezza, e sono state classificate (nel 1603) con la lettera greca alfa che connota le più lucenti della propria costellazione.

È mai possibile che agli antichi fosse sfuggita la loro variabilità?

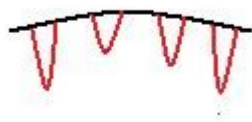
Orione aveva, nel mito greco, una spalla dolorante, mentre la Medusa aveva lo sguardo che pietrificava, e gli Arabi chiamavano quella stella stella l'occhio del diavolo, Algol.

Mira sembra proprio che fu scoperta per primo da David Fabricius nel 1596 mentre misurava la posizione di Giove rispetto alle stelle circostanti, e ritrovata 12 anni dopo nella medesima circostanza. Mira splende a trenta gradi dalla costellazione dei Pesci dove Giove e Saturno si congiunsero tre volte nel 6-7 a. C. davanti agli occhi dei Magi...

Sappiamo dello sconvolgimento che portavano le comete e le aurore boreali nella società antiche; che i regnanti si circondavano di interpreti di questi segni celesti, mentre le stelle fisse generalmente non davano problemi.

In questo contributo riprendo il tema della variabilità stellare e della sua presenza nel mondo antico, cogliendo l'occasione dell'evento più sensazionale degli ultimi anni in questo ambito: il forte affievolimento di Betelgeuse, l'alfa di Orione, che da dicembre a febbraio 2020 ha perso 1 magnitudine intera di luminosità, raggiungendo il minimo storico nella sua fotometria moderna.

Il mondo dei media si è subito interessato al fenomeno aspettandone l'esplosione come Supernova, simulandone anche l'aspetto, che sarebbe il più cospicuo della storia documentata, superiore a quella del 1006 nella



costellazione australe del Lupo, che era un punto luminoso come il quarto di Luna: un faro all'orizzonte Sud solo qualche ora nella notte per i monaci di San Gallo in Svizzera, che furono gli unici europei a scrivere su di essa. Guinan et al. (2020) hanno individuato nei giorni attorno al 21 febbraio il minimo.

Comunque la diminuzione di luce di Betelgeuse non è permanente per la natura variabile di questa stella, il periodo di 423 ± 4 giorni si è mantenuto costante durante l'ultimo secolo di osservazione e la modulazione di quasi 6 anni pure (Guinan, et al. 2020). La stella, come ha studiato Karovska (1987) subisce brillamenti e macchie molto estesi con emissione di polveri che da un lato riflettono verso di noi la luce della fotosfera, mentre dall'altro possono assorbirla, come sta accadendo ora.

La superficie di Betelgeuse è conosciuta con una bassa risoluzione spaziale a causa della sua enorme distanza: le migliori immagini sono di ALMA nel millimetrico e corrispondono a 10 pixel su tutto il diametro stellare, VLT nel visibile ha consentito di vedere la nebula che Betelgeuse ha emesso nel corso degli ultimi secoli attorno a sé. Anche il telescopio spaziale HST ha mostrato qualche dettaglio della enorme superficie di Betelgeuse, che al posto del Sole si estenderebbe sino all'orbita di Giove.

Tornando agli antichi abbiamo contezza che gli aborigeni australiani abbiano individuato la variabilità di Betelgeuse (Schaefer, 2018) e ne abbiano tramandato l'informazione, così come gli indiani Lakota. Questo supera la visione di Helen L. Thomas (1948) secondo la quale gli antichi non erano interessati alla variabilità stellare.

Il parallelo con le carte antiche e la geomorfologia dovrebbe essere, a questo punto, più evidente: la natura variabile di Betelgeuse è stata certamente individuata dagli antichi, e la sua spiegazione-tradizione è stata fatta mediante un mito associato all'asterisma in cui questa stella è inserita.

Quando Canicola, Sirio, è descritta da Plinio come *rubeola*, mentre oggi sappiamo bene che è bianca, forse aveva recensito notizie erranee, che forse si riferivano proprio a Betelgeuse, oppure la sua interazione con la



compagna nana Sirio B (che proprio in questi anni 2020 sta raggiungendo la massima distanza da Sirio A) ha portato il sistema a brillare di color rosso...

Non si può mai rischiare di trascurare le fonti antiche, semplicemente tacciandole di imprecisione o a-scientificità.

Le magnitudini in Tolomeo

Il grande astronomo alessandrino inizia il suo VIII libro continuando la lista delle 1022 stelle, con le 316 stelle dell'emisfero australe a lui disponibili. Al termine di questa lista ne riferisce sia il numero totale sia la loro ripartizione secondo le luminosità. Ne cataloga solo 7 di prima grandezza: Sirio, Procione, Achernar, Canopus, Alfa Centauri, Rigel e Fomalhaut (naturalmente ho usato i nomi arabi per Achernar, Rigel e Fomalhaut, che sono più noti oggi). Betelgeuse viene classificata di magnitudine 1- (oggi 0.45 in media), mentre Antares, altra grande variabile irregolare, addirittura di magnitudine 2 (oggi è attorno a 0.7). Le altre sette stelle più brillanti oggi sono ricalibrate rispettivamente a -1.45 Sirio, 0.37 Procione, 0.45 Achernar, -0.65 Canopo, 0.10 Alfa Centauri, 0.13 Rigel, 1.15 Fomalhaut.

Quindi Betelgeuse, per Tolomeo, non era di prima grandezza, ma ne è appena fuori dall'insieme, ed era seconda a Rigel, nella costellazione di Orione. Sirio era classificata come la più brillante e rossa, nella faccia, chiamata Cane, dato in accordo con Plinio, che era precedente a Tolomeo.

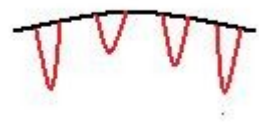
Referenze

Tolomeo, *Almagesto*, Libro VIII, Costellazioni di latitudine ecl. Australe.

Guinan, E. et al. <http://www.astronomersteleggram.org/?read=13341> e seg.

Schaefer, B. E., 2018 <https://arxiv.org/abs/1808.01862>

Karovska, M., *Multiperiodicity in the Light Curve of Alpha Orionis*, Lecture Notes in Physics, **274**, 260 (1987)



L'algoritmo di correzione per l'estinzione atmosfera a occhio nudo e studi su foto da webcam e da SOHO

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO)

submitted January 29, 2019 accepted June 4, 2020

Abstract: The perceived luminosity of a star changes with the star's altitude above the horizon. We adopt a plane-parallel atmosphere down to 15° above the horizon and a linear extinction from 3 to 5 airmasses between 0° and 15° of altitude. The extinction in Rome is 0.236 magnitudes per airmass. The observation of Betelgeuse of 29 January 2019 in Rome, has been exemplified. Data on Nova Cen 2013 (all sky camera), Eta Carinae (visual), Antares, Delta Sco with SOHO coronagraph are also discussed.

Riassunto: La luminosità percepita di una stella dipende principalmente dalla sua altezza sull'orizzonte, e bisogna "scorporare" l'effetto dovuto all'altezza dalle variazioni intrinseche di luminosità stellare, che sono inerenti alla variabilità stellare in studio, spesso molto piccole. Abbiamo messo a punto un sistema di correzione per l'estinzione atmosferica basato sul calcolo delle masse d'aria in atmosfera piano-parallela fino a 15° sopra l'orizzonte, dove sono 3 masse d'arie e lineare da 15° a 0° dove sono 5 masse d'aria. La singola massa d'aria estingue 0.236 magnitudini. L'algoritmo è esemplificato sull'osservazione pubblica del 29/1/2019 di Betelgeuse. Dati dai coronografi di SOHO relativi ad Antares e Delta Scorprii, e dati dalla all-sky camera sulla Nova Centauri 2013 insieme a dati visuali su Eta Carinae sono anche presentati in questo articolo.

Introduzione

IL 29 gennaio 2019 abbiamo fatto insieme una osservazione che ha prodotto un dato: la magnitudine di Betelgeuse.

Abbiamo confrontato questa stella che era a 45° di altezza ($1.41 \cdot 0.23 = 0.32$ magnitudini di estinzione) con Aldebaran (magnitudine 0.85 a 50° di altezza $1.3 \cdot 0.23 = 0.30$ magnitudini estinzione) e con Procione (magnitudine 0.37 a 20° di altezza $0.23 \cdot 3 = 0.69$ mag. est.) e con Marte (che era anche lui a 45° 0.32 mag. est.)

L'ora di riferimento per questa osservazione sono le 19:00 locali (18 UT).

I dati relativi all'altezza degli astri oltre che con un quadrante possono essere calcolati, a posteriori conoscendo l'orario, con stellarium o stellarium web, ma la valenza didattica dell'osservazione con lo strumento costruito da sé è impagabile.



L'estinzione atmosferica per Roma (Villa Pamphili, tramonti nel gennaio 2003) vale 0.236 magnitudini per ogni massa d'aria, ed è indicata tra parentesi per ogni astro.

Stima della luminosità della stella mediante confronti con le altre

Abbiamo convenuto che la scala di luminosità questa sera fosse "Procione più brillante di Betelgeuse più brillante di Aldebaran=Marte"
e che Betelgeuse fosse a metà lucentezza tra Procione e Aldebaran

Questa valutazione è il **metodo di Argelander**, nel caso particolare, più semplice, in cui la stella variabile è a metà tra altre due. Ma se non fosse stata a metà si poteva fare lo stesso con un'**interpolazione lineare**.

Per ogni altezza h° si calcola $1/\sin(h^\circ) = \text{airmass}$, ad esempio Procione era a 20° di altezza $1/\sin(20^\circ) = 2.92$ masse d'aria. Poi si calcola l'estinzione in magnitudine $= 0.236 * \text{airmass} = 2.92 * 0.236 = 0.69$ magnitudini

Adesso sostituiamo alle stelle le magnitudini e aggiungiamo le estinzioni.

Procione $0.37 + 0.69 = 1.06$

Betelgeuse $X + 0.32$

Aldebaran $0.85 + 0.30 = 1.15$

Il **sistema di disequazioni** diventa

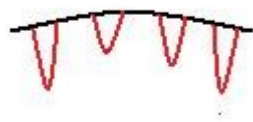
1.06 è più brillante di $X + 0.32$ che è più brillante di 1.15

da cui ricaviamo che X è meno brillante di 0.74

e anche che X è più brillante di 0.83

collocandoci a metà di questa finestra possiamo dire che X ha magnitudine compresa tra $m_v = 0.78 \pm 0.05$

Come risultato "ancillare" abbiamo anche la magnitudine di Marte che valeva 0.83 , due centesimi di magnitudine più brillante di Aldebaran



perché Marte era un po' più basso di Aldebaran pur apparendo di uguale luminosità.

E i due centesimi sono dati proprio dalla differenza tra 0.32 che è l'estinzione per 45° e 0.30 che è quella per 50° di altezza.

Verifiche del metodo

il sito calsky.com dà per Marte il 29/1/2019 una magnitudine visuale di 0.8 alla data di oggi, in ottimo accordo con la nostra stima. Abbiamo anche che l'incertezza di ± 0.05 è realistica.

Prima di salire le scale la maggior parte di voi sapeva che cosa rappresentavano le grandezze stellari, ma non che queste potessero avere decimali. Adesso le abbiamo misurate con i nostri occhi con una precisione di 5 centesimi di magnitudine.

Misure più precise richiedono l'uso di un quadrante, per avere al grado di precisione le altezze e fare i calcoli sulle masse d'aria ancora più precisi.

Ho fatto misure di luminosità con una precisione del centesimo di magnitudine.

Costruzione del quadrante per osservazioni ad occhio nudo

Per costruire il quadrante potete ispirarvi al sito

http://www.astrofiliarubicone.it/pdf/140321_Sestante_AAR.pdf

dove trovate pure la pagina da stampare con la scala graduata (e la frase di Pascoli) già pronta per l'uso

smanettando un po' potete anche cambiare frase...e logo

su quest'altro sito il quadrante viene raccomandato ai ragazzini di fine elementari e medie...

[http://www.planetariodicaserta.it/wp-](http://www.planetariodicaserta.it/wp-content/uploads/quadrante_scheda_didattica_2013.pdf)

[content/uploads/quadrante_scheda_didattica_2013.pdf](http://www.planetariodicaserta.it/wp-content/uploads/quadrante_scheda_didattica_2013.pdf)

sarà per questo che non lo ho mai fatto, invece preparando per voi questa lezione lo ho rivalutato tantissimo e ve lo raccomando.

come reference è utile avere il testo *Astronomia e Navigazione dell'Università di Palermo*



che qui trovate in pdf, scritto da Giuliano d'Eredità per il Progetto Lauree Scientifiche

https://www.unipa.it/strutture/laureescientifiche/.content/documenti_Attrivita_lezioni2011/Astronomia_e_Navigazione.pdf

Il quadrante per valutare lo spessore dell'atmosfera e quindi la massa d'aria, al tempo dell'astrolabio era sul lato *verso* dello strumento, che nel *recto* era destinato alla misura dell'altezza degli astri, e veniva usato per valutare l'altezza di un albero, una torre, o una montagna (Patrologia Latina 139, 6 Gerberti Geometria e Gerbertus **11**, 2018 p. 69-72).

Il calcolo della massa d'aria

Infine due parole sulle masse d'aria.

Per definizione sulla nostra testa allo zenit, al livello del mare, abbiamo una massa d'aria.

Poi usiamo il modello di atmosfera piano-parallela fino a 15° sull'orizzonte. Cioè approssimiamo l'atmosfera che, come la Terra, è sferica come uno strato orizzontale.

Le masse d'aria che possiamo calcolare semplicemente sono quelle a 90° 1

a 60° 1.15 = $2/\text{radice}(3)$

a 45° 1.41 = $\text{radice}(2)$

a 30° 2

a 15° 3 masse d'aria

poi sotto i 15° faccio un ragionamento di raccordo, "ad hoc", alla teoria di Garstang, che nel 1989 ha valutato pari a 5 le masse d'aria all'orizzonte (altezza= 0°).

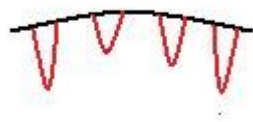
il raccordo tra l'orizzonte e 30° lo faccio con una retta, si chiama "raccordo lineare".

e quindi per passare da 15° 3 masse d'aria a 0° con 5 masse d'aria avro'

a 15° 3 masse d'aria

a 7.5° 4 masse d'aria

a 0° 5 masse d'aria



per tutti i valori intermedi potete usare l'interpolazione lineare.
I valori a 60° , 45° e 30° li potete ottenere studiando le proporzioni tra i lati delle vostre due squadre da disegno, tra l'ipotenusa e il cateto verticale che rappresenta 1 massa d'aria da noi verso lo zenit.

Se avete visto i quadranti proposti dal planetario di Caserta, come facevano gli antichi, suggeriscono di decorarli anche nel lato dietro. ed io vi propongo di preparare una tabella con le masse d'aria corrispondenti ai vari angoli.

Verrà un piccolo capolavoro.

Se poi volete andare ancora più sul dettaglio potete calcolare non solo le masse d'aria ma anche le magnitudini di estinzione per ogni altezza, moltiplicando le masse d'aria per 0.236.

Chi lo farà un voto in più!

Su questo link trovate le mie osservazioni di Betelgeuse (alf Ori sta per alfa Orionis) e SGQ è la mia sigla.

https://www.aavso.org/apps/webobs/results/?star=alf+ori&obscode=SGQ&num_results=200&obs_types=all#

Conclusioni e sviluppi della tecnica

Questo metodo, ad occhio nudo, è particolarmente efficace perché consente di raggiungere una precisione migliore di 0.05 magnitudini con delle osservazioni ad occhio nudo, senza altri strumenti.

Queste osservazioni diventano quasi indispensabili nel caso di stelle molto luminose come Betelgeuse, per le quali le stelle di confronto, se ci sono, possono trovarsi a grande distanza angolare dalla stella in istudio.

Per questo è necessario fare la correzione per le masse d'aria, che normalmente può essere omessa in caso di osservazioni "differenziali" in cui la stella e i riferimenti sono molto vicini tra loro, senza differenza sostanziale di airmass. In altre parole mentre lo studio di una stella

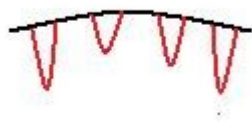


variabile, ad esempio R Leonis verso il suo minimo oltre la magnitudine 9, deve essere fatto confrontando R Leonis con stelle di simile magnitudine ed in 15' ($\frac{1}{4}^\circ$) di campo visivo si trovano almeno 2 o 3 stelle di nona grandezza, per Betelgeuse, che è di prima grandezza, abbiamo altre sette stelle luminose come lei per ciascun emisfero, ossia un campo di vista di 90° di raggio. Da cui la necessità di lavorare con stelle che si trovano anche a grande differenza di altezza tra loro.

Può accadere che si abbia il tempo di aspettare che sia Betelgeuse sia la stella di riferimento raggiungano la stessa altezza sull'orizzonte, oppure -ad altezze diverse- raggiungano la stessa luminosità: sono due tecniche di confronto che si mettono a punto a partire da questo metodo, con l'esperienza. La prima la ho adottata per certificare che Betelgeuse era effettivamente più debole di Beta Geminorum, Polluce, durante il grande minimo del 2020, e la seconda per asseverare il raggiunto massimo di maggio 2020 non essendo possibile trovare stelle di confronto adatte, oltre Polluce, che però era molto più alta di Betelgeuse presso l'orizzonte.



Fig. 1 Quadranti per la misurazione diretta delle masse d'aria progettati dall'autore e realizzati al Liceo Galilei di Pescara a *Science by Night* 2020



Calibrare le osservazioni di variabili brillanti con l'estinzione atmosferica: i casi di Antares e Betelgeuse (2014)

Il contenuto di questo paragrafo è stato preparato per il congresso SIF di Pisa del 2014 quando lavoravo per l'Osservatorio Nacional e UFRJ/Rio de Janeiro. Antares e Betelgeuse sono variabili irregolari di prima grandezza, di cui abbiamo solo tratti discontinui e con grandi errori delle curve di luce. Queste stelle non hanno riferimenti più brillanti vicini ed anche la fotometria d'apertura¹ realizzata su immagini digitali richiede la calibrazione con l'estinzione atmosferica.

Osservazioni ad occhio nudo, comparando le stelle a diverse altezze sull'orizzonte, sono ridotte con i dati sull'estinzione atmosferica in banda V forniti da Stellarium 0.12.4, ottenendo un ottimo accordo con le misure in banda V digitali ed un miglioramento dell'accuratezza delle misure visuali entro 0.05 magnitudini. Molti studenti potranno avvicinarsi allo studio della variabilità stellare anche in città, cominciando proprio con l'osservazione accurata di queste stelle ad occhio nudo. L'uso di videocamere è stato testato con IRIS, Bimo (2020) lo fa per gli smartphones

Misure della variabilità di Delta Scorpis con il satellite SOHO (2014)

Dello stesso periodo in cui ho lavorato all'Osservatorio Nacional e UFRJ/Rio de Janeiro tra il 2011 e il 2014

Delta Scorpis è una gigante di classe spettrale B0 e binaria con periastro ogni 11 anni in cui le atmosfere stellari vengono in contatto. Diverse campagne osservative sono state dedicate alla fotometria e alla spettroscopia di Delta Scorpis a partire dal 2000 quando se ne riconobbe la variabilità da osservazioni ad occhio nudo.

Nei dati di SOHO Delta Scorpis, stella zodiacale che è in congiunzione con il Sole nei giorni finali di Novembre, è visibile nel coronografo LASCO 2.

La calibrazione dei dati che estendono la serie storica di Delta Scorpis fino al 1996, conferma l'andamento già noto ed aggiunge nuovi dati.

Questa esperienza è stata proposta al Laboratorio di Astrofisica della Sapienza cattedra del Prof. De Bernardis, con risultati positivi.

1 Con il software IRIS di Christian Buil, scaricabile dal [zeb](http://zeb.dsi.unipi.it)



Misure in banda R della Nova Centauri 2013 e di R Centauri con la all sky camera dell'Osservatorio di Perth (2014)

Ancora del periodo di lavoro all'Observatorio Nacional e UFRJ/Rio de Janeiro, legata all'esigenza di avere altre osservazioni di raffronto di questa Nova, tra le più brillanti degli ultimi anni. Gli studenti del corso di Laboratorio di Astrofisica della Sapienza hanno potuto seguire la Nova con il metodo suggerito, fin tanto che la webcam di servizio la ha rilevata.

La Nova Centauri 2013, esplosa il 2 dicembre 2013 e la sua luminosità ne ha consentito lo studio della sua fase di declino fino alla magnitudine 6 con i dati della All Sky Camera dell'Osservatorio di Perth nell'Australia Occidentale. R Centauri presenta una differenza V-R di circa 2 magnitudini, e risulta uno degli oggetti più brillanti della regione stellare tra Beta ed Alfa Centauri osservata nella banda R.

Metodi di calibrazione fotometrica e risultati da Gennaio fino a Maggio 2014 sono qui presentati.

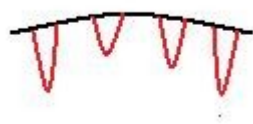
Misure visuali e digitali in banda V di Eta e w Carinae in banda V con immagini digitali e visuali dall'Observatorio Nacional di Rio de Janeiro (2014)

Lavoro svolto in collaborazione con Alexandre Amorim, dell'AAVSO American Association of Variable Stars Observer a Florianopolis, Santa Catarina, Brasile, iniziato durante il mio lavoro a Rio de Janeiro sulla celeberrima Eta Carinae, richiamata nel mio contributo al convegno su Betelgeuse Dimming di Gennaio 2020.

La più famosa variabile irregolare, Eta carinae, già nota come eta Argos e misurata da Halley sin dal 1670 è stata analizzata insieme alla w Car in una serie di osservazioni condotte in Brasile.

Si discute l'andamento della luminosità di Eta Carinae negli ultimi 15 anni in aumento costante, e quello di w Car (V520 Car) comparata solo ai dati della missione Hipparcos/Tycho del 1989-1993. Attualmente la magnitudine della stella è compatibile con il suo valore massimo. La rilevanza statistica delle misure è discussa in dettaglio.

Referenze SIF Pisa Congress 2014; S. Bimo, JAAVSO, **48**, 1-4 (2020)



The partial asteroidal occultation of Betelgeuse on Jan 2, 2012

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO)

submitted and accepted December 29, 2011, upgraded June 4, 2020

Abstract: The asteroid (147857) 2005 UW381 passed over the supergiant star Betelgeuse on January 2nd 2012. The event was visible on a limited geographical region, and the magnitude drop was only 0.01 magnitudes for a maximum duration of 3.6 seconds. The opportunity to measure this phenomenon was interesting for dealing with extrasolar planetary transits.

On the night Dec 11/12, 2023 there will be another occultation of Betelgeuse by a 60km asteroid: (319) Leona.

Riassunto: L'occultazione asteroidale del 2 gennaio 2012 era stata preceduta da questo articolo su *arxiv*, risultato il più letto in astronomia nel Mondo, durante la prima settimana del 2012. Non ho notizie di osservazioni positive di questa evento che presenta le stesse difficoltà di quelle dei transiti di pianeti extrasolari. Nell'osservazione condotta da me a Parigi presso l'Osservatorio a Boulevard Arago nella stanza 101, non ho rilevato variazioni di luminosità entro le incertezze di misura. L'articolo è ristampato in questo volume su Betelgeuse, e riporta alle prime osservazioni del 2011 relative a questa stella.

The occultation:

The data on the partial asteroidal occultation are presented in the image available at the web link

http://www.asteroidoccultation.com/2012_01/0102_147857_29098_Map.gif

We can do the following considerations: assuming that Betelgeuse has a diameter of 31 mas (as indicated in that website) and the asteroid has a diameter of 3 mas.

The ratio between the areas is $(3/31)^2$ and the luminosity of Betelgeuse will be

$[1-(3/31)^2]*100\%=99.06\%$ of its maximum

In terms of magnitude the difference according to the Pogson's law the decrease of the magnitude of the star will be

$2.5 \cdot \log(0.9906) = -0.0102$ magnitudes



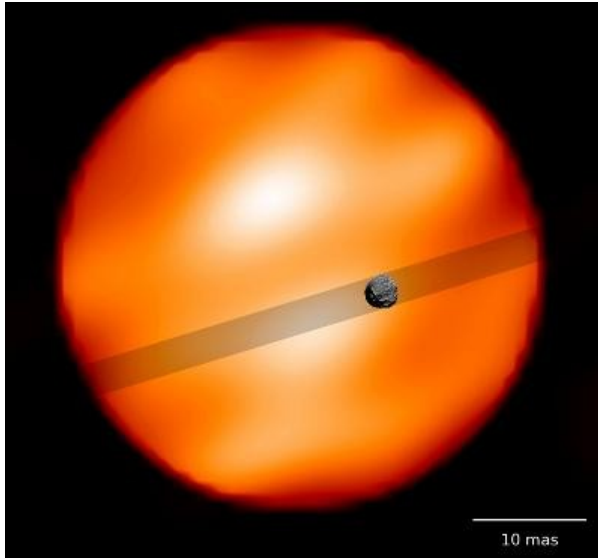


Fig. 1 A sketch of the phenomenon made by Alfons Gabel (IOTA/ES).

The extension of the stellar atmosphere stellar could be measured by timing that passage from different locations along the predicted path of visibility of that transit.

Since the occulting asteroid has a parallax of $4.648''$ it means that this is the Earth's radius seen from its position. The following equivalence $1.37 \text{ km} = 1 \text{ mas}$ implies that the 31 mas diameter of Betelgeuse corresponds to 42.5 km on Earth, where the asteroid appears over the disk, plus 4.1 km North and 4.1 km South of the central path, where the asteroid is grazing the star's disk.

The locations of the central path, with Northern and Southern limits are plotted on the website of IOTA/ES

http://www.asteroidoccultation.com/2012_01/0102_147857_29098_Summary.txt



The Star

Betelgeuse is the alpha of Orion. The angular diameter is the largest observed for a star, and it is the first star of which some surface's details have been observed.

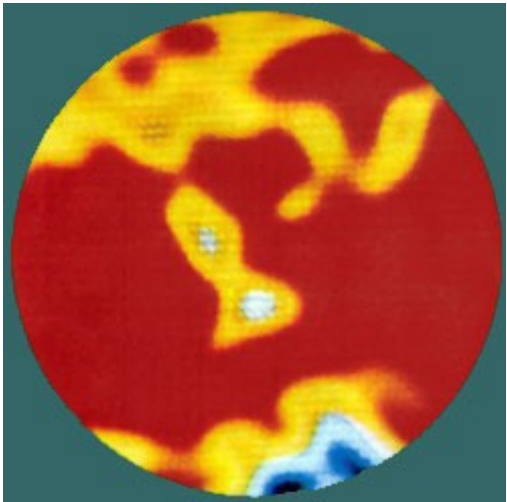


Fig. 2 With the speckle interferometry technique the surface of Betelgeuse has been inspected at the Kitt Peak Observatory.

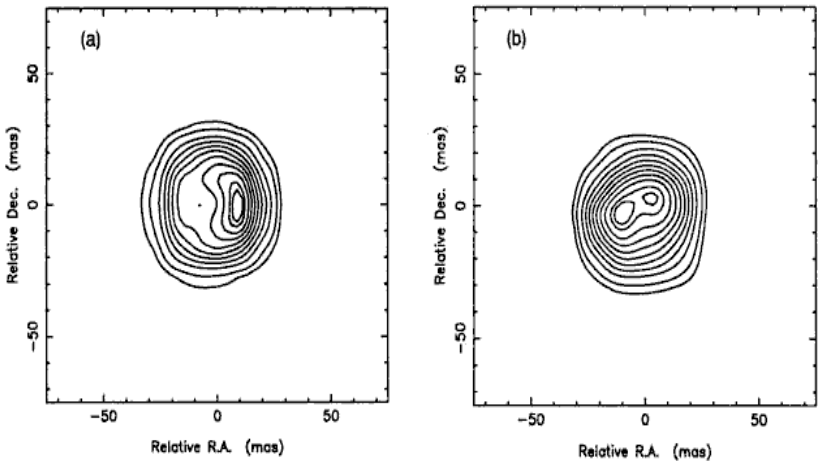


Fig. 3 Betelgeuse at the William Herschel 4.2 m Telescope – Ground-based High Resolution Imaging Laboratory (La Palma), from [1]. Left (a): reconstruction of Betelgeuse with Maximum Entropy Method at 710 nm in February 1989 and Right (b): in January 1991.

Contours are 5, 10, 20... 90, 95 of the peak intensity.

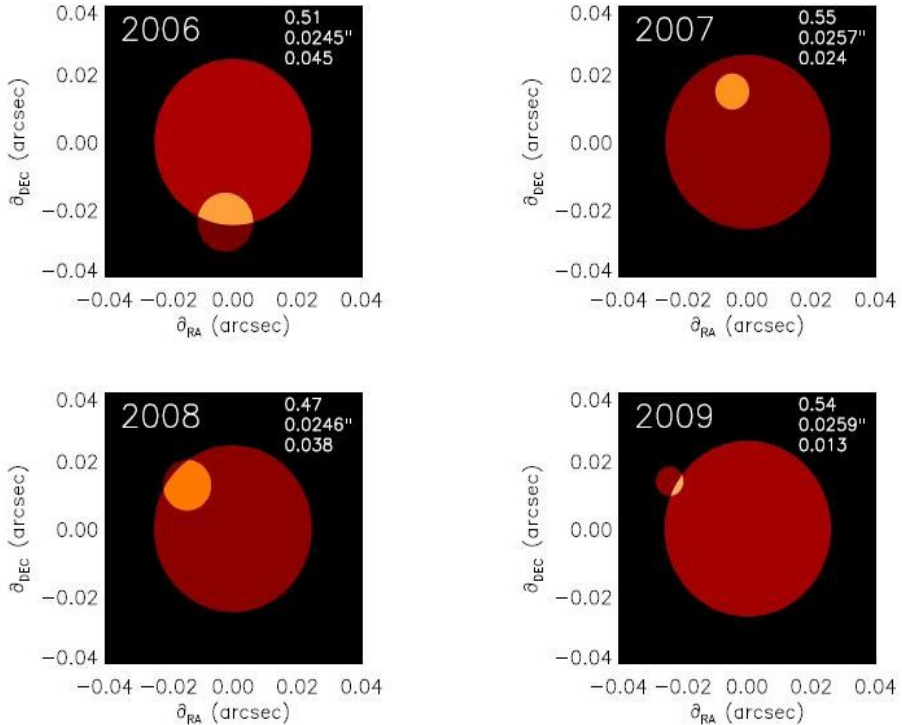


Fig. 4 Image from the paper “The many faces of Betelgeuse”. [2] A geometrical model for an hot spot, calculated from different measures made on Betelgeuse at the Berkeley Infrared Space Interferometer of 11.15 μ m in 2006, 2007, 2008 and 2009. Each figure includes the fit parameters; the fraction of the total flux from the star, the stella radius in arcseconds, and the fraction of the total flux from the point. The point sources have been give the uniform disk sizes that they would have if they represented regions at a temperature of 7200 K. The upper limit on the



point source diameter is 20 mas.

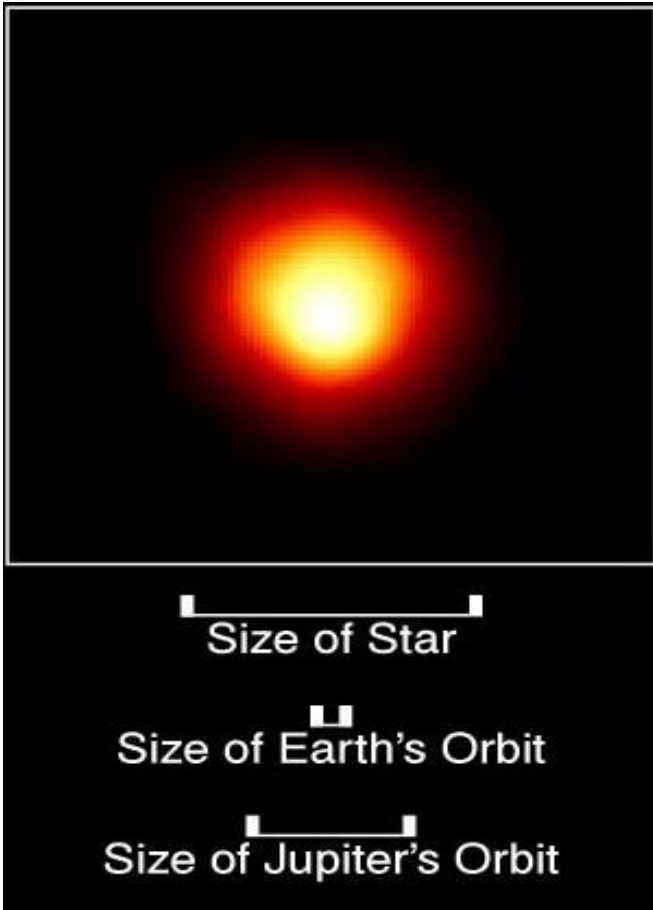


Fig. 5 The angular diameter of Betelgeuse with the Hubble Space Telescope.[3]

In the UV the stellar disk at 255 nm is 2.5 times larger than in visible light. The atmosphere of that supergiant star is as large as 125 mas. Already Michelson and Pease [4] considered the limb darkening reducing the measured diameter.



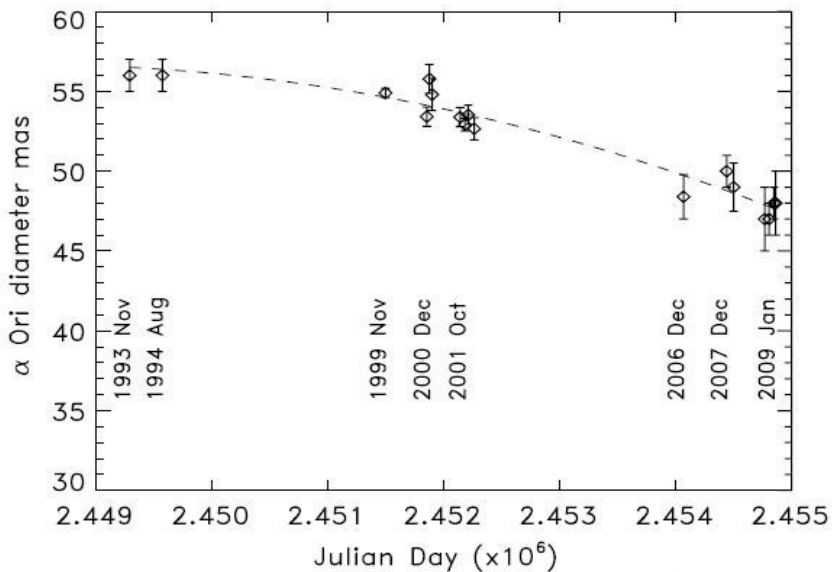


Fig. 6 The diameter of α Orionis measured at $11.15\mu\text{m}$ by the Betelgeuse at the Berkeley ISI Infrared Space Interferometer over 15 years. Values previously published are quoted in Townes et al., [5] were this figure has been taken. The dashed line is a quadratic fit to the data.

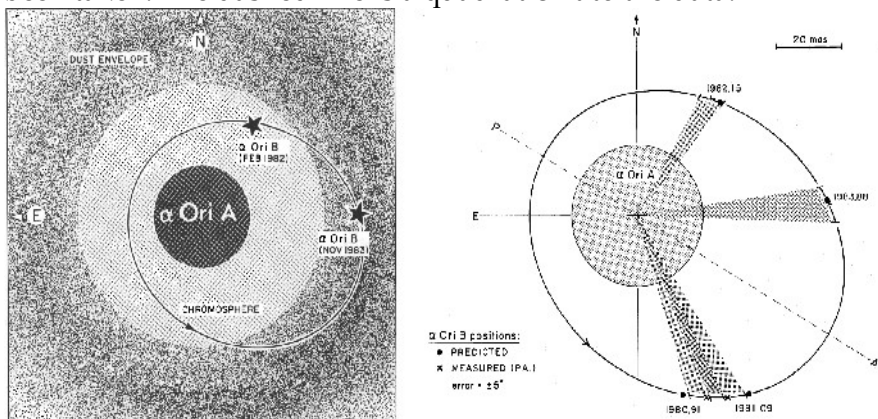


Fig. 7 The multiple system of Betelgeuse, with its extended chromospheres and the dust envelope around the star, from [8].



The variability

Betelgeuse is known as an irregular variable star. Stebbins [7] found in 1931 a 5.781 years period of luminosity fluctuation in the B band. This phenomenon has been reconsidered during the increment of luminosity occurred in December 1983 - February 1984.[8]

Changing of luminosity of 0.1 magnitudes occurred over a month are reported by several authors, and differential photometry has been carried on Betelgeuse compared with Gamma and Phi-2 Ori.[9]

Now the AAVSO website www.aavso.org gathers observations of Betelgeuse made worldwide by amateur astronomers.

Addendum and upgrade 2020

This paper is an historical introduction to the present studies on Betelgeuse, fostered by the historical dimming occurred between end 2019 and February 2020. The geometry of Betelgeuse A and B helps to understand the variation of luminosity of the star for the long period near 6 years, while the spots dynamics of figure 4 enlighten the shorter period of 1.2 years. In the following figure 8, the evidence of V-shaped minima is clear along 9000 days, nearly 25 years, as well as the lack of clear maxima. The right bottom logo of this volume suggests how to explain the light curve of Betelgeuse, supported by better and denser data in 2012-2020.

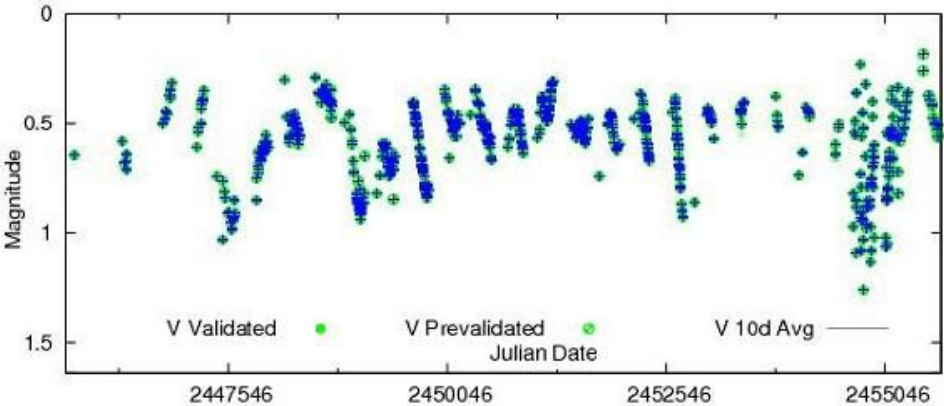


Fig. 8 The luminosity of Betelgeuse in V band, from AAVSO data.



References:

- [1] Wilson, R. V., et al., Mon. Not. R. Astron. Soc. **257**, 369 (1992).
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1992MNRAS.257..369W>
- [2] Ravi et al., arXiv 1012.0377 (2010). <http://arxiv.org/abs/1012.0377>
- [3] Gilliland & Dupree, Astrophysical Journal Letters, **463**, L29 (1996).
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1996ApJ...463L..29G>
- [4] Michelson & Pease, Astrophysical Journal, **53**, 249-259 (1921).
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1921ApJ....53..249M>
- [5] Townes et al., Astrophysical Journal **697**, 1127 (2009).
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2009ApJ...697L.127T>
- [6] Stebbins & Huffer, Pub. of the Washburn Obs. of Univ. of Wisconsin, **15**, 177 (1931).
- [7] Dupree et al., <http://adsabs.harvard.edu/abs/1984NASCP2349..462D> (1984). [8] Karovska, Nisenson & Noyes, Astrophysical Journal, 308, 260-269 (1986). <http://adsabs.harvard.edu/abs/1986ApJ...308..260K>
- [9] Krisciunas & Fisher, IBVS 3227 (1988).
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1988IBVS.3227....1K>



Betelgeuse at the end of 2019: an historical minimum about to end

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO)

submitted and accepted December 29, 2019

Abstract The semi-regular variable star Betelgeuse is undergoing an historical minimum of its brightness. An 8 year series of visual and V-band CCD observations started at the end of 2011 is presented and discussed. Visual methods for comparing magnitudes of angularly distant stars, and performing a differential photometry, needed for such a bright star, are also presented.

Riassunto Il 5 dicembre del 2019 avevo pubblicato nel database di AAVSO dalla postazione dell'Università Regina Apostolorum insieme al segretario, una delle poche osservazioni possibili di Betelgeuse durante l'autunno del 2019, particolarmente piovoso e nuvoloso a Roma. La stella era scesa sotto 1.1 di magnitudine visuale. Subito dopo l'8 dicembre Edward Guinan con un telegramma alla comunità degli astronomi (ATel), annunciava la diminuzione record della luminosità di Betelgeuse, rispetto agli ultimi 100 anni, basandosi su osservazioni analoghe. A ottobre 2019 la stella era a 0.30 il 2 e il 13, 0.65 il 31 e 0.70 il 7 novembre, poi nuvoloso fino al 4 dicembre con la stella a 1.10. L'intento di questo articolo, pubblicato su arxiv il 1 gennaio 2020, e sottomesso il 29 dicembre precedente, era quello di mostrare alla comunità internazionale le osservazioni visuali condotte da me per otto anni, e in parallelo quelle in banda V di Wolfgang Vollmann distribuite sullo stesso periodo di tempo. Lasciando, con cavalleria, il campo degli ATel a Guinan, che studia da 40 anni Betelgeuse. Successivamente, Guinan ha continuato ad aggiornare la comunità degli astronomi con altri ATel, e con un articolo a molte firme, su *Astronomical Journal*, ma le molte firme, insieme con le leggi del mercato delle notizie, hanno fatto sì che un giusto velo di mistero sui dati in arrivo dalla stella lasciato dai ricercatori, che pur erano a conoscenza della natura variabile di Betelgeuse, fornisse la sponda ad un battage pubblicitario sull'imminente esplosione di Betelgeuse come Supernova e come emettitrice di onde gravitazionali, cose che fisicamente non sono collegabili ad una diminuzione di luminosità in 3 mesi di tempo, ma al più in 30 minuti come spiega la teoria del collasso gravitazionale. Questa situazione mi ha spinto ad entrare in campo con questo articolo e poi con un ATel il 31 marzo, quando ormai l'interesse verso la *mancata supernova* era svanito dai media, per mostrare invece che la stella stava recuperando altrettanto rapidamente la sua luminosità originale, notizia che pure gli astronomi potevano ricavare dal database AAVSO a cui ho continuato a contribuire, ma che diventava sempre più difficile misurare con strumenti professionali visto che la stella si avvicinava sempre più all'orizzonte e al Sole. **About to end** relativamente al minimo di luminosità è stato scritto nel titolo a fine dicembre 2019



proprio per sottolineare che **la stella è variabile e dopo un minimo ritorna al massimo**. La natura di variabile semiregolare con cui la stella è classificata lascia intendere, al profano, che non si conosca bene il suo andamento, che ci sia una sorta di imprevedibilità. Tuttavia se a fine dicembre 2019 la stella era ad una luminosità tra 1.25 e 1.31 mai registrata prima (due secoli sono ben poca cosa per una stella) il tempo del minimo era facilmente prevedibile sulla base della periodicità precedente: entro febbraio 2020, cosa che ho scritto in questo articolo. Si può fare scienza anche con dati presi ad occhio nudo, ma interpretati *cum grano salis*, questa è l'idea che viene fuori da questo articolo e da tutto il volume. L'algoritmo per il trattamento dei dati visuali che porta alla precisione di 0.01 magnitudini rinforza questa idea, perché una stella può essere confrontata con le altre in varie configurazioni geometriche a diverse altezze sull'orizzonte durante la notte, ognuna di queste determinazioni è indipendente dall'altra e un sistema tra loro porta ad una nuvola di dati attorno al valore più probabile con dispersioni di 0.01 magnitudini. Sulla scorta di queste osservazioni visuali e di osservazioni digitali condotte con la stessa cura (airmass correction) ho potuto entrare nel discorso della comunità scientifica internazionale per dire la mia. Sul piano didattico ho cercato di coinvolgere il maggior numero di studenti possibile sia a scuola, che all'Università, sia per renderli partecipi di un evento raro e *coram populo* come la diminuzione di luminosità della stella Alfa di Orione di un'intera magnitudine, sia per mostrare loro come gli strumenti di analisi dati più elementari che si apprendono nel laboratorio di fisica restano validi a tutti gli effetti anche con dati astrofisici, che oltre a provenire da database possono essere ottenuti anche personalmente. Questo articolo ha sostanziato il programma del meeting del 17 gennaio 2020 all'ICRANet di Pescara con ospiti da tutto il Mondo, infatti il feedback che ho ricevuto dalla pubblicazione su *arxiv* mi ha permesso di creare il programma di questo convegno con personalità a livello internazionale come Margarita Karovska della Harvard Center for Astrophysics che mi aveva scritto per commentare l'articolo su *arxiv*; Paolo Ochner, Cesare Barbieri e Massimo Turatto dell'Università di Padova e Osservatorio di Asiago, a cui ho anche chiesto spettri della luce di Betelgeuse durante il minimo; Stella Kafka direttrice dell'AAVSO. Questo volume è interamente dedicato a Betelgeuse, come proceedings di questo convegno, a coronamento di 8 anni di osservazioni dedicate.

Introduction

The star named Betelgeuse, the alpha of Orion, is a semi-regular variable star, supergiant. Its variability was presumably known since the antiquity (Wilk, 1999), but Sir John Herschel is the first to point out its variability in modern time (1840). Allen (1899) reports that in 1852 it began the brightest star of the Northern hemisphere. Helen L. Thomas (1948), conversely, affirmed that stellar variability was not a concern of antiquity.



A survey of nearly 600 visual observations of Betelgeuse was started on December 2011 by the author as SGQ AAVSO observer, and it has been paralleled by Wolfgang Vollman, VOL AAVSO contributor, from Austria, with V-band DSLR CCD differential photometry, with an uncertainty around 6 millimag (4-15 the range).

In this figure, obtained by the AAVSO database, the orange crosses are SGQ data, and the green square the V-band VOL data on Betelgeuse from 26/12/2011 to 28/12/2019.

The agreement between SGQ visual data and VOL V-band digital data is generally very good, especially in the years 2013-2016 and 2019. Some departures appear in the beginning of the seasons of observability 2017, 2018 and 2019, when the star is low East in early morning in September 2016, August 2017, September 2018. Conversely good visual observations have been made low West in May 2018 and December 2019.

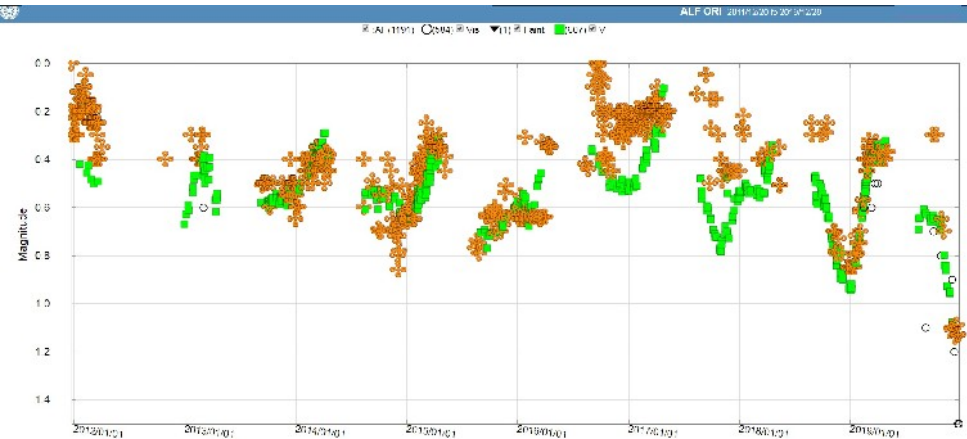


Fig. 1 This plot extended over 8 whole years is visible the sequence of minima around 1.2 years, especially the three last ones.

The present minimum, according to the previous measurements is about to end. This shorter period is consistent with the 425 days one mentioned by Guinan et al. (Atel 13365, 2019) or the 423 days reported in the



International Variable Star Index [VSX](#) .

For the other period of 5.9 years our database is not long enough to show its evidence strongly, but other wider analyses (Karovska, 1987) are statistically enough strong to show *five statistically significant peaks in the frequency spectrum at 1.05 years, 5.7 years, 6.5 years, 8.8 years, and 20.5 years, indicating multiple periods* (quoted by S. R. Wilk, 1999).

The previous extremal values reported by Janet Mattei (1999) of 0.4 and 1.3 magnitude, have to be changed to at least 0.1 (8 to 25 april 2017) to 1.3 (end of December 2019).

Observing Betelgeuse

To encourage the observations of Betelgeuse I have developed a colored quadrant to perform height measurements, in order to get the airmass through which the star and its comparison stars are observed, and the corresponding dimming in magnitudes. For Rome I used the relationship magnitude-airmass obtained with the Sun at different altitudes of 0.236 magnitudes/airmass. The quadrant is in the following figure: at the convergence of the lines a plumb is suspended; the sighting line is the right vertical one from bottom to up.

A web application like stellarium web (set for the observer's location) can be used to evaluate the altitudes at the moment of the observations.

Purkinje effect

The human eye in scotopic vision (during the night) is more sensitive to the blue end of the spectrum with respect to the red one. This can be important dealing with red stars, even if Betelgeuse is a very brilliant one. For Betelgeuse and for my 50 years-old eyes, I do not consider induced variations of magnitude, excepted the aforementioned effects at the beginning of the last observational years with the star low East before dusk.

Electronic worksheet for compute the real magnitude



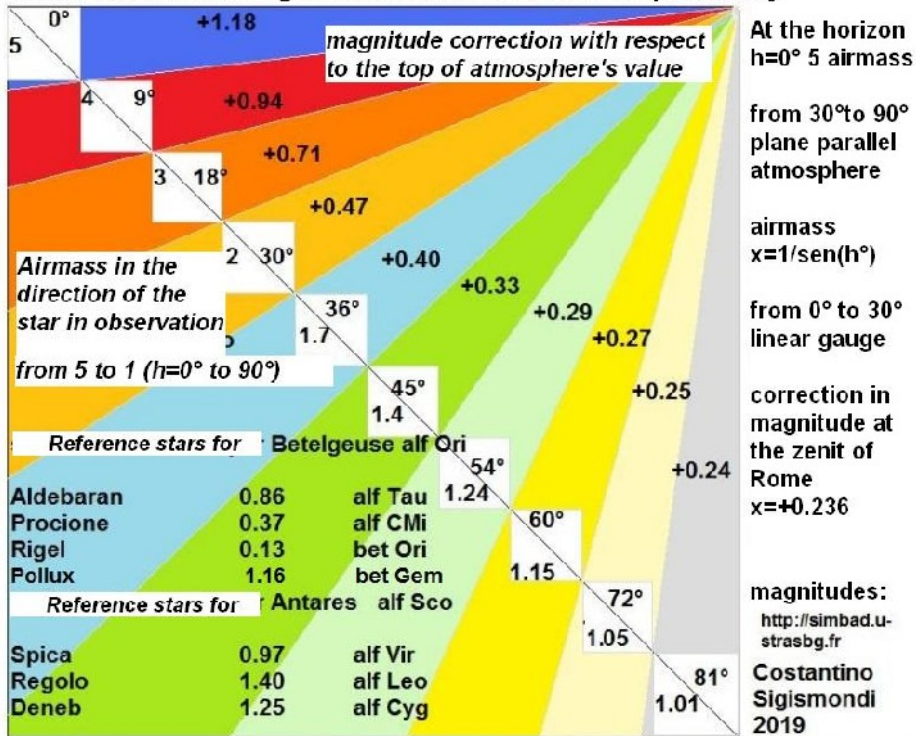
It is convenient to set up a worksheet to computed the real magnitude after the perceived one and the comparison star data.

The order of the columns can be the following, with the entries' example of 23 december 2019.

date	time UTC	bet Gem h[°]	air mass	+delta mag	perc eived	alf Ori h[°]	air mass	+delta mag	perc eived	real	notes
23-dic	23:58	65	1,103	0,260	1,42	55	1,22	0,287	1,420	1,13	Argentina

The airmass is calculated with the cosecant law $1/\sin(h^\circ)$. The magnitude per airmass is 0.236 for Rome 65 m above sea level. The perceived magnitude of the reference star is the SIMBAD value + delta mag=airmass $\times$ 0.236. The perceived magnitude of Betelgeuse is the one obtained by the various comparisons and the Argelander's method. The real magnitude is the perceived, minus the delta mag for Betelgeuse's altitude.

Graduated Quadrant for magnitude correction for differential photometry



Theories come and go, a good observation stands forever

[Harlow Shapley]

Conclusions

The opportunity given by this prominent minimum of Betelgeuse occurred in December 2019 to consider the stellar variability to the large public, can be exploited by showing how to perform accurate observations of its photometry, with the unaided eye, up to a few hundredths of magnitude of precision. If the comparisons stars are two, the estimated magnitude of Betelgeuse will be the average of the two estimates, and their semi-difference is a direct estimate of the accuracy of our visual measurement. According to one of the periodicities of Betelgeuse of 1.2 years, we can expect this deep minimum ending, at maximum in February 2020.

References

- C. Sigismondi, W. Vollmann, et al., *Stars scintillation and sky transparency in Rome from the observations of Angelo Secchi and AAVSO -SGQ and VOL data on α Ori*, Marcel Grossmann Meeting XV (2018) online abstract
- E. S. Guinan, et al. ATel 13341 (2019)
- E. S. Guinan, et al, ATel 13365 (2019)
- Karovska, M. 1987, "Stellar Pulsation; Proceedings of the Conference held as a Memorial to John P. Cox", at the Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, Aug. 11-15, 1986. Lecture Notes in Physics, Vol. 274, edited by A. N. Cox, W. M. Sparks, and S. G. Starrfield. Springer-Verlag, Berlin, 1987., p.260
- S. R. Wilk, *FURTHER MYTHOLOGICAL EVIDENCE FOR ANCIENT KNOWLEDGE OF VARIABLE STARS*, JAAVSO Volume 27, p. 171-174 (1999) 3
- VSX: Details for α Ori <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=24710>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_effect
- C. Sigismondi, *The partial asteroidal occultation of Betelgeuse on Jan 2, 2012* <https://arxiv.org/abs/1112.6398> (2011)



Betelgeuse 2020 dimming: getting the minimum

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO)
submitted and accepted January 20, 2020

Abstract

The historical minimum of the red supergiant Betelgeuse (alf Ori) is occurring in 2020 January-February. The predictions based on parabola fitting (with pre-minimum data) show a minimum on 28 January ± 4 days, as from simple parabolic fit of V band (29 ± 5 Jan) and Visual data (22 ± 9 Jan). It has been a negative interference, a beat, of some major variability periods of the star, and the 425 days periodicity completes a cycle on February 29 after the previous minimum of 1st Jan 2019.

After the minimum its instant has been evaluated between 7 and 13 February 2020 (Guinan, et al. 2020). These analyses are presented after an introduction to Betelgeuse Fourier analysis and AAVSO multispectral database; a brief discussion of pre-Supernova stages and free fall timescales; the future problem of Galactic Supernova classification with professional instruments, and the utility of amateurs observations (citizen science) and measurements.

The Fourier analysis of Betelgeuse as in Karovska (1987)

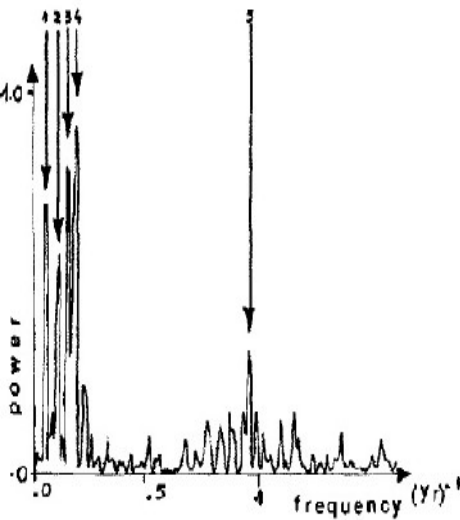


Fig 1 - Power spectrum obtained as a result of Fourier analysis of the AAVSO data.

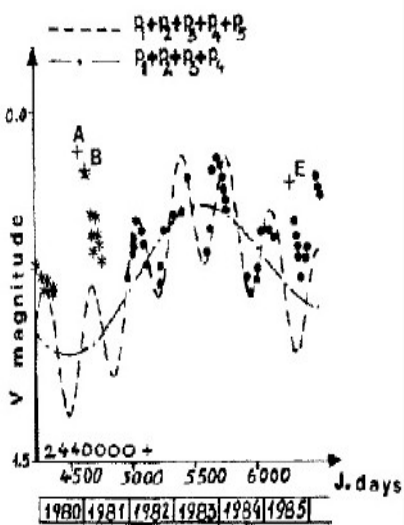


Fig 2 - Measurements of α Ori visual magnitude by Krisciunas (stars) and Guinan (dots), Guinan (1986).



This Fourier analysis has been based on AAVSO data, as reported in the original paper of M. Karovska, with special data treatment to reduce the unavoidable noise of variable stars data due also to the yearly limitation due to Sun proximity. Incidentally the observer E. F. Guinan is the co-author of the Astronomer's telegrams about Betelgeuse fainting mo. 13341 and 13365 (2019), he observed it at least since 40 years!

The period indicated with number 5 in the power spectrum, corresponds to the well visible main period of Betelgeuse oscillation around 425 days (also in Sigismondi, 2019 with SGQ/AAVSO visual data and VOL/AAVSO V-band data discussed, as in the present work).

The combination of the various periods suggests the possibility that the present minimum is a negative interference of all main periods. Moreover the main oscillating period of 425 days is going to have its minimum around February 29 2020, when checking the previous oscillations of the last 8 years (see Sigismondi, 2019).

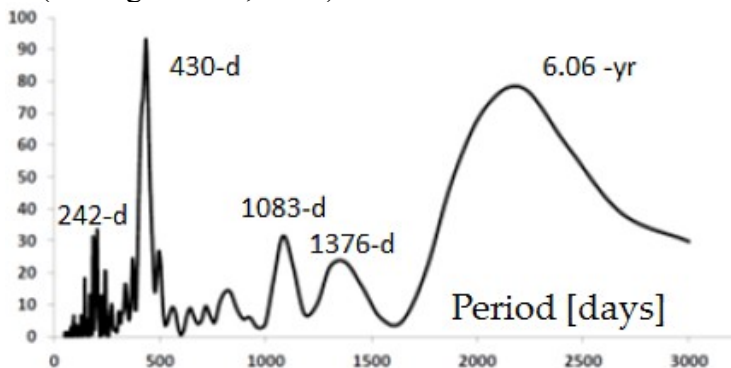


Fig. 3 Betelgeuse 23-years Fourier analysis of visual data: relative power.

The role of the dust ejections

Betelgeuse is the brightest IR star of our sky. The dust in such waveband is well visible and the observation in such wavelengths can explain better the present situation of the star, and the past brightening.

The light scattered toward us from a dust ejection far from our line of sight can enhance the luminosity of the star (figures 3 of Karovska 1987), while the dust interposing in the line of sight dims the light of the star, as it can occur now. This can be one of the physical concurrent causes of the present



very deep dimming.

Karovska (2020, Betelgeuse Dimming meeting) suggest to study as analog cases R Aqr and CH Cyg light curves. Sigismondi (2020, Betelgeuse Dimming meeting) recalled the case of Eta Carinae dust ejections, which determined its dimming down to 8th magnitude (1900-1940) and recovering to 4th magnitude as it is now after a bright outburst of 1843 when it reached negative magnitudes, brighter than Canopus.

The free fall time and stellar photosphere; the pre Supernova-stages

In the physics of gravitational collapse, when the thermal energy arising from the stellar nucleus does not sustain any more the mass, the gravity force prevails and the collapse starts.

The typical time scale of such event is of the order of 30-60 minutes for a nucleus of more than 10 solar masses, as the one of the red supergiant Betelgeuse is.

This time scale has nothing to do with the two months dimming ongoing with Betelgeuse.

The red supergiant extends its atmosphere up to 900 solar radii, the density of such stellar object is extremely low, out of its nucleus where the Helium burning occurs. Associating this dimming with a nuclear collapse is not physically reliable, again for typical physical timescales of nuclear free fall with respect to stellar atmosphere response.

Moreover the only one Supernova of which we know its pre-Supernova stage is SN 1987A: the progenitor star was Sanduleak -69 202 a blue supergiant star of visual magnitude 12.

1987A reached at maximum, after 23 february 1987 23 UT, visual magnitude 2.8, with a rise of 9 magnitudes.

The problem of Galactic Supernova classification

When a “local” Supernova would explode, it will reach negative magnitudes, putting in problem the saturation of most professional instruments.

Spectra of Betelgeuse taken at its minimum in January 2020 with T122 Galileo Netwonian telescope of Asiago, require diafragming the main mirror with a mechanical iris to $\frac{1}{4}$ of its 122 cm of diameter.



A negative magnitude with a rising of 9-10 magnitudes from a naked eye visible star is corresponding to an increase in flux of 10000 times. Therefore a corresponding reduction of the collecting area is needed, and in diameter the ratio is 100 times.

This is not possible with professional instruments of the 1-m class, ad above. Small instruments can perform appropriate spectroscopy: Paolo Ochner (2020) of Asiago Observatory (Italy) says that the next Galactic Supernova will be classified by amateur astronomers!

The minimum of Betelgeuse from visual SGQ and V-band VOL , AAVSO data

The visual data of the last 180 days of Betelgeuse light curve (August 2019 to January 2020) have been separated between visual SGQ (C. Sigismondi) and V-Band VOL (Wolfgang Vollmann) and fitted to a parabola.

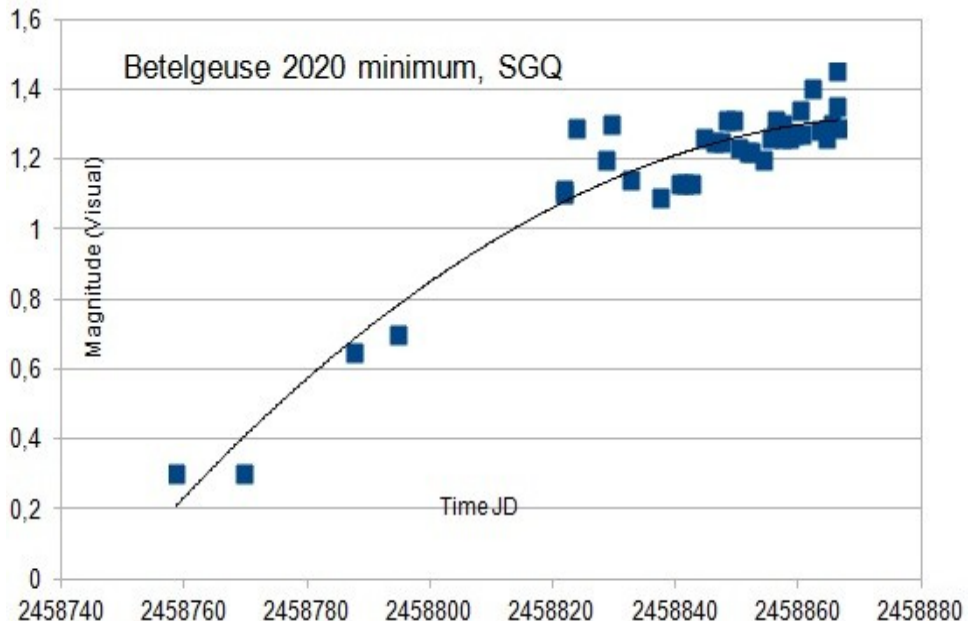


Fig. 4 The maximum magnitude (minimum flux) corresponds to Jan 22 $\pm$ 9 days. For the V-Band data from DSLR images and with the pipeline for data analysis as in (Vollmann, 2013) the result is the following: maximum



magnitude on 29 ± 5 days.

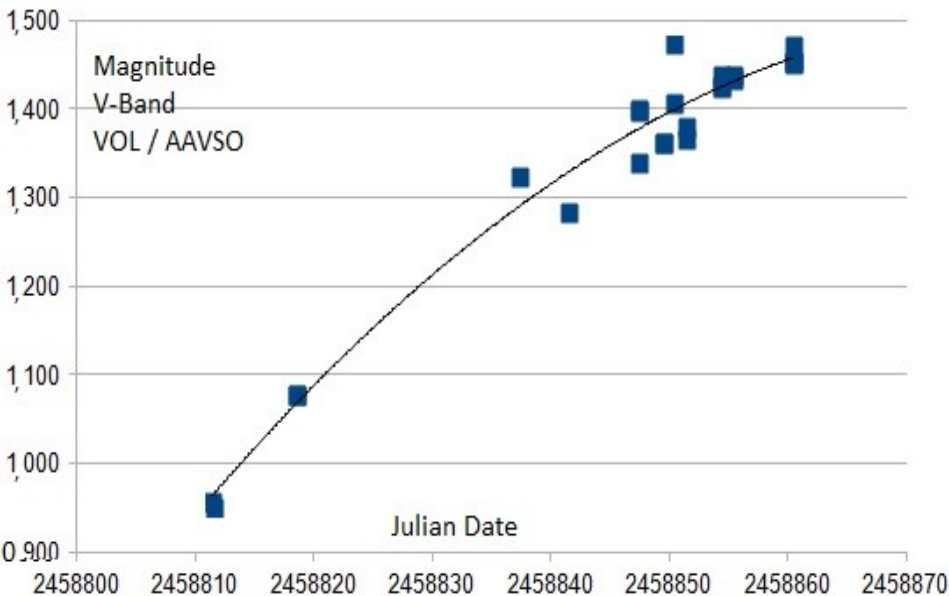


Fig. 5 V-band observations of W. Vollmann.

Beyond the slightly different bandwidth (vis vs Johnson V-band) the two datasets adopt slightly different magnitude per airmass: 0.20 for VOL and 0.236 for SGQ, due to different heights above sea level (170 m for VOL, Vienna (Wien) and 0 to 60 for SGQ, Rome and Pescara (0 level)).

Grouping the data of the same day has been done to appreciate the errorbar of the single observations, which can be affected also by invisible clouds (Vollmann 2013 and Sigismondi 2016 who claimed a first magnitude outburst of Del Sco+ Steele 2016 who did not confirm it, this was an effect of an invisible veiling cloud over the comparison stars).

The accuracy of visual data has been estimated on Jan 17 in three different observations by me in Pescara: at local 18:18; 19:35 and 20:35, with Betelgeuse and Pollux at different angular altitudes, from low (20°-30°) with haze to almost meridian value (50°-60°) without haze.

The value of 1.36 ± 0.08 shows the standard deviation of 0.08 magnitudes, which has to be considered as the maximum errorbar of these visual



observations, since the proximity to the sea of Pescara allows heavy evening hazes.

Also the data of Wolfgang Vollmann present three data points for the 11 January (the last available on 20 Jan) and I use them to evaluate their standard deviation: $V = 1.458 \pm 0.011$

My visual data are affected by a larger error than the VOL-digital ones, and this is reflected in the uncertainty on the maximum dates. The weighted average of the two independent datasets is January 28, 2020 ± 4.3 days for the minimum, occurring with 1 month of advance with respect to the average period of 425 days. The previous minima were separated by 325 days and 428 days, then the fluctuation of such periods can be significant and a study like the one of Eddington and Plakidis (1929) realized on Mira can be worth.

References

Karovska, M., Lecture Notes in Physics, **274**, 260 (1987)

Sigismondi, C. 2019, Betelgeuse at the end of 2019: an historical minimum about to end <https://arxiv.org/abs/1912.12539>

https://en.wikipedia.org/wiki/Sanduleak_-69_202

Ochner, P., 2020, Galactic SN classification, in Betelgeuse dimmin: the state of the star, International Workshop, ICRANet Pescara, 17 Jan 2020.

Vollmann, W. 2013, Betelgeuse und Mintaka, BAV Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. <https://www.bav-astro.de/rb/rb2013-2/101.pdf>

C. Sigismondi 2016 <http://www.astronomerstelegam.org/?read=8618>

I. Steele 2016 <http://www.astronomerstelegam.org/?read=8619>

C. Sigismondi (chair) 17 January 2020 Betelgeuse Dimming Workshop, ICRANet Pescara

<http://www.icranet.org/index.php?>

[option=com_content&task=view&id=1281&Itemid=364](http://www.icranet.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1281&Itemid=364)

A. S. Eddington and L. Plakidis, 1929, Irregularities of period of long-period variable stars, MNRAS, 90, 65

Fig. 3 from 1995-2018 photometry, credits: Peranso.

https://en.wikipedia.org/wiki/Eta_Carinae



Fall and raise of Betelgeuse in 2020

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO*)

submitted April 13, 2020 and accepted April 15, 2020

Abstract The minimum of Betelgeuse in February 2020 received very much attention by the media, well beyond the astronomer's community, because many have used, improperly, the argument of supernova to deal with this phase of the light curve of the star. As a theoretical astrophysicist, member of the International Center for Relativistic Astrophysics and AAVSO member for the community of variable stars observers I decided to participate to the debate about Betelgeuse in early 2020 either on the media side, by criticizing some choices of communication, either on the observative side, by contributing with accurate visual observations rooted strongly on a long tradition of accuracy. Betelgeuse has been in my observative program since December 2011, mainly because it was always accessible from Northern and Southern hemisphere, and from large cities, light-polluted environments, where I leaved and studied (Roma, Paris and Rio de Janeiro). The novelty of the paper, after an autobiographical introduction, is the rapid recovering of the maximum luminosity of Betelgeuse, already verified in the first decade of April 2020, only about 40 days after the historical deep minimum of February.

Riassunto

Dopo il profondo minimo di Febbraio 2020, quando Betelgeuse è sceso alla magnitudine 1.45 visuale, la stella ha recuperato rapidamente luminosità e per la fine di marzo – inizio aprile è ritornata alla magnitudine usuale di 0.45. Con un Astronomer's Telegram del 31 marzo avevo comunicato che la velocità di risalita della luminosità era alta, e avevo anche fornito un modello predittivo di tipo “cinematico”, e cioè se questa sarà la velocità massima, la luminosità massima sarà attorno alla magnitudine 0.4. Si tratta di una previsione “cinematica” perché non entra nessun modello astrofisico o geometrico: soltanto un modello armonico di oscillazione, cioè un'oscillazione avviene tra due estremi ai quali la velocità di cambiamento (in questo caso della luminosità) si azzera; a metà tra gli estremi la velocità è massima. Poiché il 31 marzo la velocità di cambiamento era già attorno a 0.02 magnitudini/dì, e la luminosità valeva 0.90, si poteva pensare -per la ragione suddetta- che questo fosse il valore intermedio della luminosità e 0.4 potesse essere il successivo massimo. Questo modello predittivo, contenuto nell'ATel, non svelato neppure in questo articolo uscito nella ICRANet newsletter, a fine maggio 2020 sembra confermato dai dati che ho continuato a prendere sulla luminosità di Betelgeuse, che si è attestata attorno a 0.5.

Nell'articolo richiamo la storia delle mie osservazioni di stelle variabili, che dal 1997 a oggi sono quasi 2400, in cui inquadro le quasi 700 dedicate a Betelgeuse dal 2011, ed anche il meeting internazionale organizzato per il 17 gennaio 2020 all'ICRANet di Pescara



Introduction

Betelgeuse, the supergiant star alpha of Orion is a semi-regular variable star, ranging normally between 0 and 0.9 magnitude. In 2019/2020 it reached a visual minimum of 1.45 mag around 11th february, and by 12th april it is already at mag 0.45.

The attention of the astronomical world on this phenomenon was relevant, but none of the media dedicated were able to evidence the unproper quoting of a supposed pre-supernova stage.

A meeting on January 17th in Pescara ICRANet seat was organized to comment these news and the last observations show a rapid restoring of the usual luminosity of the star.

Visual observations of Variable stars since 1997 with Mira Ceti:

On December 6th 2019, after more than one month of cloudy nights over Rome, Betelgeuse was estimated by me as 1.1 visual magnitude, getting the lowest value of AAVSO records. AAVSO is the American Association of variable Stars Observers and it has thousands affiliated.

During a science visit as ICRA member in Fermilab and ESO/Chile in 1999 I had the first possibility to observe Eta Carinae, the supergiant star that had a outburst in 1843, to negative magnitude, becoming the second star of the night sky, only inferior to Sirius and Canopus. This observation was done in Santiago de Chile at ESO headquarters where I gave a talk on Fermions in the Early Universe, the subject of my first PhD, and it was the occasion to become an AAVSO contributing observer, with the code SGQ. The enrollement on the internet was done in the bureaus of prof. Teitelboim, I was visiting.

In the same year, 1999, in July when the Nova Aquilae 1999 was measured from Pescara ICRANet seat, we obtained an acknowledging diploma from Janet Mattei, the former director of AAVSO, untimely dead in 2004. My research project in variable stars begun in 1997 with my history of science studies about the Bethlehem star, made for the master's degree in Theology at Lateran University (Rome, 1998). I explored the hypothesis that Mira Ceti could have been that star.

Mira is close to the position where in the year 6-7 b.C. Jupiter and Saturn



had the triple conjunction calculated already from Kepler in 1611. Kepler added that this conjunction could have been the cause of the new star, which should have been the Bethlehem star. The connection between Mira and the Bethlehem star was possible because of my series of observations of Mira in 1997, made for understanding the appearance of a variable star, and the method of observing with naked eyes (Argelander's method and airmass correction). This is for presenting my 23-years experience in observing variable stars.

In Marcel Grossmann Meeting XIV of 2015 and XV of 2018 I have presented two talks dedicated to 1) to the first 1000 observations 2) to Betelgeuse visual observations compared to V-band digital data realized in Wien by Wolfgang Vollmann for the same time period: from 2011.

The historical minimum of 2020

On december 8th E. Guinan of Villanova University started a series of Astronomer's Telegrams dedicated to the unusual fading of Betelgeuse. I attended the 29th of december 2019 to prepare a communication to arxiv.org appeared on January 1st 2020, dealing with the Historical minimum of Betelgeuse, about to end. The date of the minimum was predicted "by february" simply by analyzing the last 8 years of homogeneous observations made by me and Vollmann (SGQ and VOL) already published in MGM XIV and updated to end 2019.

The ICRANet meeting on Betelgeuse dimming on 17 January 2020

Another occasion to study the behaviour of Betelgeuse was created by the interaction held with Margarita Karovska of Harvard CfA who read my arxiv and commented it via e-mail: we decided to organize a virtual meeting with the most prominent italian experts of Supernovae and Observational Astronomy and the AAVSO director Stella Kafka. The Meeting was held in Pescara, ICRANet seat on January 17th.

My first goal was to remind the public opinion that a Supernova is the result of a core collapse in a free-fall time, that for a 12 solar mass star does not excess some tens of minutes, not months, as the news from several media were diffusing.



Cesare Barbieri, Massimo Turatto and Paolo Ochner of Padova University and Asiago Astrophysical Observatory, the major in Italy added their contribution to that succesfull meeting, chaired by prof. Ruffini and me.

On February 2nd on AGB newsletter of the IAU division on Red Giant Variable stars, I sent my contribution for the Question of the Month "When Betelgeuse will explode? And it has been reported in full detail, with the aforementioned goal of the ICRANet meeting of 17th January.

Rapid rising of the light curve of Betelgeuse in march-april 2020:

On March 31st I have published the Astronomer's Telegram #13601 regarding the rapid rising of the light curve of Betelgeuse, attaining already 0.02 magnitudes/day and 0.9 visual magnitude, with an increase of 0.55 magnitudes since 11 february 2020, when the minimum was reached, with 1.45 visual magnitude. I wrote that if this will be the fastest rate it would have been reasonable a maximum around magnitude 0.4, with a very simple kinematic model: the largest speed is found at the center of an oscillation.

Now, 12 april 2020, the magnitude is reaching already 0.45 visual magnitude with an average rising velocity of 0.45 mag/12 days or 0.0375 mag/day during the last two weeks. A simple extension of the kinematic model would consider this one as the new center of the oscillation, but it cannot be, implying a negative magnitude maximum, which would be really unprecedented.

The basic idea proposed since 1984 by Margarita Karovska and treated once again during our ICRANet meeting of 17th January is that there are dust clouds around the star which can either dim the light from the photosphere, either diffuse it through backward scattering when the cloud is behind the star. The observations to be realized in these days by the ESO VLT interferometer can confirm this hypothesis. The last published ones, available in the Astronomer's Telegram references in my #13601, show Betelgeuse at minimum, as consisting in a photosphere divided in two regions, one of which is much darker than the other, because behind the aforementioned cloud of ejecta. Now this cloud is possibly moving to the back of the stellar photosphere, contributing to a maximum even brighter



than usual values and approaching to magnitude 0. We have to expect new data to complete this noteworthy cycle of Betelgeuse.

Conclusions:

The last one data on which I based the ATel #13601 have been taken from Rome, near the Vatican, by using the naked eye technique developed in these last two decades to solve the problem of lack of nearby comparison stars for such bright variable star. Differential photometry is impossible and the different altitude of the comparison stars has to be measured to compute the airmass contributions for each star (Betelgeuse, compared with Pollux and Castor during the minimum phase and compared with Procyon and Aldebaran during the present phase, or Procyon and Rigel during maxima).

This technique is a basic one in photometry, but it is not mentioned in visual observations. I have done it with several high school students of Rome and Pescara and through specialized publications.

References:

www.astronomerstelegam.org/?read=13601

www.astronomerstelegam.org/?read=13525

www.astronomerstelegam.org/?read=13512

www.astronomerstelegam.org/?read=13501

www.astronomerstelegam.org/?read=13439

www.astronomerstelegam.org/?read=13410

www.astronomerstelegam.org/?read=13365

www.astronomerstelegam.org/?read=13341

<https://www.eso.org/public/videos/eso1121a/>

<https://www.youtube.com/watch?v=TWYBoIYVjKE>

<https://www.arxiv.org/abs/1912.12539>

<https://www.aavso.org/lcg> with alf Ori and SGQ observing code for the last measurements

Karovska, M. 1987, "Stellar Pulsation; Proceedings of the Conference held as a Memorial to John P. Cox", at the Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, Aug. 11-15, 1986. Lecture Notes in Physics, Vol. 274, edited



by A. N. Cox, W. M. Sparks, and S. G. Starrfield. Springer-Verlag, Berlin, 1987., p.260

Schaefer, B. E., YES, ABORIGINAL AUSTRALIANS CAN AND DID DISCOVER THE VARIABILITY OF BETELGEUSE, J. of Astron. History and Heritage, 21 (1), 7-12 (2018)

Schaefer, B.E., 2013. The thousand star magnitudes in the catalogues of Ptolemy, Al Sufi, and Tycho are all corrected for atmospheric extinction. Journal for the History of Astronomy, 44, 47–74.

C. Sigismondi, Betelgeuse 2020 dimming: getting the minimum (preprint, Jan 20, 2020)

[C. Sigismondi, https://www.astro.keele.ac.uk/AGBnews_No.272](https://www.astro.keele.ac.uk/AGBnews_No.272) (1 march, 2020)



Will Betelgeuse explode?

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè, Rome, AAVSO)

submitted February 3rd, 2020 and accepted March 1st, 2020

Abstract

The question on when Betelgeuse will explode was risen by the Editors of AGB Newsletter in the January 2020 issue.

Under the invitation of them I wrote this paper to move the attention of the educational and general science community on the stellar variability instead of on the last pre-supernova stages, which imply much shorter timescales (tens of minutes).

Riassunto

La questione relativa all'imminente esplosione di Betelgeuse come Supernova è stata di pubblico dominio nei mesi di gennaio e febbraio 2020. C'è stato persino chi ha associato uno pseudo-segnale di onde gravitazionali da Orione con l'esplosione di Betelgeuse, da vedersi da lì a qualche giorno... idee sulla bocca di astrofisici, ovviamente “esperti” di qualcos'altro rispetto ad evoluzione stellare e collasso gravitazionale.

È vero che siamo di fronte ad una disciplina sempre più specializzata, dove apparentemente tutti sono in comunicazione con tutti, firmando in migliaia lo stesso articolo, specialmente relativo a rilevazioni di segnali di possibili onde gravitazionali, ma è anche vero che cominciano ad emergere alcune grosse lacune di fisica di base, sempre più mascherate da maquillages mediatici...

Una supernova da una stella di varie masse solari, come Betelgeuse, ha luogo dopo il collasso gravitazionale del nucleo. Questo avviene in un tempo di caduta libera, che per una massa stellare è dell'ordine di una mezz'ora al più. Mesi di diminuzione della luminosità della stella, per giunta in concomitanza con il minimo periodico di 1.2 anni, non hanno nulla a che vedere con la dinamica del nucleo stellare, che è compatto, non esteso come la superficie della fotosfera di questa stella supergigante.

Per uno che ha studiato un ciclo 3+2 ottenendo una laurea specialistica in Astrofisica queste dovrebbero essere le basi, non si tratta di un segreto acquisibile dopo anni di ricerca, bensì di nozioni di base.

Per questa ragione ho accolto di buon grado l'invito di Jacco van Loon, editore di AGB newsletter, di rispondere alla domanda nella rubrica “food for thoughts” di Febbraio 2020 che dà il titolo a questo articolo. Domande come questa tengono costantemente la rotta del vero ricercatore: approfondire ciò che si sa, e studiare quello che non sappiamo. Senza la ricerca del sensazionale e del nuovo a tutti i costi. Specialmente se quello che è stato già acquisito richiede ulteriori approfondimenti, magari noiosi e poco *appealing*, di richiamo.

Il commento dell'editore a questo testo, in cui sono andato a briglia sciolta, è stato “brilliant!”. E lo ha pubblicato integralmente su AGB newsletter di Marzo. La considerazione sulla ricerca del sensazionale segue quanto hanno dichiarato su AGB di Luglio 2020 a proposito di un meeting che l'IAU non ha loro supportato per il 2020 perché i contenuti potevano essere gli stessi di 20 anni fa. C'è progresso senza riflessione?



Introduction

When Betelgeuse will explode?

The question originates itself from the recent dimming of the star, which has been larger than a whole magnitude, since september 2019.

Many media presented to simulation of the aspect of the sky in the case Betelgeuse would become the new galactic supernova, and more have attributed to this forthcoming event the unusual behaviour of this star.

I had the privilege to follow on a daily basis the evolution of the light curve of Betelgeuse since december 2011, as part of my observative project within the AAVSO, American Association of Variable Stars Observers, and I would like to spend some words in describing and motivating it.

First magnitude variable stars

Betelgeuse is a first magnitude variable stars. Semi-regular. The secular AAVSO database (1911-on) allows to see at first sight two main periods, 1.2 and 5.9 years modulation, but identifying its regularities it is only our way to try to understand the complexity with a simple model.

I have chosen to follow Betelgeuse and Antares after starting to observe Delta Scorpii from my window when I was working at Rio de Janeiro Observatory. This star was aiming to the zenith, I noticed its brightness and after identification, I read about its variability discovered only in 2000 by Sebastian Otero, an AAVSO member who provided visual observations with 0.01 magnitudes of accuracy.

Until 2011 my variable star targets were preferably novae, for their relevance in the History of Astronomy, that I taught at Sapienza University of Rome.

Betelgeuse and Antares were choosen in order to have always the instrument for measuring them: the naked eye, and to maintain the eye contact with observative astronomy in an historical epoch of strong mediation between the astrophysical objects and us, made primarily by automated (electronic) detectors.

The addition I made to my observative pipeline was including the airmass correction since the reference stars were usually very far from the target star, at different altitudes above the horizon.

This operation was declared in each of my naked eye observations, which



are more than 1000 for both stars, with also a didactic objective in mind: to spread the spirit and the technique of accurate measurements, also with the unaided eye.

In AAVSO database you can find these observations under the observer's acronym SGQ assigned to me in 1999.

After so many years, this occasion of Betelgeuse great minimum, is giving an additional value to my effort: the possibility to give an effective contribution to the science community and to the amateurs one.

Detectors for galactic supernovae

Dr. Paolo Ochner, a colleague of Asiago Observatory (Italy), has commented the present situation with the following statement: if a galactic supernova explodes only amateur astronomers can classify it! Yes because the 1.22m Galileo telescope of Asiago cannot do spectra of Betelgeuse at 1.5 magnitude, or photometry without diaphragming the instrument to a unusual level, let imagine if the star would shine a -9 magnitude or -14... all detectors saturated or burned!

Stellar variability as public outreach

The occasion of such deep minimum of Betelgeuse is a great opportunity to present a variable star to the great public.

A variable star behaves exactly like that!

Mira, that I studied in depth on the historical data 2 decades ago, does not have a maximum equal to another...its period is averagly constant but its magnitude is unpredictable.

Our Sun also has a constant period for the solar spots, the 11 years cycle, but its maximum value is still unpredictable, and we don't know whether the Sun will enter a new Maunder minimum (no spots for several decades as in 1645-1715) or not...

Betelgeuse is behaving according to its statistical behaviour... and a delay of few days on the 1.2 years period is normal. The depth of this minimum is the first time we see it after 100 years, but there is nothing extraordinary if compared with other long period variable stars. Needless to say it is worth to be studied.



Stellar evolution and gravitational collapse

Finally this event is another occasion to speak about stellar evolution to the great public.

A 3 months long dimming of a star which undergoes periodically such events can be an announcement of an imminent explosion?

The Supernova event for a star with more than 10 solar masses like Betelgeuse is the result of the gravitational instability after the inner nuclear engine becomes endo-thermal and cannot sustain any more the weight of the outer mass shells.

This instability sets in the free fall time, about some tens of minutes for a stellar nucleus, nothing to do with months.

The Betelgeuse great dimming of 2019/2020 is then the occasion, for professional astronomers, through interviews, conferences, papers, lectures, to make acquainted many people with stellar variability achievable also with the naked eye from urban sites (with light pollution), and to free-fall Supernova dynamics at the end of stellar evolution for high mass stars.

A much stronger goal than predicting its explosion!

References

This communication has been published in AGB newsletter of March 2020 under invitation of Jacco Van Loon, editor of the Journal.

<https://www.astro.keele.ac.uk/AGBnews> No. 272 (1 march, 2020)



Modelli di estinzione atmosferica per dati di Betelgeuse

C. Sigismondi¹, W. Vollmann², A. Amorim²⁻³, R. Stubbings², F. Mariuzza²⁻⁴

¹ ICRA/Sapienza University of Rome and ITIS G. Ferraris, Rome

² AAVSO, American Association of Variable Stars Observers

³ NEOA-JBS, Brasile

⁴ UAI, Unione Astrofili Italiana

submitted May 19th, 2020 and accepted June 13th, 2020

Abstract The semiregular variable star Betelgeuse has two main periods of 425 and 2100 days; its light curve form is not known, being well defined only the minima. The present May-June 2020 maximum at or below magnitude 0.4, follows the historical minimum at 1.45 of February 2020. The rapidity of descent and ascent with V-shape, is reproduced for all past cycles. The choice of Earth's atmosphere model for data reduction is discussed for the large angular distance between suitable reference stars, for very low altitudes and for seasonal variations of humidity and transmission of the air.

Riassunto La natura semiregolare della stella variabile Betelgeuse ha due principali periodi di 425 e 2100 giorni circa; la sua curva di luce non è nota, essendo ben definiti solo i minimi. L'attuale massimo di Maggio-Giugno 2020 a magnitudine minore o uguale a 0.4 segue lo storico minimo di Febbraio 2020 a 1.45. La rapidità della discesa e della risalita della curva di luce, con andamento a V, è riprodotto nei cicli passati. La scelta di un modello per l'estinzione atmosferica è discussa per le grandi distanze angolari che si possono trovare con le stelle di riferimento, per le stelle vicine all'orizzonte e per variazioni stagionali della trasmittanza dell'atmosfera.

Keywords First order equations, systems, airmass, differential atmospheric extinction; Equazioni di primo grado e sistemi, masse d'aria, estinzione atmosferica differenziale.

Introduzione: dove sono i massimi di Betelgeuse?

Perché non si vedono massimi nella curva di luce di Betelgeuse?

Abbiamo già visto, nei capitoli precedenti (Sigismondi, Gerbertus 13, 1), questa caratteristica della curva di luce della supergigante rossa di Orione. Riteniamo che il motivo sia quello che la luminosità ordinaria di Betelgeuse, che ha una fluttuabilità su scala pluriennale di circa 6 anni, sia perturbata ogni 1.2 anni dal passaggio di una macchia oscura, meglio una nube di polvere. Questa, in congiunzione superiore, dietro la stella ma in vista con noi, può rinforzarne la luminosità occasionalmente. Il logo in



basso a destra che sta in ogni pagina di questo volume riassume questa idea con una sola immagine.

Massimo dopo il minimo del 2020: osservazioni al tramonto eliac

Lo studio della luminosità di Betelgeuse nel 2020 è stato prolungato fino al 25 maggio da Roma, e fino all'11 giugno dall'Australia, nel tentativo di stabilire se la magnitudine del massimo era 0.5 come stimato in aprile. La stella però si avvicinava al suo tramonto eliac che avviene in date differenti a seconda della latitudine del luogo di osservazione.

Per Roma questo evento avviene attorno al 29 maggio e la stella era confrontabile -a parità di fondo cielo brillante- solo con Mercurio nei crepuscoli tra l'11 ed il 25 maggio.

Nello stato di Santa Catarina in Brasile e presso Melbourne in Australia il tramonto eliac non era ancora avvenuto alla prima decade di Giugno, confermando ciò che ebbe a scrivere Tolomeo nell'Almagesto a proposito della definizione di tali eventi.

Per stabilire 1) se la stella ha raggiunto il massimo e 2) il valore in magnitudine di questo massimo abbiamo dovuto rivedere gli algoritmi usati per la riduzione dati, e con la stella vicina all'orizzonte a Roma “tutti i nodi sono venuti al pettine”.

Tipi di confronto tra Betelgeuse e la stella di riferimento

È naturale che le osservazioni con la stella alta sull'orizzonte e con la corrispondente stella di riferimento altrettanto alta sono quelle più precise, ma nel corso di questa stagione in cui Betelgeuse ha raggiunto un minimo molto profondo sono state usate varie tecniche di confronto, utili da rivedere in questa sede.

1. Stessa altezza sull'orizzonte con la stella di confronto

Una situazione ideale è con stella di riferimento y e Betelgeuse x alla stessa altezza sopra l'orizzonte. Questo fa in modo che, in assenza di nubi a velo, difficilmente visibili di notte, non si debba tenere conto



dell'estinzione differenziale, e la differenza in magnitudine tra x e y è la stessa che c'è tra x_0 e y_0 , cioè le magnitudini

2. Stessa luminosità apparente del confronto, ma stelle a diverse altezze

Si aspetta che x e y appaiano della stessa luminosità, in questo caso è cruciale avere un modello di estinzione atmosferica molto preciso, che fornisca i giusti valori per le due altezze differenti.

3. il metodo di Argelander per tutte le situazioni intermedie con diverse altezze e diverse luminosità. Se 1. e 2. sono i casi limite con meno errori sistematici, il metodo 3, che è il metodo classico, li include tutti. Normalmente per il metodo 3 si consiglia di trovare due stelle di riferimento y_1 e y_2 che siano $y_1 < x < y_2$ e meglio ancora che siano molto prossime entrambe a x , cioè $y_1 \leq x \leq y_2$.

Per Betelgeuse che è stella di prima grandezza y_2 normalmente è Procione 0.37 o Rigel 0.13 e y_1 è Aldebaran 0.86, nel 2019-2020 y_2 è stata Polluce 1.16 e y_1 Castore 1.64.

Ricordiamo che le magnitudini crescono quando la luminosità diminuisce.

Uso dei diversi metodi nelle osservazioni SGQ di Betelgeuse su AAVSO

Nell'inverno 2019-2020 il metodo 1 è stato provato varie volte, e ogni giorno alla stessa ora diminuita di 4 minuti per la durata del giorno siderale, 23h 56m 4s, che è l'intervallo tra due configurazioni alla stessa altezza sull'orizzonte. Il metodo 2, invece, è stato applicato a metà della primavera 2020 con Betelgeuse x sotto Polluce y ; attendendo che diventasse $x=y$, poiché Betelgeuse già aveva superato Polluce in luminosità, ma era molto più bassa sull'orizzonte occidentale e quindi veniva indebolita alla nostra vista dall'estinzione atmosferica, finché $x=y_1$, e qualche minuto dopo scendendo ancor di più in luminosità apparente $x=y_2$ eguagliando Castore.

Così ogni sera si potevano avere due stime indipendenti della magnitudine di Betelgeuse a pochi minuti una dall'altra. L'errore



sistematico di queste stime era però dovuto al modello di estinzione atmosferica considerato, che quando Betelgeuse, x , scendeva sotto i 15° questa incertezza del modello diventa cruciale per la stima di magnitudine. E poiché l'estinzione dipende dalla stagione, umidità, temperatura... si può commettere un certo errore nello scegliere un determinato modello fisico o soltanto numerico di corrispondenza magnitudine - airmass anziché un altro. Il range tipico della trasparenza dell'atmosfera relativamente all'estinzione in magnitudine per massa d'aria e_1 può estendersi tra $e_1=0.23$ ed $e_1=0.32$ magnitudini/airmass per Roma passando dall'inverno più freddo e secco all'estate più calda e umida. Per le osservazioni crepuscolari a Roma dell'ultima decade di maggio il metodo 2 era l'unico possibile, ma le stelle di riferimento erano di quarta grandezza.

Le altre osservazioni disponibili AAX e SRX sul database AAVSO per questo periodo invece erano con la stella su cielo scuro nella condizione 1. con Rigel alla stessa altezza.

L'analisi fatta da VOL a Vienna ha preso altri valori dell'estinzione per airmass $e_1=0.20$, ed ha sempre lavorato con la stella ad altezza $h \geq 30^\circ$ (Vollmann, 2013)

<https://www.bav-astro.de/rb/rb2013-2/101.pdf>

Modelli di airmass extinction a confronto

L'algoritmo di airmass correction messo a punto a partire dall'anno 2003 riportato nell'articolo corrispondente a pag. 17, funzionava fino all'orizzonte per il Sole d'inverno a Roma, in caso di cielo terso, ma è risultato inadeguato con il cielo chiaro di sfondo e color arancio acceso del tramonto. Questo modello è il PPG Piano-Parallelo-Garstang, che da 15° di altezza in giù interpola le masse d'aria fino ad un massimo di 5 all'orizzonte. Le magnitudini/airmass sono 0.236.



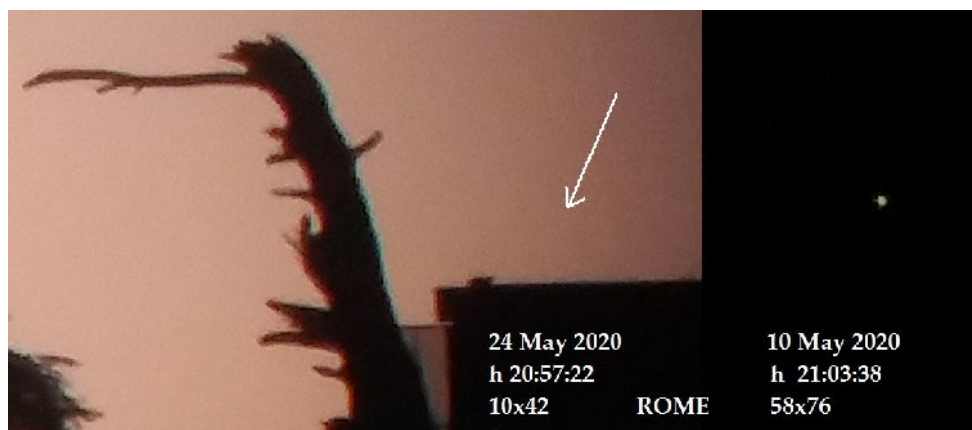


Fig. 1 Fondo cielo a confronto a due settimane di distanza per Betelgeuse. La stella, che nella foto non si vede, ma si vedeva con l'occhio nudo al cannocchiale, era a 4° sopra l'orizzonte geometrico, ma prossima a sparire dietro le case di Monte Mario che erano sul *foreground*, subiva un forte effetto di scintillazione, sparendo addirittura per qualche istante alla vista, durante le pulsazioni. Mentre qualche giorno prima questo non accadeva, sia pure ad altezze molto basse sopra l'orizzonte maggiori di 9° e con cielo chiaro, ma non arancione. Se si utilizza l'algoritmo PPG descritto da pag. 17 Betelgeuse risulta comparabile con stelle di terza grandezza come Gamma e Rho Geminorum, e dopo la correzione per l'airmass differenziale Betelgeuse risulterebbe di magnitudine 1.5.

Modelli di airmass alternativi

Modello usato da Stellarium 12.4

Abbiamo provato a considerare la correzione per airmass implementata dal programma Stellarium, ricavandola empiricamente dai dati di luminosità estinta forniti dal programma stesso. Ne è venuta fuori una funzione a *legge di potenza*, *power law* pari a $8.2[h^\circ]^{-0.9}$ magnitudini di estinzione, che sembra adattarsi meglio a questi dati in luce vespertina. Il mio algoritmo PPG era stato messo a punto sul Sole, di giorno, sereno senza umidità con i dati del 3 gennaio 2003 e prevedeva -per



estrapolazione con dati fino a $h=5^\circ$ - all'orizzonte 5 masse d'aria (modello di Garstang, per un osservatorio ad alta quota).

Questa *power law*, invece, diverge per $h=0^\circ$ e comunque si attesta attorno alle 2.5 magnitudini per 4° sopra, che corripondono già a 8 masse d'aria di 0.236 magnitudini ciascuna nel modello PPG. È anche vero che un po' di umidità fa il gioco di parecchie masse d'aria, ma non era il caso del 24 e 25 maggio, con vento da Nord. Anche applicando questa legge con i dati osservativi del confronto con Gamma Geminorum si può arrivare al risultato di 0.5, ma con un'incertezza di ± 0.2 mag, poiché non si riusciva a percepire differenze lungo circa 10 minuti di tempo, in cui il modello di *power law* prevede notevoli variazioni di airmass con l'altezza sull'orizzonte che variava di qualche grado.

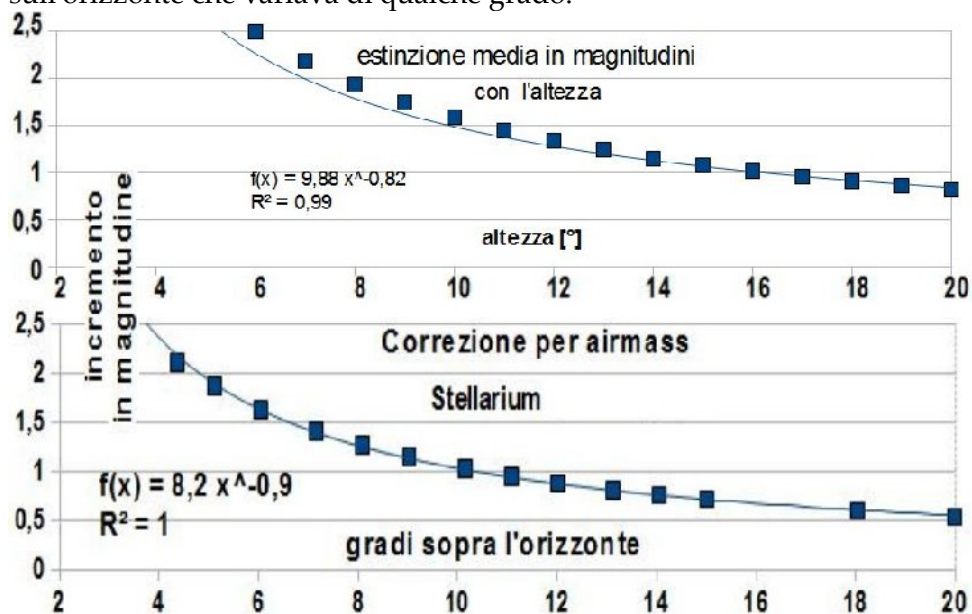


Fig. 2 Airmass correction per Stellarium 12, senza differenza tra crepuscolo e notte comparata (sopra) con quella media tra estate e inverno di D.W.E. Green (1992) dell'ICQ, International Comet Quarterly 14, 55 (1992).



Il modello ICQ (1992) e il modello Piano-Parallelo PP

Se consideriamo, invece, la correzione in magnitudini dovuta al modello ICQ (1992) che propone una differenza tra airmass invernale e quella estiva e ne tabula i valori per il livello del mare, 1, 2 e 3 km di quota, la legge di potenza, in media, fornisce più estinzione rispetto al modello adottato da stellarium 12.4.

La nuova equazione risulta $9.88[h^\circ]^{-0.82}$, con maggiore decremento di luminosità a parità di altezza sull'orizzonte rispetto a Stellarium12.4.

ICQ è basato sull'esperienza di valentissimi astronomi osservativi (Green, 1992) e mostra un allontanamento significativo dal modello piano parallelo e da quello di Garstang per basse altezze sull'orizzonte.

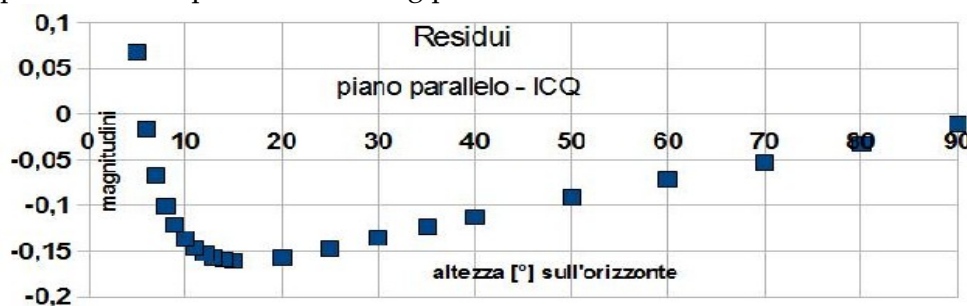


Fig. 3 Residui tra il modello piano parallelo con airmass/mag=0.236 e ICQ con airmass/mag=0.29±0.02 medio tra 15° e 90° di altezza (rapportato alle airmass PP).

Il confronto tra i modelli piano parallelo PP, dove l'airmass= $1/\sin(h^\circ)$ è data dalla famosa legge della cosecante, e l'estinzione per massa unitaria vale 0.236 (per Roma cielo terso e inverno), e ICQ medio mostra un sostanziale accordo fino a circa 7° sopra l'orizzonte, e ciò giustifica l'uso del modello piano parallelo per la maggior parte delle misure. Se l'estinzione atmosferica seguisse esattamente ICQ e dovessimo valutare la magnitudine di Betelgeuse a 15° sopra l'orizzonte, confrontata con Polluce a 48° di altezza (tipica situazione di fine aprile 2020) il modello piano parallelo sottostima il decremento in luminosità allo stesso modo per le



due situazioni, quindi il dato differenziale -su cui si basa la correzione per massa d'aria- resta invariato. Quando l'altezza sull'orizzonte di Betelgeuse va a 10° il dato differenziale resta contenuto entro 0.01 magnitudini.

Per l'altezza di Betelgeuse pari a 5° , come nelle osservazioni crepuscolari fino al 25 maggio fatte da Roma, con la stella di riferimento tra i 20° e i 35° la differenza diventa compresa tra 0.21 e 0.17 magnitudini, valore significativo per una stima corretta della magnitudine stellare.

Facciamo l'esempio dell'algoritmo con Betelgeuse, x , a 5° e Rho Geminorum, y , a 33° sull'orizzonte. Se le due stelle x e y , per comodità di esempio, mostrassero la stessa luminosità: cioè $x=y$ dato osservativo.

Ecco l'esempio dell'algoritmo in cui includo l'estinzione atmosferica

$$\begin{array}{lll} x=y & \text{PP:} & x_0+2.71=y_0+0.44; \quad x_0=y_0-2.27 \\ & \text{PPG:} & x_0+1.02=y_0+0.44; \quad x_0=y_0-0.79 \\ & \text{ICQ:} & x_0+2.64=y_0+0.58; \quad x_0=y_0-2.06 \end{array}$$

Poiché x_0 e y_0 sono le magnitudini delle stelle fuori dall'atmosfera, si vede che in PP in questo caso specifico stimerei Betelgeuse x_0 più luminosa di 0.21 magnitudini in PP rispetto a ICQ. Con PPG che è l'ibrido Piano Parallelo-Garstang che tende a 5 masse d'aria all'orizzonte, in modo lineare a partire da 15° e 3.86 masse d'aria avrei un risultato ancora peggiore. Facciamo l'esempio dell'algoritmo con Betelgeuse, x , a 15° e Beta Geminorum, y , a 48° sull'orizzonte.

$$\begin{array}{lll} x=y & \text{PP:} & x_0+0.91=y_0+0.32; \quad x_0=y_0-0.59 \\ & \text{PPG:} & x_0+0.91=y_0+0.32; \quad x_0=y_0-0.59 \\ & \text{ICQ:} & x_0+1.07=y_0+0.42; \quad x_0=y_0-0.65 \end{array}$$

In questo caso Betelgeuse risulterebbe stimata 0.06 magnitudini più debole usando PP e PPG (che sono equivalente fino a 15° di altezza) rispetto a ICQ medio. Usando un ICQ estivo

$$\text{ICQ:} \quad x_0+1.21=y_0+0.47; \quad x_0=y_0-0.74$$

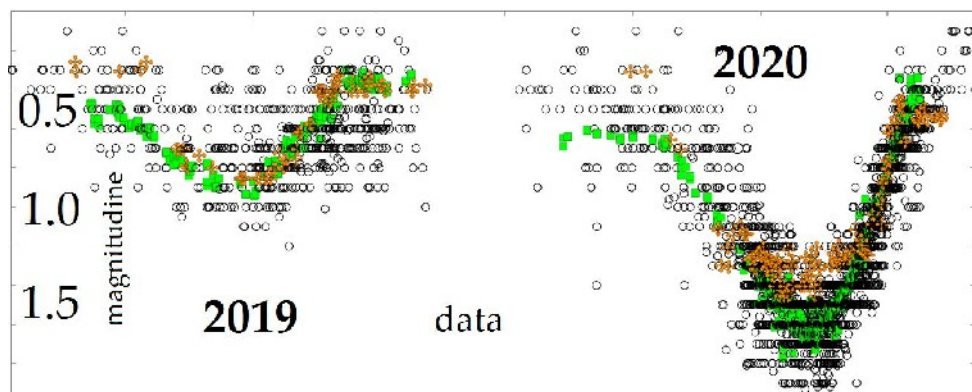
la differenza aumenterebbe a 0.15 magnitudini più debole. Quindi SGQ a fine Aprile 2020 può aver sottostimato tra 0.06 fino a 0.15 magnitudini la luminosità intrinseca di Betelgeuse per aver ridotto i dati con un modello Piano-Parallelo con airmass/magnitudine 0.236 esteso fino a 15° sopra



l'orizzonte.

La magnitudine di Betelgeuse trovata attorno a 0.52 a fine Aprile 2020 con PPG sarebbe dunque da ritoccare tra 0.46 e 0.37 con ICQ.

Questa differenza non si pone per le misure invernali in cui la stella e il suo confronto erano ad altezze superiori ai 50° , dove le differenze tra i due modelli sono minime.



Il modello PPG tra 15° e l'orizzonte, invece, non va bene per le riduzioni al livello del mare, ed è addirittura meglio continuare ad usare PP fino a 5° gradi sopra l'orizzonte, con le distinzioni di trasparenza invernale rispetto a quella estiva. Fig. 4 La curva di luce di Betelgeuse da AAVSO, in arancione i dati SGQ ridotti con modello PPG. Dalle considerazioni fin qui fatte, gli ultimi dati vanno alzati un po', e vanno in accordo con gli ultimi cerchietti in alto a destra di AAX e SRX con $m_v \leq 0.4$.

Curva di luce di Betelgeuse tra aprile e giugno 2020

Con le considerazioni circa l'analisi dei dati tra 15° e 5° sopra l'orizzonte, in cui ho svolto le misurazioni tra fine aprile ed il 25 maggio 2020 da Roma, posso ritenere che la magnitudine di Betelgeuse stimata da SGQ possa essere inferiore al vero tra 0.06 e 0.21 magnitudini.

AAX è Alexandre Amorim da Florianopolis, Brasile, 27°S e SRX è Rod Stubbings da Melbourne 37°S , per entrambi Betelgeuse tramontava alla stessa altezza di Rigel in un cielo abbastanza oscuro, a più di 10°



dall'orizzonte. Le loro stime vanno tra 0.3-0.1 per AAX e 0.4 fisso per SRX. Ciò conferma il raggiunto massimo, ad una magnitudine uguale o leggermente più brillante di 0.4, consistente con la previsione secondo un modello "cinematico" fatta in Atel#13601 al momento della massima variazione di luminosità giornaliera, ritenuto perciò a metà tra min e max. Fu una considerazione meramente "cinematica" basata sul modello dell'oscillatore armonico.

Conclusioni

L'estinzione per massa d'aria e_1 dipende dal luogo e dalla quota di osservazione e dalla stagione dell'anno (più o meno umida), con variazioni stagionali anche significative. Il modello geometrico per determinare la massa d'aria lungo una certa linea di vista, fino a $h \geq 20^\circ$ è in ottima approssimazione quello Piano Parallelo, poi è bene passare a quello ICQ (1992) che, al livello del mare, raggiunge circa 10 ± 1 magnitudini di estinzione. Betelgeuse nella stagione 2019-2020 è stata osservata sia alla stessa altezza della stella di riferimento, affrancandoci dal problema del modello geometrico, fisico e/o numerico di estinzione atmosferica; e anche quando raggiungeva la stessa luminosità apparente del riferimento per l'effetto dell'estinzione atmosferica. In questo secondo caso, al crepuscolo vicino al tramonto eliaco da Roma, Betelgeuse aveva magnitudine 0.3 ± 0.1 . A questo risultato si giunge anche calcolando di quanto viene abbassato il fondo cielo usando il cannocchiale con cui è stata seguita Betelgeuse fino al suo tramonto eliaco.

Referenze

- C. Sigismondi, Atel#13601 (2020)
- D. W. E. Green, <http://www.icq.eps.harvard.edu/ICQExtinct.html> (1992)
- R. H. Garstang, Pub. Astron. Soc. Pacific, **101**, 306 (1989)
- Claudio Tolomeo, Almagesto, Libro VIII cap. 4-6 e Libro XIII cap. 6
- C. Sigismondi, Gerbertus 13, 65 (2020)
- W. Vollmann, BAV Rundbrief, *Betelgeuze und Mintaka* [...] (2013)



Stima della magnitudine stellare confrontando il cannocchiale e l'occhio nudo, con fondo cielo brillante

C. Sigismondi¹⁻²

¹ ICRA/Sapienza University of Rome, ITIS G. Ferraris, Rome and

² AAVSO, American Association of Variable Stars Observers

submitted May 19th, 2020 and accepted June 13th, 2020

Abstract The comparison between two stars can be made by observing one with a spotting scope and another one by naked eye. The ratio between the different collecting areas determines the magnitudes estimates. But when the stars appear in twilight the signal-to-noise ratio has to be considered. An example with Betelgeuse in twilight from Rome is used to deal with these concepts.

Riassunto Il confronto tra due stelle può essere fatto osservandone una con un cannocchiale e l'altra a occhio nudo. In tal caso il rapporto tra le differenti aree di raccolta determina la stima delle magnitudini. Ma quando le stelle appaiono nella luce del crepuscolo occorre tenere conto del rapporto segnale/rumore. Un esempio con Betelgeuse al crepuscolo, quasi al tramonto eliaco da Roma, è portato per trattare questi concetti.

Keywords Signal-to-noise ratio; Pogson law, magnitude. Rapporto Segnale/Rumore, legge di Pogson, magnitudine.

Introduzione: confronto tra stelle diverse per la stima della magnitudine

Accade che, in mancanza di stelle di confronto opportune, l'uso di un cannocchiale possa "ottenere" stelle di confronto della luminosità giusta rispetto a quella studiata. Ad esempio Betelgeuse è una stella di prima grandezza, e con un cannocchiale 10x42 rispetto all'occhio nudo abbiamo un incremento di circa 4 magnitudini, e questo significa che una stella di quarta grandezza al cannocchiale appare come quella di prima ad occhio nudo. La *Statistica Stellare* insegna che il numero di stelle di quarta grandezza è molto più abbondante di quelle di prima, offrendo una scelta ben ampia al confronto con Betelgeuse in un dato momento della notte.

Le osservazioni condotte dall'autore, talvolta, hanno richiesto ricorrere all'identificazione di stelle deboli per valutare la luminosità di Betelgeuse. Al crepuscolo γ e ρ e anche σ Geminorum sono state usate come confronti. E sono stelle di magnitudine 1.90, 4.15 e 4.25, che difficilmente si



potrebbero immaginare come confronti per l'alfa di Orione. Ma nel cielo crepuscolare, quando Betelgeuse osservata al cannocchiale appariva a mala pena sul fondo cielo illuminato e arancione, con una forte scintillazione al punto che per qualche istante spariva alla vista nelle fluttuazioni di scintillazione a luminosità inferiore, il confronto era proprio con quelle tre stelle indicate; γ era identificabile nel cielo ancora chiaro, sotto Castore e Polluce, e vicino ai due Gemelli, ρ presso Castore e σ presso Polluce sono entrambe rintracciabili al cannocchiale anche con cielo ancora chiaro.

Confronti tra osservazioni con diversi strumenti

Altrettanto complicata è la comparazione con Mercurio, che era più basso di γ Geminorum, e anch'esso immerso nei raggi solari. Però lo sfondo del cielo con cui ho visto **a occhio nudo** Mercurio a 10° alle 21:04 del 22 maggio è un po' più scuro di quello delle 21:02 con Betelgeuse radente a 5° l'orizzonte, osservata **al 10x42** nelle condizioni della foto di figura 1, di conseguenza il confronto porta ad un risultato che risente molto dell'incertezza del metodo avendo pochi istanti per comparare la stella al cannocchiale con Mercurio a occhio nudo, a 20° di distanza angolare. Le due luminosità apparenti di Mercurio e Betelgeuse erano comparabili $x=y$, vediamo cosa se ne dovrebbe dedurre. Stellarium dà per Mercurio $y_0 = -0.35$, Curt Renz, che ha fornito dati molto accurati nelle effemeridi degli scorsi anni da me verificati fornisce per Mercurio quel giorno $y_0 = -0.65$.

Il cannocchiale 10x42 ha un'area di 42 mm di diametro, la pupilla di 6 mm; il rapporto tra le aree è $(42/6)^2 = 7^2$

il rapporto tra le luminosità percepite al cannocchiale e all'occhio è, secondo la legge di Pogson $2.5 \log(7^2) = 5 \log(7) = 4.22$ magnitudini più brillante al cannocchiale. Con $x =$ Betelgeuse, al cannocchiale e a 4° abbiamo, secondo il modello di estinzione ICQ 3.45 magnitudini.

$x_0 + 3.45 - 4.22 = y_0 + 1.59 = -0.65 + 1.59 = x_0 - 0.77 = 0.94$, risulta $x_0 = 1.77$

Una magnitudine di 1.77 per Betelgeuse è troppo debole. Questa stima è stata fatta con l'estinzione ICQ media tra estate e inverno. Pur tecnicamente corretta, la procedura è da rigettare.



Prendendo l'estinzione invernale

$x_0 + 3.01 - 4.22 = y_0 + 1.38 = -0.65 + 1.38 = x_0 - 1.21 = 0.73$, risulta $x_0 = 1.94$ ancora più debole e più irrealistica.

Prendendo l'estinzione estiva

$x_0 + 3.90 - 4.22 = y_0 + 1.79 = -0.65 + 1.79 = x_0 - 0.32 = 1.14$, risulta $x_0 = 1.46$ sempre troppo alta.

La situazione di Mercurio potrebbe essere stata comparabile all'alfa di Orione qualche minuto prima di quando è stata avvistata. In questo caso la sua altezza sull'orizzonte sarebbe stata maggiore e l'estinzione minore.

Prendendo l'estinzione estiva

$x_0 + 3.90 - 4.22 = y_0 + 1.5 = -0.65 + 1.5 = x_0 - 0.32 = 0.85$, risulta $x_0 = 1.17$ sempre debole.

In presenza di forte luce del fondo cielo la comparazione delle magnitudini tout-court non dà risultati corretti.

Non ritengo il modello di airmass la causa dell'insuccesso di questa procedura ma la valutazione $x=y$ con differenti rapporti segnale/rumore, ossia con fondo cielo di diversa luminosità.

In altre occasioni, invece, sotto cielo scuro, le oltre 4 magnitudini di differenza introdotte dall'uso del cannocchiale ha mostrato come unica incertezza per il metodo il diametro della pupilla, stimato tra i 6 e i 7 mm da dati di letteratura e non da misure dirette. Le misure dirette del diametro della pupilla non sono concettualmente semplici, in quanto se si usa della luce per vedere l'apertura della pupilla la si modifica nel momento stesso della misura. Occorrerebbero delle foto in Infrarosso o in posa B (bulb, lasciando aperto l'otturatore per alcuni secondi).

Confronti tra soglie in magnitudini del fondo cielo

La stima diretta "*Mercurio a occhio nudo=Betelgeuse al cannocchiale*" non sembra portare ad una misura attendibile perché, mentre per Betelgeuse il cannocchiale raccoglie per l'occhio radiazione da un campo di vista largo meno di 5° , l'occhio nudo ha un campo di vista efficace di almeno 160° , con un incremento di $32^2 \cdot (6/42)^2$ in numero di fotoni del fondo cielo raccolti rispetto al cannocchiale. Il primo fattore è l'aumentato campo di



vista di 32 volte in ampiezza angolare e 32^2 in area, il secondo fattore è l'apertura della pupilla rapportata a quella della lente obbiettiva del cannocchiale. Il rapporto precedente si semplifica in $(32/7)^2$. In termini di magnitudini è $2.5\log(32/7)^2=3.3$. In altre parole il cannocchiale col cielo chiaro, sapendo dove guardare, grazie al campo di vista ridotto *abbassa la luminosità del fondo cielo di 3.3 magnitudini*. Questo è simile alla funzione del tubo senza lenti nelle osservazioni a occhio nudo.

Potremmo dire che al cannocchiale posso osservare Betelgeuse 3.3 magnitudini più debole di Mercurio visto a occhio nudo?

Mercurio appare di magnitudine $-0.65+1.59=0.94$

Betelgeuse per apparire al cannocchiale di 0.94 dovrebbe avere una magnitudine $x=0.94+3.3=4.24$

Poiché era ad altezza tra 5° e 4° togliamo tra 3.28 e 3.90 magnitudini (tabella estiva) ottenendo x_0 compresa tra 0.96 e 0.34. La magnitudine 0.34 **ricade nei valori accettabili** per la curva di luce di Betelgeuse in quei giorni, e verificati da Alexandre Amorim e Rod Stubbing rispettivamente a Florianopolis e presso Melbourne, con la stella ben più alta sull'orizzonte già scuro del loro crepuscolo australe. Questo metodo sembra valido.

Confronti tra rapporti segnale/rumore al crepuscolo:

La stima "*Segnale/Rumore di Mercurio a occhio nudo=Segnale/Rumore di Betelgeuse al cannocchiale*" e la definizione di Segnale/Rumore che è il rapporto tra i fotoni raccolti dalla sorgente/radice quadrata dei fotoni dal fondo. Quindi se il S/R al cannocchiale di Betelgeuse è

$S/R \text{ Cannocchiale} = (42/6)^2 \cdot \text{fotoni da Betelgeuse o.n.} / \sqrt{1}$

$S/R \text{ Occhio nudo} = \text{fotoni da Mercurio o. n.} / \sqrt{(32/7)^2}$

Uguagliando le due quantità il rapporto tra fotoni delle due sorgenti vale $1/224$: 5.89 magnitudini, troppe per arrivare ad un risultato realistico.

Il metodo più promettente, dunque, valuta di quanto il ristretto campo di vista del cannocchiale abbassa la luminosità del fondo cielo percepita.

Referenze

C. Renz, Mercury: Stellar Magnitude, www.curtrenz.com/mercury03.html (2020, visitato il 14/6)



The dusty eclipses of Betelgeuse

C. Sigismondi¹, M. Karovska², L. Bordini³, W. Vollmann⁴, F. Mariuzza⁴,
P. Ochner⁵, C. Barbieri⁶, R. Ruffini⁷, A. Amorim⁴⁻⁸, R. Stubbings⁴

¹ ICRA/Sapienza University of Rome and ITIS G. Ferraris, Rome

² Harvard CFA Center for Astrophysics

³ Sapienza University of Rome and SIF Italian Physical Society

⁴ AAVSO, American Association of Variable Stars Observers

⁵ Asiago Astrophysical Observatory, and University of Padova

⁶ University of Padova

⁷ ICRANet, Pescara

⁸ NEOA-JBS, Brazil

submitted May 19th, 2020 and accepted June 17th, 2020

Abstract Betelgeuse, the semiregular variable star of type C has two main periods of 425 and 2100 days; its light curve form is not known, being well defined only the minima. The present May-June 2020 maximum at magnitude 0.4, follows the historical minimum at 1.45 of February 2020. The rapidity of descent and ascent with V-shape, was reproduced in all past cycles.

Many observations with airmass correction as AAVSO/SGQ-VOL individuated clearly all minima and no maximum, why? Minima are reliably eclipses by a dust cloud, which can enforce occasionally the luminosity when in “superior conjunction”. Maxima each 5.8 years reflect the main pulsation of the star or the interaction between alf Ori A and B.

Riassunto Betelgeuse è una stella variabile semiregolare di tipo C ed ha due periodi principali periodi di 425 e 2100 giorni circa; la sua curva di luce non è nota, essendo ben definiti solo i minimi. L'attuale massimo di Maggio-Giugno 2020 a magnitudine 0.4 segue lo storico minimo di Febbraio 2020 a 1.45. La rapidità della discesa e della risalita della curva di luce, con andamento a V, è riprodotta anche nei cicli passati.

Molte osservazioni con correzione per massa d'aria come quelle prodotte da Costantino Sigismondi con “targa” SGQ e Wolfgang Vollmann con “targa” VOL, individuano chiaramente tutti i minimi, ma nessun massimo. Perché? I minimi sono realisticamente delle eclissi prodotte da una nube di polvere, che può anche occasionalmente rinforzare la luminosità della curva di luce quando si trova in “congiunzione superiore” dietro la stella, ma in vista con noi. I massimi ogni 5.8 anni riflettono la pulsazione principale della stella., o l'interazione tra gli involucri atmosferici di alf Ori A e B

Keywords multiperiodicity, modulation, eclipses, Betelgeuse.



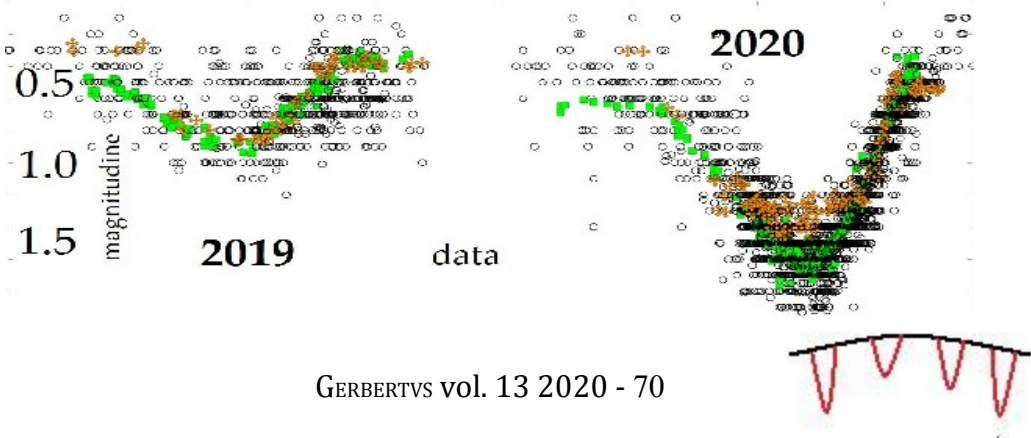
Introduzione: perché non si vedono massimi nella curva di luce di Betelgeuse?

Abbiamo già visto, nei articoli precedenti in questo stesso volume, la caratteristica principale della curva di luce della supergigante rossa di Orione. Ad uno sguardo d'insieme sfugge la definizione di una forma ben precisa. Anche nel sito relativo alle stelle variabili semiregolari di wikipedia (15 giugno 2020) è portata come figura di esempio proprio la curva di luce di Betelgeuse, dove appaiono delle V sparse che partono da altezze diverse, e rappresentano bene i minimi di luminosità di Betelgeuse, ma nessun massimo è chiaramente identificabile.

Inoltre capita che dopo una stagione di minimo come quella appena terminata, della durata di alcuni mesi (all'incirca da novembre 2019 a marzo 2020, 4 mesi pieni) la stella finisca nei raggi solari e nessuna informazione venga sul suo massimo di luminosità.

Normalmente la stagione di osservabilità di Betelgeuse per l'emisfero settentrionale, dove sono la maggior parte degli osservatori che fanno capo all'AAVSO, American Association of Variable Stars Observers, va da Agosto a Maggio, con i mesi di Giugno e Luglio in cui la stella resta invisibile per la congiunzione col Sole, e anche una buona metà di Maggio per la stessa ragione.

Quest'anno l'attenzione generale degli astronomi è stata catturata da Betelgeuse e abbiamo avuto osservazioni fino al 12 giugno, dall'incipiente inverno australe e sud-tropicale. Questi dati, più che quelli ottenuti al crepuscolo da Roma una settimana più avanti di quanto si era raggiunto nel 2018, ci permettono di affermare che il massimo di Betelgeuse per il 2020 si è attestato alla magnitudine $m_v=0.4$. Anche ammettendo 2 mesi all'anno di invisibilità della stella Betelgeuse, immersa nei raggi solari, i minimi che avvengono ogni 425 gg, cioè circa ogni anno e due mesi, dovrebbero far sì che se nel 2020 il massimo è stato raggiunto alla maggiore difficoltà per le osservazioni in maggio, nel precedente ciclo ciò deve essere capitato a marzo 2019, come risulta dal database AAVSO.



Il gap dovuto alla mancanza periodica di osservazioni non aiuta a cogliere questa proprietà della curva di luce. Negli anni precedenti però la stessa considerazione si ripropone. Riteniamo anche, che il motivo che i massimi non si vedano sia quello che la luminosità ordinaria di Betelgeuse, abbia una fluttuabilità su scala pluriennale di circa 6 anni, e viene perturbata ogni 1.2 anni dal passaggio di una macchia oscura, meglio identificabile con una nube di polvere. Questa, in congiunzione superiore, dietro la stella ma sempre in linea vista con noi, può rinforzarne la luminosità occasionalmente.

Lo stato di massimo di Betelgeuse

Si tratta di una lenta oscillazione di quasi 6 anni di periodicità, con la stella che cambia luminosità -mediamente- di ± 0.5 magnitudini in 2.9 anni, quasi 36 mesi.

Dunque nello spazio di massimo 9 mesi, che è il tempo massimo durante il quale la stella non è sottoposta all'eclissi da parte della nube di polvere, la variazione di luminosità può essere al massimo di 0.12 magnitudini, se l'oscillazione è proprio al massimo di velocità di variazione.

Questa lenta variazione di luminosità può sfuggire sia alle osservazioni ad occhio nudo sia a quelle strumentali, perché in 9 mesi, facilmente la stella si trova in periodi di visibilità troppo vicina all'orizzonte o con fondo cielo chiaro.

Il risultato è proprio il tipo di curva di luce con dei minimi a V fluttuanti qua e là, senza particolare regolarità.

Il lavoro di tesi di Dottorato di Margarita Karovska nel 1984 ha cercato proprio di mettere in luce questo aspetto, in linea con le ricerche di astronomia in alta risoluzione che venivano e vengono tutt'ora condotte all'Università e all'Osservatorio di Nizza.

Si voleva osservare i dettagli superficiali della fotosfera di Betelgeuse, cercando di anticiparne le caratteristiche dall'analisi della curva di luce.

I modelli geometrici riportati nell'articolo Sigismondi (2011) con cui è iniziata la campagna osservativa pluriennale di Betelgeuse da parte dell'autore con la sigla SGQ assegnata dall'AAVSO, mostrano un'idea di ciò che sin dagli anni '80 si pensava di osservare ai *laboratoires* di Nizza. Anche Sigismondi, proprio nel 2007-2011 ha lavorato a Nizza per il dottorato in *Sciences de l'Univers*, e può confermare per esperienza diretta l'orientamento di questa scuola prestigiosa, sotto la guida di Jean Arnaud nel campo della fisica e dell'osservazione solare ad alta risoluzione. Oggi il VLT dell'ESO ha permesso queste osservazioni, anche se non ancora al livello necessario per vedere letteralmente i dettagli previsti dalla teoria.



Betelgeuse in alta risoluzione: non ancora vediamo i dettagli della teoria

Safonov et al. (2020, fig. 5) hanno confermato quanto Levesque e Massey (2020) hanno indicato per Betelgeuse: il suo spettro non è sostanzialmente cambiato durante il minimo, e negli ultimi 16 anni, e quindi la variazione di temperatura non spiega quella di luminosità, come Guinan et al. (2019-2020) inizialmente lasciavano intendere. Entrambi gli articoli, come questo, propendono per la polvere. Safonov et al. (2020) mostrano anche che la risalita di Betelgeuse al massimo è stata più rapida della discesa, evidente anche in figura 1, indicando la progressiva rarefazione della nube di polvere sulla linea di vista, come meccanismo di riduzione dell'assorbimento. Nell'infrarosso hanno osservato la stella a fine aprile e contano di osservarla anche in pieno giorno. La tecnica *speckle* sviluppata da loro su un telescopio di 2.5 metri sul Caucaso ha mostrato che la stella ha ripreso luminosità proprio da Sud dov'era oscurata.

Conclusioni:

Se non è cambiata la temperatura è stata la polvere espulsa dalla stessa stella proprio verso di noi a determinare l'oscuramento di quest'anno: noi lo abbiamo dedotto dallo studio della curva di luce visuale, come fece M.Karovska 36 anni fa.

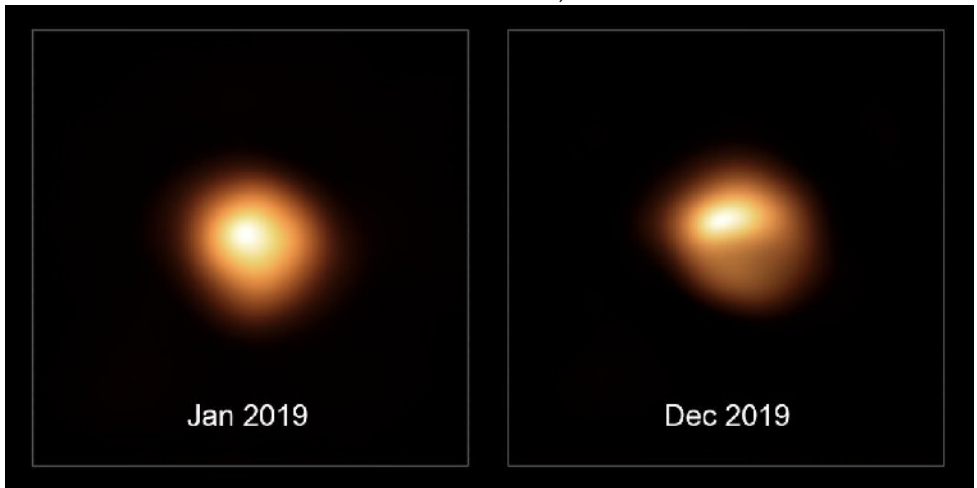


Fig. 2 Immagine ESO/SPHERE di Betelgeuse ad alta risoluzione (Montarges et al.)

Referenze

- E. O' Gorman, et al. , arXiv:1706.06021 (2017)
M. Montarges, et al. <https://www.eso.org/public/italy/news/eso2003/> (2020)
E. M. Levesque, P. Massey, *Astrophys. J. Letters* **891**; 37 (2020)
B. S. Safonov, et al. arxiv2005.05215 (2020) M. Karovska, *Lect. Not. Phys* **274**,260 (1987)



Le oscillazioni solari e le armoniche stabili del sistema solare

Nicola Scafetta

(Dipartimento di Scienze della Terra, dell'ambiente e delle risorse -
Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli)

Abstract

Solar activity is characterized by specific oscillations known in the literature as the cycles of Bray–Hallstatt (2100–2500 yr), Eddy (800–1200 yr), Suess–de Vries (200–250 yr), Jose (155–185 yr), Gleissberg (80–100 year), the 55–65 yr cluster, the 40–50 yr cluster and others. Herein I show that these oscillations emerge from a specific set of planetary harmonics - the *orbital invariant inequalities* - produced by the Jovian planets (Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune). The result suggests that solar activity is modulated by harmonic planetary forcings.

Riassunto

L'attività solare è caratterizzata da oscillazioni specifiche conosciute in letteratura come i cicli di Bray – Hallstatt (2100–2500 anni), Eddy (800–1200 anni), Suess – de Vries (200–250 anni), Jose (155–185 anni), Gleissberg (80–100 anni), il cluster 55–65 anni, il cluster 40–50 anni e altri. Qui mostro che queste oscillazioni emergono da un insieme specifico di armoniche planetarie - le *disuguaglianze invarianti orbitali* - prodotte dai pianeti gioviani (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Il risultato suggerisce che l'attività solare è modulata da forzanti planetari armonici.

Introduzione

Quando fu scoperto il ciclo solare di 11 anni, Wolf (1859) comprese bene il problema fisico che tale scoperta poneva e ipotizzò che esso potesse emergere da una influenza planetaria ad opera di Venere, della Terra, di Giove e di Saturno. L'idea fu che un certo tipo di forzanti periodici collegati al movimento orbitale dei pianeti (ad esempio, maree gravitazionali) potessero sincronizzare la dinamica interna del Sole facendola variare armonicamente a frequenze specifiche.

La teoria è sempre stata presa con un certo scetticismo perché la distanza dei pianeti dalla nostra stella è così grande che le maree gravitazionali



indotte da quest'ultimi sulla superficie del Sole sono così piccole - cioè dell'ordine del millimetro - da essere ritenute del tutto trascurabili: vedi, ad esempio, la discussione in Scafetta (2012a). Tuttavia, nessuno finora è riuscito a spiegare il perché l'attività solare oscilli con un ciclo intorno agli 11 anni. Questo ciclo solare è noto nella letteratura scientifica come il ciclo delle macchie solari di Schwabe.

Infatti, le più moderne teorie sulla dinamo solare ci assicurano che l'attività del sole dovrebbe oscillare, ma non ci dicono che essa debba oscillare con il periodo e la fase osservati (Tobias, 2002). Questi modelli vengono opportunamente calibrati per ottenere qualcosa che vagamente rassomiglia alla realtà (Jiang et al., 2007). L'inabilità di questi modelli nello spiegare il ciclo principale osservato nell'attività solare è riconosciuto anche dagli stessi critici di un influsso astronomico sul sole (de Jager and Versteegh, 2005). Quindi, cosa sta inducendo il Sole ad oscillare con un periodo, per giunta variabile, intorno agli 11 anni rimane un grande mistero.

Negli ultimi 50 anni tanti progressi sono stati fatti e hanno accresciuto le nostre conoscenze riguardo l'attività solare. E' stato scoperto, ad esempio, che il ciclo solare di 11 anni è solo quello più evidente. Esso in realtà è un ciclo variabile, come detto. Sono stati osservati anche lunghi periodi in cui esso era pressoché scomparso come durante il grande minimo solare di Maunder dal 1645 al 1715; periodo durante il quale il clima sulla Terra si è raffreddato (Eddy, 1976).

Ulteriori studi hanno determinato che oltre al ciclo di 11 anni delle macchie solari di Schwabe e quello magnetico ad esso associato di 22 anni di Hale, l'attività solare è caratterizzata da diverse oscillazioni più lunghe che sono oggi note nella letteratura scientifica come il ciclo di Bray-Hallstatt (2100–2500 anni), di Eddy (800–1200 anni), di Suess-de Vries (200–250 anni), di Jose (155–185 anni), di Gleissberg (80–100 anni), i cicli di 55–65 anni ed altri: vedi le numerose citazioni in Scafetta (2020). Identiche oscillazioni sono osservate anche nei record climatici: cosa che suggerisce uno stretto legame tra la variabilità solare e il clima.



Tutto questo, ovviamente, rende questa ricerca non solo affascinante da un punto di vista astrofisico, ma anche molto utile al fine di prevedere almeno una componente importante dei cambiamenti climatici: vedi, ad esempio, le analisi proposte in Neff et al. (2001), Kerr (2001), Ogurtsov et al. (2002), Steinhilber et al. (2012) e altri studi inclusi i miei.

Quindi, comprendere la dinamica solare è diventato sempre più importante e, soprattutto a causa dell'inabilità dei modelli solari tradizionali di spiegare le osservazioni, nell'ultimo ventennio diversi lavori sono apparsi riproponendo, modernizzandola, l'idea di Wolf del 1859 di un legame tra la variabilità solare e i moti planetari che appaiono essere gli unici in grado di generare forzanti armonici.

Le evidenze sperimentali di un influsso planetario sull'attività solare vanno dalla scoperta che diverse fiammate solari ed altri fenomeni di una certa intensità sono avvenuti durante specifici allineamenti planetari (Hung, 2007; Bertolucci et al., 2017; Morner et al. 2015), alla costatazione che esiste una certa affinità tra lo spettro dei dati solari con le funzioni dedotte dai moti orbitali come, ad esempio, il moto del sole relativo al centro di massa del sistema solare che deve essere però capito come un proxy (Fairbridge e Shirley, 1987; Abreu et al., 2012; Scafetta and Willson, 2013; Scafetta et al., 2016; e altri).

Nell'ultimo mio lavoro (Scafetta, 2020) credo di avere identificato con precisione le armoniche planetarie rilevanti per spiegare il fenomeno. Queste derivano dai cicli sinodali dei grandi pianeti gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) e dalle loro combinazioni. La principale caratteristica fisica di queste armoniche è quella di essere invarianti rispetto a qualunque sistema di riferimento ruotante come il sole e l'eliosfera. Proprietà questa necessaria per attivare i processi di sincronizzazione tra un debole forzante armonico esterno e un sistema dinamico oscillante, come inizialmente scoperto da Huygens nel XVII secolo il quale fu impressionato dalla mutua sincronizzazione di due pendoli attaccati allo stesso muro che dopo un pò iniziavano a oscillare nello stesso modo (Strogatz, 2009). Per queste loro proprietà, queste



oscillazioni planetarie sono state da me chiamate le *disuguaglianze invarianti orbitali*.

Le disuguaglianze invarianti orbitali dei pianeti gassosi

In questo paragrafo richiamiamo brevemente la definizione di queste armoniche mentre ulteriori dettagli possono essere trovati in Scafetta (2020).

In meccanica celeste, date due armoniche di periodo T_1 e T_2 e due interi n_1 e n_2 , si dice che esiste una risonanza se $T_1/T_2 = n_1/n_2$. In generale, questa identità non è vera e si definisce una *disuguaglianza* con frequenza f e periodo T come:

$$f = \frac{1}{T} = \left| \frac{n_1}{T_1} - \frac{n_2}{T_2} \right|. \quad (1)$$

I casi più semplici dedotti dall'equazione (1) sono i periodi di congiunzione tra due pianeti, detti anche periodi sinodali, che sono definiti come un battimento, cioè come:

$$f_{12} = \frac{1}{T_{12}} = \left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|. \quad (2)$$

La tabella 1 mostra i periodi sinodali tra i quattro pianeti gassosi (Giove, saturno, Urano e Nettuno) con le relative fasi temporali medie più vicine all'anno 2000.



	Orb. Inv. Ineq.	Period (yr)	Julian Date	Long.
Jup–Sat	(1, −1, 0, 0)	19.8593	2451718.4	52° 01′
Jup–Ura	(1, 0, −1, 0)	13.8125	2450535.8	305° 22′
Jup–Nep	(1, 0, 0, −1)	12.7823	2450442.1	297° 21′
Sat–Ura	(0, 1, −1, 0)	45.3636	2447322.1	269° 05′
Sat–Nep	(0, 1, 0, −1)	35.8697	2447725.6	281° 14′
Ura–Nep	(0, 0, 1, −1)	171.393	2449098.1	289° 22′

Tabella 1: Periodi sinodali dei pianeti gassosi.

L’equazione 2 può essere generalizzata per un numero n di armoniche come:

$$f = \frac{1}{T} = \left| \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T_i} \right|, \tag{3}$$

dove a_i sono numeri interi. Tra tutte le possibili *disuguaglianze* orbitali date dall’equazione (3), ne esiste un ristretto sottoinsieme che è definito dalla condizione:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 0. \tag{4}$$

Ad esempio, i periodi sinodali (Eq. 2) fanno parte di questo sottoinsieme. La condizione imposta dall’equazione (4) è molto importante perché definisce un insieme di armoniche invarianti rispetto ad un sistema ruotante com’è il Sole e l’eliosfera. Infatti, dato un sistema di riferimento ruotante centrato nel Sole con periodo P , i periodi orbitali visti da esso sono dati da:

$$f'_i = \frac{1}{T'_i} = \frac{1}{T_i} - \frac{1}{P}. \tag{5}$$



Quindi, rispetto a questo sistema di riferimento ruotante, le *disuguaglianze orbitali* sono date da

$$f' = \frac{1}{T'} = \left| \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T_i'} \right| = \left| \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T_i} - \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{P} \right|. \quad (6)$$

Se la condizione dell'equazione 4 è imposta, si ha che $f'=f$ e $T'=T$. Quindi, questo set di *disuguaglianze orbitali* rimane costante indipendentemente dal sistema di riferimento ruotante da cui si osservano. In altre parole, ad esempio, la congiunzione di due pianeti è un evento che viene osservato in modo equivalente in tutti i sistemi ruotanti centrati nel Sole. Per questa loro proprietà fisica, le *disuguaglianze orbitali* definite dalla condizione data dall'equazione (4) sono state definite come *invarianti*.

La Tabella 2 riporta le *disuguaglianze invarianti orbitali* generate dai pianeti gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Esse sono elencate usando il formalismo:

$$T = (a_1, a_2, a_3, a_4), \quad (6)$$

dove a_1, a_2, a_3 e a_4 sono numeri interi tali che la loro somma dà zero, secondo l'equazione (4). Ogni indice si riferisce ad un pianeta gassoso secondo l'ordine usuale da Giove a Nettuno.



(Jup, Sat, Ura, Nep)	(M, K)	T (year)	cluster
(1, -3, 5, -3)	(5, 6)	42.1	~ 45 yr
(0, 0, 4, -4)	(4, 4)	42.8	
(2, -5, 1, 2)	(5, 5)	43.7	
(1, -3, -3, 5)	(5, 6)	43.7	
(1, -2, 0, 1)	(2, 2)	44.5	
(0, 1, -1, 0)	(1, 1)	45.4	
(1, -4, 2, 1)	(4, 4)	46.3	
(1, -1, -5, 5)	(5, 6)	47.2	
(1, -3, 4, -2)	(4, 5)	55.8	~ 60 yr
(0, 0, 3, -3)	(3, 3)	57.1	
(2, -5, 0, 3)	(5, 5)	58.6	
(1, -3, -2, 4)	(4, 5)	58.6	
(1, -2, -1, 2)	(2, 3)	60.1	
(0, 1, -2, 1)	(2, 2)	61.7	
(1, -4, 3, 0)	(4, 4)	63.4	
(1, -3, 3, -1)	(3, 4)	82.6	Gleissberg
(0, 0, 2, -2)	(2, 2)	85.7	
(2, -5, -1, 4)	(5, 6)	89.0	
(1, -3, -1, 3)	(3, 4)	89.0	
(1, -2, -2, 3)	(3, 4)	92.5	
(0, 1, -3, 2)	(3, 3)	96.4	
(1, -4, 4, -1)	(4, 5)	100.6	
(1, -3, 2, 0)	(3, 3)	159.6	Jose
(0, 0, 1, -1)	(1, 1)	171.4	
(2, -5, -2, 5)	(5, 7)	185.1	
(1, -3, 0, 2)	(3, 3)	185.1	
(1, -2, -3, 4)	(4, 5)	201.1	Suess-de Vries
(0, 1, -4, 3)	(4, 4)	220.2	
(1, -4, 5, -2)	(5, 6)	243.4	
(0, 1, -5, 4)	(5, 5)	772.7	Eddy
(1, -2, -4, 5)	(5, 6)	1159	
(1, -3, 1, 1)	(3, 3)	2318	Bray-Hallstatt

Tabella 2: Le *disuguaglianze invarianti orbitali* dei pianeti gassosi fino agli ordini M (= massimo valore a_i) e K (= metà della somma di $|a_i|$).



Le armoniche sono divise in cluster o gruppi che richiamano le oscillazioni solari note nella letteratura scientifica e che sono state elencate sopra nell'Introduzione. Le stesse armoniche sono mostrate anche nella Figura 1 e rivelano una struttura armonica con periodo base di 179.2 anni. Questo periodicità corrisponde ad una frequenza di 0.00558 1/anni e l'armonica risultante è conosciuta come il ciclo di Jose (1965).

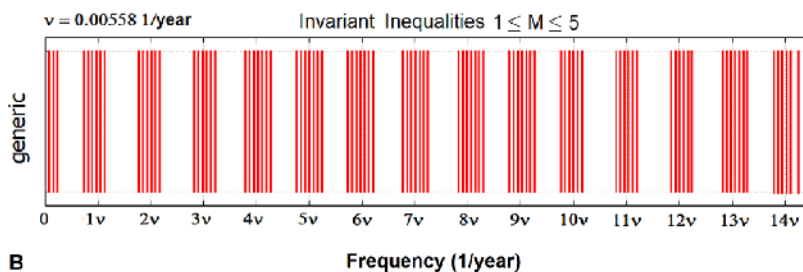


Figura 1: Le *disuguaglianze invarianti orbitali* dei pianeti gassosi. Nota i clusters strutturati secondo una serie armonica basata sul ciclo di Jose.

Le armoniche sono state elencate usando due indici M e K . Quello qui più importante è l'indice K che è uguale alla metà della somma dei valori assoluti dei coefficient a_i che formano un'armonica. Poiché l'equazione 4 deve valere, è facile rendersi conto che l'indice K indica il numero delle frequenze sinodali tra i pianeti gassosi che compongono tali *disuguaglianze invarianti orbitali*.

Ad esempio, il ciclo (1,-3,1,1) ha $K=3$ e può essere scomposto in tre cicli sinodali in quanto è equivalente a (1,-1, 0, 0)-(0,1,-1,0)-(0,1,0,-1). Quindi, esso è un battimento ottenuto dalla combinazione dei cicli sinodali di Giove-Saturno, Saturno-Urano e Saturno-Nettuno. Nello stesso modo è possibile scomporre ogni *disuguaglianza invariante orbitale*. Quindi, queste armoniche sono i battimenti dei cicli sinodali e possono essere tutte ottenute usando i periodi e le fasi temporali elencati nella Tabella 1. L'importanza fisica delle armoniche elencate nella Tabella 2 è mostrata in Figura 2 che confronta una ricostruzione della variabilità solare dedotta dal record di $\Delta^{14}\text{C}$ ed una ricostruzione climatica dedotta da un record di



$\delta^{18}\text{O}$ da 9500 a 6000 anni fa: adattato da Neff et al. (2001).

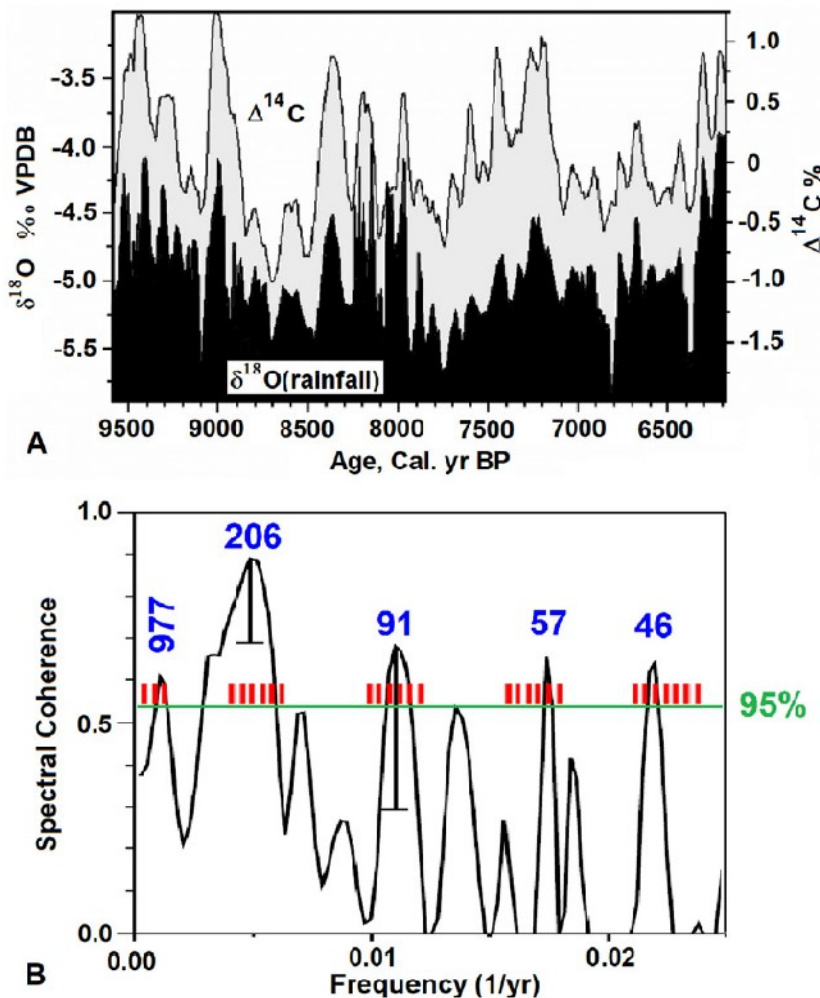


Figura 2: Frequenze solari e climatiche confrontate con le *disuguaglianze invarianti orbitali*.

I due record sono fortemente correlati e presentano numerosi frequenze comuni che corrispondono ai cicli di Eddy (800–1200 anni), Suess – de Vries (200–250 anni), Jose (155–185 anni), Gleissberg (80–100 anni), il cluster 55–65 anni, il cluster 40-50 anni e altri. In Figura 2B i picchi



spettrali comuni nei due record sono poi confrontati con le *disuguaglianze invarianti orbitali* (barre rosse) mostrate in Figura 1 ed elencate nella Tabella 2. La Figura 2 mostra che il modello orbitale prevede perfettamente tutte le frequenze principali osservate nei dati solari e climatici per millenni.

Questo lo si può mostrare più esplicitamente ricostruendo direttamente il grande ciclo di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni) che secondo il modello orbitale proposto sarebbe riprodotto dalla *disuguaglianza invariante orbitale* (1,-3,1,1) che ha un periodo di 2318 anni. Questo ciclo è stato studiato in dettaglio in McCracken et al. (2013) (Figura 3) e in Scafetta et al. (2016).

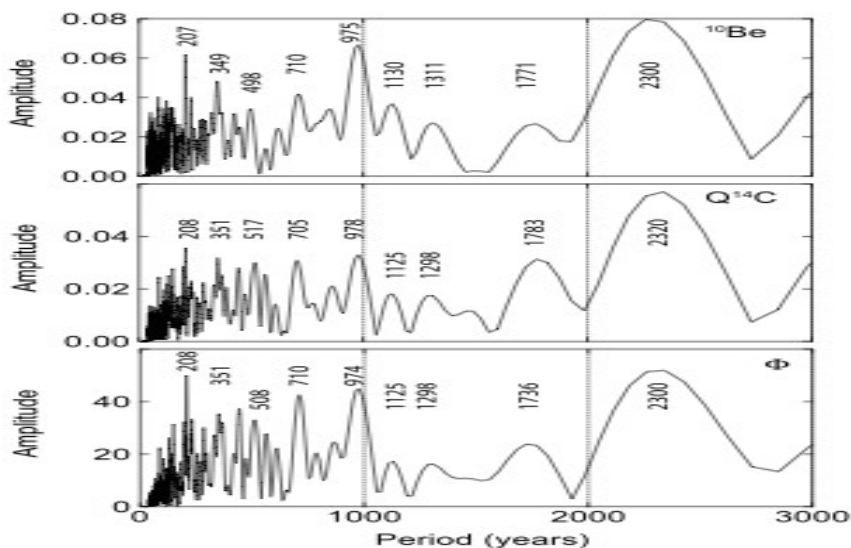


Figura 3: Cicli di Eddy (800-1200 anni) e di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni) in tre alternativi record solari: da McCracken et al. (2013).



Seguendo le equazioni mostrate in Scafetta (2020), la ricostruzione completa del ciclo di Bray–Hallstatt (curva rossa in B) usando la *disuguaglianza invariante orbitale* (1,-3,1,1) (curva blu in A e B) è mostrata in Figura 4.

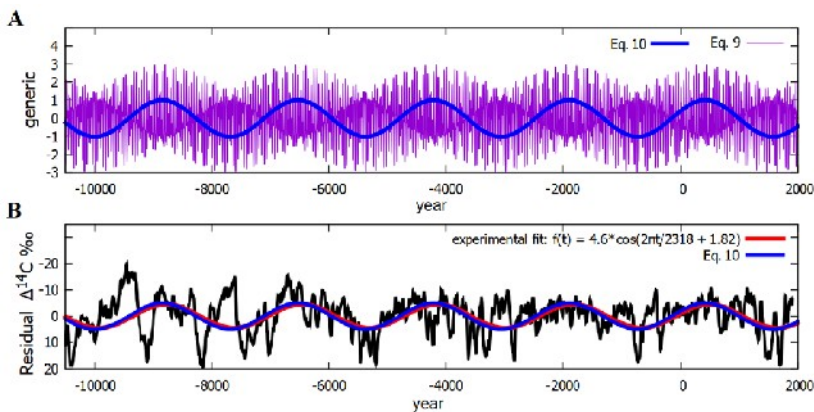


Figura 4: Ricostruzione del ciclo di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni) (curva rossa in B) usando la *disuguaglianza invariante orbitale* (1,-3,1,1) (curva blu in A e B). Dettagli in Scafetta (2020).

Conclusione

I dati relativi alla variabilità solare e quelli climatici degli ultimi 11000 anni mostrano una variabilità altamente correlata e caratterizzata da un numero di armoniche comuni come il ciclo di Bray–Hallstatt (2100–2500 anni), di Eddy (800–1200 anni), di Suess–de Vries (200–250 anni), di Jose (155–185 anni), di Gleissberg (80–100 anni), i cicli di 55–65 anni ed altri. Sopra abbiamo visto che tutte queste armoniche sono predette da un insieme di frequenze orbitali chiamate le *disuguaglianze invarianti orbitali*. Queste frequenze derivano dai cicli sinodali dei grandi pianeti gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Queste armoniche hanno un significato fisico importante perché essendo invarianti rispetto a ogni sistema di riferimento hanno la potenzialità di sincronizzare la dinamo solare inducendo l'attività solare a sincronizzarsi con essa.

Lo studio di Scafetta (2020) complementa altri studi, inclusi alcuni i suoi,



dove si propongono modelli planetari in grado di predire il ciclo solare di 11 anni, questa volta usando le armoniche orbitali prodotte da Venere, Terra, Giove e Saturno come già Wolf intuì nel lontano 1856: vedi le discussioni dettagliate in Scafetta (2012a, 2012b, 2014).

Le critiche comuni vertono perlopiù sul meccanismo fisico attraverso il quale i pianeti potrebbero influenzare l'attività solare. Anche se al momento il problema fisico non è pienamente risolto, la critica appare debole perché non dimostra l'inesistenza del meccanismo ma solo il fatto che al momento è sconosciuto. Infatti, nessun modello solare che assume la nostra stella come un corpo isolato dal resto del sistema solare è stato capace di spiegare i cicli solari osservati.

Alternativamente, è del tutto possibile che l'effetto delle piccole maree gravitazionali dei pianeti sul Sole siano amplificate fino ad un milione di volte e più, da meccanismi interni di fusione nucleare (vedi il modello proposto in Scafetta, 2012a) e/o che configurazioni planetarie periodiche modulino flussi di materia interna o esterna al sistema solare che, cadendo sul Sole, ne stimolino l'attività: vedi anche Bertolucci et al. (2017). Inoltre, i processi di sincronizzazione armonica sono attivabili anche da deboli forzanti oscillanti.

In conclusione, credo che le evidenze tuttora raccolte mostrino in un modo sufficientemente convincente che l'attività solare è modulata dalle armoniche planetarie. Infine, queste stesse armoniche sono osservate anche nei cambiamenti climatici per capire i quali è, quindi, necessario comprendere bene non solo come il Sole si comporta ma anche la fisica del sistema solare e di come i flussi di materia si muovono nel suo interno.

Referenze

Abreu, J.A., Beer, J., Ferriz-Mas, A., McCracken, K.G., Steinhilber, F.: 2012, Is there a planetary influence on solar activity? *Astron. Astrophys.* 548, A88.

Bertolucci, S., Zioutas, K., Hofmann, S., Maroudas, M.: 2017, The Sun and its planets as detectors for invisible matter. *Phys. Dark Universe* 17, 13.

de Jager, C., Versteegh, G.J.M.: 2005, Do planetary motions drive solar



variability? Solar Physics 229, 175–179.

Eddy, J.A.: 1976, The maunder minimum. Science 192, 1189.

Fairbridge, R.W., Shirley, J.H.: 1987, Prolonged minima and the 179-yr cycle of the solar inertial motion. Solar Phys. 110, 191.

Hung, C.-C.: 2007, Apparent relations between solar activity and solar tides caused by the Planets. NASA report/TM-2007-214817.

Kerr, R.A.: 2001, A variable Sun paces millennial climate. Science 294, 1431.

Jiang, J., Chatterjee, P., Choudhuri, A.R.: 2007, Solar activity forecast with a dynamo model. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 381, 1527–1542.

Jose, P.D.: 1965, Sun's motion and sunspots. Astrophys. J. 70, 193.

McCracken, K.G., Beer, J., Steinhilber, F., Abreu, J.: 2013, A phenomenological study of the cosmic ray variations over the past 9400 years, and their implications regarding solar activity and the solar dynamo. Solar Phys. 286, 609.

Mörner, N.-A., Scafetta, N., Solheim, J.-E.: 2015, The January 7 giant solar flare, the simultaneous triple planetary conjunction and additional records at Tromsø, Northern Norway. In: Mörner, N.-A. (ed.) Planetary Influence on the Sun and the Earth, and a Modern Book-Burning. Nova, New York. ISBN-10:

1634828372.

Neff, U., Burns, S.J., Mangini, A., Mudelsee, M., Fleitmann, D., Matter, A.: 2001, Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago. Nature 411, 290.

Ogurtsov, M.G., Nagovitsyn, Y.A., Kocharov, G.E., Jungner, H.: 2002, Long-period cycles of the Sun's activity recorded in direct solar data and proxies. Solar Phys. 211, 371.

Scafetta, N.: 2012a, Does the Sun work as a nuclear fusion amplifier of planetary tidal forcing? A proposal for a physical mechanism based on the mass-luminosity relation. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 81–82, 27.

Scafetta, N.: 2012b, Multi-scale harmonic model for solar and climate cyclical variation throughout the Holocene based on Jupiter–Saturn tidal



frequencies plus the 11-year solar dynamo cycle. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 80, 296.

Scafetta, N.: 2014, Discussion on the spectral coherence between planetary, solar and climate oscillations: A reply to some critiques. Astrophys. Space Sci. 354, 275.

Scafetta, N.: 2020, Solar Oscillations and the Orbital Invariant Inequalities of the Solar System. Solar Physics 295:33.

Scafetta, N., Milani, F., Bianchini, A., Ortolani, S.: 2016, On the astronomical origin of the Hallstatt oscillation found in radiocarbon and climate records throughout the Holocene. Earth-Sci. Rev. 162, 24.

Scafetta, N., Willson, R.C.: 2013b, Empirical evidences for a planetary modulation of total solar irradiance and the TSI signature of the 1.09-year Earth–Jupiter conjunction cycle. Astrophys. Space Sci. 348, 25.

Steinhilber, F., Abreu, J.A., Beer, J., et al.: 2012, 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109, 5967.

Strogatz, S.H.: 2009, Exploring complex networks. Nature 410, 268.

Tobias, S.M.: 2002, The solar dynamo. Philosophical Transactions on the Royal Society A 360 (1801), 2741–2756.

Wolf, R.: 1859, Extract of a Letter from Prof. R. Wolf, of Zurich, to Mr. Carrington, dated Jan. 12, 1859. Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 19, 85.



Convoluzione tra oscuramento al bordo e diffrazione, nell'eclissi solare parziale del 21 giugno 2020

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza, IIS Caffè Rome, AAVSO)

Elisa Caldarella e Claudia Cicillini (Sapienza Università di Roma)

submitted June 21, 2020 accepted July 2, 2020

Abstract

The measurement of the solar diameter using central eclipses is a well-established technique exploiting the ON-OFF timing of Bailey's beads. We investigate the role of diffraction convoluted with the limb darkening function in the case of a partial and almost grazing solar eclipse: the one of 21st June 2020 from Rome, lasted only 28 minutes with 2.4% of photosphere's occultation. The O-C timing results -22.8 s and + 22.7 s from selected photograms of the video, 5 after t_1 , and 5 before t_2 . This indicate a symmetric effect on either sides, of 1.2 arcsec, of diffraction's nature. Rayleigh diffraction is expected to be 2 arcsec for a 64 mm aperture Newton telescope with obstruction factor 0.2. 1.2 arcsec instead of 2 arcsec is due to the convolution with the limb darkening function which is not a step function as in the Rayleigh solution. This extra-diameter therefore is not physical, but optical, and has to be considered to calibrate transit measurements. The maximum phase of the eclipse is identified with O-C 2.6 s, or 0.1 arcsec of angular precision, well beyond diffraction limit (like 1 meter-size solar telescope), by using 11 selected photograms among the full length of the video, with good seeing conditions. The application of this method to the solar diameter measurement has the advantage of the very good knowledge of the ephemerides of Sun and Moon, and it is independent of the marginal details of the lunar limb, washed out by the seeing and changing from first to last contact at different position angle.

Riassunto La misura del diametro solare usando eclissi centrali (anulari o totali) è un metodo ben consolidato, che sfrutta il timing di tipo ON-OFF dei grani di Bailey. Durante un'eclissi parziale quasi radente, come quella di Roma il 21 Giugno 2020 al 2.4% al massimo, non si hanno grani di Bailey e la diffrazione di Rayleigh versa fotoni solari all'interno del lembo lunare sovrapposto alla fotosfera. I tempi di contatto osservati, rispetto a quelli calcolati O-C sono -22.8 s e + 22.7 s rispettivamente per il primo contatto t_1 e per il secondo t_2 , a partire dal fit parabolico fatto su 5 fotogrammi per parte, selezionati dal video con seeing migliore. Questi valori di O-C sono consistenti con un diametro solare aumentato di 1.2 arcsec, ma questo valore è di origine ottica, e non del Sole: la diffrazione di Rayleigh è 2 arcsec per i 64 mm di telescopio Newton con fattore di ostruzione 0.2 utilizzato per l'osservazione. Questo effetto di 1.2 arcsec deve essere considerato come sistematico nelle misure di transiti in modalità drift-scan. Il valore di 1.2 arcsec invece che 2 arcsec è dovuto alla convoluzione con la funzione di oscuramento al bordo che non è una funzione a gradino, per cui si applica la soluzione di Rayleigh. La fase di massima eclissi è ricavata da 11 fotogrammi con seeing buono con una precisione



O-C pari a 2.6 s, corrispondenti a 0.1 arcsec di precisione angolare, valore ben al di là del limite di diffrazione, come fosse un telescopio solare di 1 metro di diametro. L'applicazione di questo metodo al diametro solare si avvantaggia dell'ottima conoscenza che abbiamo sulle effemeridi del Sole e della Luna, e risulta indipendente dai dettagli del lembo lunare, cancellati dal seeing atmosferico e dalla risoluzione del telescopio, e che cambiano tra il primo e l'ultimo contatto della Luna con la fotosfera a differenti angoli di posizione.

Keywords solar eclipse, partial eclipse, Baily's beads, diffraction, limb darkening function, step function, convolution, solar diameter, ephemerides, lunar limb atlas.

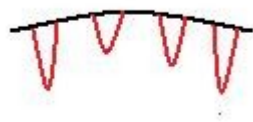
Parole chiave eclissi solare, eclissi parziale, perle o grani di Baily, diffrazione, oscuramento al bordo, funzione gradino, convoluzione, diametro solare, effemeridi, atlante del lembo lunare.

Introduzione: Baily beads vs smooth limb

Il progetto di misurare il diametro solare a partire dalle eclissi ha avuto il suo acme nel 1978-1980 quando Jack Eddy pubblicò il dato di Clavio dell'eclissi anulare del 9 maggio 1572 osservata a Roma: perché fosse anulare era necessario che Sole fosse 4 arcsec più grande del suo valore standard a 1 UA di 1919.63 arcsec di diametro. Nel 1979 Sabatino Sofia e il suo gruppo sfruttarono l'eclissi totale americana che seguiva quella del 1925 passata su New York City di un *exeligmos*, tre cicli di Saros completi, in capo ai quali i profili dei lembi lunari che occultavano il Sole erano gli stessi di 54 anni e 33 giorni prima.

Da allora le missioni dedicate alle eclissi di Sole si moltiplicarono, con la variante di andare ai bordi della totalità, dove i grani o perle di Baily erano molto più numerosi. Questi sono prodotti da un lembo di fotosfera che fa capolino in una valle lunare del lembo, e dove il lembo della Luna scorre parallelamente a quello del Sole, si ha la massima produzione di tali fenomeni. Conoscendo al meglio il profilo del lembo lunare e confrontando i tempi di accensione e spegnimento di queste perle luminose, si ricava –a partire dalla posizione dell'osservatore- il valore più probabile del limite esterno della fotosfera, ossia il valore del raggio fotosferico del Sole in quel momento, con una precisione statistica migliore di 0.01 arcsec (Sigismondi, et al. 2009; Dunham e Dunham 1973; Guhl 2020).

Tuttavia nelle eclissi parziali generalmente il lembo del Sole e quello



medio della Luna non sono paralleli eccetto agli istanti dei contatti. Unico caso che fa eccezione è l'eclissi parziale radente, dove l'angolo formato tra i due lembi si mantiene prossimo al parallelismo, ma la fotosfera fronteggia il lembo lunare nello sfondo dello scattering di Mie e di Rayleigh in atmosfera, con tutta la sua luminosità, e non solo con una piccolissima parte delimitata da una o più valli lunari.

Basti pensare che un singolo grano di Baily durante l'eclissi del 29 marzo 2006 osservata da Sigismondi a Sidi Barrani, Zawayet al Mahtallah (Egitto) era sufficiente ad abbagliare l'occhio, e occorreva porvi sopra un pollice per osservare l'eclissi a occhio nudo, con l'evoluzione della corona. Per queste ragioni si è sempre ritenuto che le eclissi parziali non fossero utili a misurare con precisione il diametro solare, mancando il contributo statistico di più grani di Baily collocati sulla circonferenza del disco solare a vari angoli di posizione.

Questo articolo vuole sfatare questo assunto con la prova dell'eclissi del 21 giugno 2020 da Roma, a poco più di un grado di latitudine dalla linea di radenza dei lembi medi di Sole e Luna.

Punti di forza delle eclissi nella misura del diametro solare

Le eclissi solari sono allineamenti di Sole e Luna che avvengono lungo la linea di vista dell'osservatore, fuori dall'atmosfera terrestre. La turbolenza di quest'ultima non li modifica, e, nel caso di eclissi totali, l'inizio del buio avviene in un istante ben preciso, determinato dal diametro del Sole in quell'istante e dal profilo lunare lungo la linea di vista sempre in quell'istante. Con C. B. Watts (1962) questo profilo era noto con circa 0.2 arcsec di precisione, che dopo la missione giapponese Kaguya/Selene (2009), è sceso a pochi metri (si ricordi l'equivalenza media $1 \text{ arcsec} = 2 \text{ km}$). Le effemeridi del centro della Luna, del suo lembo medio, del centro del Sole e del lembo medio del Sole, sono note con precisione analoga. Potenzialmente quindi possiamo prevedere, ossia calcolare, gli istanti di contatto reale dei due lembi lungo ogni linea di vista e confrontarli con l'osservazione. Tuttavia per un'eclissi parziale né l'istante del primo contatto, né i dettagli del lembo lunare che si staglia sulla fotosfera brillante sono visibili. Nell'eclissi totale invece questi sono evidenti grazie



al contrasto luce-oscurità della pochissima parte di fotosfera visibile dietro il bordo lunare che copre tutto il resto del Sole.

Un'eclissi parziale, in ultima analisi, è la sovrapposizione di un disco oscuro ad uno brillante, se consideriamo i lembi medi. E' possibile misurare la corda tagliata dalla Luna sul disco solare per ogni fotogramma e vederne la progressione: il suo andamento col tempo è una parabola.

Sequenza di immagini nelle fasi dell'eclissi del 21 Giugno 2020

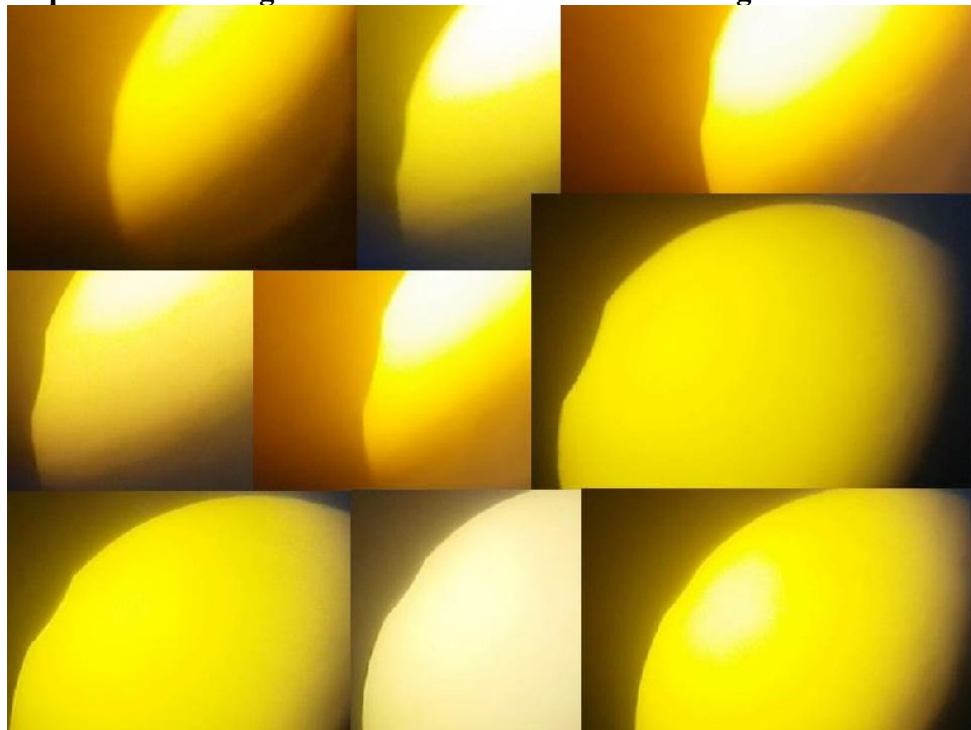
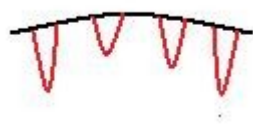


Fig. 1 una sequenza di 9 fotogrammi dell'eclissi del 21 giugno 2020 degli 11 usati per le analisi dati qui presentate.

Le immagini sono ottenute ad un telescopio Newton di 3" f/5 montatura Dobson con filtro giallo a 525 ± 50 nm e filtro in Mylar di densità 5.

Il rivelatore è la camera dello smartphone Samsung J5. Il settaggio delle esposizioni è, purtroppo, automatico e risulta sovraesposto dove si vede



bianco, e fortemente sottoesposto nei bordi inferiori, vignettati dell'immagine solare.



Fig. 2 Il Sole al massimo dell'eclissi. L'angolo formato dai lembi è ottuso e attorno ai 160° . La forte vignettatura in basso è dovuta alla distanza tra la lente dell'oculare SR 6 mm dalla lente della videocamera. C'è anche un certo ingrandimento digitale attorno a 2x, lasciato costante durante tutta la ripresa video.

La misura di ogni corda è stata fatta con la funzione “seleziona” dell'imager di windows, con il mouse. La selezione rettangolare da un punto di contatto tra i lembi e l'altro, viene automaticamente misurata in pixel, es. 46x22. Questo valore è stato trascritto su un file excel per



ciascuno dei fotogrammi. Poi è stata calcolata la lunghezza della corda in pixel col teorema di Pitagora, visto che la corda è la diagonale della selezione rettangolare effettuata: $c=\sqrt{46^2+22^2}=50.99$.

t[s]	a [pixel]	b [pixel]	corda [pixel]
208,26	6	46	46,39
257,72	7	58	58,42
302,96	10	64	64,78
369,07	14	80	81,22
512,28	16	94	95,35
875,84	41	96	104,39
1426,69	42	66	78,23
1509,53	41	59	71,85
1581,18	28	40	48,83
1620,15	25	34	42,2
1652,09	22	30	37,2

Tab. 1 le corde delle immagini, in funzione del tempo. La sincronizzazione con UTC è riportata in figura 3, ossia 1769.50 s dall'inizio del video (che supponiamo procedere a ritmo costante durante tutta la mezz'ora di riprese) corrispondono alle 7:46:49.03

I tre centesimi di secondo aggiunti ai 49 secondi appena scattati nel fotogramma, sono dovuti all'anticipo dell'orologio rispetto alla radio sincronizzazione avvenuta alle ore 0:00-0:04 del 21 giugno 2020, che procede al ritmo di 0.11 s al giorno, come sperimentato lungo tutto il mese di aprile 2020.

Il video è stato girato a 30 immagini per secondo, quindi si potrebbe aggiungere ancora 1.5 centesimi di secondo per quest'ultima ragione, ma a questo livello di analisi soprassediamo.

Le prime cinque corde e le ultime cinque vengono graficate separatamente e tutte e undici insieme ottenendo tre parabole.

Le prime due hanno coefficiente di Pearson $R^2=0.99$ e $R^2=0.96$, l'ultima con tutti i dati insieme $R^2=0.959$, segno che la funzione di fit è proprio una parabola come insegna la geometria. Dalla parabola ascendente ricaviamo l'istante di primo contatto "osservato", anche se di fatto è calcolato come zero sinistro della parabola.

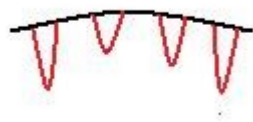




Fig. 3 Frame della sincronizzazione assoluta con UTC (RCVD=radio sincronizzato alle ore 0 precedenti.)



Dalla parabola discendente l'istante di ultimo contatto come zero destro della parabola. Questi istanti "osservati" ovvero ricavati dai dati sperimentali vengono confrontati con le effemeridi, che rappresentano per noi i dati "calcolati", per ottenere il diagramma O-C.

	osservato (fit)	Calsky per le ns coordinate geografiche
parabola	7:18:13.5	7:18:36.3
salita	O-C [s]	-22,8
parabola	7:46:33.6	7:46:10.9
discesa	O-C [s]	22,7

Dal prospetto O-C alle distanze angolari

L'eclissi è simmetrica attorno al suo massimo e l'incremento dura 853 s, raggiungendo 45.4 arcsec (il 2.4% di 1888.25 arcsec che è il diametro solare da effemeridi al momento dell'eclissi). La velocità relativa del profilo lunare rispetto al raggio solare è dunque di 45.4/853 arcsec/s= 0.0532 arcsec/s.

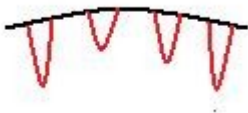
A questa velocità i 22.75 s medi di O-C tra primo e ultimo contatto, corrispondono a 1.21 arcsec, che è di quanto il diametro solare appare più grande rispetto al valore considerato nelle effemeridi.

Affermiamo, e riconosciamo, che questo eccesso è dovuto alla diffrazione attraverso le ottiche del telescopio, che sono diaframmate a D=64.2 mm dal filtro giallo, e questa apertura fornisce una diffrazione di 2.06 arcsec, dalla formula di Rayleigh $\theta=1.22\lambda/D$, per $\lambda=525$ nm.

Differenza con la diffrazione di Rayleigh: la Limb Darkening Function
Il valore di 2 arcsec è la risoluzione angolare di un telescopio di apertura 64.2 mm, significa che il primo minimo della funzione di Airy per sorgente puntiforme attraverso apertura circolare è a quella distanza angolare, dove può trovarsi e risolversi una sorgente puntiforme analoga.

Questo è il caso di due sorgenti puntiformi uguali, e può essere esteso a due bordi infiniti separati di quello spazio angolare, che resta scuro.

I due bordi infiniti sono, implicitamente, considerati anche di luminosità omogenea. Per il Sole abbiamo che l'intensità luminosa verso il lembo decresce rapidamente con pendenza molto accentuata fino al 16% dell'intensità al centro del Sole, e tutto ciò accade negli ultimi 10-20 secondi d'arco (Rogerson, 1959). Questo significa che se per un bordo



infinito, al quale può essere rapportato il lembo solare dove la Luna lo “indenta”, ogni punto interno al lembo emette luce come fa una sorgente puntiforme (è il principio di Huygens-Fresnel), abbiamo che i punti più vicini al lembo contribuiscono solo col 16% della radiazione con cui invece potrebbero contribuire quelli più lontani, ma essendo questi ultimi ben più lontani di 2 arcsec dal lembo non versano alcun fotone solare dentro il lembo lunare. Entro 5 arcsec dal lembo non abbiamo praticamente più contributo dovuto alla diffrazione.

Ciò che dovrebbe emergere da questa argomentazione è che la diffrazione garantisce un minimo di intensità un po' più vicino dei 2 arcsec che darebbe una sorgente a brillantezza omogenea.

Contributo dell'atmosfera

Oltre alla diffrazione abbiamo, in atmosfera, quindi fuori dalle ottiche del telescopio, la diffusione (scattering) sia di Rayleigh (fondo cielo azzurro) sia di Mie (luce bianca), ed entrambe sono massime vicino al bordo del Sole. Quantificare teoricamente questi due contributi esula dal nostro scopo, che è prettamente sperimentale. Ci basti mostrare che la combinazione della convoluzione tra limb darkening function rapidamente variabile nei pressi del lembo solare e diffrazione, più le diffusioni *forward* in avanti sia di Rayleigh che di Mie, portano il diametro del Sole percepito ad aumentare di 1.2 arcsec.

L'algoritmo per individuare il lembo solare è stato semplicemente prendere dove è il bordo dell'immagine del Sole, senza invocare punti di flesso nella curva di intensità luminosa radiale.

Verifiche ulteriori con i transiti in drift-scan

Lo stesso telescopio è stato preparato per effettuare drift-scan attraverso un riferimento a croce sistemato dietro la lente di campo dell'oculare Huygens H 20mm. Utilizzando gli stessi algoritmi di misura del diametro solare adottati per i tramonti (dove il riferimento a croce è costituito dall'orizzonte marino e dalla verticale) si vedrà se questa correzione sistematica porta al valore istantaneo del diametro solare. Per ora abbiamo a disposizione dati da tramonti sul mare in cui il ruolo di diffrazione e scattering è simile, con obbiettivo da 18 mm extra diametro di 7 arcsec. Diffrazione teorica 7.33 arcsec, in ottimo accordo.



Identificazione della fase di massimo dell'eclissi

Il valore di $O-C=2.6$ s, che con la velocità media sopra determinata corrisponde a 0.1 arcsec di precisione. Tenendo conto, però, che al massimo dell'eclissi la velocità radiale del profilo lunare rispetto alla fotosfera si annulla, la differenza di 2.6 s è ancora più rilevante come risultato. Il telescopio, quando alla determinazione di questo parametro, lavora molto meglio che diffraction limited, raggiungendo una risoluzione pari a quella di telescopi di un metro di diametro.

Basterebbe questo a sottolineare l'importanza di un metodo di misura del diametro solare negletto perché sulla carta ce ne sono di migliori, che poi all'atto pratico forniscono risultati altrettanto discutibili...forse per la precarietà delle osservazioni fatte in campo aperto lontano da casa in condizioni sempre imprevedibili.

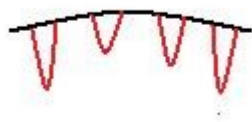
Conclusioni

Con l'applicazione delle tecniche di timing ben oleate nell'astronomia di posizione, con le occultazioni asteroidali, e le tecniche di analisi dati basate sul progresso parabolico della corda di intersezione tra lembo solare e lembo lunare, abbiamo mostrato che è possibile ottenere i tempi di contatto tra i lembi medi di Luna e Sole, e quello del massimo dell'eclissi con precisioni che vanno dal decimo di secondo (per i contatti) al secondo (per la fase massima) in ottimo accordo con le effemeridi.

La geometria particolarmente favorevole dell'eclissi radente, anche se la magnitudine dell'eclissi è stata del 2.4%, ha contribuito al successo di queste misure. I risultati superano il limite di diffrazione per il telescopio utilizzato, dimostrando che la tecnica è valida anche per le eclissi parziali.

Referenze

- Clavio, Commentarius in Sphaera, Venezia, (1580)
J. A. Eddy and A. A. Boornazian, Bull. Am. Astron. Soc. 11, 437 (1979)
S. Sofia, et al., Science 204, 1306 (1979)
Sigismondi, et al., Solar Physics 258, 191 (2009)
D. W. Dunham and J. B. Dunham, The Moon 8, 546 (1973)
K. Guhl, Journal of Occultation Astronomy, 3 2/2020 (2020)
J. B. Rogerson, Astrophys. J. 130, 985 (1959)
C. Sigismondi, video eclissi <https://youtu.be/oCzOVTxT1tk> (2020)



Observations of the Venus lunar occultation of 19 June 2020

Costantino Sigismondi¹ (¹ICRA/Sapienza e IIS F. Caffè, Roma)

sigismondi@icra.it

submitted May 28, 2020 accepted July 7, 2020

Abstract

Upon request of the IOTA/ES President I decided to motivate scientifically and culturally the observation of this phenomenon. It is; 1. more rare than we think, in a lifetime 2. suitable to study photometry in full atmospheric Rayleigh scattering and Mie scattering at 22°40' from the Sun; 3. the occasion to visit the profile of the lunar Cassini Regions, never visible for their nature, and compare our observations with the Kaguya lunar profile; 4. occasion to evaluate the albedo of Venus and Moon near the South Pole terrains, and on Grimaldi crater (the darkest region of the Moon); 5. the chance to make a photo, and a measurement of the two crescents; 6. time to verify the Venus atmosphere effect on its crescent, far from the Sun's direction; 7. the moment to see the Earthshine on the Moon competing with atmospheric scattering 8. occasion to be opened to new ideas. The image obtained by Håkon Dahle (JOA, 3 2020) is discussed about lunar ephemerides (either libration phase, selenographic longitude of the terminator and position angle of the occultation) and Kaguya profile simulation with Dave Herald's Occult 4 program.

Sommario

Su richiesta del Presidente IOTA/ES ho pensato di motivare scientificamente e culturalmente l'osservazione di questo fenomeno, che è: 1. molto più raro di quanto pensiamo; 2. adatto allo studio della fotometria in piena diffusione Rayleigh e Mie a 23° dal Sole; 3. occasione di vedere il profilo delle regioni di Cassini, e compararlo con il profilo di Kaguya; 4. utile per valutare l'albedo di Venere e della Luna anche nella sua regione più scura (Grimaldi); 5. fotografare i due sottili crescenti, e vedere 6. se l'atmosfera di Venere dà effetto su tutto il disco; 7. momento per vedere la luce cinerea; e

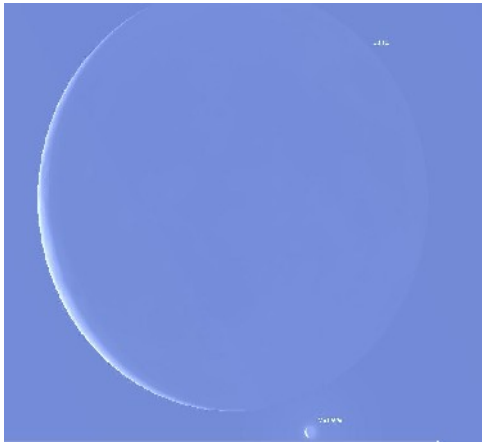
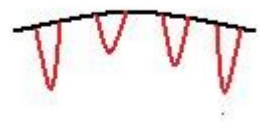


Fig 1. The geometry of the appulse from Rome. 8 apertura a nuove idee. L'immagine di Håkon Dahle (fig. 2 da JOA, 3 2020) è discussa quanto al calcolo delle effemeridi lunari (sia la fase di librazione lunare, la longitudine selenografica del terminatore e l'angolo di posizione dell'occultazione) e la simulazione dei profili di Kaguya fuori dalle eclissi con Occult 4 di Dave Herald.



Introduction In the pedigree of an observative astronomer there are few remarkable occasion like that. I observed 21 may 2004 day and 1 dec 2008 evening occultation of Venus, and the June 19 2020 will be an appulse for Rome, just too South of the grazing line. Another one was observed in day on June 18, 2007 from Lanciano using televideo as timing. Three with two in daytime. Adding Jupiter on 22 June 1983 and 15 July 2012 by night and Saturn on May 22, 2007 daytime (the chase of the Moon...) and night (egress with a whole classroom guest at home). 6 planetary occultations by the Moon, and 3 in daytime, always difficult, 2 of Venus. That's all in 40 years of activity, and I am proud to say: three of them were public events.

Photometry in daytime this is a complicate issue: the airmass correction, set up with the Sun's observations in January 2003, 0.236 magnitudes per airmass for Rome, does not apply for the stars near the horizon in sunlight, because the sky background is variably brighter in dependance of the solar elongation and of meteorological conditions. The same difficulties that Ptolemy describes for the observations of heliacal risings/settings of the stars. The extinction of 23° from the Sun in daytime beyond normal airmass includes Rayleigh and Mie scattering in the atmosphere, to be evaluated in the occasion of the event. I am actually observing Betelgeuse toward its heliacal setting, in order to evaluate its new maximum magnitude after the deep minimum reached in Feb 2020.

Cassini regions of the Moon The occasion of such occultation is to reconsider the geometry of Cassini regions: exposed to the Earth, never when in sunlight. I am admired by the deduction made by Giandomenico Cassini, and I had the opportunity to read of it on Harold Povenmire's book. A reprint at least of this passage, along with the recommendations on how to deal with Police when caught near the backyard of someone else to find the grazing point, would be nice to remember this nice author recently passed away. I read this book in US at Wayne Warren Jr house in february 2001.

Albedo of the Moon vs Venus The theme is interesting, because the Moon offers regions of very different albedo, with the lowest one being



Grimaldi, visibile until the last lunation days. Also Venus shows spots of different albedo, early studied on Palatine hill, Rome, by Francesco Bianchini (1662-1729) by using the Campani telescopes of 50 m of focal length and single lens. The lunar Maria have the same albedo of the sky in daytime (that's why the Moon was called «blue-eyed» by Empedocles, quoted by Plutarch). This is an interesting measurement, as well as the Earthshine, which is maximum toward the conjunction, immersed in the two atmospheric scatterings Rayleigh (molecules) and Mie (particles). The following image is this occultation as seen from Norway, published in JOA 2020 no. 3. I translated into Italian the caption there available.

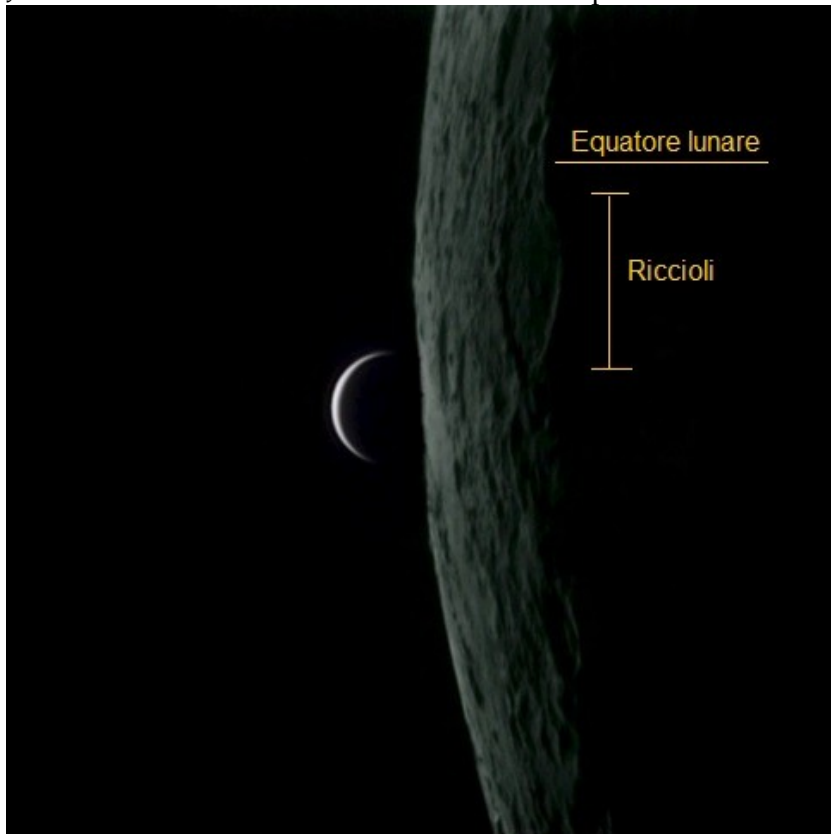
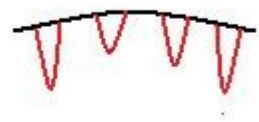


Fig. 2 (da JOA 3, 2020) L'occultazione di Venere da parte della Luna



registrata a Fjellhamar, Norvegia. Un filtro infrarosso, che blocca la luce a lunghezze d'onda inferiori a 850 nm, è stato usato per scurire il cielo diurno e migliorare il contrasto. Sono state registrate due sequenze video. Un set di 4525 frames con 2,85 ms tempo di esposizione ciascuno (i migliori 90% sono sommati insieme) per mettere in evidenza i dettagli lunari (per abbattere l'effetto del seeing). Una serie di 6169 esposizioni con tempo di esposizione 1 ms (i migliori 20% sono stati sommati) per generare un'immagine nitida di Venere che è stata incollata per abbinare la posizione del pianeta in un'immagine presa appena prima dell'inizio dell'occultazione. Software utilizzato: Autostakkert e iPhoto. Telescopio SC Celestron 8 con telecamera ZWO ASI224MC.

Un video dell'occultazione è disponibile qui:

<https://youtu.be/dcimIl0h6nA>

Per gentile concessione di Håkon Dahle (Journal of Occultation Astronomy JOA 2020 n. 3)

Effemeridi lunari, longitudine del terminatore e librazione

A questa caption aggiungo che il cratere evidenziato nella foto è Riccioli, non facile da identificare perché il terminatore è molto prossimo al lembo lunare e pertanto in pochissimo spazio sono presenti diverse centinaia di chilometri. L'età della Luna alle 12 UT del 19 giugno 2020 era 27.9 giorni ed il terminatore lunare si trovava a -73.2° (A. Atzeni, <http://www.internetsv.info/MoonCalc.html> 2014) esattamente al bordo del cratere Riccioli (basta confrontare con la carta lunare del National Geographic). Con una librazione lunare in longitudine pari a -4.1° significa che la longitudine del centro del disco lunare quel giorno era 4.1° Ovest, o come giustamente specifica Atzeni, dalla parte opposta del mare delle Crisi. Quindi della Luna sono visibili $(90^\circ - 73.2^\circ) - 4.1^\circ = 12.7^\circ$, che corrispondono a $3480 \text{ km} \cdot 3.1415 \cdot 12.7^\circ / 360^\circ = 386 \text{ km}$.

Tutto questo spazio è visibile di taglio, su una distanza proiettata pari a $\text{sen}(12.7^\circ) \cdot 3480 / 2 = 383 \text{ km}$, cioè -alla distanza geocentrica di 61.74 raggi terrestri, ossia circa 60.74 dal luogo di osservazione (posizione topocentrica)- $204''$, circa $3.4'$. Il diametro angolare di Venere verso la fase



di congiunzione inferiore è quasi 1'; il confronto tra diametro di Venere e spessore della falce lunare è in accordo con questi dati.

L'angolo di posizione dell'occultazione e la simulazione con Occult 4

Dato che l'Angolo di Posizione del Polo Nord Lunare era -7.8° , anche l'equatore lunare è a $PA=90^\circ-7.8^\circ=82.2^\circ$. Venere è a qualche grado di PA in più. Precisamente il centro di Venere sparisce a circa 1.5 volte il diametro di Riccioli a Sud dell'equatore $PA=90^\circ$.

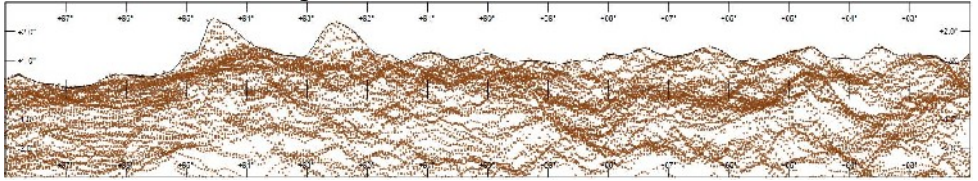


Fig. 3 The lunar limb profile on June 19, 2020 at 10 AM with Occult 4.1.5
Si vede che attorno all'angolo di posizione $89^\circ - 90^\circ$ il lembo lunare è circa 1" più alto rispetto al lembo medio. Un'occultazione con timing dell'ingresso e dell'emersione di Venere dall'altra parte potrebbe mostrare questa caratteristica locale dell'occultazione.

Referenze

Ptolemy, *Almagest*, Book XIII chapter VII.

H. Povenmire, *Graze observer's handbook*, Vantage Press 1975

F. Bianchini, *Celidographia*, Roma 1728.

Plutarch, *The face of the Moon*, 16.

<https://www.cloudynights.com/topic/506386-grimaldi-and-riccioli/>

<http://astropixels.com/ephemeris/moon/moon2020.html>

https://en.calc-site.com/calendars/moon_age

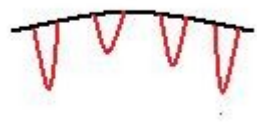
The best lunar calculator is <http://www.internetsv.info/MoonCalc.html>

J. M. Weratschnig, et al., *Computation of the quantities describing lunar librations in the astronomical almanac* (2010) poster at the Journées 2010

H. Dahle, *Journal of Occultation Astronomy* 3 (2020)

H. Dahle, <https://youtu.be/dcimI10h6nA>

Acknowledgments to Denise Liù Leone, who organized the observation of 18 June 2007 in Lanciano.



Meccanica Celeste delle Perseidi e la tradizione delle Lacrime di san Lorenzo

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

submitted July, 29th accepted July 30th 2020

sigismondi@icra.it

Abstract

The Perseids are also called “Tears of St. Lawrence”, because their peak date (August 12/13) is near the feast of St. Laurence (August, 10). The aim of this paper is to verify the possibility to have had the peak on August, 10 on 258 AD, year of the martyrdom of St. Lawrence. According to celestial mechanics the orbit of the parent comet Swift-Tuttle is stable, while the Earth apsides rotated and the aphelion changed from 24 June at that epoch to 4 July. The distance from the Sun on August 10 increased since 258 AD, so the Earth now crosses the Perseids’ meteoroids tube 2 or 3 days later.

Sommario

Le Perseidi sono anche chiamate “lacrime di san Lorenzo”, legandosi alla festa celebrata il 10 Agosto del santo Diacono co-patrono di Roma. Lo scopo dell’articolo è indagare se il picco delle Perseidi potesse essere stato il 10 Agosto nel 258, data del martirio di S. Lorenzo. La cometa Swift-Tuttle ha un’orbita stabile, ed il tubo riempito di meteoroidi intercetta il piano dell’orbita terrestre su un’ellissi fissa. La Terra, per effetto della rotazione degli apsidi, nel 258 aveva l’afelio il 24 giugno ed ora il 4 luglio, quindi, rispetto al 258 ora è più lontana dal Sole ad Agosto e poteva effettivamente incontrare i meteoroidi 2-3 giorni prima di oggi, proprio il 10.

Introduzione

La notte di san Lorenzo è il 10 agosto, liturgicamente sarebbe quella tra il 9 e il 10 (dai primi vespri).

Il picco delle Perseidi, che sono chiamate anche le lacrime di san Lorenzo, accade oggi tra il 12 e il 13 agosto, e per il 40% dei casi capita durante la nostra notte. Normalmente il vero e proprio picco dura alcune ore con tasso orario zenitale che può superare le 100 unità. In anni particolari sono state registrate vere e proprie piogge meteoriche, in corrispondenza del passaggio al perielio della cometa P/Swift-Tuttle, da cui partono i meteoroidi responsabili delle “stelle cadenti” (K.

Yau, D. Yeomans e P. Weissman, 1994)

Si può pensare che al tempo dell'imperatore Valeriano quando Lorenzo fu martirizzato, nell'anno 258, il picco di queste "stelle cadenti" o sciame meteorico fosse 2 o 3 giorni prima?

Cosa dice la meccanica celeste

Questo è un bel problema di meccanica celeste:

- 1) costanza della data del picco (longitudine solare, a prova di calendario)
 - 2) età dello sciame meteorico
- Il problema è anche di storia dell'astronomia
- 3) abbiamo cronache antiche di queste stelle cadenti?

A queste domande rispondono articoli specialistici: per la

2) e la 3) si veda <https://public.nrao.edu/ask/ages-of-the-aurid-and-perseid-meteor-showers/>

che pone la prima data degli avvistamenti al 36 d.C. da parte dei cinesi (Jeff Mangum, 2012).

Per la 1) valgono le considerazioni sulle date di solstizi ed equinozi e il calendario Gregoriano: l'anno tropico dura 365.25 giorni quindi il picco ogni anno salta di 6 ore in avanti finché col bisestile ritorna indietro di un giorno. Per effetto della riforma gregoriana, dal 1582 i fenomeni astronomici sono sincronizzati col 325 anno del concilio di Nicea (equinozi, solstizi e anche sciami meteorici). Quindi, anche se nel 258 l'equinozio vernale era arretrato di 3 giorni rispetto alla riforma di Giulio Cesare del 46 a. C., la data del picco delle Perseidi dovrebbe essere rimasta invariata.

The parent comet

La cometa "parent", originante queste meteore è la P/Swift-Tuttle la cui orbita è stabile (dice [wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/109P/Swift-Tuttle) e confermano Yau,

Yeomans e Weissman MNRAS **266**, 305, 1994).

Pertanto l'orbita della cometa non dovrebbe avere precessione e quindi l'intersezione con il piano dell'orbita della Terra si mantiene costante, cioè ha la stessa longitudine solare, che oggi significa un giorno compreso tra il 12 e il 13 agosto a seconda dell'anno in corso.

Rotazione degli apsidi dell'orbita della Terra

L'asse maggiore dell'orbita della Terra, per effetto dell'attrazione combinata dei vari pianeti, ruota, e l'afelio è passato dal 24 giugno al tempo di Tolomeo al 4 luglio oggi. Quindi l'orbita della Terra il 12-13 agosto oggi è più distante dal Sole di quanto non fosse al tempo del martirio di S. Lorenzo.

L'intersezione tra un tubo cilindrico inclinato, che avvolge l'orbita della cometa Swift-Tuttle con meteoroidi¹, rispetto al piano dell'orbita della Terra è un'ellissi.

La figura seguente mostra l'intersezione -ellittica- del tubo di flusso dei meteoroidi delle Perseidi, con il piano dell'orbita terrestre e un tratto dell'orbita della Terra, oggi e nel III secolo.

¹ Le Perseidi sono la pioggia meteorica numero 7 nella lista del Minor Planet Center di tutte le piogge meteoriche annuali. Nel link qui sotto si trovano gli elementi orbitali dei meteoroid che compongono lo sciame. Per la nomenclatura: un meteoroido diventa meteora quando entra nell'atmosfera, e meteorite quando cade a Terra.
http://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje_lista.php?corobic_r_oje=0&sort_roje=0

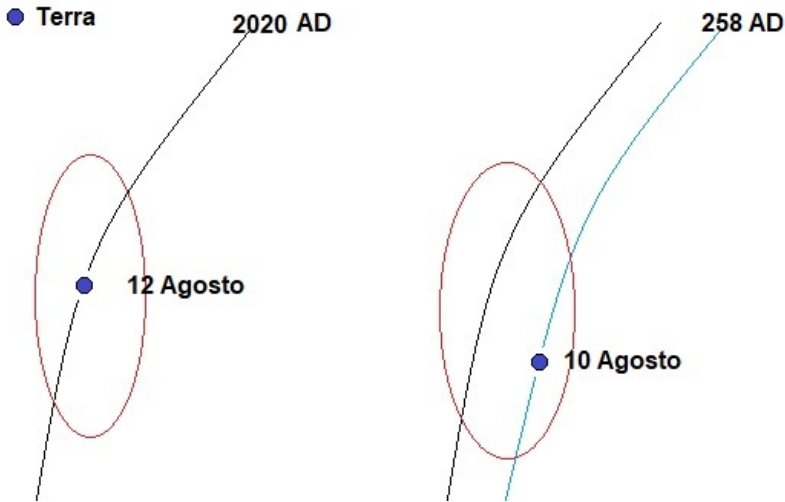


Fig. 1 La Terra intercetta il tubo delle Perseidi più o meno perifericamente il 12/13 Agosto oggi e il 10 Agosto nel 258 AD.

Questo semplice modello geometrico può spiegare perché la pioggia delle stelle cadenti nel III secolo poteva avere il suo picco proprio il 10 agosto, e oggi averlo il 12/13 agosto.

Passaggi al perielio della cometa Swift-Tuttle

Integrando indietro nel passato è stato identificato, nelle cronache cinesi, il passaggio del 188 AD a Luglio. Non ci sono osservazioni di quello del 316, che ha seguito il passaggio della cometa al nodo (intersezione con il piano dell'orbita della Terra) di circa 2 mesi.

La prossimità con il corpo cometario può aver prodotto piogge meteoriche particolarmente ricche, e chi scrive ha visto, durante la Giornata Mondiale della Gioventù di Denver 1993, sul Monte Evans 4350 m nelle Montagne Rocciose, gli osservatori che studiarono il picco delle Perseidi del 1993 (notte tra 12 e 13 agosto). L'attesa era grande (J. Rao, 1993)

perché la Swift-Tuttle è passata al perielio, poco prima, il 14 dicembre 1992. Quell'anno le Perseidi arrivarono a 300 per ora.² Altri picchi delle Perseidi sono stati registrati in date meno prevedibili, ma mai a livello di vera e propria pioggia come accadde per le Leonidi. Questo può dipendere dal fatto che la Terra non attraversa proprio il centro del tubo dei meteoroidi, come invece accade di tanto in tanto per le Leonidi (Sigismondi, 2000).

Drift del calendario Giuliano

Nulla toglie, però, che la tradizione di associare questo fenomeno astronomico alla "Passione di Lorenzo" si sia pian piano attestata, senza la necessità di coincidenza iniziale tra il picco e la data liturgica, visto che le celebrazioni possono estendersi anche per qualche giorno nei casi di santi patroni.

Durante il medioevo con il calendario Giuliano e l'equinozio vernale che è arretrato fino all'11 marzo al 1582, anche le Perseidi hanno avuto picchi verificatisi fino al 2-3 agosto, passando per il 10 circa l'anno 725...secolo in cui potrebbe essere nata la tradizione delle "Lacrime di san Lorenzo".

Riassumendo

Secondo il calendario Gregoriano oggi i fenomeni astronomici sono sincronizzati con il 325 (data Concilio di Nicea). Quindi nei 74 anni precedenti la differenza può arrivare al massimo ad un giorno, non 2-3 come servirebbero per avere la coincidenza del martirio di san Lorenzo sulla graticola, con il giorno dell'eventuale eventuale outburst delle Perseidi.

² https://blogs.nasa.gov/Watch_the_Skies/2017/08/03/the-greatest-meteor-show-of-all-time/

Un meccanismo di sincronizzazione tra Perseidi e San Lorenzo, prettamente di meccanica celeste, è la rotazione degli apsidi (afelio-perielio) dell'orbita della Terra.

Dalla figura 1 si evince la possibilità che -restando fissa l'intersezione ellittica tra lo sciame di meteoroidi delle Perseidi ed il piano dell'orbita Terrestre- l'orbita stessa oggi è più distante dal Sole rispetto al 258 AD perché la data dell'afelio è passata in 17 secoli dal 24 giugno al 4 luglio avvicinandosi a quella del 10 agosto. L'orbita quindi interseca una sezione diversa dell'ellissi e sperimenta la massima densità dei meteoroidi 2 giorni prima.

La fissità dell'ellissi sarebbe dovuta al lungo periodo (120 anni) e alla considerevole massa della cometa (Yau et al. 1994).

Altri picchi di attività delle Perseidi capitati dopo i passaggi del 188 e del 316 d. C. possono aver contribuito alla nascita dell'associazione tra queste stelle cadenti e le lacrime del Santo durante il martirio, anche se la tradizione tramanda l'umorismo con cui il santo Diacono disse “da questa parte sono cotto, giratemi dall'altra”,³ per cui ...niente lacrime!

Referenze

- J. Rao, WGN **21** 110 (1993); J. Rao, WGN **21** 287 (1993)
K. Yau, D. Yeomans e P. Weissman MNRAS **266**, 305 (1994)
Meteor Shower [List](#) Minor Planet Center (30/7/2020)
B.A. Lindblad e V. Porubčan, Planetary and Space Science, **42**, 117-122 (1994)
C. Sigismondi, 2000astro.ph.11311S (2000)
C. Sigismondi, The dynamical history of PAU meteor shower, in From Giotto to Rosetta, Padova, Accademia Galileiana (2017)

³ Conte TULLIO DANDOLO, Roma Cristiana nei primi secoli, vol. II – Martiri, Assisi, 122-125 (1866) Acta sancti Sixti Papae et Martyris http://www.oodegr.com/tradizione/tradizione_index/vitesanti/sistofelicis_simo.htm

Velocità di una meteora da sciame CAP o PAU

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma)

submitted August, 1st accepted August 7th 2020 sigismondi@icra.it

keywords: *meteors, velocity, spherical and plane trigonometry, mesosphere*

Abstract

The Piscis Austrinids 183 PAU meteor shower is better observable from austral countries, and has a maximum activity characterized by low ZHR (up to 5) and some fireballs. Their velocity ranges around 44 km/s and their radiant is maximally active around 26-31 July. We estimate the velocity of a -5 magnitude fireball observed at 4:20 local time of August 1st 2020 in Lanciano (Italy) aiming Pleiades, leaving a trail of 10° disappeared after the deflagration of the meteor. The duration of the phenomenon was less than 1s, the angular velocity was similar to a 12 KCG meteor. The Alpha Capricornids 001 CAP meteors come from a 31° nearby radiant (as seen from Pleiades), from the angular we compute the linear velocity with opportune approximations. The probability for this meteor to belong to PAU shower is lower than a CAP because its velocity is estimated 13-40 km/s.

Sommario

Le meteore della pioggia 183 PAU Piscis Austrinidi sono rare e meglio osservabili da latitudini australi. Il loro picco con ZHR <5 avviene verso il 26-31 luglio, con alcune fireballs già registrate. Si indaga quella osservata alle 4:20 del 1 Agosto 2020 a Lanciano, al fine di stimarne la velocità lineare per meglio distinguere questa meteora dalle Alfa Capricornidi, che sono il 25% più lente. Il metodo e i dati (scia durata meno di 1 s, simile a una Kappa Cygnide e coda di 10° sparita alla deflagrazione) sono discussi.

Introduzione

La notte tra il 31 Luglio e il 1 Agosto 2020 sono molti gli sciami meteorici attivi: CAP, PER e SDA producono fireballs con una certa frequenza, riportata da <https://fireballs.ndc.nasa.gov/>. Lo stesso sito fornisce i parametri orbitali delle fireballs osservate dal network americano, e l'identificazione eventuale della pioggia meteorica a cui appartengono. Per le sporadiche ci sono tre puntini ... Le CAP fanno un bel numero di fireballs.

Meteora del 1 Agosto 2020 h 4:20 a Lanciano

È stata riportata all'IMO nella sessione osservativa [80709](#), di magnitudine -5, durata dell'ordine del secondo, ampiezza 10° puntava le Pleiadi lungo la direzione dal Pesce Australe; la scia

è sparita all'esplosione. Ricordava le fireball delle Leonidi del 1998, ma più lenta. Da questi dati vogliamo stabilire la velocità lineare, per avere un dato cinematico per distinguere tra CAP Capricornidi e PAU Piscis Austrinidi, benché i due radianti, visti dalle Pleiadi distino 31.6° (88° =PAU-Ple, 110° =CAP-Ple, 38° =PAU-CAP i lati del [triangolo sferico](#) PAU, CAP, Pleiadi).

Se la velocità risulta >40 km/s appartiene certamente alle PAU.

Velocità angolare e lineare in atmosfera piano parallela

La velocità angolare massima è $10^\circ/\text{s}$. La velocità angolare sarebbe massima col radiante a 90° per ragioni di proiezione. PAU è già in questa condizione, mentre CAP è a 20° , per cui avrebbe una velocità angolare massima di $10^\circ/\cos(20^\circ)=10.6^\circ/\text{s}$. Ora fissiamo a 90 km la quota convenzionale della scia (dati NASA medi) e troviamo che 10° a tale quota corrispondono a $s=15.9$ km e 10.64° a $s=16.9$ km. La velocità lineare minima è compresa tra 16 e 17 km/s. Se la durata dell'evento è stata di 0.5 s e la scia di 7° (caso limite opposto) abbiamo una scia $s=11$ km fatta a 22 km/s. C'è ancora da considerare che la scia non era allo zenith, quindi l'estensione di 7° - 10° è proiettata sulla sfera celeste da un valore maggiore. L'altezza delle Pleiadi era di 40° , quindi la scia su uno strato a quota costante pari a 90 km (approssimazione di questo modello) era $s'=s/\tan(40^\circ)$, cioè 13 km per 7° e 20 km per 10.6° , e la velocità si colloca tra un minimo di 13 km/s e un massimo di 40 km/s. Nei valori massimi la velocità è compatibile con quella geocentrica risultante dai [parametri orbitali delle PAU](#) pubblicati dal Minor Planet Center. La determinazione della durata della scia durante l'osservazione visuale trova altri indizi nel confronto con KCG simile (24 km/s) e più lenta di PER e SDA (60 e 40 km/s). **Conclusioni** La probabilità che sia stata una meteora PAU è minore di CAP perché la velocità è stimata 13 - 40 km/s. **Referenze** C. Sigismondi, *PAU CAP SDA*, Gerbertus, **10**, 57 (2016)

Atmospheric extinction at the horizon during summer and Betelgeuse differential magnitude

Costantino Sigismondi (ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma)

Submitted: August, 1st accepted August 7th 2020 sigismondi@icra.it

Abstract

The first seasonal measurements of Betelgeuse luminosity are made at dawn in August. In the previous years an excess of luminosity of Betelgeuse was detected in this season. Differential comparison with Rigel failed under 4° , due to an extra atmospheric extinction. Data of August 1st, 2020 with *alpha Orionis* $mv > 0.4$ mag. show this seasonal effect. STEREO and daylight observations in June-July 2020 are also compared with that result.

Sommario Le prime misure stagionali della luminosità di Betelgeuse sono fatte all'alba in Agosto, quando, ogni anno, la stella sembrava più brillante. Poiché il confronto con Rigel e la correzione per le masse d'aria è standard, questo effetto dipende da un'anomalia nell'estinzione atmosferica. I dati del 1 Agosto 2020 con $mv > 0.4$ la evidenziano agire fino a 4° di altezza. Sono inclusi anche i risultati di STEREO e delle misure durante il dì a Luglio.

Introduzione

Nei giorni di forte umidità la vista del Sole presso l'orizzonte¹ è possibile senza filtri anche con telescopi e binocoli, senza esserne abbagliati. La resa dell'immagine è simile a quella meridiana con un filtro in *Mylar* che trattiene il 99.99% della radiazione di ogni lunghezza d'onda. La legge di Pogson sulle magnitudini stellari afferma che ciò corrisponde ad un'estinzione di circa 10 magnitudini nel visibile, che cessa in modo netto² a circa 2° sopra l'orizzonte, da Lanciano a 265 m s.l.m. La linea di vista è verso il mare Adriatico, che sta a 15 km di distanza. Superata la zona scura di schermo da parte dell'atmosfera il Sole, e anche le stelle, tornano a splendere con

¹ Talvolta anche col Sole più alto, come all'Osservatorio Solare di Huairou, Cina, durante la fase di ingresso del transito di Venere sul Sole nel 2012.

² Alle 6:47 del 2 Agosto, con cielo terso, l'infrarosso è stato percepito dalla pelle dell'avambraccio, in modo subitaneo, appena il Sole è arrivato a 8° d'altezza. Fino a 8° l'atmosfera filtra l'IR come il vetro di una finestra.

l'estinzione in magnitudine usuale D.W.E.Green ICQ14,55 1992

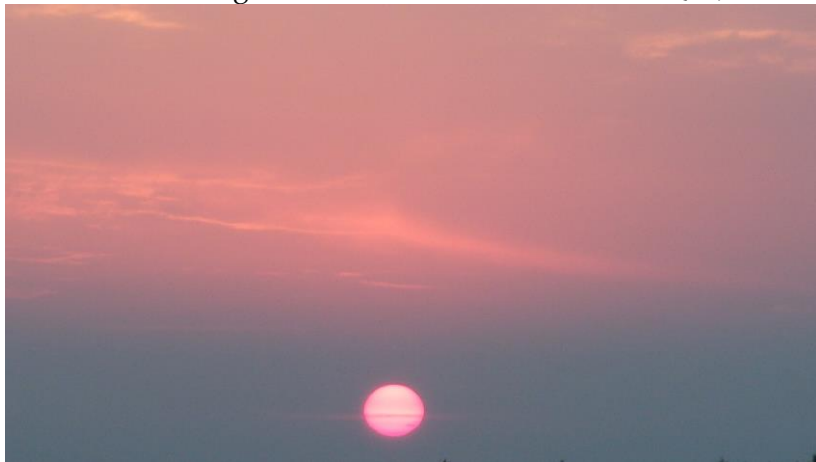


Fig. 1 foto scattata alle 6:00 del 1 Agosto 2020 da Lanciano.

Prima del crepuscolo questa zona scura non si vede e fa sparire anche completamente le stelle alla vista. Marte, ad esempio, è comparso solo a $5^{\circ}38'$ di altezza, il 31 luglio alle 23:52 locali pur splendendo di magnitudine -1 , recuperando luminosità solo a $9^{\circ}38'$ di altezza, 20 minuti dopo.

Betelgeuse e Rigel a confronto, tra le brume dell'orizzonte

Durante il crepuscolo tra le 4:30 e le 5:30 del 1 Agosto 2020 Betelgeuse e Rigel sono state osservate a partire da altezze rispettivamente di 7.3° e 4.3° fino a 18.5° e 14.7° . Mentre nella prima parte dell'osservazione Betelgeuse risultava chiaramente più luminosa di Rigel, gradualmente la seconda guadagnava luminosità, terminando col prevelare su Betelgeuse. La differenza di altezza tra le due stelle non superava i 3° gradi, ma la differenza in magnitudine tra loro passava da -0.1 all'inizio a $+0.3$ ($+0.6$ secondo le misure di Nickel) al termine dell'ora di osservazione. Alle 5:30 col cielo ormai chiaro ho stimato anche le magnitudini delle stelle della cintura di Orione, notando persino la minima differenza di 0.09 magnitudini tra la centrale e la orientale, segno che anche

tutta la cintura era già salita sopra la zona scura, altezza $> 14.6^\circ$. Con una differenza di $+0.3$ ($+0.6$) magnitudini rispetto a Rigel, Betelgeuse sta brillando con magnitudine 0.43, confermando le ultime misure visuali prese il 12 giugno 2020 da Rod Stubbings. Le misure di Alexandre Amorim di fine maggio 2020 propendevano per Betelgeuse più brillante, presumibilmente per un motivo simile a quello che si è determinato durante oltre metà dell'osservazione del 1 Agosto.

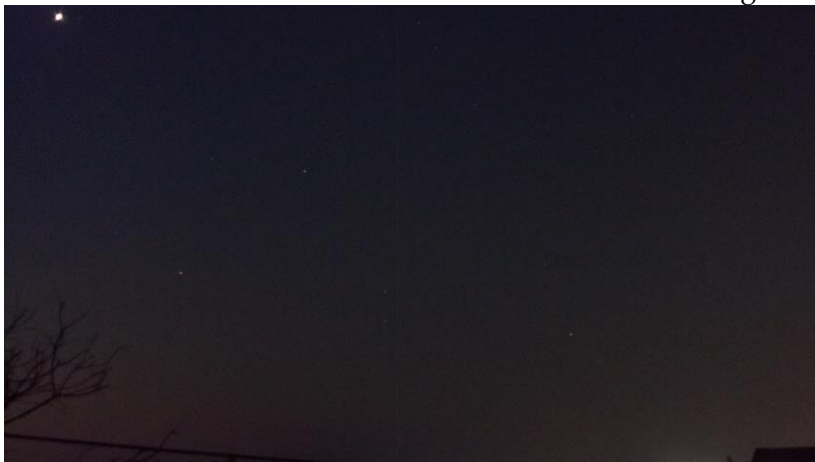


Fig. 2 Orione da Lanciano alle 4:47 del 1 agosto. 400 ISO 10 s. Kodak PIX PRO FZ-52. Rigel appare più debole di Betelgeuse.

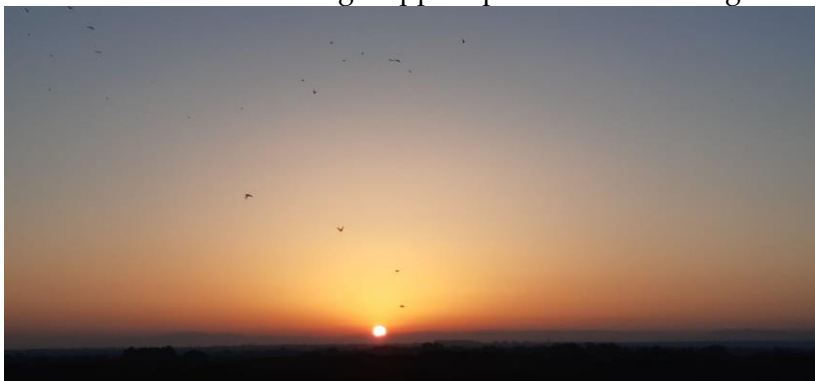


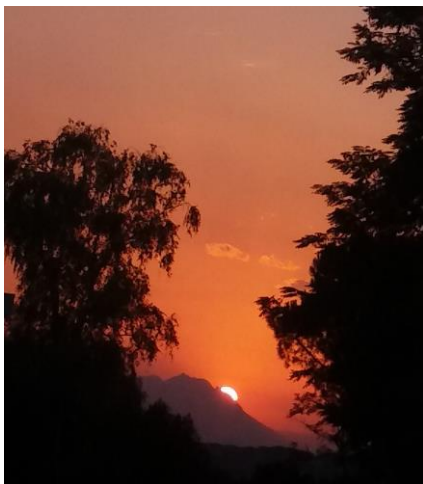
Fig. 3 1/8 Ostia, 20 m. Schermaggio dell'atmosfera fino ad 1° .

Le condizioni meteo dell'alba del 1 Agosto 2020 valevano per tutta l'Italia centrale, come mostra la foto 2. A. Dupree et al. (Astr. Tel. 13901) riportano $V=0.66, 0.76$ e 0.80 il 24/6, 13 e 20/7 con il satellite STEREO/SECCHI; Othmar Nickel BAV ha misurato $V=0.86, 0.81\pm0.05$ il 22 e 31/7 (W. Vollmann) durante osservazioni in luce del dì. Tra le magnitudini fotometriche standard in banda V e i dati visuali c'è sempre una differenza in positivo. Dunque $mv>0.4$ da me trovata è in buon accordo con queste misure strumentali con V compresa tra 0.66 e 0.86.

Conclusioni

L'effetto schermo dell'atmosfera immediatamente vicino all'orizzonte ad $h \leq 2^\circ$ può superare abbondantemente le 10 magnitudini, al punto da produrre all'emisfero opposto l'ombra dell'atmosfera ancora prima del tramonto geometrico.

Questo fenomeno lo ho osservato il 31 luglio 2020 alle 20:05,



sempre a Lanciano, e poco dopo ho assistito al tramonto sul Gran Sasso (Fig. 4 31 luglio 2020 ore 20:10:40 da via Alba, Lanciano, il Sole tramonta scendendo lungo il profilo del Gran Sasso, monte Camicia) il colore rosso dominante è il risultato dell'assorbimento dello strato di umidità. Il Sole, in questi casi, non si vedrebbe toccare il mare (fig. 2).

Betelgeuse ci continua a sorprendere: al massimo previsto per Agosto 2020 (Dupree, et al. 2020) sembra già in diminuzione.

Referenze C. Sigismondi, Gerbertus **13**, 55-64 (2020)

A. Dupree, et al. Astronomer's Telegram **13901** (2020)

Nubi di polvere su Betelgeuse

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza e ITIS G. Ferraris, Roma sigismondi@icra.it)

Submitted August 30, 2020, accepted August 31, 2020

Abstract

The photometry of Betelgeuse is continuing to give us surprises. It seems like a second dust cloud ejected by the star is passing over its photosphere along our line of sight. As mentioned in ATel#13901 after an unusual short-lived maximum around 0.4 magnitude (ATel#13601) reached in April/May 2020 the star began again to fade in July 2020.

After reaching a secondary minimum after August 3rd, 2020 at magnitude $V=+1.0$, on August 27, 2020 the star gained 0.3 magnitudes, recovering magnitude $V=+0.7$.

Measurements with DSLR differential V photometry (W. Vollmann), also made in daytime (O. Nickel), showed this behavior within ± 0.04 magnitudes of typical errorbar.

Naked eye observations in twilight, always with airmass corrections, of A. Amorim (Brazil), R. Stubbings (Australia), F. Mariuzza (Italy) and C. Sigismondi (Italy) confirmed the attained maximum at mag. 0.4, and the following fading phase. The interpretation of these observations suggests the presence of a second dust cloud, following the great one (in phase with the main pulsational period of 1.2 years) which determined the deep minimum of Betelgeuse in December 2019-February 2020.

The level of the present maximum luminosity (+0.4 mag) of Betelgeuse should be recovered by September 2020, if no new clouds will appear on the line of sight.

Sommario

Il testo dell'ATel#13982 riportato nell'abstract, viene spiegato nel dettaglio. Il secondo minimo di luminosità di Betelgeuse, si è verificato appena 6 mesi dopo il quello "storico" di Febbraio 2020, ma non è pulsazionale, bensì il risultato del passaggio di una seconda nube di polvere espulsa da Betelgeuse lungo la linea di vista con noi.

La velocità di questo minimo (discesa in un mese) è compatibile con una nube espulsa a velocità dell'ordine della velocità orbitale circolare attorno a Betelgeuse nell'ipotesi che essa abbia 20 masse solari e un raggio fotosferico di 5 Unità Astronomiche.

La componente tangenziale di tale velocità e la rarefazione progressiva della nube in espansione dovrebbe riportare Betelgeuse al suo livello attuale di massima luminosità pari a mag.+0.4, entro Settembre 2020.

Introduzione

L'attuale minimo secondario (Agosto 2020) attorno alla magnitudine 1.0 potrebbe essere "evidenza fotometrica" della rotazione di Betelgeuse. J. Craig-Wheeler, et al. (2016) affermano che Alfa Orionis ha una rotazione superficiale di 15 km/s come risultato di un impatto con merging con una stella di 1 massa solare, mentre normalmente una stella supergigante non ha tali velocità di rotazione.

Visto che la profondità del minimo principale del Febbraio 2020 è stata una coincidenza tra la fase pulsazionale e l'espulsione lungo la linea di vista di una nube di polvere, si può ritenere che il passaggio di queste nubi davanti alla stella possa significare

- 1) che l'espulsione delle due nubi è avvenuta proprio nella direzione con la nostra linea di vista
- 2) che la componente tangenziale dei 15 km/s (o della velocità circolare) abbia contribuito al loro spostamento dalla linea di vista, svelando gradualmente la fotosfera retrostante
- 3) che il moto radiale abbia ulteriormente disperso le nubi riducendone la loro opacità

Velocità orbitale circolare periradiale per Betelgeuse

Per le suddette ragioni calcoliamo la velocità orbitale attorno a 20 masse solari e a 5 Unità Astronomiche (il raggio di Betelgeuse per eccesso). Dalla terza legge di Keplero il periodo $P = a^{3/2} / M^{1/2}$ anni

(con a in UA e M in masse solari)

Fornisce $P = 2.5$ anni

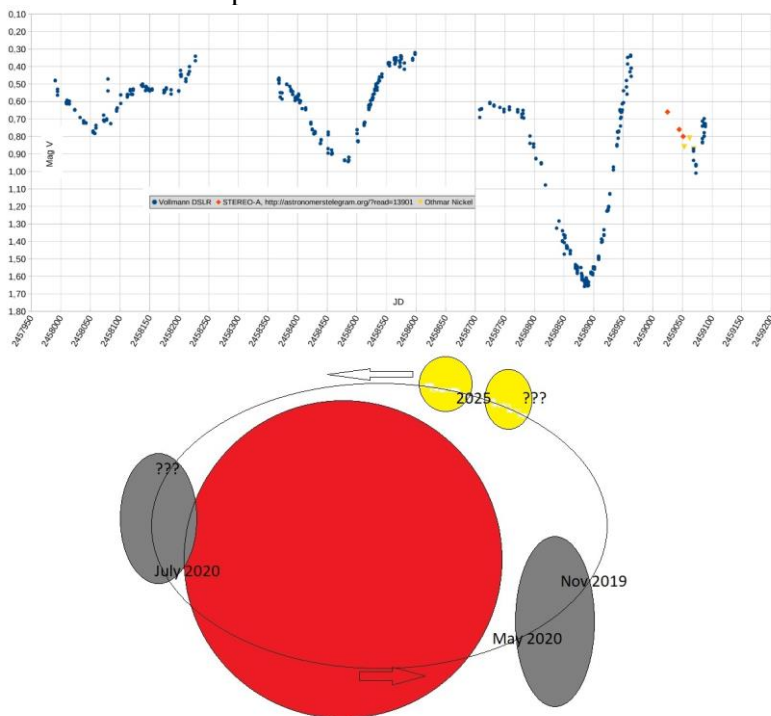
L'orbita circolare è lunga $2\pi a$, la velocità $v = 12.56$ UA/anno ossia 59.54 km/s... ruotando a questa velocità la stella perderebbe massa per forza centrifuga.

Ruotando Betelgeuse a 15 km/s, si avvicinerebbe ad 1/4 di tale velocità limite.

Una nube per essere espulsa deve andare almeno alla velocità orbitale peri-radiale (attorno al raggio stellare), se no ricadrebbe sulla stella.

Supponiamo che debba percorrere circa 2 Unità Astronomiche, alla velocità di 12.56 unità astronomiche l'anno: fanno 58 giorni, cioè 2 mesi.

Questo è l'ordine di grandezza corretto, che è proprio lo stesso delle variazioni temporali dei minimi che stiamo osservando...



In alto le osservazioni in banda V a partire dal 2017 fatte da W. Vollmann (blu) e O. Nickel (giallo durante il dì) e Stereo Secchi da satellite (rosso).

Conclusioni

Il periodo principale di pulsazione di Betelgeuse è 1.2 anni... e non è il prodotto di un'eclissi da nube di polvere, anche se la “forma a V” dei minimi suggerirebbe proprio questo. Si tratta di una variazione periodica del raggio stellare (su cui si può applicare il metodo di Baade Wesselink).

Questo minimo secondario di Agosto 2020, fotometricamente, è molto simile al primario di Febbraio 2020, quindi è ben probabile che sia stato causato anch'esso da una nube, di minore dimensione rispetto a quella di Dicembre 2019-Febbraio 2020, dettagliatamente descritta da A. Dupree et al. (2020).

Entro il mese di Settembre 2020, se l'andamento della risalita di luminosità si mantiene come è accaduto per il minimo principale (Sigismondi ATel#13601), senza nuove nubi di polvere, la luminosità di Betelgeuse dovrebbe tornare a +0.4, che è il valore attuale della sua massima luminosità (tenendo conto anche del periodo pulsazionale modulante di 5.9 anni)

Referenze J.Craig Wheeler, et al.MNRAS 465, 2654-61 (2016)

A. K. Dupree, et al. arxiv2008.04945 (2020)

C. Sigismondi, et al. ATel #13982 (2020)

C. Sigismondi, ATel #13601 (2020)

C. Sigismondi, et al., Gerbertus 13, 69 (2020)

I due minimi di Betelgeuse nel 2020 e la seguente fase debole

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza and ITIS Ferraris, Roma*)

Submitted December 2nd 2020, accepted Dec. 4th sigismondi@icra.it

Abstract

The great minimum of Betelgeuse in February 2020 around visual magnitude 1.5 was among the deepest ones documented in the last century of observations. Many authors have presented explanations on this rare phenomenon, without achieving a satisfactory and definitive view, also because a secondary minimum of magnitude 1.0 occurred six months later, well before the next pulsational minimum expected for April 2021. A dust cloud ejected exactly in phase with the minimum of the 1.2 years main pulsational period, and right on our line-of-sight, seemed to be the explanation for the February 2020 great minimum. Another ejection should be invoked for August 2020 minimum (detected with STEREO satellite, IR ground-based observations and twilight observations), while the actual “faint phase” (as at the beginning of December 2020) is still below the 0.4 magnitudes, typical of intermediate phases, which actually are broad maxima. The velocity to reach both minima in the light curve has been similar, as well as the restoring phase, that’s why this “faint phase” is another feature which requires further explanation.

Sommario

Betelgeuse ha mostrato due minimi durante l’anno 2020: il primo molto profondo nel mese di Febbraio a 1.5 di magnitudine visuale, e il secondo a 1.0 nel mese di Agosto (osservato tramite satellite STEREO, osservazioni diurne in IR e al crepuscolo ad occhio nudo). Attualmente (inizio Dicembre 2020) Betelgeuse permane (inizio Dicembre 2020) in una “fase debole” al di sotto della magnitudine media di 0.4 tipica delle fasi intermedie tra un minimo e l’altro, che di fatto sono degli ampi massimi. La comunità scientifica non è concorde sulla spiegazione del minimo profondo, e se si tratta di una nube di polvere espulsa nella linea di vista in fase col minimo pulsazionale ogni 1.2 anni, occorre invocarne un’altra per il minimo secondario di Agosto. Anche l’attuale fase debole richiede una spiegazione.

Una stella al centro dell’attenzione mondiale da un anno

Personalmente ho avuto il privilegio di studiare visualmente Betelgeuse dal dicembre 2011, quando sentivo l’urgenza di mantenere un legame stretto con l’astronomia osservativa anche nelle metropoli. Ero a Parigi, all’Osservatorio storico, e iniziai ad accompagnare questa variabile semi-regolare di tipo C in ogni notte serena. Di stelle

variabili avevo già fatto una certa esperienza sin dal 1997, ma sempre al telescopio e con fotometria differenziale in campi stellari angolarmente ristretti al campo di vista del telescopio o binocolo.

Betelgeuse, come Antares e delta Scorpii, presentano la sfida di accettare confronti solo a grandi distanze angolari, richiedendo la correzione per estinzione atmosferica con tutti i crismi, e mettendo in crisi anche i modelli atmosferici standard quando le altezze sopra l'orizzonte diventavano molto piccole (se si vuole continuare ad osservarle vicino al loro tramontare e sorgere eliaco). Tutta una serie di considerazioni anche di carattere storico (Tolomeo sulle congiunzioni eliache, Bayer sull'effetto Purkinje che potrebbe aver determinato la classificazione di Betelgeuse come alfa Orionis, mentre Tolomeo la metteva seconda a Rigel) sono emerse via via che, lungo gli anni, confrontavo i miei risultati visuali con quelli digitali di Wolfgang Vollmann (DSLR, da Vienna) grazie al database AAVSO disponibile su www.aavso.org

Da inizio dicembre 2019 Guinan, et al. pubblicarono un telegramma astronomico (ATel 13341) in cui si annunciava un indebolimento di Betelgeuse al di sotto della magnitudine visuale 1.0. Guinan seguiva da 40 anni la stella. A fine dicembre 2019 pubblicai una risposta su arxiv prevedendo che il minimo sarebbe finito entro febbraio perché in fase con gli altri.

Poi tra vari ATel, pubblicati con dati originali e caratterizzati da una certa urgenza per la comunità internazionale degli astronomi, sono stati aggiornati i dati osservativi, la natura presunta del minimo, i dati spettroscopici... Il 31 Marzo 2020 ho ritenuto di avvisare gli astronomi che la luminosità di Betelgeuse stava risalendo velocemente e ho previsto quando e a che massimo sarebbe tornata, sulla base di un modello puramente "cinematico" (oscillatorio nel nostro caso). Le cose sono effettivamente andate in quel senso, ma dopo Maggio in cui il massimo era stato effettivamente raggiunto a 0.4 magnitudini, a Agosto c'è stato un nuovo minimo, assolutamente fuori di ogni predittibilità, e adesso, a inizio Dicembre 2020, lungi dall'essersi realmente "ripresa" Betelgeuse è di nuovo debole, attorno alla magnitudine 0.7-0.8.

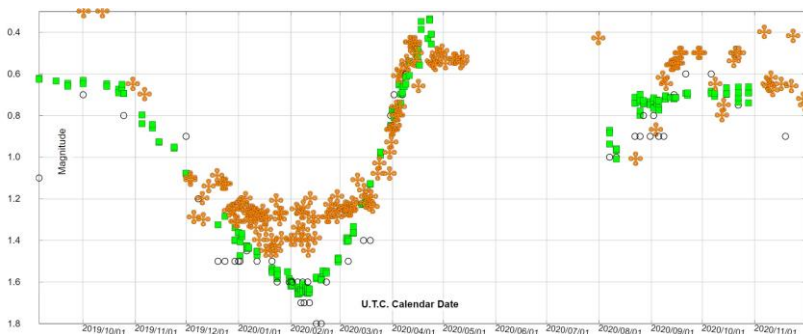


Fig. 1 Betelgeuse da Settembre 2019 a Dicembre 2020. Croci arancioni SQG (l'autore, osservazioni visuali) quadrati verdi VOL (Wollmann DSLR) cerchietti VOL (visuali).

Nella figura 1 sono compresi il primo minimo profondo di Febbraio 2020, ed il secondo di Agosto 2020. La ripresa attuale sembra incerta, anche se non si pone in modo molto diverso da quanto la stella aveva mostrato tra Settembre e Novembre 2019, appena un decimo di magnitudine più debole.

I dati visuali sono “più rapidi” di quelli digitali, anche se un’analisi immediata non può essere attendibile allo stesso modo. La sensazione è che ora (inizio Dicembre 2020) la stella stia nuovamente scendendo di luminosità, invece che risalire. Il prossimo minimo pulsazionale è previsto per Aprile 2021, quindi non dovrebbe ancora “influenzare” la luminosità attuale.

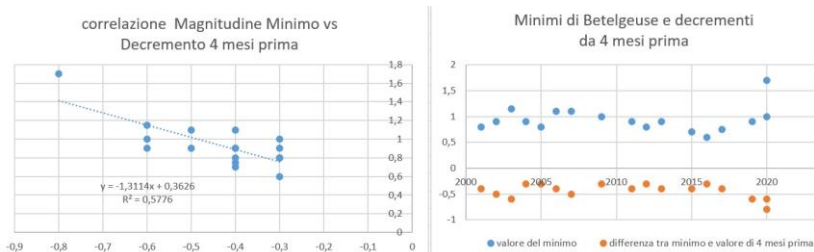


Fig. 2 Correlazioni tra i minimi di Betelgeuse negli ultimi 20 anni e i decrementi di luminosità nei 4 mesi precedenti. Si vede che più i minimi sono profondi, maggiore è stata la diminuzione di luminosità nei quattro mesi precedenti.

In altre parole un minimo è tanto più profondo quanto più rapida è la sua decrescita precedente. L'equazione che mette in relazione il gradiente di luminosità con il minimo è riportata in fig. 2.

Il futuro minimo si può predire, con un coefficiente di correlazione di 0.5, quindi statisticamente abbastanza debole, con l'equazione

$$M_V(\text{min}) = -1.31 \cdot \Delta M + 0.36$$

Attualmente, inizio dicembre 2020, $\Delta M = -0.1$ mag/mese, cioè -0.4 mag su 4 mesi, così il prossimo minimo ad Aprile 2021 potrebbe raggiungere la $M_V(\text{min}) = 0.88$

Essendo già ora a $M_V = 0.72$ dovrebbe ridurre la sua diminuzione di luminosità drasticamente nei prossimi mesi attestandosi su questi valori.

Se invece il valore della decrescita attuale si mantiene fino al minimo pulsazionale, allora la luminosità scenderebbe di 0.4 - 0.5 magnitudini fino a 1.12 - 1.22 .

Anche questa predizione è "cinematica" ossia basata su un'analisi statistica del comportamento recente di Betelgeuse, senza analizzarne le cause fisiche (nubi di polvere, cambio di regime pulsazionale...).

Conclusioni

Gli studi statistici sulla correlazione tra la luminosità 5 mesi o 4 mesi prima del minimo e il valore effettivo del minimo poi raggiunto, potrebbero aiutare a capire un po' meglio la situazione attuale, anche se non rifletterebero la situazione fisica di eventuali nubi di polvere espulse più o meno sulla linea di vista, ma un andamento pulsazionale che riguarderebbe l'intera stella.

Referenze

- Guinan, et al (2019) <http://www.astronomerstelegam.org/?read=13341>
Sigismondi, C. (2019) <https://arxiv.org/abs/1912.12539>
Sigismondi, C. (2020) www.astronomerstelegam.org/?read=13601
Sigismondi, C. et al. Gebertus vol. 13 (2020) su NASA ADS e icra.it/gerbertus tutto il volume è dedicato a Betelgeuse.
George, S., et al. (2020) <https://arxiv.org/pdf/2006.16086>
Joyce, M., et al. (2020) <https://arxiv.org/pdf/2006.09837>
Sigismondi, C. (2020) in <https://www.astro.keele.ac.uk/AGBnews/issues/AGB281.pdf>