Rilevazione di un effetto di fase nella curva di luce pre-perielica.

Giannantonio Milani *UAI – Sezione Comete CARA*

La cometa C/2002 T7 (LINEAR)

Abstract

Comet C/2002 T7 (LINEAR) was intensively observed for the CARA project during the pre-perihelion phase (3.3 < R < 1.2 A.U.). Light curve and Afrho measurements show a temporary increase, interpreted as a phase effect with a brightening of 0.036 ± 0.05 magnitudes / degree, in good agreement with the data available on other comets. For phase angle $f < 23^{\circ}$ it displays a steeper trend (0.08 \pm 0.01 magnitudes / degree).

Taking into account the phase effect, it appears that in the considered period the Afrho quantity was nearly constant (Afrho = 3128 ± 434 cm). This constant behaviour has interesting implications and rules out nuclear activity.

Introduzione

La cometa C/2002 T7 è stata scoperta inizialmente come oggetto asteroidale con i telescopi del Lincoln Near Earth Asteroid Research (LINEAR) il 14 ottobre 2002 [1]. L'orbita della cometa è caratterizzata da una piccola distanza perielica (q = 0.61 UA) raggiunta il 23 aprile 2004. Le circostanze dell'apparizione hanno permesso di seguire dalle nostre latitudini soprattutto la fase di avvicinamento al Sole. In particolare la 2002 T7 è stata osservata dal 29 settembre 2003 al 2 marzo 2004; l'intervallo di distanze eliocentriche coperte in questo periodo va 3.3 a 1.2 UA e i dati raccolti forniscono un buon monitoraggio di questa fase dell'apparizione.

Le osservazioni sono state ottenute mediante CCD, secondo i programmi adottati dal progetto CARA (http://cara.uai.it), e comprendono misurazioni fotometriche ottenute nelle bande I ed R di Cousins, e senza filtri, approssimando la banda R (banda Ru). [2][3]

Alcuni dati fotometrici, ottenuti nelle bande B e V, non sono stati usati nel corso di questo lavoro. Un'osservazione ottenuta in banda S (filtro 647 nm, 10 nm FWHM) è utilizzata come test di confronto sulla bontà della determinazione della quantità Afrho mediante osservazioni in banda larga (I, R, Ru).

Tabella 1. Osservatori che hanno contribuito alla ricerca.

Osservatore	Bande fotom. utilizzate	Sito osservativo		
L. Buzzi	V,R,I	Oss."Schiapparelli" (VA)		
R. Ligustri	I	Oss. Talmassons CAST		
G. Milani	I, S			
F. Montanucci G. Sostero	Ru, B,V,R,I	Oss. Remanzacco AFAM		
R. Trabatti	R,I	Oss. "Descartes"		

La tabella 1 riporta l'elenco degli osservatori che hanno contribuito al programma fotometrico CCD. Un dato di un osservatore spagnolo non è stato considerato in quanto visibilmente fuori scala rispetto alla media.

Delle 97 misure raccolte sono state analizzate in particolare quelle relative alle bande I, R e Ru e ottenute con finestre di misura con raggi compresi tra 40 000 e 80 000 km sulla cometa. L'uso delle finestre più grandi ha permesso di usufruire di un migliore rapporto segnale / rumore e di avere comunque dati sufficientemente omogenei da analizzare.

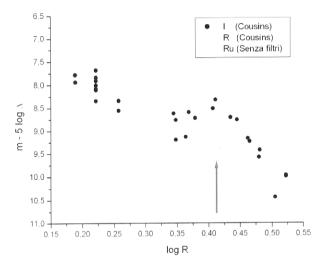


Figura 1. Analisi della curva di luce della cometa C/2002 T7. Idealmente i punti dovrebbero allinearsi su di una retta, invece è evidente (freccia) un temporaneo incremento della luminosità.

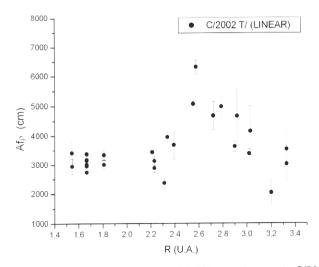


Figura 2. Andamento della quantità Afrho per la cometa C/2002 T7. Il temporaneo aumento sembra sovrapporsi a un andamento costante.

La curva di luce in magnitudini e andamento della quantità Afrho.

L'analisi della curva di luce riportata in figura 1, espressa come magnitudine eliocentrica (corretta per le variazioni di distanza tra Terra e Cometa) in funzione del logaritmo della distanza dal Sole (in UA) mette in evidenza un andamento non regolare, con un apparente *outburst* di circa una magnitudine, quando la cometa si è trovata tra 3.3 e 2.4 UA. L'incremento è ancora meglio osservabile mediante il parametro Afrho, che passa da un valore di circa 3100 cm a quasi 6000 cm (figura 2).

Considerate le circostanze geometriche dell'apparizione si è subito notato che la variazione era sostanzialmente in fase con un minimo del valore dell'angolo di fase (Sole-Cometa-Terra) raggiunto a fine novembre (l'osservazione con angolo minimo cade il 17 novembre con una fase di 7.1 gradi).

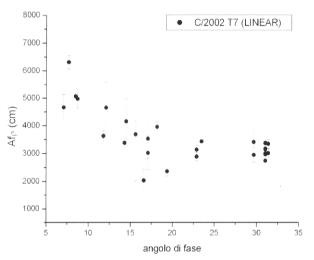


Figura 3. La quantità Afrho della c/2002 T7 mostra una chiara dipendenza dall'angolo di fase, con un andamento che è caratteristico dell'effetto di fase per comete e asteroidi.

Un'analisi della quantità Afrho (figura 2-3) ha immediatamente permesso di verificare la consistenza della relazione, anche se necessitavano ulteriori prove per confermare che si trattasse realmente di un effetto di fase, e non di una variazione transitoria casuale. Le analisi successive hanno confermato che l'andamento è in perfetto accordo con quello osservato per altre comete.

Riguardo alla quantità Afrho è stato possibile verificare che per questa cometa i valori determinati con filtri a larga banda (e anche senza filtri, riferendosi a una banda R "allargata") sono in accordo con i valori ottenuti con il filtro centrato a 647 nm (10 nm FWHM) che rileva sostanzialmente solo luce solare riflessa, con contaminazioni gassose del tutto trascurabili. Un confronto tra dati ottenuti il 24-25 novembre 2003 (G. Milani, G. Sostero) mostra un buon accordo sia nei valori, sia nell'andamento della quantità Afrho in funzione del raggio di apertura della finestra di misura (in chilometri, figura 4). Il fatto che i valori nella banda I siano leggermente più elevati rispetto alle bande S ed R è compatibile con il normale arrossamento prodotto dalle polveri sulla radiazione solare. L'osservazione in banda R, che utilizza una lunghezza d'onda molto vicina alla banda S, è infatti perfettamente in linea con i punti relativi alla banda S.

Va notato che il valore Afrho non appare costante con

l'apertura, ma non si può escludere, considerato il piccolo angolo di fase, che possa esserci una leggera contaminazione da parte della coda. D'altra parte è noto che può essere assunto come costante solo per intervalli limitati (tipicamente tra 5000 e 50000 km dal nucleo) [4] e che l'andamento varia comunque da cometa a cometa. Nel nostro caso la regione che può essere assunta come costante, entro l'errore sperimentale, appare molto contenuta (approssimativamente non oltre 25-30.000 km).

L'effetto dell'angolo di fase sull'aspetto della cometa è ben evidenziato dall'immagine di figura 5 ottenuta all'Osservatorio "G. B. Schiapparelli" (Varese) da Luca Buzzi e Andrea Aletti. Tuttavia nelle immagini il progressivo allungamento della coda è conseguenza sia del cambiamento dell'angolo di fase che dello sviluppo dovuto all'avvicinamento al Sole.

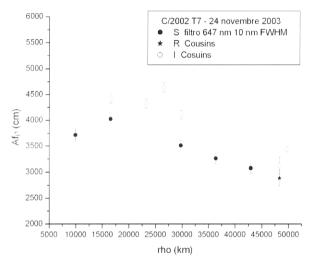


Figura 4. Confronto tra quantità Afrho ottenute in banda S (filtro 647 nm) e in bande R d I le notti del 24 e 25 novembre 2003. Le misure con filtro a banda stretta e a banda larga sono in ottimo accordo (vedi testo), indice che per questa cometa, e nel periodo considerato, anche con filtri R e I la luce trasmessa è sostanzialmente solo luce solare riflessa.



Figura 5. La cometa C/2002 T7 ripresa da Luca Buzzi e Andrea Aletti all'Osservatorio "G. Schiapparelli" (Varese). Le elaborazioni permettono di apprezzare il cambiamento morfologico conseguente al cambio dell'angolo di fase. L'allungamento della coda, oltre che alla prospettiva, è dovuto al normale sviluppo conseguente all'avvicinamento al Sole.

In precedenti lavori di Meech e Jewitt viene analizzato l'effetto di fase sulla cometa 1P Halley e, per confronto, sulle P/Ashbrook-Jackson, Bowell (1982I) e P/Stephan-Oterma [5]. L'effetto di fase si manifesta in questi oggetti per angoli inferiori ai 30 gradi e con una variazione di 0.02-0.04

Unione Astrofili Italiani www.uai.it magnitudini / grado. Non viene osservato nessun effetto legato all'opposizione (ulteriore picco di luminosità), come avviene per gli asteroidi, con angoli inferiori ai 10 gradi. Un'analisi dell'andamento della magnitudine ha richiesto alcune assunzioni: innanzitutto si è posto che la variazione osservata sia sovrapposta a un andamento regolare uniforme. Dall'analisi dei punti estremi della curva è stato quindi ricavato l'andamento teorico di base che segue la formula:

$$m_{\rm p} = 6.44 + 7.37 \log R$$

dove m_D è la magnitudine corretta per le variazioni di distanza Terra-Cometa. I valori trovati forniscono i parametri fotometrici $H_0 = 6,44$ e n = 2,95 della formula classica utilizzata per rappresentare la luminosità di una cometa ($m = H_0 + 5 \log D + n \ 2.5 \log R$, dove m è la magnitudine osservata, D ed R sono rispettivamente le distanze geocentrica ed eliocentrica in UA).

Ricavando dalla formula i valori teorici della magnitudine corrispondenti agli istanti delle nostre osservazioni, e calcolando quindi il valore O – C (magnitudine osservata – calcolata) si può evidenziare meglio l'andamento del fenomeno (figura 6). Poiché i nostri dati coprono l'intervallo tipico dove si manifesta l'effetto di fase ($0 < f < 30^\circ$) è possibile interpolare direttamente una retta per ricavare l'entità della variazione media in magnitudini / grado. Il risultato fornisce la seguente equazione:

$$O-C = -1.05 (\pm 0.11) + f \ 0.036 (\pm 0.05)$$

Si ha quindi una variazione media pari a 0,036 magnitudini / grado, analoga a quella osservata per le comete P/Asbron-Jackson e Bowell. L'incremento totale massimo per l'angolo di fase zero è di circa una magnitudine. In tabella 2 sono riassunti i dati pubblicati da Karen Meech e David Jewitt e, per confronto, quelli ottenuti nel corso del presente lavoro.

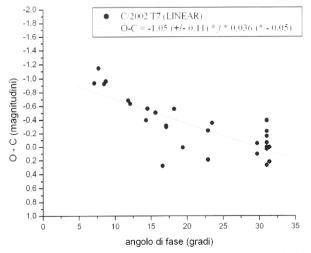


Figura 6. La differenza tra magnitudine osservata e magnitudine calcolata in base a un andamento costante (vedi testo) mostra il caratteristico andamento della legge di fase osservato su altre comete, con un incremento medio pari a circa 0.036 magnitudini / grado.

Osservando in dettaglio l'andamento della curva di fase, sia relativa alla cometa C/2002 T7 che per le altre comete, si nota che il massimo della pendenza sembra manifestarsi per $0 < f < 20^{\circ}$. Interpolando una retta per i soli dati con angolo di fase inferiore a 23° si trova infatti per la C/2002 T7 una pendenza

più elevata $(0.08 \pm 0.01 \text{ magnitudini / grado, figura 7})$. Mancando osservazioni sotto angoli di fase molto piccoli (prossimi a zero) non è possibile verificare se anche per questa cometa sia assente l'effetto di opposizione, con un ulteriore picco nell'aumento della luminosità.

Tabella 2. Variazione della magnitudine con l'angolo di fase per alcune comete, compresa la presente.

Cometa	Distanza eliocentr. (UA)	Variazione (mag / grado)	
P/Ashbrook-Jackson		0.034 ± 0.006	(*)
Bowell	3,7 <r<5,6< td=""><td>0.035 ± 0.005</td><td>(*)</td></r<5,6<>	0.035 ± 0.005	(*)
P/Stephan-Oterma		0.020 ± 0.020	(*)
1P/Halley	1,62 <r<1,72< td=""><td>0.020 ± 0.01</td><td>(*)</td></r<1,72<>	0.020 ± 0.01	(*)
C/2002 T7	2,4 <r<3,3< td=""><td>0.036 ± 0.05</td><td>(**)</td></r<3,3<>	0.036 ± 0.05	(**)
(*) Meech et al. (**) presente lavoro			

Un'analoga analisi della quantità Afrho permette di apprezzare meglio come l'effetto di fase inizi a manifestarsi in modo rilevante per valori inferiori ai 20° ; considerando solo i punti con $f < 23^{\circ}$ si ottiene un incremento medio per l'Afrho di 188 cm / grado (figura 8).

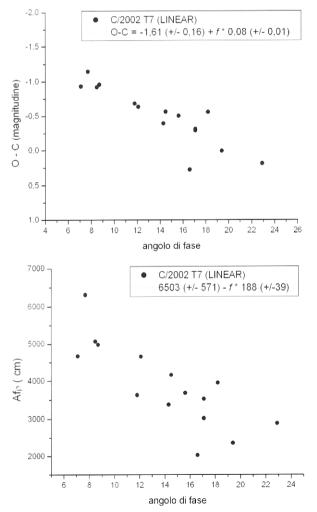


Figure 7-8. L'effetto di fase sembra mostrare una pendenza sensibilmente maggiore (0.08 magnitudini/grado) analizzando i dati con fase minore di 23 gradi. La quantità Afrho nello stesso tratto mostra un incremento di 188 cm / grado

L'analisi della quantità Afrho mostra ulteriori aspetti rilevanti. Innanzitutto, escludendo i punti interessati dall'effetto di fase, e considerando solo i dati ottenuto con un angolo di fase $f > 15^\circ$ si ricava il probabile valore medio dell'Afrho = 3128 ± 434 . Alla luce dei risultati ottenuti è infatti ragionevole supporre che il valore effettivo (escludendo cioè l'incremento fittizio dovuto all'effetto dell'angolo di fase) sia rimasto costante e che sia quindi rappresentativo di tutto il periodo considerato.

Conclusioni

L'analisi della curva di luce in magnitudini e della quantità Afrho della C/2002 T7 mostrano che l'incremento osservato intorno al mese di novembre 2003 è spiegabile come un effetti di fase, analogo a quelli osservati per le comete 1P/Halley, Asbron-Jackson, Bowell e P/Stephan-Oterma. L'entità delle variazioni osservate in particolare è sostanzialmente identica a quella di due di queste comete (Asbron-Jackson e Bowell) e rientra perfettamente nella media dei valori riportati in letteratura. Anche l'andamento della curva dell'effetto di fase è ben sovrapponibile a quello osservato da Meech e Jewitt.

Possiamo quindi concludere che l'anomalia rilevata nella curva di luce non è da imputare a fenomeni temporanei che hanno interessato il nucleo (*outburst* o altri tipi di variazioni di attività), ma a un normale effetto di fase. Questo implica in particolare che la quantità Afrho si è mantenuta in realtà costante nel periodo considerato. Un simile comportamento è quanto ci si aspetta da un nucleo in rotazione

dove l'attività è regolata dal CO (monossido di carbonio), e non dall'acqua.[6].

Considerato l'intervallo di distanze eliocentriche (1.2 < R < 3.3), e le conseguenti variazioni di condizioni fisiche all'interno della chioma, è ragionevole inoltre attendersi anche possibili variazioni di albedo nei grani che riflettono la luce solare. Per esempio, la presenza di grani composti da ghiaccio d'acqua è stata rilevata quando la cometa si trovava a 3.52 UA dal Sole [7], ma è poco plausibile che questi stessi grani possano avere avuto tempi di vita lunghi quando la cometa si è trovata a minore distanza eliocentrica; questo ovviamente potrebbe avere delle implicazioni rilevanti nel determinare l'andamento osservato della quantità Afrho.

Ringraziamenti

Questo articolo è basato su dati prodotti dal CARA (*Cometary ARchive for Amateur astronomers*) http://cara.uai.it.

Bibliografia

- [1] IAUC No. 8003 (2002 October 29)
- [2] Bessel, M. S., PASP, 102,1181-1199 (1990)
- [3] Henden, A. A., , Journal AAVSO 29, 35 (2000)
- [4] A'Hearn, M. comunicazione personale
- [5] Meech, K. J., Jewitt, D. C., A&A, 187, 585-593 (1987)
- [6] Fulle, M., comunicazione personale
- [7] Kawakita, H., et al., ApJ, 601, L191-194 (2004)

