



Giannantonio Milani
 Rolando Ligustri
 Diego Tirelli
 UAI – Sezione Comete, CARA

Primi risultati della campagna osservativa sulla cometa C/2001 Q4 (NEAT)

Abstract

The first results of the C/2001 Q4 observation campaign are presented. The comet was observed with visual, photographic and CCD techniques. Both photometry and imaging show an active comet even if fainter than expected, especially after the perihelion passage. The coma presented halos and spiral-like features recalling those displayed by other comets like Hale-Bopp and Ikeya-Zhang. Visual and CCD light curves are analyzed and first tests with narrowband filters were performed with the goal of obtaining more accurate $Afrho$ measurements. Narrowband filters (647-650 nm) proved useful also for dust tail analysis and are now adopted as standard for the CARA project.

Introduzione

La cometa C/2001 Q4 è stata scoperta il 24 agosto 2001 con il telescopio Schmidt da 120 cm di Monte Palomar, nel corso dello svolgimento del programma NEAT (Near Earth Asteroid Tracking) [1]. La notizia di questa nuova cometa, unitamente alla prospettiva che potesse diventare un oggetto osservabile a occhio nudo nella primavera del 2004, ci era stata comunicata direttamente in anteprima dallo stesso Brian Marsden, al Congresso UAI tenutosi quell'anno a Frasso Sabino.

Considerate le condizioni geometriche particolarmente favorevoli, con la cometa ben visibile al perielio (15 maggio a 0.96 UA) a poco più di 0.4 UA di distanza dal nostro pianeta, si era accesa la speranza di poter osservare a occhio nudo una cometa spettacolare. Purtroppo, a causa dell'elevata inclinazione dell'orbita, la 2001 Q4 non è risultata visibile dal nostro emisfero nella fase pre-perielica e solo a partire all'incirca dal 4 maggio è emersa al di sopra dell'orizzonte nel cielo serale, pur rimanendo per alcuni giorni molto bassa e immersa nella luce del crepuscolo.

Nell'ambito della Sezione Comete e del progetto CARA era stato preparato un programma specifico, volto a un monitoraggio accurato dell'apparizione della cometa. Poco prima che la 2001 Q4 si rendesse visibile alla nostra latitudine, alcune riprese effettuate in modo remoto da Franco Mallia e Gianluca Masi, con un telescopio da 50 cm situato nell'emisfero australe (Osservatorio Las Campanas, Chile), avevano evidenziato una cometa ben attiva, con strutture in rapida evoluzione nella chioma (aloni e getti) e una coda di plasma già ricca di strutture. Purtroppo, in concomitanza con il passaggio al perielio, si è avuta una flessione nella

luminosità e la cometa si è mantenuta poi costantemente più debole rispetto alle previsioni. Questo fatto, e le condizioni meteorologiche instabili, non hanno consentito di svolgere in pieno il programma, anche se la quantità di dati raccolti è ugualmente consistente.

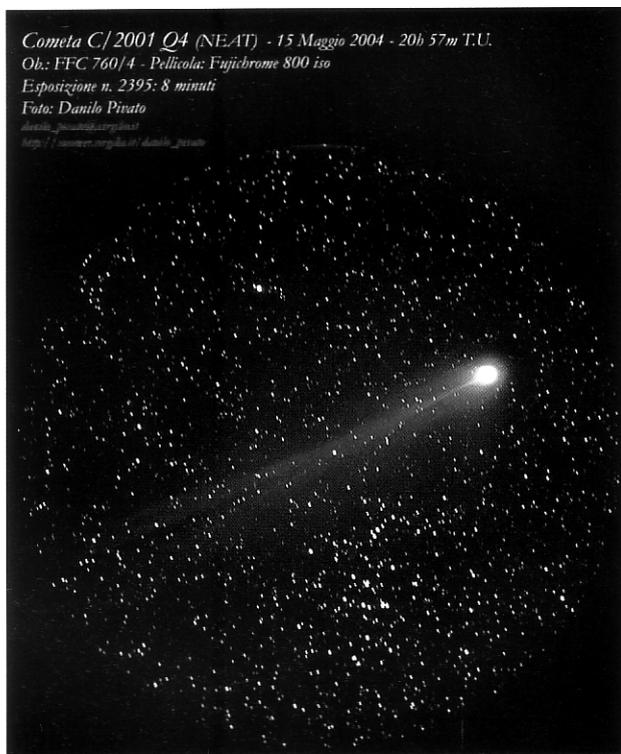


Figura 1. La cometa C/2001 Q4 fotografata il 15 maggio da Danilo Pivato. Flat field camera 760-f/4 – pellicola Fujichrome 800 ISO. Nell'immagine spicca la coda di plasma; la colorazione blu è dovuta soprattutto alle emissioni del CO⁺

È interessante notare che, mentre la coda di polveri è apparsa poco evidente, compromettendo la spettacolarità soprattutto da un punto di vista visuale, la coda di plasma è risultata sempre piuttosto attiva (figura 1). Un assiduo monitoraggio, sia fotografico che CCD, mostra che, intorno a metà maggio, la coda gassosa, pur molto debole, ha raggiunto estensioni davvero ragguardevoli (almeno una quindicina di gradi), come risulta dalle fotografie ottenute con obiettivi a largo campo per esempio da Marco Fulle e Giuseppe De Donà. Il periodo di massima estensione è coinciso di fatto con le previsioni riportate dallo stesso Giuseppe De Donà sull'almanacco UAI 2004.



2



4



3



5

Figure 2-3-4-5. Una serie di riprese della cometa C/2001 Q4 effettuate in serate diverse che mostrano le strutture nella chioma e ottenute rispettivamente l'11 maggio (R. Ligustri-Talmassons), 17-18 maggio (M. Nicolini, M. Facchini-Cavezzo), 19 maggio (P. Turchetti, L. Furlanetto-Talmassons).

Le osservazioni

Il monitoraggio dell'apparizione è stato effettuato utilizzando tutte le tecniche disponibili: dalle osservazioni visuali, con stime di magnitudine e disegni, alla fotografia chimica e digitale, fino alle riprese CCD senza filtri, con filtri a banda larga e interferenziali. In questo va sottolineata una viva partecipazione di tutti gli osservatori che, con ogni mezzo e intervenendo nella *mailing list* della Sezione, hanno permesso di avere costantemente sott'occhio una buona panoramica della situazione.

La tabella 1 riassume i nomi delle persone che hanno contribuito con osservazioni fotometriche. Nella seconda colonna sono riportati gli strumenti principali utilizzati per la tecnica visuale, oppure la dicitura CCD se le osservazioni sono state effettuate con questa seconda tecnica. Per quanto riguarda le immagini una raccolta completa è reperibile presso il sito della Sezione Comete (<http://comete.uai.it>), a cura di Rolando Ligustri.

Morfologia della chioma

La chioma è apparsa molto attiva e mutevole con strutture complesse che hanno richiamato alla memoria gli aloni e le spirali delle comete Ikeya-Zhang e Hale Bopp, per citare due tra le più recenti che hanno mostrato questo tipo di morfologia. A livello professionale sono state rilevate variazioni significative nell'arco di poche ore [2]. Il periodo di rotazione è stato stimato da J. Lecacheux, sulla base della ricorrenza delle strutture osservate, pari a 23.2 ± 0.25 ore [3]. Le immagini raccolte illustrano ampiamente l'estrema variabilità di aspetto mostrata dalla cometa, ma fanno risaltare anche il fatto che la periodicità prossima a un giorno ripropone aspetti analoghi in serate successive. (figure 2, 3, 4, 5).

Le strutture della chioma sono state particolarmente evidenti in prossimità del passaggio al perielio, probabilmente per la maggiore vicinanza alla Terra e quindi la migliore risoluzione e luminosità della cometa stessa, ma è possibile

anche che possano essere stati eventi transitori legati, per esempio, a effetti di tipo stagionale o ad altri cambiamenti avvenuti sul nucleo.

Tabella 1. Osservatori che hanno contribuito alla ricerca con gli strumenti usati e il loro sito.

Osservatore	Strumento	Sito
S. Baroni	B 20x80	Oss. Studium
L. Basili	B 9x63	
G. Degano	CCD	Oss. Talmassons - CAST
M. Facchini	CCD	Oss. Cavezzo
L. Furlanetto	CCD	Oss. Talmassons - CAST
A. Giambersio	B 7x50	
V. Gonano	B 10x50	Oss. Talmassons - CAST
R. Haver	B 10x50	Oss. Frasso Sabino
R. Ligustri	CCD	Oss. Talmassons - CAST
T. Lovejoy	CCD	
M. Martellini	B 10x50	
G. Milani	B 20x80 CCD	
F. Montanucci	CCD	
M. Nicolini	40 cm f/5 CCD	Oss. Cavezzo
T. Scarmato	B 7x50	
G. Sostero	CCD	Oss. Remanzacco - AFAM
D. Tirelli	B 7x50 CCD	
R. Trabatti	CCD	Oss. Descartes
R. Turchetti	CCD	Oss. Talmassons - CAST
G. Vanin	B 25x100	
F. Zucconi	B 10x50	

La curva di luce

Le osservazioni fotometriche raccolte nel corso della campagna osservativa ammontano a un totale di 79 stime visuali ottenute prevalentemente con binocoli e a occhio nudo, e a 289 misure CCD effettuate sia senza filtri (approssimando la banda R), sia con filtri R e I (bande di Cousins), sia con filtri a banda stretta (prevalentemente 647 e 650 nm).

La curva di luce visuale (figura 6), ottenuta con il programma *Comet for Windows* realizzato da S. Yoshida, permette di tracciare il quadro generale dell'apparizione e mostra che la cometa ha raggiunto il massimo di luminosità, minimo come magnitudine totale apparente, alcuni giorni prima del perielio. Questo effetto è dovuto alla forte variazione della distanza Terra-cometa all'inizio di maggio, ed è possibile constatare che il massimo della luminosità reale è stato sostanzialmente in fase con il passaggio al perielio (figura 7). È da considerare però che la fase post-perielica ha visto la luminosità media della 2001 Q4 sensibilmente inferiore rispetto alla fase pre-perielica, con un'apparizione meno spettacolare del previsto. Le proiezioni iniziali infatti erano basate sulla formula generale:

$$m_1 = H_0 + 5 \log d + 2.5 n \log r$$

con $H_0 = 3.5$ ed $n = 4$, essendo m_1 la magnitudine totale apparente, d la distanza geocentrica in Unità Astronomiche ed r la distanza eliocentrica (sempre in UA).

Nella fase pre-perielica i parametri fotometrici, in particolare il parametro H_0 , relativo alla cosiddetta "luminosità assoluta", secondo Yoshida, è passato dall'iniziale valore di 3.5 a 4.6 e successivamente fino a 5.9. Il parametro n , che indica la pendenza della curva, ha invece mostrato poche variazioni, mantenendosi tra 3.4 e 4. [5]

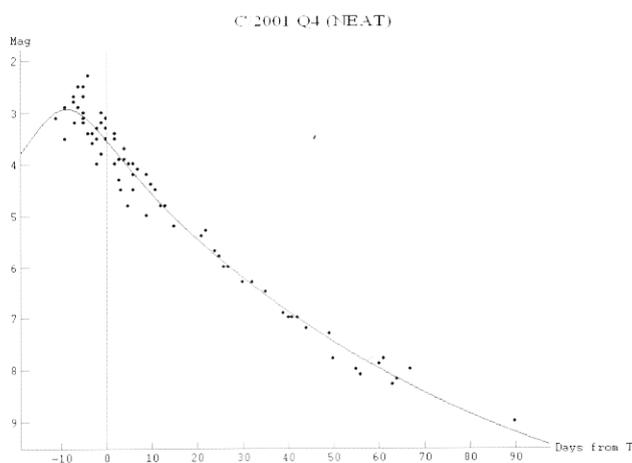


Figura 6. Curva di luce visuale relativa alla magnitudine totale apparente osservata in funzione del tempo e rispetto all'istante del passaggio al perielio.

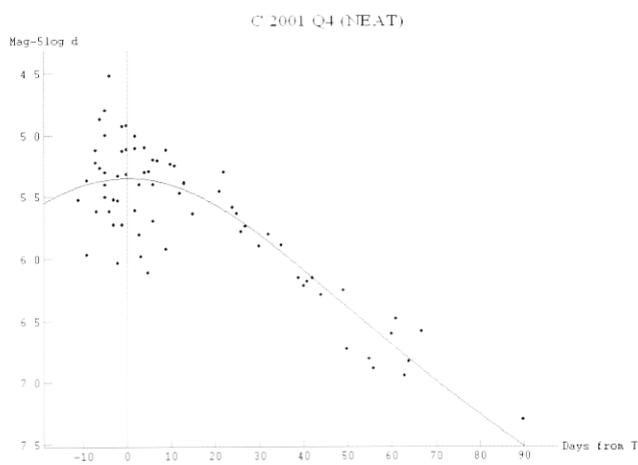


Figura 7. Curva di luce costruita utilizzando la magnitudine eliocentrica, corretta cioè per le variazioni dovute al variare della distanza Terra-Cometa. Una curva così costruita riflette le reali variazioni di luminosità.

Le nostre osservazioni, effettuate dopo il passaggio al perielio, si accordano con la formula:

$$m_1 = 5,5 (\pm 0,3) + 5 \log d + 8,3 (\pm 0,3) \log r$$

Per confronto riportiamo l'andamento medio, che secondo Yoshida [5] è rappresentabile con la formula

$$m_1 = 4.6 + 5 \log d + 8.6 \log r$$

Il sostanziale cambiamento nel parametro H_0 permette di comprendere a pieno perché la fase seguente al passaggio al perielio sia stata di tono inferiore rispetto al periodo precedente.

È anche interessante notare che l'analisi di 22 misure (figura 8), ottenute in banda R (Cousins) e riferite a un'apertura di misura pari a 50 000 km di raggio sulla chioma, forniscono il seguente andamento medio:

$$m_1 = 7.03 (\pm 0,11) + 5 \log d + 7.07 (\pm 0,62) \log r$$

ovvero un parametro fotometrico $n = 2.83 \pm 0.25$, sensibil-

mente più basso rispetto a quello determinato visualmente. La differenza per H_0 è invece ovvia, in quanto le magnitudini CCD non sono riferite alla luminosità totale della chioma, ma solo a una sua parte.

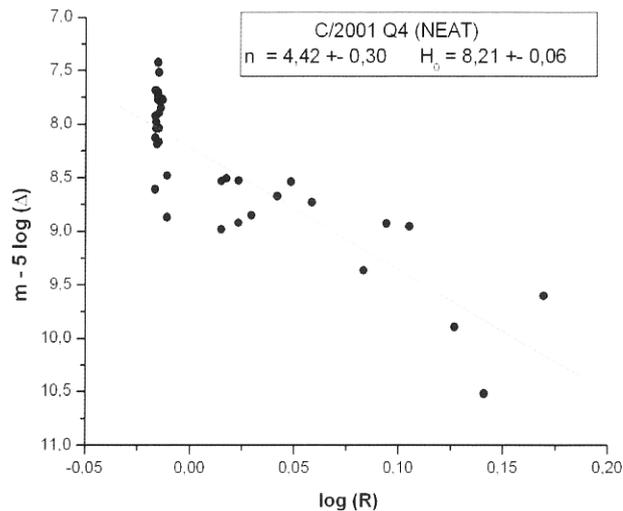


Figura 8. Analisi della curva di luce della cometa C/2001 Q4 ottenuta mediante osservazioni CCD in banda R e con una finestra di misura corrispondente a circa 25 000 km di raggio sulla chioma. La dispersione dei punti è conseguenza delle condizioni meteorologiche non ottimali nel periodo coperto dalle osservazioni.

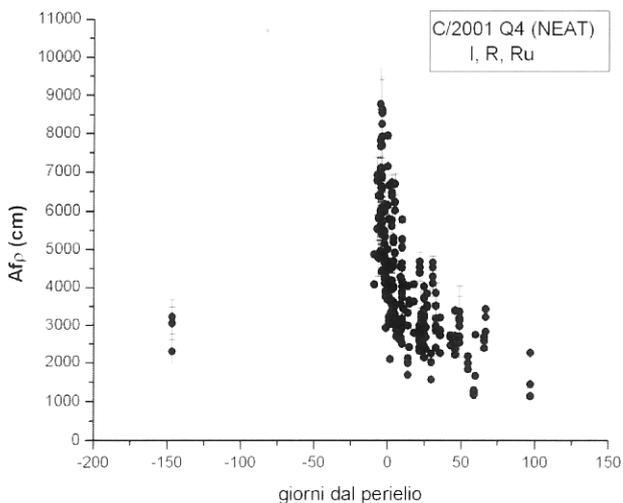


Figura 9. Curva dell'andamento della quantità Afrho misurata mediante CCD nelle bande fotometriche I, R e Ru (vedi testo). La misura isolata pre-perielica è dovuta a un osservatore australe.

Queste apparenti discrepanze paiono in accordo con quanto da noi rilevato su altre comete. Quello che avviene in sostanza è che le stime visuali, essendo basate su tutta la chioma, riportano una valutazione che risente del diametro apparente stesso della chioma. Il diametro osservato varia normalmente nel corso dell'apparizione in conseguenza della distanza dal Sole, dalla Terra e forse in parte anche in relazione alla soglia di visibilità e sensibilità dell'occhio.

Le misure CCD, essendo invece basate su una porzione di chioma prefissata in chilometri, forniscono un'indicazione più rigorosa sull'andamento della luminosità superficiale, più legato all'attività del nucleo.

La quantità Afrho

L'andamento della quantità Afrho si presenta apparentemente piuttosto asimmetrico rispetto al passaggio al perielio. La figura 9 riporta le osservazioni complessive raccolte nel corso della campagna osservativa, comprendenti una osservazione australe effettuata a fine dicembre 2003.

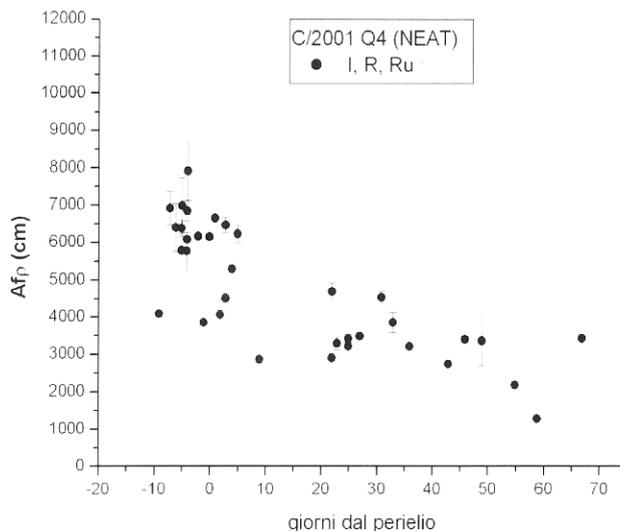


Figura 10. Particolare dell'andamento della quantità Afrho nelle bande fotometriche I, R e Ru (vedi testo) nel ramo discendente della curva della cometa C/2001 Q4. Il picco massimo cade all'incirca 5 giorni prima del passaggio al perielio.

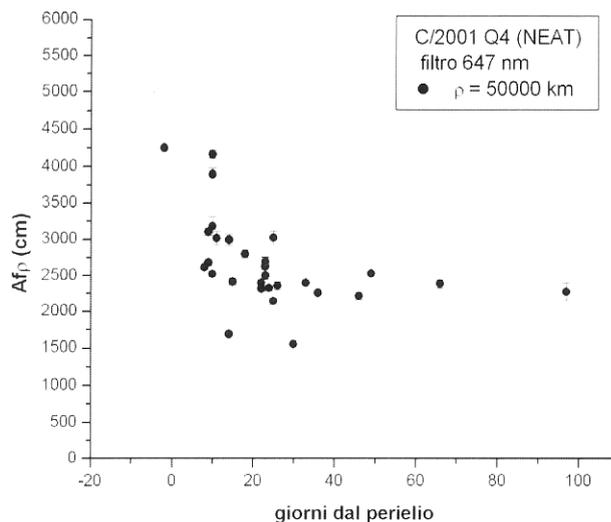


Figura 11. Andamento della quantità Afrho relativa alla cometa C/2001 Q4, misurata mediante filtri centrati a 647 e 650 nm (10 nm FWHM), che isolano una regione spettrale sostanzialmente priva di emissioni gassose. Dopo un picco, intorno al perielio, di circa 4000 cm, il valore si assesta intorno a 2500 cm.

Pur essendo disponibili pochissime osservazioni nella fase pre-perielica è possibile estendere considerevolmente l'intervallo temporale, e di conseguenza della distanza eliocentrica, grazie a una osservazione professionale effettuata da G. Tozzi *et al.* quando la cometa si trovava a 8.6 UA dal Sole che riporta un valore Afrho pari a 1500 cm.[5] Se confrontiamo tale valore con quello da noi osservato al perielio notiamo subito che l'incremento è tutto sommato modesto. Infatti un'analisi approssimativa met-



te in evidenza come la pendenza dell'andamento (calcolata ponendo $\log R$ verso $\log A_{frho}$) sia all'incirca -0.6 nella fase pre-perielica e $-1.1 (\pm 0.2)$ dopo. Un confronto con i dati relativi alla 1P/Halley nella fase pre-perielica indicano che l'andamento osservato era $-1.16 (\pm 0.04)$ [6], sostanzialmente analogo a quello post-perielico della C/2001 Q4. Il dato conferma il basso ritmo di crescita nella fase di avvicinamento al Sole. Considerando il valore A_{frho} ottenuto con filtri a banda stretta, descritto in seguito, l'aumento in funzione della diminuzione della distanza dal Sole risulta ancora più contenuto.

Nel corso dell'apparizione è stato infatti ampiamente testato anche l'utilizzo della banda fotometrica S (Vilnius) (<http://obswww.unige.ch/gcpd/ph21.html>), che ha una banda passante che coincide quasi perfettamente con quella dei filtri da noi utilizzati (647 nm e 650 nm, 10 nm FWHM, cioè *Full Width at Half Maximum*, valore di larghezza a metà altezza del picco di trasmissione). [7]

Le piccole differenze, considerate le precisioni in gioco, sono del tutto trascurabili. Questa banda ha il pregio di isolare una regione spettrale priva di emissioni gassose di rilievo ed è quindi particolarmente adatta per una più accurata determinazione della quantità A_{frho} e per lo studio della componente polverosa in generale. Il massimo valore A_{frho} osservato nella banda S risulta intorno a 4000 cm, testimoniando come nelle bande R e I sia ancora presente una contaminazione gassosa non trascurabile per le comete attive che giungono in prossimità del Sole ($r < 2$ UA).

La modesta differenza tra il valore rilevato tra 8.6 UA e il perielio ($R = 0.9$ UA) e la più marcata variazione post-perielica, potrebbe essere indicativa di un cambiamento del meccanismo che ha concorso a regolare l'attività del nucleo. Il massimo dei valori (A_{frho} 6000-7000 cm intorno al perielio per le bande I ed R e circa 4000 per la banda S) sembra essere caduto circa 5 giorni prima del perielio, con un apparente breve picco (figura 10). Il picco potrebbe però essere un artefatto, considerate le condizioni critiche di osservazione (cometa a scarsa elevazione sull'orizzonte e condizioni meteorologiche mutevoli). Una simile dispersione appare anche nella curva di luce visuale.

Riguardo alla fase precedente al mese di maggio 2004 non è possibile al momento verificare se i dati pre-perielici raccolti possano essere considerati rappresentativi dell'andamento generale o se risentano di variazioni erratiche temporanee. Purtroppo, nonostante siano stati lanciati alcuni appelli volti a una cooperazione internazionale per un monitoraggio completo dell'apparizione della cometa C2001 Q4, l'unico osservatore australe che ha inviato una risposta concreta, e un'immagine utile per i nostri scopi, è stato l'australiano David Higgins. Speriamo di poter colmare nel tempo questa lacuna, e soprattutto che in futuro si riesca a coinvolgere in questi programmi osservatori dislocati in varie parti del globo

I risultati complessivamente sono incoraggianti, (figura 11) anche se non è stato possibile condurre una verifica accurata sul metodo usato per i filtri a banda stretta, permanendo una dispersione nei valori che troviamo an-

cora eccessiva, legata probabilmente alle condizioni meteorologiche instabili che hanno caratterizzato gran parte dell'apparizione, con conseguenti notti con cielo lontano dalle condizioni ideali per poter effettuare fotometria differenziale.

Ulteriori test preliminari sono stati condotti da Giovanni Sostero (Osservatorio di Remanzacco) relativamente all'uso di filtri a banda stretta centrati su emissioni gassose (C_2 , C_3 , H_2O).

La banda S, unitamente ai filtri centrati a 647 e 650 nm, è stata ufficialmente adottata come standard per il progetto CARA, relativamente alle comete più luminose, dove è possibile utilizzare con profitto filtri interferenziali.

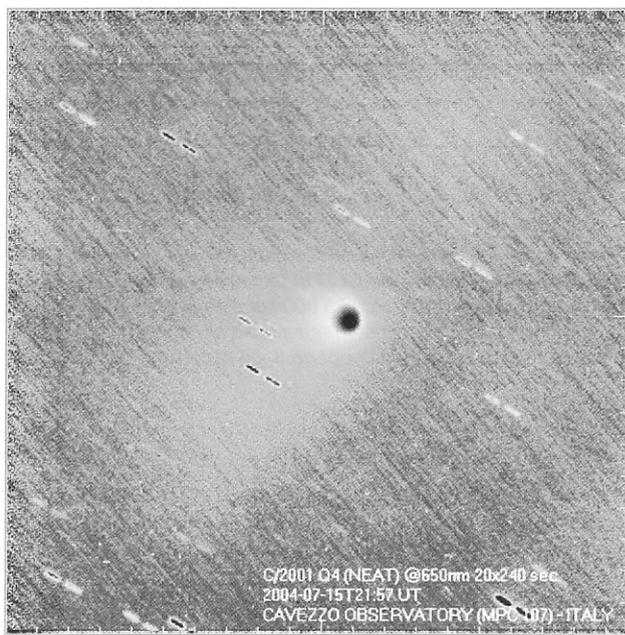


Figura 12. La C/2001 Q4 ripresa da Rolando Ligustri (CAST-Talmassons) il 20 giugno 2004. La tricromia evidenzia le colorazioni reali della cometa. Il verde nell'alone della chioma è dovuto prevalentemente alle emissioni del C_2 , mentre la tonalità della coda di polveri (a forma di ventaglio e diffusa verso il basso) risulta tra il giallo e il rossastro, come ci si deve attendere nel caso di luce solare riflessa da grani solidi. Questa immagine, e quella seguente, provano che le colorazioni rilevate in molte immagini ottenute mediante fotocamere digitali, e successivamente elaborate, sono degli artefatti.

La coda di polveri

Una nota particolare riguarda la coda di polveri che, come si è detto in precedenza, è stata generalmente poco rilevante come intensità. Tuttavia verso giugno-luglio, per la prospettiva favorevole, è stato possibile osservare come ben differenziate le componenti polverosa e gassosa della coda. Immagini a colori apparse su numerosi siti web e ottenuti soprattutto con fotocamere digitali, riportavano colorazioni insolite (azzurrina) per la componente polverosa, soprattutto nella parte più distanziata da quella gassosa. La presenza di una tonalità di colore tipica del gas aveva posto diversi interrogativi sia sulla realtà del fenomeno che sulla possibile spiegazione.

Osservazioni più accurate (figure 12, 13), effettuate anche mediante filtri a banda stretta, hanno permesso di

verificare che nella coda di polveri non vi era nulla di anomalo, e che la insolita colorazione era un artefatto dovuto sia alla taratura approssimativa nel colore delle fotocamere digitali, sia a processi di elaborazione successivi volti a migliorare la visibilità della coda stessa. Il fatto di privilegiare il lato puramente estetico, cosa facilitata dalle immagini in formato digitale e dai numerosi programmi per computer adatti allo scopo, porta a porre in secondo piano il lato scientifico. Un'ovvia conseguenza è quella di dover considerare con molta cautela immagini ottenute con fotocamere digitali e che abbiano subito processi di elaborazione, evitando di trarre conclusioni di tipo scientifico. Per questi scopi un CCD, e possibilmente l'utilizzo di filtri standardizzati, è la soluzione che dà le migliori garanzie

Conclusioni

Le osservazioni raccolte nel corso della campagna osservativa sulla cometa C/2001 Q4 hanno evidenziato un oggetto attivo con ricchezza di dettagli nella chioma. Il livello dell'apparizione è stato però inferiore alle aspettative iniziali, e soprattutto l'analisi della curva di luce mostra un sensibile calo nella luminosità intrinseca (parametro fotometrico H_0).

I dati fotometrici CCD, e in particolare l'analisi della quantità $Afrho$, mostra una sensibile differenza prima e dopo il passaggio al perielio. Nel ramo post-perielico la pendenza risulta sostanzialmente uguale a quella osservata per la 1P Halley nella fase immediatamente pre-perielica (pendenza circa -1) mentre nel ramo pre-perielico la pendenza sembra essere molto più bassa (circa -0.6). Purtroppo gli scarsi dati pre-perielici disponibili non consentono una sicura verifica su questo punto, e in particolare sulla pendenza della curva, un fatto che potrebbe avere interessanti implicazioni fisiche sull'attività del nucleo della cometa.

Il massimo è stato raggiunto circa 5 giorni prima del perielio, con un apparente, modesto, rapido e temporaneo incremento.

La coda di plasma ha mostrato una notevole attività in relazione a variazioni del vento solare, mentre la componente di polveri è risultata poco appariscente. In alcune immagini apparse in numerosi siti web, e ottenute con fotocamere digitali, la coda di polvere appariva suddivisa in due componenti, con colorazioni del tutto anomale (visibilmente tendenti all'azzurro); immagini CCD (tricromie e con filtri interferenziali) hanno permesso di appurare che la coda di polveri era in realtà unica e che le colorazioni insolite altro non erano che artefatti dovuti alle fotocamere usate e ai successivi processi di elaborazione.

Alcune immagini ottenute con filtri a banda stretta, e i dati $Afrho$, sono in ulteriore fase di analisi e saranno utilizzati a livello professionale per lo studio dettagliato della coda di polveri.

Ringraziamenti

Un vivo ringraziamento va a quanti hanno attivamente collaborato per la realizzazione di questa campagna osservativa.

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



Figura 13. Ripresa della C/2001 Q4 ottenuta il 15 luglio con filtro centrato a 650 nm (10 nm FWHM) presso l'Osservatorio di Cavezzo. Si tratta di una somma di 20 pose da 120 secondi ciascuna. La lunga posa è stata necessaria per compensare l'alto assorbimento di luce del filtro. Viene evidenziata la sola componente polverosa e in particolare si conferma che non esiste una doppia coda di polveri, come appariva in alcune immagini ottenute con fotocamere digitali.

Bibliografia

- [1] IAUC 8046
- [2] Tozzi G.P., comunicazione personale (2004)
- [3] IAUC 8349 (1990)
- [4] Seiichi Yoshida homepage <http://www.aerith.net/comet/catalog/2001Q4/2001Q4.htm>
- [5] Tozzi G. P. et al., *A&A*, **398**, 41-44 (2003)
- [6] Churyumov, C. et al., *Ap. J.*, 356, 687-692
- [7] Fulle, M., comunicazione personale (2003)