

Fotometria CCD della cometa Hale-Bopp

Herman Mikuz

CRNI VRH OBSERVATORY

UNIVERSITÀ DI LUBIANA

Bojan Dintinjana

UNIVERSITÀ DI LUBIANA

(Relazione presentata da H. M. al Seminario sull'Osservazione Cometaria, Osservatorio di Frasso Sabino, 21-22.06.1997; traduzione dall'inglese di G. Milani)

Introduzione

Nelle recenti comete luminose apparisse, la C/1996 B2 (Hyakutake) e la C/1995 O1 (Hale-Bopp), la chioma ha raggiunto una grande dimensione angolare, tanto che la condensazione nucleare e la chioma circostante erano facilmente distinguibili ad occhio nudo. In questi casi le stime della magnitudine totale sono generalmente effettuate ad occhio nudo e sono necessari speciali metodi di osservazione per ottenere buoni risultati. La stima visuale di comete luminose richiede inoltre l'utilizzo di stelle di confronto che sono il più delle volte lontane e ad una differente elevazione sull'orizzonte e di conseguenza la magnitudine totale risultante m_1 dovrebbe essere corretta per l'estinzione atmosferica. In pratica la stima visuale di comete luminose richiede un cielo fotometrico, cioè che non presenti sensibili variazioni di trasparenza e di fondo nelle varie direzioni. La qualità delle stime alla fine dipende in larga misura dall'esperienza dell'osservatore e dalle condizioni fisiche, come pure dalla qualità del cielo.

Le comete luminose sono spesso relativamente vicine all'orizzonte, dove le condizioni del cielo (foschia, nuvole) non di rado impediscono di ottenere osservazioni visuali precise. Questo è stato un problema frequente nel nostro sito di osservazione ma abbiamo trovato che può essere superato con l'uso di un sistema di ripresa CCD a largo campo. Uno strumento di questo tipo è in grado di coprire facilmente un'area di diversi gradi cosicché sia la cometa che le stelle di confronto appaiono simultaneamente nella stessa ripresa.

Le osservazioni

La strumentazione

Tutte le osservazioni sono state effettuate all'Osservatorio Crni Vrh in Slovenia (v. fig. 1). Nel 1996 le riprese sono state effettuate con la camera Baker-Schmidt da 20 cm $f/2$ e un CCD ST-6, coprendo un campo di 72×54 primi d'arco. Passata la congiunzione verso la fine di dicembre, la Hale-Bopp è divenuta nuovamente visibile all'inizio di gennaio nel cielo mattutino. A metà gennaio era salita

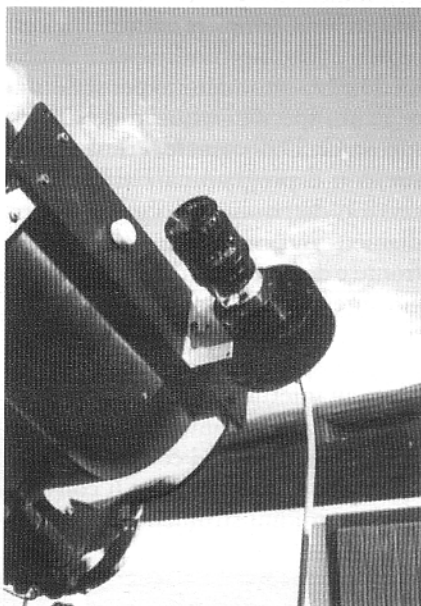


Fig. 1. L'obiettivo da 90 mm di focale con la camera CCD ST6 e filtro V montato in parallelo alla Baker-Schmidt da 20 cm.

Abstract

This contribution is based on our five-year program of CCD photometry of faint comets, performed mainly with 20-cm and 36-cm telescopes, V filter and two CCDs. Recent apparition of comet Hale-Bopp proved to be an excellent opportunity to test our observing method, instrumentation and software even on a very bright comet. We found that our V observations of faint comets tends to be systematically fainter by 0.5-1 magnitude in spite of the fact that the CCDs record systematically more coma than human eye. We explained this with the fact that the human eye and V filter passbands are not the same and have thus different response to C_2 which is the main emission from the coma. Additional troubles may appear with bright comets that have prominent inner tails, composed mainly of dust particles. In case of comet Hale-Bopp, we show that by carefully choosing the aperture radius, the resulting total V magnitudes are in good agreement with total m_1 values of experienced visual observers.

alla terza magnitudine e il diametro della sua chioma era aumentato all'incirca fino a un grado: in questo periodo abbiamo modificato la nostra tecnica osservativa passando a una nuova combinazione di CCD e obiettivi a corta focale (v. tab. 1). Per misurare le stelle di confronto e la cometa nella banda fotometrica V standard di Johnson abbiamo utilizzato il filtro fotometrico V proposto da Bessel [1, 2].

Metodologia di osservazione

I nostri metodi di osservazione sono stati del tutto simili a quelli utilizzati

Obiettivo	CCD	Campo utile (gradi)
180mm, $f/2,8$	Wright 578x385 pixels, $22 \mu\text{m} \times 22 \mu\text{m}$	$3,8 \times 2,5$
90mm, $f/2,8$	Wright 578x385 pixels, $22 \mu\text{m} \times 22 \mu\text{m}$	$7,5 \times 5,0$
90mm, $f/2,8$	ST-6, 375x244 pixels, $23 \mu\text{m} \times 27 \mu\text{m}$	$5,5 \times 4,1$

Tab. 1. Accoppiamento obiettivi+CCD utilizzati all'Osservatorio Crni Vrh.

per la fotometria di comete deboli [3]. A causa della bassa risoluzione del nostro sistema (tipicamente 30-60 secondi d'arco/pixel) le immagini delle stelle di confronto erano sottocampionate. Questo generalmente ha portato a una certa inconsistenza nelle magnitudini stellari strumentali che è stata superata prendendo almeno 10 immagini consecutive delle stelle di confronto.

Con comete luminose le immagini risultano saturate già con esposizioni molto brevi. Il tempo di posa dipende dalla sensibilità del CCD e nel nostro caso è variato tra 1 e 20 secondi con la camera ST-6 e 5 secondi con la Wright. I tempi di integrazione per le stelle di confronto sono stati considerevolmente più lunghi. Naturalmente è necessario essere cauti ed evitare la saturazione sia per l'immagine delle stelle di confronto che per la cometa. Un altro modo di evitare la saturazione è eventualmente quello di sfuocare leggermente l'obiettivo; tuttavia l'ottica deve rimanere sfuocata allo stesso modo finché l'intera sequenza di riprese fotografiche è terminata.

Grazie al largo campo inquadrato sono sempre state identificate almeno due stelle di confronto nell'immagine. Nel caso queste fossero a più di due gradi di distanza dalla cometa sono state applicate le correzioni per l'estinzione atmosferica [4]. Abbiamo sempre utilizzato stelle di confronto scelte tra quelle riportate in bibl. [5]; questo catalogo contiene magnitudini molto accurate ottenute nella banda fotometrica V e riporta stelle fino alla magnitudine 7. Durante la riduzione finale la magnitudine strumentale delle stelle di confronto è stata corretta per lo stesso tempo di integrazione della cometa e solo in seguito comparata.

Ap. (D)	4 feb. mag. tot. V	21 feb. mag. tot. V	22 feb. mag. tot. V	23 feb. mag. tot. V
20	2,4	1,2	1,15	1,0
30	2,2	1,0	1,0	0,8
40	2,1	0,9	0,9	0,7
50	2,0	0,8	0,8	0,6
60	1,9	0,75	0,75	0,5

Tab. 2. Risultati della fotometria CCD relativa ai giorni 4, 21, 22 e 23 febbraio ottenuti con cinque diversi valori di apertura; obiettivo da 90 mm di focale $f/2,8$, filtro standard V, CCD ST-6, esposizioni di 10 secondi, diametro interno cielo di $100''$ ed esterno cielo di $140''$.

Elaborazione delle immagini e riduzione dei dati

Le procedure di elaborazione delle immagini e di riduzione dei dati sono praticamente le stesse descritte nel nostro articolo relativo alla fotometria di comete deboli [3] al quale rimandiamo per maggiori dettagli. Le magnitudini strumentali della cometa C/1995 O1 sono state ottenute con un software di nuova produzione, il FitsPro computer software, scritto per MS Windows (reperibile al sito web <http://astro.ago.uni-lj.si/astro/fitspro/fitspro.html>). Questo software comprende una semplice routine per effettuare fotometria di apertura con CCD ed è stato adattato per soddisfare alcuni specifici requisiti della fotometria CCD di comete. Prima di partire con il programma FitsPro è necessario determinare accuratamente i diametri in pixels delle stelle di confronto e della cometa come pure il raggio interno ed esterno del settore di fondo cielo circostante da misurare. Il programma effettua un conteggio delle unità all'interno dell'apertura selezionata, sottrae il conteggio del fondo cielo lasciando solo i conteggi relativi alla stella o alla cometa, e li converte in magnitudini strumentali.

L'influenza dell'ampiezza dell'apertura sulla misura della magnitudine totale in banda V

Il problema di comprendere la coda nella stima della magnitudine totale V si è presentato con la recente apparizione di comete luminose. La definizione che viene comunemente adottata per m1 (o V) riguarda unicamente la magnitudine totale integrata della chioma, senza includere la coda. Le nostre osservazioni mostrano che questa definizione trova una buona corrispondenza nel caso di comete moderatamente luminose che hanno sviluppato solo una chioma e coda gassosa e con una componente di polveri poco cospicua. Su queste comete un incremento del diametro dell'apertura fino a superare le dimensioni della chioma non influenza in modo sensibile il valore della magnitudine V, fatta eccezione per un aumento nel rumore di fondo. Tuttavia con comete luminose che hanno code iniziali luminose, come nel caso della C/1996 B2 e C/1995 O1, è difficile determinare dove termina la chioma e dove inizia la coda, soprattutto con osservazioni visuali [6]. La fig. 2 mostra quanta chioma e quanta coda viene inclusa entro le varie aperture.

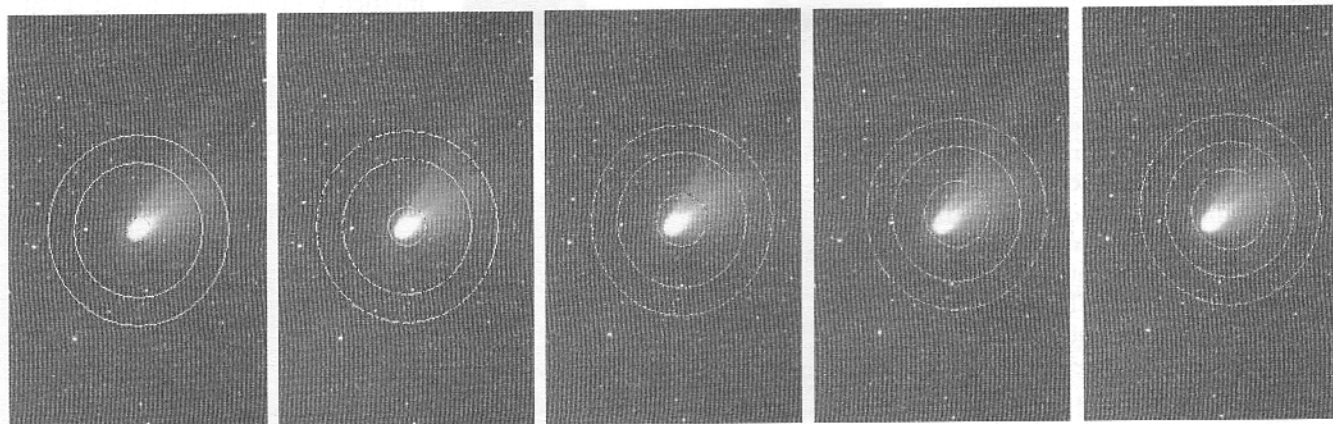


Fig. 2. Immagine della cometa Hale-Bopp ottenuta il 22 febbraio sovrapposta ad aperture di valore diverso.

Per investigare sull'influenza della luminosa coda iniziale sulle misure della magnitudine totale nella banda V abbiamo analizzato diverse immagini della cometa Hale-Bopp prese nei giorni 4, 21, 22 e 23 febbraio 1997 (v. tab. 2). La tabella mostra chiaramente che i valori della magnitudine totale V sono notevolmente influenzati dalla scelta del diametro di apertura D. Questa non è una sorpresa poiché (come ciascuno può verificare nelle immagini) è presente una cospicua coda di polveri e una sensibile porzione della sua parte più luminosa viene già compresa nelle diverse aperture specificate. La tabella mostra anche che nell'intervallo $D = 20''-60''$, ogni $10''$ di aumento in D comporta un aumento di 0,1 magnitudini nella magnitudine totale V. Quindi nel caso di comete con code luminose il valore finale V sembra essere piuttosto arbitrario, dipendendo dal diametro D prescelto.

Abbiamo trovato che le nostre magnitudini V si accordano meglio con i dati dell'International Comet Quarterly (ICQ) quando viene inclusa la chioma per la sua intera estensione. Per soddisfare questa richiesta abbiamo determinato accuratamente il diametro da utilizzare mediante l'analisi dell'istogramma. I valori adottati inoltre sono stati scelti in accordo con i cambiamenti nel diametro della chioma. Durante la fase nella quale la cometa è stata più luminosa le aperture scelte erano nell'intervallo tra $30''$ e $40''$.

Risultati della fotometria CCD in banda V

Complessivamente sono state ottenute 50 misurazioni CCD nella banda V nel periodo che va da settembre 1996 ad aprile 1997. Sul totale di 50 osservazioni, 35 sono state ottenute tra gennaio e aprile, quando la cometa era al massimo della luminosità. Per verificare la qualità dei nostri risultati abbiamo costruito una curva di luce riportandovi sia i nostri dati che le stime visuali di ICQ tratte dalla sua pagina web (v. fig. 3). Inoltre sono state indicate separatamente le stime effettuate da Daniel Green perché è apparso che rappresentavano molto bene l'andamento medio dei dati ICQ. Queste osservazioni ci sono apparse molto attendibili perché effettuate in stretto accordo con gli standard di ICQ sia perché sempre corrette per l'estinzione atmosferica. Risulta evi-

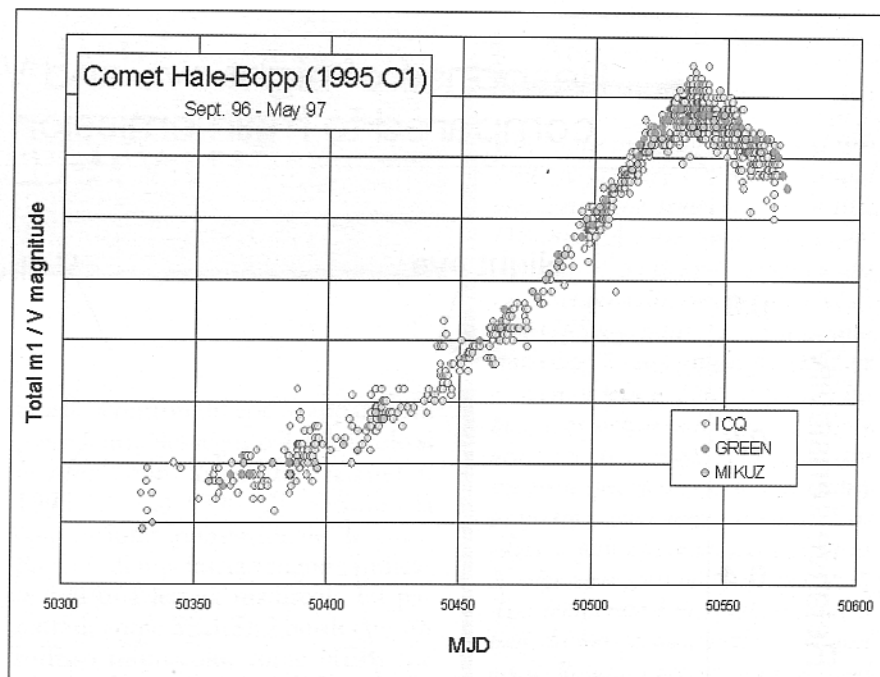


Fig. 3. Magnitudine totale V confrontata con le magnitudini totali (m1) visuali di ICQ.

dente che i risultati CCD sono in ottimo accordo con i dati di ICQ e in particolare con le stime di Green in tutto il periodo considerato. Tuttavia l'ottimo accordo dei nostri risultati sembra essere in conflitto con i dati, riassunti in fig. 4, dove vengono confrontati i diametri della chioma stimati visualmente (dati ICQ) e i diametri CCD usati per le nostre misure. L'altissima dispersione presente tra i dati degli osservatori ICQ è certamente da attribuire a diverse condi-

zioni di osservazione piuttosto che a variazioni reali nel diametro della chioma. Ci saremmo aspettati che, a causa della buona qualità delle osservazioni visuali e CCD, entrambi avrebbero riportato lo stesso valore per la chioma. Tuttavia questo non si è verificato, dato che gli osservatori visuali hanno rilevato sistematicamente meno chioma rispetto al CCD con filtro V. La spiegazione è da ricercare probabilmente nelle diverse risposte spettrali dell'occhio umano adattato all'oscu-

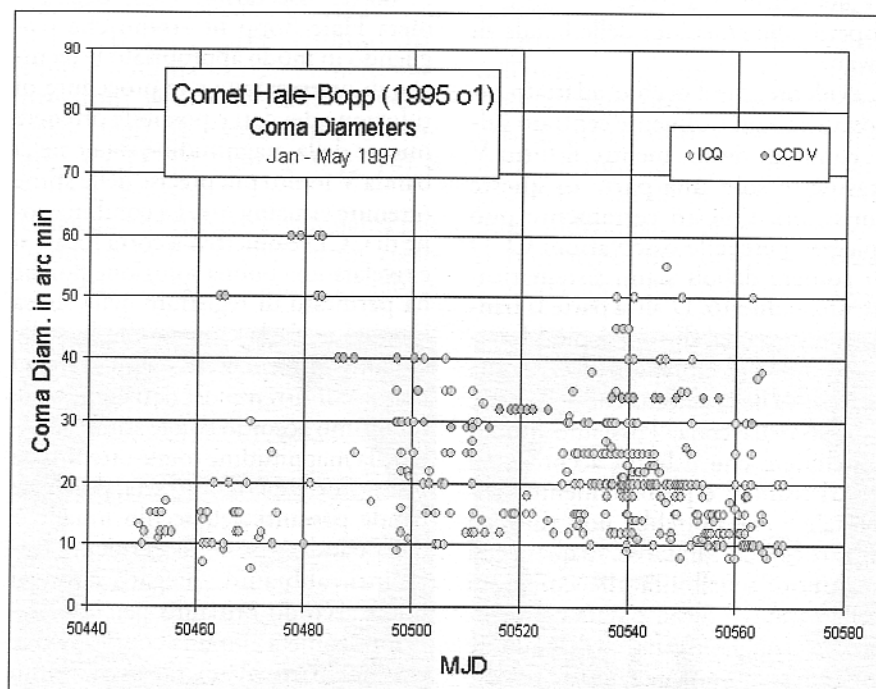


Fig. 4. Confronto tra diametri della chioma riportati su ICQ e diametri CCD + filtro V.

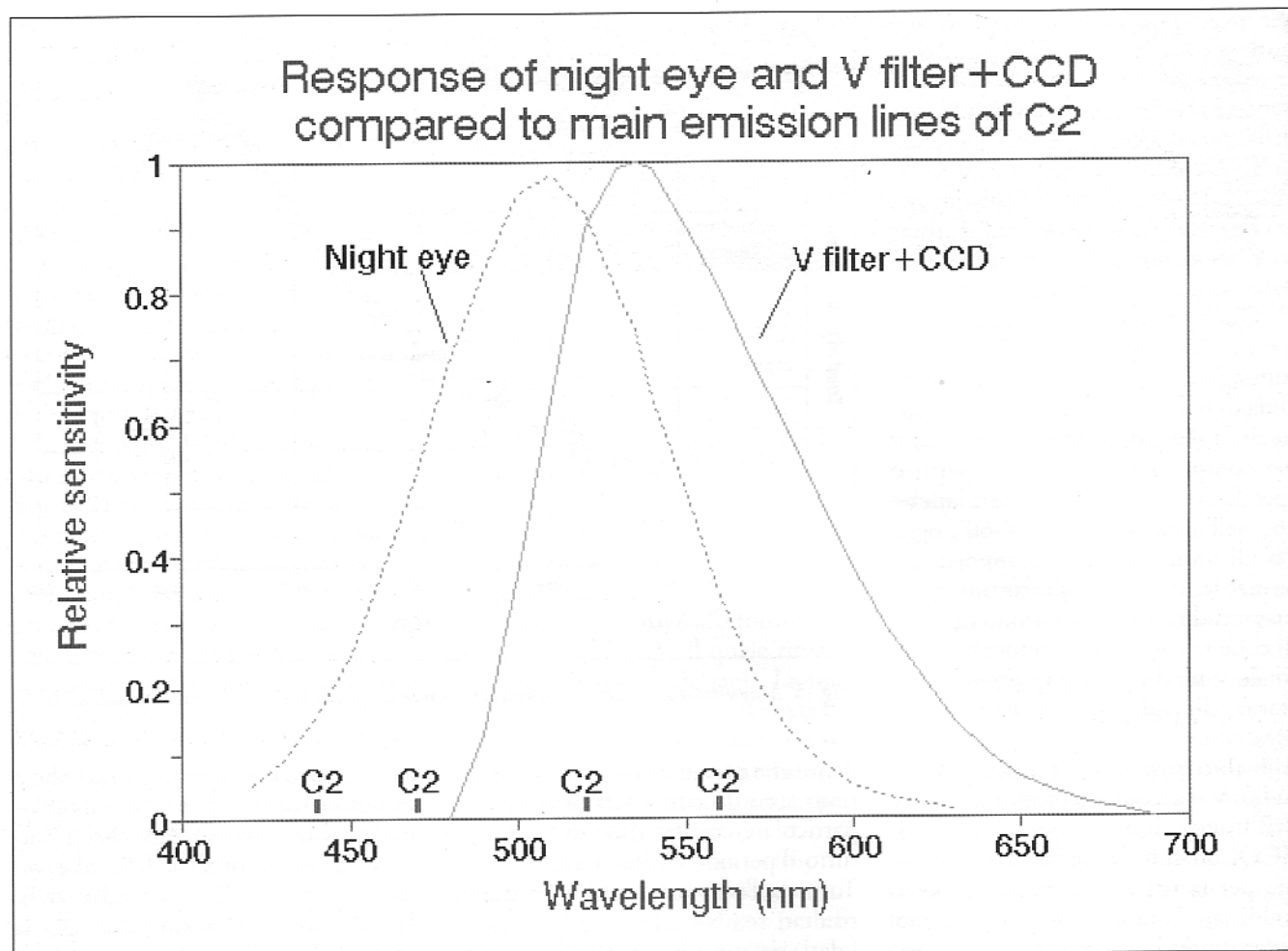


Fig. 5. Risposte spettrali dell'occhio umano e del sistema CCD + filtro V.

rità e della banda V. La fig. 5 mostra la risposta dell'occhio umano adattato all'oscurità e del CCD + filtro V rispetto alle emissioni delle bande di Swan.

È evidente che l'occhio adattato all'oscurità è praticamente centrato sulle bande di Swan, mentre il filtro V trasmette solo una parte di queste emissioni. Questo certamente può spiegare perché le osservazioni CCD di comete deboli siano sistematicamente in difetto. D'altra parte la banda trasmessa dal filtro V è più idonea a registrare le emissioni dovute alla polvere sia nella chioma che nella parte iniziale della coda. Possiamo quindi concludere che il buon accordo dei nostri risultati è probabilmente incidentale e che potrebbe non ripetersi su altre comete luminose. In questi casi la minore sensibilità alle emissioni delle bande di Swan è stata compensata dalla migliore capacità di registrare lunghezze d'onda maggiori, riflesse dalle polveri, sia nella chioma esterna che nella parte iniziale della coda.

Conclusioni

Le nostre osservazioni CCD della cometa Hale-Bopp mostrano che scegliendo in modo appropriato le tecniche di osservazione e le procedure di riduzione dei dati è possibile ottenere misure della magnitudine totale nella banda V molto più precise delle stime ottenute visualmente. La combinazione di CCD e obiettivi a corta focale si è rivelata una buona soluzione poiché ha permesso di registrare nella stessa immagine sia la cometa che le stelle di confronto. Questo assicura una buona consistenza dei dati come pure un ottimo accordo con le stime visuali della magnitudine totale ottenuti da osservatori esperti. Tuttavia, poiché le bande passanti dell'occhio umano e della banda V sono leggermente differenti, abbiamo spiegato come il buon accordo ottenuto per la Hale-Bopp (cometa con una composizione chimica particolare) tra osservazioni visuali e CCD nella banda V potrebbe non ripetersi su altre comete luminose.

Bibliografia

- [1]. Bessell, M. S. *Publ. Astron. Soc. Pac.* 102, 1181 (1990).
- [2]. Bessell, M. S. *CCD Astronomy*, 2, 4, 20 (1995).
- [3]. Mikuz, H.; Dintinjana, B. *Int. Comet Q.* 16, 4, 131 (1994).
- [4]. Green, D. W. E. *Int. Comet. Q.*, 14, 3, 55 (1992).
- [5]. Hoffleit, D. *The Bright Star Catalogue* (Yale Univ. Obs., 1982).
- [6]. Green, D. W. E. *Comunicazione privata* (1997).