

# Introduzione all'osservazione CCD delle comete

Giannantonio Milani

SEZIONE COMETE

## Introduzione

La tecnica CCD offre oggi enormi potenzialità nel campo dell'osservazione delle comete consentendo di ottenere dati di grande interesse da un punto di vista scientifico e ampliando considerevolmente le possibilità degli astronomi dilettanti. Visualmente infatti è assai arduo effettuare osservazioni di comete oltre la magnitudine 11-12, anche con strumenti relativamente grandi e condizioni di cielo ottimali, mentre il limite della fotografia è dato principalmente dalla difficoltà di inseguimento a lunga posa (soprattutto con grandi strumenti).

Il CCD grazie alla sua elevata efficienza quantica permette di registrare comete, anche deboli, con pose di pochi minuti congelandone il movimento. Se il moto proprio è molto elevato c'è sempre la possibilità di sommare immagini aggirando così l'ostacolo. Inoltre il vantaggio di valutare immediatamente il risultato dell'esposizione e di effettuare subito misure ed elaborazioni offre un gran numero di possibilità.

Alla luce di tutto ciò potrebbe sembrare che i CCD costituiscano un facile rimedio a tutti i mali dell'astronomia amatoriale. È vero che ottenere un'immagine è relativamente facile rispetto alla tecnica fotografica ma è in realtà meno semplice di quanto si crede ricavare immagini utili per scopi scientifici, per lo meno in alcuni settori. Trattandosi di una tecnica giovane non è stato ancora adottato a livello amatoriale un protocollo di lavoro che consenta di ottenere dati uniformi sfruttando al meglio le possibilità offerte dai diversi strumenti. Con questo breve scritto si cercherà di colmare almeno in parte questa lacuna, tracciando alcune linee guida utili per tutti coloro che desiderino dedicarsi all'osservazione scientifica delle comete con mezzi non professionali. La scelta di strumenti, tecniche e filtri cade in un ambito appetibile a

molti astronomi dilettanti sia che operino singolarmente che in piccoli gruppi.

Non tratteremo in questa sede di astrometria, se non come accenno, essendo un campo che già gode di notevoli consensi in ambito nazionale ed internazionale. Il GIA, Gruppo Italiano Astrometri, riunisce in modo informale gli osservatori che operano da molti anni con successo in diretto contatto con il Minor Planet Center (MPC) con metodologie ampiamente collaudate. Chi è interessato a questo campo trova quindi già ampi riferimenti. D'altra parte la natura stessa delle osservazioni astrometriche richiede che i dati vengano trasmessi il più rapidamente possibile al MPC, e costituire una vera e propria sezione che funga da centro di raccolta sarebbe non solo inutile ma anche dannoso, rallentando inutilmente l'afflusso dei dati. L'osservazione amatoriale a livello astrometrico sta portando di fatto un grandissimo contributo in campo professionale. Grazie agli astronomi dilettanti l'MPC è infatti in grado di calcolare al massimo nel giro di qualche giorno gli elementi orbitali delle nuove comete scoperte; la quantità e qualità delle osservazioni è tale che in qualche caso a poche ore dalla scoperta sono già disponibili degli elementi orbitali provvisori. Come si può comprendere è una attività di primissimo piano che tra l'altro vede l'astronomia non professionale italiana ai primi posti nel mondo. Gli interessati alle osservazioni astrometriche possono quindi contattare direttamente uno dei molti osservatori che operano nel settore in tutto il territorio nazionale e potranno facilmente avere un supporto per intraprendere questa attività.

Altri tipi di ricerca, come ad esempio le osservazioni mirate a ricavare dati fotometrici, possono invece trarre vantaggio da un coordinamento tra gli osservatori anche in vista di una collaborazione con alcuni astronomi pro-

## Abstract

*The use of CCDs in observing comets is now quite diffuse among amateur astronomers improving the quantity and quality of the observing data. This paper is a short review on the basic characteristics, techniques and procedures for achieving the best results. Particular attention is devoted to the possibility of doing photometry and morphological studies.*

fessionisti italiani specialisti nel settore. Un costante contatto tra gli osservatori sarà senz'altro fondamentale per seguire con assiduità gli oggetti più interessanti concentrando se necessario l'attenzione su particolari aspetti. Ottenere dati utili da un punto di vista fotometrico presenta certamente un grado di complessità maggiore, e questo limita le possibilità operative; tuttavia con un minimo di esperienza è possibile produrre osservazioni di altissimo livello. A questo proposito è bene sottolineare che gli astrofili godono di un grandissimo vantaggio rispetto al mondo professionale: possono osservare il cielo quando e come vogliono. Sono quindi pronti a riprendere immediatamente una cometa appena scoperta o a registrare fenomeni insoliti e improvvisi. Nel mondo professionale la necessità di pianificare per tempo le osservazioni con i diversi strumenti impone agli astronomi di prenotare con largo anticipo le notti ai telescopi; la possibilità o meno di poter osservare comete appena scoperte o fenomeni peculiari con la strumentazione più adatta è quindi piuttosto casuale. Solo in rari casi, come per la Kohoutek nel 1973, la Halley nel 1985/86 e in anni recenti con la Hale-Bopp il mondo professionale ha avuto a disposizione il tempo di programmare con cura le campagne di osservazione.

## Lo strumento

Per intraprendere l'osservazione CCD di una cometa non è indispensabile disporre di un grande strumento, anche telescopi di modeste dimensioni e a volte anche semplici teleobiettivi possono essere adatti allo scopo. I sensori CCD infatti, grazie alla loro ele-

vata efficienza quantica, consentono di raggiungere magnitudini limite piuttosto spinte anche con piccole aperture. Il vantaggio è ancora maggiore osservando oggetti animati da un elevato moto proprio. Con strumenti amatoriali di apertura medio-grande (30-40 cm) è oggi teoricamente possibile osservare quasi tutte le comete visibili nel corso dell'anno, raggiungendo oggetti anche di magnitudine integrata superiore alla 17, e già con un classico 20 cm è possibile osservare comete fino alla magnitudine 14-15. Il campo di indagine è quindi teoricamente vastissimo. In linea generale, poiché si tratta di osservare oggetti estesi, un Newton è preferibile ad un Cassegrain per il maggiore campo inquadrato. Un riduttore di focale può comunque risolvere in parte il problema. Vale in ogni caso la regola di cercare di non appesantire troppo la configurazione ottica: dato il modesto campo inquadrato non c'è ad esempio la necessità di utilizzare correttori di coma e meno elementi (specchi, lenti, filtri...) ci sono lungo l'asse ottico meglio è; la quantità di luce a disposizione è sempre poca e si ha tutto il vantaggio a ridurre al minimo le perdite per riflessioni e assorbimento. I CCD hanno una risposta spettrale molto ampia e l'introduzione di elementi rifrangenti eccessivamente complessi potrebbe in alcuni casi portare anche un certo grado di cromatismo.

## Il CCD

Il CCD da utilizzare per le osservazioni deve essere del tipo senza *antiblooming* (o per lo meno deve essere possibile poterlo disinserire) e preferibilmente essere dotato di una regolazione della temperatura di raffreddamento. I CCD senza *antiblooming*, oltre ad avere una maggiore sensibilità, hanno una risposta lineare, condizione essenziale sia per effettuare della buona fotometria, sia per estrarre il massimo dei dettagli dalla chioma. L'*antiblooming* ha il pregio di fornire immagini esteticamente migliori ma difficilmente utilizzabili da un punto di vista scientifico; oltre ad una minore efficienza quantica viene anche appiattita la dinamica nelle zone più luminose rendendo più difficile evidenziare strutture a basso contrasto nell'interno della chioma di comete luminose.

Poiché la risposta più o meno lineare è data dall'insieme del sensore CCD e della relativa elettronica (incluso il convertitore analogico digitale) è opportuno effettuare un test per valutare quanto sia lineare la risposta della nostra camera. È sufficiente riprendere una superficie qualsiasi (ad es. una parete illuminata) con pose crescenti e misurare il valore in ADU corrispondente, avendo l'accortezza di misurare sempre lo stesso *pixel*, o meglio lo stesso gruppo di *pixel*. Dovremmo trovare che il livello del segnale (in ADU) è proporzionale al tempo di posa. L'operazione va effettuata a temperatura costante. Riportando in un grafico i punti corrispondenti si dovrebbe ottenere con buona approssimazione una retta (fig. 1). I sensori migliori montati su camere professionali vengono generalmente garantiti con una linearità dell'1%-2%; se disponiamo come è probabile di un CCD non professionale sarà ragionevole attendersi un valore un po' più elevato (anche 3%-5%) che comunque è più che accettabile per i nostri scopi.

Dalle misure, volendo, può essere sottratto il contributo dovuto alla relativa corrente di buio (*dark*), ma, poiché questo è proporzionale al tempo di esposizione, incide solamente sulla pendenza della retta che tracciamo e non

sulla sua linearità. Questa correzione non è quindi essenziale per effettuare una valutazione. Ovviamente l'ideale sarebbe di disporre di una sorgente luminosa stabilizzata, ma considerato che per il momento il nostro test ha il solo scopo di prendere maggiore confidenza con le prestazioni della nostra camera CCD, potremo accontentarci di una qualsiasi lampada, a patto che la linea di rete non sia soggetta ad eccessivi sbalzi di tensione.

Generalmente la perdita di linearità si ha soprattutto avvicinandosi al livello di saturazione ed anche nel caso di sottoposizione (il convertitore analogico digitale "va peggio" in entrambi i suoi limiti); per scopi fotometrici quindi, come criterio generale, conterremo l'esposizione in modo che gli oggetti da misurare (cometa e stelle) non cadano mai in queste zone. Avremo comunque a disposizione una buona parte della dinamica del CCD.

Le dimensioni del *chip* non sono critiche nel senso che, sebbene sia preferibile uno di grandi dimensioni, anche utilizzandone uno piccolo è possibile ottenere risultati di tutto rispetto. Per inquadrare un campo maggiore si può giocare sulla lunghezza focale. Un CCD piccolo, se da un lato è svantaggioso, dall'altro ha il pregio di produrre *file* di minori dimensioni, più facili da gestire ed archiviare. Con focali corte le immagini stellari possono tuttavia risultare troppo piccole per consentire misure fotometriche accurate, il rimedio è semplicemente quello di sfuocare leggermente le immagini in modo che una stella abbracci almeno 2-3 *pixel*; la posizione di sfuocatura va ovviamente mantenuta costante per tutte le riprese (incluse quelle relative al *flat field*).

## Pre-trattamenti

Le immagini CCD ottenute dovranno essere corrette per la corrente di buio (*dark frame*) e per il *flat field*. Preferibilmente sia il *dark frame* che il *flat field* utilizzati nel pre-trattamento devono essere ricavati dalla media di più immagini; il *flat field* a sua volta deve essere corretto per il rispettivo *dark* prima di essere utilizzato per trattare l'immagine.

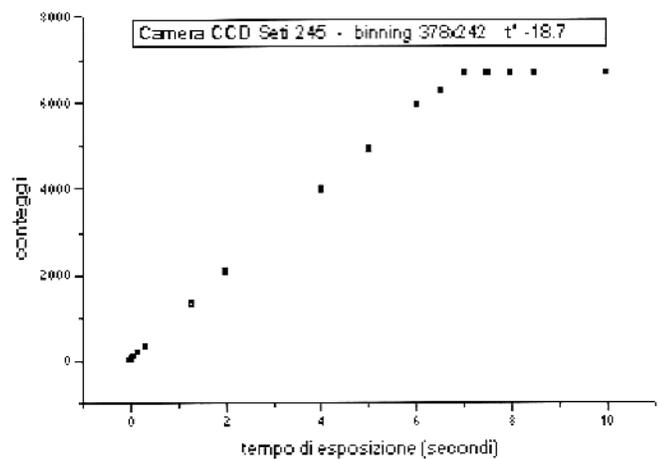


Fig. 1. Il grafico mostra la risposta relativa alla camera CCD Seti 245c prodotta dalla DTA. Pur essendo una delle camere più economiche reperibili sul mercato mostra una eccellente linearità che la rende idonea a studi fotometrici. L'appiattimento in alto della curva corrisponde al livello di saturazione.

Nelle camere dotate di controllo della temperatura ottenere una buona correzione della corrente di buio non è un'operazione complessa: basta riprendere una sequenza di esposizioni ad otturatore chiuso (identiche in durata a quelle fatte sulla cometa ed alla stessa temperatura) ed effettuare una media o una mediana. Il *dark* va poi sottratto da ciascuna immagine.

Il *flat field* rimane invece l'operazione più critica. Per ottenerlo si può riprendere il fondo cielo al crepuscolo (non devono essere visibili le stelle!) o uno schermo uniformemente illuminato; un doppio schermo di plexiglas opalino davanti all'obiettivo o semplicemente uno schermo bianco (uno schermo da diapositive o un foglio di carta bianca) possono servire allo scopo. Per valutare la qualità del *flat field* si può effettuare uno *stretching*: dovrebbero immediatamente essere visibili delle immagini circolari più o meno grandi che riproducono il profilo delle ottiche in negativo (specchio primario e secondario nei riflettori). Queste vengono prodotte dai grani di polvere che si trovano sul cammino ottico (specchi, lenti, filtri, finestra ottica della camera...) e si formano per un meccanismo analogo e complementare a quello del foro stenopeico (dove però vengono prodotte immagini positive).

Al di là dell'utilizzo di un *file* ricavato da una media di più *file*, e della relativa correzione per il *dark*, l'immagine di *flat field* finale non dovrà subire alcun tipo di modifica o elaborazione.

Le immagini cometarie, alle quali è stato già sottratto il rispettivo *dark*, dovranno essere divise per il *flat field* finale così ottenuto, dopo di che saranno pronte per essere processate. Dato che per scopi fotometrici è necessario raggiungere un discreto rapporto tra segnale e rumore può essere conveniente sommare più esposizioni oppure, se il rapporto è già buono, in alcuni casi mediarle (fig. 2).

## Fotometria

La fotometria di comete, intesa come misura della magnitudine integrata della chioma, viene per tradizione effettuata da secoli mediante tecniche visuali, soprattutto da parte di astronomi non professionisti. Come già accennato, però, il limite della tecnica visuale è dato dalla difficoltà di stimare comete più deboli della magnitudine 9-10, anche utilizzando strumenti relativamente grandi. Fotograficamente il limite potrebbe essere teoricamente esteso di molto ma la difficoltà di inseguire oggetti deboli e di riprendere poi una sequenza di stelle di confronto con lo stesso tempo di posa e stesse condizioni di cielo rende la cosa assai complessa e il più delle volte impraticabile. L'uso di pellicole inoltre è critico per la scelta della combinazione filtro/pellicola, tempo di esposizione, sviluppo e per la calibrazione finale in quanto le emulsioni fotografiche sono lineari (o quasi lineari) solo per un intervallo di densità limitate. Per questo motivo troviamo pochissimi casi di fotometria ottenuta con questa tecnica. Il CCD da questo punto di vista è molto più versatile, sia nella ripresa, sia in fase di riduzione dati. Considereremo in questa sede diversi tipi di fotometria, sia a larga banda che con filtri interferenziali.

La fotometria a larga banda della chioma ha lo scopo di determinare la magnitudine totale della cometa (analogamente a quanto viene fatto visualmente) o in alcuni casi di misurare la luminosità superficiale della coda nelle riprese a largo campo. Scopo principale di questo tipo di osservazioni è quello di effettuare un monitoraggio delle diverse comete, esteso anche ad oggetti deboli.

I filtri standard del sistema UBVR<sub>I</sub> (v. tab. 1), di uso comune in campo astronomico, sono stati ideati per lo studio stellare, che presenta problematiche differenti rispetto

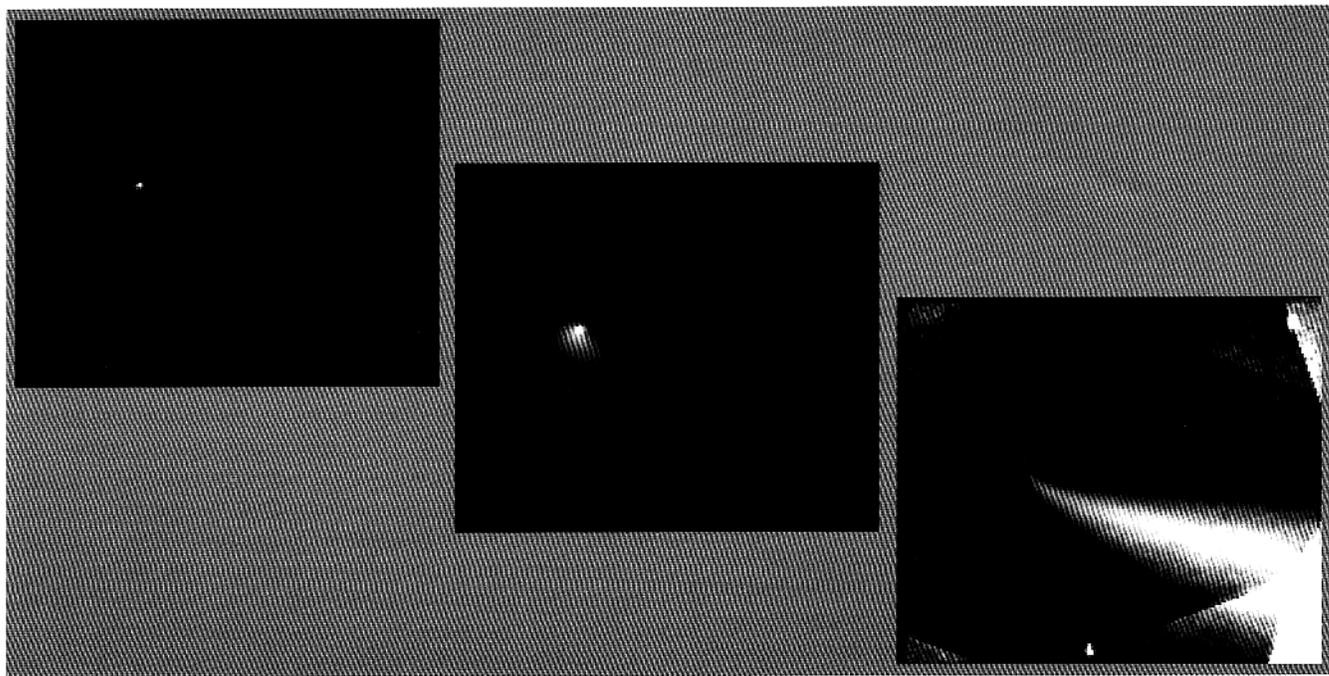


Fig. 2. La cometa 1995 o1 (Hale Bopp) ripresa dall'autore il 28 febbraio 1997 con un telescopio newton da 20 cm f/4, camera CCD Seti 245c e filtro RG8; l'immagine è il risultato della somma di 34 riprese da 0,5 secondi ciascuna. A sinistra è visualizzata l'immagine originale, al centro la stessa con una ridistribuzione dei valori su scala logaritmica e a destra una elaborazione Larson Sekanina effettuata con il programma Elabccd. Nel caso della Hale Bopp il livello di saturazione veniva raggiunto anche con pose molto brevi; la somma di più immagini ha permesso di recuperare una maggiore dinamica, equivalente a quella di una posa da 17 secondi.



al campo cometario. Una cometa ha infatti uno spettro assai diverso da quelli stellari, dominato in parte da una componente continua (spettro solare riflesso dalle polveri) alla quale si sovrappongono emissioni gassose, alcune delle quali generalmente molto intense. Nelle riprese effettuate senza l'uso di filtri le diverse componenti appaiono sovrapposte e non si ha alcuna selezione neppure per distinguerle anche in modo approssimativo. Va da sé che l'informazione scientifica contenuta nelle immagini effettuate in luce integrale è generalmente piuttosto scarsa. Le cose migliorano con l'uso di filtri standard UBVRI, i quali, pur non essendo molto selettivi, isolano regioni spettrali ben definite ponendo in evidenza le componenti che in quella regione sono più intense: il filtro U è centrato sull'emissione del CN, la più intensa emissione gassosa della chioma ai margini del visibile, oltre a comprendere alcune emissioni della coda; il filtro B rileva soprattutto le emissioni della coda dovute al CO<sup>+</sup>, oltre ad alcune rilevanti emissioni della chioma; il V è dominato dall'emissione del C<sub>2</sub>, solitamente la più intensa nella chioma assieme a quella del CN; i filtri R ed I cadono in una regione spettrale mediamente meno ricca di emissioni gassose e quindi tendenzialmente pongono in maggiore evidenza la componente polverosa, che comunque è presente a tutte le lunghezze d'onda.

BANDA	FILTRI mm-sigle Schott+spessore in mm
B	BG12 (2) + BG39 (1) + GG385 (1)
V	GG495 (2) + BG39 (2)
R	OG570 (2) + KG3 (2)
I	RG9 (2) + WG280 (2)
Z	RG850 (3) + WG280 (1)

Tab. 1. Filtri standard per CCD (Johnson-Cousins).

Considerando che molti CCD commerciali hanno il massimo di sensibilità nella regione del rosso, il filtro R è forse il più indicato. Il V d'altra parte permette di ottenere dati più direttamente confrontabili con quelli visuali. Herman Mikuz per molti anni ha effettuato fotometria di comete in banda V utilizzando una camera Baker-Schmidt f/2 da 20 cm e un CCD ST6; le pose generalmente erano di 5 minuti. Il costo di una combinazione di filtri ad es. per la banda R si aggira indicativamente intorno alle 100 000 lire. Uno dei filtri necessari invece per le bande I e Z è molto costoso, tanto che anche in ambito professionale a volte la banda I viene approssimata con il solo filtro RG9. Il filtro U, data la bassissima efficienza quantica dei CCD commerciali in questa regione spettrale, non è da prendere in considerazione. Anche il B va considerato con cautela per lo stesso motivo.

Considerando comunque la sola determinazione della magnitudine totale della chioma non è strettamente necessario porsi in un sistema standard (filtro per la banda V) per produrre dati in qualche modo confrontabili con quelli visuali ed è possibile operare semplicemente senza filtri con l'accortezza di utilizzare come confronto delle stelle di tipo vicino a quello solare (spettro F-G), considerandone la magnitudine V. In questo modo si ha il vantaggio di un miglior rapporto segnale/rumore e si raggiunge una magnitudine limite più spinta. Se vogliamo osservare comete particolarmente deboli è quindi una scelta vantaggiosa.

Questa approssimazione diviene ancora più lecita se consideriamo che l'interpretazione delle curve di luce basate sulla magnitudine totale della chioma (sia visuali che CCD) è spesso alquanto ambigua, non essendo possibile discriminare da un punto di vista fisico le cause delle variazioni luminose.

In ogni caso, disporre di uno o più filtri standard (BVRI Johnson-Cousins) è certamente utile se si desiderano effettuare delle osservazioni che abbiano valore scientifico. Porsi in un sistema standard permette quanto meno di calibrare le immagini e di convertire la luminosità in magnitudine. Se comunque il nostro scopo principale è l'osservazione delle comete, oltre ai filtri V ed R è conveniente prendere in considerazione i filtri interferenziali a banda stretta che potranno fornire dati di grande interesse sulle comete più luminose.

### I filtri interferenziali

I filtri interferenziali a banda stretta (banda passante generalmente < 10 nm) permettono di isolare regioni spettrali di interesse particolare e di ottenere dati quantitativi di altissimo interesse. Chi vuole compiere un passo in avanti decisivo nelle tecniche di osservazione cometaria deve quindi obbligatoriamente prendere in considerazione questi filtri.

Alcuni standard di riferimento sono stati definiti in occasione della campagna osservativa dell'International Halley Watch (v. tab. 2), ma reperire oggi filtri con le specifiche richieste comporta una spesa non indifferente, che va ben al di là delle possibilità medie degli astronomi dilettanti. Fortunatamente esistono delle alternative interessanti: alcuni filtri prodotti dalla Edmund Scientific Co. (v. tab. 3) hanno un costo accessibile e caratteristiche ottiche e di banda passante (10 nm) sufficienti per i nostri scopi.

I dati ricavati con questi filtri forniscono una indicazione precisa sulle diverse componenti (gas e polveri) non ottenibile in altro modo. Il principio è quello di ottenere una immagine con un filtro centrato su di una emissione gassosa ed un'altra con un filtro che isola il contributo del continuo (luce riflessa) in una regione spettrale adiacente. Dopo una calibrazione opportuna, sottraendo il continuo dalla immagine centrata sull'emissione rimane il contributo luminoso dovuto al solo gas; è possibile quindi misurare con precisione l'abbondanza di quel gas. Per le polveri il discorso è un po' più complesso: il loro studio infatti può essere effettuato con precisione solo sulla coda, ben al di fuori della chioma. L'uso di filtri a banda stretta non è sempre strettamente necessario, in molti casi un filtro a banda larga (ad es. R) è già sufficiente; tuttavia in particolari condizioni geometriche di osservazione, quando le code di polveri e gas appaiono sovrapposte, solo un filtro interferenziale consente di avere una interpretazione univoca. Questi filtri comportano un grande aumento del tempo di esposizione (anche oltre 100 volte rispetto alle riprese senza filtro per raggiungere lo stesso livello di fondo cielo) e quindi il loro utilizzo è limitato alle comete più luminose con pose molto lunghe, anche per un CCD. Solo i CCD professionali retroilluminati dell'ultima generazione consentono di contenere i tempi di posa a livelli accettabili anche su oggetti relativamente deboli. Indicativamente per riprendere una cometa di mag. 7-8 con filtri interferenziali e un telescopio amatoriale da 20 cm e camera CCD non

professionale occorre un tempo di posa di circa 30-60 minuti. Una camera con CCD retroilluminato può riuscire nella stessa impresa con pose al più di 10-15 minuti.

Riprendere una immagine relativa ad una emissione gassosa importante (ad es.  $C_2$ ) è comunque più semplice e richiede tempi di posa sensibilmente inferiori rispetto ad emissioni deboli o al continuo. Quindi il tempo di posa e la magnitudine limite cometaria raggiungibile dipendono anche da quanto intensa è l'emissione presa in esame. In linea generale è sempre opportuno scegliere dei filtri che cadano il più vicino possibile alla zona di massima sensibilità del sensore: si avrà così un migliore rapporto tra segnale e rumore. Tuttavia per emissioni particolarmente intense si può pensare di sconfinare anche in zone dove la sensibilità del CCD è minore.

Specie	Tipo	Lunghezza d'onda centrale nm	Larghezza della banda nm
Continuo	Polveri	365,0	8,0
CN	Gas (chioma)	387,5	3,9
$C_3$	Gas (chioma)	406,0	7,3
$CO^+/N_2^+$	Gas (coda)	426,0	6,5
Continuo	Polveri	485,6	8,5
$C_2$	Gas (chioma)	514,0	9,0
$H_2O^+$	Gas (coda)	700,0	17,5
Continuo	Polveri	719,5	15,0

Tab. 2. Filtri standard IHW.

Specie	Tipo	Lunghezza d'onda centrale nm	Larghezza banda nm - codice
$C_3$	Gas (chioma)	405	10 cod. 43104
Continuo	Polveri	486	10 cod. 46040
$C_2$	Gas (chioma)	515	10 cod. 43120
Na	Gas (coda-chioma)	589	10 cod. 43129
$H_2O^+$	Gas (coda)	620	10 cod. 43132
Continuo	Polveri	647	10 cod. 43136

Tab. 3. Filtri alternativi Edmund Scientific Co.

I filtri Edmund hanno una trasmissione massima garantita di almeno il 40-45% (a seconda della lunghezza d'onda). I codici della tab. 3 si riferiscono ai filtri da 24,15 mm di diametro, il costo è di 75 \$ l'uno + spese di spedizione (catalogo 2000). Per il  $C_2$  è stato selezionato un filtro leggermente diverso da quello IHW ma risulta comunque perfettamente centrato sul picco di emissione di questa molecola. Tra i filtri Edmund ce n'è anche uno equivalente a quello IHW per il continuo nel violetto a 365 nm: mancando però il corrispondente per il CN ha poco significato utilizzarlo. Inoltre, come già detto, i CCD commerciali a queste lunghezze d'onda hanno una sensibilità ridottissima.

Il filtro per l'Na è stato aggiunto ex novo non essendo contemplato nell'elenco precedente, però è da sottolineare che il suo utilizzo è limitato a comete luminose osservate a piccole distanze dal Sole ( $r < 1$  UA); gli ultimi due per l' $H_2O^+$  e il continuo nel rosso non corrispondono a quelli IHW come lunghezza d'onda ma sono delle alternative perfettamente adatte allo scopo.

L'ideale è avere almeno una coppia di filtri: uno centrato su una emissione e l'altro sul continuo adiacente; dovendo a tutti i costi scegliere un solo filtro è preferibile orientarsi su uno per il continuo.

## L'acquisizione delle immagini

Riteniamo opportuno riassumere la sequenza di procedure da eseguire durante una sessione osservativa; alcune di queste sono ovvie, ma per completezza le indicheremo ugualmente. L'ordine di esecuzione è puramente indicativo e ciascuno potrà poi eseguire le varie operazioni seguendo una diversa cronologia.

## La preparazione dello strumento

### 1) Stabilizzazione termica della camera

È questa una fase importante perché avere una temperatura il più possibile costante è fondamentale per ottenere delle immagini utilizzabili per scopi fotometrici; il tempo necessario per raggiungere un equilibrio termico varia da caso a caso sia in funzione delle caratteristiche della camera CCD utilizzata, sia delle condizioni ambientali. Orientativamente, dal momento dell'accensione sono generalmente necessari almeno 30 minuti per raggiungere una sufficiente stabilità.

Più o meno lo stesso tempo è d'altra parte necessario al telescopio (ottiche e parti meccaniche) per raggiungere una situazione di equilibrio termico, soprattutto se questo è stato portato all'esterno dall'interno di un'abitazione.

Naturalmente sappiamo che maggiore è il raffreddamento della camera, migliori sono le sue prestazioni. Bisogna però fare attenzione che non si condensi umidità sul *chip* (che verrebbe ricoperto da uno strato ghiacciato in poco tempo) e che la finestra ottica non si appanni. Se questo accade si può compromettere l'esito della intera serata di osservazione, non essendo più possibile effettuare una correzione del *flat field*. Se il livello dell'umidità ambientale è sopra il livello di guardia è senz'altro preferibile raffreddare meno la camera; l'esperienza in questo caso è la migliore consigliera. Anche l'appannamento delle ottiche compromette in ugual modo il risultato delle osservazioni. Un rimedio senz'altro consigliabile è di dotarsi di sistemi anti-appannamento (resistenze elettriche o sistemi di ventilazione), soprattutto quando si utilizzino ottiche che abbiano elementi a rifrazione esposti (teleobiettivi, Schmidt-Cassegrain) e si operi in condizioni di elevata umidità. Un buon paraluce è sempre opportuno, soprattutto osservando al crepuscolo o in siti disturbati da inquinamento luminoso.

### 2) Messa a fuoco

La fase di messa a fuoco deve essere effettuata di preferenza dopo che il telescopio ha raggiunto l'equilibrio termico, in particolare in quegli strumenti che mostrano una sensibile dipendenza della messa a fuoco dalla temperatura.

Le tecniche utilizzate allo scopo sono molteplici: da quella della semplice

osservazione delle stelle deboli (dimensione e quantità), all'uso di maschere con due fori da porre davanti all'obiettivo. Con focali corte è possibile anche puntare una stella relativamente luminosa e sovraesporre in modo da osservare distintamente l'effetto di *blooming*; l'allungamento della scia prodotta dal *blooming* raggiungerà la massima estensione quando siamo nella posizione migliore di fuoco. In caso di forte sovraesposizione (*blooming*) negli strumenti con crociera per secondario è possibile valutare meglio lo sdoppiamento dei raggi indotto dalla crociera che non il *blooming*.

### 3) Ripresa della cometa

Essendo le comete oggetti in movimento, si dovrà operare seguendone con precisione il moto apparente o effettuando una sequenza di esposizioni seguendo il moto siderale, calcolate in modo che la cometa non risulti mossa. Le singole esposizioni andranno poi allineate e sommate con la massima cura. Data la difficoltà di guida sulle comete deboli, per queste generalmente si opterà per la seconda ipotesi.

La durata dell'esposizione dovrà essere calcolata in modo da non avvicinarsi al livello di saturazione e da conservare una certa dinamica. Noto il valore del *dark* è possibile calcolare il tempo di esposizione necessario perché la camera raggiunga il livello di saturazione con la sola corrente di buio. Questo valore ci permette di valutare il tempo di posa utile che orientativamente sarà al massimo intorno alla metà, o poco più, del tempo di autosaturazione. A questo va però aggiunto il segnale introdotto dal fondo cielo che in certe situazioni può essere non trascurabile. Il problema della saturazione si presenta comunque generalmente solo con oggetti particolarmente luminosi. Sebbene già una singola esposizione possa essere sufficiente, se possibile è meglio ottenere più immagini da mediare o sommare, soprattutto se il rapporto segnale/rumore è basso.

### 4) Il *dark*

La ripresa del *dark frame* è fondamentale. In generale è meglio riprendere una sequenza di immagini (ad otturatore chiuso e con lo stesso tempo di esposizione utilizzato per la cometa) che andranno poi mediate. La media dei *dark* va poi sottratta da ciascuna immagine. È fondamentale riprendere le immagini *dark* alla stessa temperatura delle immagini a cui vanno sottratte. Se si verificano variazioni, nel caso la camera non sia stabilizzata termicamente, alternare le riprese nel modo seguente: *dark-cometa-dark-cometa-dark-cometa-dark*, ecc...

### 5) Il *flat field*

È la correzione più delicata da fare. Il primo requisito è che le condizioni strumentali rimangano rigorosamente costanti (messa a fuoco, orientamento del campo, posizione dell'eventuale filtro). Anche in questo caso è bene riprendere alcune immagini di *flat field* da mediare, correggendole prima con il loro relativo *dark frame*. Utilizzando diversi filtri è necessario riprendere immagini di *flat field* per ciascun filtro. Le diverse immagini della cometa, già corrette con il *dark*, vanno poi divise per il *flat field*. Come già accennato ottenere un buon *flat field* non è una operazione banale; chi è dotato di uno strumento in postazione fissa può più facilmente equipaggiarsi con uno schermo o un diffusore illuminato in modo adatto.

### 6) La ripresa delle sequenze di confronto

Ad eccezione delle riprese a largo campo è generalmente difficile poter avere stelle di confronto nello stesso campo della cometa. Per stelle di confronto si intendono stelle di magnitudine nota di cui sia conosciuto il tipo spettrale e gli indici di colore. In certi casi, ad es. operando con filtri interferenziali, necessitano stelle spettrofotometriche (alcune stelle di questo tipo sono riportate in bibl. [1], v. anche [2, 3]), delle quali cioè è noto il flusso luminoso a tutte le lunghezze d'onda.

Se si confrontano alcuni cataloghi stellari è facile notare che a mano a mano che la luminosità delle stelle diminuisce aumentano le discordanze sulle magnitudini e sul tipo spettrale. Selezionare una stella non è quindi un'operazione da prendere alla leggera, ogni catalogo ha pregi e difetti nonché errori. Per stelle luminose uno dei più indicati è l'*Arizona-Tonantzintla Catalog* [4], che però non dà una grande copertura del cielo; molto valido e con un numero di stelle molto maggiore è lo *Yale Bright Star Catalog* [5], una revisione dell'*Harvard Revised Photometry Catalog*. Per osservazioni fotometriche generiche senza filtri, come pure per le osservazioni relative alle sole polveri (anche con filtri interferenziali), è preferibile utilizzare stelle di tipo solare (spettro G2V). Per una eventuale fotometria in banda V è sufficiente evitare stelle con peculiarità nello spettro, regola d'altra parte da applicare sempre in tutti i casi. Evitare anche stelle doppie in genere (anche larghe) che potrebbero non essere risolvibili sulle riprese CCD. Per la fotometria relativa al gas effettuata con filtri interferenziali vanno usate stelle spettrofotometriche (generalmente di spettro B).

Uno dei vantaggi dati dai sensori CCD è che, essendo lineari nella risposta, permettono di utilizzare stelle di confronto luminose anche per misurare oggetti deboli. Ogni oggetto dovrà essere ripreso con un tempo di esposizione adeguato che potrà essere anche molto diverso: pochi secondi per la stella e alcuni minuti per la cometa. La differenza nel tempo di posa verrà poi utilizzato per correggere la magnitudine della stella rendendola compatibile con l'immagine della cometa.

In sostanza si tratta di misurare i conteggi ADU all'interno di un'area prescelta (che contiene la stella o la chioma cometaria). Sottratti i relativi conteggi del fondo cielo ed indicando con  $N_c$  i conteggi relativi alla sola cometa e  $N_s$  quelli relativi alla sola stella, dalla legge di Pogson avremo che:

$$D_m = -2,5 \log (N_c/N_s)$$

dove  $D_m$  è la differenza in magnitudini tra cometa e stella. Se, come è probabile, le esposizioni riguardanti stella e cometa sono differenti, bisognerà apportare una ulteriore correzione; indicando con  $T_c$  e  $T_s$  rispettivamente il tempo di integrazione in secondi per la cometa e la stella avremo che la correzione  $CT$  da apportare, espressa in magnitudini, è pari a:

$$CT = -2,5 \log (T_c/T_s).$$

Per ulteriori dettagli sulla procedura fotometrica v. bibl. [6]. La scelta del diametro dell'area da misurare, soprattutto per la cometa, e del valore di fondo cielo da sottrarre sono piuttosto critici. In particolare se il diametro stimato della chioma è superiore alla metà del campo inquadrato

non si può essere del tutto certi di potere ottenere una misura attendibile del fondo cielo: potrebbe esserci infatti un sensibile grado di contaminazione dovuto all'alone esterno della chioma, difficilmente distinguibile dal fondo cielo; in questa situazione può essere conveniente effettuare anche una o più riprese di un'area di cielo adiacente alla cometa (indicativamente a non più di 5 gradi di distanza ed alla stessa elevazione sull'orizzonte) ma sicuramente al di fuori di coda e chioma.

### Formato dei file

Il formato standard utilizzato in astronomia è il FITS (estensione FTS o FIT) che permette di conservare tutta la dinamica dell'immagine (12 o 16 bit) e di avere incluse alcune informazioni (data, ora, oggetto, ecc...). Si raccomanda quindi a tutti di adottare per le immagini finali questo formato.

Spesso accade che oltre alle informazioni già contenute nei file sia necessario corredare un gruppo di immagini con un testo che riporti maggiori dettagli (ad es. filtri, caratteristiche strumentali, nomi degli osservatori, ecc...). Per redigere il testo, anziché potenti *word processor*, suggerisco di utilizzare banalmente l'*editor* del DOS, o in ogni caso di salvare il file in formato TXT. I motivi di questa scelta sono molteplici: il file ha dimensioni contenute, non trasmette i virus delle macro di Word, ed è sicuramente leggibile con qualunque programma di scrittura.

### Programmi di osservazione

A livello organizzativo e di scambio informazioni *internet* è uno strumento eccezionalmente efficace, largamente utilizzato da tempo a livello scientifico. È quindi inevitabile che proprio questo mezzo di collegamento possa diventare la spina dorsale di un programma osservativo, tenendo in contatto costante tutti gli osservatori. Una possibilità da non trascurare tra l'altro è quella di poter organizzare le serate di osservazione in modo ottimale; in certi casi può essere fondamentale seguire un fenomeno con costanza nel tempo e difficilmente un osservatore singolo (o un solo gruppo) può riuscire nell'impresa. Essendo non professionisti, per la maggior parte di noi è difficile poter osservare a tempo pieno; se però vi è un costante contatto tra gli osservatori risulta abbastanza facile organizzarsi per garantire a turno la copertura di un certo numero di serate. Salvo casi particolari, più che alla quantità si dovrà puntare alla qualità delle osservazioni. Potendo scegliere è meglio dedicare una sola notte all'osservazione con filtri interferenziali piuttosto che 10 notti effettuando riprese sen-

za filtri.

Le comete sufficientemente luminose da poter essere osservate con filtri a banda stretta non sono molte nell'arco di un anno quindi, mediamente, l'impegno è limitato. È comunque opportuno, quando possibile, seguire anche oggetti più deboli con filtri a larga banda o anche senza filtri per effettuare un monitoraggio sulle comete osservabili.

La qualità della notte può anche risultare determinante nella scelta: se non vi sono motivi particolari ha poco senso osservare con cielo fosco o condizioni instabili. Le notti più limpide e con buona trasparenza (a volte anche se c'è chiaro di Luna) sono senz'altro quelle da preferire.

Osservazioni effettuate a meno di 30-40° di altezza al di sopra dell'orizzonte richiedono di preferenza un cielo con buona trasparenza; importante in questi casi è misurare con precisione l'entità dell'estinzione atmosferica se stelle di confronto e cometa si trovano ad una differente altezza.

### Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va ad Angelo Salmaso per la lettura critica del manoscritto e ad Herman Mikuz per i suoi preziosi consigli e suggerimenti.

### Bibliografia

- [1]. Edberg, S. *Manuale IHW* (L'Astronomia-Coezum, Milano e Bologna, 1985).
- [2]. Osborne, W. H. et al. *Icarus*, **88**, 228-245 (1990).
- [3]. Wisniewski, W.; Zellner, B. *Icarus*, **63**, 333-338 (1985).
- [4]. *Arizona-Tonantzintla Catalog*, *Sky Telesc.*, **29**, 1, 24 (1965).
- [5]. Hoffleit, D. *The bright star catalogue* (Yale Univ. Obs., 1982).
- [6]. Mikuz, H.; Dintinjana, B. *Int. Comet Q.*, **16**, 4, 131-137 (1994).
- [7]. AA.VV. *High Performance CCD Cameras* (Princeton Instr. Inc., 1995).
- [8]. Green, D.W.E. *ICQ Guide to Observing Comets* (Smiths. Astr. Obs, Cambridge, 1997).
- [9]. Ortolani, S.; Favero, G. *Astronomia*, **2**, 28-33 (1994).