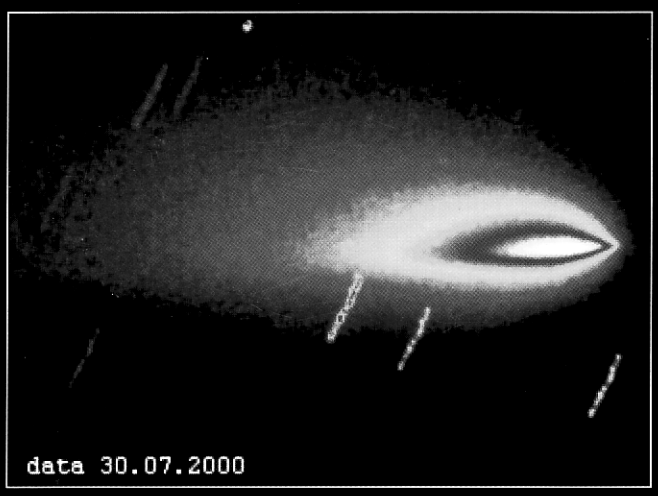
ASTRONOMIA

www.uai.it

LA RIVISTA DELL'UNIONE ASTROFILI ITALIANI

gennaio-febbraio 2002 n. 7



C/1999 S4 (linear): la morte di una cometa

- La congiunzione inferiore di Venere
- L'osservazione degli asteroidi
- La variabile WZ Sagittae
- Il catalogo delle meridiane

Sped. in A.P. 45% Filiale di Belluno Tasse Perque - Tassa riscossa - Belluno centro.

C/1999 S4 (Linear): la morte di una cometa

Sergio Foglia,
Rolando Ligustri,
Giannantonio Milani
Sezione Comete

Relazione presentata al XXXIV Congresso UAI (Frasso Sabino, 7-9 settembre 2001)

Abstract

The comet C/1999S4 was expected to be a moderately bright object during summer 2000. It was observed by several idividuals and groups by visual,photographic and CCD techniques. The derived light curve shows that the comet reached a brightness maximum (mag. 6 around July 26) corresponding to the total disgregation of its nucleus. From the analysis of the light curve a double maximum was detected, the disgregation event appearing to start around July 20. Several morphological changes were also observed during the apparition in relation to partial fragmentation events. The comet aspect completely changed during the final disruption. Relevant changes in the plasma tail were observed and they are probably related both to the activity of the nucleus and to the solar wind. A perspective anti-tail was detected in early July.

Introduzione

La scorsa estate è stata animata dall'apparizione della cometa 1999 S4 (LINEAR), attesa quasi da un anno nella speranza potesse diventare un oggetto luminoso. Questo fatto l'ha posta al centro dell'attenzione nel periodo estivo nonostante le condizioni di visibilità non fossero particolarmente favorevoli.

La cometa era stata seguita durante l'inverno 1999/2000 (vedi Astronomia UAI n. 4/2000 p.30) quando, ancora lontana dal Sole, aveva mostrato un comportamento inatteso, rimanendo stazionaria in luminosità per circa due mesi. Fortunatamente ha poi ripreso ad aumentare giungendo a portata di binocolo nel periodo estivo, in prossimità del perielio (vedi Astronomia UAI 3/2001). Purtroppo nello stesso periodo la scarsa elevazione sull'orizzonte e l'elevata umidità atmosferica hanno reso difficili le osservazioni. Nell'approssimarsi al perielio la 1999 S4 ha manifestato una notevole variabilità a livello morfologico, accompagnata da fluttuazioni luminose di piccola ampiezza: un comportamento insolito che probabilmente già preannunciava la morte finale e la totale disgregazione del nucleo.

Le osservazioni

La cometa 1999 S4 LINEAR è stata seguita da numerosi osservatori sia mediante tecniche CCD, che hanno consentito un monitoraggio nel corso di tutta l'apparizione, sia con tecniche visuali e fotografiche, concentrate soprattutto verso il passaggio al perielio, quando la cometa ha raggiunto la sua maggiore luminosità. Complessivamente sono stati raccolti 78 dati relativi alla magnitudine totale della chioma (visuali e CCD) che hanno permesso di trac-

Tabella 1. Osservatori della cometa C/1999 S4.

OSSERVATORE	TECNICA
Antonio Giambersio	CCD
Claudio Cremaschini	Visuale
Daniele Crudeli	CCD
Diego Tirelli	Visuale, CCD
Fabrizio Marchi	CCD
Giacomo Succi	CCD
Gianluigi Adamoli	Visuale
Giovanni Bortoluzzi	CCD
Gruppo Astrofili di Schio	CCD
Marco Di Biase	Fotografia
Marco Michieli	Visuale
Massimo Giuntoli	Visuale
Oss. Don Paolo Chiavacci, A. Umbriaco	CCD
Osservatorio Astronomico di Cavezzo, M. Nicolini, M. Facchini	CCD
Osservatorio Astronomico San Giovanni in Persiceto	CCD
Osservatorio di Monte Visseggi, P. Pietrapiana Ass. Astrofili Spezzini	CCD
Osservatorio di Remazacco, AFAM, Giovanni Sostero	CCD
Osservatorio G. Colombo-Gruppo Astr. Padova, A. Brancaleoni, G. Milani, A. Salmaso, C. Vinante	CCD
Paolo Laquale	Fotografia
Pasquale Ago, Valerio Fosso	CCD
Peltran Giuseppe	CCD
Roberto Haver	Visuale
Roberto Pipitone	CCD
Rolando Ligustri CAST	CCD
Sandro Baroni	Visuale
Sergio Foglia	Visuale
Stefano Checcucci	Visuale e Fotografia
Stefano Sello	Fotografia
Toni Scarmato	Fotografia
Vittorio Zanotta	Visuale

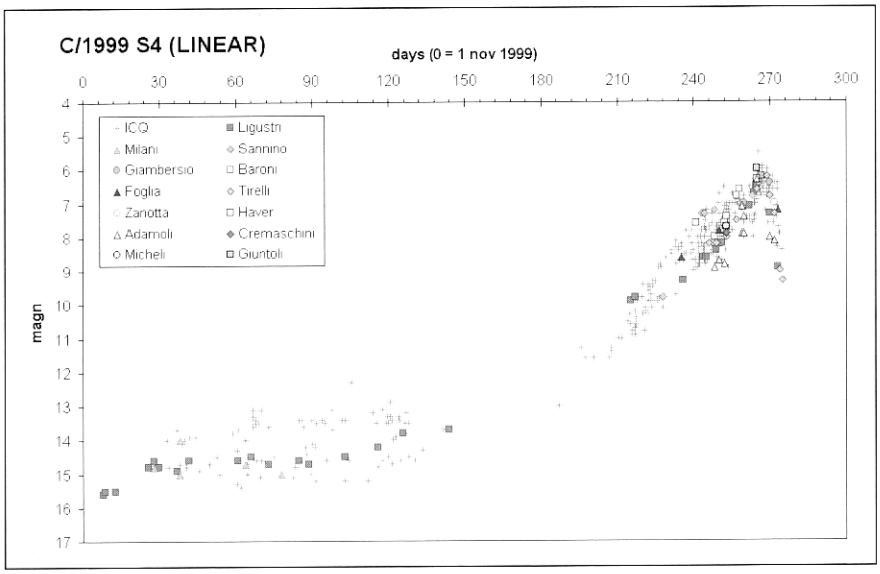


Figura 1. Curva di luce fotometrica ottenuta tramite differenti tecniche.

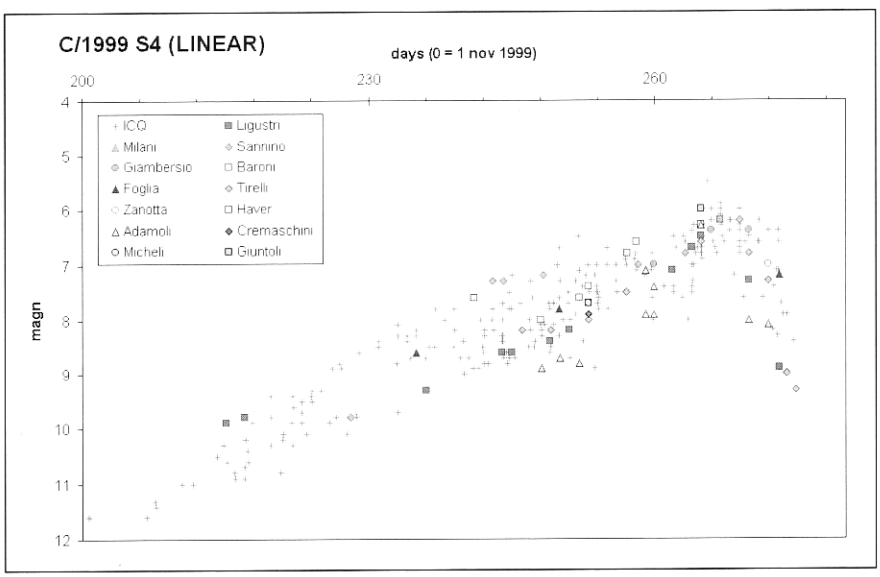


Figura 2. Dettaglio del massimo di luminosità della cometa.

ciare in modo soddisfacente la curva di luce di questa cometa. Riguardo invece alla morfologia sono soprattutto le numerose immagini CCD ad aver fornito una panoramica completa degli eventi che hanno caratterizzato l'apparizione.

Gli osservatori che hanno contribuito con immagini, disegni e stime di magnitudine sono elencati in Tabella 1. Per una estesa rassegna delle immagini raccolte si rimanda alla pagina web della Sezione Comete presso il sito UAI (http://www.uai.it).

La curva di luce

La curva di luce elaborata da Sergio Foglia è riportata in Fig. 1. Essa illustra l'evoluzione fotometrica della 1999 S4 nel corso di tutta l'apparizione. I punti, riportati con simboli diversi per ciascun osservatore, si riferiscono alla magnitudine totale apparente ottenuta con tecniche sia visuali che CCD. Per confronto ed integrazione sono riportate anche alcune stime visuali tratte da International Comet Quarterly. Come è noto ciascuna tecnica introduce di fatto delle differenze sistematiche nei valori, e quindi le magnitudini non sono perfettamente confrontabili; tuttavia nel loro insieme le stime forniscono ugualmente una buona rappresentazione dell'andamento della luminosità. La curva illustra molto bene le diverse fasi che hanno caratterizzato l'evoluzione della 1999 S4, a partire dal periodo di stasi invernale, fino al picco finale che coincide con la disgregazione del nucleo.

In concomitanza a variazioni morfologiche importanti nella chioma e nella coda di plasma, sono state segnalate fluttuazioni di magnitudine di lieve entità (circa 0,5 magnitudini) [1]; purtroppo tali irregolarità risultano in gran parte assorbite dalla forte dispersione delle stime. La discordanza tra i punti è da imputare solo in parte alle diverse tecniche usate (visuale e CCD) ed un peso rilevante è da attribuire anche alla scarsa elevazione sull'orizzonte e alle condizioni mediamente non ottimali del cielo.

Il massimo della curva di luce è coinciso con la frammentazione del nucleo ed è interessante vedere come in realtà è possibile osservare un doppio massimo (vedi particolare di Fig. 2).

Il primo picco, intorno a metà luglio, è interpretabile come dovuto al normale aumento di luminosità in coincidenza del passaggio al perielio.

Il secondo picco, individuabile attorno al 26 luglio coincide invece con l'evento di disgregazione del nucleo; in questa fase è stata raggiunta all'incirca la sesta magnitudine. I due massimi sono inframmezzati da un crollo di luminosità relativamente importante intorno al 20 luglio. Un'analisi dettagliata di questo tratto di curva, unitamente ai dati ricavati con altre tecniche, ci può permettere di ricostruire in dettaglio le fasi finali della vita di questa cometa.

Di fronte ad un evento di questo tipo una delle prime domande che ci si pone è quando è iniziata effettivamente la disgregazione del nucleo. Osservazioni professionali [2] indicano che intorno all'inizio di agosto si è verificato un brusco calo di attività (in termini di emis-

sione di gas dal nucleo) e già tra il 21 e il 24 luglio la produzione di gas era scesa a livelli bassissimi (qualche percento rispetto ai valori mostrati dalla Hale-Bopp). Nel contempo Mark Kidger (Istituto di Astrofisica delle Canarie) riporta la completa disgregazione del nucleo a partire dal 23 luglio ed il 28 dello stesso mese non è più rilevabile una condensazione centrale nella chioma. Quest'ultima è andata allungandosi a forma di goccia per poi assumere un aspetto a lancia molto allungato [3]. Misurando le dimensioni della chioma Mark Kidger ha stimato la velocità di allungamento in circa 40 m/sec, una velocità bassa tipicamente attribuibile ad una componente costituita da polveri.

Dalle considerazioni fatte poco sopra e osservando la curva di luce possiamo collocare il probabile inizio della disgregazione intorno al 20 luglio, in corrispondenza del minimo relativo nella curva di luce che precede il picco finale.

Questa data è sostanzialmente in accordo con altri risultati professionali che pongono l'inizio dell'evento distruttivo del nucleo il 21 luglio, con il massimo di attività il 22,8 luglio [4][5]. È infatti più o meno dopo questa data che la cometa non ha più manifestato segni significativi di emissione gassosa.

Questo comportamento suggerisce che il nucleo avesse effettivamente esaurito gran parte del materiale volatile che lo componeva e, avendo perso di coesione, si fosse disgregato. Dalle osservazioni effettuate mediante l'*Hubble Space Telescope* (HST) e il *Very Large Telescope* (VLT) risulta che i frammenti più grandi dovevano essere al più intorno al centinaio di metri di diametro. In totale, dopo la disgregazione, i due strumenti hanno rilevato rispettivamente 12 e 16 frammenti. Tuttavia è emerso anche che il maggior contributo fosse dovuto a polveri di dimensioni molto piccole, intorno ai 23 micrometri di diametro [5].

L'evento di disgregazione della cometa 1999 S4 (LINEAR) appare analogo, dal punto di vista morfologico, a quello della cometa 1984 Tabur, che nell'autunno del 1984 si è dissolta, anche se non tutto il nucleo sembra essersi disgregato. Le dimensioni del nucleo di questa cometa sono state valutate in circa 300 m di diametro [6], analoghe alle stime effettuate per la LINEAR di poco inferiori ai 400 m [4].

Dalle immagini ottenute dal HST e VLT si deduce che la disgregazione del nucleo è stata totale.

L'anticoda

Dopo la congiunzione eliaca, avvenuta intorno al mese di aprile, la cometa è stata osservata nel cielo mattutino molto bassa sull'orizzonte. La prima sorpresa è stata quella di rilevare la presenza di una debole anticoda che è rimasta osservabile solo nella prima metà di giugno [7]. Il fenomeno delle anticode, prevalentemente dovuto ad effetti di tipo prospettico, è relativamente raro e, per essere osservato, richiede precise condizioni geometriche e fisiche: la Terra deve trovarsi in prossimità del piano orbitale della cometa, la cometa deve avere emesso molte polveri e preferibilmente ci si deve trovare nella fase post-perielica; in questa fase la coda di polveri è molto più aperta ed è quindi più facile si verifichino le condizioni prospettiche adatte.

Con la cometa 1999S4 in effetti alcune condizioni c'erano: il taglio del piano orbitale da parte del nostro pianeta sarebbe avvenuto intorno al 14 giugno, ma si era ancora relativamente lontani dal perielio e pareva difficile in questa situazione riuscire a conciliare la presenza di una anticoda, che oltretutto è apparsa alquanto effimera. Proprio il carattere transitorio di questa coda aveva fatto pensare a qualcosa di insolito, forse un fenomeno legato ad un "outburst", ma questa valutazione era stata effettuata «a caldo», mentre era ancora in corso la campagna di osservazione e non c'era stato il tempo di esaminare in modo dettagliato le condizioni geometriche nelle quali erano state fatte le osservazioni.

L'anticoda è stata osservata da Rolando Ligustri nei giorni 1 e 4 giugno e la struttura appare ancora evidente in una immagine di Tim Pukett dell'8 giugno ma non risulta più visibile in immagini prese pochi giorni dopo. Questo aveva fatto pensare inizialmente ad un fenomeno di tipo transitorio. Analizziamo in dettaglio la situazione: un primo dato viene dall'angolo di fase che il 4 giugno era di 30°; la C/1999 S4 era

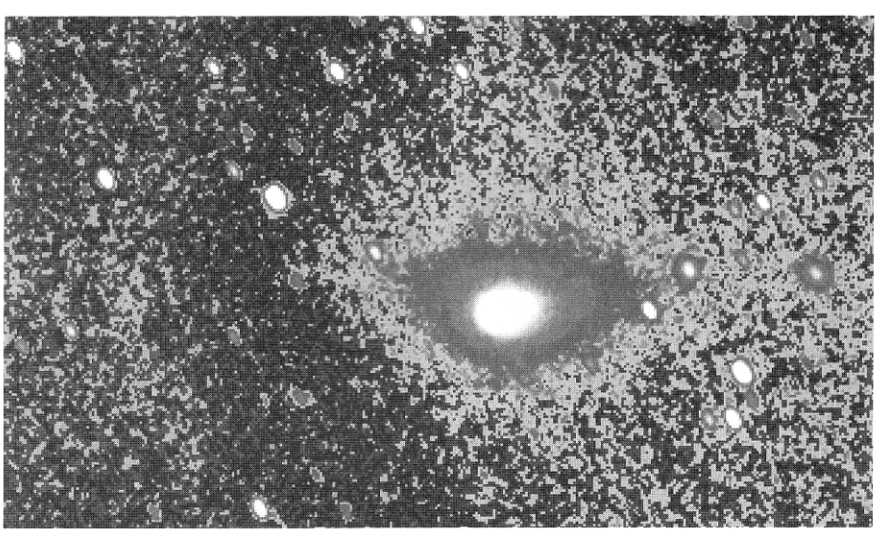


Figura 3. La debole anti-coda della cometa osservata da R. Ligustri il 4 giugno 2000. Ripresa CCD elaborata in falsi colori.

osservata quindi abbastanza frontalmente e la Terra si trovava a poco più di 2 gradi dal piano orbitale della cometa. Inoltre il prolungamento del raggio vettore si trovava ad un angolo di posizione (P.A.) prossimo a 275°, mentre il vettore opposto al vettore velocità era in P.A.= 85°. Il vettore velocità indica la reale direzione del moto della cometa nello spazio proiettata sulla volta celeste. È da notare che tale direzione non coincide quasi mai con quella del moto apparente dell'oggetto, e questo perché la direzione del moto proprio è determinata sia dal movimento reale della cometa lungo la sua orbita, sia dal moto orbitale del nostro pianeta intorno al Sole. L'anticoda è prossima alla direzione opposta a quella del vettore velocità (circa 80°) e proiettandola sul piano orbitale della cometa risulta pienamente compatibile con la posizione di una normale coda di polveri aperta di circa 30° rispetto al prolungamento del raggio vettore (che coincide invece all'incirca con la direzione della parte iniziale della coda di plasma); l'unica particolarità, forse, sta nel fatto che si è trovata relativamente vicina all'orbita della cometa, e questo può indicare che è probabilmente formata da polveri relativamente «vecchie».

Ma questo è compatibile con il quadro generale della 1999 S4 che ha manifestato una certa attività a grande distanza dal sole, sviluppando una coda già durante l'inverno: quella che è apparsa come una anticoda era in realtà la normale coda formata dalle polveri emesse dal nucleo durante l'avvicinamento al Sole. Analizzando in seguito come si sono modificate le condizioni geometriche si vede che con il passare dei giorni, mentre la Terra si avvicinava sempre di più al piano orbitale cometario, la linea di vista è venuta gradualmente a coincidere con la direzione della coda di polveri e, di conseguenza, verso la metà del mese, la struttura che ha dato origine all'anticoda si è venuta a trovare dietro la chioma ed è per questo che non è più stata osservata. Conclusioni analoghe sono state tratte da Luigi Pansecchi in una sua analisi relativa alla natura dell'anticoda [8]. Nulla di peculiare quindi da un punto di vista fisico, la singolarità è stata casomai nelle condizioni geometriche di osservazione estremamente critiche, tanto che piccole variazioni prospettiche hanno prodotto sensibili cambiamenti morfologici apparenti.

Un fenomeno analogo d'altra parte è già stato osservato per la celebre cometa Hale-Bopp nel gennaio del 1997, quando, poco dopo il taglio del piano orbitale, la coda è apparsa suddivisa in due tronconi quasi opposti. Anche in quel caso la forte apertura della coda era solo apparente ma le condizioni prospettiche l'hanno mostrata fortemente amplificata.

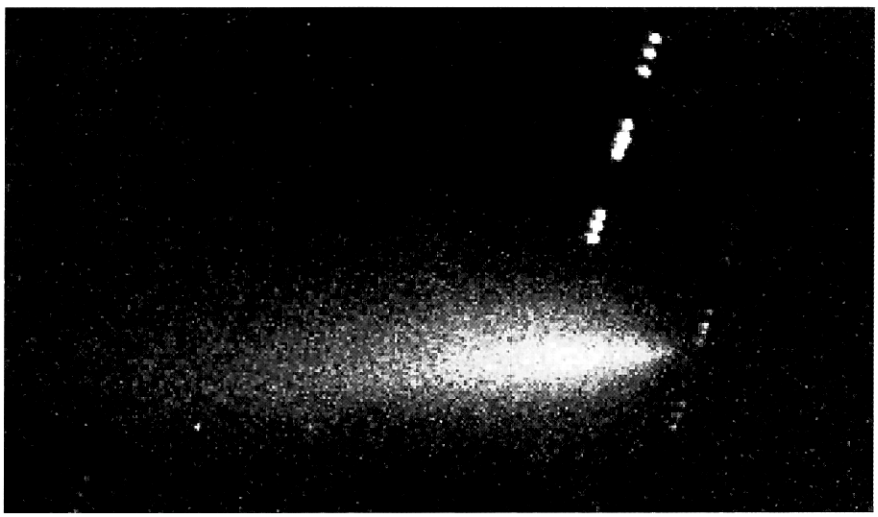
La coda di plasma

La coda di plasma della cometa 1999 S4 è stata caratterizzata da una spiccata variabilità , sia di forma che di intensità.

Modificazioni particolarmente impressionanti si sono verificati in diverse occasioni: l'11 giugno, quando è stata osservata una brusca impennata nella produzione di gas [9], il 5 luglio è stato registrato un brusco aumento in sole 4 ore mentre il 7 luglio è stato eruttato un apparente frammento rilevato dall'HST a 460 km dal nucleo in direzione del Sole, mentre nella coda si formava una struttura aghiforme, simile a quella osservata nella C/1996 B2 [10] in concomitanza di un evento analogo. Una ripresa effettuata da A.Salmaso e G. Milani il 6 luglio con filtro interferenziale a banda stretta per il continuo, evidenzia una frammentazione superficiale del nucleo, visibile come una fascia rettilinea più densa lungo l'asse della coda, forse il preludio dell'eruzione del 7 luglio. Tale struttura potrebbe richiamare come aspetto quello di una coda di plasma, fatto che può essere escluso perché la banda passante del filtro non comprende alcuna emissione della coda ed ha una scarsa contaminazione di componenti gassose anche nella chioma.

Infine il 14 luglio un imponente *flare* solare ha generato intense onde d'urto nel vento solare e sembra sia una delle cause delle drammatiche modificazioni morfologiche osservate nei giorni seguenti, ed in particolare dello sviluppo della bella coda del 21 luglio. È anche possibile che l'onda d'urto solare abbia in qualche modo accelerato la disgregazione del

Figura 4. La Cometa 1999 S4 ripresa il 6 luglio da G. Milani e A. Salmaso con il telescopio da 40 cm dell'Osservatorio del Gruppo Astrofili di Padova con un filtro centrato a 647 nm (HBW 10 nm) per il continuo, il filtro permette di evidenziare le sole polveri presenti nella coda.



nucleo, ormai reso fragile dalla perdita di gran parte dei ghiacci che lo costituivano.
Interessante, pur non potendo escludere che si tratti di una fortuita coincidenza, è il fatto che i 4 principali "outbursts" di attività rilevati sulla cometa dalla sonda SOHO siano accaduti con una periodicità di circa 16 giorni [4].

La disgregazione finale del nucleo

Come già accennato l'evento più rilevante che ha caratterizzato l'apparizione della cometa 1999 S4 è stata la disgregazione finale del nucleo e la conseguente lenta dissoluzione della cometa. In diverse occasioni la cometa ha mostrato modificazioni morfologiche, anche nella parte interna della chioma, che testimoniavano la fragilità del nucleo; probabilmente erano segni premonitori che annunciavano l'imminente frammentazione finale. Improvvisi cambiamenti nel profilo della testa della cometa infatti indicano quantomeno improvvisi cambiamenti nella produzione di gas e frammentazioni parziali della superficie o di parte del nucleo: incrementi significativi nella luminosità della regione nucleare centrale e un conseguente allungamento della condensazione centrale possono infatti essere interpretati come improvvise emissioni di materia (gas e polveri) o frammentazioni superficiali, mentre il passaggio da un profilo parabolico ad uno lanceolato è coinciso con la distruzione finale del nucleo. È interessante notare come immediatamente prima dell'evento finale la chioma abbia assunto un profilo più squadrato assumendo una forma triangolare; lo stesso fenomeno è stato osservato per la già citata cometa Tabur, in concomitanza con la disgregazione del nucleo. Questi cambiamenti morfologici sembrano quindi possano essere intimamente collegati con il modo in cui si frammenta un fragile nucleo cometario. Le modalità appaiono comunque differenti rispetto a quello di altre comete dotate di un nucleo di maggiori dimensioni. Storicamente sono noti molti esempi di comete spezzatesi in più componenti (ad es. la celebre cometa di Biela, la West nel 1976, o divise in un notevole numero di piccoli frammenti (ad es. Shoemaker-Levy 9, Scwassmann-Wachmann 3) senza per questo dissolversi in tempi scala brevi come nel nostro caso. Questo potrebbe dipendere non solo dalle diverse dimensioni dei nuclei, ma anche dalla loro diversa struttura e costituzione. Certamente il mondo dei corpi minori e delle comete mostra di essere assai più variegato e complesso di quanto si potesse sospettare anche solo fino a pochi anni fa.
La cometa 1999 S4 (LINEAR), pur non potendo certamente essere inquadrata nei canoni delle grandi comete spettacolari, si è ugualmente rivelata un oggetto sorprendente.

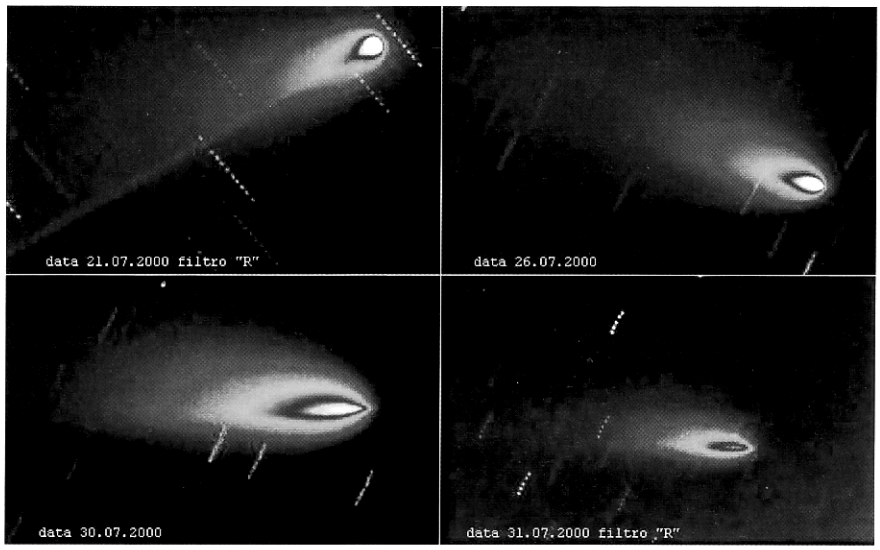
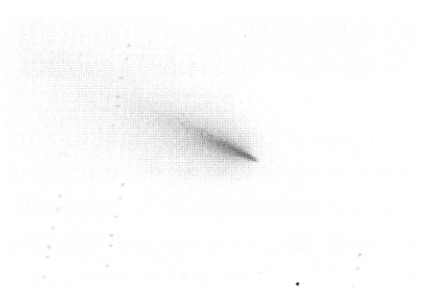
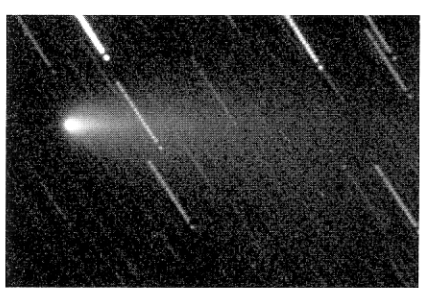


Figura 5 (sopra). La cometa 1999 S4 ripresa da Rolando Ligustri alla fine del mese di luglio con un riflettore da 20 cm e CCD. La visualizzazione in falsi colori evidenzia molto bene i cambiamenti morfologici subiti dalla cometa durante l'evento di disgregazione ed il progressivo allungamento della chioma.

Figura 6 (sotto a sinistra). La cometa 1999 S4 ripresa il 27 luglio da Daniele Crudeli con un riflettore da 25 cm e CCD, l'elaborazione evidenzia l'effetto della disgregazione del nucleo che ha generato un "treno" di frammenti di varie dimensioni visibile come una stretta coda all'interno della chioma.
Figura 7 (sotto a destra). La Cometa 1999 S4 ripresa da Angelo Salmaso, Paolo Tasca e Carlo Vinante con il telescopio da 40 cm del Gruppo Astrofili di Padova, CCD e filtro R. La disgregazione del nucleo appare ormai completa.





BIBLIOGRAFIA

[1] Mikuz, H., comunicazione personale.
[2] *IAUC 7475*, 2000 7 Agosto.
[3] *IAUC 7467*, 2000 27 Luglio.
[4] Teemu, J et al., *Science*, **292**, 1326, 1329 (2001).
[5] Weaver, H.A. et al., *Science*, **292**, 1329, 1333 (2001).
[6] Fulle M., Mikuz H., Nonin M., Bosi S., *Icarus* 1988, **134** n.2, 235-248.
[7] R.Ligustri, G. Milani, *COELUM* Dic. 2000.
[8] Pansecchi L., comunicazione personale, 2001.
[9] *IAUC 7455* 16 Luglio 2000.
[10] *IAUC 7461* 20 Luglio 2000.