

Studio morfologico della cometa P/Swift-Tuttle durante l'apparizione del 1992

Giancarlo Favero, Gino Favero e Gian Antonio Milani

UAI - Sezione Comete

Abstract. The study of hundreds visual, photographic and CCD observations of the 109P/Swift-Tuttle comet made by amateurs and mostly published in popular magazines allowed the authors to estimate the expansion velocities of the coma (0.4 km/s with the nucleus at 1 AU from the Sun) and of the behaviour of the plasma tail. The photometric and morphologic behaviour is accounted for by a monolithic nucleus, rotating in 2.92 days and erupting gas and dust from three restricted portions of its surface.

Introduzione

Durante la preparazione del Manuale della Sezione sono state consultate le principali riviste sulle quali gli astrofili pubblicano le loro osservazioni di comete, allo scopo di verificare quali fossero le loro potenzialità. È risultato subito evidente che la documentazione relativa alla cometa P/Swift-Tuttle 1992 XVIII era notevole e per di più ben scaglionata nel tempo, consentendo di seguire circa due mesi della sua evoluzione.

Sono state chieste inoltre le osservazioni di alcuni degli astrofili o dei gruppi che erano noti occuparsi di comete e si è così raccolto del materiale che, pur con l'evidente limitazione dell'eterogeneità di metodi e di scopi osservativi, ha permesso di raggiungere dei risultati che meritano di essere esposti, non foss'altro che per dimostrare quale potenziale scientifico risieda nelle osservazioni dei dilettanti.

Le osservazioni

Il materiale osservativo utilizzato nel presente lavoro proviene dalle seguenti fonti:

- rivista *Nuovo Orione*, numeri 9, 10, 11, 13, 15 e 16 (disegni e foto)
- rivista *Sky and Telescope*, luglio 1993 (disegni e foto)
- Associazione Astrofili Spezzini (immagini CCD, ST4)
- Associazione Astronomica Cortina (foto e immagini CCD, Lynxx)
- Osservatorio "Geminiano Montanari", Cavezzo (immagini CCD, ST4)
- Eraldo Guidolin (foto).

Si tratta di qualche centinaio di disegni, fotografie (in maggioranza), immagini CCD grezze o già elaborate, che riguardano 23 delle 56 serate comprese nel periodo 18 ottobre - 13 dicembre 1992.

Elaborazione delle osservazioni

Per mezzo del software su CD-ROM "Guide Star Catalog Project Pluto" (abbreviato GSCPP, cortesia Italo Dalmeri) sono state ottenute delle mappe dei campi stellari relativi al giorno di ogni osservazione della cometa. La scala delle mappe e la loro magnitudine limite sono state scelte in modo da adeguarsi al meglio alle osservazioni disponibili. Generalmente le immagini pubblicate mancavano dell'indicazione dell'ora (in qualche caso perfino del giorno), cosa che inizialmente ha complicato il reperimento dei campi stellari relativi a ogni osservazione. Tuttavia, grazie alla presenza della cometa P/Swift-Tuttle 1992 XVIII nel repertorio del software GSCPP e alla disponibilità della funzione ANIMATION, è stato agevole studiare il moto della cometa in ogni notte in esame, al fine di trovare il TU relativo a ogni osservazione. Data la bontà del software e l'accuratezza delle osservazioni visuali è stato possibile determinare il tempo di ogni osservazione con un'incertezza massima di 5 minuti. Dato che il presente lavoro non ha fini astrometrici tale approssimazione è più che accettabile.

Su ogni mappa così ottenuta è stata riportata a matita l'immagine della cometa, curando di posizionare i vari particolari con la massima precisione rispetto alle stelle di campo. Nota la scala della mappa, vi sono state in seguito misurate con un doppio decimetro le seguenti grandezze:

- dimensioni in primi d'arco della chioma e delle sue strutture interne (diametro o asse maggiore *CH*, asse minore *ch*);
- lunghezza in gradi dell'eventuale coda di plasma (*LCOPL*)
- angolo di posizione in gradi della stessa (*APCOPL*, da nord verso est, senso antiorario);
- lunghezza (*LCOPO*) e angolo di posizione in gradi (*APCOPO*) dell'eventuale coda di polveri.

Le misure lineari sono state ripetute sugli origina-

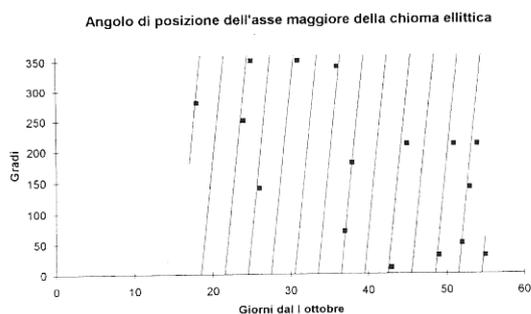


Fig. 1 - Angoli di posizione dell'asse maggiore della chioma ellittica della cometa riportati sopra un riferimento ideale avente periodo di rotazione di tre giorni.

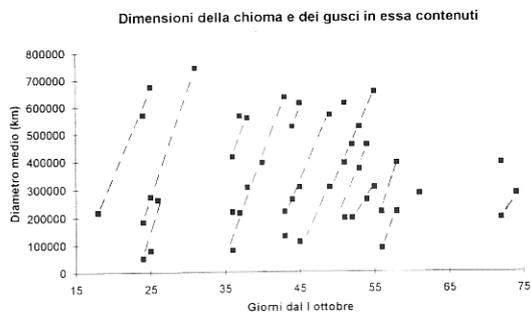


Fig. 2 - Variazione temporale delle dimensioni medie della chioma cometaria e degli aloni interni.



Fig. 3 - Getti ricurvi nella chioma della cometa Swift-Tuttle.

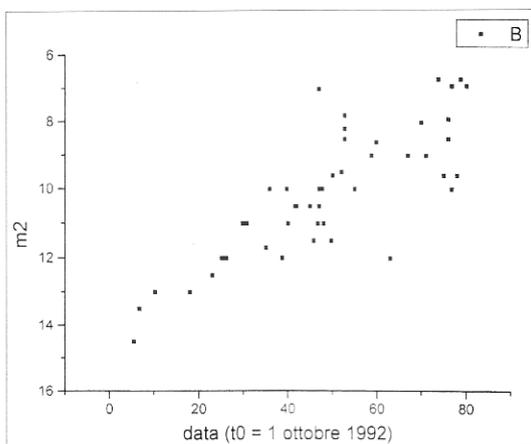


Fig. 4 - Variazione temporale della magnitudine nucleare.

li, una volta stabilita la loro scala con riferimento alle mappe. Sono state generalmente osservate differenze inferiori al 10% rispetto ai valori determinati sulle mappe.

Dal confronto delle misure CH e ch è stata stimata la forma (circolare o ellittica) della chioma. Nei casi in cui la chioma ha mostrato forma ellittica, è stato misurato sulle mappe, con riferimento alle rispettive coordinate equatoriali, l'angolo di posizione in gradi dell'asse maggiore dell'ellisse ($APCH$).

È stato quindi studiato l'andamento nel tempo delle grandezze misurate, consentendo di raggiungere i risultati illustrati di seguito. Tra le limitazioni che inficiano questi risultati si deve citare la scarsa estensione temporale di ciascuna seduta osservativa, che è risultata in media molto inferiore a un'ora. Le poche osservazioni americane utilizzabili hanno permesso, in qualche notte, di colmare questa lacuna.

Risultati

La chioma: forma

La chioma della cometa 109P/Swift-Tuttle è spesso apparsa di forma ellittica: su 45 stime indipendenti, 15 volte è stata giudicata circolare e 30 volte ellittica. Pur nella sua spiccata variabilità, la chioma ha mantenuto un diametro medio di 650 000 km (distanza media dal Sole 1.16 UA) e un aspetto allungato che suggerisce la presenza di rare e ristrette regioni attive sulla superficie del nucleo, o almeno di un'attività eruttiva raramente estesa a tutta la superficie.

Nel periodo 20-24 novembre si disponeva di una misura al giorno dell'angolo di posizione dell'asse maggiore ed è stato possibile comprendere che tale asse compiva una rotazione in senso antiorario (angolo di posizione crescente) in tre giorni. Nella fig. 1 i segmenti obliqui rappresentano il comporta-

Studio morfologico della cometa P/Swift-Tuttle nel 1992

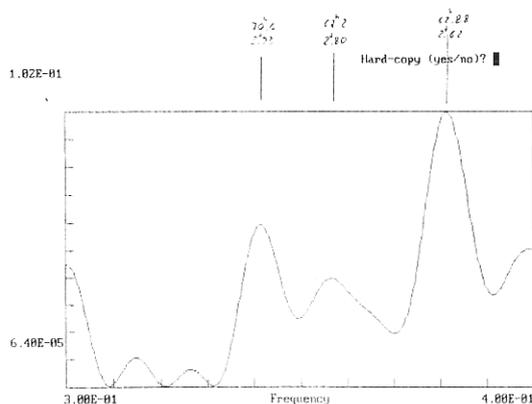


Fig. 5 - Analisi di Fourier dei dati di fig. 4.

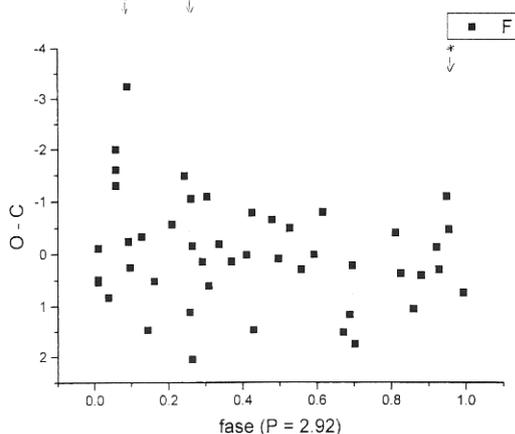


Fig. 6 - Andamento degli O-C, spiegati nel testo, contro la fase basata su un periodo di rotazione di 2.92 giorni.

mento previsto per una rotazione dell'asse maggiore che si compisse in tre giorni esatti: i punti rappresentano i valori di $APCH$ osservati, come tali oppure dopo la somma di 180 gradi. Le variazioni osservate sono molto più rapide di quelle attribuibili a modificazioni prospettiche di un nucleo di forma non sferica.

Sekanina [1a] riporta che già nel corso dell'apparizione del 1862 alcuni osservatori avevano notato la ricorrenza degli stessi aspetti (getti, aloni, struttura della coda) con una periodicità di circa tre giorni. Un'analisi approfondita condotta dallo stesso autore ha permesso di ricavare per la rotazione del nucleo un periodo di 2.77 giorni. Altri autori hanno ottenuto per l'apparizione del 1992 risultati analoghi, con valori prossimi a 2.9 giorni [1b, 1c]. L'aver ritrovato un valore molto vicino partendo dalle osservazioni morfologiche a piccola scala eseguite con strumenti amatoriali depone a favore della loro validità. Tuttavia si richiama l'attenzione sulla necessità di effettuare più osservazioni per notte, in modo da coprire una frazione non trascurabile delle 24 ore (durata consigliata: almeno un paio d'ore). In assenza di un'adeguata frequenza osservativa non è possibile discriminare tra differenti periodi di rotazione, tutti egualmente plausibili.

La chioma: dimensioni

La chioma della cometa ha quasi sempre mostrato un struttura ad aloni concentrici, di intensità decrescente con l'aumentare della distanza dal nucleo. Su un totale di 23 serate osservative, solo in sei occasioni non è stato possibile osservare tali strutture concentriche. Tuttavia, anche la mancata osservazione di queste strutture non ne esclude la presenza, perché è coincisa spesso con immagini fortemente sovrapposte per la chioma.

Le dimensioni in primi d'arco della chioma (asse maggiore CH e asse minore ch) sono state riportate tutte a 1 UA dalla Terra, moltiplicando il valore misurato sulle mappe per la contemporanea distanza Terra-cometa (δ) reperita sulle effemeridi fornite da ICQ [2]. Le dimensioni in primi d'arco sono state poi convertite in chilometri, moltiplicandole per la costante 43633, la grandezza in chilometri che sottende 1 primo d'arco alla distanza di 1 UA. Le dimensioni CH e ch sono quindi state mediate e il valore corrispondente del diametro medio degli aloni è stato riportato in fig. 2.

Anche in questo caso sono risultate preziose le osservazioni di frequenza quotidiana, che hanno permesso di avere una buona copertura temporale nel periodo preso in esame. Ipotezzando che l'espansione degli aloni osservati sia avvenuta a velocità costante, si possono cogliere degli allineamenti (tratteggiati in fig. 2) che delineano l'evoluzione delle diverse strutture. La pendenza delle rette indica che la velocità di espansione media è stata di 0.40 (± 0.05) km/s. Durante il periodo coperto dalle osservazioni la distanza Sole-cometa (r) è passata da 1.33 a 1.00 UA. Un valore di velocità media molto vicino a quello da noi ricavato è stato stimato da Sekanina per la velocità iniziale di espansione dei getti di polvere nell'opposizione del 1862 [1a]. È probabile che anche gli aloni da noi misurati fossero costituiti prevalentemente di polveri anche se, non avendo a disposizione immagini ottenute con filtri opportuni, non è possibile trarre conclusioni definitive. D'altra parte, anche la velocità media di espansione di gusci gassosi, per esempio di CN (radicale cianogeno), osservati nella chioma della cometa di Halley nello stesso intervallo di r è della stessa entità di quella da noi stimata per la Swift-Tuttle [3].

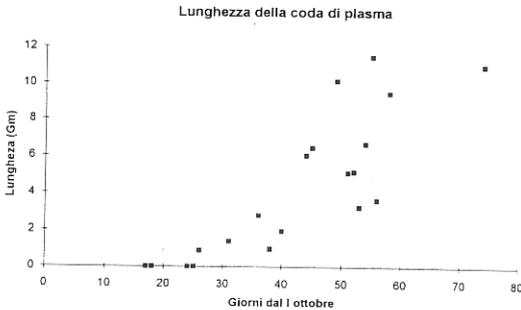


Fig. 7 - Variazione temporale della lunghezza della coda di plasma.

La chioma: strutture interne

In tutte le immagini visuali e CCD ad alta risoluzione la condensazione centrale è apparsa in posizione fortemente eccentrica rispetto al baricentro delle isofote delle regioni periferiche della chioma. In particolare, essa è apparsa sistematicamente spostata lungo il raggio Sole-cometa, in direzione opposta al Sole, dimostrando che la più abbondante eiezione di materiale avveniva prevalentemente in direzione del Sole.

La parte più luminosa della chioma ha rivelato una disomogenea distribuzione del materiale eiettato dal nucleo. Non sempre è stato possibile definire la morfologia di queste strutture, anche per la risoluzione insufficiente della strumentazione impiegata. In alcune immagini dell'Osservatorio di Cavazzo (fig. 3) e in quelle dell'Associazione Astronomica Cortina, che sono state analizzate dagli stessi autori mediante l'algoritmo di Larson e Sekanina [4], è stata evidenziata la presenza di un'attiva regione nucleare, origine di getti ricurvi che si accordano con l'accertata rotazione del nucleo cometario.

Magnitudine della testa cometaria (m_1) e del falso nucleo (m_2)

La curva di luce visuale integrata, ricondotta a 1 UA dalla Terra così come viene fornita da J. Bortle [5] per il periodo in oggetto, non rivela anomalie degne di nota, anzi risulta compatibile con le stime effettuate da G.V. Schiaparelli durante il passaggio del 1862. I parametri della curva fotometrica ricavati da Bortle sono $H_0 = 4.45$ e $n = 6.96$, prossimi ai valori utilizzati da ICQ [2] per il calcolo delle effermeridi relative al presente passaggio (4.5 e 6.0). Il valore di n leggermente maggiore del previsto si può ragionevolmente spiegare sulla base della grande attività di emissione gassosa osservata.

Le 45 stime disponibili di magnitudine del falso

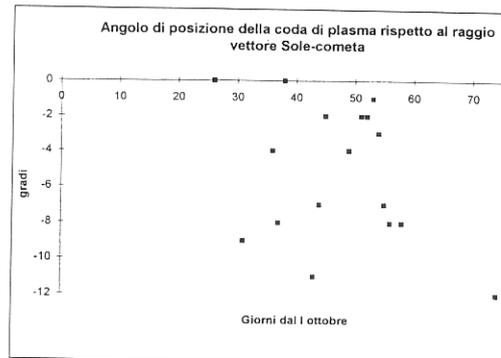


Fig. 8 - Variazione temporale dell'angolo di posizione della coda di plasma.

nucleo (m_2), tratte da ICQ [6], sono riportate in fig. 4 e si riferiscono a un nucleo di aspetto pressoché stellare. Dopo aver sottratto un contributo lineare crescente ($y = 13.87168 - 0.07714 x$), i dati sono stati sottoposti all'analisi di Fourier (fig. 5). L'analisi rivela l'esistenza di tre periodicità corrispondenti a 2.9, 2.8 e 2.6 giorni e quindi compatibili con la rotazione nucleare osservata.

Sono state calcolate le differenze $O-C$ fra le magnitudini stime di magnitudine (O) e il valore assunto dalla stessa data dall'ordinata della retta interpolata per i valori di m_2 (C). Tali differenze sono state riportate in grafico contro la rispettiva fase calcolata mediante il periodo di 2.92 giorni (fig. 6). Si osserva un forte aumento di luminosità in prossimità della fase 0.09 e altri aumenti, di entità molto inferiore, a fasi 0.22 e 0.95. In effetti, tenendo conto degli inevitabili errori di osservazione e della variabilità del fenomeno, non si può escludere che i tre massimi osservati siano collegati a un unico, ampio picco di attività che inizia a fase 0.8, raggiunge il massimo attorno a fase 0.1 e termina attorno a fase 0.3. Il valore del periodo di rotazione ricavato dall'analisi dei dati fotometrici appare in ottimo accordo con il periodo di 2.89 giorni, trovato da Yoshida et al. [1b], e di 2.92 giorni, suggerito da S. Garro [1] ottenuti con metodi diversi, basati sullo studio dei getti interni della chioma.

Il comportamento fotometrico del falso nucleo sembra suffragare l'ipotesi, fatta poco sopra, che l'attività emissiva della cometa fosse concentrata in una ristretta regione della superficie nucleare. L'andamento fotometrico ciclico è stato messo in evidenza con grande efficacia da J. Bortle [5] che scrive: "Le variazioni della brillantezza e dell'aspetto puntiforme del falso nucleo avvenivano su breve scala temporale. In alcune notti esso era altrettanto puntiforme di una qualsiasi stella di campo. Ma in altre occasioni, seguendo un andamento vagamente cic-

co, il nucleo appariva diffuso e oscuro, come se la vista fosse fortemente velata da nuvole di gas e polveri.”

La coda di plasma: la lunghezza e l'angolo di posizione

La lunghezza apparente della coda di plasma è stata determinata generalmente dalle stampe fotografiche, e può certamente risultare sottostimata. Materiale fotografico di varia natura e strumenti non paragonabili possono rendere conto di parte delle variazioni osservate. Queste sono state tuttavia così evidenti che per la maggior parte devono essere state oggettive.

La lunghezza reale della coda di plasma (fig. 7) è stata calcolata proiettandone la lunghezza apparente sul raggio vettore Sole-cometa, mediante il formulario fornito dalla letteratura [7]. La stima così ottenuta è corretta per piccole deviazioni della coda dal raggio vettore, un fatto che è tipico delle code di ioni e che è stato confermato dalle misure illustrate di seguito.

L'angolo di posizione della coda di plasma (fig. 8), misurato rispetto alla proiezione sulla volta celeste del raggio vettore, si è sempre mantenuto inferiore ai 10 gradi per cui non sono state effettuate altre correzioni.

Nessuna attività caudale è stata osservata all'inizio delle osservazioni, fra il 18 e il 25 ottobre. Solo il 26 ottobre, quando il primo dei gusci gassosi osservati nella chioma ha raggiunto il diametro di $1 \cdot 10^6$ km, si è notata una breve coda di $0.9 \cdot 10^6$ km diretta in opposizione al Sole.

Ai primi di novembre, mentre un secondo guscio gassoso raggiungeva il diametro di $1 \cdot 10^6$ km, la coda — leggermente in ritardo rispetto al raggio vettore — si è allungata fino a $3 \cdot 10^6$ km, per poi accorciarsi il giorno 6 a circa $1 \cdot 10^6$ km. Da questo momento, e in concomitanza con l'espansione fino a circa $1 \cdot 10^6$ km di due successivi gusci gassosi, la coda si è allungata in modo progressivo fino a raggiungere il 18 novembre una lunghezza di circa $10 \cdot 10^6$ km. Contemporaneamente l'angolo di posizione si è divaricato dal prolungamento del raggio vettore, apparendo in ritardo fino a 10 gradi. Mentre la coda raggiungeva la sua massima lunghezza (18 novembre) l'angolo di divaricazione si è rapidamente ridotto a valori trascurabili.

Nei giorni seguenti la coda si è dapprima accor-

ciata fino a $3 \cdot 10^6$ km, raggiunti il 22 novembre, per poi allungarsi rapidamente fino a più di $11 \cdot 10^6$ km fra il 22 e il 24 novembre. Un fenomeno simile si è verificato fra il 25 e il 27 novembre, mentre nulla è possibile dire del periodo fra il 27 novembre e il 13 dicembre, quando la coda di plasma superava ancora gli 11 milioni di chilometri. Al crescere della lunghezza della coda, il suo angolo di posizione si divaricava progressivamente dal raggio vettore.

La coda di polvere

Questa parte della cometa è sempre apparsa poco cospicua. Molto arretrata nel senso del moto rispetto al prolungamento del raggio vettore (angolo di posizione in ritardo di 30-40 gradi) è sempre apparsa ampia e molto corta (da metà a un terzo della coda di ioni).

Quando ha mostrato la massima lunghezza è apparsa nettamente incurvata, con la concavità rivolta al Sole, come atteso per questa formazione di natura corpuscolare.

Conclusioni

L'analisi accurata di immagini della cometa P/Swift-Tuttle (visuali, fotografiche, CCD) riprese da astrofili nel corso dell'apparizione 1992 ha permesso di stimarne alcune grandezze fisiche quali le velocità di espansione dei materiali che costituiscono la chioma (0.4 km/s a 1 UA dal Sole) e il comportamento della coda di plasma.

Il comportamento fotometrico e morfologico osservato si accorda con un modello di nucleo monolitico, rotante con periodo 2.92 giorni, con un'attività eruttiva concentrata su un emisfero.

Bibliografia

1. a) Sekanina, Z., *Astron. J.*, 86, 1741, 1981.
b) Yoshida, S. et al., *Publ. Astr. Soc. Japan*, 45, 33, 1993.
c) Garro, S., comunicazione privata a G. A. M., 1995.
2. *Internat. Comet Quarterly*, 96, October 1992.
3. Celnik, W.E., Schmidt-Kaler, Th., *Astron. Astrophys.*, 187, 233, 1987.
4. Larson, S.M., Sekanina, Z., *Astron. J.*, 89, 571, 1984.
5. Bortle, J., *Sky and Telescope*, July, 107, 1993.
6. *Internat. Comet Quarterly*, January, April, July 1993.
7. Saito, T., Yumoto, K., Hirao, K., Minami, S., Saito, K., and Smith, E., *Astron. Astrophys.*, 187, 209, 1987.