

Previsioni e calcolo delle lunghezze reali e apparenti delle code cometarie

Giuseppe De Donà

Associazione Astronomica Feltrina Reticus

Abstract

The apparition of the two great comets Hyakutake and Hale-Bopp allowed to many amateur astronomers to devote themselves to delicate computation of apparent visual tail length and to compare their predictions with reality. The prediction of the apparent length of a comet tail isn't an easy job, because it's necessary to estimate its intrinsic length and this depends on many factors, like physical and chemical cometary structure and solar activity, all hard to determine. Andreas Kammerer, of German Comet Section, tried to solve the problem proposing an algorithm from which it's possible to obtain the logarithm of theoretical tail length in million kilometers. In this article the author, starting from Kammerer's work, arrives, through easy passages, at apparent length of cometary tail. In the final part the observations of Hyakutake and Hale-Bopp are compared with the predictions obtained using the Kammerer's formula.

Introduzione

Le apparizioni di due grandi comete come la Hyakutake e la Hale Bopp hanno consentito a molti astrofili di dedicarsi al delicato calcolo di stima dell'ampiezza visuale apparente delle loro code e, quando le comete si sono rese ben visibili anche ad occhio nudo, di confrontare con la realtà le loro previsioni. Prevedere quanto diverrà angolarmente ampia la coda di una cometa non è un problema di facile soluzione perché occorre stimare la lunghezza intrinseca della stessa e ciò dipende da fattori quali struttura fisica e chimica della cometa e attività solare, che non sono di facile determinazione. Andreas Kammerer, della Sezione Comete Tedesca, ha cercato di risolvere il problema elaborando un algoritmo da cui s'ottiene il logaritmo della lunghezza teorica della coda in milioni di chilometri. In quest'articolo, partendo dal lavoro di Kammerer

[1], si risale attraverso semplici passaggi matematici all'ampiezza apparente della coda della cometa. Nella parte finale sono messi a confronto i dati osservativi delle comete Hyakutake e Hale Bopp con le previsioni ottenute usando la formula dell'astrofilo tedesco.

Il lavoro di Kammerer

La formula ricavata da Kammerer è la seguente:

$$\log L = -0,26 (\pm 0,01) \times He + 2,25 (\pm 0,07), \quad (1)$$

dove He è la magnitudine eliocentrica che s'ottiene con la formula:

$$He = H + 2,5 \times n \times \log r, \quad (2)$$

con H che indica la magnitudine assoluta della Cometa, n il coefficiente di $\log r$ ed r la distanza Cometa-Sole. Nel suo lavoro Kammerer prende spunto da uno studio di Festou del 1936 nel quale fu correlata, con buoni risultati, la frequenza di produzione di gas con la magnitudine eliocentrica della cometa. Kammerer ha quindi analizzato circa 1000 osservazioni cometarie che includevano 2500 stime di lunghezza caudale, ha eliminato tutte le stime la cui luminosità si scostava in maniera netta dal corpo principale delle altre ed ha infine scelto per il passo finale 210 stime riguardanti 36 comete. Per fare questo ha sempre supposto che la coda puntasse in direzione antisolare. La (1) è quindi una formula da usare con molta cautela e lecitata per la coda di plasma, in cui gli ioni ed elettroni della chioma sono spinti dal vento solare ad altissima velocità, in direzione pressoché opposta al Sole. Ciò non accade per la coda di polvere, che si forma a causa della pressione che la radiazione solare esercita sulle particelle di polvere liberatesi dal nucleo cometario. Tali piccoli corpi, una volta

allontanatisi dalla chioma anch'essi in direzione opposta al Sole, trovandosi su di un'orbita esterna più lunga rispetto a quella della cometa, poco a poco indietreggiano relativamente alla linea anti-

solare, formando una coda arcuata che nel caso della Hale Bopp è risultata ben visibile, di parecchi gradi scostata rispetto alla coda di plasma (vedi figg. 1 e 2).

PR = 51° da nord



Fig. 1 - Immagine della cometa Hale Bopp ripresa vicino all'ammasso M34 la sera del 06/04/97, ore 20:15 TU, dal passo Giau (2233 m slm). Obiettivo 50 mm f/1,8. Posa di 1' su pellicola Scotchchrome 3200 ISO. Si notino la sensibile separazione angolare tra le due code (circa 40°) e la gran quantità di polvere emessa dalla cometa. La direzione antisolare PR è perfettamente allineata al fiammento gassoso prodotto quel giorno dalla cometa, mentre il resto della coda di gas è leggermente indietreggiato rispetto alla linea antisolare (vedi anche fig. 2). Foto dell'autore.

Inoltre la coda di polvere, come ben si è visto per la Hale Bopp, cresce con l'accumularsi della polvere liberata e tende quindi ad aumentare anche quando la cometa, passato il perielio, s'allontana dal Sole e la sua magnitudine eliocentrica diminuisce. È bene chiarire che l'estensione apparente della coda risente molto delle condizioni del cielo e che le previsioni di Kammerer sono riferite a condizioni di cielo ottimali. L'autore mette anche in guardia sull'uso della formula nel caso l'angolo di fase sia prossimo a 0° o vicino ai 180°, in quanto una piccola deviazione della coda dalla direzione antisolare comporta un errore anche consistente sulla lunghezza visuale apparente della coda. Viceversa per angoli

di fase compresi tra 40 e 140°, lo scostamento di qualche grado della coda dalla direzione opposta al Sole comporta piccoli errori. Infine Kammerer sconsiglia l'uso della formula quando la distanza della cometa dal Sole è inferiore a 0,4 UA.

Rappresentazione grafica del problema

Ciò premesso, vediamo ora come dal dato di Kammerer della lunghezza intrinseca della coda si può ricavare la lunghezza della coda in gradi, in pratica la probabile ampiezza dell'angolo con cui essa è visibile dal nostro pianeta e, viceversa, come si può ricavare la lunghezza intrinseca della coda

/ PR = 51° da nord



Fig. 2 - Questa foto è stata scattata il 06/04/97, ore 20:00 TU, dal passo Giau (2233 m slm), pochi minuti prima di quella della figura 1. Obiettivo 135 mm/f3,5. Posa di 3' su pellicola Scotchchrome 3200 ISO. Qui si percepisce meglio il sottile filamento di gas esattamente allineato alla linea antisolare. Foto dell'autore.

partendo dal dato, stavolta reale, dell'osservazione visuale della stessa. Ottenere questi dati è abbastanza semplice in quanto il problema non implica la conoscenza della trigonometria sferica (scienza di cui si fa largo uso in astronomia), ma l'applicazione di due teoremi di trigonometria piana che ci riportano con nostalgia ai tempi delle scuole superiori: il teorema dei seni¹ e quello del coseno² [2].

Nel disegno di Fig. 3, S rappresenta il Sole, T la Terra, C la Cometa e F la fine della coda della Cometa. La lunghezza della coda che s'ottiene con la formula di Kammerer è quindi rappresentata dal segmento CF, in quanto si suppone che la coda di gas spinta dal vento solare si allunghi, come detto, esattamente dalla parte opposta alla direzione Sole Cometa SC.

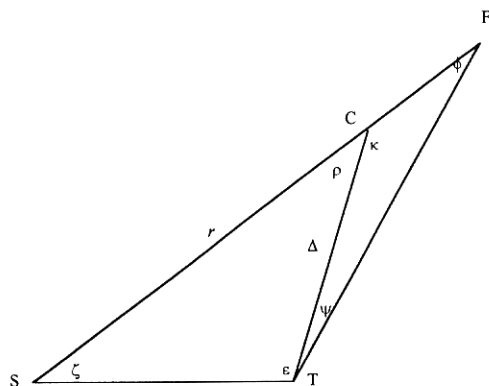


Fig. 3 - Schema relativo alla rappresentazione spaziale di una coda cometaria rispetto al Sole e alla Terra.

¹ Il teorema dei seni fu opera del francese Levi ben Gerson (1288-1344). Questo illustre contemporaneo di Dante, chiamato anche Léon de Bagnols Gersonide perché nato a Bagnols, era, oltreché matematico, anche filosofo e letterato. Per molti anni il teorema dei seni fu erroneamente attribuito al Regiomontano (vedi nota 5). A Levi ben Gerson è anche dovuto il primo libretto di trigonometria apparso in Europa (1321). Da questo scritto che comprendeva il calcolo di una tavola dei seni, egli trasse l'ispirazione per le sue *Tavole dei moti lunari*. Il francese fu anche il primo ad accorgersi del piccolissimo spostamento dei perielii dei pianeti.

² Ad un altro francese, François Viète (1540-1603), si deve invece il teorema del coseno, detto impropriamente del Carnot. Contemporaneo di Tycho Brahe (1546-1601), Viète pubblicò il teorema nel suo scritto *Variorum de rebus mathematicis responsorum lib. VIII*, 1593, assieme al teorema delle proiezioni (da un teorema è facile derivare l'altro), che è invece opera del grande astronomo danese.

La lunghezza della coda in gradi, visibile dal nostro pianeta, è invece data dall'angolo CTF. Per trovarne il valore bisogna partire dai dati noti che normalmente si possono reperire sulle riviste specializzate, su Internet o in uno dei tanti programmi che calcolano le effemeridi di una cometa.

Tali dati sono:

l'elongazione, in altre parole l'angolo STC, contrassegnato dalla lettera e ,

la distanza Terra Sole TS,

la distanza Cometa Sole CS, denominata r ;

a volte, ma non sempre, vengono forniti anche:

l'angolo di fase SCT, chiamato ρ ,

la distanza Terra Cometa TC.

Calcolo dell'angolo di fase ρ e della distanza Terra-Cometa TC

Vediamo dapprima come si possono calcolare questi ultimi due dati nel caso non siano forniti. Nel triangolo STC è possibile calcolare l'angolo in C (angolo di fase ρ), usando il teorema dei seni.

Infatti:

$$\frac{TS}{\sin \rho} = \frac{r}{\sin e}$$

da cui:

$$\sin \rho = \frac{TS}{r} \times \sin e \quad (3)$$

Il risultato dà il seno dell'angolo ρ . Per trovare l'angolo basta ricavare l'arcoseno di ρ , ponendo attenzione all'ambiguità di tale risultato, verificando in quale quadrante trigonometrico si trovi l'angolo ρ .³

Si può calcolare ora calcolare l'angolo CST (z), dato da:

$$\zeta = 180 - \rho - e \quad (4)$$

che permette di ricavare la distanza Terra Cometa TC (Δ), sempre con il teorema dei seni.

Infatti:

$$\frac{\Delta}{\sin \zeta} = \frac{r}{\sin e}$$

da cui:

$$\Delta = \frac{r}{\sin e} \times \sin \zeta \quad (5)$$

Calcolo previsto dell'ampiezza apparente della coda

Ora si può ricavare l'angolo CTF (Ψ), ovvero la prevista ampiezza visuale della coda in gradi. Conoscendo l'angolo ρ si conosce anche il suo supplementare κ che è:

$$\kappa = 180 - \rho \quad (6)$$

Si consideri ora il triangolo FCT; con il teorema di Viète si può ricavare il lato TF:

$$TF^2 = \Delta^2 + CF^2 - 2 \cos \kappa \times CF \times \Delta \quad (7)$$

Applicando un'altra volta il teorema dei seni si ricava ora l'angolo Ψ . Vediamo come:

$$\frac{TC}{\sin \kappa} = \frac{CF}{\sin \Psi}$$

da cui:

$$\sin \Psi = \frac{CF}{TF} \times \sin \kappa \quad (8)$$

d'onde, tramite l'arcoseno si risale facilmente all'angolo Ψ .⁵

³ E' questo l'ultimo dei quattro casi di risolubilità dei triangoli, e presuppone la conoscenza di due lati e dell'angolo opposto ad uno di essi. Il problema è ambiguo e può avere due soluzioni quando l'angolo conosciuto è acuto ed il suo lato opposto è inferiore all'altro lato (nel nostro caso se $e < 90^\circ$ e $r < TS$).

⁴ Il valore di CF ottenuto dalla formula di Kammerer è espresso in milioni di chilometri. L'unità di misura per tutte le altre distanze (Terra-Sole, Cometa-Sole, Cometa-Terra) è invece l'Unità Astronomica UA. Per semplificare i calcoli conviene pertanto trasformare anche il valore di CF in UA.

⁵ Il caso è analogo a quello della nota 3 ma qui l'ambiguità è improbabile in quanto si verifica solo in concomitanza ad una coda apparente superiore a 90° . Il calcolo della lunghezza apparente della coda si può ricavare anche in altra maniera (e senza ambiguità), considerando il primo caso di risolubilità dei triangoli (due lati e l'angolo compreso) ed usando, al posto della (7) e della (8) la seguente formula:

$$\tan \frac{1}{2} (\phi - \psi) = \frac{TC - CF}{TC + CF} \times \tan \left(90 - \frac{1}{2} \kappa \right)$$

Questa equazione deriva dal teorema delle tangenti che fu opera del danese Thomas Finck. Questi fu anche il primo ad introdurre la parola tangente (prima si chiamava *umbra recta* per il suo grande uso nell'arte di tracciare quadranti ed orologi solari), mentre la prima tavola di tangenti (detta dall'autore *tabula foecunda*) fu opera del Regiomontano (Johann Müller di Königsberg) che fu anche autore nel 1533 di *De Triangulis omnia modis libri quinque*, il primo importante trattato di trigonometria apparso nel nostro continente (quello di Levi ben Gerson - vedi nota 1 - era un trattatello).

Calcolo della lunghezza intrinseca della coda

Conoscendo la lunghezza della coda in gradi (angolo Ψ) è invece assai più facile risalire all'esatto valore della lunghezza intrinseca della coda della cometa. Infatti, sempre dal teorema dei seni:

$$\frac{TC}{\sin \phi} = \frac{CF}{\sin \psi}$$

dove l'angolo ϕ si ricava dal teorema dell'angolo esterno ed è dato da:

$$\phi = \rho - \psi \quad (9)$$

per cui:

$$CF = \frac{TC \times \sin \psi}{\sin (\rho - \psi)} \quad (10)$$

Come detto all'inizio, il dato che si ricava da quest'ultima formula (10) della lunghezza intrinseca della coda della cometa, è un dato abbastanza preciso in quanto parte da un dato osservativo reale, quale è appunto la lunghezza della coda in gradi che ognuno di noi può osservare. L'errore che si può commettere riguarda la deviazione che la coda può avere rispetto alla direzione antisolare; esso è di lieve entità purché, come suggerito da Kammerer, l'angolo di fase sia compreso tra i 40 e 140°, oppure la cometa non sia molto vicina alla Terra, come spiegato in seguito.

Confronto tra i dati previsti e quelli rilevati per le comete Hyakutake e Hale Bopp

Il passaggio delle due ultime comete è stato un utile banco di prova per valutare la validità del lavoro dell'astrofilo tedesco. Nella tab. 1 sono indicate, per diverse date, le stime di lunghezza caudale ottenute usando l'algoritmo di Kammerer confrontate con la lunghezza visuale reale delle code cometarie. Per le stime di previsione sono stati usati i parametri fotometrici pubblicati sulle *Newsletter* della British Astronomical Association [3, 4], che sono per la cometa Hyakutake $H=5,4$ ed $n=3,2$ e per la Hale Bopp $H=-0,5$ ed $n=2,88$. I dati osservati sono invece stati presi per la Hyakutake dal rapporto osservativo pubblicato da questa rivista [5], mentre per la Hale Bopp sono state riportate le stime di Alessandro Dimai [6] che, avendo sempre osservato da quote elevate, ha potuto godere di cieli particolarmente buoni (come suggerito da Kammerer).

Come si vede, per la Hyakutake i dati rilevati sono molto vicini alle stime, ad esclusione dell'osservazione del 25 marzo 1996, coincidente con il passaggio ravvicinato della cometa alla Terra. Per la Hale Bopp viceversa lo scostamento dalle previsioni è stato costante, essendo sempre del 30-40% più basso rispetto alla stima minima che s'ottiene con Kammerer. Ma sia Hyakutake che Hale Bopp sono state comete singolari e per diversi motivi uniche nel loro genere. Per questo è probabile che gli scostamenti dalle previsioni abbiano una loro logica. Come

Tabella 1

Data	Cometa	Distanza CS (r) in UA	Distanza TC (Δ) in UA	Coda in gradi da Kammerer	Coda in gradi rilevata	Angolo di fase in gradi	Magnitud. eliocentrica He	Log. della lunghezza di coda rilevata
19.03.96	Hyakutake	1.15	0.21	4-6	5	37	5.89	0.71
25.03.96	Hyakutake	1.05	0.10	16-20	42	58	5.56	1.58
30.03.96	Hyakutake	0.94	0.18	16-22	20	103	5.19	0.98
06.04.96	Hyakutake	0.76	0.43	10-14	6	111	4.47	0.84
13.04.96	Hyakutake	0.60	0.65	11-15	13	107	3.60	1.34
19.04.96	Hyakutake	0.45	0.85	15-21	15	97	2.59	1.52
16.02.97	Hale Bopp	1.19	1.71	12-15	8	34	0.05	1.90
07.03.97	Hale Bopp	1.01	1.41	21-25	12	45	-0.46	1.90
16.03.97	Hale Bopp	0.96	1.33	25-29	18	48	-0.64	2.09
30.03.97	Hale Bopp	0.91	1.34	26-30	20	48	-0.79	2.16
06.04.97	Hale Bopp	0.92	1.39	24-28	14	45	-0.77	1.98
10.04.97	Hale Bopp	0.93	1.44	22-26	12	43	-0.74	1.93

scritto nel già citato rapporto osservativo pubblicato su questa rivista, è possibile che la lunga coda sfoggiata dalla Hyakutake durante il flyby sia stata così eclatante a causa dell'anomala vicinanza che ha permesso la visione anche delle parti più deboli della coda di gas, probabilmente non visibili a distanze maggiori. Inoltre, la disconnessione verificatasi nella notte del 24/25 marzo potrebbe aver contribuito a liberare una maggior quantità di gas e, di conseguenza, ad aumentare la lunghezza della coda. Infine la grande vicinanza della Hyakutake potrebbe aver indotto un maggior errore dovuto ad una direzione diversa da quella antisolare della coda di plasma (vedi il riquadro "La Hyakutake nella notte del 24-25 marzo 1996"). Infatti, anche per un angolo di fase ottimale (90°), la grande vicinanza della cometa alla Terra, nel caso di coda deviata verso il nostro pianeta, produce un errore significativo.

Per la Hale Bopp invece la costante sovrastima della lunghezza caudale potrebbe essere dovuta al fatto che la coda si è sempre allungata verso l'ester-

no rispetto alla Terra (l'angolo di fase massimo è stato di 49°) per cui era più difficile percepirne le parti più distanti. Questo particolare non è menzionato nell'articolo di Kammerer, ma può essere che a parità di distanza della cometa una coda rivolta verso la Terra (angolo di fase $>90^\circ$) sia più visibile di una coda rivolta verso la parte opposta (angolo di fase $<90^\circ$).

Nelle ultime due colonne della tabella sono riportati la magnitudine eliocentrica e il logaritmo della lunghezza della coda rilevata. Tali valori sono stati plottati sullo stesso grafico da cui Kammerer ha ricavato la sua formula, ove sembrano inserirsi discretamente, scostandosi di poco dalla retta interpolante (fig. 7).

Concludendo, riteniamo che il lavoro di Kammerer si dimostri come un utile ausilio e che, adoperando la formula con le cautele menzionate e tenendo conto delle indicazioni avute dal passaggio di queste due comete, esso possa essere in futuro impiegato con risultati anche migliori.



PR = $44+180^\circ$ da nord

Fig. 4 - Immagine della cometa Hyakutake scattata il 25/03/96, ore 0:10 TU, dal passo Falzarego (2105 m slm). Obiettivo 50 mm f/1.9. Posa di 10' su pellicola Kodak Ektar 1000. La linea antisolare PR è perfettamente allineata alla parte più consistente della coda di ioni. La ripresa è stata fatta poche ore prima che Hyakutake raggiungesse la minima distanza dalla Terra, poco dopo le ore 7 TU di quel giorno. Foto di R. Nuzzo, F. D'Arsiè e G. Rosolen.

PR = 45° da nord



Fig. 5 - Un'altra foto della cometa Hyakutake ripresa da G. De Donà il 15/04/96, ore 20 TU, dal monte Bondone (1601 m slm). Obiettivo 50 mm f/1,8. Posa di 1' su pellicola Scotchrome 3200 ISO. Anche in questa immagine la direzione antisolare è perfettamente allineata alla coda di gas.

PR = 42° da nord



Fig. 6 - Alessandro Dimai ha digitalizzato un'immagine della cometa Hyakutake scattata il 09/04/96, sovrappo-
nendola ad una della Hale Bopp ripresa nella stessa zona di cielo nello stesso giorno dell'anno successivo (il
09/04/97). La direzione antisolare è ovviamente unica e rispecchia, per entrambe le comete, quanto già detto
nelle didascalie delle foto precedenti.

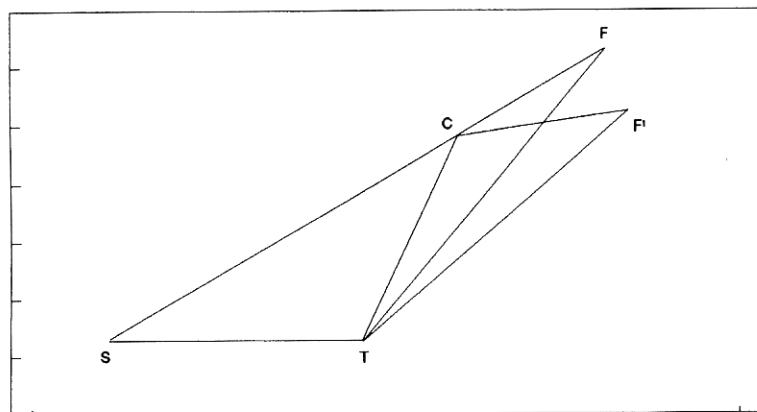
La Hyakutake nella notte del 24-25 marzo 1996

Supposta la coda di plasma in direzione antisolare, dal punto di vista geometrico l'angolo apparente sotteso da un osservatore terrestre non può mai superare l'angolo di fase. Osservando infatti la figura sotto si nota che solo nell'assurda ipotesi di lunghezza caudale infinita TF diverrebbe parallelo a SF e pertanto l'angolo Ψ uguale all'angolo ρ (angoli alterni interni di rette parallele tagliate da trasversale). Eppure il mattino del giorno 25 marzo 1996 la coda della cometa Hyakutake è stata stimata con lunghezze apparenti molto vicine all'angolo di fase, che alle ore 3:00 TU era di 59,14°. Alcuni osservatori d'oltre oceano hanno visto la coda allungarsi addirittura fino a sfiorare i 100°. Nel rapporto osservativo pubblicato da questa rivista [5] sono citate le stime di Milani e Guidolin che dal monte Grappa (msm 1650) osservarono 50° di coda e quelle degli astrofili di Cortina, Conegliano e Feltre che dal passo Falzarego (msm 2105) misurarono (anche se oltre i 40° in maniera "piuttosto evanescente") una coda di 57°. Mentre i 100° visti in America sembrano alquanto improbabili (anche se alle fine della loro notte l'angolo di fase era salito a 64°), le stime degli astrofili italiani possono essere spiegate dal fatto che quella notte (e le successive) la cometa era molto vicina alla Terra.

Come citato nell'articolo, per via della grande vicinanza alla Terra una deviazione verso di noi anche lieve rispetto alla direzione antisolare indurrebbe un sensibile allungamento dell'angolo apparente della coda.

Ma ciò noi possiamo solo supporlo in quanto, se la coda devia verso la Terra, rimane prospetticamente visibile proprio lungo il prolungamento del raggio vettore⁶ e quindi la deviazione non sarebbe verificabile in alcun modo. Nelle foto scattate quella notte (vedi fig. 4) e nelle notti successive (figg. 5 e 6), la coda appare sempre orientata esattamente in direzione antisolare. Ciò rende possibile l'ipotesi, tuttavia la permanenza stabile in direzione antisolare della coda durante tutto il periodo osservativo della cometa, la rende anche poco probabile. Osserviamo comunque la figura e vediamo cosa potrebbe essere successo nel caso di una coda lunga 36 milioni di km deviata verso la Terra di un angolo pari a 10° (che è un valore riscontrato per altre comete).

L'angolo CTF, per CF uguale a 0,24 UA (36 mil. di km), è di 42,48°. L'angolo CTF¹ è facilmente ricavabile in quanto l'angolo TCF¹ è uguale a TCF-FCF¹ e quindi, rimanendo costante CT e ipotizzando CF=CF¹, il triangolo CTF¹ si risolve usando la (7) o la (8) oppure il teorema delle tangenti. La nuova ampiezza apparente che si ricava è di 50,12°, quindi molto vicina ai valori stimati quella notte dagli astrofili italiani.



Data	Ora
25-Mar-96	3:00 TU
Dati del momento:	
Sole-Cometa SC (UA) =	1.046
Sole-Terra ST (UA) =	0.997
Terra-Cometa TC (UA) =	0.102
Angolo di fase SCT (°) =	59.14
Elongazione STC (°) =	115.82
Ipotesi considerata:	
Lunghezza coda CF (UA) =	0.240
Deviazione della coda verso la Terra: angolo FCF ¹ (°) =	10.00
Da cui:	
Ampiezza della coda con CF antisolare: angolo CTF (°) =	42.48
Ampiezza della coda con CF ¹ deviato: angolo CTF ¹ (°) =	50.12

⁶ La direzione antisolare spesso citata in questo articolo è anche chiamata prolungamento del raggio vettore (PR). Essa è calcolabile con precisione usando la seguente formula:

$$\tan PR = \frac{-\sin(\alpha - \alpha^1)}{\cos \delta \times \tan \delta^1 - \sin \delta \times \cos(\alpha - \alpha^1)}$$

[7] dove α e δ indicano le coordinate equatoriali celesti (Ascensione Retta e declinazione) della cometa, mentre α^1 e δ^1 indicano le stesse per il Sole. L'angolo che si ricava va misurato in senso antiorario partendo da nord.

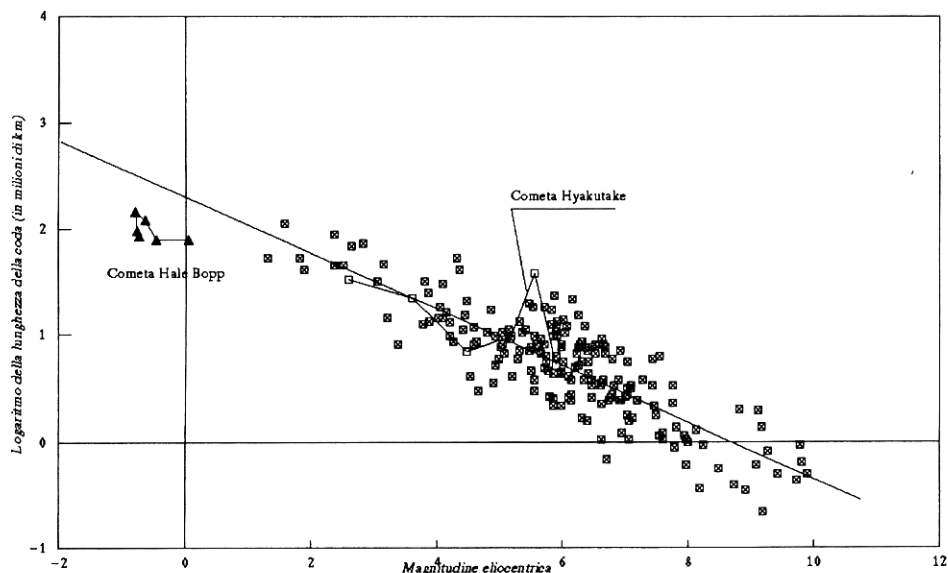


Fig. 7 - Il grafico è una riproduzione della fig. 4b del lavoro di Kammerer [1] dal quale è stata ricavata la formula definitiva (1). In esso sono stati plottati i valori della magnitudine eliocentrica e del logaritmo della lunghezza della coda (in milioni di km) per le comete Hyakutake ed Hale Bopp, per le date di cui alla Tabella 1.

BIBLIOGRAFIA:

- [1]. Kammerer, A., *Int. Comet Q.*, 16, 144-148 (1994).
- [2]. Forti, U., *Trigonometria* (Zanichelli, Bologna 1962).
- [3]. *Baa Comet Section Newsletter*, Vol. 3 n. 2, 13 (1996).
- [4]. *Baa Comet Section Newsletter*, Vol. 4 n. 1, 8-9 (1997).
- [5]. D'Arsiè, F., Dimai, A., Guidolin, E., Milani, G., Nuzzo, R., Rosolen, G., Varin, G., *Asir. UAI*, 3, 4-12 (1996).
- [6]. A. Dimai. *Comunicazione personale*.
- [7]. G. Milani. *Comunicazione personale*.