

L'algoritmo di Larson-Sekanina: applicazioni sulla chioma della C/1996 B2 (Hyakutake)

1. introduzione

L'intento principale di questo lavoro è stato quello di testare e sviluppare delle tecniche d'osservazione cometarie con il CCD.

Come facilmente si poteva prevedere, già da qualche anno la camera CCD, date le sue caratteristiche particolarmente vantaggiose, è diventata anche per gli astronomi dilettanti italiani lo strumento principale d'osservazione.

Dopo i primi tempi trascorsi a "giocare" con le incredibili prestazioni di questo dispositivo elettronico, era necessario iniziare una ricerca sistematica delle tecniche di ripresa e di elaborazione utili non solo a fare dell'imaging, come purtroppo spesso si limita l'astrofilo, ma anche e soprattutto finalizzate a produrre dei dati quantitativi dalle immagini CCD: il nostro obiettivo è dare all'astronomo dilettante i mezzi sia teorici che pratici per realizzare questo salto di qualità.

Un'ottima occasione per la messa a punto delle tecniche d'osservazione cometarie con il CCD l'ha data il passaggio ravvicinato della cometa Hyakutake.

Quando una cometa passa a sole 0.1 U.A. dalla Terra si ha l'opportunità di osservare in maniera molto dettagliata dei particolari interni alla chioma che sono il prodotto diretto dell'emissione di polveri e gas dal nucleo ed in genere sono indicati come aloni, jet, fontane, archi, ecc. (Favero 1995).

Le fotografie, anche ad alta risoluzione, ben difficilmente possono evidenziare questi particolari poiché i lunghi tempi d'esposizione finiscono per sovraesporre la zona del nucleo e della chioma; d'altro canto le osservazioni visuali sono molto più dettagliate grazie alle capacità dell'occhio umano ma hanno il grosso difetto di essere troppo soggettive e dipendenti dalle condizioni ambientali e strumentali. Solo di recente con l'utilizzo del CCD e di alcune tecniche dell'elaborazione digitale delle immagini astronomiche queste difficoltà sono state in parte superate (Buil 1991).

L'interesse nelle osservazioni dei particolari delle chiome delle comete è particolarmente aumentato da quando è stato dimostrato che le strutture della chioma contengono informazioni sul vettore di spin del nucleo (Whipple 1982) con importanti conseguenze per lo studio della dinamica di questi oggetti celesti.

2. le osservazioni della c/1996 b2 Hyakutake

Il telescopio di Cavezzo è attualmente configurato in modo ottimale per la ricerca sistematica di asteroidi e per i rilievi astrometrici degli stessi. Come procedura comune interna, per ogni sessione osservativa viene memorizzato un file (in lingua inglese poiché viene allegato anche a tutte le comunicazioni con osservatori stranieri) che contiene i dati essenziali di configurazione delle ottiche e del CCD; la Tab. 1 mostra le caratteristiche osservative comuni a tutte le serate prese in considerazione per la Hyakutake.

Vista l'alta velocità della cometa nei giorni del massimo avvicinamento alla Terra (v. Tab. 2) e data al momento l'impossibilità di inseguire sui due assi in modo differenziato, si è stabilito un valore massimo di esposizione per la componente di velocità in declinazione mentre si è completamente compensato il moto in A.R. regolando la velocità del motore passo-passo dell'inseguimento.

Per aumentare la risoluzione avremmo dovuto utilizzare la focale piena del telescopio (2210 mm.) ma questa non avrebbe consentito un tempo d'esposizione sufficientemente lungo per sfruttare tutta la dinamica della camera CCD.

Non è stato possibile inoltre calibrare fotometricamente le immagini poiché delle difficoltà di dialogo tra il software di acquisizione e quello di ricerca automatica di pianetini (che veniva utilizzato nelle stesse sere per una serie di test), hanno modificato i parametri di gain e di offset della camera CCD senza che l'operatore vi potesse intervenire.

Ma il vero ostacolo all'acquisizione delle immagini è stato il maltempo: proprio nelle serate di massimo avvicinamento alla Terra, la Pianura Padana era immersa in una fitta cortina di nubi, mentre le quattro serate considerate in questo lavoro per l'esame delle strutture più interne della chioma, sono state una vera e propria corsa all'ultimo squarcio di sereno nel cielo.

Tabella 1. Configurazione del telescopio e del CCD

LOCATION	Observatory "G. Montanari" of Cavezzo (MO) ITALY
Longitude	11 00' 11" E
Latitude	44 51' 47" N
H.s.l.	18 m
I.A.U. code	107
TELESCOPE	400 mm. F/3.6 (with focal reducer)
F.L.	1440 mm
Theoric Resolution	0.3 arcsec
Filter	none
CCD CAMERA	ERG-110
A/D Resolution	16 bit
Temperature	-30 deg
Offset	0
Gain	2
CHIP	Thompson 7863 (384 x 288)
Size	8.832 x 6.624 mm
Pixels	23 square micron
Thermal Noise	70 e- (25 deg)
Pixel Capacity	200000 e-
Field	21.1' x 15.8'
Linear Scale	143.2 arcsec/mm
Plate Scale	3.3 arcsec/pixel

3. il trattamento delle immagini

I frame utilizzati per questa analisi sono quelli del 19, 21, 28, 29 Marzo riportati nella Tab. 2.

Nella stessa tabella sono riportati il moto apparente in AR. (D a) e in declinazione (D d), il numero dei frame acquisiti nella serata (**Frames**), il tempo d'esposizione comune utilizzato (**Exp.**) in secondi, le distanze geocentriche (**Delta**) ed eliocentriche (**Raggio**) e la scala in Km/pixel (**Scala**).

Tutti i calcoli corrispondono alla data in T.U. indicata in tabella la quale a sua volta corrisponde al tempo medio della prima esposizione della serata.

Su tutte le immagini è stato ovviamente eseguito il solito pre-processing con la sottrazione dei dark-frame e la divisione dei flat-field.

Il programma da noi utilizzato (MiPS di C. Buil) è a questo proposito ideale in quanto permette la creazione di macro comandi o addirittura di piccoli programmi con un linguaggio residente del tutto simile ad un BASIC molto semplificato; questo riduce parecchio i tempi di pre-processing anche nel caso di grosse quantità di immagini da trattare.

Mese	Giorno (T.U.)*	Frames	Exp. (sec.)	Delta (U.A.)	Raggio (U.A.)	D a "/min	D d "/min	Scala (Km/pixel)
Feb.	25.14210	24	180	0,98372	1,60274	0,3	0,4	2354
Mar.	3.02078	12	180	0.75305	1.47847	0,3	0,7	1802
	6.04021	13	180	0.65219	1.42246	0,2	1	1561
	19.04134	13	25	0.23161	1.17065	-0.4	8,6	554
	21.00024	36	25	0.17501	1.13094	-0,8	15,2	419
	28.80429	30	10	0.15100	0.96722	-12,4	-20,6	362
	29.80208	11	10	0.17717	0.94555	-4,9	-15,1	424
Apr.	6.81809	10	10	0.42206	0.76537	-0,6	-2,9	1010
	7.79546	20	20	0.45361	0.74235	-0,6	-2,5	1086
	9.80242	20	10	0.51799	0.69504	-0,6	-2,1	1240
	10.80336	15	20	0.55033	0.67108	-0,6	-1,9	1317
	12.79281	20	20	0.61487	0.62288	-0,6	-1,7	1472
	14.78932	20	20	0.68069	0.57320	-0,7	-1,6	1629

* E' indicato l'istante medio della prima esposizione della serie.

Una utility utilizzata prima del pre-processing ed espressamente creata per noi in assembler da A.Salmaso del Gruppo Astrofili di Padova, si dedicava esclusivamente alla conversione del formato proprietario della camera CCD nel formato PIC utilizzato da MiPS e contemporaneamente orientava per una corretta visualizzazione le immagini con il Nord in alto e l'Est a sinistra.

A questo punto per evitare la manipolazione di file molto grandi, dalle immagini originali pretrattate sono stati ritagliati dei frame quadrati nell'intorno della chioma di 180x180 pixel centrati perfettamente sul nucleo.

Il nostro lavoro si è per il momento concentrato sull'analisi delle quattro serate corrispondenti al periodo di massimo avvicinamento della cometa alla Terra: il 19, il 21, il 28 e il 29 Marzo, con una risoluzione massima di 362 Km/pixel corrispondenti alla serata del 28.

La nostra prima preoccupazione è stata quella di ottenere una visione complessiva costruendo quattro immagini con un tempo di integrazione comune di 100 secondi disponibili per tutte e quattro

le serate e quindi visualizzate con le stesse soglie di visualizzazione (soglia alta = 32767, soglia bassa = 0): dal risultato mostrato in Fig. 1 si possono fare le seguenti considerazioni: la sera del 19 la cometa appare praticamente invisibile rispetto alle altre serate; questo da un'idea dell'enorme aumento di luminosità subito dalla cometa nell'intervallo di tempo considerato ma anche, come confermato dalle note del nostro registro delle osservazioni, che quella notte il cielo appariva particolarmente velato e quindi non ha permesso di ottenere immagini di buona qualità.

Come vedremo, anche se per completezza manterremo nelle nostre analisi la presenza di questa serata, essa sarà purtroppo di scarsa utilità.

Un'altra osservazione da fare riguarda l'immagine del 29: quella sera infatti si tentò di riprendere un'immagine a largo campo della cometa con la tecnica del mosaico: durante le esposizioni la chioma era perciò sempre posizionata su uno dei quattro angoli del CCD; ciò spiega i contorni vignettati nella composizione centrata sul falso nucleo della cometa. L'area intorno alla chioma di nostro interesse non è comunque stata compromessa ed è perfettamente utilizzabile anche per le analisi successive.

I quattro frame con lo stesso tempo d'integrazione permettono una prima analisi morfologica della chioma nelle stesse condizioni di visibilità (fatta eccezione come detto per l'immagine del 19): è evidente il forte aumento di luminosità che intercorre tra il 21 ed il 28 marzo; è altresì reso visibile il differente orientamento dello sviluppo della chioma: il 21 ha uno sviluppo debolmente orientato verso ovest (P.A.=270°) mentre il 28 si sviluppa verso nord-est (P.A.= 45°): questo fenomeno prospettico è causato dalla rotazione di circa 145° del vettore Terra-Cometa nell'intervallo compreso tra le due date. (Ricordiamo che l'angolo di posizione P.A. si misura da nord verso est e quindi in senso antiorario);(S.J. Edberg 1985).

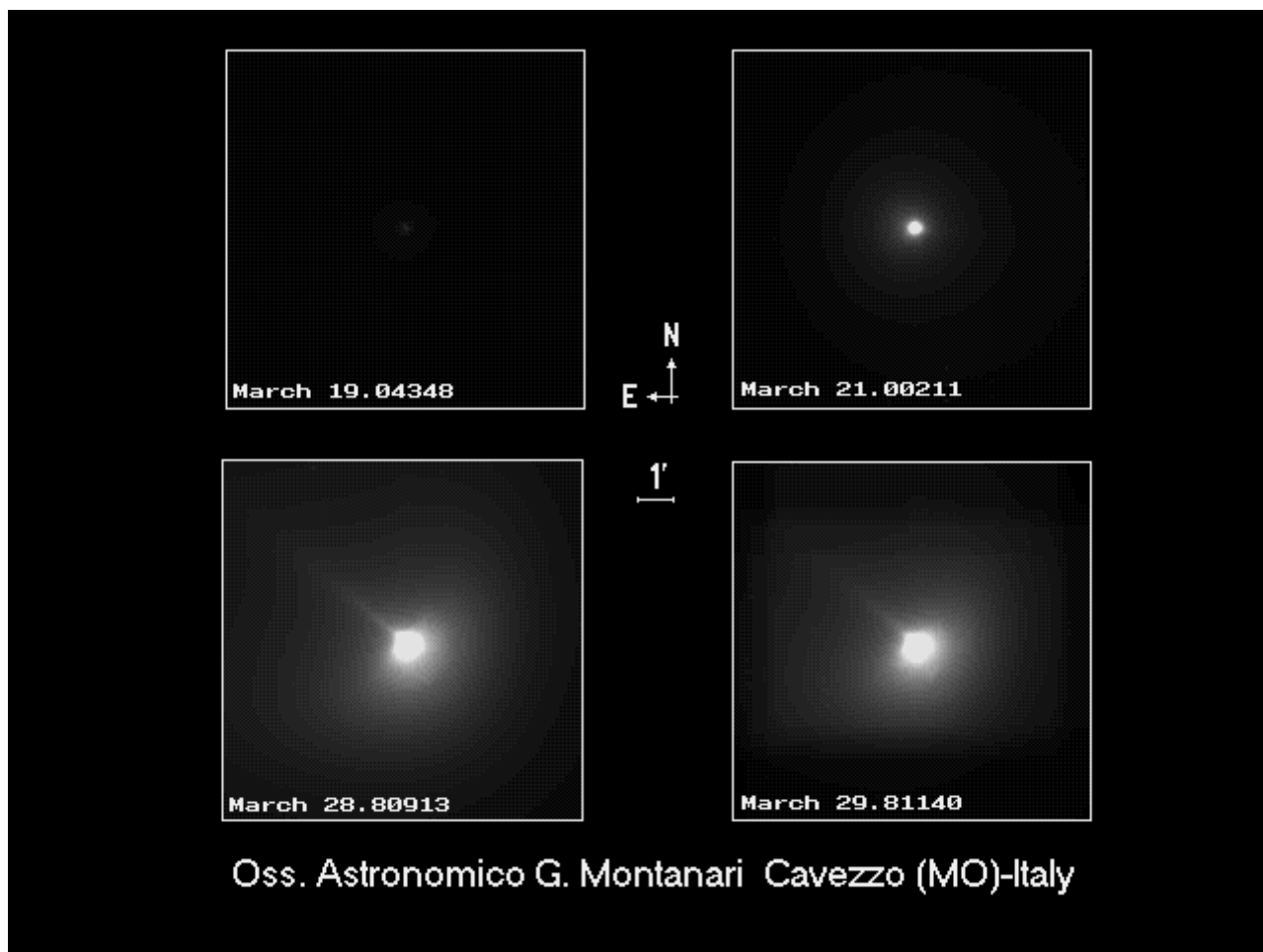


Fig 1. Le immagini della C/1996 B2 (Hyakutake) analizzate nell'articolo. Ogni frame ha lo stesso tempo di integrazione (100 secondi). La data in T.U. indicata corrisponde al tempo medio dell'intervallo d'esposizione

Utilizzando le stesse soglie di visualizzazione per tutte e quattro le serate, la sera del 19 la cometa appare praticamente invisibile, sintomo anche di non adeguate condizioni di trasparenza del cielo.

Queste prime quattro elaborazioni ci hanno fornito una prima visione oggettiva della qualità delle immagini; ora prima di procedere con l'analisi e con l'utilizzo dell'algoritmo di Larson-Sekanina, dobbiamo essere in grado di sfruttare a pieno la dinamica di tutti i frame ripresi per ciascuna serata.

Una tecnica che utilizziamo tutte le volte che la somma di immagini arriva a superare la dinamica effettiva del convertitore (16 bit ma, dopo la conversione al formato PIC proprietario del programma di Buil, ne utilizziamo solo 15 da 0 a 32767 ADU), è quella di eseguire per ogni immagine da sommare una conversione logaritmica tale che l'immagine finale non arrivi mai a superare in qualsiasi pixel il valore massimo di 32767.

Si ottengono così delle immagini (che chiamiamo "master frame") che per ogni serata rappresentano tutti i singoli frame ripresi e quindi utilizzano nella visualizzazione la massima dinamica disponibile (Fig. 2).

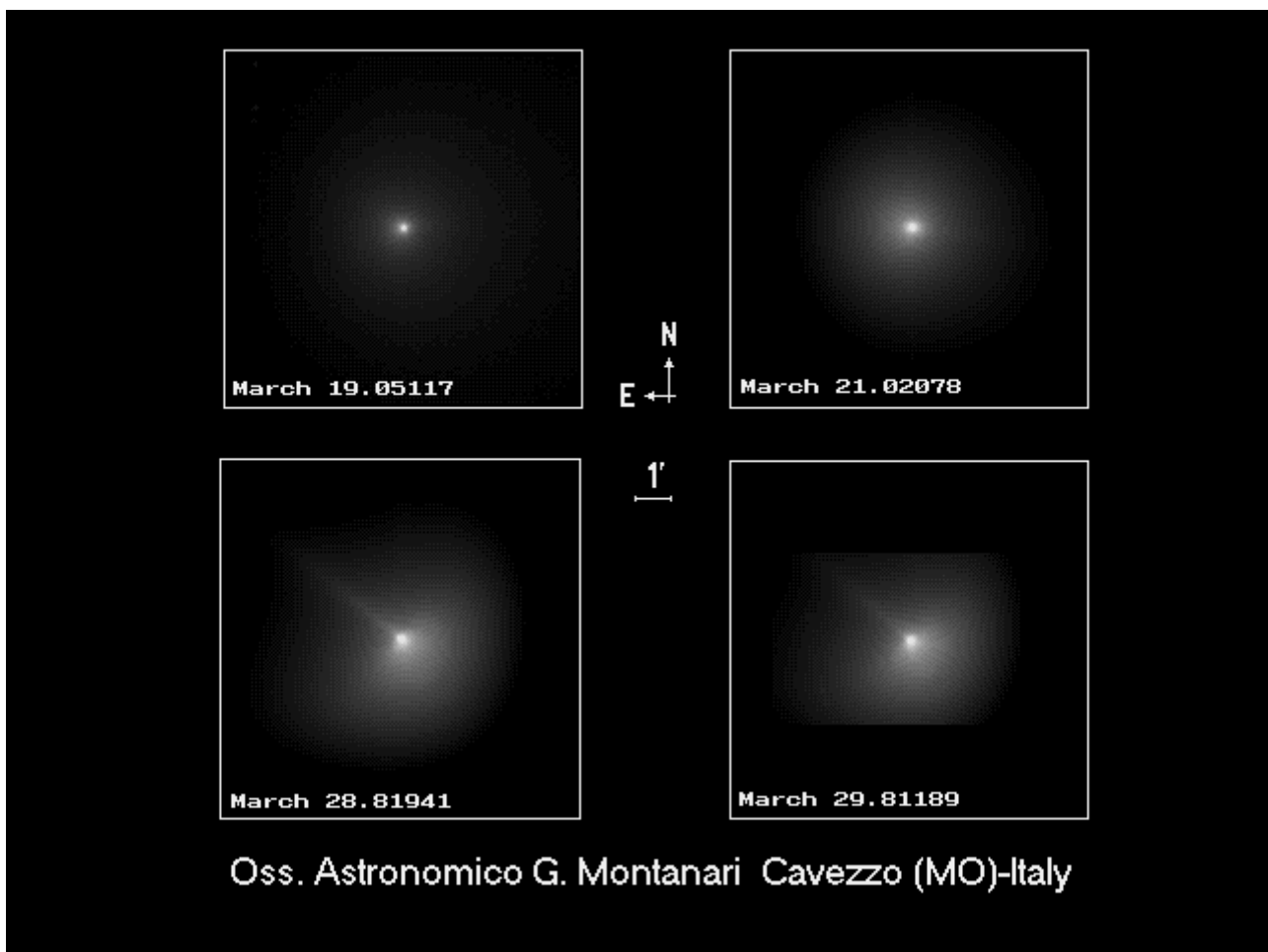


Fig 2. Dopo avere eseguito un rescaling logaritmico su ogni frame disponibile e dopo averli sommati per ciascuna serata, si ottengono questi 4 "master" frame che utilizzano tutta la dinamica disponibile dai 15 bit. Anche in questo caso la data in T.U. indicata corrisponde al tempo medio dell'intervallo d'esposizione. Questa volta però il tempo totale d'integrazione è di 325 sec. per il 19/3, 900 sec. il 21/3, 300 sec. il 28/3 e 110 sec. il 29/3.

4. l'algoritmo di Larson-Sekanina

Questi "master" appena ottenuti, possono finalmente essere utilizzati per degli studi morfologici più dettagliati della chioma e del falso nucleo della cometa.

Una delle tecniche più frequentemente utilizzate è quella di applicare l'algoritmo di Larson-Sekanina, per la prima volta illustrato in un articolo dell'Astronomical Journal (Sekanina Z., Larson S. M. 1984).

Nell'articolo in questione i due ricercatori hanno utilizzato questa tecnica di image-processing su delle lastre ad alta risoluzione della chioma della cometa di Halley riprese da G. W. Ritchey con il riflettore di 152 cm. di Mount Wilson nel Maggio-Giugno del 1910.

Le lastre della Halley vennero digitalizzate con il microdensitometro PDS del Kitt Peak National Observatory in frame di 500x500 pixel di 40 micron, ovvero circa 1 secondo d'arco di risoluzione, e successivamente elaborate.

Già a quei tempi si utilizzavano varie tecniche, come le derivate direzionali dell'intensità luminosa, per evidenziare i particolari meno contrastati della chioma; queste però erano limitate dal fatto che risaltavano le caratteristiche presenti solo nelle direzioni considerate dalle derivate.

Steven M. Larson del Lunar and Planetary Laboratory in Arizona e Zdenek Sekanina del Jet Propulsion Laboratory in California invece misero a punto un algoritmo di image-processing che permetteva l'applicazione delle derivate direzionali dell'intensità luminosa di un'immagine in qualsiasi direzione operando una semplice trasformazione di coordinate.

Come sappiamo una immagine digitalizzata si può rappresentare con una funzione bidimensionale $I(x,y)$ dove ad ogni coordinata discreta x,y rappresentata da un pixel, viene associato un valore di intensità I dato dal valore della conversione analogica-digitale dell'immagine (ADU). Questo come abbiamo detto, riferito in un sistema di coordinate cartesiane con l'origine rappresentata da uno dei quattro pixel posti nei quattro angoli dell'immagine (in genere il primo in basso a sinistra).

Se ci portiamo in un sistema di coordinate polari possiamo scrivere la nostra funzione-immagine come $B(r,\theta)$, dove r è la distanza del punto dall'origine e θ è l'angolo che individua la direzione del punto rispetto all'asse x di riferimento.

L'origine di questo nuovo sistema di coordinate ora non è più il pixel di coordinate (0,0) bensì un pixel generico di nostra scelta che indicheremo con (x_0,y_0) .

Ricordando un pò la trigonometria delle scuole superiori, è facile ricavare le formule di trasformazione dal sistema cartesiano a quello polare (Fig. 3a).

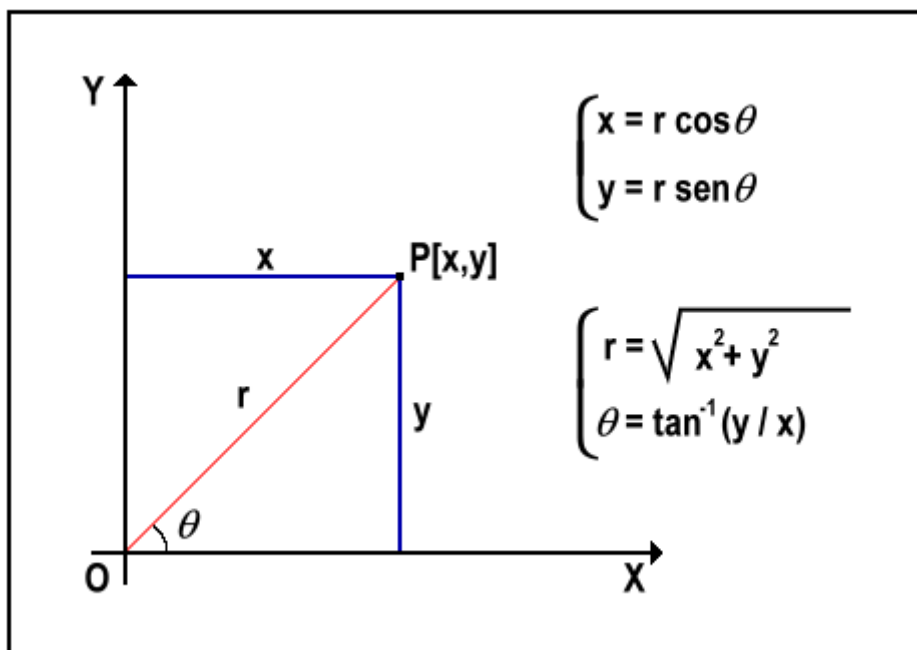


Fig 3a. Formule di trasformazione dei sistemi di coordinate cartesiane e polare

Il sistema di coordinate polari è più conveniente nel caso delle rappresentazioni di oggetti che presentano una simmetria polare come appunto le chiome delle comete.

Se infatti individuiamo il pixel più luminoso nel centro della chioma e presupponiamo che esso coincida con il falso nucleo della cometa, l'immagine digitalizzata la possiamo rappresentare con il nuovo sistema di coordinate $B(r, q)$ con origine nel falso nucleo (x_0, y_0) .

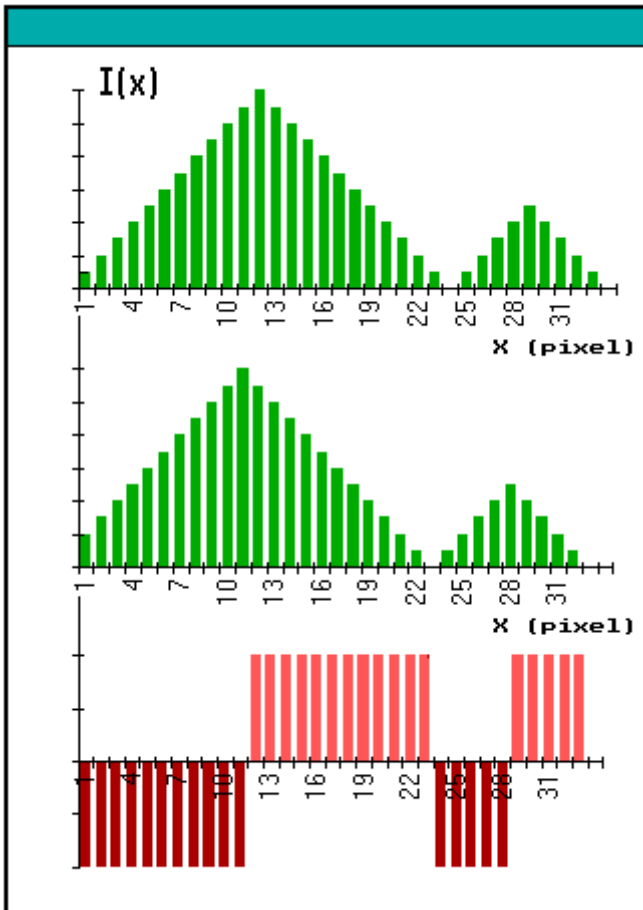
Facendo riferimento a questa rappresentazione, l'algoritmo di Larson-Sekanina si può scrivere come:

$$B'(r, q, Dr, Dq) = 2B(r, q) - B(r - Dr, q + Dq) - B(r - Dr, q - Dq) \quad (4.1)$$

In sostanza dall'immagine originale (ora considerata in coordinate polari) $B(r, q)$, opportunamente duplicata nelle intensità, vengono sottratte due immagini modificate geometricamente: alla prima, rappresentata dal secondo termine del secondo membro della (4.1), viene effettuato uno spostamento radiale $-Dr$ ed uno rotazionale Dq relativamente al centro del sistema di coordinate polari (rappresentato come dicevamo prima dal pixel più luminoso della chioma della cometa ovvero dal falso nucleo); alla seconda viene effettuato uno spostamento radiale della stessa grandezza e direzione ed uno spostamento rotazionale in direzione opposta (terzo termine del secondo membro della (4.1)).

L'immagine risultante sarà una mappa delle variazioni delle intensità luminose avente le zone con un gradiente positivo di luminosità scure mentre quelle con un gradiente negativo saranno visualizzate più chiare.

Per capirne meglio il funzionamento consideriamo per esempio una linea di pixel (Fig.3b in alto) della nostra immagine da trattare nella quale siano presenti due picchi di luminosità: questi picchi possono essere anche molto deboli e non distinguibili con le normali visualizzazioni poiché il contrasto è molto debole ed impercettibile dall'occhio umano. Traslando di un pixel verso sinistra tutta la linea (Fig.3b in mezzo) e sottraendo pixel per pixel i valori delle intensità dal grafico non traslato, otteniamo (Fig.3b in basso) una mappa di chiaroscuri altamente contrastata ed indicativa della presenza di queste deboli variazioni di intensità (in sostanza è un'applicazione del concetto di derivata).



E' chiaro quindi che l'immagine risultante perderà tutte le eventuali informazioni fotometriche presenti nell'originale ma indicherà con precisione le zone che presentano delle variazioni di luminosità anche deboli o nascoste dallo scarso contrasto generalmente presente nell'intorno più luminoso della chioma.

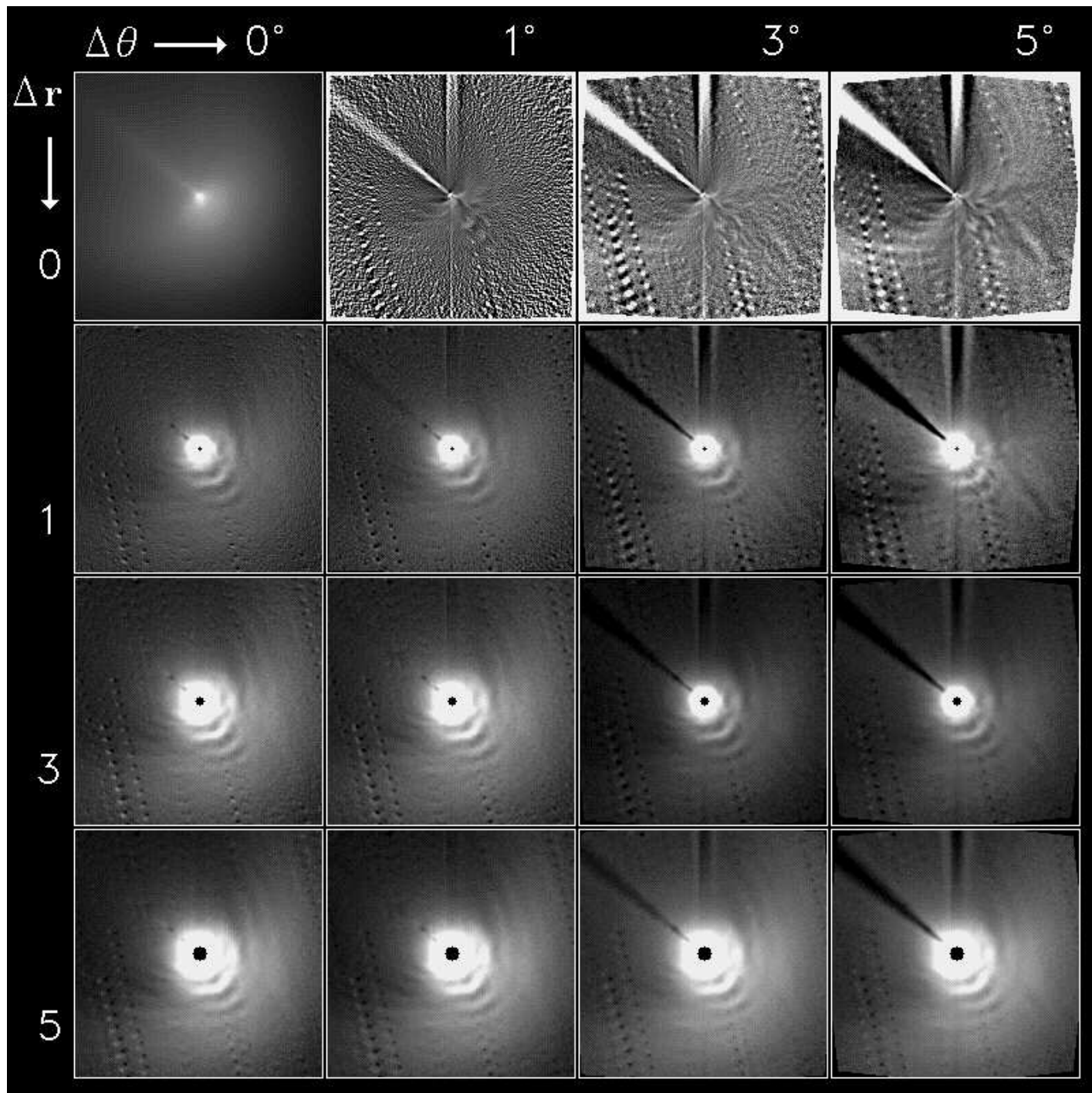
Come si vedrà queste elaborazioni si avvicineranno di molto ai disegni eseguiti dai più esperti osservatori visuali di comete.

Fig. 3b

L'entità degli spostamenti D_r e D_θ viene stabilita empiricamente con delle prove e dipendono in gran parte dall'esperienza dell'analista e dal confronto con l'immagine originale che deve sempre rappresentare un punto di riferimento per l'osservatore; non è difficile infatti incorrere in artefatti che non corrispondono ad alcuna caratteristica morfologica della chioma in esame: in genere questi artefatti sono ben distinguibili in quanto presentano una certa simmetria rispetto all'entità degli spostamenti effettuati.

L'entità di questi spostamenti dipende comunque anche dalla scala dell'immagine ovvero dalla grandezza dei particolari della chioma che si cerca di evidenziare.

Una indicazione di massima la si può ottenere compilando una tabella come quella mostrata in Tav.1.



Tav 1. Gli effetti dell'algoritmo di Larson-Sekanina sul master frame del 28/3/96

Questa tabella mostra gli effetti dell'algoritmo di Larson-Sekanina al variare dei parametri D_r e D_q sul master frame del 28/3/96.

Le righe rappresentano uno spostamento radiale costante D_r contrapposto ad uno spostamento rotazionale variabile D_q .

Al contrario ovviamente le colonne sono a D_q costante e a D_r variabile.

L'immagine non trattata, origine della nostra rappresentazione con $D_r=0$ e $D_q=0$, è la prima in alto a sinistra.

Si possono a questo punto fare le seguenti considerazioni:

1) $D_r=0$.

Per spostamenti radiali D_r nulli (prima riga in alto), modificando il valore di D_q , si aumenta il contrasto di tutti i particolari che hanno un **gradiente angolare** di luminosità rispetto all'origine del nostro sistema polare di coordinate (falso nucleo); i particolari che si evidenziano con questo tipo di spostamento sono in genere i jet e le fontane: è evidente il jet principale di plasma che da origine alla coda di ioni con un P.A. di circa 45° che attraversa tutto il quadrante in alto a sinistra dell'immagine; ancora più interessanti sono i piccoli jet di gas e polveri (v. ingrandimento in Fig.4) che si sviluppano in direzione del Sole e quindi nella parte attiva del nucleo. Questi jet hanno una lunghezza proiettata di circa una dozzina di pixel (≈ 4300 Km) ed un angolo di posizione rispettivamente di 135 , 200 e 270 gradi; gli stessi particolari sono stati osservati anche da C. Buil (AA.VV. 1996) in una serie di immagini che ne mostrano la rapida evoluzione.

Un quarto falso jet (P.A. 180°) è dovuto ad un trascinarsi di cariche causato dalla mancanza di un otturatore nella nostra camera CCD; questo difetto appare ancora più evidente a P.A. 0° sotto forma di un'ampia falsa coda di ioni.

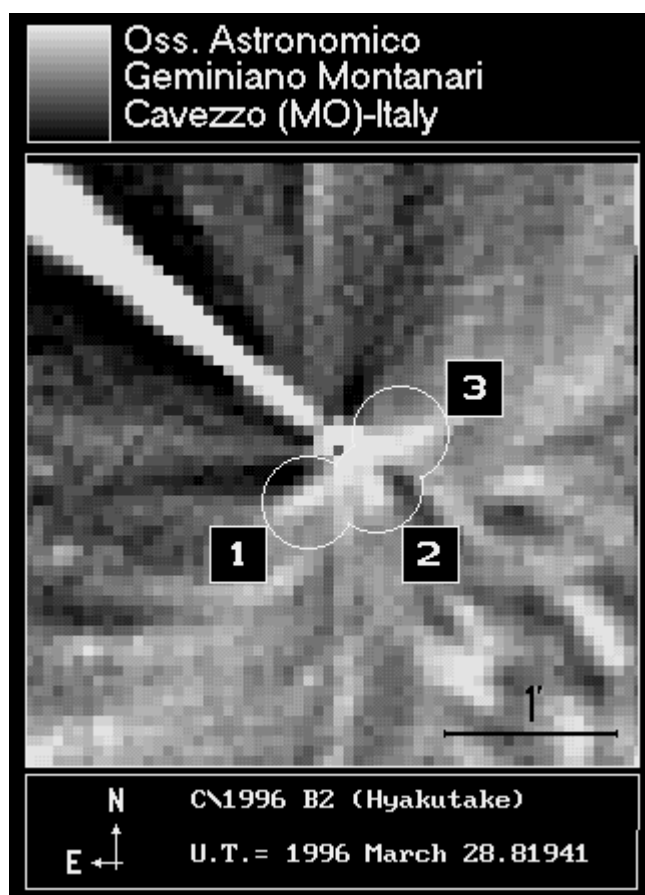


Fig. 4

Elaborazioni di questo tipo si possono facilmente ottenere anche con dei normali programmi di elaborazione grafica non dedicati all'astronomia ma con delle semplici funzioni di moltiplicazione e rotazione delle immagini.

Seguendo infatti la (4.1) con $D r=0$ otteniamo:

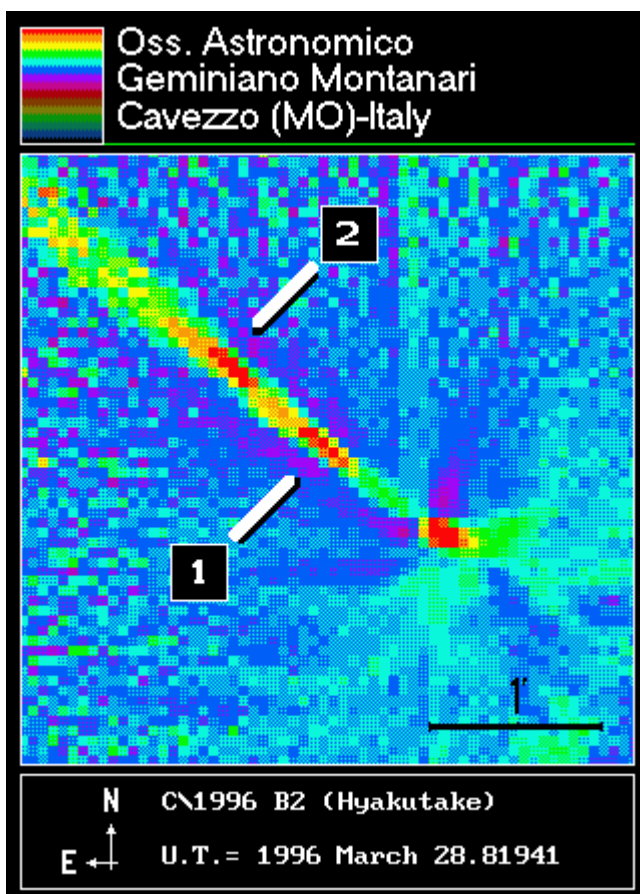
$$B'(r, q, Dq) = 2B(r, q) - B(r, q + Dq) - B(r, q - Dq) \quad (4,2)$$

Si tratta dunque di prendere l'immagine da trattare $B(r,q)$ e raddoppiarne intensità con una semplice moltiplicazione; a questa vanno sottratte due immagini sulle quali si siano effettuate rispettivamente una rotazione di $+D q$ nella prima e $-D q$ nella seconda. Un valore di tentativo abbastanza attendibile è $D q = 3^\circ$; non conviene quasi mai superare i $10 - 15^\circ$. Poiché si tratta di eseguire una rotazione con centro il pixel rappresentante il falso nucleo della cometa, questo procedimento può essere eseguito anche senza la trasformazione in coordinate polari

Molta prudenza va tenuta sulla effettiva presenza di particolari realmente appartenenti alla chioma della cometa e non opera invece di artefatti causati dall'elaborazione: l'algoritmo di Larson-Sekanina aumenta notevolmente il contrasto tra le disuniformità di un'immagine diffusa a scapito della dinamica dell'immagine stessa; inoltre, operando con un sistema di coordinate polari, bisogna sempre sospettare fortemente dei particolari che presentano una certa simmetria o gradienti molto ripidi di luminosità.

Questo appare evidente nel caso della presenza di stelle nel campo: le stelle (o meglio le "strisciate" di stelle causate dalla somma di più esposizioni) sono praticamente invisibili e completamente avvolte nel bagliore della chioma nella immagine non elaborata ma diventano già molto evidenti nella seconda elaborazione con $D q = 3^\circ$, accompagnate però dalle loro due "false ombre" esattamente simmetriche a loro e causate dalla sottrazione delle due immagini ruotate.

L'importanza invece dell'entità del $D q$ da operare in funzione della scala dei fenomeni che si desidera risaltare, appare evidente in Fig.5: in questo caso $D q = 1^\circ$, i jet nel falso nucleo appaiono molto meno contrastati ma risultano ben distinguibili due picchi di intensità luminosa nella coda di ioni ad una distanza (proiettata) dal nucleo di circa 4000 e 9000 Km rispettivamente; questi particolari, che presentano uno spessore radiale dell'ordine di un paio di pixel, risultano completamente invisibili per $D q > 1^\circ$.



Fig, 5

Disconnessioni nella coda di ioni della Hyakutake sono state più volte osservate ma con strumenti ben più potenti del nostro 40 cm. (l'Astronomia n.165, pag.13).

2) $D q = 0$

Per spostamenti rotazionali $D q$ nulli (prima colonna a sinistra), modificando il valore di $D r$, si aumenta il contrasto di tutti i particolari che hanno un **gradiente radiale** di luminosità rispetto al falso nucleo. Essendo nulli gli spostamenti rotazionali, tutti i jet che si protendono radialmente dal nucleo verso l'esterno (particolari che, ripetiamo, hanno un gradiente angolare di luminosità rispetto all'origine del nostro sistema polare di coordinate) non sono più visibili.

Questo tipo di elaborazione permetterà di mettere in evidenza aloni, strutture a spirale e gusci di polvere e gas che compongono gli strati più interni della chioma.

Lo studio di questi particolari è importante per determinare la forma ed il periodo di rotazione del nucleo ed è quindi fondamentale per la conoscenza della dinamica dei nuclei cometari (F.L. Whipple 1982).

F.L. Whipple mise a punto un metodo per determinare il periodo di rotazione dei nuclei cometari ove fosse stato possibile evidenziare i gusci di forma parabolica che avvolgono un nucleo di una cometa (Halo Method): questo metodo però presuppone che vi sia una sola regione attiva del nucleo e che l'osservatore riesca ad ottenere un discreto numero di osservazioni con continuità nell'arco della nottata.

Un po' più difficile è trovare programmi di elaborazione grafica non specifici che permettano di ottenere elaborazioni di questo tipo; dalla (4.1) con $D q = 0$ otteniamo:

$$B'(r, q, Dr) = 2 [B(r, q) - B(r - Dr - q)] \quad (4.3)$$

Le operazioni da fare di per sé sono una semplice traslazione e sottrazione ma vanno eseguite nel sistema polare di coordinate; abbiamo quindi bisogno di un programma che ci permetta di trasformare la nostra immagine cartesiana $I(x,y)$ in polare $B(r,q)$ (Fig. 6), effettuare la traslazione per ottenere l'immagine $B(r-D, r,q)$, sottrarla all'immagine originale trasformata $B(r,q)$ ed infine "antitrasformare" il risultato per ottenere la rappresentazione abituale $I'(x,y)$. Il fattore 2 che compare nella (4.3) in questo caso è un semplice fattore moltiplicativo che influisce solo sulle soglie di visualizzazione dell'immagine finale.

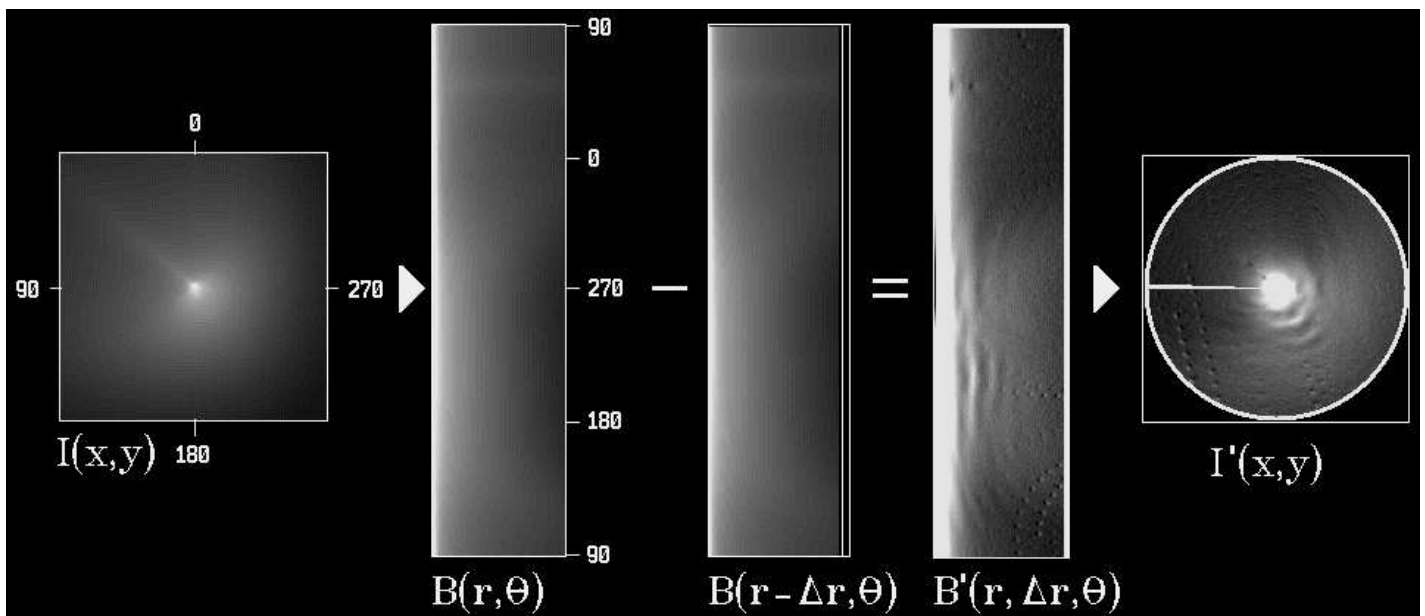


Fig. 6. Algoritmo di Larson Sekanina: applicazione del gradiente radiale al master frame del 28/3/96

(28.81189 T.U.). Si noti che, avendo considerato nella trasformazione polare un raggio pari al semilato del quadrato dell'immagine originale, nell'antitrasformazione non sono più riproducibili gli spigoli dell'immagine.

Anche in questo caso la scala dei fenomeni che sono oggetto di studio è fondamentale per determinare la giusta entità dello spostamento $D r$ da operare sull'immagine originale: come si vede analizzando la Tav. 1 per i $D r$ crescente diventano sempre meno distinguibili i gusci a spirale che

avvolgono il nucleo della cometa e si ingrandisce sempre di più la zona centrale "bruciata" da questo tipo di elaborazione.

Uno spostamento D_r di un solo pixel (Fig. 7) è sufficiente per evidenziare una notevole quantità di strutture nella parte più interna della chioma della Hyakutake.

Si noti inoltre un interessante particolare proprio in corrispondenza dei due picchi di luminosità nel jet principale di ioni già visti in Fig.5 e causato appunto da queste due ripide variazioni del gradiente di luminosità in direzione del jet.

Gli stessi particolari sono visibili nella serata del 29 anche se si nota una minore definizione nei dettagli dovuta al minor tempo d'integrazione e probabilmente anche ad un peggioramento del seeing (Fig.10).

Si noti la ricchezza di dettagli in questa serata con buone condizioni atmosferiche.

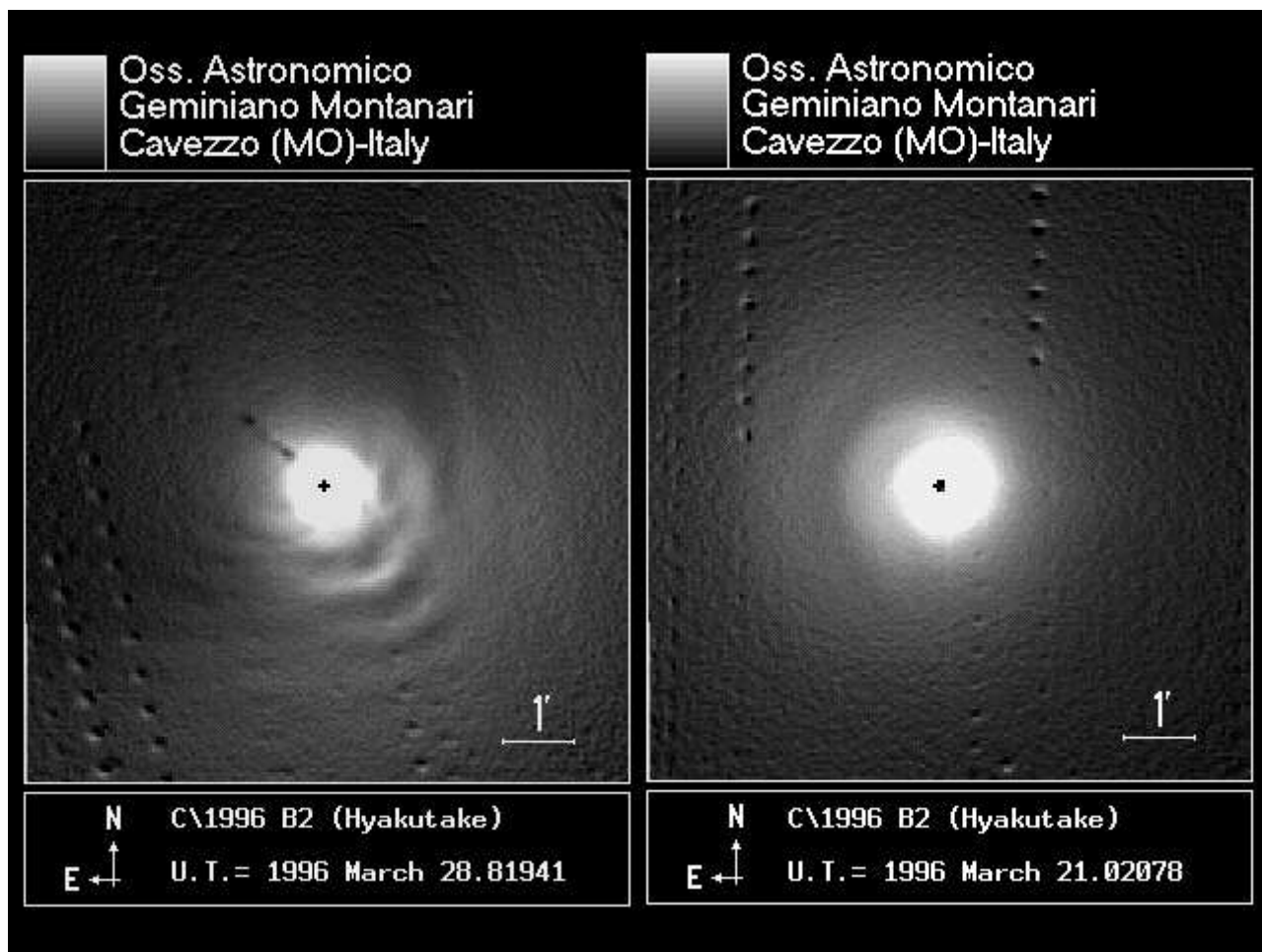


Fig. 7. Applicazione del gradiente radiale al master frame del 28/3/96 con $D_r=1$ e successivamente ingrandito (2x)

Fig. 8. Applicazione del gradiente radiale al master frame del 21/3/96 con $D_r=1$ e successivamente ingrandito (2x)

5. conclusioni

Abbiamo visto come funziona l'algoritmo di Larson-Sekanina con una applicazione sulla chioma della Hyakutake.

Benché il programma MiPS abbia implementato un comando (RGRADIENT) che permette di applicare i gradienti rotazionali e radiali contemporaneamente agendo sui valori D_r e D_q (Tav.1), vista la diversità delle morfologie evidenziate a seconda che si annulli l'uno o l'altro gradiente, è conveniente operare separatamente con i due parametri.

Otteniamo così le Fig. 9 e 10 che mostrano le evoluzioni morfologiche rispettivamente dei jet e dei gusci a spirale per le quattro serate prese in considerazione. In particolare evidenziamo che nella

serata del 21 la rotazione del nucleo appare essere oraria (Fig.8) mentre il 28 è chiaramente antioraria (Fig.7) a conferma di quanto detto precedentemente sulla rotazione del vettore Terra-Cometa; in sostanza è come se noi osservassimo un oggetto in avvicinamento che presenta una rotazione oraria lungo l'asse di visuale; un volta che ci ha superati e ne osserviamo il lato opposto alla direzione del moto, esso ci appare ruotare in senso antiorario.

Le proibitive condizioni meteorologiche e di seeing proprio in corrispondenza del massimo avvicinamento alla Terra della cometa hanno purtroppo compromesso ogni possibilità di ottenere dati osservativi con una certa continuità e soprattutto omogeneità.

Se tra il 20 ed il 30 Marzo ci fosse stata la possibilità di qualche serata serena in più, con ogni probabilità queste tecniche di elaborazione di immagini ci avrebbero permesso di ricavare una stima del periodo di rotazione del nucleo e quindi di confrontarla con quelle di altri osservatori.

Solo la lunga sequenza di immagini ripresa il 28 Marzo ci ha portato a stimare una velocità di espansione dei bracci di polvere della chioma (proiettata alla nostra visuale) di 0,14 Km/s; trattandosi però di un dato unico è relativamente poco significativo.

Non ci stancheremo comunque di sottolineare che l'algoritmo di Larson-Sekanina va applicato con molta cautela poiché possono essere facilmente male interpretati i suoi comportamenti con differenti gradi di risoluzione strumentale combinati con la variazione dei parametri D_r e D_q : a questo proposito stiamo preparando una serie di test con dei modelli matematici di chiome cometarie che ci permettano di definire inequivocabilmente i limiti di impiego di questo algoritmo.

Si possono perciò aprire nuovi fronti di indagine proprio con l'apporto di quei (spero) numerosi lettori che si potranno dilettere ad applicare questa tecnica di elaborazione di immagini con differenti configurazioni strumentali.

E' importante comunque non lasciarsi trascinare mai dalle meraviglie dell'elettronica digitale senza ricercare nel contempo un riscontro "fisico" di ciò che si sta osservando o almeno una conferma anche indiretta da parte di qualche altro osservatore che abbia utilizzato tecniche o strumentazioni più potenti.

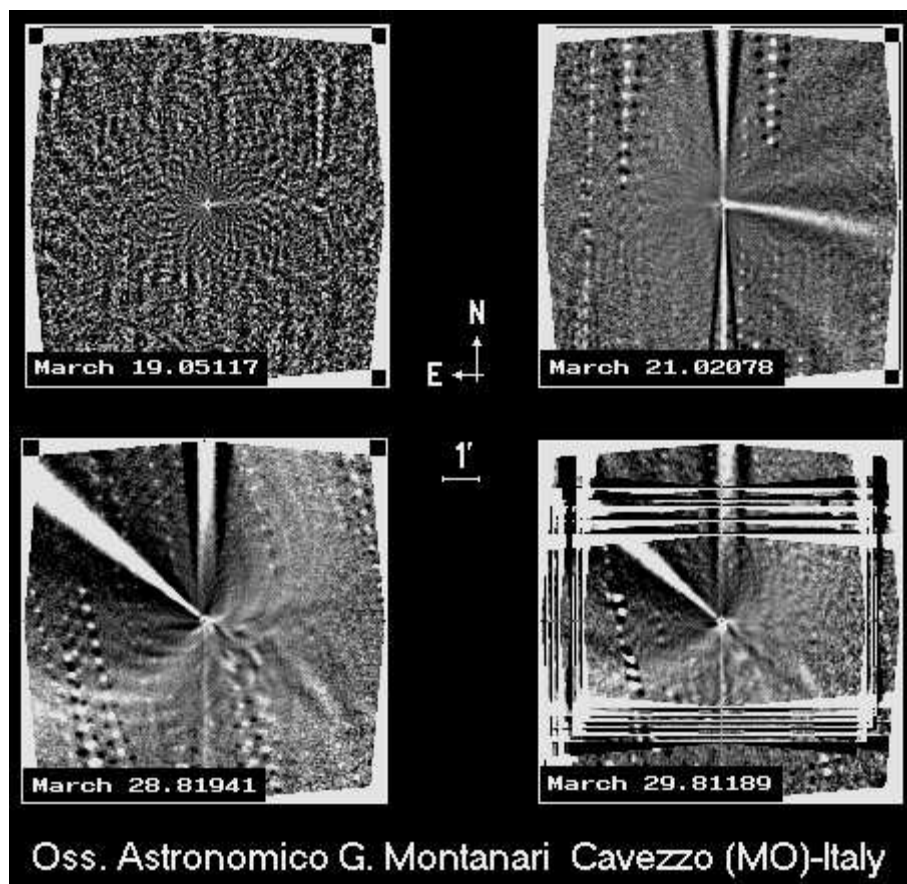


Fig. 9. Applicazione del gradiente rotazionale con $D_q = 5$ ai 4 master frame considerati nell'articolo. Si noti ancora la scarsa definizione nella serata del 19. Per apprezzare meglio i particolari dei jet di polvere è in questo caso indispensabile eseguire uno zoom sulla zona del falso nucleo come si vede in Fig.4

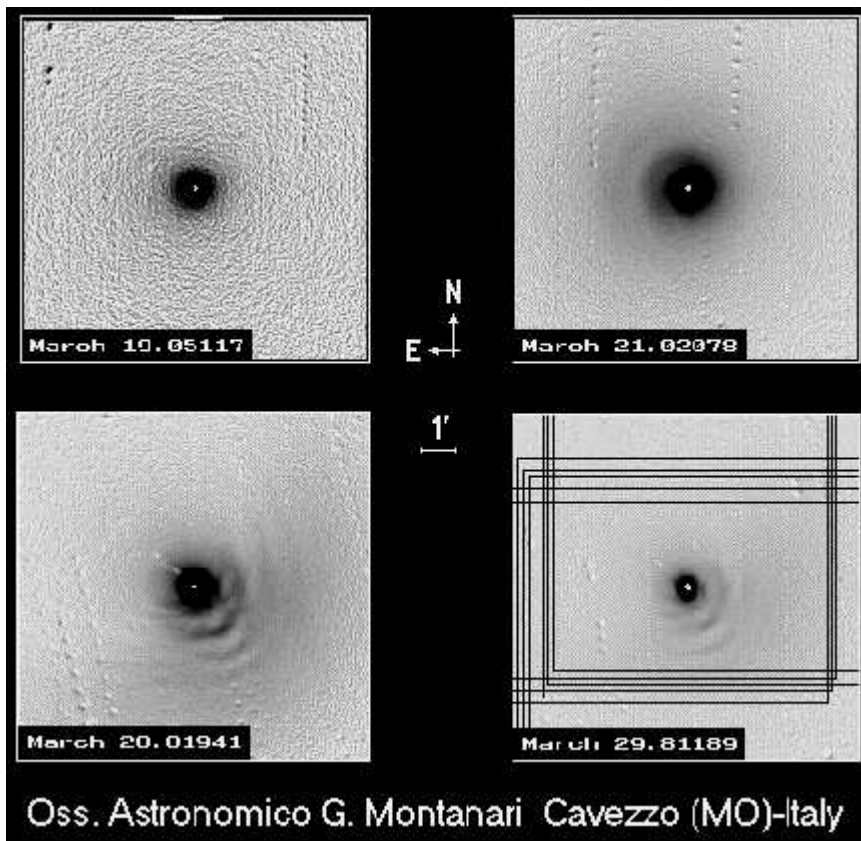


Fig. 10. Applicazione del gradiente radiale con $D = r=1$ ai 4 master frame considerati nell'articolo. Si è utilizzata una palette negativa per meglio evidenziare i particolari che avvolgono la chioma della cometa.

6. bibliografia

Buil, C. (1991), *CCD Astronomy*, ed. Willmann-Bell, Inc.

Favero, G. (1995), *Astronomia UAI* n.1-1995, pag. 2.

Nicolini, M. (1992). *l'Astronomia* n. 125, pag. 60.

Whipple, F. L. (1982). *Comets*, ed. L. L. Wilkening (University of Arizona, Tucson), pag. 227.

Edberg, S.J. (1985). *Manuale IHW* (a cura delle redaz. de *l'Astronomia e Coelum*), pag. 40.

Calanca, R., Fusari, M., Manenti, F. (1996). *l'Astronomia* n. 166, pag. 41.

Sekanina Z., Larson S. M. (1984). *The Astronomical Journal* **89**,571.

AA.VV. (1996). *Ciel et Espace* (hors-série n.9, Juillet-Août 1996), pag. 72.

Autori:

Martino Nicolini, Mauro Facchini

Osservatorio Astronomico

"G. Montanari" di CAVEZZO - (MO) – Italy

MPC107

Email: m.facchini@iol.it