

UAI ASTRONOMIA

PERIODICO MENSILE DELL' UNIONE ASTROFILI ITALIANI

N. 1

GENNAIO - FEBBRAIO 1995



Manuale di Osservazione cometaria



LA COMETA SWIFT-TUTTLE IL 22/11/92

Foto di Eraldo Guidolin - Posa 23 min. su TP2415 ipers. - Telesc. 200 mm. f/6.2

L. 5.000

PUBBLICATO CON IL PATROCINIO DELLA SOCIETÀ ASTRONOMICA ITALIANA

TAXE PERÇUE - TASSA PAGATA - PADOVA CMP

SPEDIZ. IN ABB. POST. PUB. INF. 50% - AUTORIZ. DIR. PROV. P.T. - PADOVA



UAI
ASTRONOMIA

U.A.I. Unione Astrofili Italiani

c/o UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI ASTRONOMIA
Vicolo dell'Osservatorio, 5
35122 PADOVA - ITALIA
C.F. 97504720018

Redazione: Vicolo dell'Osservatorio, 5 - 35122 PADOVA

CONSIGLIO DIRETTIVO

PRESIDENTE: Giancarlo FAVERO - c/o Dipartimento di Chimica Inorganica - Via Marzolo, 1 - 35131 Padova
e-mail: FAVERO@ASTRPD.PD.ASTRO.IT

VICE PRESIDENTE: Marco FALORNI - Borgo Pinti, 39 - 50121 Firenze - e-mail: FALORNI@ARCETRI.ASTRO.IT

SEGRETARIO: Francesco PEDANI - Via Giuseppe La Farina, 43 - 50132 Firenze

TESORIERE: Roberto BOCCADORO - Viale Zara 118 - 20125 Milano
e-mail: ROBERTO_BOCCADORO.LOTUSINT@CRD.LOTUS.COM

CONSIGLIERI: André BERNASCONI - Via Carlo Poma, 2 - 20129 Milano
Alessandro BERTOGLIO - Via F.lli Carle, 34 - 10129 Torino
Giuseppe BIANCO - Via G. Padula, 7 - 75100 Matera - e-mail: BIANCO@ASIMT0.MT.ASI.IT

COMITATO DEI PROBIVIRI

Riccardo BALESTRIERI, Edgardo FILIPPONE, Beppe ELLENA

SEZIONI DI RICERCA E SERVIZI U.A.I.

(Elenco dei Responsabili ai quali scrivere per aderire ai programmi)

Sezione SOLE: Luciano PIOVAN - Casella Postale 242 - 35100 Padova

Sezione LUNA: Davide ZOMPATORI - Via Ticino, 10 - 00042 Anzio (RM)

Sezione OCCULTAZIONI: Claudio COSTA - Viale Colli Portuensi, 345 - 00151 Roma

Sezione METEORE: Enrico STOMEIO - Casella Postale 654 - 30100 Venezia

Sezione PIANETI: *Responsabile:* Marco FALORNI
Segretario: Luigi TESTA - Viale Martiri della Libertà, 6 - 43100 Parma

Sezione ASTEROIDI: Massimo CALABRESI - Via Raita, 11 - 00136 Roma

Sezione COMETE: Rivolgersi al C.D. - Inviare le osservazioni in Vic. Osservatorio, 5 - 35122 Padova

Sezione STELLE VARIABILI: Giuseppe BIANCO - Via G. Padula, 7 - 75100 Matera

Sezione RICERCA SUPERNOVAE: Associazione Astrofili Spezzini, c/o Istituto Tecnico Statale Navale "N. Sauro - Viale Italia, 88 - 19124 La Spezia.

Sezione CIELO PROFONDO: Gruppo Astrofili "W. Herschel" - C.so Monte Cucco, 137 - 10141 Torino

Sezione QUADRANTI SOLARI: Francesco AZZARITA - Via Fanelli, 206/M - 70125 Bari

Servizio SOFTWARE e COMUNICAZIONI RAPIDE via Modem:
Associazione Astrofili Bolognesi - Cas. Post. 313 - 40100 Bologna

Servizio VIDEOTEL-ASTRONOMIA: Roberto BIZZOTTO - Via S. Pio X, 108 - 35015 Galliera V. (PD)

Coordinamento degli Osservatori Astronomici Popolari Italiani: Gabriele VANIN - Viale Pedavena, 1/A - 32032 Feltre (BL)

QUOTA ORDINARIA PER L'ANNO SOCIALE Lug. 1994 - Giu. 1995

Soci Ordinari e Associazioni L. 50.000 - Soci con meno di 18 anni e pensionati L. 30.000

(L'età va dimostrata allegando un certificato anagrafico)

La quota va versata sul C.C.P. n. 11531357

intestato a: Unione Astrofili Italiani - Vic. Osservatorio, 5 - 35122 PADOVA

ATTENZIONE

L'indirizzo dell'UAI presso il Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova è ad uso **ESCLUSIVAMENTE POSTALE**.
Preghiamo pertanto i Soci di **NON TELEFONARE** o inoltrare FAX all'Osservatorio e di non inviare valori quali assegni o vaglia.
Per le comunicazioni relative all'iscrizione, ai cambiamenti di indirizzo e alla spedizione della rivista, nonché per l'invio di assegni o vaglia postali utilizzare il seguente indirizzo: Tesoriere UAI - Roberto BOCCADORO - Viale Zara, 118 - 20125 MILANO.
Gli articoli ed i comunicati da pubblicare sulla rivista vanno inviati in duplice copia **AL RECAPITO DI VIC. OSSERVATORIO**.
Presso l'Editore sono disponibili le "Istruzioni agli Autori" dietro rimborso delle spese di spedizione (L. 800 in francobolli).

BIROMA EDITORE

Su licenza dell'Unione Astrofili Italiani

Direttore Responsabile

Roberto Bizzotto

Hanno collaborato a questo numero:

Associazione Astronomica Cortina,
Sandro Baroni, Sandro Bartolini,
Ernes Colombini, Giancarlo Favero,
Sergio Foglia, Eraldo Guidolin,
Claudio Lopresti, G. Antonio Milani,
Maura Tombelli.

Progetto grafico e impaginazione

Roberto Bizzotto

Direzione, Pubblicità, Servizio arretrati

Via S. Pio X, 108 - 35015 Galliera V. (PD)

Telefono con segreteria e fax 049-9422177

CCP n. 11576352 - BIROMA EDITORE

Una copia L. 5.000

Almanacco 1995 L. 18.000

Arretrati il prezzo di copertina

Manoscritti, disegni e fotografie non richiesti non verranno restituiti.

Alla rivista possono collaborare tutti i lettori. Inviare il materiale seguendo le norme riportate nelle "Istruzioni agli Autori".

Tutti gli articoli scientifici inviati per la pubblicazione saranno sottoposti al giudizio di referèe particolarmente esperti nell'argomento trattato.

Gli abstract sono pubblicati su *Astronomy and Astrophysics Abstracts*.

ISSN 0392 - 2308

Copyright © 1995 - Astronomia UAI

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge.

È vietata ogni forma di riproduzione e memorizzazione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta dall'editore.

Amministrazione UAI

Tesoriere UAI - Roberto Boccadoro

Viale Zara 118 - 20125 Milano

Quote sociali UAI per il 1994/95

(Abbonamento per un anno: 6 numeri + Almanacco)

Quota Socio Ordinario L. 50.000

Soci con meno di 18 anni L. 30.000

Soci pensionati L. 30.000

Estero L. 60.000

Versamenti tramite C.C.P. n. 11531357

intestato a: Unione Astrofili Italiani

Vic. Osservatorio, 5 - 35122 PADOVA

Pubblicazione mensile registrata al Tribunale di Padova il 16/11/1989 al n. 1171.

Spedizione in abbonamento postale

Pubblicità inferiore al 50%

Autoriz. Direz. Prov. P.T. - Padova

Stampa:

Tipolitografia Trevisan s.n.c.

Viale Europa, 31 - S. Martino di Lupari (PD)



Associato all'USPI
Unione Stampa
Periodica Italiana

Le notizie di questo numero
sono aggiornate al 9.1.1995

Introduzione	2
La costituzione delle comete	3
Il nucleo	3
La chioma	6
La coda di polveri	9
La coda gassosa	10
Le orbite cometarie	10
Le osservazioni	12
Introduzione	12
Morfologia su grande scala	13
– <i>La fotografia</i>	13
– <i>Il CCD</i>	15
– <i>Osservazione visuale</i>	17
– <i>I dati a corredo dell'osservazione</i>	17
Morfologia della regione circumnucleare	17
Fotometria	19
– <i>Fotometria visuale</i>	20
– <i>Fotometria fotografica</i>	22
– <i>Fotometria fotoelettrica</i>	22
– <i>Fotometria CCD</i>	23
Spettrografia	24
Appendici	26
Guida calcolata su particolari cometari	26
Campo angolare coperto da un CCD	30
Calibrazione di immagini CCD	30
Calibrazione di uno spettrografo senza fenditura	30
Riepilogo delle tematiche di ricerca e delle tecniche utilizzabili	31
Scheda di adesione alla Sezione Comete dell'Unione Astrofili Italiani	32

Manuale di Osservazione cometaria



La cometa Zanotta-Brewington 1991 GI scoperta dall'astrofilo italiano Vittorio Zanotta. Foto di Eraldo Guidolin ottenuta il 26/01/92 con posa di 20 minuti su TP2415 ipers. telescopio 200 mm, F 1260 mm.

Introduzione

L'esplorazione ravvicinata da parte di sonde automatiche delle comete P/Giacobini-Zinner e P/Halley, insieme con le osservazioni coordinate effettuate da terra, hanno permesso di realizzare — durante la seconda metà degli anni Ottanta — un grande salto qualitativo nella conoscenza delle comete. L'analisi dei risultati raggiunti da queste ricerche è stata effettuata durante un famoso simposio tenutosi a Heidelberg nell'ottobre del 1986. Questo manuale è impostato sugli atti di quel congresso per quanto concerne la descrizione del fenomeno *cometa* nei suoi molteplici aspetti. È bene dire subito, comunque, che ogni cometa studiata ha generalmente manifestato peculiarità tali da impedire il formarsi di un unico modello valido in tutti i casi. Pertanto, ciò che verrà descritto è un modello idealizzato, dotato di una fenomenologia cumulativa, non necessariamente manifestata in completo da una singola cometa.

Il secondo, e fondamentale, scopo di questo manuale è di passare in rassegna le tematiche di ricerca e le tecniche osservative adatte allo studio delle comete da parte degli astrofili, da quelle visuali a quelle fotografiche, da quelle fotoelettriche fino alle moderne tecniche che impiegano camere CCD. Di ogni tecnica verranno descritte le tappe applicative, le limitazioni e le caratteristiche, con particolare riferimento ai risultati scientifici che sono in grado di fornire.

L'osservazione delle comete, come e più di quella delle superfici planetarie o delle stelle variabili, richiede la collaborazione di molti osservatori: la fenomenologia relativa è così mutevole nel tempo da richiedere una sorveglianza il più possibile continua e accurata. Inoltre, specie nel caso delle osservazioni visuali, v'è sempre la necessità che almeno due osservatori si confermino a vicenda. Per tutte queste ragioni è auspicabile che il materiale osservativo giunga a centri di raccolta (in Italia la Sezione Comete dell'UAI e la rivista Nuovo Orione) che si occuperanno della sua migliore utilizzazione, compreso l'avvio finale a un unico ente internazionale (l'International Comet Quarterly). Pertanto non saranno che sfiorati i problemi di riduzione ed elaborazione dei dati, lasciandone la gestione al Responsabile di Sezione che, sotto questo aspetto, godrà della collaborazione del dr. Cremonese e del prof. Ortolani dell'Osservatorio di Padova e Asiago. Qualche esempio tratto dalla letteratura sarà sufficiente a chiarire le varie questioni.

La costituzione delle comete

Il nucleo

Tutta la fenomenologia di una cometa trae origine da un nucleo monolitico poco coerente, avente albedo e densità piuttosto basse e dimensioni dell'ordine della decina di chilometri. Per esempio, il nucleo della Halley (fig. 1) è risultato una sorta di "patata" lunga circa 16 km e larga circa $8 \text{ km} \times 7 \text{ km}$ (dimensioni massima e minima di una sezione non circolare) con albedo vicina a 0.04 e densità prossima a 0.3 g/cm^3 . La bassa coesione dei nuclei cometari si è manifestata in diverse occasioni, nel passato, con la loro facile frammentazione (per es.: cometa West del 1975, fig. 2, o Shoemaker-Levy 9 fra il 1993 e il 1994) causata da effetti mareali del Sole o dei pianeti.



Fig. 1 - Il nucleo di Halley ripreso dalla sonda Giotto a 4 060 km di distanza.

Un nucleo cometario è composto di polveri, di cui si dirà più avanti, e di ghiacci volatili, cioè capaci di passare facilmente allo stato di vapore. Questi ghiacci comprendono come composto principale l'acqua (H_2O) che da sola ne costituisce fino all'80% della massa. Le molecole d'acqua hanno l'esigenza di formare fra loro il massimo numero di legami "a ponte di idrogeno" (punteggiato in $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$), e questo è vero specialmente allo stato solido, tanto che il ghiaccio presenta una struttura cristallina ricca di cavità e ha un volume maggiore del liquido da cui deriva, per cui galleggia sull'acqua. Tali cavità, formate da sei molecole d'acqua, costituiscono come una "gabbia" nella quale possono restare intrappolate piccole molecole come monossido di carbonio (CO ,

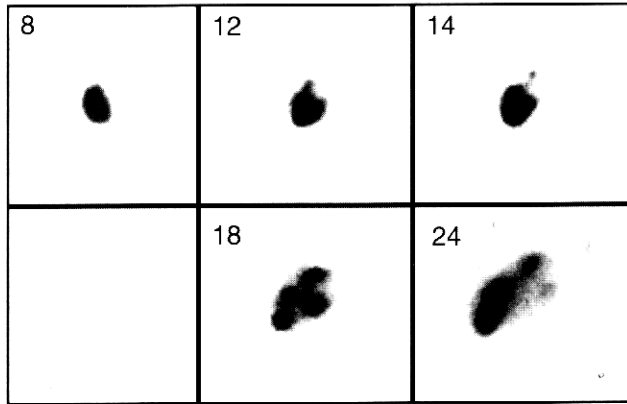


Fig. 2 - La frammentazione del nucleo della cometa West nel marzo 1975.

circa il 10% della massa), diossido di carbonio (CO_2 , circa 10% della massa) e quantità minori di ammoniaca (NH_3), metano (CH_4), cianuro di idrogeno (HCN). Questi aggregati molecolari prendono il nome di “clatrati”, dalla parola latina che significa “ingabbiati”. In essi non esiste una vera interazione chimica fra la molecola clatrata e le sei molecole d’acqua che formano la gabbia, ma finché questa non viene disgregata quelle non possono liberarsi.

La disgregazione dei clatrati di un nucleo cometario avviene quando esso dista dal Sole meno di 5 UA, ma diventa veramente importante entro 3 UA, quando il calore solare è abbastanza intenso da provocare la sublimazione del ghiaccio (passaggio diretto dalla fase solida a quella gassosa, senza passare per il liquido). In questo frangente si realizza la contemporanea vaporizzazione delle molecole intrappolate, in un rapporto molecolare 1:6 con l’acqua che le circonda. Per esempio, nel caso della cometa di Halley è stato misurato un flusso di 500 kg di H_2O e di 50 kg di CO_2 al secondo, per un rapporto molare uguale a 24:1 circa: pertanto, si può concludere che un aggregato clatrato su quattro conteneva CO_2 .

Nelle comete che per la prima volta nella loro vita si avvicinano al Sole, e sono dette “novelle”, il ghiaccio d’acqua potrebbe esistere in una struttura disordinata, non cristallina e perciò “amorfa”, che si trasformerebbe nella struttura cristallina ordinata durante l’avvicinamento al Sole, tra circa 6 e 3 UA di distanza. La trasformazione, se si realizza, porta alla liberazione di calore, che potrebbe essere fra le cause dell’attività eruttiva osservata in nuclei cometari distanti dal Sole più di 3 UA.

La superficie del nucleo della cometa di Halley è ricoperta da uno strato, spesso da qualche centimetro a qualche decimetro, di materiale molto scuro al quale si deve la bassa albedo. L’assorbimento della radiazione solare da parte di questo strato scurissimo (le regioni più scure della Luna hanno un’albedo di 0.07) determina un riscaldamento del nucleo tale da portarne la temperatura a livelli impreveduti. Nel caso del nucleo della Halley, la temperatura misurata quando distava 0.83 UA dal Sole è risultata 320 K (circa 47°C), ben più elevata di quella prevista per una superficie di ghiaccio sporco in sublimazione (circa 190 K). La composizione di questo materiale superficiale non è nota, ma è probabilmente simile a quello della polvere rilasciata dal nucleo e che forma una delle due code (v. avanti), ricca di carbonio (C), idrogeno (H), ossigeno (O) e azoto (N), i cui simboli creano l’abbreviazione CHON.

La morfologia del nucleo di Halley ha rivelato crateri e lunghe colline, certamente risultato di numerose collisioni e riarrangiamenti ai quali è andato soggetto durante la sua formazione, avvenuta nella regione del Sistema Solare dove sono nati i pianeti giganti. I nuclei cometari sono tra i corpi più antichi che possiamo studiare, dai quali possiamo ricavare informazioni sugli avvenimenti di 4.6 miliardi di anni fa, quando i pianeti e la Terra si sono formati dalla nebulosa entro la quale era già nato il Sole. Nelle regioni vicine alla stella la temperatura era così alta da permettere la formazione di corpi solidi ricchi di materiali refrattari (a elevata temperatura di fusione) ma privi di materiali volatili (come H_2O , CO e CO_2 , NH_3 , CH_4). Nacquero così corpi essenzialmente rocciosi come Mercurio, Venere, Luna, Terra, e Marte. Nelle regioni dove si formarono i pianeti giganti la temperatura era invece così bassa da permettere la solidificazione, oltre che dei materiali refrattari, dei ghiacci molecolari di H_2O , CO e CO_2 , NH_3 e CH_4 . Poiché le molecole citate sono componenti molto importanti della materia interstellare, i pianeti relativi nacquero di bassa densità ma di grande massa, tale da permettere loro di trattenere gravitazionalmente anche l'idrogeno e l'elio, i componenti principali della materia interstellare. Senza questo intenso campo gravitazionale idrogeno ed elio non sarebbero mai entrati nella composizione planetaria, in quanto avrebbero richiesto, per condensare, temperature estremamente basse (20 e 5 K, ovvero -253 e $-268^\circ C$, rispettivamente), pressoché impossibili da realizzare in un gas interstellare in collasso gravitazionale, qual è quello dal quale si stanno formando i pianeti, avente mediamente temperature superiori ai 100 K. Le comete conserverebbero pressoché inalterati i minerali e i ghiacci che si sono aggregati spontaneamente nella regione dei pianeti giganti e questo giustifica l'interesse che suscitano.

Il nucleo della cometa di Halley, come probabilmente la maggior parte dei suoi consimili, è dotato di un moto di rotazione, alquanto complesso e non ancora conosciuto nei dettagli. Un primo periodo di 52-54 ore (2.2 d) caratterizzerebbe la rotazione attorno al minore dei suoi tre assi ($I_1=16$, $I_2=8$ e $I_3=7$ km). Un secondo periodo di 7.3-7.4 d caratterizzerebbe il moto di precessione dell'asse minore rispetto a un asse inclinato di 11° su I_3 stesso.

Non tutta la superficie di un nucleo cometario è interessata dall'eruzione di gas e polveri che producono la chioma e la coda. Sul nucleo di Halley è stato possibile identificare un numero ristretto di regioni attive (circa il 10% della superficie) e anche queste diventano tali solo quando sono direttamente illuminate dal Sole. La combinazione di pochi centri attivi con fasi intermittenti di eruzione e con la complessa rotazione del nucleo, genera intorno a questo una ricca serie di getti spiraliformi la cui morfologia è in diretto rapporto con quei fenomeni.

Nel chiudere questa parte dedicata ai nuclei cometari è necessario segnalarne la generale inosservabilità. Un corpo di 10 km di diametro è risolvibile con un telescopio di 120 mm se si trova a una distanza inferiore a 2 milioni di chilometri circa. Un avvicinamento a tale distanza rappresenterebbe uno "sfioramento" del nostro pianeta, un avvenimento che, seppure non impossibile (vedi i corpi denominati Earth Grazing Objects), è in realtà molto raro. Le distanze Terra-cometa sono solitamente molto maggiori (quella pari a 1 UA è già 75 volte superiore) cosicché un nucleo cometario non risulta solitamente osservabile. Alla distanza di 1 UA la minima formazione osservabile con un 120 mm ha dimensioni di circa 700 km, di circa 1400 km a 2 UA e così via. Ciò significa che con strumenti amatoriali (anche i più grossi) non si può sperare di studiare altro che la regione circumnucleare a grande scala, denominata chioma. È vero che, spesso, al centro della chioma è osservabile un "falso nucleo" di apparenza molto compatta, ma tale struttura è collegata alla regione di massima densità eruttiva che si trova immediatamente intorno al nucleo vero e proprio.

La chioma

La misura dell'intensità luminosa (fotometria) dell'aureola che circonda un nucleo cometario, e viene denominata "chioma", fornisce preziose indicazioni sulla distribuzione della materia — gas e polveri — eiettata. Il materiale che sublima dal nucleo cometario per il calore solare, e trascina con sé parte del materiale superficiale, forma inizialmente getti di gas e polvere diretti verso il Sole. Questo fatto è ben evidenziato dalla forte asimmetria mostrata dalle isofote (curve che uniscono punti di eguale intensità luminosa) della regione immediatamente vicina al nucleo, che assumono una forma quasi perfettamente ellittica. L'asse maggiore dell'ellisse è rivolto quasi esattamente verso il Sole e il falso nucleo giace sullo stesso asse, all'incirca sul fuoco dell'ellisse opposto al Sole (fig. 3).

A poche centinaia di chilometri di distanza dal nucleo, gas e polveri assorbono efficacemente

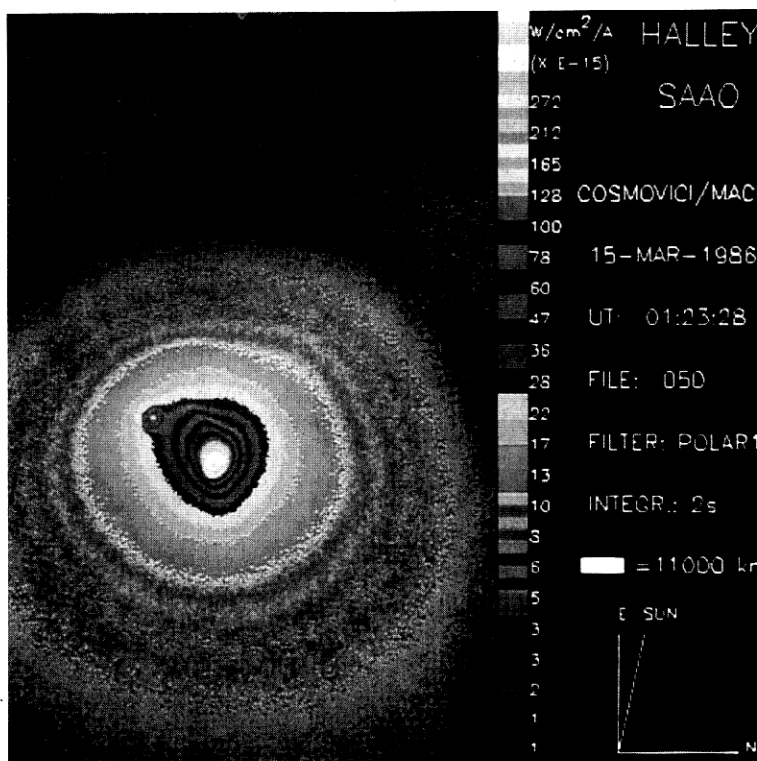


Fig. 3

la radiazione solare e realizzano l'effetto "ombra" (S, dall'inglese *shadow*, in fig. 4) che è stata scambiata per l'effettiva ombra del nucleo. Questa porzione di chioma costituisce l'atmosfera del nucleo cometario ed è sede di reazioni promosse dalla luce solare (reazioni fotochimiche) fra le molecole liberate dai clatrati e dalle polveri, con formazione di nuove molecole (OH, CN, C₂, C₃, NH₂) e di idrogeno atomico che si spande tutto intorno al nucleo formando un alone ampio a volte parecchie migliaia di chilometri. Le polveri esercitano un'azione catalitica, accelerando certe reazioni invece di altre possibili: si determina quindi una sensibile evoluzione chimica dell'atmosfera al crescere della distanza dal nucleo.

Quando l'espansione dell'atmosfera cometaria ne determina una sufficiente rarefazione, si realizzano tre risultati: le reazioni molecola-molecola diventano poco importanti; le radiazioni ultraviolette del Sole decompongono i grani di polvere e ionizzano le molecole esistenti; iniziano le reazioni ione-molecola e l'interazione del materiale col vento solare.

I fiotti di materiale provenienti dalla sublimazione del nucleo, combinati con la rotazione del nucleo stesso, possono dar luogo a strutture curve ben rivelabili mediante fotografie ad alta risoluzione, effettuate con la stessa tecnica delle foto planetarie. Se la rotazione nucleare è debole le strutture appaiono come *fontane* (F in fig. 4) altrimenti subiscono una forte deformazione realizzando i cosiddetti *getti* (J, dall'inglese *jet*, fig. 4). Con il trascorrere del tempo i getti si avvolgono a spirale intorno al nucleo formando degli aloni quasi concentrici (H, dall'inglese *halo*, in fig. 4).

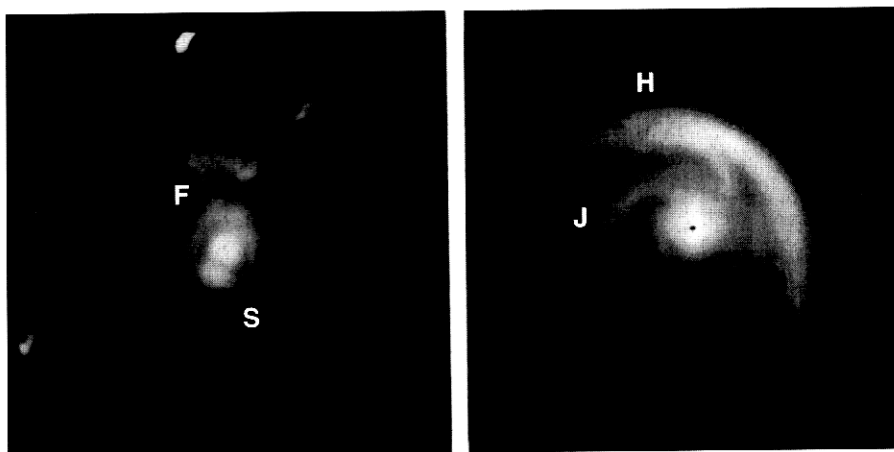


Fig. 4

L'azione della radiazione solare sulle particelle di polvere fa loro ben presto invertire la rotta, respingendole in direzione anti-solare a formare la coda. Per questo motivo la coda di una cometa è generalmente opposta al Sole. La radiazione solare non si limita a questa azione dinamica, ma provoca una serie di reazioni fotochimiche che, a partire dalle poche molecole genitori provenienti dai composti clatrati e dalla disgregazione dei grani di polvere, producono una grande varietà di molecole e di ioni (solitamente molecole private di un elettrone: CO^+ , CO_2^+ , H_2O^+ , H_2S^+ , N_2^+). Queste nuove specie costituiranno la "ionosfera" cometaria che inizierà a risentire fortemente del campo magnetico interplanetario connesso con il vento solare. Il campo magnetico subirà una specie di drappeggio che circonda la ionosfera cometaria formando un fronte d'urto quasi parabolico e una coda magnetica. Nel caso della cometa di Halley, un fronte d'urto a circa 5000 km dal nucleo segnalava la ionopausa cometaria (fig. 5). Questo era il limite massimo raggiunto dal materiale cometario eiettato dal nucleo e in moto verso il Sole, prima di essere trascinato dal campo magnetico interplanetario in direzione antisolare.

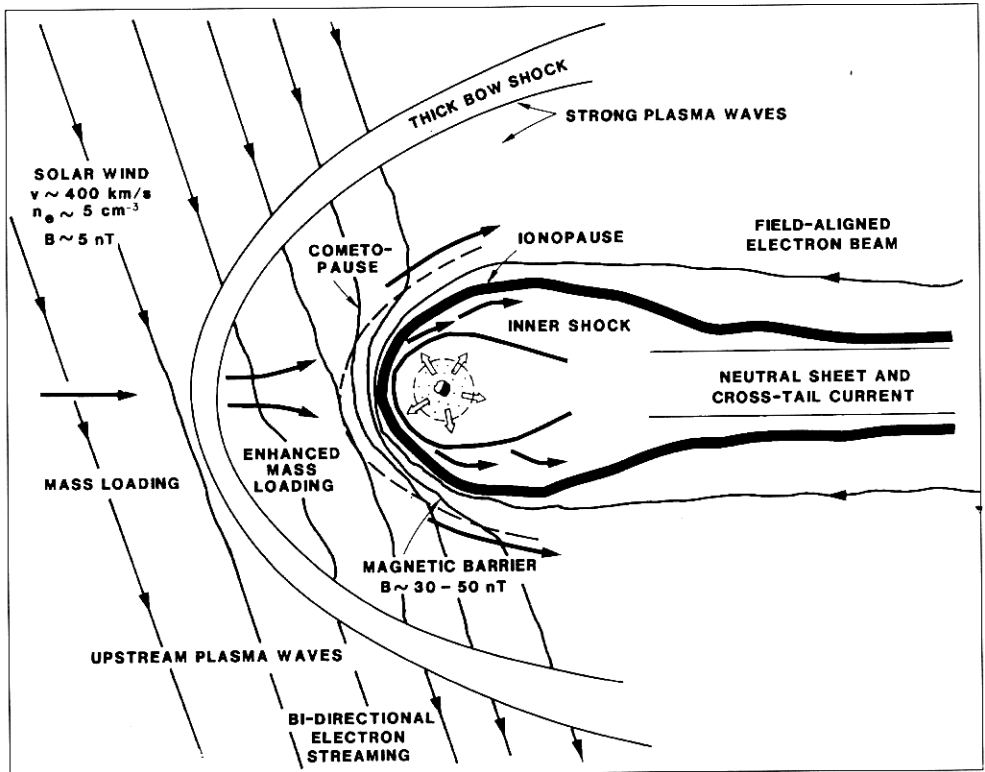


Fig. 5

Di questo materiale fa parte anche la polvere, sotto forma di granuli di massa minore di 1×10^{-5} g, apparentemente senza limiti inferiori, fino alle dimensioni atomiche. La composizione di questi granuli è molto eterogenea. La presenza di Fe, Mg, Si e O dà sostegno all'ipotesi di Greenberg, secondo il quale parte del materiale cometario è costituita di cristalli aghiformi di olivina $(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$ circondati di ghiacci clatrati. Esistono però anche, e sono i più abbondanti, grani di materiale di composizione CHON, probabilmente un polimero organico genitore delle molecole CN, C_2 e C_3 che si trovano nella chioma. Infine vi sono granuli di composizione condritica, cioè simile a quella delle condriti C1, alcuni arricchiti in carbonio, altri arricchiti in idrogeno. La parentela di questo materiale con quello delle stelle cadenti, delle meteoriti e delle particelle di Brownlee, che si accumulano nell'atmosfera terrestre provenendo dallo spazio interplanetario, non necessita di ulteriori riprove.

La coda di polveri

I fotoni solari esercitano una sorta di pressione sulle particelle della polvere, denominata "pressione di radiazione", che ammonta a 5×10^{-6} Pa a 1 UA dal Sole e diminuisce col quadrato della distanza. Per una particella di piccole dimensioni questa pressione può superare l'attrazione gravitazionale della cometa e del Sole. La spinta centrifuga della radiazione cresce infatti con la sezione della particella di polvere, cioè con il quadrato del suo raggio, mentre l'attrazione gravitazionale centripeta cresce, a parità di densità, con il volume, cioè con il cubo del raggio della particella. L'efficienza della pressione di radiazione cala quindi con il crescere delle dimensioni dei granuli di polvere: i più grandi saranno meno respinti di tutti e resteranno prossimi al nucleo, seguendolo da vicino e disseminandosi lentamente lungo l'orbita a costituire il materiale delle

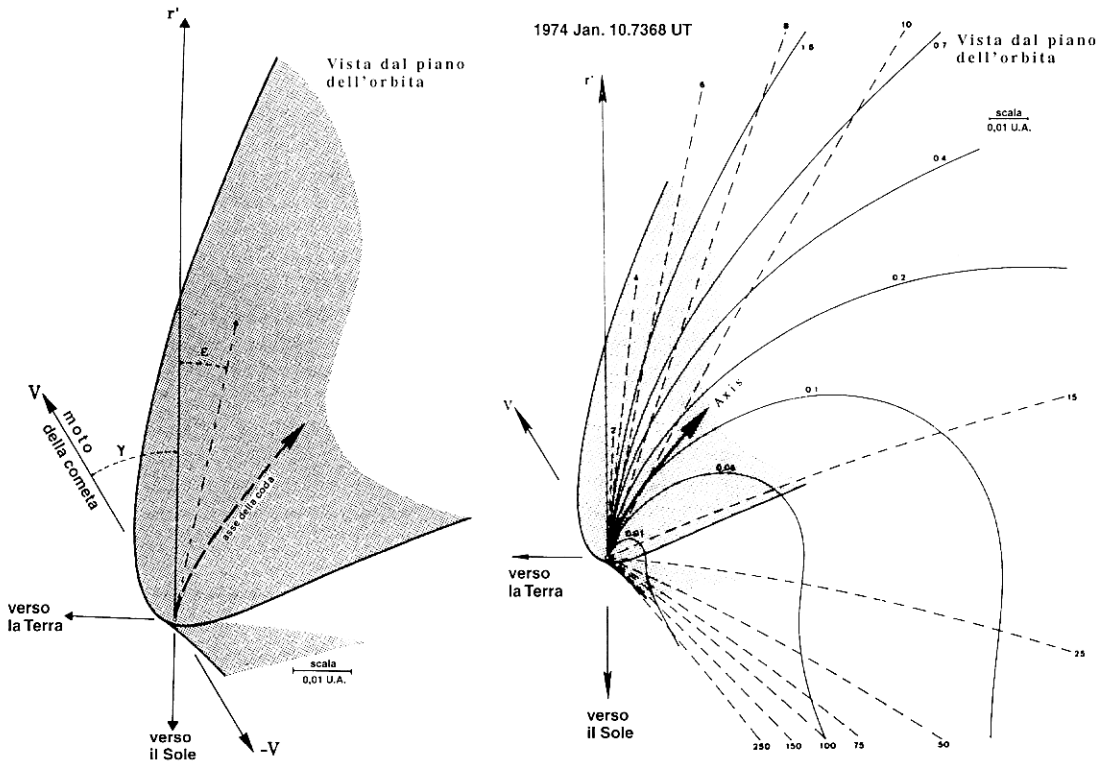


Fig. 6

stelle cadenti. I granuli più piccoli si allontaneranno dal nucleo e dall'orbita, disseminandosi in vaste regioni pressoché complanari con l'orbita stessa, e formando la coda di polveri che risulta una struttura essenzialmente piatta sul piano dell'orbita.

Particelle rilasciate nello stesso istante si allontanano dal nucleo progressivamente, formando curve poco accentuate, definite *sincrone* in figura 6: il maggior tratto di sincrona è percorso dalla particella più piccola. Particelle di eguali dimensioni, ma emesse in tempi successivi, si distribuiscono lungo linee molto curve, chiamate *sindinamiche*: in figura 6 le sindinamiche sono identifi-

cate dal rapporto fra la pressione di radiazione e la gravità solare. Le sindinamiche meno estese sono quelle formate dalle particelle più grosse. Nel loro insieme sincrone e sindinamiche possono spiegare le forme delle code di polveri. Nel caso della cometa di Halley, tuttavia, è stata osservata polvere ben al di là del limite delle sincrone e delle sindinamiche, a dimostrazione che è influente anche l'azione disgregatrice della radiazione solare, che frammenta le particelle e dissemina i resti in ogni direzione.

La forma della coda di polvere è funzione, oltre che delle forze prese in esame, della velocità di eiezione del materiale dal nucleo cometario, che per Halley è stato misurato attorno a 0.5 km/s. In ogni caso la polvere rifletterà verso l'osservatore la luce solare, di cui manterrà le caratteristiche spettrali nella parte visibile. Solo nella regione infrarossa dello spettro di questa radiazione si troveranno informazioni qualitative sul materiale delle polveri, ma questo risultato è difficilmente raggiungibile dall'astrofilo.

In condizioni geometriche opportune, quando la Terra attraversa il piano orbitale della cometa (cioè si trova in prossimità di uno dei due nodi di tale orbita) e quest'ultima è già passata al perielio, è possibile l'osservazione di una coda che, partendo dal nucleo cometario, punta verso il Sole. Si parla in tal caso di "anticoda", ma l'effetto è legato esclusivamente alla prospettiva (fig. 6). La coda è tuttavia reale e, come risulta dalla figura 6, è composta dai più grossi granuli di polvere.

La coda gassosa

Le molecole e gli ioni della chioma e della coda gassosa assorbono l'energia elettromagnetica del Sole per riemetterla poi in tutte le direzioni, e in particolare verso l'osservatore, sotto forma di radiazione quantizzata (a righe) che, in parte, cade nel dominio della luce visibile. Per effetto delle reazioni ione-molecola si formano inoltre nuovi ioni che si trovano in stati energeticamente eccitati: diseccitandosi essi emettono altra radiazione elettromagnetica quantizzata (a righe), parte della quale cade nel campo visibile. Entrambi i fenomeni prendono il nome di *emissione di fluorescenza* e sono responsabili dello spettro a righe delle comete. Le molecole più efficaci nell'emettere nel visibile sono CN (388 nm), C₃ (406 nm), CH (435 nm), C₂ (514 nm), con CN e C₂ certamente più abbondanti delle altre nel contribuire alla luminosità della chioma della cometa. Tra gli ioni e le loro emissioni di fluorescenza segnaliamo CO⁺ (426 nm) e H₂O⁺ (700 nm) che si osservano nelle code cometarie. Poiché tra le lunghezze d'onda di 388 e di 514 nm si va dall'estremo violetto, attraverso il blu fino al colore blu-verde, la testa e la coda gassosa, detta anche di tipo I, appaiono di tonalità azzurrina.

Gli spettri di fluorescenza sono formati da righe di emissione e sono privi di continuo. Se nello spettro della testa e della coda di una cometa si osserva un continuo esso è dovuto alla luce solare riflessa dalle polveri. Quando si desidera misurare l'intensità delle righe di emissione, che risulta proporzionale alla quantità di molecole emittenti e quindi al flusso di materiale gassoso che evapora dal nucleo, bisogna pertanto sottrarre il contributo del fondo continuo dovuto alle polveri. Tipiche regioni spettrali dove si può misurare il continuo sono 365, 485, 685 e 720 nm. L'intensità luminosa del continuo è pertanto correlabile (non in maniera semplice però) con la quantità di polvere.

Le orbite cometarie

Vi sono alcune tematiche di ricerca, strettamente connesse con gli studi cometari, delle quali questo manuale non si occuperà e per le quali si rimanda alle Sezioni relative. Tra queste ricordiamo lo studio dell'attività solare (Sezione Sole), della caduta di stelle cadenti (Sezione Stelle Cadenti) e l'astrometria del nucleo (Sezione Asteroidi e Gruppo Italiano Astrometrico). L'astrometria cometaria è affine all'astrometria asteroidale, sebbene la non puntiformità della parte più

brillante della chioma renda più difficile l'esecuzione delle misure. La determinazione dei parametri dell'orbita è uno stadio importante per consentire agli osservatori di seguire la cometa nella sua evoluzione. Per questo motivo ogni osservatore di comete dovrebbe avere un programma di calcolo delle orbite a partire dai parametri che solitamente sono forniti da Brian Marsden dello Smithsonian Institute tramite le IAU Circulars. La Sezione Comete invierà i dati relativi ai suoi aderenti, cioè a coloro che chiederanno di farne parte.

Nel caso di una cometa novella si determina inizialmente un'orbita parabolica, che richiede meno osservazioni di una ellittica. Ma appena ci si rende conto che l'approssimazione parabolica non è soddisfacente si cerca di precisare un'ipotesi ellittica o, cosa molto rara, una iperbolica. Quando un'orbita cometaria ha rivelato una forma ellittica, cioè periodica, il nome della cometa — che è solitamente quello del o degli scopritori (non più di tre) — è preceduto da P/ (es.: P/Giacobini-Zinner).

Al momento della scoperta, ogni cometa riceve una denominazione provvisoria progressiva che, dal 1 gennaio 1995, è così composta: ANNO della scoperta, QUINDICINA del mese (A e B per gennaio, C e D per febbraio, ecc.), NUMERO ORDINALE o ROMANO progressivo (per esempio VI per sesta cometa scoperta in quella quindicina). La cometa 1995F III è pertanto la terza scoperta nella seconda quindicina di marzo del 1995. In seguito (o al più presto se si tratta del ritorno di una cometa periodica già nota, nel qual caso riprende il vecchio nome) si sostituisce a questa nomenclatura provvisoria quella definitiva comprendente il nome dello scopritore.

L'analisi statistica delle orbite cometarye conosciute rivela che quelle di forma aperta (paraboliche 44.5%, iperboliche 14.7%) sono più frequenti di quelle ellittiche. Tra le orbite ellittiche, quelle di periodo inferiore a 200 anni sono appena il 17% della totalità e sono dette a *corto periodo*. Bisogna dire che, nel restante 83% dei casi, la differenza fra orbite ellittiche a lungo periodo, paraboliche o iperboliche è così modesta che, per essere rivelata, si richiederebbero osservazioni estese a grande distanza dal Sole. Ma queste sono rese difficili dalla scarsa attività cometaria a quelle distanze e dalle piccole dimensioni dei nuclei.

Vi sono inoltre due importanti ragioni per le quali le orbite cometarye sono sempre difficilmente precisabili. In primo luogo vi sono le perturbazioni dei pianeti, che tendono a impadronirsi di questi piccoli corpi, cosicché è possibile distinguere comete della famiglia di Giove, di Saturno e così via: per esempio, la cometa di Halley fa parte della famiglia di Nettuno. Nel 1992, la cometa Shoemaker-Levy 9 si è inserita in un'orbita attorno a Giove che l'ha portata a precipitare sul pianeta nel 1994, con quella serie spettacolare di eventi che tutti ormai ben conoscono.

L'ipotesi corrente, dovuta a Oort, suggerisce che i nuclei cometaryi orbitino a mesi luce di distanza dal Sole, a costituire la cosiddetta "nube di Oort". Ad opera della perturbazione gravitazionale di stelle sorpassate dal Sole nel suo moto galattico (o che lo superano) alcuni di questi nuclei possono subire modificazioni orbitali sufficienti a farli precipitare verso il Sole, diventando comete "novelle". Perturbate dal campo gravitazionale dei pianeti, specie di quelli giganti, le orbite cometarye subiscono modificazioni tali da assumere qualsiasi forma, chiusa o aperta, e a volte sufficiente a eiettarle fuori dal Sistema Solare (*effetto fionda*).

Il secondo fenomeno che può modificare l'orbita di una cometa, anche in assenza di perturbazioni planetarie, è il cosiddetto "*effetto razzo*". È già stato detto che, dalle poche regioni attive della cometa di Halley, si sono osservati emergere getti di vapore d'acqua e di altri composti, con una spinta di circa mezza tonnellata. Questa spinta, combinata con la rotazione del nucleo, modifica continuamente la posizione del nucleo cometaryo lungo la sua orbita, causando differenze fra la posizione calcolata sulla base delle osservazioni precedenti e la posizione osservata, che possono ammontare a parecchi primi d'arco. Non ci si deve quindi affidare mai solo alle effemeridi per puntare una cometa, ma è indispensabile controllare di averla effettivamente compresa nel campo di vista. Sebbene si tratti di un effetto generalmente modesto, è tuttavia consigliabile esplorare un'ampia regione di cielo circostante il punto previsto prima di essere certi di averla puntata.

Le osservazioni

Introduzione

L'avvicinamento alla Terra della cometa di Halley ha polarizzato l'attenzione di profani e specialisti, tanto da far sorgere una nuova organizzazione internazionale, l'*International Halley Watch* abbreviata IHW, avente il compito di organizzare gli osservatori, compresi i dilettanti, e di raccogliere e catalogare le loro osservazioni. Il manuale dell'IHW è divenuto un classico in questo campo e quanto segue è basato fortemente su di esso. In particolare sarà utilizzata la stessa suddivisione in temi di ricerca, indipendentemente dalle tecniche a disposizione dell'osservatore, ma limitatamente a quelle accessibili agli astrofili e non curate da altre Sezioni UAI. Le varie discipline che saranno descritte sono: morfologia su grande scala, morfologia circumnucleare, fotometria e spettrografia.

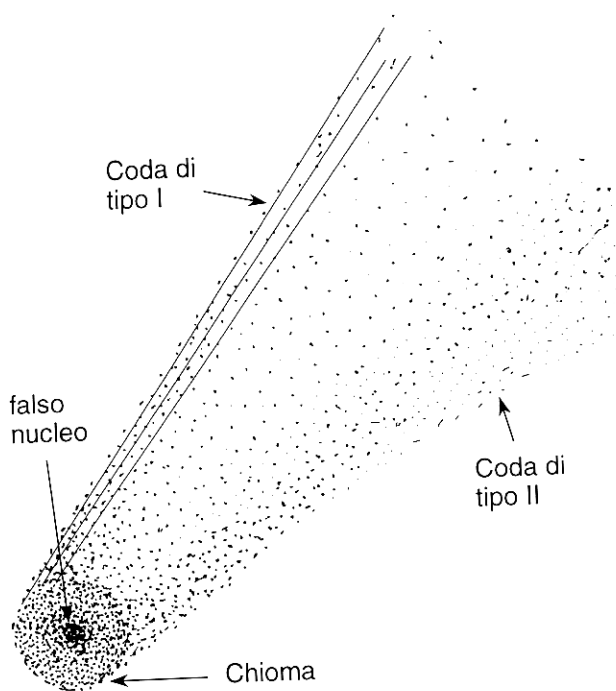


Fig. 7

Richiamiamo brevemente la nomenclatura delle varie porzioni di una cometa, con riferimento alla figura 7. Il "falso nucleo" è la porzione più brillante di una cometa, sebbene non sempre tale caratteristica sia osservabile. La "chioma" è costituita dall'atmosfera e dalla ionosfera cometarie, non ancora deviate dal vento e dalla radiazione solari. Il falso nucleo e la chioma, insieme, costituiscono la "testa" della cometa. La "coda" di una cometa è sempre diretta in opposizione al Sole e può essere costituita da ioni ed elettroni (plasma) o da particelle di polvere. La coda di plasma è

detta di "tipo I", è solitamente di colore azzurrino per la prevalenza delle emissioni di CN, C₂ e CO⁺ e ha geometria lineare, anche se nel dettaglio la forma può essere localmente molto frastagliata. La coda di polvere, detta di "tipo II" è di colore giallastro (luce solare diffusa) e ha geometria curvilinea (a scimitarra) con strutture intime molto sfumate che possono essere collegate alle sincrone e alle sindinamiche.

Tra i risultati più importanti dello studio ravvicinato della cometa di Halley vi è la verifica della spiccata dinamicità del fenomeno cometa: violenti getti di gas e polveri creano un'atmosfera che presto diventa ionosfera e interagisce con il vento solare. Questo, a sua volta, con la sua elevatissima velocità di espansione, modifica continuamente forme e geometrie. L'osservazione di una cometa non può perciò ritenersi accurata se non è fatta con una particolare attenzione allo scorrere del tempo: una seduta osservativa dovrebbe coprire almeno due ore, durante le quali saranno ripetute più volte le osservazioni che si intende eseguire, siano esse relative alla forma (morfologia) o alla luminosità (fotometria) delle varie porzioni della cometa. Usando tecniche opportune (filtri, spettrografi) che a volte fanno già parte del corredo dell'astrofilo (altrimenti alcuni si possono acquistare, altri si autocostruiscono) si possono acquisire anche informazioni di tipo chimico: distribuzione spaziale e temporale di varie specie, loro divenire durante l'evoluzione del fenomeno e così via. Nel seguito vengono descritti in dettaglio tutti i programmi che gli astrofili possono perseguire e che la Sezione intende sviluppare. Si troveranno riferimenti a varie tecniche: si chiede a ogni osservatore di selezionare quella o quelle che sono compatibili con la sua strumentazione e con la sua disponibilità, a volte con la sua esperienza.

Morfologia su grande scala

Scopo di questa parte della ricerca è descrivere l'evoluzione temporale della forma della testa e delle code di una cometa. Il risultato ideale sarebbe rappresentato da molti film, ciascuno girato attraverso un filtro di una particolare lunghezza d'onda, che potessero riproporre i principali eventi che hanno caratterizzato le strutture a grande scala della cometa, mettendoli in relazione con la loro composizione chimica e con l'attività nucleare. Queste informazioni sono legate alle interazioni del materiale cometario con la radiazione e col vento solare. In particolare, a questo riguardo, sono importanti le registrazioni dei fenomeni che accompagnano il distacco della coda di plasma e la sua eventuale riformazione. La fotografia è la tecnica ideale da utilizzare in questo ambito, e ancor più la registrazione delle immagini mediante CCD, ma esistono diverse limitazioni a queste tecniche che aprono spazi importanti all'osservazione visuale.

La fotografia

Le foto ideali sulle quali studiare la morfologia a grande scala di una cometa sono quelle che ne comprendono tutte le parti osservabili, registrando perfino i dettagli più minuti e di debole intensità luminosa. Per costruire, anche solo idealmente, il film di cui si è detto, la Sezione dovrebbe ricevere una foto di questo tipo almeno per ogni ora di vita della cometa. Sono necessari obiettivi a grande campo e di grande luminosità, accoppiati a emulsioni a grana fine ed elevata sensibilità. Se si possiedono la motivazione e le capacità finanziarie, un obiettivo del tipo descritto potrebbe essere acquistato appositamente (per esempio, Pansecchi ha adottato un obiettivo Salmoiraghi Phoebus di focale 310 mm e luminosità 4.5).

In pratica, qualsiasi obiettivo fotografico, teleobiettivo, camera Schmidt o telescopio che possa fotografare al fuoco diretto e che fornisca immagini stellari soddisfacenti, sarà adatto allo scopo, purché sia di focale tale da contenere nel campo a fuoco tutta la cometa. Un difetto che di solito caratterizza gli obiettivi fotografici molto luminosi è la vignettatura: non tutto il campo a fuoco riceve la stessa luce, ma solo una ristretta zona circolare centrale. Il difetto dovrebbe sparire chiudendo il diaframma di uno o due scatti. Un altro difetto, però meno importante, è il cromatismo che caratterizza le lenti: più lenti sono presenti, minore è il difetto, perché migliore è la sua corre-

zione. Il campo a fuoco di un obiettivo ha sempre forma circolare: al di fuori di questo campo le immagini delle stelle non sono più puntiformi ma diventano dei segmenti (difetto di coma) o delle croci (astigmatismo). Se il campo di buon fuoco fosse ellittico vorrebbe dire che l'asse ottico dell'obiettivo non è ortogonale alla pellicola. Potendo scegliere fra più obiettivi, si opterà per quello con il campo più grande piuttosto che per uno insufficiente a contenere tutti i particolari. Si ricordi che, di solito, le parti meno luminose di una cometa si trovano verso la fine della coda, che pertanto a occhio potrebbe essere notevolmente sottostimata. È bene disporre la testa della cometa il più possibile tangente al bordo del campo a fuoco, in modo che l'asse della coda giaccia su un diametro dello stesso (fig. 8)



Fig. 8

Sebbene per gli scopi della Sezione Comete siano utili anche le immagini riprese con sola emulsione pancromatica, è certamente più significativo un lavoro eseguito isolando quelle bande spettrali dove si possano seguire le vicende di alcune delle varie specie molecolari o ioniche descritte nell'introduzione. La scelta più comoda prevede l'uso di un'emulsione pancromatica combinata con filtri opportuni: un filtro blu del tipo Wratten 47A (oppure Schott BG 12), trasparente fra 340 e 550 nm, permetterà di seguire le vicende della coda di tipo I (plasma). La stessa emulsione combinata con un filtro rosso del tipo Wratten 24 (Schott OG 570), trasparente oltre 570 nm, permetterà di fotografare la coda di tipo II (polvere). Se i filtri sono posti davanti all'obiettivo (solo se di ottima qualità ottica) è agevole il loro interscambio. Terne di foto (una senza filtri, una con il filtro blu e una con il filtro rosso) eseguite in rapida sequenza e ripetute per

almeno due ore rappresentano quanto di meglio la Sezione spera di ricevere dagli osservatori fotografici.

Sarebbe bene usare un'emulsione a grana fine, in modo da registrare i più minuti particolari. Sfortunatamente emulsioni di tale tipo sono solitamente poco sensibili: se si possiede l'apparecchiatura per ipersensibilizzarle con idrogeno o con *forming gas*, oppure per raffreddarle durante la posa, i problemi sono risolti e la migliore pancromatica che si possa indicare è la Eastman Kodak 2415. In caso contrario bisogna ripiegare su un'emulsione ad alta sensibilità ma a grana contenuta (es. Kodak TMax). È sempre più limitata la scelta di pellicole in bianco e nero, che sono nettamente superiori al materiale a colori in questo tipo di lavoro. Se non risultasse disponibile altro che materiale a colori, usare pellicole per diapositive e inviare alla Sezione le diapositive originali, che verranno restituite una volta utilizzate. Se si adottano diapositive non necessita l'uso di filtri: la separazione fra le due code sarà fatta a cura del Responsabile di Sezione.

Per ottenere un'immagine fotografica contenente almeno i particolari visibili a occhio nudo è necessario guidare, durante la posa, sul nucleo della cometa; in caso contrario si otterrebbe un'immagine "strisciata" di ogni suo particolare. Ma è molto raro il caso di falsi nuclei cometari che presentino un aspetto stellare e una luminosità utili allo scopo: solitamente la testa della cometa presenta al centro una condensazione di luce poco più che percettibile, insufficiente a permettere il puntamento del reticolo di guida. In questi casi è indicato il metodo proposto agli osservatori italiani da Andrea Cimatti sulle pagine della rimpiantata rivista *Coelum* e riportato in Appendice.

La luminosità delle comete è solitamente così modesta che sono richiesti lunghi tempi di posa per registrare tutti i loro particolari, ma questo determina l'insorgenza di tre problemi. In primo luogo consente un sensibile spostamento della cometa fra le stelle, per cui si richiede una guida accurata. In secondo luogo determina una sovraesposizione delle porzioni più luminose della testa e del falso nucleo, che ne impedisce di fatto lo studio successivo. Per cercare di contenere questo secondo difetto si possono effettuare più pose con tempi differenti, in rapporto di 3 uno dall'altro. In tal modo la magnitudine limite di ogni posa differirà di circa un'unità: il rapporto dovrebbe essere 2.512, ma il difetto di reciprocità delle comuni emulsioni fotografiche consiglia di ampliarlo a 3. Si potrebbe iniziare a lavorare con i seguenti tempi di posa: 1, 3, 9 minuti. Sviluppato il materiale, si deciderà da quale parte ampliare la sequenza durante le notti successive: accorciando la posa a 20 e a 7 secondi in caso di testa sovraesposta; allungandola a 27 minuti in caso di generale sottoesposizione. Inviare alla Sezione tutte le immagini così ottenute.

Il terzo problema che insorge quando si decide di posare a lungo, è determinato dal verificarsi di cambiamenti rapidi nei particolari cometari, che distruggerebbero la nitidezza dell'immagine anche in presenza di un'ottima guida. I moti della chioma e della coda di plasma sono determinati dal vento solare, che possiede velocità comprese fra 400 e 500 km/s. In 30 minuti (1800 s) il materiale cometario potrebbe spostarsi di svariate centinaia di migliaia di chilometri, determinando già del "mosso" nella posa. Se una posa di mezz'ora risultasse insufficiente, piuttosto di posare 90 minuti con lo stesso strumento sarebbe meglio usare uno strumento di diametro maggiore o di focale inferiore.

II CCD

I moderni dispositivi allo stato solido hanno, rispetto alle emulsioni fotografiche, i vantaggi della maggiore linearità (non c'è difetto di reciprocità, per cui fra un tempo di posa e l'altro si può realizzare un rapporto di 2.512), maggiore efficienza quantica (si possono adottare tempi di posa da 10 a 40 volte inferiori) e immediato riscontro del risultato, per cui si può individuare il tempo di posa ideale per ogni porzione della cometa appena visto il risultato di una qualsiasi posa.

L'elevata efficienza quantica e l'ampia sensibilità spettrale, che si estende da 350 fino a 1100 nm (a seconda dei vari modelli), consentono di usare filtri interferenziali a banda molto stretta e quindi di registrare la distribuzione spaziale delle specie chimiche (molecole o ioni) la cui emissione fluorescente è trasmessa dai filtri stessi. Alcuni filtri devono essere scelti per isolare e misu-

rare l'intensità del continuo dovuto alle polveri (vedi il paragrafo dedicato alla fotometria).

Il responsabile per la fotometria nell'IHW, Michael F. A'Hearn, è a disposizione degli interessati presso la Commissione 15 dell'IAU (Gruppo di lavoro sui filtri standard per comete) allo scopo di fornire la serie di filtri appositamente costruita per l'osservazione della cometa di Halley. In alternativa, se questa via non fosse produttiva, questa serie si può acquistare presso la Lumicon (rappresentata in Italia dai Fratelli Miotti). Una buona serie di filtri interferenziali a prezzo contenuto è acquistabile alla Edmund Scientific Co. (101 Gloucester Pike, Barrington NJ 08007-1380 USA) e sono descritti in Tabella I (rispetto alla serie dell'IHW manca il filtro a 388 nm per l'osservazione del CN).

Tabella I

Posizione delle emissioni delle principali specie cometarie, banda passante dei filtri interferenziali utili alla loro osservazione e relativi codici Edmund (diametro 12.5 mm)

Molecola	Emissione	Banda pass.	Codice filtro	(costo)
continuo	365 nm	355-375 nm	G43,051	(\$78)
C ₃	406 nm	395-415 nm	G43,052	(\$78)
CO ⁺	426 nm	420-440 nm	G43,056	(\$39)
continuo	485 nm	478-498 nm	G43,064	(\$39)
C ₂	514 nm	505-525 nm	G43,068	(\$39)
continuo	684 nm	680-700 nm	G43,089	(\$39)
H ₂ O ⁺	702 nm	684-704 nm	G43,090	(\$39)

Per ridurre al minimo la spesa si possono acquistare solo 3 filtri: del C₂, la molecola che emette più intensamente nella chioma, del CO⁺, fra le più emittenti della coda, e il filtro del continuo a 485 nm. I filtri sono di piccole dimensioni (diametro del campo utile 8.5 mm) e perciò vanno posti il più possibile vicini al CCD. È bene ricordare che, in alcune comete povere di gas, si è notata una scarsa presenza di queste molecole e la scelta minima potrebbe non rivelarsi sempre soddisfacente.

Chi invece possiede già alcuni dei classici filtri da fotometria UBVRI secondo Johnson e Cousins, e non intende affrontare altre spese, può ottenere egualmente risultati interessanti. Attenzione, però, che i filtri U e B siano adatti al CCD e cioè non presentino il cosiddetto "red leak" cioè una sensibile trasparenza nel rosso, in presenza della quale si misurerebbe per luce blu (o violetta) anche la luce rossa che passa attraverso il filtro. Ottimi filtri sono in vendita presso la ditta Gambato, in Italia, oppure presso la Omega Optical Inc. (3 Grove Street, PO Box 573, Brattleboro, VT 05301 USA). Lavorando in alternanza con i filtri B e R si può registrare separatamente la distribuzione delle formazioni gassose e di quelle polverose (come nella fotografia usando in alternativa i filtri blu e rosso). Col filtro U (se il CCD è abbastanza sensibile) si può rivelare la distribuzione del CN nella testa cometaria.

Una limitazione dei CCD sembra essere rappresentata dalle loro dimensioni, inferiori a quelle di un'emulsione fotografica: da 2.6×2.6 a poco più di 10×10 mm², in luogo dei 24×36 mm² di un'emulsione. Se si tiene conto del migliore potere separatore dei CCD (pixel di 10-20 μm di lato rispetto alla grana delle emulsioni normali, circa 50-100 μm) si comprende che anche un piccolo CCD può fornire risoluzioni e campi angolari paragonabili o migliori di quelli registrati su una fotografia, purché lo si combini con un obiettivo di focale opportuna. In Appendice si riporta la formula che fornisce il campo in funzione della focale dell'obiettivo e della grandezza del CCD, insieme con alcuni esempi. Nei casi estremi si può spostare lo strumento per registrare con il CCD la parte di campo mancante e successivamente si combinano le due riprese: con il CCD si può fare anche questo.

Osservazione visuale

In presenza di un cielo non inquinato da luci, un occhio adattato all'oscurità (da almeno 30 minuti) e munito di uno strumento che fornisca una pupilla d'uscita (rapporto fra diametro dell'obiettivo e ingrandimento: per es. un 7×50 dà $50/7 = 7.1$ mm) prossima a 6-7 mm, può scorgere tutti i particolari registrabili su una fotografia presa con lo stesso strumento. Pertanto anche un osservatore visuale riuscirà a rappresentare sulla fotocopia di un atlante stellare (ottima l'Uranometria 2000 o le mappe tratte dal Guide Star Catalog) i tratti salienti di una cometa purché usi uno strumento adatto alla magnitudine dell'astro e ingrandimenti opportuni. Il vantaggio dell'occhio è quello di registrare i particolari osservabili in un tempo brevissimo (circa 0.05 secondi), per cui un osservatore addestrato riesce in pochi minuti a disegnare "in negativo" (tratti di matita dove la cometa è luminosa) ciò che scorge dentro il suo strumento. Questa rapidità di registrazione dei particolari cometari visibili conferisce all'osservatore visuale un grande peso nell'economia della Sezione Comete: come si verifica nella generalità delle Sezioni di Ricerca UAI, gli osservatori visuali sono le colonne che sostengono l'edificio della ricerca.

I dati a corredo dell'osservazione

Il primo dato che bisogna registrare a corredo di ogni osservazione è relativo alla tecnica impiegata (visuale, fotografica o CCD). Seguono la data, l'ora di inizio e di fine osservazione (in TU) e il nome dell'osservatore. Si riportano quindi le caratteristiche dello (o degli) strumento (strumenti) usato (usati): apertura e focale, in millimetri, e tipo di progetto ottico (binocolo, riflettore Newton, Cassegrain, Schmidt-Cassegrain, ecc.), gli ingrandimenti impiegati. In caso di fotografia, si citi l'emulsione e la sua sensibilità nominale, l'eventuale ipersensibilizzazione o il raffreddamento, la tecnica adottata per la guida. Nel caso di osservazione CCD citare il tipo di sensore, le sigle dei filtri, l'eventuale calibrazione (stelle usate, flat field e dark, vedi avanti) e inviare alla Sezione una copia di tutti i frames coinvolti. Le schede necessarie verranno inviate agli aderenti che ne faranno richiesta. Ogni osservatore può aggiungervi i dati specifici alla sua attrezzatura. Inviare una scheda per ogni seduta osservativa, a corredo di più osservazioni visuali, fotografiche o CCD eseguite nella stessa notte. I disegni vanno inviati in fotocopia e le diapositive in originale; le fotografie vanno inviate in copia stampata su carta in modo da non perdere i dettagli più deboli (in caso di dubbio mandare i negativi originali); le immagini CCD e i relativi flat normalizzato e dark vanno inviati in copia su dischetto.

Morfologia della regione circumnucleare

Scopo di questa parte della ricerca è descrivere l'evoluzione temporale della forma della testa della cometa nella regione del falso nucleo e negli immediati dintorni. Il risultato ideale sarebbe rappresentato da molti film, ciascuno girato nella particolare lunghezza d'onda di una certa emissione molecolare, che potessero riproporre i principali eventi che hanno caratterizzato le strutture a piccola scala e vicine al nucleo, mettendoli in relazione con l'attività nucleare e con la composizione chimica del materiale ciettato. Le informazioni ottenibili sono relative alla radiazione solare assorbita dal materiale nucleare e alla composizione di questo.

Si applicano le stesse tecniche dell'osservazione planetaria ad alta risoluzione: osservazione visuale usando l'ingrandimento risolvete (circa uguale al diametro dell'obiettivo in centimetri), osservazione fotografica o CCD a focale tale che le dimensioni del potere separatore al fuoco siano almeno uguali alle dimensioni della grana o del pixel del CCD. Usando uno strumento di diametro D mm e un CCD con pixel quadrati di p μ m di lato (o un'emulsione di grana media p μ m), la focale minima da usare (in millimetri) è data dalla relazione:

$$F = 1.719 D p$$

Per esempio, un 200 mm usato con un CCD avente i pixel di $16 \mu\text{m}$ dovrebbe avere una focale di 5.5 m, mentre in combinazione con la 2415 (grana media $8 \mu\text{m}$) dovrebbe essere portato a una focale di 2.75 m. Per sicurezza si può adottare una focale maggiore, fino al doppio dei valori consigliati, ma è bene non andare oltre altrimenti si perdono i vantaggi acquisiti a causa dei lunghi tempi di posa e della turbolenza atmosferica.

Negli esempi fatti la luminosità degli obiettivi cala a valori bassissimi (1:27.5 e 1:13.75 rispettivamente) per cui risulterà privilegiato l'impiego del CCD (specie se si intendono usare filtri interferenziali). L'uso della fotografia e dell'osservazione visuale per lo studio della morfologia circumnucleare sarà possibile solo nei casi di comete molto luminose (magnitudine integrata della testa, m_T , minore di 8 circa).

È molto utile l'uso di filtri per discriminare la composizione chimica delle strutture. Chi usa la **fotografia** adotterà il filtro rosso Wratten 24 (o Schott 570) in combinazione con una pellicola pancromatica per studiare le strutture della polvere, mentre userà il filtro blu Wratten 47A (o Schott BG12) per evidenziare tutti i gas, oppure un filtro U (Wratten 18A o Schott UG1) per evidenziare il solo CN.

Se si usa un **CCD**, per osservare la polvere si impiegheranno i filtri interferenziali adatti allo studio del continuo oppure il filtro R di Johnson-Cousins. Per osservare i gas con un CCD, si useranno i filtri interferenziali specifici (Tabella I) oppure i filtri Johnson-Cousins U (per il CN) e B (per gli altri gas). Se si usano obiettivi a lenti bisognerà ritoccare il fuoco passando dal filtro U a quello R. Le immagini CCD (o quelle fotografiche dopo digitalizzazione) si prestano a un'elaborazione che evidenzia la disomogenea distribuzione del materiale ciettato dal nucleo cometario. Si tratta dell'algoritmo di Sekanina-Larson che consiste nel sommare tre immagini (A, B e C) ricavate dall'originale (X) nel modo seguente:

- A è ottenuta ruotando X di qualche grado (da 1 a 5) in senso antiorario e poi sottraendo X originale;
- B è ottenuta ruotando X dello stesso numero di gradi, ma in senso orario, e poi sottraendo X originale;
- C è ottenuta traslando X di qualche pixel.

L'immagine elaborata presenta in forte contrasto le deboli differenze presenti nell'immagine originale.

Ricordare sempre che l'uso di lunghi tempi di posa potrà vanificare le attese, impastando fra loro forme differenti di momenti successivi. È già stato detto che, alla distanza di 1 UA, il potere sparatore di un 200 mm corrisponde a circa 1000 km: assumendo una velocità di espansione del materiale pari a quello di Halley (0.5 km/s) in capo a 2000 secondi esso avrebbe percorso appunto 1000 km e passerebbe al pixel successivo generando già un piccolo "mosso". Anche qui si consiglia di non superare i 30 minuti di posa.

Difficilmente la cometa sarà così brillante da consentire di usare filtri durante l'osservazione visuale, ma quando sarà il caso non esitare a impiegarli: un filtro blu per osservare la componente gassosa, uno rosso per osservare le polveri. In tutti gli altri casi di routine l'osservazione visuale ad alta risoluzione va fatta in luce integrale.

Ogni osservazione della morfologia circumnucleare va ripetuta, eventualmente con delle piccole soste, in modo da coprire almeno 2 ore, in capo alle quali si dovrebbe avvertire il senso della rotazione del nucleo. Potendo, almeno in occasione di una notte con ottimo cielo, estendere l'osservazione per più ore in modo da essere certi di aver colto il senso di rotazione (orario o antiorario).

Fotometria

La misura del flusso di luce proveniente dalle varie porzioni della cometa, dopo essere stata corretta per la variabile distanza cometa-Terra (Δ) (riportando tutte le stime a 1 UA con la legge del quadrato della distanza) e trasformata in magnitudine, può essere messa in relazione con la quantità di materia, gassosa o polverosa, emessa dal nucleo. Il risultato che si desidera ottenere è costituito da una curva di luce, più dettagliata possibile, per ognuna delle quattro parti di una cometa: la testa (m_1), il falso nucleo (m_2) e le code di polvere e di gas. È bene dire subito che, mentre m_1 e m_2 sono suscettibili di misura da parte degli astrofili, la magnitudine delle code è al di fuori della loro portata, almeno finché non sono dotati di CCD. Le magnitudini saranno rappresentate in funzione della distanza della cometa dal Sole (r) e quindi di un tempo che sarà contato a partire dal passaggio al perielio, e che risulta negativo durante l'avvicinamento e positivo durante l'allontanamento (fig. 9).

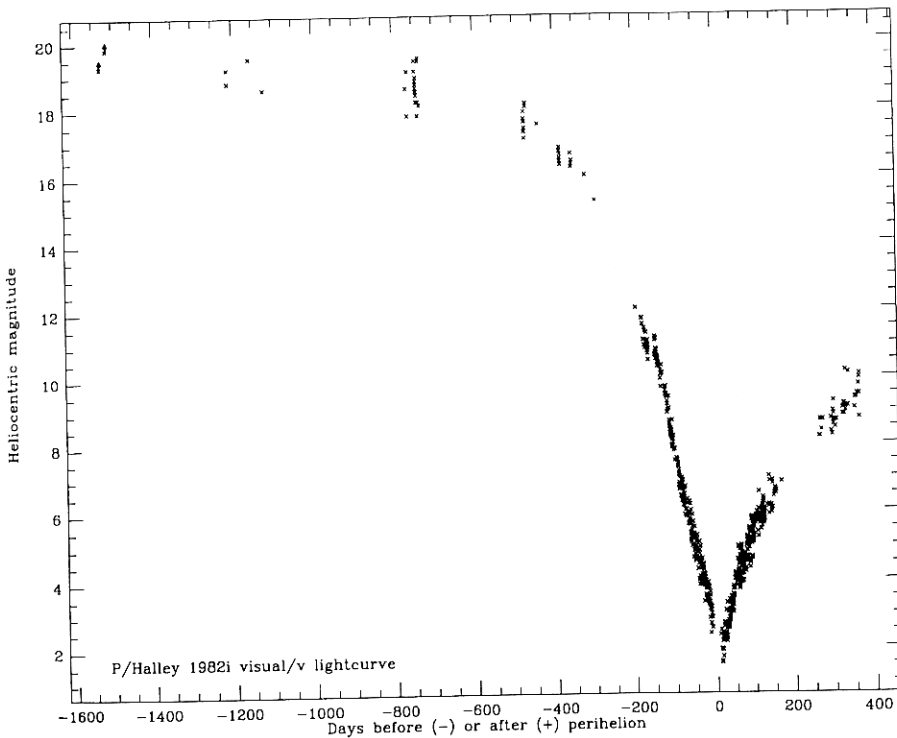


Fig. 9

Se il nucleo cometario fosse una roccia non volatile il suo comportamento fotometrico sarebbe descritto dall'equazione:

$$m_1 = H_o + 5 \log \Delta + 5 \log r$$

che tiene conto della legge del quadrato della distanza: è su una formula di questo tipo che si

basano le previsioni di magnitudine di una cometa durante il suo passaggio al perielio. Il materiale eiettato è però in grado di mutare sensibilmente il comportamento fotometrico di una cometa al variare della sua distanza dal Sole, per cui si preferisce introdurre un parametro n nell'equazione:

$$m_1 = H_0 + 5 \log \Delta + 2.5 n \log r$$

Il termine n quantifica pertanto la velocità di variazione della magnitudine con la distanza Sole-cometa (r) ed è in qualche modo legato all'attività cometaria. In realtà la proporzionalità fra luminosità e quantità di materia eiettata sembra valere solo per le emissioni di fluorescenza, e quindi nel ristretto intervallo di lunghezze d'onda di ciascuna delle diverse bande di emissione presenti nello spettro cometario (fig. 10). È stato invece assodato che la magnitudine della testa stimata visualmente è correlata all'attività cometaria solo su piccola scala temporale (giorni). Su archi di tempo più lunghi essa non è legata in alcun modo alla quantità di materia — gassosa o polverosa — emessa dal nucleo della cometa. Tuttavia, un lavoro di fotometria visuale resta sempre significativo in quanto, specie nel caso di comete periodiche, è l'unico che viene eseguito da più di un secolo con la medesima logica e quindi rimane l'unico modo per confrontare omogeneamente studi cometari eseguiti in tempi differenti. Da quanto detto si comprende che esiste una differenza sostanziale tra le varie metodologie usate per effettuare la fotometria: visuale, fotografico, fotoelettrico, con CCD.

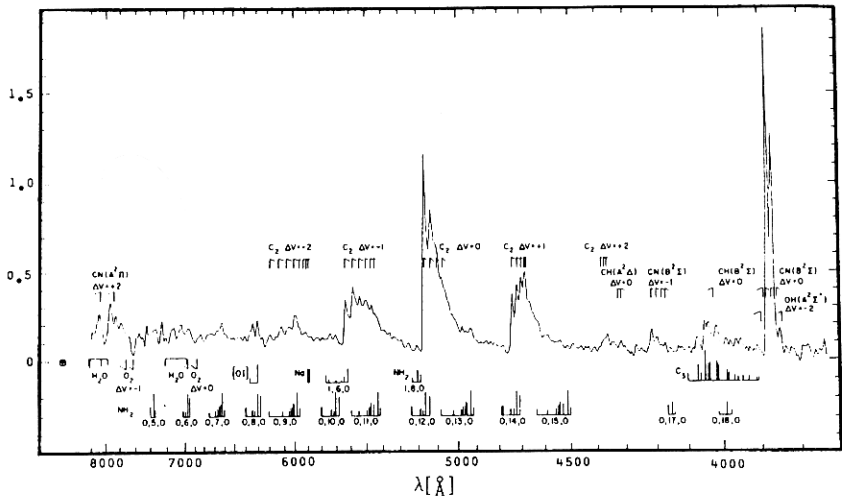


Fig. 10 - Scansione dello spettro della cometa Kohoutek 1973XII.

Fotometria visuale

La fotometria visuale del falso nucleo cometario (m_2), se questo risulta visibile e appare di aspetto stellare, è del tutto simile alla fotometria delle stelle variabili. La Sezione curerà di distribuire per tempo ai suoi collaboratori un certo numero di sequenze standard di magnitudine dislocate lungo l'itinerario previsto della cometa. Gli osservatori dovranno attenersi a queste sequenze, a meno che anomali brillamenti (o cali di luminosità) non facciano uscire la cometa dalla fascia di magnitudini previste. In tal caso si scelga un piccolo numero di stelle più brillanti (o più deboli) di quelle della sequenza assegnata e si usino le stesse il più a lungo possibile.

La Sezione privilegia il metodo di stima cosiddetto "frazionario", ma anche altri metodi sono accettati, purché siano chiaramente identificati (Argelander, Pogson ecc.). Secondo il metodo frazionario si cerca di collocare mentalmente il nucleo cometario all'interno di una sequenza di stelle standard, individuando innanzitutto la stella della sequenza che risulta appena più brillante e quella che appare appena più debole. La stima si esegue memorizzando la luminosità del nucleo cometario e , spostato il telescopio su ognuna delle stelle della sequenza, individuando le due stelle che lo fiancheggiano. Per esempio, si supponga che rispetto alla sequenza $a, b, c, \dots, m, n, o, \dots$ il nucleo cometario sia stimato più debole della stella d ma più brillante della stella e : si scriverà $d()m_2()e$. In seguito si cercherà di valutare se l'intervallo fra d e m_2 è uguale, maggiore o minore dell'intervallo fra m_2 ed e . Se i due intervalli sono stimati uguali si scrive: $d(1)m_2(1)e$ e la magnitudine m_2 sarà la media fra d ed e . Se il primo intervallo sarà giudicato maggiore del secondo (m_2 più vicina a e) si cercherà di dividere mentalmente l'intervallo di magnitudine fra d ed e in un certo numero di parti (da 3 a 6, raramente serve di più) e di attribuire ai due intervalli il rapporto corretto (per esempio: $d(3)m_2(1)e$ indica che m_2 è tre volte più distante dalla stella d di quanto non sia dalla stella e).

La stima di m_2 può essere disturbata dalla luminosità della chioma. Si può cercare di ridurre il disturbo illuminando il campo dell'oculare (per esempio usando il reticolo illuminato che si impiega per la guida fotografica) fino a che la chioma scompare e il nucleo cometario e ogni altra stella si stagliano puntiformi su un fondo luminoso.

La luminosità integrata della testa di una cometa, espressa dalla magnitudine m_1 , comprende quella del falso nucleo e quella della chioma. Per risolvere il disagio di combinare la luminosità del falso nucleo (quasi puntiforme) con quella della chioma (oggetto esteso) e di paragonare questo insieme eterogeneo con stelle puntiformi, si consiglia di seguire il metodo di Morris. Questo non impedisce a chi è già esperto dei metodi di Bobrovnikoff o di Sidgwich di continuare a usarli, ma stimola i nuovi osservatori (e anche i vecchi) a imparare un metodo che, nella pratica dell'astrofilo che l'ha introdotto, si è dimostrato di grande affidabilità.

La prima operazione da eseguire è di sfuocare la testa della cometa in modo da ottenere un disco di luminosità omogenea: si memorizzano diametro e luminosità di questo disco. Si sfuocano quindi le immagini delle stelle fino a ottenere dischi dello stesso diametro: confrontando la luminosità di questi dischi con quello memorizzato della cometa, si effettua una stima col metodo frazionario. Usando un riflettore con specchietto secondario si può essere disturbati dal fatto che una cospicua sfuocatura mette in evidenza un punto nero al centro del disco luminoso: si tratta dell'ombra del secondario. Per ridurre al minimo il disturbo è bene osservare a basso ingrandimento, da 1.5 a 2 volte il diametro obiettivo in centimetri.

Bisogna dire che il metodo di Morris non è sempre applicabile. Sfuocando la testa di una debole cometa, di magnitudine prossima ai limiti dello strumento, si rischia di farla scomparire dal campo visibile. Si ricorra allora al metodo di Sidgwich che prevede di confrontare l'immagine a fuoco della cometa con le immagini sfuocate delle stelle standard. La sfuocatura delle stelle va spinta fino a far loro assumere un diametro uguale a quello della chioma della cometa a fuoco. Questo metodo risulta molto agevole se si usa un binocolo, poiché si può operare sulla cometa con un oculare e sulle stelle con l'altro, ma funziona bene solo per comete deboli e prive di una cospicua condensazione di luminosità centrale.

L'influenza della condensazione centrale sulle stime di m_2 è tale che diventa consigliabile valutarne preventivamente l'entità. Si definisce *grado di condensazione* un parametro numerico che va da 0 a 9 e che descrive il profilo fotometrico della testa cometaria, cioè l'andamento della luminosità lungo una retta che l'attraversa passando per il falso nucleo. Sono definiti quattro punti:

- il grado 0 spetta a una chioma uniforme e priva di condensazione;
- il grado 3 spetta a una chioma con luminosità gradualmente crescente verso il centro;
- il grado 6 definisce una chioma che presenta un veloce aumento di luminosità verso il centro;

– il grado 9 definisce una chioma di apparenza stellare.

Se si riesce a esprimere anche i gradi intermedi bene, altrimenti è sufficiente scegliere fra i quattro valori appena descritti. Il metodo di Sidgwich è facilmente applicabile fino a un grado di condensazione 2-3, dopo di che risulta difficile (ai non esperti) distribuire mentalmente in maniera uniforme la luminosità della chioma per confrontarla con l'immagine di stelle sfuocate, che appare come un disco alquanto omogeneo.

Fotometria fotografica

Diciamo subito che la fotografia eseguita senza l'interposizione di filtri non ha alcuna utilità fotometrica, in quanto la sensibilità spettrale delle emulsioni comuni è molto diversa da quella dell'occhio. Invece, usando le combinazioni di emulsioni e filtri tipiche della fotometria V di Johnson il discorso può diventare interessante. Per operare nella banda V, e quindi contribuire al programma visuale, si può usare una qualsiasi emulsione pancromatica in bianco e nero accoppiata a un filtro giallo del tipo Wratten 8 (o Schott GG 495). Si ha interesse a usare obiettivi con focale molto corta, in modo da mantenere il più possibile "stellare" la testa, o almeno il nucleo, della cometa.

Si eseguano pose della testa cometaria con tempi uno triplo dell'altro, nella sequenza: 7s, 20s, 1, 3, 9, 27 minuti. La combinazione fotografica usata va calibrata dal punto di vista fotometrico fotografando, nella stessa sera, con lo stesso strumento, per lo stesso tempo di posa e sviluppando poi tutto insieme, le stelle standard più vicine alla cometa, in particolare alla stessa altezza zenitale. Se le stelle standard non fossero registrabili tutte nel campo della cometa, fotografare con gli stessi tempi descritti, e con il campo alla stessa distanza zenitale della cometa, un ammasso aperto o una porzione periferica di un ammasso globulare. Si individui quindi la posa più lunga dove la chioma non risulta ancora visibile e si determini, con riferimento alle stelle standard, la magnitudine del falso nucleo m_2 . Su una delle pose successive (attenzione a evitare la sovraesposizione del falso nucleo) si determini la magnitudine integrata della testa m_1 . Sviluppare insieme le foto della cometa e quelle delle stelle standard ed effettuare la stima della magnitudine cometaria come è stato descritto per le magnitudini visuali.

Non bisogna dimenticare che l'errore fotometrico intrinseco di un'emulsione fotografica è di circa 0.2-0.3 magnitudini, che si sommeranno inevitabilmente all'errore della stima visuale (0.2-0.3 magnitudini) che si fa sulle immagini fotografiche (altro sarebbe se si potesse usare qualche tipo di fotometro ma il discorso diventerebbe troppo tecnico). Queste considerazioni fanno comprendere che la fotometria fotografica è veramente utile solo quando quella visuale non è possibile: su comete intrinsecamente deboli o molto distanti dal perielio.

Fotometria fotoelettrica

L'utilità di fotometri fotoelettrici a fotomoltiplicatore (quelli a fotodiodo sono inutilizzabili) dipende criticamente dal loro progetto ottico e dai filtri di cui sono dotati. Nella fotometria fotoelettrica convenzionale i diaframmi servono a isolare il corpo puntiforme da misurare (stella, satellite, asteroide) dai corpi luminosi circostanti (stelle, galassie, pianeta) che potrebbero inquinare le misure. Se non ci fosse il seeing ad allargare l'immagine stellare oltre le dimensioni del disco di Airy, il diaframma potrebbe essere il più piccolo possibile. Nel campo cometario, sia il falso nucleo che, soprattutto, la chioma hanno dimensioni angolari cospicue (si possono superare le decine di primi) e per comprenderne tutta la luce sono necessari diaframmi di grandi dimensioni.

Ma a questo punto sorge un altro problema, costituito dalle dimensioni della lente di Fabry, il cui diametro è stato di solito progettato per l'osservazione di piccoli campi (quelli dei diaframmi) entro i quali la sensibilità dello strumento è costante (a qualsiasi distanza dall'asse ottico compresa entro il diaframma). L'uso di diaframmi molto ampi può entrare in conflitto con il limitato diametro della lente di Fabry, che vignetterebbe il campo misurabile oltre un certo diametro del diaframma. Si comprende quindi che un fotometro fotoelettrico per osservazione cometaria deve essere appositamente progettato e costruito. Un fotometro a diodo non ha solitamente diaframmi,

e quindi non si saprebbe mai a quale campo si riferiscono le sue misure. Anche se lo si dotasse di diaframmi così ampi da poter lavorare sulle comete, la sensibilità luminosa del piccolo fotodiode non resta comunque costante all'allontanarsi dall'asse ottico e quindi le sue letture sono inutilizzabili su ampi campi celesti.

La classica fotometria UBV di Johnson è scarsamente correlata con l'attività cometaria, come è stato affermato per la magnitudine stimata visualmente: le misure nella banda V possono essere utili a complemento e controllo delle stime visuali; le misure nella banda U, che è dominata dall'emissione del CN, possono essere molto interessanti per la stima del tasso di produzione di quella molecola (nei limiti di quanto detto sopra circa diaframmi e lente di Fabry). Nella banda B, invece, cadono molte emissioni che la rendono poco diagnostica.

Invece è molto significativa, al fine di quantificare l'attività cometaria, la fotometria fotoelettrica con fotomoltiplicatore a grande superficie sensibile, con grandi diaframmi e grande lente di Fabry e con i filtri interferenziali già descritti. Si misura il flusso luminoso in corrispondenza di una o più bande di emissione e si sottrae il valore del fondo ad esse vicino. Con lo stesso filtro si misura una o più stelle standard di tipo spettrale non avanzato (al massimo del tipo solare) e si eseguono i conti come per le stelle variabili. I possessori di un fotometro fotoelettrico non hanno bisogno di ulteriori dettagli per produrre stime utili. Le misure quantitative della fluorescenza sono in diretto rapporto con la quantità della specie emittente e quindi sono le sole vere misure relative all'attività cometaria.

Fotometria CCD

Il CCD ha caratteristiche fotometriche che, da un lato, sono leggermente inferiori a quelle di un fotomoltiplicatore ma, dall'altro lato, presentano la netta superiorità di un'elevata efficienza quantica.

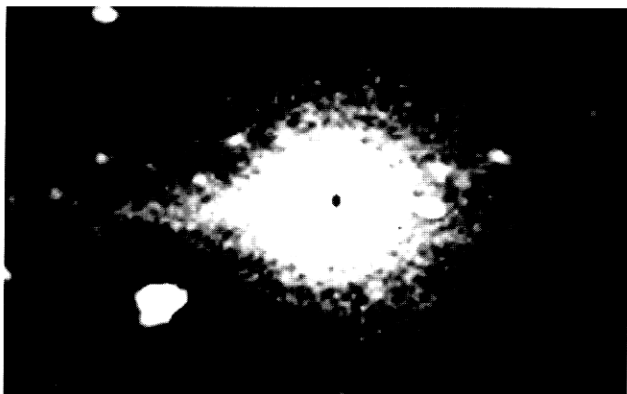


Fig. 11 - Ripresa al CCD della cometa Mac Naught-Russel ottenuta agli inizi di aprile '94 con 2 minuti di posa utilizzando il CCD ST6 applicato al telescopio da 400 mm f/8 (con riduttore di focale) dell'Associazione Astrofili Spezzini. Foto di Paolo Pietrapiana.

Perché un'immagine CCD esprima tutto il suo valore scientifico è necessario calibrarla. L'operazione inizia con la ripresa di alcuni *flat field* (una decina) dai quali si toglie il relativo bias. Si sommano fra loro i vari flat field e si determina il valore medio del contenuto dei pixel dell'immagine così ottenuta: dividendo tutti i contenuti dei pixel per questo valore medio si costruisce un flat field medio e normalizzato a 1, tale cioè che il valore medio dei pixel sia unitario. L'operazione prosegue con la realizzazione delle immagini di rumore termico (dark) alla temperatura di ripresa delle immagini vere e proprie e con lo stesso tempo ma a otturatore chiuso. È necessario che la temperatura sia la stessa della ripresa: se la temperatura atmosferica cambia di un paio di gradi è necessario riprendere un nuovo dark. Si completa con la ripresa, subito prima e subito dopo l'immagine cometaria, dell'immagine di una stella standard che si trovi il più possibile vicina alla cometa e alla stessa altezza zenitale (stessa massa d'aria attraversata) e del relativo dark

(se fosse diverso dal dark della cometa). L'operazione termina con la ripresa di altre 3-4 stelle standard a diverse altezze zenitali, fino a distanza quasi nulla (stella allo zenit), e dei relativi dark.

La calibrazione va ripetuta identicamente per ogni filtro usato (U e V, oppure gli interferenziali di tab. I), cosa che rende molto lungo il lavoro in più colori, che resta però il più ricco di significato scientifico, in quanto fornisce dati quantitativi non ottenibili con altre tecniche. La misura delle immagini delle stelle standard mediante la funzione fotometrica prevista dal software del CCD fornisce le costanti fotometriche del CCD e del cielo durante le osservazioni. Operando come descritto in Appendice si determina la relazione fra gli elettroni contati nei pixel e il flusso elettromagnetico proveniente dal soggetto. Si può quindi calcolare la magnitudine integrata delle varie parti della cometa (si può lavorare anche sulle code, purché si eliminino le immagini delle eventuali stelle di sfondo) oppure fornire una descrizione quantitativa delle isofote che appaiono quando si rappresenta l'immagine in falsi colori, calcolando per ogni isofota il flusso corrispondente. È indispensabile che la guida sulla cometa sia eseguita alla perfezione.

Spettrografia

Le comete luminose (m , minore di 6 circa) e di piccole dimensioni angolari, consentono di realizzare un risultato che sembrerebbe lontano dalle possibilità degli astrofili, cioè la registrazione del loro spettro. Giocando sul tempo di posa, anche comete molto cospicue possono essere studiate in questo modo, in quanto si può posare quel tanto che basta per registrare la regione del loro falso nucleo.

La realizzazione di uno spettrografo adatto allo scopo è molto semplice ed è illustrata in figura 12. Un prisma di Porro, di dimensioni tali da coprire l'obiettivo che lo segue, rivolge verso il cielo una delle sue facce minori (cateto). La luce che vi penetra esce, dispersa nelle sue componenti, attraverso la faccia maggiore (ipotenusa) ed entra nell'obiettivo fotografico che la focalizzerà sulla pellicola o sul CCD.

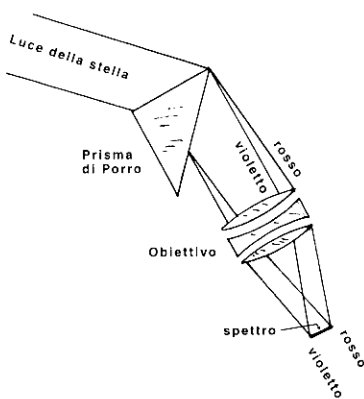


Fig. 12

Lo strumento descritto è privo di fenditura, ma nel caso delle stelle funziona perfettamente in quanto esse sono di apparenza puntiforme. Gli spettri delle stelle di tipo B o A che cadono nel campo della cometa appariranno sul negativo come segmenti neri, corrispondenti al continuo, interrotti dalle righe di assorbimento della serie di Balmer dell'idrogeno (manca H_{α} che non viene registrata da nessuna pancromatica in commercio). Gli spettri delle stelle più avanzate (K, M, ecc.) appariranno come segmenti di intensità molto irregolare, a causa delle numerosissime bande di assorbimento. Eventuali righe o bande di emissione, per esempio quelle presenti negli spettri

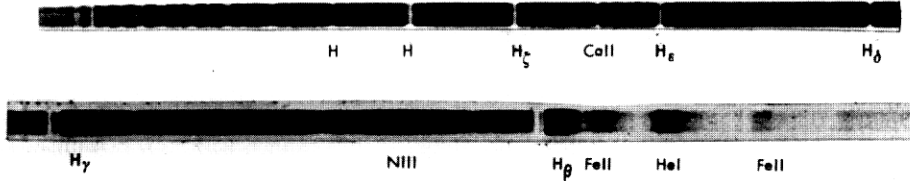


Fig. 13

delle stelle Be, appariranno come punti nerissimi che, a causa della loro forte intensità, sbordano dal profilo del segmento (fig. 13).

Una cometa, invece, presenta sempre un'immagine estesa e come tale sembrerebbe non offrire un buon soggetto di ripresa. È stato detto nell'introduzione che la luce emessa dalle comete è caratterizzata da ben definite lunghezze d'onda, mentre il continuo è in relazione con la luce solare riflessa verso l'osservatore dalle polveri. Poiché può accadere che la componente polverosa di una cometa non sia molto importante, il continuo dello spettro registrato apparirà molto debole. Su di esso si sovrapporranno le poche immagini monocromatiche che sono formate dalla luce emessa dal CN, C₃, C₂, CO⁺, H₂O⁺ ecc. (fig. 14). In ciascuna immagine si potrà studiare la distribuzione di quella particolare molecola nelle varie porzioni della cometa.

Per realizzare spettri cosiddetti "in prisma obiettivo" validi sotto il profilo scientifico è necessario curare alcuni aspetti strumentali e alcune operazioni di calibrazione. L'obiettivo fotografico deve avere una focale tale da mantenere molto piccole le dimensioni dello spettro e quindi molto luminose le varie immagini monocromatiche: una focale fra i 70 e i 200 mm dovrebbe andare bene nella maggioranza dei casi. Il prisma deve avere il massimo angolo disperdente (45° nei prismi di Porro, 60° in quelli equilateri) e la massima dispersione (cioè la massima densità, es. vetro flint invece di crown) in modo da separare al massimo le varie immagini monocromatiche.

L'emulsione fotografica deve essere molto sensibile e avere la grana più fine possibile, in modo da registrare i minimi dettagli: ancora una volta la Kodak 2415 (o l'Agfaortho) ipersensibilizzata appare la migliore scelta. Essa permette di separare due linee distanti, al fuoco, circa 10 μm e quindi di soddisfare il criterio di cui si dirà fra poco. Se si usa un CCD come rivelatore bisogna fare in modo che tutto lo spettro registrabile non ne superi le dimensioni (si può usare la diagonale). Per esempio, al fuoco di un obiettivo di focale 130 mm al quale è anteposto un prisma

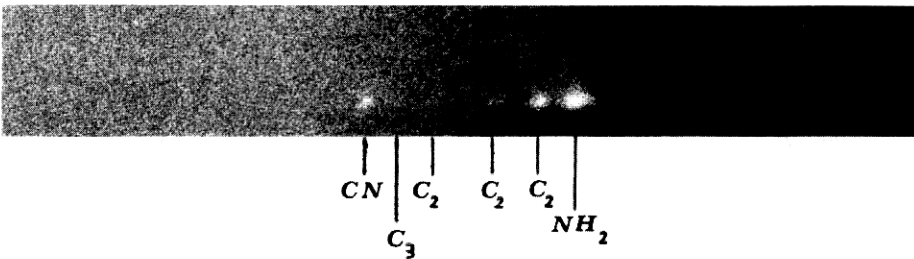


Fig. 14

di crown di angolo disperdente 45°, lo spettro fra 360 e 580 nm risulta lungo 2.5 mm: anche un sensore piccolo come il TI 211 (LYNXX, ST4) può registrarlo. È chiaro che si ha tutto l'interesse a leggere il maggior numero di punti in questo intervallo: supponendo di voler interessare circa 100 pixel (a una risoluzione che in media vale 2 nm, ovvero 20 Å, per pixel) si ottiene una dimensione massima del pixel di 25 μm circa, criterio che è rispettato dal TI 211 i cui pixel rettangolari hanno dimensioni 13×16 μm² circa.

Lo spettrografo suggerito deve essere calibrato determinando la sua curva posizione-lunghezza

d'onda, operazione che viene descritta in Appendice.

Come risulta evidente, le informazioni fornite dalle immagini in prisma obiettivo sostituiscono quelle ottenibili attraverso i vari filtri interferenziali descritti parlando delle ricerche morfologiche. Gli spettri così ottenuti si prestano quindi a uno studio morfologico (distribuzione delle varie specie molecolari nelle diverse parti della cometa) ma anche fotometrico. Per questo aspetto è ideale un rivelatore a CCD che va calibrato come descritto in Appendice. Realizzare un prisma obiettivo è un'operazione molto meno costosa e di maggiore utilità dell'acquisto di un numero sufficiente di filtri interferenziali. Lo strumento può essere utilizzato anche per acquisire spettri di variabili brillanti, di novae e, se di darà il caso, si un'attesissima supernova galattica.

Fonti iconografiche

Fig. 1, 3, 8 - C.B. Cosmovici, P. Mack, P. Maffei, G. Schwarz, "An Atlas of Comet Halley as seen from South Africa", 1993, Frascati, CNR

Fig. 2 - Sky & Telescope, 1977, Cambridge, Mass.

Fig. 4, 5, 9 - M. Grewing, F. Praderie, R. Reinhard (Eds.), *Exploration of Halley's Comet*, 1988, Springer-Verlag, Berlin.

Fig. 6 - A. Bernasconi, G. Forti, L. Pansecchi, in *Icarus*, 31, 1977, Academic Press, Inc.

Fig. 10 - Russell M. Genet, *Solar System Photometry Handbook*, 1983, Willmann-Bell, Inc., Richmond, Virginia.

Fig. 13 - L. Rosino, *Le stelle variabili*, 1988, Armando Curcio Editore, Roma.

Appendici

Guida calcolata su particolari cometari

(da "Coelum" vol. LIII, n. 6/1985)

Rubrica dei lettori 313

All'inseguimento delle comete

Il grande e atteso appuntamento con la cometa di Halley è ormai vicino.

Chi ha intenzione di effettuare osservazioni fotografiche, dovrà tenere conto di vari elementi indispensabili per ottenere fotografie di buona qualità.

Un fattore che riveste un ruolo fondamentale nella fotografia cometaria è la guida durante l'esposizione.

Infatti una cometa si muove sulla volta celeste con una velocità angolare differente da quella stellare; è quindi necessario compensare durante la posa questo moto proprio nel modo più preciso possibile.

Esistono vari metodi di guida; tralasciando quelli automatici e computerizzati, ci sono altre tecniche di inseguimento, che hanno in comune la guida diretta sulla testa della cometa; ma purtroppo tali metodi non garantiscono la dovuta precisione, e inoltre sono applicabili solo quando si vuole fotografare una cometa molto luminosa e con una condensazione centrale marcata e ben visibile, condizioni che si presentano raramente.

Per fortuna esiste un'altra tecnica che permette di risolvere i suddetti problemi.

Passiamo quindi alla descrizione dettagliata di questo metodo, procedendo con ordine.

Ciò che occorre

Oltre al telescopio di guida, è necessario avere un buon oculare dotato di reticolo micrometrico; riguardo al tipo di reticolo ci sono due possibilità:

1) reticolo con filo mobile, come quello usato per le stelle doppie.

2) reticolo con scala graduata micrometrica.

Personalmente consiglio il secondo tipo, in quanto, anche se comporta un errore di guida maggiore, è molto più facile da realizzare.

Infine, oltre all'oculare è indispensabile avere anche un normale goniometro sessagesimale (con lettura 0°-360°) e, per finire, le effemeridi precise della cometa che si vuole fotografare.

Descrizione del metodo

Possiamo distinguere due fasi separate: una di calcolo e l'altra operativa.

FASE DI CALCOLO: prima di fotografare devono essere calcolati i seguenti elementi: scala nel campo dell'oculare di guida, risoluzione dello

strumento fotografico sulla pellicola, moto orario della cometa, angolo di posizione della direzione di tale moto e infine il periodo di correzione.

FASE OPERATIVA: si orienta il filo graduato del reticolo con direzione parallela al moto della cometa; si centra una stella di guida e si inizia la posa.

Trascorso un noto periodo di tempo (periodo di correzione), nel quale la cometa ha percorso un dato numero di secondi d'arco corrispondenti alla risoluzione dello strumento sull'emulsione, si sposta la stella di guida lungo il filo graduato della stessa quantità di cui si è mossa la cometa. Si procede in questo modo, a intervalli regolari, fino al termine della posa.

Bisogna sempre ricordare che il campo nell'oculare appare invertito; terminata l'esposizione, avremo come risultato una fotografia con le stelle mosse, ma la cometa risulterà ferma, nitida e ben definita.

La qualità sarà tanto migliore quanto più lineari saranno le tracce lasciate dalle stelle durante il loro spostamento avvenuto nella posa.

Procedimento dettagliato

1) **Calcolo della scala:** si allinea il filo graduato secondo l'asse Est-Ovest; si centra con il telescopio di guida una stella equatoriale (Dec. = 0°), la si colloca al centro del reticolo; poi, a moto orario fermo, si cronometra il tempo che impiega la stella a percorrere lo spazio tra due tacche della scala graduata del reticolo. Si fanno diverse prove, in modo da ottenere una media precisa.

Lo spazio, in secondi d'arco, tra una tacca e l'altra, sarà dato dalla formula:

$$S = 15t \quad (1)$$

dove S = spazio, t = tempo impiegato dalla stella a percorrere tale spazio, espresso in secondi.

2) **Taratura goniometro:** si centra una stella con il telescopio di guida; a moto orario fermo si osserva da quale parte del campo essa si sposta e quindi si allinea il filo graduato con la direzione del moto della stella.

A questo punto si fa ruotare il goniometro fino alla sovrapposizione della tacca dei 270° (Ovest) con l'indice solidale con l'oculare.

Ricordiamo che tale indice è il prolungamento del filo graduato (vedi disegno).

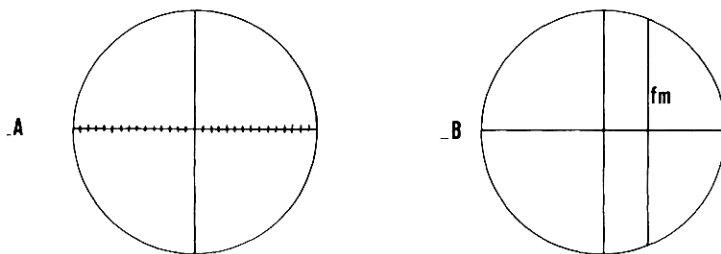
3) **Risoluzione dello strumento sull'emulsione:**

Il valore della risoluzione dipende principalmente dalla grana dell'emulsione. Infatti si può dire che i due elementi risoluzione-grana siano tra loro legati da una relazione di inversa proporzionalità: minore è la grana, maggiore è la risoluzione. Consideriamo di usare pellicole con una sensibilità compresa tra i 100 ASA e i 400 ASA; si può affermare orientativamente che con una focale di 100 cm., si ha una risoluzione sull'emulsione di circa 6 secondi d'arco.

Assumendo come base tale valore, si possono ricavare le varie risoluzioni in funzione di focali diverse con la seguente relazione:

$$R = 600 / F \quad (2)$$

FIG.1 **Tipi di reticolo**



A) con scala graduata

B) con filo mobile (fm)

dove: R = risoluzione in secondi d'arco, F = focale dello strumento in cm.

Se invece si usano emulsioni con grana ancora più grossa, come ad esempio le Kodak 103a o la 3M 1000, il valore della risoluzione, sempre per una focale di 100 cm., può arrivare anche a 12 secondi d'arco.

La situazione si complica notevolmente se si utilizzano pellicole ad altissima risolvienza, come le ormai celebri Kodak Technical Pan 2415 o le Kodak IIIa-J; in quest'ultimo caso la guida dovrà essere più precisa possibile, in quanto ogni piccolo spostamento verrebbe subito evidenziato da queste emulsioni.

Infine è necessario ricordare che ci sono altri fattori che influiscono sulla risoluzione, e sono la turbolenza atmosferica e, in fase di sviluppo, il tipo di rivelatore usato e la temperatura dei vari bagni.

4) Calcolo del moto orario della cometa: si può considerare tale moto come la risultante della somma vettoriale delle due componenti di moto in A.R. e in Dec., chiamate rispettivamente $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$. È quindi necessario calcolare queste due quantità dalle effermeridi ed esprimerle in secondi d'arco.

Il moto complessivo risultante sarà dato dalla seguente formula:

$$D = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\delta^2} \quad (3)$$

dove D = moto complessivo della cometa in secondi d'arco.

5) Calcolo dell'angolo di posizione: tale angolo si misura a partire da Nord (0°) procedendo

in senso antiorario; esso ci dà informazione relativa alla direzione e al verso del moto della cometa.

Il calcolo si effettua in questo modo: si trova il valore dell'angolo ϑ per mezzo della formula

$$\operatorname{tg}\vartheta = \Delta\delta/\Delta\alpha \quad (4)$$

Nota la tangente di ϑ , si risale facilmente al valore dello stesso ϑ .

A questo punto si calcola il valore dell'angolo di posizione (A.P.) per mezzo delle seguenti relazioni:

- a) se il moto è Nord e Est, A.P. = ϑ
- b) se il moto è Sud e Est, A.P. = $180^\circ - \vartheta$
- c) se il moto è Sud e Ovest, A.P. = $180^\circ + \vartheta$
- d) se il moto è Nord e Ovest, A.P. = $360^\circ - \vartheta$.

In base al risultato ottenuto potremo orientare esattamente il filo graduato dell'oculare lungo la direzione del moto della cometa; per fare ciò ci serviremo del goniometro, precedentemente tarato.

6) Calcolo del periodo di correzione: ci indica con quale frequenza è necessario apportare la correzione micrometrica durante la guida.

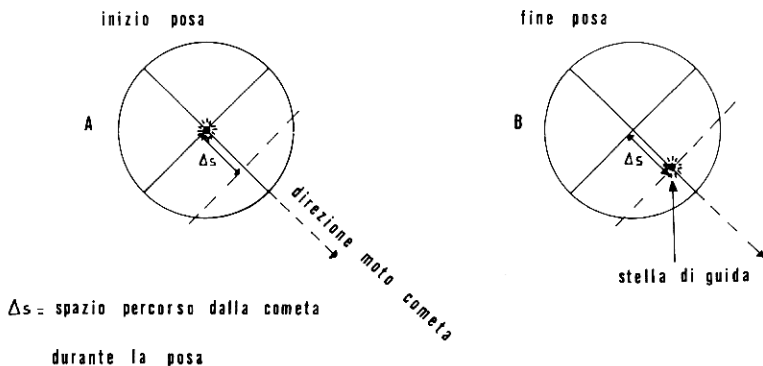
Il periodo, P, espresso in minuti, si può ricavare dalla seguente formula:

$$P = \frac{60}{D/R} \quad (5)$$

dove D = moto orario della cometa, in secondi d'arco, R = risoluzione dello strumento sulla pellicola, in secondi d'arco.

Con il calcolo di quest'ultimo elemento, la fase di calcolo si può ritenere conclusa; il lettore

FIG. 2 SCHEMA DEL METODO



di questo articolo sarà sicuramente sconcertato dalla apparente difficoltà di tale procedimento; in realtà questo metodo richiede solo un po' di pratica, e per dimostrare ciò, intendo terminare l'articolo con un esempio pratico. Si voglia ad esempio fotografare la cometa Levy-Rudenko 1984t nella notte del 19 Febbraio 1985; lo strumento ha una focale di 200 cm. e verrà utilizzata una Kodak Tri-X (400 ASA). Si procede in questo modo:

A.R.	Dec.
Feb. 18.0 09 ^h 59 ^m 29 ^s	Feb. 18.0 + 68° 11' 59"
20.0 09 ^h 35 ^m 00 ^s	20.0 + 65° 06' 31"
00 24 ^m 48 ^s	03° 09'

Abbiamo così ottenuto i valori $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$; ora devono essere convertiti in secondi d'arco per poi calcolare i moti orari:

$$\begin{aligned} \text{moto orario in A.R. (secondi d'arco)} &= \\ &= \frac{24.48 \times 15 \times 60 \times \cos 66^\circ 64'}{48^h} = 181.9''/h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{moto orario in Dec. (secondi d'arco)} &= \\ &= \frac{3.09 \times 60 \times 60}{48^h} = 231.7''/h \end{aligned}$$

Moto orario complessivo,

$$D = \sqrt{(181.9)^2 + (231.7)^2} = 294.5''/h$$

Calcoliamo ora l'angolo di posizione:

$$\text{tg } \vartheta = 231.7/181.9 = 1.2737$$

Il moto della cometa è Ovest (A.R.) e Sud (Dec.), quindi useremo la relazione:

$$A.P. = 180^\circ + 51.8^\circ = 231.8^\circ$$

Calcoliamo ora il periodo di osservazione:

$$D = 294.5''/h$$

$R = 3''$ = risoluzione dello strumento di 200 cm. di focale, sull'emulsione da 400 ASA.

$$P = 60/(294.5/3) = 0.611 \text{ min.} = 36.66 \text{ sec.}$$

Come si vede, in un caso come questo, la

guida sarà estremamente difficile, in quanto sarà necessario correggere ogni 36 secondi!

Per fortuna non tutte le comete sono «veloci» come la Levy-Rudenko, e inoltre l'astrofilo medio non dispone di strumenti con focali così lunghe.

Ad esempio se si usa uno strumento di 50 cm. di focale, il periodo di correzione viene quadruplicato, e passa da 0.611 min. a 2.444 min.

Da ciò emerge subito un'ultima nota FONDAMENTALE:

è necessario usare questo metodo solo quando l'esposizione è maggiore del periodo di correzione; così ad esempio se il periodo di correzione è di 15 minuti, e si vuole dare un'esposizione di 10 minuti, non sarà assolutamente necessario applicare questo metodo, e basterà guidare normalmente come per le foto stellari.

Spero vivamente che il mio articolo sia stato sufficientemente chiaro e facilmente comprensibile, ma spero ancora di più che esso risulti utile e aiuti l'astrofilo che intenda svolgere osservazioni di alta qualità.

Desidero anche ringraziare il responsabile della Sezione Comete U.A.I., Antonio Milani, per i vari consigli che mi ha sempre gentilmente dato.

Andrea Cimatti

BIBLIOGRAFIA

- 1) «The photography of comets», H.B., Ridley, J. Brit. Astron. Assoc., 1984, 95, 1.
- 2) Lines, R.D., 1973a June, «A simple micrometer microscope for off-axis guiding in comet photography», «The Strolling Astronomer», Journal of the Association of Lunar and Planetary Observers, Las Cruces, p. 97.
- 3) Lines, R.D., 1973b June, «How to use a micrometer microscope to guide for Comet photography», «The Strolling Astronomer», Journal of the ALPO, Las Cruces, p. 98.
- 4) Fotografia astronomica, W. Ferreri, Ed. Il Castello.

* * *

Campo angolare coperto da un CCD

Un CCD quadrato di lato l mm abbinato a un obiettivo di focale F mm coprirà un campo quadrato di lato Φ'' dato dalla formula:

$$\Phi'' = 206265 l/F$$

Per esempio, con un obiettivo da 28 mm e un CCD di 2,6 mm di lato si copre un campo di $5,5^\circ$.

Calibrazione di immagini CCD

L'immagine originale e grezza deve essere corretta mediante il flat field medio normalizzato e mediante il suo dark: tutte queste immagini vanno conservate in originale, in modo che in seguito sia eventualmente possibile ripetere l'operazione. Si esegue quindi l'operazione di "fotometria d'apertura" che consiste nel determinare l'intensità complessiva del particolare da misurare (falso nucleo, testa oppure coda, tutta o un pixel di ogni isofota diversa) in unità di conteggio (ADU = unità del convertitore analogico/digitale) fornite dal convertitore analogico-digitale. L'idea fondamentale è di scegliere sul chip una regione circolare (o quadrata) di area nota che si suppone contenga tutta l'informazione fotometrica che si desidera conoscere, e quindi di ricavare la somma dei contenuti di tutti i pixel di questa regione, ADUC. Si effettua quindi un'identica operazione su una o più regioni adiacenti, ma prive di corpi emittenti, ottenendo così la lettura del fondo cielo (ADUF): la differenza ADUC-ADUF fornisce il conteggio CC della porzione di cometa nella banda spettrale scelta. Operando in maniera identica sull'immagine di una stella standard (una di quelle fornite dalla Sezione) se ne ricava un conteggio CS nella stessa banda spettrale. Supponiamo che i valori nella banda V siano, per il falso nucleo $CC=25\ 000$ e per una stella di magnitudine $V=1.35$ $CS=14\ 900$. Usando l'assunto (ricavato dalle misure effettuate su Vega) che una stella di magnitudine $V=0.00$ mostra un flusso di $3.44 \cdot 10^{-12}$ W/cm², si calcola il flusso della stella di magnitudine 1.35 mediante la legge di Pogson:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log (F_1 / F_2)$$

$$0.00 - 1.35 = -2.5 \log (3.44 \cdot 10^{-12} / x)$$

dove x è il flusso cercato ($x = 9.92 \cdot 10^{-13}$ W/cm²). Fra il flusso della sorgente e i conteggi CC esiste una proporzionalità diretta, per cui si imposta la proporzione:

$$\text{flusso stella standard} : \text{conteggio stella standard} = \text{flusso cometa} : \text{conteggio cometa}$$

$$9.92 \cdot 10^{-13} \text{ W/cm}^2 : 14\ 900 = \text{flusso cometa} : 25\ 000$$

dalla quale risulta che il flusso della cometa vale $1.66 \cdot 10^{-12}$ W/cm². Il flusso così calcolato può essere trasformato in magnitudine e quindi corretto per la distanza cometa-Terra (riportandolo a 1 UA).

Calibrazione di uno spettrografo senza fenditura

Usiamo l'esempio di uno spettro della cometa West (1975n) ripreso da A. Milani il 21 marzo 1975 (ore 4.04 TU) e misurato dall'autore (fig. 14). Esso mostra 6 immagini monocromatiche della testa cometaria i cui baricentri si trovano alle seguenti distanze (in millimetri) da un punto fisso scelto arbitrariamente sulla pellicola, oltre il limite del rosso: 1) 3.92; 2) 4.03; 3) 4.32; 4) 4.72; 5) 5.52; 6) 5.88. Per trovare le rispettive lunghezze d'onda è stato necessario calibrare lo spettrografo fotografando (stessa sera, stessa emulsione, stesso trattamento dell'emulsione) una lampada stradale al mercurio, quelle con luce di tonalità azzurrina, tanto lontana da risultare puntiforme al fuoco. Nello spettro del mercurio così ottenuto appaiono 8 righe (cioè 8 immagini monocromatiche della lampada stradale), le cui lunghezze d'onda in nanometri sono riportate in tabella II, insieme con la loro posizione nello spettro misurata in millimetri a partire da una posizione fissa scelta a caso sulla pellicola, oltre il limite del rosso.

Tabella II.

Lunghezza d'onda in nanometri delle righe di emissione del mercurio e loro posizione misurata in millimetri su uno spettro fotografato con un prisma obiettivo.

nm	579.4	546.1	491.6	436.8	407.8	404.7	390.6	365.3
mm	0.36	0.54	0.96	1.58	2.02	2.06	2.32	2.86

Mediante queste coppie di valori si costruisce la curva di dispersione del prisma usato (fig. 14), riportan-

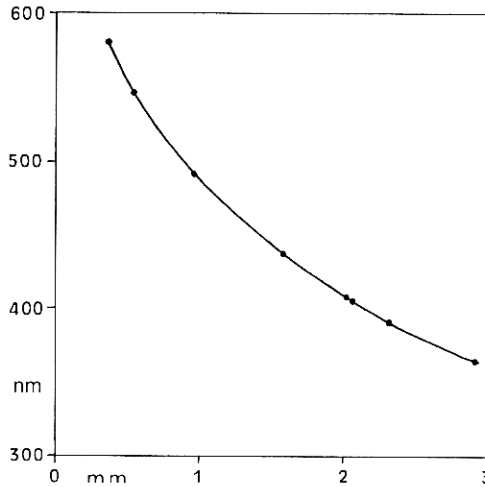


Fig. 15

do le misure in millimetri in ascissa e le lunghezze d'onda in ordinata. È pertinente notare che le misure sono state eseguite con un microscopio misuratore dell'Osservatorio di Padova, ma dati del tutto simili possono essere ottenuti misurando con un doppio decimetro le stampe fotografiche degli spettri.

Ritornando allo spettro della cometa, si cerca l'immagine più intensa sul lato violetto, che risulta essere la numero 6 (5.88 mm) ed è attribuibile al CN (388.3 nm). Dal grafico di fig. 15 si deduce che la lunghezza d'onda 388.3 nm dovrebbe cadere a 2.36 mm: la differenza $5.88 - 2.36 = 3.52$ mm indica di quanto lo spettro della cometa risulta sfasato da quello del mercurio. Sottraendo 3.52 mm a tutte le misure delle emissioni della cometa si trovano le posizioni corrette che, immesse nel grafico di fig. 14, consentono di uscire con i valori di lunghezza d'onda riportati in tabella III.

Tabella III

Numero progressivo, posizione corretta in millimetri e lunghezza d'onda λ dedotta dal grafico di fig. 15 (in nanometri) per le immagini monocromatiche della cometa.

numero	1)	2)	3)	4)	5)	6)
posiz. mm	0.40	0.51	0.80	1.20	2.02	2.36
λ nm	573	550	510	468	408	388

Con riferimento allo spettro tipico di una cometa, presentato in fig. 10, le emissioni alle lunghezze d'onda riportate in tabella III possono essere così attribuite (fra parentesi i valori teorici di I): 1) NH_2 (570.0); 2) C_2 (551.5); 3) C_2 (513.5); 4) C_2 (469.0); 5) C_3 (406.0); 6) CN (388.3). Si osservano differenze teorico-osservato inferiori a 4 nm (40 Å), del tutto soddisfacenti data la modestissima realizzazione sperimentale.

Riepilogo delle tematiche di ricerca e delle tecniche utilizzabili

Si fornisce un quadro sinottico di giudizi sull'opportunità della tecnica che si intende impiegare e sulla scientificità dei risultati che se ne possono trarre. Per quanto concerne il giudizio di opportunità, è segnalata con **A** la tecnica ideale, mentre è attribuito il simbolo **B** alla tecnica, certamente inferiore alla precedente, ma ancora adatta a ottenere risultati di qualche interesse. Per quanto concerne il giudizio sul significato scientifico, è segnalato con **a** l'insieme strumentale che consente di raggiungere risultati ottimali. Vengono identificati con **b** e **c** quelle combinazioni che, pur non facendo fronte a tutte le esigenze scientifiche, possono fornire alla Sezione informazioni preziose (**b**) o almeno sufficienti (**c**), in qualche modo complementari a quelle di maggiore significato.

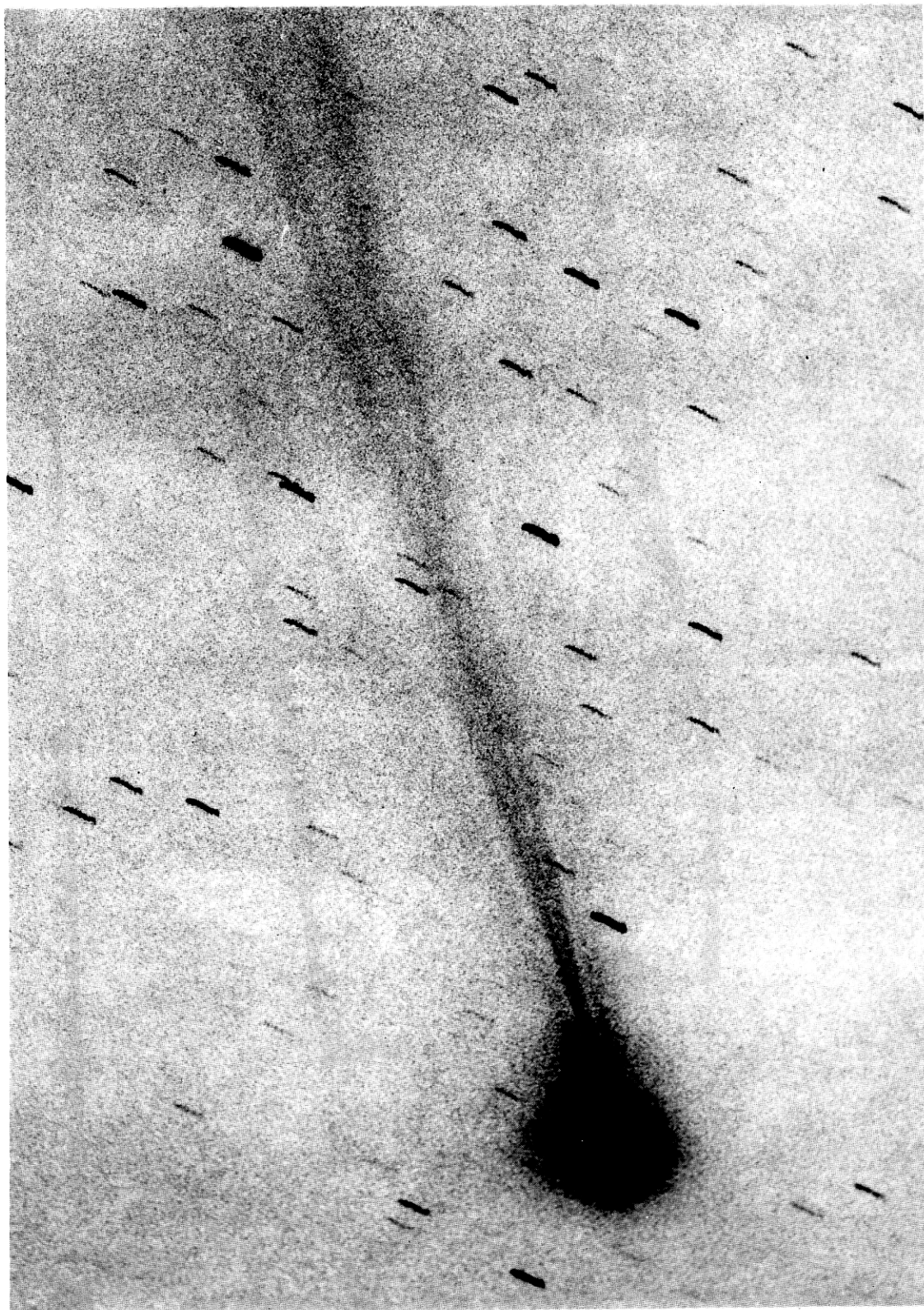


Foto dell'Associazione Astronomica Cortina (8.11.1989)

LA COMETA OKAZAKI-LEVY-RUDENKO 1989R