

Giannantonio Milani

Oggetti ordinari e straordinari del mondo delle comete

Sezione Comete - UAI - comete@uai.it

Abstract

A short review concerning different aspects and peculiarities among cometary objects is presented. Starting from the extraordinary comet C/2006 P1 (McNaught) down to nearly asteroidal objects the difference among comets are explored, with regards to some peculiar behaviours and events like nuclei fragmentation and outbursts.

Parlando di comete l'immagine che ricorre nella nostra mente è quella di un oggetto luminoso che riempie il cielo con la sua lunga coda. Oggetti di questo genere sono di per sé estremamente rari e la possibilità di osservarli dai centri abitati è oggi ulteriormente diminuita a causa del dilagante inquinamento luminoso. Il termine cometa (che deriva dal greco ed indicava gli "astri chiomati") è tuttavia estremamente generico tanto che in questa categoria di oggetti incontriamo oggi una enorme varietà di corpi con caratteristiche e comportamenti sorprendenti. Questo è un chiaro indice che la nostra comprensione del Sistema Solare è ancora molto approssimativa. Quanto segue, pur analizzando un campione limitato di oggetti, vuole dare una panoramica della straordinaria varietà incontrata e delle problematiche ancora aperte.

La cometa ideale

Definire le caratteristiche di una cometa "ideale" non è un compito semplice, ma la letteratura ci viene in aiuto descrivendo in modo schematico i processi di base che concorrono a determinare la morfologia per la quale questi oggetti sono noti. Possiamo così tracciare il ritratto di una cometa attiva da utilizzare come prototipo e modello di riferimento per cercare di comprendere e interpretare gli oggetti reali che osserviamo nel cielo.

Il cuore di una cometa, come è noto, è il suo nucleo, che per semplicità supporremo sferico (anche se questa approssimazione potrà portarci a conclusioni poco realistiche), e composto da un agglomerato di blocchi di polveri e rocce miste a materiali ghiacciati. Sul lato diurno del nucleo i materiali ghiacciati sublimano dando origine all'involuppo gassoso della chioma. Su larga scala il gas si espande secondo una simmetria sferica dando origine ad una chioma di aspetto circolare le cui dimensioni sono determinate dalla velocità del gas e dal tempo di vita delle molecole che la compongono (nel visibile indicativamente il diametro può raggiungere anche i 200 000 - 400 000 km).

Atomi e molecole vengono ionizzati dalla radiazione ultravioletta solare e daranno origine alla coda di plasma che interagisce con il vento solare i cui materiali vengono fortemente accelerati in direzione opposta a quella solare.



Figura 1. La cometa C/1996 B2 (Hyakutake) ripresa dall'autore la notte del 24-25 marzo 1996. Sono ben visibili le componenti tipiche di una cometa attiva: la chioma gassosa di forma circolare e colore verde-azzurro (causato prevalentemente dal carbonio biatomico), l'involuppo parabolico delle polveri e la coda blu di gas ionizzati (prevalentemente CO+).

Nella parte interna della chioma la densità dei gas è sufficiente a permettere il distacco e l'accelerazione dei grani di polvere. Questo avviene in una regione confinata nelle immediate vicinanze del nucleo, dopo di che l'interazione viene a cessare. Subendo l'accelerazione della pressione di radiazione solare le polveri si dispongono naturalmente formando un involuppo a profilo parabolico che sfuma e si allarga nella coda, dove su larga scala i grani di diverse dimensioni si differenziano occupando zone diverse (i grani più grandi tendono a disporsi più vicini all'orbita cometaria mentre i più piccoli si allontanano e si dispongono secondo linee più vicine al prolungamento del raggio vettore (prolungamento della congiungente Sole-Cometa).

In generale una coda sia di gas **neutro** che di polveri può essere rappresentata mediante linee dette "syndine" [1-3]. Il discorso è invece molto diverso per la coda di gas ionizzati che subisce una complessa interazione con il vento solare.

Una *syndina* descrive la disposizione rispetto al nucleo di particelle sottoposte ad una medesima accelerazione e quindi, per quanto riguarda la polvere, di grani di uguali dimensioni, forma, composizione e spin (per

maggiori dettagli ed un approccio semplificato vedi ad esempio Hellings, [4]).

Una cometa che possiamo utilizzare come rappresentazione ideale per identificare le diverse componenti descritte fino ad ora è la C/1996 B2 (Hyakutake) (chioma gassosa circolare, involuppo parabolico delle polveri, coda di gas ionizzati - figura 1). Fa eccezione la regione di interazione tra gas e polveri, prossima al nucleo e normalmente non risolvibile da Terra, salvo possibili casi eccezionali offerti da passaggi di comete molto ravvicinati al nostro pianeta ed osservati con grandi telescopi.

Tuttavia dobbiamo sempre considerare che quanto descritto rappresenta un modello assai grossolano ed approssimativo di una cometa. Infatti tutto questo può renderci conto di alcuni aspetti osservati comunemente sulle comete ma ci mostra anche come molti oggetti reali si discostino in modo sensibile da questo modello semplicistico.

Parte delle differenze nascono certamente dal fatto che il nucleo non sia per nulla sferico, ma spesso di forma altamente irregolare e con una intricata struttura orografica. È da sottolineare anche che le complesse interazioni tra gas e polveri, e le reazioni chimico-fisiche che avvengono nella chioma interna più densa, concorrono a modellare la conformazione della chioma esterna molto di più di attività superficiali locali su piccola scala (ad esempio piccole aree attive e/o getti sulla superficie [5]). Ne consegue che l'utilizzo di modelli semplicistici per rappresentare fenomeni in realtà molto complessi può portare facilmente a conclusioni fuorvianti.

Alla nostra "cometa ideale" daremo quindi un peso puramente indicativo, con il solo scopo di porre in evidenza le differenze tra i diversi oggetti.

Comete straordinarie

Il 2007 è stato un anno fortunato aprendosi con l'apparizione di un oggetto straordinario: la cometa 2006 P1 (McNaught). L'eccezionalità dell'apparizione sta sia nel fatto che la cometa ha rivaleggiato in splendore con il pianeta Venere ed è stata osservata con relativa facilità anche in pieno giorno e sia nell'aver sviluppato una coda di polveri di estensione mai vista in epoche recenti. Purtroppo ha dato il massimo spettacolo solo nell'emisfero australe ma sono state raccolte ugualmente numerose osservazioni molto interessanti. Il forte avvicinamento al Sole ha anche permesso di scoprire per la prima volta in una cometa la presenza di una coda di ferro [6].



Tuttavia, nonostante l'elevata luminosità che ne ha resa facile l'osservazione, su questa cometa rimangono insoluti molti quesiti relativi alla struttura della coda di polveri dove l'analisi preliminare per mezzo delle *syndine* mostra apparentemente una totale mancanza di grani di polvere di grandi dimensioni, un fatto davvero insolito per una grande cometa (figura 2). Inoltre la coda si è mostrata straordinariamente ricca di "strie" (bande di polveri non spiegabili con i modelli proposti fino ad ora). Ma anche la composizione e struttura del nucleo, che ha mostrato di sopravvivere indenne ad un passaggio radente al Sole, rimane incognita. Sotto molti aspetti quindi la cometa McNaught per luminosità e spettacolo può essere considerata una cometa ideale, ma da altri punti di vista rimane altamente enigmatica e fuori dai canoni.

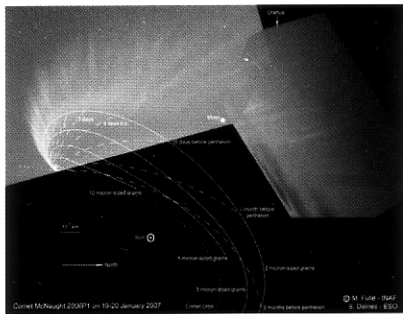


Figura 2. La cometa C/2006 P1 (McNaught) in un mosaico ricostruito da Marco Fulle (Osservatorio Astrofisico di Trieste, INAF) utilizzando immagini ottenute nei due emisferi terrestri. L'immagine mostra oltre alle straordinaria estensione della coda la complessa struttura a "strie" formate da bande di polveri. Le linee continue (Syndine) mostrano come al di sotto di una certa dimensione dei grani (circa 1 nm) non sia presente materiale nella coda.

Comete in pezzi

Contrariamente a quanto avvenuto per la cometa McNaught una delle caratteristiche che sembra contraddistinguere buona parte delle comete è la fragilità del loro nucleo. In anni recenti sono molti gli oggetti che hanno mostrato segni di frammentazione, rottura del nucleo, disgregazione totale, e tra questi, come esempi, vogliamo ricordare le comete 1999 S4 (LINEAR), la 73 P (Schwassmann-Wachmann 3), e la più recente 2006 M4 (SWAN) che forniscono una panoramica ben dettagliata dei processi degenerativi dei nuclei cometari. La prima infatti ha mostrato una dissoluzione totale anche se non è possibile escludere del tutto che non sia sopravvissuto un piccolo nucleo, o più frammenti di esso, rimasti completamente inattivi. In questo caso, dopo alcuni segni premonitori, la morfologia della cometa è andata rapidamente modificandosi fino a lasciare una nube di detriti in lento allontanamento rispetto alla posizione originale del nucleo. In sostanza una porzione di coda di polveri alla deriva senza più un nucleo di riferimento (figure 3 - 5).



Figure 3, 4, 5. L'evoluzione della cometa 1999 S4 (LINEAR) nelle immagini del 21 (Ligustri), 28 (Salmaso, Tasca, Brancaleoni, Milani, AAE) e 31 luglio 2000 (Ligustri, CAST). Dopo un ultimo aumento di luminosità e lo sviluppo di una notevole coda, la cometa si è completamente dissolta.

Ma ogni cometa sembra essere un caso a sé. Così la 73 P, che ha iniziato a frammentarsi nel corso dell'apparizione del 1996 con un vistoso *outburst* e con uno sviluppo di una grande coda di polveri, è sopravvissuta a ben due rivoluzioni successive giungendo all'atteso appuntamento del 2006 caratterizzato da un forte avvicinamento alla Terra. In questo caso, contrariamente agli esempi precedenti, si è verificata una complessa frammentazione del nucleo avvenuta in tempi diversi e che ha dato origine ad un gran numero di nuclei secondari di svariate dimensioni [8], tra questi ci sono state almeno tre componenti principali estremamente longeve (figure 6 - 8). Queste hanno dimostrato di essere sopravvissute anche all'apparizione dello scorso anno e vi sono speranze di poterla osservare anche se indebolite, nel prossimo ritorno. I numerosi episodi di frammentazioni ed *outburst* ad essi collegati, hanno portato alla apparente morte solo i frammenti più piccoli, ma questo sembra indicare che la composizione e la struttura del nucleo di questa cometa possa essere sensibilmente differente rispetto al caso della cometa 1999 S4, dissoltasi nel corso di un unico episodio.

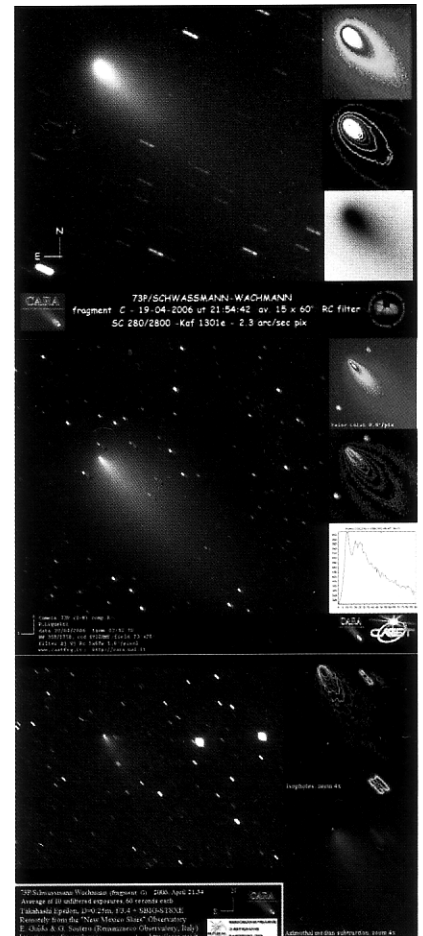


Figure 6, 7, 8. Le componenti principali della cometa 73P (R. Trabatti, 73P-componente C, R.Ligustri, CAST, componente B, E. Guido, G. Sostero, AFAM, componente G).

Il terzo oggetto a cui abbiamo accennato è la C/2006 M4 (SWAN), probabilmente una cometa nuova, che ha mostrato un'evoluzione piuttosto peculiare nel corso della sua apparizione. Dopo un apparente *outburst* intorno al perielio la cometa ha subito una stasi con numerose fluttuazioni di luminosità (vedi figura 9) ed un cambiamento morfologico con caratteristiche per molti aspetti insolite.

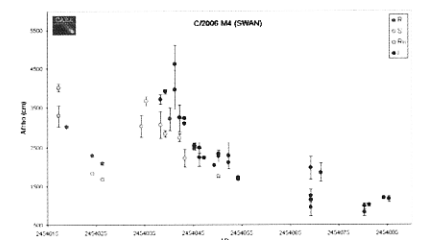


Figura 9. Le variazioni erratiche post-perieliche della cometa C/2006 M4 sono poste in evidenza dalle variazioni della quantità Afp (vedi A' Hearn M. F. et al., AJ, 89, 579-591 (1984)), ricavata da osservazioni fotometriche effettuate in varie bande (R,I, Ru = senza filtro approssimata alla banda R, S = filtro interferenziale per il continuo centrato a 647-650 nm) dagli osservatori del gruppo CARA (E.Guido, R. Ligustri, G. Milani, M. Nicolini, R. Trabatti, T. Scarmato, G. Sostero)

Infatti, come descritto nella parte iniziale dell'articolo, in una cometa attiva solitamente la parte più luminosa della chioma appare essere quella rivolta verso il Sole, dove si ha la maggiore densità delle polveri emesse dall'emisfero diurno del nucleo. In questo caso invece dopo il perielio la chioma ha mostrato un aspetto costantemente asimmetrico, sbilanciato nel verso della coda, manifestando modeste variazioni morfologiche ma senza un evidente cambiamento strutturale (figura 10).

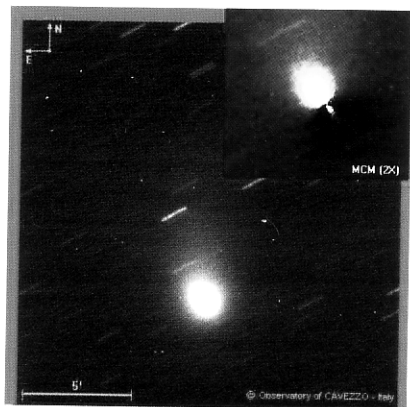


Figura 10. La cometa C/2006 M4 (SWAN) ripresa da M. Nicolini con filtro interferenziale centrato a 650 nm (regione dello spettro continuo riflesso dalle polveri) evidenzia la distribuzione delle polveri. L'applicazione di un filtro che sottrae la distribuzione media del materiale nella chioma mostra come la regione più luminosa corrisponda alla parte iniziale della coda.

Le analisi preliminari condotte sull'osservazione raccolte su questa cometa suggeriscono la presenza di un possibile effetto di erosione del nucleo, piuttosto che di una frammentazione o di una disgregazione vera e propria. L'erosione potrebbe, almeno in parte giustificare la morfologia riscontrata ed anche l'evoluzione abbastanza inconsueta. La differenza manifestata prima e dopo il passaggio al perielio potrebbe essere la conseguenza di effetti stagionali su di un nucleo di composizione molto disomogenea, ovvero dopo il perielio potrebbe essere stata esposta alla radiazione solare una parte di nucleo molto più fragile e friabile.

Questi tre esempi sono già sufficienti a dare una visione di insieme di un fenomeno con molte sfaccettature. Il modo nel quale una cometa si frammenta o si disgrega mostra indubbiamente differenze significative di caso in caso. E a questo riguardo i quesiti aperti rimangono ancora molti: le differenze sono casuali o derivano dalla formazione in diverse regioni della nube proto-solare? E quanto e in che modo incide l'evoluzione subita dalla cometa nei successivi passaggi intorno al Sole? L'impressione è che per far

luce su questi ed altri quesiti si siano mossi solo i primi passi e solo l'osservazione dettagliata da Terra di un gran numero di oggetti e l'esplorazione diretta di altre comete potranno portare a delle risposte univoche.

Comete in outburst



Figure 11,12,13. Inizio ed evoluzione di un recente outburst della cometa 29P osservato tra il 28 gennaio e il 4 febbraio 2007 (immagini di M. Nicolini e R. Ligustri).

Gli *outburst*, ovvero emissione improvvisa ed istantanea di materiale del nucleo, sono dei fenomeni invocati spesso per spiegare alcune peculiari comportamenti in oggetti di tipo cometario. Il termine, coniato per spiegare la struttura ad aloni concentrici della cometa Morehouse [9], compatibili con emissioni discontinue ed improvvise di polveri, è comunemente usato, spesso in modo improprio, per indicare aumenti anomali o inattesi di luminosità.

Anche se fino ad ora poco o nulla si è compreso di questi fenomeni desta molta impressione il fatto che in alcuni casi assumano proporzioni colossali, come nel caso della ben nota cometa 29P (Schwa-

ssmann-Wachmann 1) e più recentemente dell'asteroide Echeclus. Entrambi gli oggetti appartengono alla famiglia dei Centauri, un gruppo accomunato da caratteristiche orbitali piuttosto peculiari se confrontati con quelli degli altri asteroidi e delle comete.

La 29P è ben nota per mostrare frequenti episodi che si manifestano con l'espulsione improvvisa di una enorme quantità di materiale. Il primo segno è la presenza di un brillante nucleo quasi stellare, segno dell'emissione di nuovo materiale. Con il passare dei giorni la nube si espande dando origine ad una chioma sempre più estesa e spesso di forma asimmetrica. La forma cambia lentamente nel tempo, il segno che l'emissione di materiale avviene in direzioni preferenziali, e probabilmente, da alcune zone del nucleo (figura 11 - 13).

Se già il comportamento di questo centauro ha aspetti peculiari, ancora più straordinario è l'episodio che lo scorso anno ha interessato l'asteroide Echeclus. Osservazioni professionali condotte alla fine del 2005 avevano rilevato la presenza di un'attività di tipo cometario, ovvero lo sviluppo di una piccola chioma. Considerata la distanza dell'oggetto dal sole (13 U.A.), più che doppia rispetto alla 29P, l'evento appariva già di per sé straordinario.

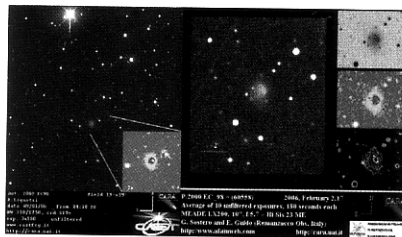


Figure 14,15. L'insolita attività di 174P (Echeclus) con lo sviluppo di una estesa chioma asimmetrica (R. Ligustri, G. Sostero ed E. Guido).

Ma proprio osservazioni effettuate a gennaio da osservatori italiani (Ligustri, Sostero e Guido – figure 14, 15) hanno rilevato la presenza di una chioma a forma di ventaglio di dimensioni enormi. L'estensione rispetto alla posizione del nucleo è infatti risultata di ben 300 000 km. A rendere ancora più eccezionale il fatto concorre la durata del fenomeno, che ha avuto un decorso di mesi e soprattutto ha mostrato caratteristiche completamente diverse da quelle degli eventi osservati sulla cometa 29P.

In questo caso infatti, oltre ad un evento assimilabile ad un *outburst* (verosimilmente istantaneo o limitato nel tempo) si osservava un'attività che è perdurata per mesi ad un livello quasi costante. Osservazioni professionali condotte a maggio



del 2006 (<http://space.newscientist.com/article/dn8976-hybrid-cometasteroid-in-mysterious-breakup.html>) hanno mostrato in realtà la presenza di due oggetti: Echeclus rimasto di aspetto asteroidale ed un secondo componente diffuso ed in lento allontanamento. Che cosa possa essere avvenuto non è ancora chiaro e le varie ipotesi formulate (impatto, scissione) non sembrano accordarsi del tutto con l'evoluzione osservata. Quale sia il meccanismo fisico-chimico in grado di portare improvvisamente questi oggetti a così alti livelli di attività nonostante si trovino a grandi distanze dal Sole rimane per ora un mistero. I casi d'altra parte non sono unici e già la cometa di Halley ha mostrato un evento analogo ad oltre 14 U.A. dal Sole [10].

Un'apparente cometa gassosa

Volendo spaziare nella estrema varietà mostrata dagli oggetti cometari merita un breve accenno anche alla recente cometa C/2007 VZ13 (figura16).



Figura 16. Una tricromia della cometa C/2006 VZ13 (LINEAR) (R. Ligustri) mostra l'ampia chioma gassosa di colore verde-azzurro ed una tenue coda rossastra formata probabilmente da H₂O+.

Inizialmente classificata come asteroide, ha raggiunto l'ottava magnitudine ed è stata facilmente osservata anche mediante semplici binocoli. Un'apparente peculiarità di questa cometa è emersa dalle osservazioni effettuate tramite CCD e filtri fotometrici BVRI e a banda stretta (selettivi per evidenziare le sole polveri). Oltre alla classica chioma verde azzurra, dovuta al C₂, è stata rilevata anche una coda rossastra, molto probabilmente composta di acqua ionizzata. La chioma ha mostrato un aspetto lievemente asimmetrico e variabile nel tempo, ma il fatto più curioso è stato che, nonostante la luminosità relativamente elevata, non si sia riusciti ad evidenziare con certezza la componente di polvere, solitamente visibile in tutte le comete attive. La produzione di polvere potrebbe quindi essere in questo caso molto bassa oppure le polveri essere di un tipo (dimensioni, albedo) non facilmente rilevabile nella re-

gione visibile dallo spettro. Nulla di straordinario ma di certo questa cometa ci ha mostrato aspetti completamente differenti da quelli di molte altre comete apparse in questi anni.

Il caso di questo oggetto, classificato inizialmente come asteroide, ci fa ricordare anche tutti quegli asteroidi che in numero sempre maggiore manifestano tracce più o meno evidenti di attività di tipo cometario e che vengono scoperte a ritmo sempre più serrato anche grazie all'apporto degli astronomi dilettanti e di progetti specifici (vedi ad esempio il progetto T3 della Sezione Asteroidi - UAI, <http://asteroidi.uai.it/>, figura17) ed alla sorveglianza attiva di tutti gli oggetti interessanti o sospetti segnalati nelle pagine del *Minor Planet Center* (figura18).

Il nodo dell'anello di congiunzione tra asteroidi e comete è tra l'altro uno dei temi oggi sempre più attuali e ritenuto cruciale per meglio comprendere la storia del nostro Sistema Solare.

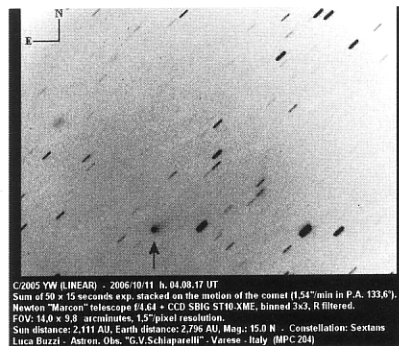


Figura 17. La cometa C/2005 YW (LINEAR), un oggetto inizialmente asteroidale ha rappresentato il primo successo del progetto T3 curato nell'ambito della Sezione Asteroidi.

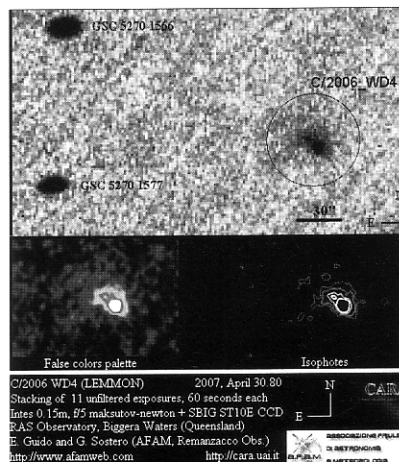


Figura 18. La cometa C/2006 WD4 (LEMMON), inizialmente catalogata come asteroide ha sviluppato una piccola chioma durante il passaggio al perielio.(E.Guido, G. Sostero).

Conclusione

Questa breve panoramica non vuole ave-

re lo scopo di esaurire le casistiche e le peculiarità osservate negli oggetti di tipo cometario, ma dovrebbe essere sufficiente per dare un'idea di quanto vario sia questo mondo e quante siano le problematiche ancora aperte.

Parte della confusione deriva senz'altro dal fatto che il termine cometa risulta assai generico e finisce inevitabilmente per comprendere nel suo interno oggetti che possono avere caratteristiche, evoluzioni, e origini diverse tra loro. Ma d'altra parte questo è il riflesso del fatto che le nostre conoscenze sono ancora largamente insufficienti per permetterci di comprendere la natura dell'enorme diversità incontrata nell'ambito dei corpi minori del Sistema Solare.

Le fotografie proposte in questo breve articolo, scelte tra quelle fatte da alcuni degli osservatori più attivi, vogliono essere solo rappresentative per illustrare alcuni fenomeni ed oggetti peculiari e sono estratte dalla *gallery* della Sezione Comete - UAI. Per una più estesa rassegna si rimanda alle moltissime immagini raccolte nel sito <http://comete.uai.it>, curato da Rolando Ligustri, che meglio di mille parole illustrano l'enorme varietà delle comete.

Un vivo ringraziamento va a tutti gli osservatori che contribuiscono alla vita della Sezione, sia portando contributi a livello scientifico, che belle immagini che aiutano a fornire un quadro completo sull'evoluzione delle diverse comete nel corso delle loro apparizioni.

Bibliografia

- [1] Brandt J.C., Chapman R.D., *Introduction to Comets*, Cambridge Univ. Press, 2004.
- [2] Bobrovnikoff N.T., *PASP*, **40**, 235, 164 (1928).
- [3] Brandt J.C., *Ann.Rev. A&A*, **6**, 267 (1968).
- [4] Hellings P., *Astrophysics With a PC*, Willmann-Bell, Richmond, 1999.
- [5] Crifo J.F., Fulle M., Komle N.I., Sze-go K., in *Comets II*, Univ. Arizona Press, 2004.
- [6] Fulle M., et al, *ApJ.*, **661**, L93-96 (2007)
- [7] Sekanina Z., *ICQ*, **27**, 225, 240 (2005)
- [8] Foglia S., Ligustri R., Milani G., *Astronomia UAI*, **1** (2002)
- [9] Eddington A.S., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **70**, 442-458 (1910)
- [10] Hughes D.W., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **251**, 26-29 (1991)

