

Ann. Mus. civ. Rovereto	Sez.: Arch., St., Sc. nat.	Vol. 18 (2002)	201-212	2003
-------------------------	----------------------------	----------------	---------	------

ALBINO CARBOGNANI & PAOLO PICCOLI

## L'OSSERVAZIONE DI UN BOLIDE SPORADICO TRANSITATO TRA I CIELI DI TRENTO E BOLZANO

**Abstract** - ALBINO CARBOGNANI & PAOLO PICCOLI - The observation of an occasional fireball that passed through the skies of Trento and Bolzano.

The campaign of observation of the Perseidi in 2002 has brought, by serendipity, the collection of data regarding the fireball of 12 August 2002. This paper describes the causes which modify the orbits of meteoroids bringing them to collide with Earth. One reconstructs the path of the fireball in the Earth's atmosphere, suggesting some of the possible orbits of the meteoroid around the sun, and finally a reasonable estimation is made of its physical dimensions.

**Key words:** Fireball, Meteoroid.

**Riassunto** - ALBINO CARBOGNANI & PAOLO PICCOLI - L'osservazione di un bolide sporadico transitato tra i cieli di Trento e Bolzano.

La campagna di osservazione delle Perseidi del 2002 ha portato, per serendipità, alla raccolta dati relativi al bolide del 12 agosto 2002. In questo articolo vengono descritte le cause che modificano le orbite dei meteoroidi portandoli a collidere con la Terra, si ricostruisce la traiettoria del bolide nell'atmosfera terrestre, suggerendo alcune delle possibili orbite del meteoroido attorno al Sole, infine viene fatta una ragionevole stima delle sue dimensioni fisiche.

**Parole chiave:** Bolide, Meteoroido.

### INTRODUZIONE

La presenza di materia corpuscolare interplanetaria è rivelata dalla presenza in cielo della luce zodiacale. La luce zodiacale si presenta come una debole fascia luminosa visibile all'alba o al tramonto quando il Sole è ancora sotto l'orizzonte. La luce zodiacale è dovuta alla diffusione della luce solare sulle polveri

rilasciate dalle comete durante il loro passaggio nel sistema solare interno. Un altro indizio sulla presenza, nel sistema solare, di piccoli corpi solidi (meteoroidi), è data dall'osservazione delle meteore. L'atmosfera terrestre è un rilevatore efficace per tutte le particelle di massa superiore a  $10^{-3}$  gr, a partire dalla quale i meteoroidi si rendono visibili all'entrata in atmosfera con una magnitudine apparente pari o inferiore alla +6.5. Le altezze entro le quali si manifesta il fenomeno della meteora sono normalmente comprese fra gli 80 e i 120 km dal suolo.

A queste quote, gli atomi dell'atmosfera collidono con quelli del meteoroido determinando, inizialmente, l'espulsione diretta di questi ultimi dalla superficie del corpo. Con l'avanzare del meteoroido nell'atmosfera, a ridosso della superficie si forma un guscio di gas che riduce il fenomeno dell'espulsione diretta degli atomi, ma comunque non può impedire un riscaldamento fino alla temperatura di vaporizzazione degli atomi. È questo il processo di ablazione, per il quale si ha la completa vaporizzazione del meteoroido quando esso ha intercettato una massa d'aria pari al 2-3 % della propria massa. Gli atomi persi vanno a formare una scia di plasma, formato da atomi eccitati, ionizzati e elettroni, e in cui la diseccitazione degli atomi è il fenomeno responsabile della luminosità della meteora.

Con una massa di  $10^{-3}$  g e una velocità di 45 km/s, un meteoroido ha una energia cinetica pari a 1 kJ. La durata tipica del fenomeno della meteora è inferiore al secondo e l'efficienza di conversione dell'energia cinetica in luce visibile è di qualche punto percentuale. La potenza luminosa disponibile per l'osservazione ottica è dell'ordine delle decine di Watts.

I grandi valori dell'energia cinetica sono dovuti alle notevoli velocità cosmiche. In un sistema di riferimento eliocentrico, la massima velocità che un meteoroido può avere nell'incrociare l'orbita terrestre è di 42.5 km/s, pari alla velocità di fuga al perielio terrestre: per velocità superiori il corpo sfuggirebbe dal campo gravitazionale del Sole. La velocità orbitale massima che la Terra può avere è quella al perielio, pari a 30.3 km/s.

Assumendo un sistema di riferimento geocentrico, i casi limite che si possono presentare sono gli incontri frontali fra la Terra e un meteoroido in orbita retrograda (verso di percorrenza dell'orbita contrario a quello della Terra), alla velocità massima di  $42.5+30.3=72.8$  km/s. Le meteore di questi incontri sono visibili nelle ore comprese tra la mezzanotte e il mezzogiorno locali del luogo di osservazione. L'altro limite inferiore si ha con l'incontro tra la Terra e un meteoroido in orbita prograda (stesso verso di percorrenza dell'orbita terrestre), che può avvenire alla velocità minima di 11.2 km/s dovuta alla sola forza di gravità della Terra. Quest'ultimo caso si può verificare per le meteore visibili nelle ore comprese tra il mezzogiorno e la mezzanotte locali.

La raccolta sistematica di osservazioni sulle meteore ha finora permesso di identificare un centinaio di radiant. I radiant sono le ristrette zone (ampiezza dell'ordine del grado) di cielo dalle quali, per effetto prospettico, sembrano pro-

venire le meteore di un determinato sciame. Ogni sciame di meteore è originato da una corrente di meteoroidi, posti su un'orbita tale da incrociare, in un determinato periodo dell'anno, l'orbita terrestre. A loro volta le correnti di meteoroidi sono generate dai piccoli nuclei dalle comete che sublimano durante il passaggio in prossimità del Sole o dalle collisioni fra i piccoli asteroidi della fascia principale, compresa fra le orbite di Marte e Giove.

Una frazione importante di meteore (le così dette meteore sporadiche), non appartengono a nessuno dei radiantii noti. Spesso le meteore sporadiche sono molto luminose e danno luogo ai bolidi, cioè a meteore di magnitudine apparente inferiore a -4 oppure a -8 (non vi è ancora accordo unanime sulla soglia). Quindi, una piccola frazione di corpi di dimensioni non trascurabili, descrivono orbite che li possono portare in prossimità della Terra. Se transitano ad una distanza minima inferiore alle 0.3 UA dall'orbita terrestre sono chiamati NEO (Near Earth Object). Un NEO diventa un PHO (Potentially Hazardous Object), quando la minima distanza con l'orbita terrestre scende sotto a 0.05 UA (7.5 milioni di km, 20 volte la distanza Terra-Luna), e il diametro del corpo è di almeno 150 m. I PHO attualmente noti sono circa 300.

L'atmosfera terrestre ci protegge dai NEO più piccoli, con un diametro massimo dell'ordine di una decina di metri. Questi corpi, durante l'attraversamento dell'atmosfera, generano bolidi o superbolidi come quello dello Yukon (Alaska) del 18 gennaio 2000.

I NEO si dividono in oggetti Aten, Apollo e Amor. Gli oggetti Aten hanno un'orbita con un semiasse maggiore più piccolo di quello terrestre e un afelio maggiore del perielio della Terra (pari a 0.983 UA). Questo li porta ad incrociare l'orbita terrestre con periodi di rivoluzione inferiori ad un anno. Gli Aten sono oggetti poco numerosi. Più frequenti gli Apollo che, con la loro elevata eccentricità orbitale, intersecano ad angoli più elevati l'orbita terrestre. Infine, gli Amor arrivano ad intersecare l'orbita di Marte sfiorando, al loro perielio, l'orbita terrestre.

Una determinata corrente di meteoroidi presente nel sistema solare ha, in generale, una popolazione di corpi dotati di massa diversa fra loro. Questa corrente risente sia della forza di gravità sia degli effetti della radiazione elettromagnetica emessa dal Sole. La forza di gravità del Sole impone una determinata orbita ad un meteoroido in base alle condizioni iniziali di velocità e distanza con il quale esso viene iniettato come corpuscolo libero nello spazio interplanetario (si pensi alle polveri rilasciate dai getti cometari e agli urti fra gli asteroidi). Sul meteoroido però, agiscono anche i campi gravitazionali dei pianeti che inducono delle perturbazioni in grado di alterare, nel tempo, i parametri orbitali modificando l'orbita. La variazione dei parametri orbitali è più veloce quando, nel corso di una lenta deriva, il corpuscolo entra all'interno di una lacuna di Kirkwood: una zona nello spazio della fascia degli asteroidi in cui la perturbazione

orbitale è risonante. Il meccanismo della risonanza è tale da espellere velocemente ogni corpo che si trovi a stazionare nella lacuna (è il meccanismo tipico con cui dalla cintura degli asteroidi ci arrivano le meteoriti). Di questo tipo di perturbazioni è responsabile il pianeta Giove.

La radiazione solare invece, è responsabile delle forze non-gravitazionali che agiscono sul meteoroido, noti come effetto Poynting-Robertson e Yarkovsky. Vediamo brevemente in che cosa consistono iniziando dall'effetto Poynting-Robertson. In un sistema di riferimento eliocentrico, la forza esercitata dalla radiazione si può scomporre in due componenti, una radiale e una tangenziale. Quella radiale è dovuta sia alla componente corpuscolare del vento solare che spinge verso l'esterno i meteoroidi più leggeri sia alla pressione di radiazione. La pressione della radiazione è originata dal fatto che i fotoni sono dotati di quantità di moto, che viene trasmessa ai meteoroidi, spingendoli verso l'esterno del sistema solare. L'intensità della pressione della radiazione decresce secondo il quadrato della distanza dal Sole. La componente tangenziale della forza si deve al fatto che il corpuscolo si trova ad orbitare in presenza di un flusso di fotoni che viaggiano in una direzione trasversale rispetto alla sua. L'intensità è proporzionale alla velocità del corpuscolo e agisce in direzione opposta a quella del suo moto, rappresentando così una forza di resistenza che tende a far cadere sul Sole il meteoroido.

L'azione indiretta della radiazione solare è descritta dall'effetto Yarkovsky, che dipende dalla riemissione asimmetrica della radiazione solare assorbita dal corpo. Tale effetto, modula i valori del semiasse maggiore dell'orbita, della eccentricità, del periodo di rotazione e dell'inclinazione dell'asse di rotazione in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche termiche del corpo.

La distribuzione di massa di una corrente di meteoroidi può quindi alterarsi nel tempo sotto l'azione di queste forze non gravitazionali, che hanno diversa efficacia a seconda delle dimensioni dei corpi. L'effetto Poynting-Robertson è importante per particelle da 0.1 micron fino a qualche cm, l'effetto Yarkovsky predomina invece tra 0.1 e 100 m. I bolidi come quello del 12 agosto 2002, hanno in generale dimensioni decimetriche, che permettono l'azione concomitante delle forze descritte sopra.

## IL BOLIDE DEL 12 AGOSTO 2002

Quando i dati sulla traiettoria in atmosfera lo permettono, è possibile risalire all'orbita che il meteoroido percorreva attorno al Sole, gettando luce sulla sua origine. Per arrivare a questo è necessario avere dati di posizione molto accurati e completi, cosa che è stato possibile ottenere solo parzialmente nel caso del bolide oggetto di questo lavoro. Infatti, i dati sono stati ottenuti per serendipità

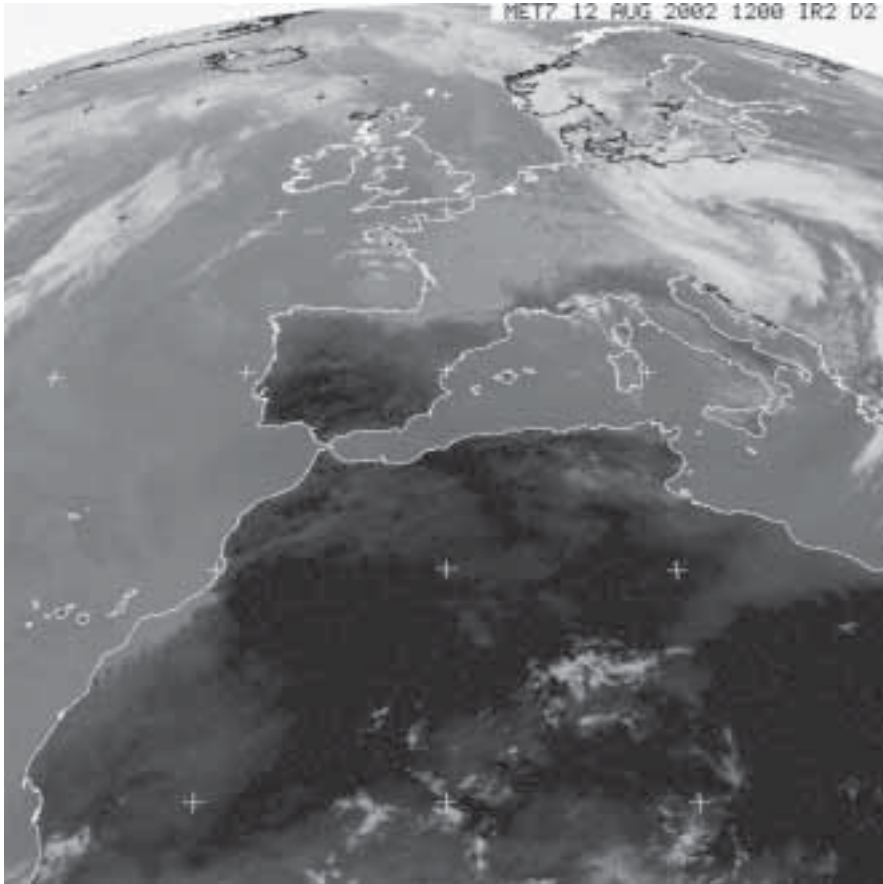


Fig. 1 - Immagine IR dell'Italia ripresa dal satellite Meteosat7 il 12 agosto 2002 alle 12 TU, circa 9h prima che il bolide solcasse il cielo italiano. Non sono presenti sistemi nuvolosi di rilievo.

da una campagna osservativa organizzata dal Museo Civico di Rovereto che aveva altri scopi, e quindi non era nelle condizioni ottimali per registrare questo evento in tutti i suoi aspetti.

In particolare, sono state attivate due stazioni osservative, una presso l'osservatorio astronomico di M.te Zugna e l'altra a Tesero. Tutte e due le stazioni hanno osservato l'evento, e in particolare la stazione di Tesero ha ottenuto la registrazione fotografica dell'evento. La stazione dello Zugna ha fornito, assieme ad altre 7 testimonianze visive che sono state raccolte e utilizzate come descritto in seguito, una stima dmi (punti di inizio e fine traiettoria, non registrati dalla fotografia. Uno degli autori (Carbognani), responsabile dell'Italian Superbolide Network, ha reperito un'altra foto scattata da Bergamo che gli ha per-

messo di ottenere una buona precisione nella ricostruzione della traiettoria in atmosfera. Quanto segue è la relazione dettagliata dell'evento.

Il 12 agosto 2002 alle 20h 35m TU, un bolide di magnitudine apparente compresa fra -8 e -11 è stato osservato nei cieli dell'Italia settentrionale. Secondo le consuetudini internazionali adottate dall'*ITALian Superbolide Network* (ITASN), il bolide ha ricevuto la sigla IT20020812: le prime due lettere identificano il paese in cui è stato osservato (in questo caso l'Italia), le prime quattro cifre indicano l'anno (2002), la quinta e la sesta cifra il mese (agosto, 08) e le ultime due il giorno (12). La sera del 12 agosto il cielo dell'Emilia Romagna, Lombardia, Trentino e Veneto era sgombro da nubi (vedi Fig.1), ed erano numerosi gli osservatori dello sciame delle Perseidi. ITASN ha raccolto otto osservazioni visuali e due fotografie, sufficienti per stabilire, approssimativamente, la traiettoria in atmosfera del bolide e la possibile orbita attorno al Sole. In quest'articolo sono esposti i risultati dei calcoli.

## LE OSSERVAZIONI

I dati ricavabili dalle osservazioni (visuali e fotografiche), sono state raccolti nella Tab. 1. Il flusso di testimonianze si è protratto per circa un paio di mesi dopo l'evento, grazie all>alert presente sul sito Web di ITASN e alla pubblicità su riviste del settore.

Az in/fin sono gli azimut (misurati da nord verso est), dei punti iniziali e finali della traiettoria osservata, analogamente h in/fin sono le altezze iniziali e finali sull'orizzonte. Tutti gli angoli sono in gradi.

Le osservazioni più accurate sono, naturalmente, quelle fotografiche. La prima immagine pervenuta del bolide è quella ottenuta da Marco Vedovato ed Ernesto Zanon (Gruppo Astrofili Fiemme), vedi Fig. 2a. Per la ripresa è stata utilizzata la pellicola Superia della Fuji (1600 ISO). La fotocamera impiegata era una Yashika con obiettivo da 50 mm f/2.8, guidata per una posa di 35 secondi (subito interrotta dopo il passaggio del bolide). La seconda immagine pervenuta ad ITASN è stata ripresa da Giovanni Rotigni con una macchina digitale Nikon Coolpix 950, posa di 8 secondi con una sensibilità equivalente di 160 ISO. La scia lasciata dal bolide nell'immagine di Rotigni è appena visibile, ma più che sufficiente per permettere una triangolazione con l'immagine di Vedovato e Zanon.

Secondo la posizione, gli osservatori visuali hanno indicato una magnitudine apparente compresa fra la -5 e la -8, alcuni anche -11. Il bolide, di colore bianco e azzurro/verde, ha lasciato una scia sottile ma molto luminosa e abbastanza persistente, con aumenti di luminosità nella parte finale della traiettoria. Non sono stati segnalati suoni d'alcun tipo, contemporanei o meno al fenomeno ottico.

Osservatore	Località	Lat. N	Long. E	Az in.	H in.	Az fin.	H fin.	Durata	$m_p$
Viganò	2 km nord di Siena	43.33°	11.33°	32°	23°	320°	11°	---	-6
Lazzarotti	Pian della Fioba (MS)	44.05°	10.18°	50°±5	11°±2	10°±5	6°±2	---	-4/-5
Mazzotti	S. Romualdo (RA)	44.49°	12.17°	48°	31°	308°	28°	---	---
Locatelli	Castelvetro (MO)	44.53°	10.92°	53°	31°	341°	23°	4 s	-8
Marziali	Bussolengo (VR)	45.47°	10.85°	124°	61°	38°	17°	2 s	-6/-8
De Manzano	Milano	45.47°	09.17°	82°	26°	17°	22°	---	-4/-5
Rotigni	Bergamo	45.68°	09.62°	64.8°	27.6°	49.2°	30.6°	---	---
Piccoli	M.teZugna (Rovereto)	45.83°	11.07°	83°±9	22°±2	342°±1	25°±6	5 s	-7
Polo&Tirelli	Rif. Cima Larici	45.87°	11.47°	130°	44°	317°	44°	5 s	-11
Vedovato&Zanon	Tesero (TN)	46.28°	11.50°	161.8°	83.2°	282.2°	71.0°	---	-6

Tab.1 - Le 10 osservazioni d'IT20020812 raccolte da ITASN. In rosso sono indicate le osservazioni fotografiche su cui ci si è basati per il calcolo della traiettoria in atmosfera.

Considerando le osservazioni fotografiche di Tab. 1 e misurando le coordinate azimutali anche del punto intermedio della traiettoria registrata, si ottengono 7 traiettorie possibili, tutte leggermente diverse fra loro. Le osservazioni visuali, contenenti errori di posizione della traccia certamente superiori alle fotografie, non sono state incluse nei calcoli per non aumentare le incertezze, ma si sono rivelate molto utili per stabilire la posizione dei punti iniziale e finale della traiettoria. In ogni caso, è interessante osservare che le traiettorie preliminari del bolide, ottenute dalle sole osservazioni visuali, erano in buon accordo con la traiettoria ottenuta dalle fotografie. Solo il valore dell'inclinazione sull'orizzonte era leggermente più elevato.

Calcolando la media aritmetica delle 7 diverse traiettorie si ottiene la traiettoria finale, riportata proiettata sulla superficie terrestre in Fig. 4. Il punto iniziale osservato è sul Golfo di Venezia ad est di Caorle, mentre il punto finale è sulla verticale del Monte Weissfluh (2844 m slm), poco a nord di Davos (Svizzera).

La quota del punto iniziale è di  $89 \pm 3$  km slm., mentre quella del punto finale (Lat.  $46.9^\circ$  N, Long.  $9.8^\circ$  E), si colloca a  $69 \pm 4$  km. La traiettoria, piuttosto radente, è inclinata di  $3.9^\circ \pm 0.8^\circ$  sul piano orizzontale, mentre la lunghezza osservata proiettata al suolo è di circa 285 km. L'azimut del radiante apparente è di  $116.8^\circ \pm 0.2^\circ$ . La traiettoria proiettata al suolo passa fra le coppie di città Treviso-Pordenone e Trento-Bolzano.

Il radiante apparente del bolide, cioè non corretto per i moti e l'attrazione gravitazionale della Terra, si colloca alle coordinate equatoriali (eq. 2000):  $\alpha = 347^\circ \pm 1^\circ$ ,  $\delta = -15^\circ \pm 1^\circ$ . Questo punto si trova in prossimità della stella  $\delta$  Aqr.

Un radiante meteorico vicino a quello del bolide è quello del debole sciame delle Iota Aqr Sud, attivo dal 25 luglio al 15 agosto. Il massimo si verifica il 4 agosto (ZHR=2). In questa data la posizione del radiante è  $\alpha = 337^\circ$ ,  $\delta = -15^\circ$  (eq. 2000). Il moto giornaliero è di  $+1.07^\circ$  in ascensione retta e  $+0.18^\circ$  in declinazione quindi, il 12 agosto, la posizione è  $\alpha = 343^\circ$ ,  $\delta = -13^\circ$ . La distanza fra il radiante apparente del bolide e quello dello sciame è di circa  $4.5^\circ$ . Un altro radiante vicino a quello del bolide è quello delle Delta Aqr Sud. Questo sciame è attivo dal 12 luglio al 19 agosto, con il massimo attorno al 20÷30 luglio (ZHR=20). Tenendo conto della posizione del radiante e del suo moto proprio, risulta che il 12 agosto la posizione era  $\alpha = 351^\circ$ ,  $\delta = -13^\circ$  (eq. 2000). La distanza dal radiante del bolide è di circa  $4^\circ$ . Le IAS hanno una velocità geocentrica di 34 km/s, mentre per le DAS vale 41 km/s. I valori delle velocità saranno importanti per cercare di stabilire l'origine del meteoroido progenitore del bolide.

I dati sugli sciami di meteore sono stati tratti dal catalogo IMO (International Meteor Organization): Meteor Shower Peak Radiants, ver. 2002.





Fig. 2 - Immagine della traiettoria del bolide ripresa da Tesero (Val di Fiemme). Autori: Marco Vedovato ed Ernesto Zanon (Gruppo Astofili Fiemme). Il moto del bolide è dal basso verso l'alto. La stella più luminosa è Vega, il bolide è passato  $7^\circ$  a Sud dello zenit. L'Ovest è in alto, il Nord a sinistra.

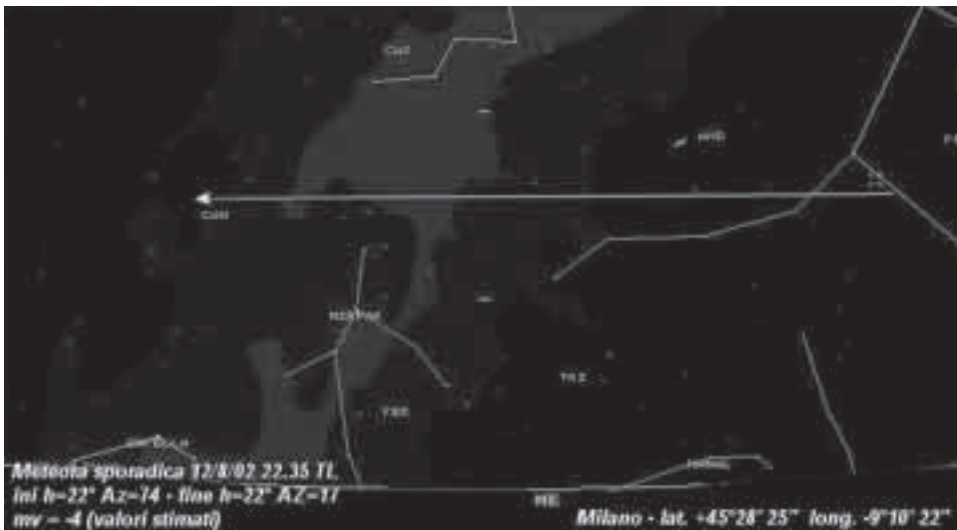


Fig. 3 - La traiettoria d'IT20020812 disegnata da De Manzano.



Fig. 4 - La traiettoria media d'IT20020812 (la striscia rossa) proiettata sulla superficie terrestre.

#### CALCOLO DELL'ORBITA E INDICAZIONI SULL'ORIGINE

I dati raccolti sono sufficienti per il calcolo della traiettoria in atmosfera ma non per quello dell'orbita del meteoroido. Infatti, per avere un'orbita attendibile, è necessario conoscere con precisione la velocità geocentrica del meteoroido fuori atmosfera, mentre dalle osservazioni disponibili è possibile avere solo una grossolana indicazione della velocità media.

Nei casi in cui la velocità geocentrica sia incognita si possono calcolare gli elementi orbitali per diversi valori della velocità geocentrica  $V$ . In questo modo si possono vedere che variazioni si ottengono sugli elementi orbitali stessi. In Tab. 2 sono esposti i risultati dei calcoli per alcuni valori significativi di  $V$ .

A questo punto si possono confrontare questi elementi orbitali con quelli delle IAS e DAS. Per lo sciame delle Iota Aqr Sud ( $V=34$  km/s), i valori degli elementi orbitali medi ottenuti da R. E. McCrosky e A. Posen (1961, 10 meteore), da L. Jacchia e F. L. Whipple (1961, 6 meteore), e da Southworth e Hawkins (1963, 4 meteore), sono i seguenti:  $a=2.4$  UA,  $e=0.9$ ,  $i=3^\circ$ ,  $\Omega=305^\circ$ ,  $\omega=130^\circ$ ,  $q=0.23$  UA,  $Q=4.6$  UA,  $P=1380.7$  giorni. Per le Delta Aqr Sud ( $V=41$  km/s), gli elementi orbitali sono molto simili, a parte l'inclinazione che passa a circa  $30^\circ$  e l'argomento del perielio che si porta a  $150^\circ$ . Come si può vedere l'accordo è discreto per le IAS, mentre peggiora (nei valori del semiasse maggiore, dell'ar-

Elemento orbitale	V=20 km/s	V=34 km/s	V=41 km/s
$a$ (distanza media)	0.89 UA	1.57 UA	4.49 UA
$e$ (eccentricità)	0.53	0.86	0.96
$i$ (inclinazione)	12.6°	20.2°	26.13°
$\Omega$ (nodo ascendente)	319.9°	319.9°	319.9°
$\omega$ (argomento perielio)	133.7°	134.8°	136.08°
$q$ (distanza al perielio)	0.42 UA	0.21 UA	0.16 UA
$Q$ (distanza all'afelio)	1.37 UA	2.93 UA	8.83 UA
$P$ (Periodo orbitale)	308.9 giorni s.m.	718.5 giorni s.m.	3479.15 giorni s.m.

Tab. 2 - Gli elementi orbitali d'IT20020812 calcolati per diversi valori significativi della velocità geocentrica  $V$ .

gomento del perielio e dell'eccentricità) di molto per le DAS. Si può escludere che appartenga a quest'ultimo sciame. Considerato che per i membri di uno stesso sciame gli elementi orbitali possono avere una certa distribuzione è probabile che IT20020812 appartenga alle IAS, così com'è ugualmente probabile che sia stato generato da un meteoroido sporadico d'origine asteroidale.

Gli elementi orbitali degli sciami sono stati tratti dal sito di Gary W. Kronk's, Comet & Meteor Showers, <http://comets.amsmeteors.org>.

Utilizzando come unica fonte di dati la sopra esposta relazione, perveniamo alle seguenti

## CONCLUSIONI

Le dimensioni del meteoroido si possono stimare partendo dai valori di magnitudine visuali, di velocità geocentrica e di inclinazione della traiettoria atmosferica sul piano dell'orizzonte. Per la velocità assumeremo un valore intermedio di 30 km/s. Attraverso la relazione massa-luminosità di Sarma e Jones, si può stimare una massa dell'ordine di 100 kg. Per una stima delle dimensioni, si deve valutare la densità del meteoroido. Il programma «Meteorite» per la simulazione della caduta dei meteoroidi, preparato dal Laboratorio di astronomia del Museo Civico di Rovereto, permette di avere delle indicazioni di massima sulla densità. La simulazione che meglio si accorda con lunghezza di traiettoria osservata e con quota di spegnimento è quella con un meteoroido cometario.

Secondo il simulatore, la pressione massima a cui il meteoroido è stato sottoposto è stata raggiunta attorno ai 60 km di quota, con un valore di  $3 \times 10^6$  dine/cm<sup>2</sup>: compatibile con la mancata osservazione di una frammentazione per un oggetto cometario. Secondo la simulazione, a parità di condizioni geometriche

sulla traiettoria, la frammentazione si può verificare per un meteorioide cometario del diametro di almeno 1.6 m, ad una quota attorno ai 50 km. Assumendo quindi, con le cautele del caso, una origine cometaria, la densità può essere presa pari a  $2 \text{ g/cm}^3$ . Le osservazioni sono quindi compatibili con un meteorioide di origine cometaria del diametro di mezzo metro.

La casistica prevede che un meteorioide si vaporizzi completamente dopo aver intercettato una massa

d'aria pari al 2 o 3% della sua massa. Questo è in buon accordo con il nostro caso, in quanto il meteorioide intercetta 1.5 kg d'aria prima di spegnersi, cosa che fa supporre la sua completa vaporizzazione.

Assumendo una magnitudine assoluta (cioè alla distanza di 100 km dal suolo e in direzione dello zenit) di -10, dalla relazione di Pogson (usando per confronto il Sole) si ricava un flusso al suolo di  $2.6 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$ , con una potenza luminosa totale di circa 33 MW.

Per quanto riguarda le dimensioni della testa di plasma del meteorioide, che corrisponde alle dimensioni della testa del bolide, dalla foto ripresa a Tesero risulta un'ampiezza della scia di 0.2 gradi

nella parte finale, a cui corrisponde un diametro reale della testa di circa 300 metri, compatibile con i valori tipici che si ritrovano nella casistica.

#### RINGRAZIAMENTI

Per le osservazioni visuali e le foto si ringraziano: P. Lazzarotti, M. Locatelli (GruppoSole - Ricerche Solari Italia), R. de Manzano (Circolo Astrofili di Milano), F. Marziali (Circolo Astrofili Veronesi), Cristina e Fiorenzo Mazzotti, L. Polo e G. Rotigni, D. Tirelli (Associazione Astrofili del Basso Vicentino «Edmund Halley»), D. Viganò, M. Vedovato e E. Zanon (Gruppo Astrofili Fiemme).

#### BIBLIOGRAFIA

CARBOGNANI A., FOSCHINI L., 1999 - Meteore - Cuen s.r.l., Napoli.

MUSEO CIVICO DI ROVERETO, 2002 - Programma di simulazione «Meteorite» tratto dal CD Il canto delle Perseidi - Meteoriti: pietre da altri mondi.

---

Indirizzo degli autori:

Albino Carognani - via Gioberti, 8 - I-43100 Parma  
Paolo Piccoli - via Terranera, 28 - I-38065 Mori (TN)

---