

Le Geminidi nel 2013

¹ IARA, Astronomia Valli del Noce, SdR RadioAstronomia UAI, IMO

² Istituto Tecnico Economico e Tecnologico "C.A. Pilati" Cles (TN)

Abstract

The purpose of this work is to analyse a meteor shower making use of a parameter easily comparable, that is the position of the maximum of activity. In fact we studied the action of Geminids, an active meteor shower we examined in December.

We had not acquired the data, but they were given to us by the association "Astrofilii Bolognesi" that had built a radio device based on the principle of forward-scatter.

These results were compared with the others taken from the "Meteor Radio Observing Bulletin".

In a second moment we studied the actions of the shower analysing that data taken from the archive provided by the "International Meteor Organization".

In the end, the results obtained from the radio were compared to those emerged from the visual technique; and finally we compared this data with the scientific literature. We particularly pointed out how the meteor shower of Geminids is part of a more complex meteor stream, where there seems to be a presence of other two showers with similar characteristics.

Introduzione

Le Geminidi sono uno dei più belli ed interessanti sciame meteorici dell'anno. La sua sigla internazionale è GEM. Questo sciame deve il suo nome al fatto che le meteore ad esso associate sembrano irradiarsi dalla costellazione dei Gemelli. Per un osservatore posto alle nostre latitudini è possibile osservare tale sciame già dal 6 dicembre. Durante la settimana successiva, il tasso di attività aumenta fino a un picco di 80-100 meteore all'ora che si raggiunge nella notte del 13/14 dicembre. Le ultime Geminidi sono visibili fino al 18 dicembre.

Le Geminidi sono state osservate per la prima volta nel 1862 quando R.P. Greg, inglese, identificò un radiante nei Gemelli nei giorni 10-12 dicembre. B.V. Marsh e A.C. Twining, statunitensi, hanno rilevato in modo indipendente l'attività nel medesimo periodo. A.S. Herschel ha osservato tali meteore il 12/13 dicembre del 1863, così come tre bolidi vicini al radiante nel 1863 e 1864. Nel corso del 1870 le osservazioni delle Geminidi divennero più numerose così gli astronomi poterono identificare tale attività come un nuovo sciame meteorico [1].

Osservazioni visuali di questo sciame hanno evidenziato come l'attività sia molto intensa per circa due giorni intorno al massimo. Attualmente tale sciame sembra

evidenziare un'attività racchiusa tra il 6 e il 19 dicembre. Tuttavia se lo si analizza con tecniche fotografiche o radar si evidenzia come l'attività inizi già verso il 30 novembre e termini il 29 dicembre [1].

Un importante passo avanti nella comprensione di questo sciame meteorico è stato fatto nel 1947. F.L. Whipple era stato coinvolto nella Harvard Meteor Project, un rilievo fotografico finalizzato a comprendere meglio le meteore e le loro origini, ottenendo dati per poter calcolare gli elementi orbitali. Analizzando meteore associate alle Geminidi trovò un periodo orbitale di soli 1,65 anni, nonché una alta eccentricità ed una bassa inclinazione. Tale orbita ha attirato l'attenzione di M. Plavec (Praga), che ha iniziato a studiare come la gravità dei pianeti abbia cambiato l'orbita dello sciame.

Una questione importante riguarda l'origine delle Geminidi, infatti, si conosceva da tempo il fatto che nessuna cometa aveva un'orbita simile a quella delle Geminidi. Nel 1950 Plavec ipotizzava "l'esistenza di una cometa progenitrice in una orbita di breve periodo, anche in passato, non sembra essere molto probabile. Perturbazioni planetarie non potevano ridurre il semiasse maggiore asse di un valore così grande. Più probabilmente, le Geminidi sono state separate da una cometa di orbita parabolica durante il passaggio ravvicinato di quest'ultima nei pressi del Sole." Plavec considerò come un possibile candidato la grande cometa del 1680 (dopo un suggerimento formulato nel 1931 da Maltzev).

L'11 ottobre 1983 durante una ricerca di oggetti in moto utilizzando i dati raccolti dall'Infrared Astronomical Satellite (IRAS), S. Green e J.K. Davies trovò un asteroide che si muoveva rapidamente nella costellazione del Draco. La sera successiva, C. Kowal (Palomar Observatory, USA) ha confermato l'oggetto fotografandolo con il telescopio Schmidt da 48 pollici. L'asteroide ha ricevuto la designazione preliminare 1983 TB. Non appena furono fatti i primi calcoli orbitali (International Astronomical Union Circular del 25 ottobre 1983) Whipple notò che tale asteroide si trovava su un'orbita quasi identica a quella delle Geminidi. Ulteriori osservazioni hanno confermato il legame con l'asteroide, il quale aveva finalmente ricevuto la designazione definitiva di 3200 Phaethon. Questo sciame è il primo che si sia scoperto essere stato generato da un asteroide e non da una cometa [1].

I dati radio

L'Associazione Astrofili Bolognesi ha realizzato un radar meteorico denominato RA.M.BO., acronimo di RAdar Meteore BOlogna [2]. Tale strumento, dopo la fase di test, ha iniziato ad operare continuamente da maggio 2013. Il fine del progetto è quello di rilevare in maniera autonoma le meteore e successivamente di valutarne le caratteristiche.

Il metodo usuale per rivelare tracce meteoriche è il cosiddetto "forward scatter" (diffusione in avanti) [3].

La stazione trasmittente è il radar Graves (Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale) nei pressi di Dijon [4]. Questo radar, attivo dal 2003, viene gestito dall'aeronautica militare francese per mappare e catalogare gli oggetti che orbitano nello spazio intorno al nostro pianeta. Il radar trasmette sulla frequenza di 143.050 Mhz con una potenza dell'ordine di centinaia di kW.

Il sistema ricevente è composto da un'antenna Yagi direttiva a 10 elementi puntata in azimut nella direzione del trasmettitore ed in declinazione a circa 25 gradi, in corrispondenza del punto previsto di riflessione con gli strati alti dell'atmosfera.

Il segnale audio prodotto dall'apparato ricevente viene analizzato in frequenza e digitalizzato tramite un apposito microprocessore. Ogni eco meteorico viene catalogata in un file di testo nel quale vengono registrati i seguenti parametri:

- numero progressivo evento
- numero evento nell'ora
- data e orario (UT)
- lunghezza eco (millisecondi)
- parametro proporzionale alla frequenza

Analisi dei dati radio

La procedura di analisi dei dati non è standardizzata. Per tale motivo si è cercato di uniformare tale metodo con quelli usualmente adottati in altri ambiti.

Innanzitutto è stato selezionato un periodo di attività dello sciame, in particolare sono stati considerati i giorni dall'1 al 28 dicembre 2013. In questo periodo sono stati registrati 8133 echi meteorici. La prima operazione effettuata è stata quella di ottenere il tasso orario *HR* (hourly rate) andando a sommare tutti gli eventi registrati per ogni ora. Per fare questa operazione è stato necessario realizzare un software scritto nel linguaggio C in grado di svolgere tale operazione in maniera semplice e veloce.

Successivamente è stato selezionato il periodo incentrato sul massimo teorico dello sciame (11-16 dicembre).

I dati così ottenuti tuttavia non possono ancora essere manipolati in quanto è necessario effettuare ancora due

fondamentali operazioni al fine di eliminare gli errori di contaminazione: la sottrazione dell'attività meteorica sporadica (background sporadico) e l'eliminazione dei dati in cui il radiante si trova sotto l'orizzonte [5].

Per minimizzare gli errori causati dalla presenza del fondo sporadico si è andati a mediare i flussi sporadici in alcuni giorni in cui non vi era l'attività dello sciame (25-27 dicembre), con l'accorgimento tuttavia di non selezionare giorni troppo lontani dal periodo di attività dello sciame considerato. Questa scelta è stata fatta per minimizzare eventuali fluttuazioni stagionali del background sporadico. Inoltre, il fondo è stato campionato ad intervalli orari e sottratto nelle ore in cui veniva investigato lo sciame per ridurre al minimo gli effetti dovuti alla variazione diurna [5].

L'attività meteorica di uno sciame può essere rilevata unicamente se il suo radiante si trova sopra l'orizzonte dell'osservatore. Per tale ragione è stato indispensabile valutare quando il radiante dello sciame meteorico delle Geminidi fosse visibile [6]. Questa procedura sembrerebbe andare a discapito di una completa analisi dell'attività dello sciame in tutte le sue fasi giornaliere in quanto lo sciame potrebbe esibire peculiarità quando il suo radiante non è osservabile. Tuttavia è un'operazione indispensabile per osservare le caratteristiche dello sciame osservate dallo strumento. Come funzione di osservabilità del radiante $O(t)$ è stata utilizzata la seguente formula:

$$O(t) = \frac{1}{\sin(2h_r)}$$

dove h_r rappresenta l'altezza del radiante.

Dal profilo così ottenuto è stato ricavato il parametro ricercato in questa analisi: la longitudine del massimo con relativo errore.

Per ottenere la latitudine solare in corrispondenza di una certa data e un certo orario, espresso in Tempo Universale, si è utilizzata la seguente formula [6]:

$$\lambda_{\odot} = \lambda_{\odot,data} + (\lambda_{\odot,giorno\ dopo} - \lambda_{\odot,data}) \cdot \frac{orario}{24h}$$

Per i valori tabulati della longitudine solare sono stati utilizzati i dati dell'IMO.

Il programma realizzato permette di andare a selezionare i dati che presentano una durata superiore ad un limite stabilito. Questa operazione è molto importante in quanto la vera attività di sciame è definita dalle meteore di durata maggiore. Si è dunque andati a variare la durata degli echi andando ad analizzare in particolare la zona del massimo dello sciame ricavata dalla prima analisi. La tecnica usata e le procedure seguite sono state le stesse.

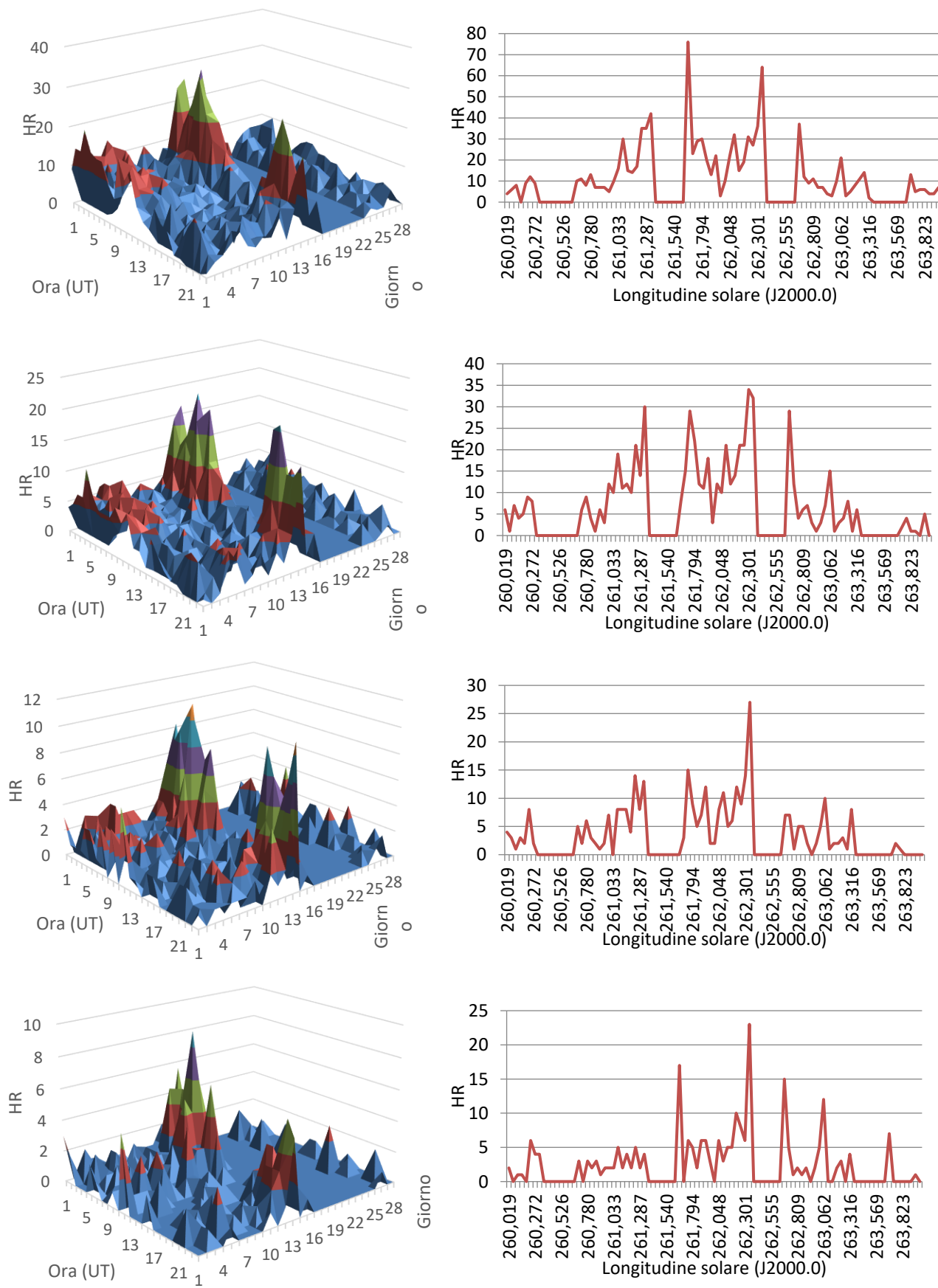


Figura 1. A sinistra vi è l'andamento dell'attività meteorica mensile, mentre a destra l'attività meteorica "vera" durante il massimo di attività dello sciame per durate rispettivamente, dall'alto verso il basso, superiori a 50, 100, 250 e 500 millisecondi

I dati visuali

I dati visuali analizzati sono stati prelevati dall'archivio dell'International Meteor Organization (IMO) disponibili in rete. Questi dati sono spesso utilizzati da ricercatori professionisti per la verifica delle loro teorie [7][8][9][10]. È stato esaminato il mese di dicembre 2013, lo stesso dell'analisi radio.

Inizialmente si è andato ad analizzare tutto il mese e successivamente il periodo in cui vi era il massimo dell'attività, avendo cura di avere dati significativi sia prima che dopo il periodo del massimo, questo per avere a disposizione un numero maggiore di valori e per valutare possibili discrepanze coi risultati ottenuti con la tecnica radio. Attraverso lo studio di meteore visuali si possono ottenere due importanti risultati: lo ZHR (Zenithal Hourly Rate o Tasso Orario Zenitale) e la longitudine solare del massimo di attività. Lo ZHR rappresenta il numero di meteore appartenenti ad uno sciame osservate in condizioni standard, cioè con una magnitudine stellare limite pari a 6.5, il radiante allo zenit e la volta celeste totalmente libera da ostacoli e nubi, nonché, naturalmente una visione di 360°. La formula più generale per il calcolo dello ZHR è [11][12][13]:

$$ZHR = \frac{N}{T_{eff}} r^{6.5-L_m} \sin(h_r)^{-\gamma} c_p$$

dove N rappresenta il numero di meteore di sciame conteggiate nel tempo efficace T_{eff} , r e γ sono parametri che dipendono dallo sciame considerato, L_m è la magnitudine limite, h_r è l'altezza del radiante sopra l'orizzonte dell'osservatore e c_p è il fattore di percezione. Nonostante la precedente sia la formula più generale applicabile, normalmente viene utilizzata con delle standardizzazioni atte a rendere omogenei i risultati dei diversi ricercatori. Per tale ragione ci rifaremo alle procedure utilizzate dall'IMO e dalla maggior parte dei ricercatori [8][14][15][16]. La codifica adottata considera il valore di γ pari a 1, perché l'introduzione di tale parametro è ancora oggetto di discussione e di verifica [17]. Il valore dell'indice di popolazione r nonostante vari nel tempo, in questa analisi viene normalmente considerato costante. Per uniformità è stato preso il valore di r utilizzato dall'IMO pari a $r = 2,9$, anche se alcuni autori preferiscono usare $r = 2,5$ per gli sciami meteorici e $r = 3,4$ per le meteore di background [18]. Infine, il fattore di percezione c_p varia da osservatore a osservatore e dipende da fattori quali la tecnica di osservazione e l'esperienza, ma anche da caratteristiche biologiche e fisiologiche come l'età, il campo effettivo, la sensibilità della retina e la trasparenza del cristallino. Generalmente, questo parametro viene posto uguale a uno data la difficoltà di misurarlo con precisione, altre volte, come nel nostro caso, si considera come contributo unicamente il campo effettivo F , che corregge l'influenza attribuita a ostacoli o nubi che oscurano parte del campo visivo. L'eventuale disturbo della luce solare e lunare è corretto dalla normalizzazione della magnitudine limite. Per rendere più omogenei i risultati sono stati selezionati solo quei dati che presentavano una magnitudine limite pari o superiore a 5,5. Un ulteriore accorgimento nell'analisi è

stato quello di selezionare solo quei dati che presentavano un'altezza del radiante superiore ai 20° e di mediare dinamicamente i valori dello ZHR allo scopo di ridurre gli errori. Infine, per rendere i dati confrontabili con altre ricerche, i valori dello ZHR sono stati normalizzati a 1.

Analisi dei dati visuali

I dati grezzi utilizzati in questa analisi sono stati 716 e derivano dall'osservazione di 3968 Geminidi da parte di 82 osservatori distribuiti in 23 stati [19].

Di questi dati solo 172 sono stati ritenuti utili per questa ricerca, in quanto gli altri non soddisfacevano tutti i requisiti precedentemente esposti. Inizialmente è stato realizzato il grafico dell'attività dello sciame ottenuta tramite i dati utili in funzione della longitudine solare senza apportare nessun tipo di correzione.

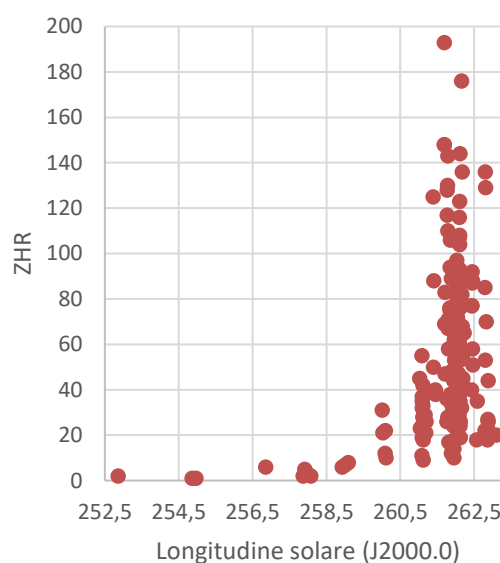


Figura 2. Andamento dell'attività meteorica nel mese di dicembre studiato attraverso tecniche visuali

Successivamente i dati sono stati mediati dinamicamente e normalizzati ad 1. Il profilo generale ottenuto è stato considerato solo nel periodo di maggiore intensità dello sciame e vanno dalla longitudine solare 261 (13 dicembre ore 2 UT) alla 263 (15 dicembre ore 2 UT).

Tabella 1 - Massimo di attività delle Geminidi trovati da diversi osservatori raccolti dal RMOB

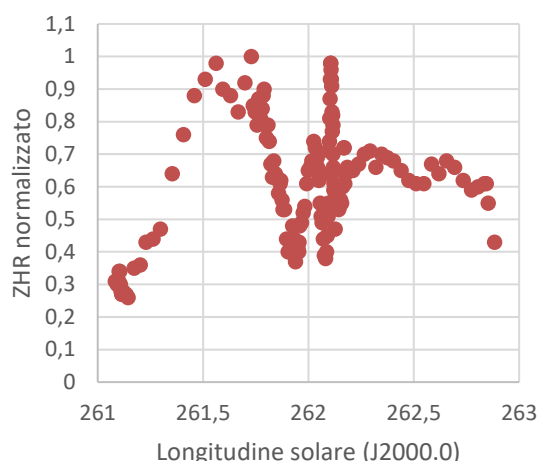


Figura 3. Andamento dello sciame durante il massimo di attività

Osservando il grafico si evidenziano due picchi distinti dalle caratteristiche molto diverse. Il primo centrato intorno alla longitudine solare 261,7° (13 dicembre ore 18 UT) presenta un profilo molto ampio, con una larghezza a metà altezza pari a circa 0,6° che corrispondono a circa 11 ore. È da osservare anche come la pendenza di salita sia inferiore rispetto a quella di discesa. Si nota poi un picco molto elevato, paragonabile al precedente in corrispondenza della longitudine solare 262,1° (14 dicembre ore 4 UT) il quale presenta una brusca salita ed una brusca discesa. Questi due picchi dalle caratteristiche diverse possono essere giustificati da una struttura a filamenti dello sciame.

Tuttavia la causa potrebbe anche essere dovuta ad una non rigorosa osservazione del fenomeno. Infatti, se si va ad analizzare il grafico proposto dall'IMO che mette in relazione il numero di osservatori in funzione del periodo, si rileva come questi abbiano osservato in maniera massiccia nelle ore finali del 13 dicembre, mentre in maniera inferiore nelle prime ore del 14 dicembre [19]. Si nota come il numero di osservatori si sia quasi dimezzato. Questo potrebbe introdurre degli errori nell'analisi del fenomeno che non sono facilmente rilevabili.

Conclusioni

Andando ad analizzare i dati radio si vede come in corrispondenza dei giorni di massimo teorico di attività dello sciame si evidenziano due picchi alle longitudini solari: $261,66^\circ \pm 0,02^\circ$ (13 dicembre $17^h \pm 30^m$) e $262,34^\circ \pm 0,02^\circ$ (14 dicembre $9^h \pm 30^m$). I due picchi trovati presentano tassi alquanto simili. Tali valori sono stati trovati indipendentemente dalla durata degli echi analizzati. Infatti in tutti i grafici analizzati si riscontra la stessa posizione per tali massimi.

I dati trovati sono stati confrontati con quello ottenuto andando ad analizzare altri dati ricavati con tecniche radio. Sono stati utilizzati quelli del Radio Meteor Observing Bulletin (RMOB) [20].

Osservatore	Longitudine solare (°)
Raydel Abreu (CM2ESP)	260,346
Joseph Welkenhuyzen	260,897
Franky Dubois	261,151
Mikhail Svoiski	261,194
Jeff Brower	261,279
Mike Otte	261,406
Johan Coussens	261,787
Alexei Pace	261,829
Dave Swan	261,872
Associazione Astrofili Veneziani	261,914
Gaspard De Wilde ON4ZK	261,914
Karl-Heinz Gansel	261,914
Chris Steyaert	261,914
Felix Verbelen ON4AVF	261,914
Luc Gobin	261,957
Karl-Heinz Gansel	262,084
Ivan Sergey	262,211
Karl-Heinz Gansel	262,253
Steve Roush	262,253
Michael Boschhat	262,423

Dai dati ottenuti si ottiene come valor medio la longitudine solare pari a $261,7^\circ \pm 0,3^\circ$ (13 dicembre $18^h \pm 9^h$). Tale valore presenta un barra d'errore estremamente rilevante ed è compatibile con i primi due picchi trovati. Questo dato tuttavia ci permette di capire che l'attività misurata corrisponde effettivamente allo sciame meteorico delle Geminidi, ma oltre a ciò non è possibile affermare altro.

Andando ad analizzare in dettaglio i due picchi trovati, questi potrebbero essere due punti dell'inviluppo dell'attività meteorica dello sciame. Tuttavia tale ipotesi non trova un riscontro in quanto tra il primo ed il secondo picco il radiante era alto in cielo, cioè nelle migliori condizioni di indagine. Sarebbe che tale sciame presenti due picchi di attività. Questo potrebbe anche essere indice di una struttura filamentare. Andando ad analizzare gli sciami tabulati dall'International Astronomical Union Meteor Data Center [21] si evidenzia come lo sciame delle Geminidi, sigla internazionale GEM, presenta il massimo teorico alla longitudine solare $262,10^\circ$. Antecedente ad esso si osserva la presenza di uno sciame minore proveniente sempre dalla zona dei Gemelli, lo sciame nu Geminidi, sigla NGN, con un massimo intorno alla longitudine solare $262,00^\circ$ [22]. In aggiunta ad una longitudine solare pari a $263,00^\circ$ si trova lo sciame delle 68 Geminidi, sigla SGM. Il fatto che vi sia stata la scoperta di due sciami minori in epoca recente, rende ancora più difficile fare un confronto coi dati storici in quanto, probabilmente, tutte queste componenti venivano semplicemente identificate col termine generico di Geminidi. Alla luce di ciò si può affermare che l'analisi si è concentrata sullo studio del complesso meteorico delle Geminidi. I due picchi trovati sono molto prossimi con quelli tabulati. Questo presuppone una buona analisi e soprattutto l'efficacia dello strumento utilizzato.

Andando ad esaminare invece l'altezza dei due picchi principali, si evidenzia come il primo picco è dominato da meteore più piccole rispetto all'altro che invece è caratterizzato da un distribuzione di meteore di massa

maggiore. Generalmente le meteore di più lunga durata sono il tracciante per identificare la componente principale dello sciame. A durate superiori si evidenzia la persistenza di un altro picco centrato a $262,68^\circ \pm 0,02^\circ$ (14 dicembre $17^h \pm 30^m$) che potrebbe essere identificativo della terza componente del complesso delle Geminidi. Tale ultima affermazione meriterebbe un maggiore studio che coi dati in possesso è difficile effettuare.

Per quanto concerne i dati visuali sono stati evidenziati due picchi, il primo più diffuso ad una longitudine solare pari a $261,72^\circ \pm 0,01^\circ$ (13 dicembre $18^h 24^m \pm 15^m$), mentre il secondo più stretto a $262,10^\circ \pm 0,01^\circ$ (14 dicembre $04^h 37^m \pm 15^m$).

L'IMO ha inoltre fatto un'analisi preliminare dei dati utilizzando parametri diversi da quelli utilizzati. Tali dati evidenziano come il massimo di attività sia localizzato in corrispondenza della longitudine solare pari a $262,2^\circ \pm 0,1^\circ$ (14 dicembre $06^h \pm 3^h$).

Si evidenzia un dato anomalo nel profilo di attività che corrisponde alla longitudine solare $261,7^\circ \pm 0,1^\circ$ (13 dicembre $19^h \pm 3^h$). [19]

Tali dati sono stati normalizzati e messi in relazione con quelli ottenuti dalla seguente analisi visuale per meglio evidenziare la correlazione tra i valori.

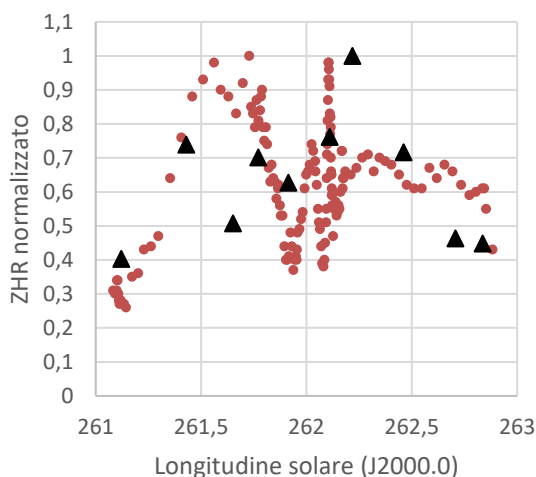


Figura 4. Confronto tra i dati visuali ricavati dall'analisi (pallini) e i dati visuali ottenuti dall'IMO (triangolini)

Il profilo dei dati IMO ha un andamento molto simile a quello ottenuto, fatta eccezione per i livelli in altezza. Tale discrepanza in altezza è imputabile unicamente al differente valore dell'indice di popolazione adottato. Sicuramente i due grafici sembrano essere compatibili entro la barra d'errore. Per un confronto più accurato coi dati analizzati dall'IMO bisognerà necessariamente aspettare che sia pubblicata una ricerca ufficiale e non solo l'analisi preliminare, nonostante ciò i risultati sono soddisfacenti.

Sembrerebbe che tale sciame presenti due picchi di attività. Andando a confrontare i dati con quelli tabulati dall'International Astronomical Union Meteor Data Center, e prima menzionati, ritroviamo la stessa situazione descritta nel caso radio. È maggiormente difficile catalogare le meteore visuali appartenente ad

uno sciame rispetto all'altro. Andando a ricercare nella letteratura si scopre come, nonostante le Geminidi vengano definite sciame a singolo picco, ci siano degli autori che abbiano trovato una natura duale dello sciame [23][24]. In tali articoli si afferma che le Geminidi hanno due picchi distinti che mutano d'intensità anche da anno ad anno. Questo potrebbe essere indice di una natura filamentare dello sciame. Il fatto che tali articoli risalgono al 1989 e che nel 2010 è stato trovato uno sciame minore antecedente al picco principale delle Geminidi, farebbe pensare che originariamente tale sciame fosse stato scambiato per una componente dello sciame principale. Sfortunatamente allo stato attuale non si è in grado di avvalorare con ragionevole certezza nessuna ipotesi, anche se resta maggiormente plausibile l'aver identificato uno sciame minore, come dai dati dell'International Astronomical Union.

Infine andando a confrontare i dati radio e visuali ottenuti in questa analisi questi sono compatibili essendo molto prossimi. È da sottolineare come non necessariamente i picchi radio e visuali coincidano, in quanto i dati radio tengono in considerazione anche meteore di massa molto minore rispetto a quelle visuali.

Bibliografia

- [1] Kronk, Gary W., Meteor Showers, 2nd ed. 2014, XVIII, 362 p. 9 illus., Springer
- [2] <http://www.associazioneastrofilibolognesi.it>
- [3] Sandri M., *Astronomia UAI*, 6, 21-27 (novembre-dicembre 2006)
- [4] <http://www.itr-datanet.com/~pelitr/graves/>
- [5] Sandri M., *Astronomia UAI*, 6, 26-29 (luglio-agosto 2007)
- [6] Steyaert C. (1991). "Calculating the solar longitude, 2000.0". *WGN, Journal of the IMO*, 19:2, 31-34
- [7] Kresak L., *Astronomy & Astrophysics*, 279, 646-660 (1993)
- [8] Bellot Rubio L., *Astronomy & Astrophysics*, 301, 602-608 (1995)
- [9] Rendtel J., Brown P., Molau S, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 279, 31-36 (1996)
- [10] Brown P., Rendtel J, *Icarus*, 124, 414-428 (1996)
- [11] Jenniskens P., *Astronomy & Astrophysics*, 287, 990-1013 (1994)
- [12] Jenniskens P., *Astronomy & Astrophysics*, 295, 206-235 (1995)
- [13] Jenniskens P., *Meteoritics & Planetary Science*, 31, 177-184 (1996)
- [14] Korschack R., Rendtel J., *WGN: the Journal of the IMO*, 18:2, 44-58 (1990)
- [15] Korschack R., Rendtel J., *WGN: the Journal of the IMO*, 18:4, 119-140 (1990)
- [16] North American Meteor Network, *Meteor showers and their observation: a North American Meteor Network Guide*, 2001
- [17] Zvolankova J., *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 34, 122-128 (1983)
- [18] Kresakova M., *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 3, 75-109 (1966)
- [19] <http://www.imo.net/live/geminids2013/>
- [20] <http://www.rmob.org/>

- [21] <http://www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/>
- [22] Brown, P., Wong, D. K., Weryk, R. J., Wiegert, P., Icarus, Volume 207, Issue 1, p. 66-81 (05/2010)
- [23] Roggermans, P., WGN: the Journal of the IMO, 17:6, 229 (1989)
- [24] Ryabova, G., WGN: the Journal of the IMO, 17:6, 240 (1989)