

# Analisi in multibanda dello sciame meteorico delle Liridi

IARA, SdR RadioAstronomia UAI, Astronomia Valli del Noce, Società Italiana di Fisica, IMO

## Abstract

The Lyrids meteor stream has a medium activity and its origin is cometary. Their parent body is the comet Thatcher, that passed the last time near Earth in 1861. The stream occurs in the last days of April and the maximum of activity occurs in the days from 21 to 23 April. The Lyrids were studied from 1994 to 2004 using two different techniques: visual and radio observation. The visual data were taken from the internet archive of International Meteor Organization. The analysis's procedure follows in part the indication of this Organization. The radio data were obtained using the meteor scatter techniques. The data were taken from the Radio Meteor Observation Bulletins. The purpose of this analysis is the definition of main characteristics of the stream. The solar longitude of the maximum of the activity is  $\lambda_0 = 32.2^\circ \pm 0.2^\circ$  from radio data and  $\lambda_0 = 32.2^\circ \pm 0.1^\circ$  from visual data. The ZHR during the maximum is  $25 \pm 3$  and medium ZHR is  $13 \pm 1$ . The data show the evidence of a complexity in the structure of the spatial distribution of matter and no evidence of periodicities in the activity.

...fu vista una scintilla che, cadendo da una stella, si accresceva accostandosi alla Terra e, dopo essere divenuta grande quanto la Luna, faceva luce come in una giornata nuvolosa e poi, ritirandosi verso il cielo, si mutava in una torcia.

Plinio il Vecchio (23 - 79 d.C.)  
*Naturalis Historia, Libro II, 100*

## Introduzione

L'interesse per lo sciame delle Liridi, come della maggior parte degli sciami, si è sviluppato solo recentemente a causa della relativa giovinezza della scienza meteorica. La prima cronaca su tale sciame è dei giorni 19 e 20 aprile 1803 quando numerosi testimoni nell'est degli Stati Uniti osservarono una tempesta con un tasso orario di circa 700 meteore. Nel 1835 si scoprì che le Leonidi rappresentavano uno sciame periodico annuale, e, poiché gli astronomi cercavano di identificare altri sciami meteorici con le medesime caratteristiche, Arago congetturò che il 22 aprile potesse essere la data di un'attività meteorica ricorrente [1].

Furono effettuate molte ricerche per confermare la teoria di Arago in special modo da Herrick, il quale

durante il 1839 osservò questo sciame meteorico e raccolse ulteriori informazioni sull'attività del 1803. Herrick scoprì, inoltre, l'apparizione dello sciame nei giorni 9 aprile 1095, 10 aprile 1096 e 10 aprile 1122 [1]. Le sue osservazioni visuali, fatte insieme a Bradley, provarono che un'attività debole, ma definita era presente durante il 1839, col radiante situato a  $273^\circ$  di ascensione retta (AR) e  $+45^\circ$  di declinazione (DEC) il giorno 19 aprile [2]. Malgrado questa apparente conferma, le Liridi furono ignorate fino al 19-20 aprile 1864, quando Herschel osservò 16 meteore da un radiante posto a  $AR=277^\circ$  e  $DEC=+35^\circ$  [3]. Questa osservazione portò un nuovo interesse nello studio degli sciami meteorici in generale e delle Liridi in particolare.

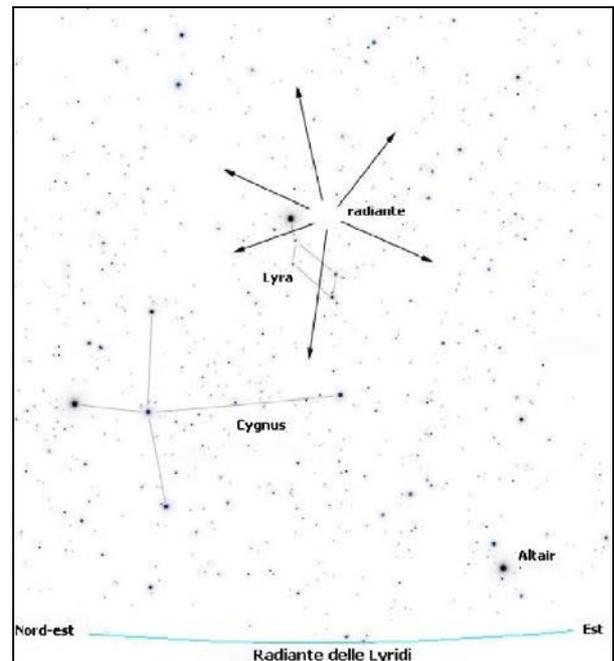


Figura 1. L'immagine mostra la posizione del radiante dello sciame meteorico delle Liridi

Nel 1866, lo sciame annuale delle Perseidi fu associato alla cometa periodica Swift-Tuttle (1862 III) e le Leonidi alla cometa periodica Temple-Tuttle (1866 I) appena scoperta. All'inizio del 1867, gli astronomi erano ancora occupati a cercare l'evidenza del collegamento tra sciami meteorici e comete. A Vienna, Weiss era impegnato a calcolare gli incontri ravvicinati tra l'orbita terrestre e quella delle comete. Fu scoperto che il 20 aprile l'orbita della cometa Thatcher (C/1861

G1) passava a 0.002 unità astronomiche (UA) dall'orbita della Terra [4]. Più tardi nello stesso anno, Galle confermò matematicamente l'associazione tra la cometa Thatcher e le Liridi e tracciò con successo la storia dello sciame a partire dal 16 marzo 687 a.C. [5].

Le osservazioni delle Liridi aumentarono tra la fine del 1860 e l'inizio del 1870 e Denning risultò essere di fondamentale importanza per la comprensione di questo sciame. Dal 1885, si scoprì che il radiante di questo sciame si muoveva giornalmente di circa un grado verso est. Dal 1923, questo fatto risultò talmente convincente, che Denning pubblicò le effemeridi del radiante indicando la posizione iniziale del radiante a  $AR=259^\circ$  e  $DEC=+34^\circ$  il 10 aprile, ed eventualmente il suo passaggio fino a  $AR=284^\circ$  e  $DEC=+34^\circ$  il 30 aprile [6].

Denning osservò le Liridi esclusivamente tra il 14 e il 26 aprile, ma estese le effemeridi del radiante in quanto era convinto che potessero essere presenti deboli tracce di attività anche al di fuori del periodo osservato. Tuttavia gli studi visuali non sono riusciti a dimostrare inconfutabilmente la presenza di questa attività così prolungata. Tra il 1961 e il 1965, il Radio Meteor Project, sotto la direzione di Sekanina, rilevò probabili membri di questo sciame fino al 3 maggio [7].

Oltre all'attività anomala del 1803, il tasso orario massimo è rimasto relativamente basso e costante, benché da allora si siano verificati altri inaspettati outburst. Nel 1849 e nel 1850 alcuni osservatori nel New Haven e in India, annotarono un inusuale numero di meteore il 20 aprile [8]. Altri outburst furono registrati nel 1984 [9], nel 1922 [10], nel 1945 [11] e nel 1982 [12].

Molti osservatori hanno cercato di stimare il periodo orbitale di questo sciame meteorico da osservazioni visuali. Herrick, attraverso studi storici sull'attività delle Liridi, concluse che lo sciame possedeva un periodo orbitale di 27 anni. Successivamente Denning ricavò un periodo di 47 anni [8], ma la previsione di una attività anomala per il 1897 non si verificò dato che il tasso in quell'anno non superò le 6 meteore l'ora. Dopo l'outburst nel 1982, molti ricercatori affermarono il fatto che il periodo era di circa 60 anni, basandosi sugli aumenti del 1803, 1922 e 1982. Sfortunatamente sembrava che l'orbita delle Liridi contenesse molti addensamenti di materia distribuita irregolarmente che avrebbero reso impossibile trovare un accurato periodo basato su osservazioni visuali.

Utilizzando le tecniche radar e fotografiche, sono stati fatti molti tentativi nel determinare il periodo delle Liridi. Un'insieme di orbite fotografiche, pubblicata da Whipple nel 1952, rilevò due Liridi con un periodo che differiva di 300 anni [13]! Nel 1971, Lindblad pubblicò l'orbita di questo sciame, che risultò avere un periodo di 131 anni [14], mentre nel 1970, Sekanina pubblicò un'altra orbita basata su radio meteore che avevano un periodo medio di 9.58 anni [7].

La discrepanza nel periodo orbitale delle Liridi è principalmente dovuto alla scarsità di dati. Il numero di meteore ottenute dal maggior archivio di meteore fotografiche è 12, di cui solo 6 sono considerate attendibili. Il periodo della cometa Thatcher calcolato

in 415 anni è probabilmente più affidabile oggi di quanto non lo sia il periodo orbitale trovato per le Liridi.

Le Liridi esibiscono un unico picco al massimo di attività, una caratteristica generalmente mostrata da sciami meteorici giovani o non alterati da importanti perturbazioni planetarie. Dal momento che l'inclinazione dell'orbita della cometa è  $79.8^\circ$  e che esistono prove che l'attività perdura dal 687 a.C., allora l'ultimo scenario sembra il più appropriato [15]. In generale, il massimo si verifica attorno alla longitudine solare  $31.6^\circ$ , ma altre osservazioni visuali ben documentate lo pongono in un intervallo compreso tra  $31.4^\circ$  e  $31.7^\circ$ . I più recenti studi menzionati da Lindblad riguardanti orbite fotografiche danno un valore pari a  $31.6^\circ$ , mentre gli studi radar condotti da Sekanina forniscono una longitudine solare di  $32.0^\circ$ .

Nel 1961, Hindley dimostrò che la stretta relazione tra la posizione del massimo calcolato con tecniche visuali e fotografiche non poteva essere interpretata a priori come l'azione di una forza dispersiva di tipo di Poynting-Robertson [10]. Come sostegno a tale affermazione, Hindley aggiunse che alcune osservazioni occasionali antecedenti al 687 a.C. indicavano un moto inesistente o molto limitato dei nodi orbitali negli ultimi 2600 anni!

Kronk in generale sostiene la visione di Hindley dell'età avanzata dello sciame dato che, malgrado una mancanza di evidenti perturbazioni planetarie, l'attività dello sciame è visibile ogni anno [16]. Così, le particelle appartenenti allo sciame sono distribuite completamente attorno all'orbita, anche se irregolarmente. È curioso che esista un'ampia differenza tra il periodo orbitale determinato con dati fotografici e quelli radar. I dati fotografici indicano un periodo superiore ai 100 anni, mentre quelli radar indicano un periodo di circa 10 anni. Tale discrepanza può essere causata o dalla minore presenza dell'effetto Poynting-Robertson o da seri errori nella determinazione dell'orbita dai dati radar.

Recenti stime del tasso orario di attività normale non sembrano far emergere nessun cambiamento da ciò che gli osservatori avevano rilevato 80-90 anni fa, con uno ZHR tipico compreso tra 8 e 15. Sono stati misurati valori dello ZHR di 13.5 nel 1969, 17 nel 1974 [17] e 13.1 nel 1985 [18].

La durata dell'attività di tale sciame è abbastanza ridotta. Quattro astrofili del sud della California (Devault, Heil, Setter e Fischer) hanno osservato le Liridi dal 20 al 24 aprile nel 1974 e hanno concluso che lo sciame rimane sopra un quarto del suo tasso massimo per 3.6 giorni [19].

### **La cometa progenitrice**

Come è stato accennato precedentemente, è generalmente accettata l'associazione tra lo sciame meteorico delle Liridi e la cometa C/Thatcher 1861 G1. Tale corpo ha fatto la sua ultima apparizione nel 1861, mostrando di essere una cometa a lungo periodo, superiore ai 400 anni. Solo in questa occasione sono stati ottenuti dati astronomici per ricavare i parametri orbitali dell'oggetto. In merito a tale corpo

celeste non vi sono antiche documentazioni e dunque l'orbita è stata ricavata utilizzando unicamente i dati del 1861. Il primo a determinarne i parametri orbitali fu Oppolzer [20], anche se l'orbita attualmente accettata è quella dedotta da Marsden per mezzo dei dati relativi al passaggio al perielio nel giugno 1861 [21].

Da questi parametri si è dedotto che il periodo orbitale di tale oggetto è di 415.5 anni, pari esattamente a 35 periodi gioviani e a 14 periodi orbitali di Saturno. Ovviamente il breve periodo osservativo rende piuttosto incerti tali elementi. In particolare si è potuto stimare che l'errore sul periodo della cometa Thatcher è al massimo di 30 anni.

Una delle caratteristiche più interessanti di tale cometa è la sua inclinazione che la porta ad essere quasi ortogonale al piano dell'eclittica. Tuttavia si ritiene che nell'arco della sua storia tale corpo abbia subito notevoli perturbazioni ad opera principalmente di Giove e Saturno, così da modificarne sensibilmente alcuni parametri orbitali [22]. Questa situazione, sfortunatamente, non può essere verificata, ma rappresenta uno dei possibili scenari che possono causare una periodicità nello sciame cometario delle Liridi di 12 anni [23]. L'orbita è stata integrata per quattro precedenti apparizioni utilizzando il metodo Runge-Kutta-Nystrom [24].

Una delle peculiarità della cometa Thatcher è che la sublimazione del nucleo sembra iniziare a una distanza eliocentrica di circa 8.5 UA piuttosto che a 3-4 UA. Tale assunzione è stata fatta sull'ipotesi che tale corpo sia molto simile alla cometa Halley [25][26].

Si stima che lo sciame meteorico segua un'orbita simile a quella del corpo progenitore. Tuttavia nel caso delle Liridi questa affermazione non sembra corrispondere esattamente alla realtà. Infatti, mentre la maggior parte dei parametri orbitali dello sciame rispecchiano quelli della cometa Thatcher, si riscontra un'ampia differenza nella misura del semiasse maggiore dell'orbita. Inoltre i risultati ottenuti con tecniche fotografiche [13][16][27][28][29] presentano delle discrepanze con quelli ottenuti attraverso tecniche radar [7][30].

### Procedura di analisi dei dati radio

I dati per l'analisi radio sono stati prelevati liberamente dal sito internet del Radio Meteor Observation Bulletins (RMOB). In questa ricerca sono stati selezionati gli anni dal 1994 al 2004.

I dati raccolti dagli osservatori del RMOB utilizzano la tecnica del meteor scatter operante nella banda VHF da circa i 50 MHz ai 100 MHz. In genere l'energia di un segnale radio può viaggiare dal trasmettitore a un ricevitore seguendo diverse modalità di percorso; direttamente, seguendo un percorso per così dire a vista, per via di onde di terra, da riflessione ionosferica, da diffusione troposferica o da diffusione (scattering) da altri oggetti illuminati dal trasmettitore e visibili dal ricevitore. Il metodo usuale per rivelare tracce meteoriche, è il cosiddetto "forward scatter" (diffusione in avanti), esso consiste nell'usare un segnale del trasmettitore la cui frequenza e distanza siano selezionate in modo che il trasmettitore illumini

l'orizzonte sopra il ricevitore, ma al ricevitore non arrivi nessun segnale (o comunque di entità irrilevante) tramite riflessione ionosferica, percorso di terra o per via diretta. In pratica se la geometria del sistema è ideale, una parte del segnale subirà uno scattering in avanti verso il ricevitore, solo quando una traccia meteorica (o un oggetto qualsiasi) comparirà nella zona di cielo illuminata dal trasmettitore, ecco che allora nel ricevitore si udirà il segnale del trasmettitore, in questo modo le meteore possono essere contate.

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

Innanzitutto per ogni anno sono stati selezionati solo gli osservatori che nel periodo di massima attività dello sciame delle Liridi presentassero un numero di dati sufficientemente adeguato. Successivamente è stato selezionato il periodo incentrato sul massimo teorico dello sciame (20-23 aprile). I dati RMOB hanno la peculiarità di evidenziare i tassi orari HR in funzione del tempo universale UT, tuttavia le modalità di catalogazione sono differenti per ogni osservatore dunque è stato necessario uniformare i dati con uno standard al fine di essere facilmente gestiti.

**Tabella 1.** La tabella, per ogni anno considerato nell'analisi, evidenzia il numero di osservazioni dello sciame (#oss) e quelle effettivamente utilizzate nell'analisi (#util).

Anno	#oss	#util
1994	2	2
1995	4	4
1995	3	2
1996	5	2
1997	9	9
1998	9	8
1999	12	10
2001	15	7
2002	13	12
2003	22	18
2004	26	14
Totale	120	88

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: l'eliminazione dei dati in cui il radiante si trova sotto l'orizzonte e la sottrazione dell'attività meteorica sporadica (background sporadico).

L'attività meteorica di uno sciame può essere rilevata unicamente se il suo radiante (il punto del cielo da cui sembrano provenire tutte le meteore di un medesimo sciame) si trova sopra l'orizzonte dell'osservatore. Per tale ragione è stato indispensabile valutare per ogni osservatore quando il radiante dello sciame meteorico delle Liridi fosse visibile. Questa procedura sembrerebbe andare a discapito di una completa analisi dell'attività dello sciame in tutte le sue fasi giornaliere. Va sottolineato però come gli osservatori siano sparsi su tutto il pianeta e dunque, in generale, è possibile valutare l'attività dello sciame durante tutta la giornata senza la presenza di interruzioni orarie.

Uno sciame meteorico è caratterizzato, come già detto, dal fatto che le meteore ad esso associate sembrano provenire da una medesima zona del cielo detta radiante. Tuttavia è presente un'attività di fondo caratterizzata da meteore sporadiche, le quali non presentano un radiante ben definito. Per eliminare la contaminazione di questi ultimi oggetti, in fase di analisi è opportuno sottrarre il contributo del fondo dall'attività dello sciame esaminato. La sottrazione del background è complicata ulteriormente dal fatto che l'attività sporadica non è costante nel tempo, in quanto presenta variazioni sia a breve periodo (variazioni diurna) sia a lungo periodo (variazioni stagionali). Per minimizzare gli errori causati dalla presenza del fondo sporadico si è andati a mediare i flussi sporadici in numerosi giorni in cui non vi era l'attività dello sciame, 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.

I set di dati così ottenuti sono stati normalizzati al valore massimo. Questa operazione si è resa necessaria per poter confrontare facilmente i diversi set. Dai profili così ottenuti è stato ricavato il parametro ricercato in questa analisi: la longitudine del massimo con relativo errore. Da tutti i valori ottenuti è stato ricavato quello caratterizzante lo sciame per l'anno in esame. In tale analisi preliminare è stata utilizzata come funzione di correlazione la funzione media e la funzione scarto quadratico medio.

I dati non permettono di ricavare un tasso orario in quanto per la loro manipolazione sono stati normalizzati perdendo tale informazione.

### Procedura di analisi dei 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 [31][32][33][34]. Gli anni analizzati sono gli stessi della ricerca radio e vanno dal 1994 al 2004.

**Tabella 2.** La tabella, per ogni anno considerato nell'analisi, evidenzia il numero di osservazioni campionate (#camp) e quelle che si riferiscono allo sciame effettivamente utilizzate nell'analisi (#util).

Anno	#camp	#util
1994	4631	11
1995	5924	187
1995	7531	153
1996	9162	6
1997	12141	59
1998	22137	26
1999	12328	84
2001	20244	76
2002	13380	36
2003	3246	65
2004	10994	62
Totale	121718	88

Come per i dati radio in cui è stato analizzato il periodo intorno al massimo dello sciame, anche per i dati visuali sono stati osservati il giorno del massimo, quello antecedente e quello successivo, 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.

Per conoscere l'attività di uno sciame nella banda visuale sembrerebbe sufficiente contare il numero di meteore a intervalli orari determinati. Tuttavia, questo non è sufficiente per una valutazione quantitativa dell'attività di un determinato sciame. Infatti, il numero di meteore osservato sarà influenzato da diversi fattori, come la distanza del radiante dallo zenit, la magnitudine limite, la presenza di ostacoli nel campo visivo. Per poter confrontare dati provenienti da diversi osservatori, o da osservazioni compiute in condizioni di cielo differenti, è necessario introdurre una grandezza che viene chiamata ZHR. Lo ZHR rappresenta il numero di meteore appartenenti ad uno sciame osservate in condizioni standard, cioè con una magnitudine stellare visuale 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 [35][36][37]:

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

dove N rappresenta il numero di meteore di sciame conteggiate nel tempo efficace  $T_{eff}$ ,  $r$  e  $\gamma$  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 [32][38][39][40]. La codifica adottata considera il valore di  $\gamma$  pari a 1, perché l'introduzione di tale parametro è ancora oggetto di discussione e di verifica [41]. 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 [42]. 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.

Calcolato il valore dello ZHR è necessario stabilire l'attendibilità dello stesso attraverso la sua incertezza. Quest'ultima dipende a sua volta dall'entità degli scostamenti dalle condizioni standard e può essere calcolata con la seguente formula [35][39]:

$$\sigma_{ZHR} = \frac{ZHR}{\sqrt{N_{tot}}}$$

dove  $N_{tot}$  rappresenta il numero totale di meteore osservate, comprese quelle non appartenenti allo sciame.

### I dati radio

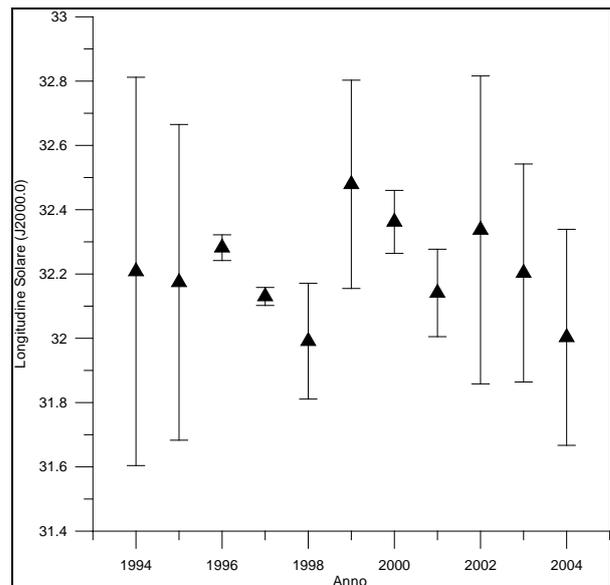
Come già accennato, i dati radio sono stati reperiti dall'archivio del RMOB. Tali dati si riferiscono al periodo che va dal 1994 al 2004.

**Tabella 3.** La tabella, per ogni anno considerato nell'analisi, evidenzia la longitudine solare del massimo di attività  $\lambda_o$  con relativo errore  $\sigma_{\lambda_o}$ .

Anno	$\lambda_o$ (°)	$\sigma_{\lambda_o}$ (°)
1994	32.2	0.6
1995	32.2	0.4
1995	32.28	0.04
1996	32.13	0.03
1997	32.0	0.2
1998	32.4	0.3
1999	32.36	0.09
2001	32.1	0.1
2002	32.3	0.4
2003	32.2	0.3
2004	32.0	0.3
Media	32.2	0.2

Ogni anno il massimo di attività si è ripetuto con una periodicità attesa. Il massimo infatti non si è discostato di più di 0.2°, cioè circa due ore, indice di una certa stabilità della morfologia dello sciame.

Come si osserva dalla tabella vi sono degli errori alquanto rilevanti in alcuni anni. Tale caratteristica ha una duplice spiegazione. Mentre per i primi set si avevano a disposizione pochi dati osservativi e dunque l'errore era causato principalmente dalla scarsità di valori (1994 e 1995), soprattutto con gli ultimi si hanno invece molti dati, ma con una distribuzione temporale alquanto estesa e questo si è ripercosso sul calcolo dell'errore basato sullo scarto quadratico medio.



**Figura 2.** L'immagine mostra la posizione in longitudine solare del massimo di attività dello sciame con relativo errore in funzione dell'anno utilizzando come fonte i dati radio.

È necessario sottolineare due aspetti della ricerca ottenuta con questo metodo: innanzitutto l'impossibilità di definire un tasso orario a causa delle diverse tipologie di frequenze utilizzate, in secondo luogo la possibilità di evidenziare eventuali strutture filamentari dello sciame. Questo secondo aspetto potrebbe essere sicuramente messo in luce attraverso una diversa analisi del fenomeno, fermi restando i dati di partenza.

Nell'analisi è stata evidenziata una caratteristica affascinante e non riscontrata nella letteratura: la presenza di un doppio picco. Gli anni interessati sono 1998, 2003 e 2004. Non è raro che alcuni sciame presentino più picchi, ma in generale non si era mai osservato un tale fenomeno per lo sciame delle Liridi. Tuttavia questa affermazione necessita ovviamente di ulteriori studi e approfondimenti.

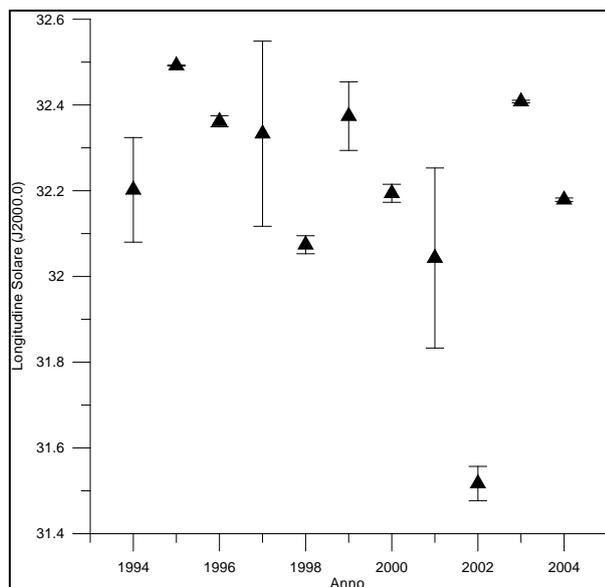
### I dati visuali

Come i dati radio anche quelli visuali sono stati reperiti in rete, ma dal sito dell'IMO. Tali dati si riferiscono al periodo che va dal 1994 al 2004.

**Tabella 4.** La tabella, per ogni anno considerato nell'analisi, evidenzia la longitudine solare del massimo di attività  $\lambda_o$  con relativo errore  $\sigma_{\lambda_o}$ , lo ZHR durante il massimo di attività con relativo errore  $\sigma_{ZHR}$ .

Anno	$\lambda_o$ (°)	$\sigma_{\lambda_o}$ (°)	ZHR	$\sigma_{ZHR}$
1994	32,2	0,1	21	3
1995	32,492	0,001	20	2
1996	32,36	0,01	40	4
1997	32,3	0,2	22	2
1998	32,07	0,02	23	2
1999	32,37	0,08	40	4
2000	32,19	0,02	21	3
2001	32,1	0,2	38	4
2002	31,52	0,04	30	6
2003	32,408	0,003	44	7
2004	32,179	0,004	26	3
Media	32.2	0.1	25	3

Anche nel caso dei dati visuali si osserva come il massimo di attività si sia verificato pressoché nella stessa posizione ogni anno. A tale affermazione però si scontra coi dati del 2002, infatti in tale occasione il massimo di attività sembra presentarsi anticipato di molto. La spiegazione di tale fenomeno è alquanto semplice: i dati a disposizione per questo set coprivano minimamente il periodo di massima attività previsto e questo ha influito pesantemente sui valori ottenuti che sono inevitabilmente affetti da un maggior errore.

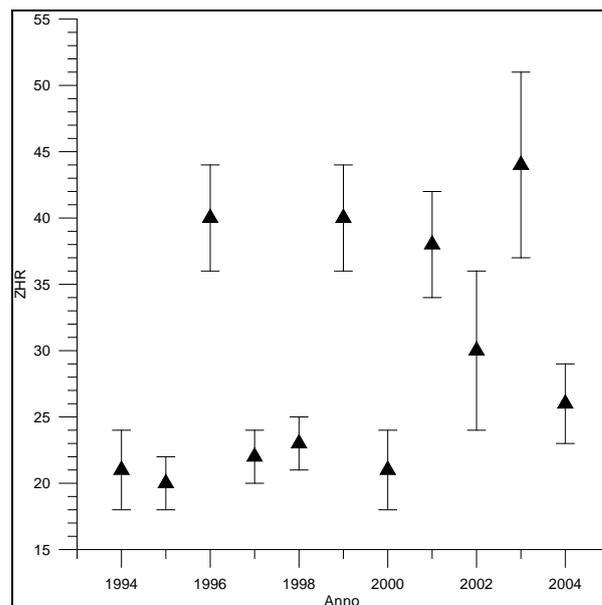


**Figura 3.** L'immagine mostra la posizione in longitudine solare del massimo di attività dello sciame con relativo errore in funzione dell'anno utilizzando come fonte i dati visuali.

Il fatto che gli errori siano in alcuni casi molto piccoli deriva dal fatto che tale sciame in alcuni anni particolari è stato oggetto di intense campagne osservative da parte dell'IMO. È altresì opportuno sottolineare nuovamente che, benché nell'analisi si tenga conto dell'interferenza lunare, è alquanto difficile compiere un'adeguata campagna osservativa in cui vi è un considerevole inquinamento luminoso da parte della Luna.

In tale analisi è stato ricercato il valore dello ZHR durante il massimo di attività. Negli anni considerati tale valore è variato anche repentinamente ponendosi tra il 20 ed il 40, tuttavia senza esibire fenomeni di outburst. Valori così diversi tuttavia non sorprendono in quanto l'attività di uno sciame dipende molto anche dalla dinamica di interazione tra la Terra e la nube di pulviscolo. Tuttavia è da rilevare come l'attività media si sia accresciuta col passare del tempo.

Per trovare analogie con la letteratura è stato altresì calcolato il valore medio dello ZHR per lo sciame. I dati hanno esibito un valore medio a  $13 \pm 1$ . Tale valore è simile a quello che generalmente viene attribuito a tale sciame dall'IMO pari a 15.



**Figura 4.** L'immagine mostra l'andamento dello ZHR durante il massimo di attività in funzione dell'anno con relativo errore.

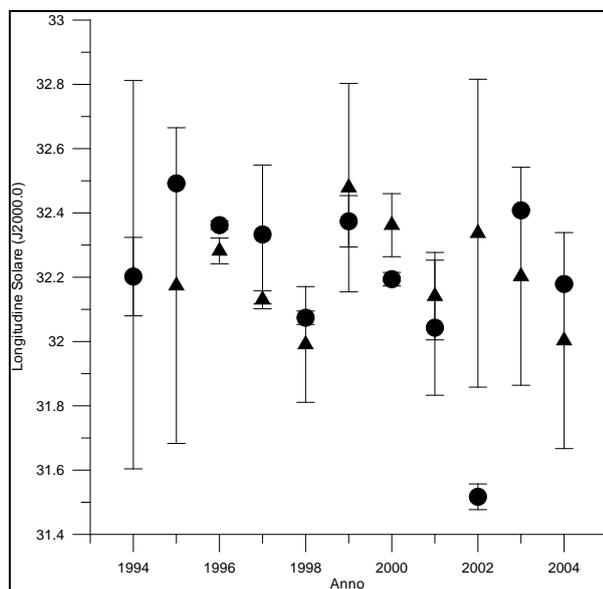
Anche i dati visuali hanno esibito la presenza di un doppio picco, ma a differenza di quelli radio questi si sono manifestati nel 1995, 2001 e 2002. Non è semplice determinare la causa di queste anomalie. Sicuramente non sono imputabili ad una carenza di dati, fatta eccezione per il 2002, con ogni probabilità questo potrebbe essere un indice, da comprovare, di una possibile struttura filamentare.

### Conclusioni

Andando a confrontare i risultati ottenuti con le varie tecniche e con precedenti ricerche si osserva una sostanziale analogia. Infatti la posizione del massimo di attività con tecniche radio è risultato essere pari a  $\lambda_0 = 32.2^\circ \pm 0.2^\circ$ , mentre con quelle visuali  $\lambda_0 = 32.2^\circ \pm 0.1^\circ$ . Questo aspetto non era certamente prevedibile ad inizio analisi, anche se auspicabile. È stato dimostrato che non vi è quasi mai un'esatta corrispondenza tra le posizioni ricavate con tecniche radar e quelle con tecniche visuali. Ciò è dovuto probabilmente alla differenza del range di massa osservato con i due diversi metodi. Ciò nonostante, in questo caso sembra esserci la conferma che il massimo di attività dello sciame è composto da particelle prevalentemente più massive della media.

I dati sono stati confrontati con una precedente ricerca effettuata utilizzando i dati del radar meteorico bistatico BLM del CNR di Bologna (i dettagli di tale analisi si possono trovare nel sito internet dell'autore). È da sottolineare che tale analisi era finalizzata allo studio dettagliato dello sciame nel periodo 1996 – 2001. La posizione media ottenuta dai dati radar è risultata essere pari a  $\lambda_0 = 32.26^\circ \pm 0.02^\circ$ . Attraverso lo studio dei risultati visuali, in tale occasione, si è trovato un valore di longitudine solare di  $\lambda_0 = 32.21^\circ \pm 0.01^\circ$ , valore leggermente diverso da quello radar. I valori ottenuti si differenziano da quello tabulato dall'IMO, pari a  $\lambda_0 = 32.1^\circ$ . Tale differenza può essere facilmente

spiegata con il fatto che l'IMO identifica genericamente il giorno del massimo, il 22 aprile, senza specificare con maggior precisione il periodo di più intensa attività dello sciame meteorico.



**Figura 5.** L'immagine mostra la posizione in longitudine solare del massimo di attività dello sciame con relativo errore in funzione dell'anno. I triangoli rappresentano i dati radio mentre i pallini quelli visuali.

Andando a ricercare nella più recente bibliografia si trovano degli ostacoli o per l'impossibilità di reperire i testi oppure per l'assenza di risultati. La fonte migliore di confronto è senza dubbio l'IMO. Sul suo sito si possono trovare molte analisi. Quello che si scopre è che i valori ottenuti in questa analisi sono confrontabili con quelli ricavati da altri osservatori e da fonti non ufficiali.

Entrambe le ricerche hanno evidenziato la possibilità di eventuali doppi picchi. Sfortunatamente tale caratteristica è stata riscontrata per le due tecniche in anni diversi. Questo non può permettere di affermare che lo sciame ha una struttura filamentare e nemmeno che sia uno sciame antico, può solo evidenziare come le Liridi presentino una complessità che non è stata ancora sufficientemente analizzata.

### Ringraziamenti

Mi sembra doveroso ringraziare tutti quegli osservatori che con la loro passione forniscono questa quantità di dati a chi come me si occupa principalmente di analisi. Inoltre vorrei ringraziare l'International Meteor Organization e il gruppo del Radio Meteor Observation Bulletins che mettono a disposizione liberamente i loro dati.

### Bibliografia

- [1] Olivier C.P., *Meteors*, The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1925
- [2] Herrick E.C., *American Journal of Science*, **35**, 362-363 (1839)
- [3] Denning W.F., *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, **53**, 203-292 (1899)
- [4] Weiss E., *Astronomische Nachrichten*, **68**, 382 (1867)
- [5] Galle J.G., *Astronomische Nachrichten*, **69**, 33 (1867)
- [6] Denning W.F., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **76**, 219-239 (1923)
- [7] Sekanina Z., *Icarus*, **13**, 475-493 (1970)
- [8] Denning W.F., *Observatory*, **20**, 174-175, (1897)
- [9] Denning W.F., *Observatory*, **7**, 217 (1884)
- [10] Hindley K.B., *Journal of the British Astronomical Association*, **79**, 477-480 (1969)
- [11] Olivier C.P., *Flower Observatory Reprint*, **67**, 22 (1947)
- [12] Marsden B.G., *IAU Circular*, **3691** (28 aprile), (1982)
- [13] Whipple F.L., *Astronomical Journal*, **59**, 201-217 (1954)
- [14] Lindbard B.A., *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, **12**, 14-24 (1971)
- [15] Marsden B.G., *Catalog of Cometary Orbits*, Enslow Publisher, New Jersey, 1983
- [16] Kronk G.W., *Meteor Showers a descriptive catalogue*, Enslow Publishers, Inc., Hillside, 1988
- [17] *Meteor News*, **21**, 3 (1974)
- [18] Veltman R., *Radiant*, **7**, 79-81 (1985)
- [19] Fisher B., *Meteor News*, **21**, 2-3 (1974)
- [20] Oppolzer T., *Astronomische Nachrichten*, **62**, 177 (1864)
- [21] Marsden B.G., *Catalogue of Cometary Orbits*, IAU Minor Planet Center, 1982
- [22] Arter T.R., Williams I.P., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **277**, 1087-1096 (1995)
- [23] Arter T.R., Williams I.P., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **286**, 163-172 (1997)
- [24] Dormand J.R., Prince P.J., *Celestial Mechanic*, **18**, 223 (1878)
- [25] West R.M., Jorgensen H.E., *Astronomy & Astrophysics*, **218**, 307 (1989)
- [26] Arter T.R., Williams I.P., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **329**, 175-180 (2002)
- [27] Jacchia L.G., Whipple F.L., *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, **4**, 97-129 (1961)
- [28] Cepelcha Z., Jezkova M., Novak M., Rajchl J., Sehnal L., *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, **15**, 144-155 (1964)
- [29] Lindblad B.A., Porubcan V., *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, **42**, 354-359 (1991)
- [30] Arter T.R., Williams I.P., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **289**, 721-728 (1997)
- [31] Kresak L., *Astronomy & Astrophysics*, **279**, 646-660 (1993)
- [32] Bellot Rubio L., *Astronomy & Astrophysics*, **301**, 602-608 (1995)

- [33] Rendtel J., Brown P., Molau S, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **279**, 31-36 (1996)
- [34] Brown P., Rendtel J, *Icarus*, **124**, 414-428 (1996)
- [35] Jenniskens P., *Astronomy & Astrophysics*, **287**, 990-1013 (1994)
- [36] Jenniskens P., *Astronomy & Astrophysics*, **295**, 206-235 (1995)
- [37] Jenniskens P., *Meteoritics & Planetary Science*, **31**, 177-184 (1996)
- [38] Korschack R., Rendtel J., *WGN: the Journal of the IMO*, **18:2**, 44-58 (1990)
- [39] Korschack R., Rendtel J., *WGN: the Journal of the IMO*, **18:4**, 119-140 (1990)
- [40] North American Meteor Network, *Meteor showers and their observation: a North American Meteor Network Guide*, 2001
- [41] Zvolankova J., *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, **34**, 122-128 (1983)
- [42] Kresakova M., *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, **3**, 75-109 (1966)