

GLI SCIAMI METEORICI DI ORIGINE COMETARIA

Studio ed Analisi delle Perseidi



Liceo cantonale di Bellinzona

Autore:
Nicola Ferrari

Relatore:
Professor Stefano Sposetti

Bellinzona, 17 dicembre 2013

Copertina:

Foto: *Raining Perseids* di Fred Bruenjes

Documento:

Testo: redatto con L^AT_EX

Ringraziamenti

Voglio ringraziare il Professor Stefano Sposetti per la fiducia espressa nei miei confronti e per la possibilità offertami accentandomi sotto la sua competente guida. Ringrazio anche mio cugino Didier per la pazienza mostratami nell'insegnarmi l'uso di \LaTeX . Un grande "grazie" anche a compagni e amici che hanno condiviso con me la difficoltosa stesura del LaM. Un grazie infine ai miei genitori che mi permettono di studiare e mi hanno sostenuto nel redigere il lavoro di maturità.

Gli Sciami Meteorici di Origine Cometaria

STUDIO E ANALISI DELLE PERSEIDI

Sommario

Le Perseidi è uno degli sciami più conosciuti e che da sempre affascina l'intero mondo con la sua spettacolare pioggia di meteore. Il mio lavoro di maturità è un viaggio nel mondo delle meteore, che parte da un'introduzione teorica, passando per una breve descrizione storica del loro studio. Affronta inoltre una descrizione degli sciami meteorici, descrivendo le peculiarità delle Perseidi, arrivando fino all'esposizione dei risultati ottenuti. I risultati comprendono:

- ricostruzioni del percorso nella volta celeste delle meteore, che permettono di osservare concretamente la provenienza delle Perseidi da un punto in comune;
- una serie di tabelle contenenti i dettagli riguardanti, tra l'altro, la posizione del radiante, i parametri orbitali, la velocità, delle meteore osservate;
- diversi grafici e istogrammi che permettono di fare un'analisi della struttura dello sciame.

Sono questi tra i più splendidi e rari fenomeni del cielo, fra i più capaci di fissare la pubblica attenzione. [...] le stelle cadenti sono un fenomeno di natura astronomica, e non appartengono alle meteore atmosferiche, come per lungo tempo si è creduto [...] il ritorno delle stelle cadenti è di una regolarità astronomica [...] e le gocce di questa pioggia celeste cadono sulla Terra tutte nella medesima direzione, e secondo linee parallele [...] le comete e le correnti meteoriche sono fra loro associate [...] le stelle cadenti sono corpi solidi.

Giovanni Virginio Schiapperelli (1835 - 1910), "Le più belle pagine di astronomia popolare", Cisalpino-Goliardica, Milano, 1976.

Indice

1	Introduzione al LaM	1
2	Introduzione alle meteore	3
2.1	La dinamica	4
2.2	I corpi interplanetari	5
2.3	Le tipologie di meteoroidi e meteoriti	5
2.4	Alcuni ritrovamenti sensazionali	6
3	Studio delle meteore	7
3.1	Studi storici	7
3.2	Gli ambiti di studio	7
3.3	Il mio ambito di studio	7
4	Gli sciami meteorici	9
4.1	Gli sciami di origine cometaria	10
4.2	Gli sciami di origine asteroidale	12
4.3	La ricerca	13
5	Le Perseidi	15
5.1	Visibilità	16
5.2	La storia	18
5.3	Swift-Tuttle	21
6	Osservazioni	23
6.1	Le mie osservazioni	24
7	Software	25
7.1	SonotaCo	25
7.1.1	UFOCapture	25
7.1.2	UFOAnalyzer	25
7.1.3	UFOOrbit	26
7.2	Introduzione all'utilizzo di UFOAnalyzer.	26
7.2.1	Creazione di un profilo	26
7.2.2	Elaborazione della maschera del profilo	26
7.2.3	Analizzare i file video	27

8	Risultati	29
8.1	Provenienza dei dati utilizzati	29
8.1.1	EDMOND	30
8.1.2	SonotaCo Network database	31
8.2	Mappa della traiettoria delle meteore	32
8.3	Tabelle	34
8.4	Grafici	34
8.5	Rappresentazione del radiante	41
9	Interpretazione dei risultati	45
9.1	Interpretazione delle mappe delle traiettorie delle meteore	45
9.2	Interpretazione dei grafici	45
9.2.1	Eccentricità	45
9.2.2	Semiassse maggiore	47
9.2.3	Inclinazione	48
9.2.4	Longitudine del nodo ascendente	48
9.2.5	Argomento del Perielio	48
9.3	Interpretazione del Radiante	48
10	Conclusioni	49
10.1	Conclusioni inerenti allo studio delle Perseidi	49
10.2	Conclusioni generali	53
A	Informazioni tecniche	57
A.1	Il radiante	57
A.2	La longitudine solare	57
A.3	I parametri orbitali kepleriani	58
A.4	Informazioni riguardanti i dati forniti dai software	59
B	Allegato digitale: CD	61
B.1	Documento PDF	61
B.2	Tabelle	61
B.2.1	Gnosca	61
B.2.2	EDMOND	61
B.3	SonotaCo Network database	61
	Fonti	63

Elenco delle figure

2.1	Dinamica delle meteore	4
2.2	Tipologie di meteoriti	5
2.3	Hoba West	6
4.1	Pioggia di Perseidi del 2012	10
4.2	Origine degli sciame meteorici	12
4.3	Mappa del cielo rappresentante tutte le meteore osservate nel 2008 in Giappone	14
4.4	Mappa del cielo rappresentante tutte le meteore di sciame osservate nel 2008 in Giappone	14
5.1	Tasso zenitale orario delle Perseidi dal 2010 al 2013	17
6.1	Meteor scattering	23
6.2	Osservazioni in Croazia	24
8.1	Stazioni attive dell'EDMOND	30
8.2	Stazioni attive della SonotaCo	31
8.3	Mappa della traiettoria delle Perseidi osservate da Gnosca nel 2012	32
8.4	Mappa della traiettoria delle Perseidi osservate da Gnosca nel 2013	33
9.1	Schema di due sciame meteorici ideali con eccentricità identica	47
10.1	Sezione dello sciame delle Perseidi	50
10.2	Visione laterale dello sciame delle Perseidi	51
10.3	Proiezione sul piano dell'eclittica, delle orbite delle particelle dello sciame delle Perseidi	52
A.1	Longitudine solare	57
A.2	Parametri orbitali kepleriani	59

Elenco delle tabelle

4.1	Alcuni sciami meteorici di origine cometaria	12
4.2	Alcuni sciami meteorici di origine asteroidale	13
5.1	Sommario delle caratteristiche delle Perseidi	15
5.2	Tasso zenitale orario delle Peresidi osservate nel mondo dal 36 al 1988	20
5.3	Sommario delle caratteristiche della 109P/Swift-Tuttle	21
A.1	Informazioni tecniche riguardanti UFOAnalyzer	59
A.2	Informazioni tecniche riguardanti UFOOrbit	60

Elenco dei grafici

8.1	Distribuzione delle frequenze relative in funzione dell'eccentricità dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	34
8.2	Distribuzione delle frequenze relative in funzione del semiasse maggiore dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	35
8.3	Distribuzione delle frequenze relative in funzione dell'inclinazione dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	35
8.4	Distribuzione delle frequenze relative in funzione della longitudine del nodo ascendente dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	36
8.5	Distribuzione delle frequenze relative in funzione dell'argomento del perielio dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	36
8.6	Eccentricità in funzione della velocità eliocentrica delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	37
8.7	Semiasse maggiore in funzione dell'eccentricità delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.	38
8.8	Eccentricità in funzione della velocità di alcuni sciami meteorici simultaneamente osservati nel 2012 in Europa.	39
8.9	Inclinazione in funzione della velocità delle Perseidi simultaneamente osservate nel 2012 in Europa e Giappone.	40
8.10	Radiante delle meteore simultaneamente registrate in Europa (A) dal 2010 al 2013.	41
8.11	Radiante delle meteore simultaneamente registrate in Europa (B) dal 2010 al 2013.	42
8.12	Radiante delle meteore simultaneamente registrate in Giappone dal 2010 al 2013.	43

1 | Introduzione al LaM

La scelta di intraprendere una ricerca sulle meteore è stata costruita su varie riflessioni. Inizialmente avevo idee poco mirate, principalmente legate alla fotografia astronomica, che mi affascina. Avevo intenzione di scattare fotografie ai cieli stellati, con lo scopo di catturare stelle cadenti; non era un vero e proprio studio. Dopo aver esposto le mie idee al Professor Sposetti, egli mi ha proposto un lavoro che comprende una componente sia pratica che teorica. Il suo suggerimento è stato quello di intraprendere uno studio sulle meteore provenienti da sciame meteorici, come ad esempio le Perseidi. Questo tipo di ricerca è molto apprezzato tra gli astrofili e astronomi. Anche nella vicina penisola vi sono diversi studiosi e appassionati che hanno intrapreso questo studio. L'idea di studiare le meteore, oggetti luminosi, a mio parere affascinanti, mi ha convinto. All'inizio ho avuto difficoltà nella ricerca a causa della problematicità riscontrata nel procurarmi delle immagini. I tentativi che ho eseguito sono falliti miseramente. Nonostante la mancanza di mie immagini ho potuto proseguire la ricerca grazie al Professor Sposetti e alla sua disponibilità nel fornirmi moltissime immagini da analizzare, catturate dalla sua videocamera fissa a Gnosca. Una seconda difficoltà l'ho incontrata nell'utilizzo dei software necessari a svolgere le analisi delle meteore. Questi software, molto efficaci, hanno il difetto di essere molto complicati e poco intuitivi, ma sempre con l'aiuto del Professore sono riusciti a venire a capo anche a questo ostacolo.

L'obiettivo del mio studio è quello di analizzare la provenienza di alcune meteore e classificarle secondo la loro provenienza. In seguito, ho focalizzato la mia attenzione sulle Perseidi cercando di capire la struttura del loro sciame e le loro peculiarità. Grazie ai software utilizzati il tutto è stato molto più semplice. Visto l'esiguo numero dei dati disponibili per la ricostruzione delle orbite, ho recuperato maggiori informazioni da due "database" liberamente disponibili (uno europeo e uno giapponese). Da questi ultimi si possono attingere informazioni per scopi scientifici. Grazie a questi strumenti mi è stato possibile ricostruire e analizzare lo sciame delle Perseidi.

2 | Introduzione alle meteore

Le meteore, note anche con il nome popolare di stelle cadenti, sono scie luminose rettilinee che appaiono in cielo in seguito all’impatto di meteoroidi con l’atmosfera [11]. La meteora, è un fenomeno di luce che per la maggior parte dei casi concerne piccole particelle dell’ordine di grandezza di un granello di sabbia. Queste particelle vengono chiamate come detto meteoroidi [15]. Ogni giorno si registrano all’incirca un milione di meteore visibili. Il termine “meteora” dovrebbe indicare esclusivamente i fenomeni luminosi e di ionizzazione, tuttavia l’uso attuale del termine si estende anche al corpo stesso.

Il meccanismo degli impatti ha avuto e ha ancora un ruolo fondamentale nell’evoluzione del sistema solare. Questo fenomeno ha interessato la Terra soprattutto negli anni seguenti la formazione del sistema solare, quando il numero degli oggetti interplanetari in movimento caotico attorno al Sole era maggiore. Allora, il nostro pianeta non presentava ancora un efficiente scudo contro questi impatti, poiché l’atmosfera non era ancora completamente formata.

Ai nostri giorni, le probabilità di impatto sono enormemente diminuite grazie alla diminuzione dei corpi vaganti. Inoltre, la Terra ha un’atmosfera completamente sviluppata che garantisce un efficace scudo. La maggior parte delle cicatrici presenti sulla Terra, dovute all’impatto di grossi corpi interplanetari, sono ormai state cancellate dai fenomeni di erosione e tettonici che modificano in continuazione la crosta terrestre. L’attuale mancanza di impatti di imponenti dimensioni non sta a significare che la Terra sia immune all’impatto con gli oggetti interplanetari. Anzi, la Terra nel disegnare la sua orbita attorno al Sole entra in continuazione in collisione con corpi interplanetari che, per la stragrande maggioranza, vengono frenati, e per la maggior parte disintegrati nell’attraversare gli strati atmosferici. Ogni anno centinaia di migliaia di tonnellate di oggetti interplanetari impattano contro la nostra atmosfera. Questi oggetti vengono definiti meteoroidi. La IAUNC (International Astronomical Union Nomenclature Committee) ha proposto nel 1961 un’universale definizione di meteoroidi: *un meteoroidi è un corpo solido in moto nel sistema interplanetario di dimensioni più piccole di un asteroide ma considerevolmente maggiori di un atomo, la cui massa può essere compresa tra un microgrammo e diverse migliaia di tonnellate.* L’insieme di tutti i meteoroidi che impattano con l’atmosfera dà origine all’affascinante fenomeno meteorico.

Vengono chiamati meteoriti, i meteoroidi che possiedono una massa dell’ordine di grandezza maggiore di 30 kg, che nell’impatto con l’atmosfera perdono esclusivamente la parte superficiale del corpo. Questo corpo impattando l’atmosfera raggiunge la velocità di caduta libera pari a 150 km/h, sino all’impatto con il suolo terrestre. Le meteoriti prendono il nome del luogo in cui cadono [16] [17].

Una meteora molto brillante viene definita bolide. L'International Meteor Organization (IMO) definisce bolide: una meteora con magnitudine apparente di -3 o minore. Mentre la British Astronomical Association utilizza invece una definizione più severa, che parte da una magnitudine apparente di -5 . Un bolide, se di dimensioni considerevoli, può esplodere, originando fenomeni acustici percepibili dall'osservatore e da strumenti sismici posti nelle vicinanze del punto di esplosione.

2.1 La dinamica

I meteoroidi impattano l'atmosfera a una velocità compresa tra gli $11,2$ e i $72,8$ km/s , subendo una notevole forza d'attrito, dovuta all'atmosfera terrestre che ne riscalda la superficie. Gli urti del meteoroido con le molecole di gas presenti nell'atmosfera causano la liberazione di energia termica, ciò che implica un aumento della temperatura del corpo e dei gas che immediatamente lo circondano. A un'altezza compresa tra gli 80 e 90 km , esso raggiunge i 2500 K . A questa temperatura gli atomi del meteoroido ionizzano e iniziano a sublimare. Proseguendo la sua caduta, il meteoroido inizia progressivamente a perdere massa (ablazione) lasciando dietro di sé una scia di materia fusa (plasma) e gas incandescenti (vedi **Figura 2.1**). Le radiazioni visibili emesse sono il risultato per il 90 % del processo di ablazione e il restante 10 % è frutto della ricombinazione elettronica dei gas eccitati, secondo un meccanismo analogo a quello dei tubi al neon. Come scritto in precedenza, il meteoroido che non si dissolve completamente rallenta fino a raggiungere una velocità di caduta libera di 150 km/h , diventando un meteorite che impatterà sulla superficie terrestre con la possibilità di produrre un cratere meteoritico.

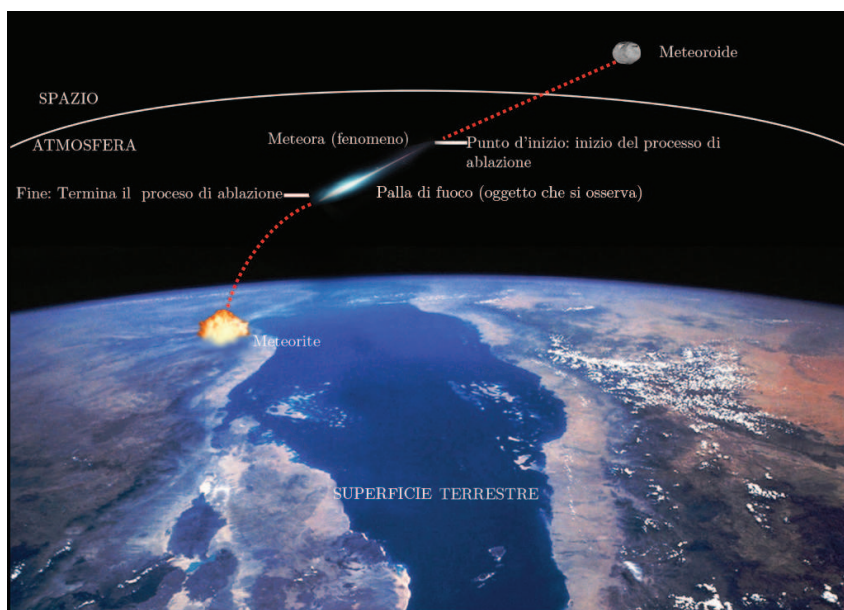


Figura 2.1: Dinamica delle meteore. (Elaborazione personale.)

2.2 I corpi interplanetari

I meteoroidi hanno origine dal processo di disgregazione di altri corpi di maggiori dimensioni. Nella maggioranza dei casi, i corpi che collidono con la Terra hanno un'origine cometaria, asteroidale o interstellare. Le prime due, interne al sistema solare hanno il corpo progenitore è più frequentemente di tipo cometario piuttosto che asteroidale. Altre origini si possono attribuire a materia espulsa dalle superfici di pianeti per effetto di collisioni con asteroidi, oppure rifiuti spaziali derivanti dall'esplorazione umana dello spazio cosmico (pezzi di razzi, satelliti fuori controllo, detriti dovuti a collisioni con strutture umane, ecc.). Per quanto riguarda i corpi interstellari, non si sa da dove provengono, probabilmente vagano nello spazio interstellare dopo essere fuggiti dalla gravità della loro stella.

2.3 Le tipologie di meteoroidi e meteoriti

Le meteoriti ritrovate sulla Terra si suddividono principalmente in tre tipi [8] [3].

- Rocciose (vedi **Figura 2.2 a**), il 93,3 % del totale. Esse si suddividono a loro volta in condriti (86 %), che hanno la stessa composizione chimica dei planetesimi, i corpi freddi che si formarono nel sistema solare primordiale, e acondriti (7,3 %) che sono composti da materiale simile al basalto.
- Ferrose (vedi **Figura 2.2 b**), che costituiscono il 5,4 % delle meteore cadute e sono composte principalmente da una lega ferro-nichel (5-10 % di nichel) e piccole quantità di minerali.
- Ferrose-rocciose (vedi **Figura 2.2 c**), le più rare, che sono un misto di roccia e ferro-nichel, composizione simile a quella dei pianeti rocciosi.

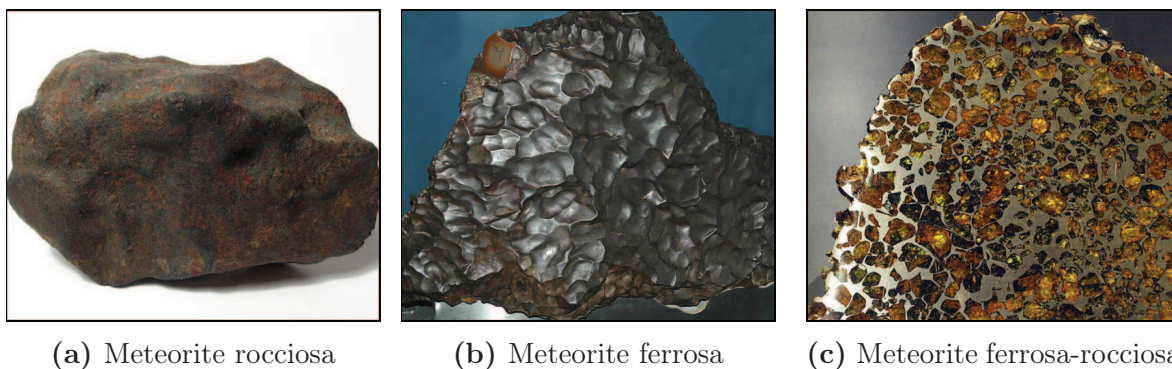


Figura 2.2: Tipologie di meteoriti. (Fonte: *wikipedia.org*, novembre 2013.)

2.4 Alcuni ritrovamenti sensazionali

La ricerca di meteoriti ha sempre suscitato grande interesse. Esse hanno innanzitutto un grande valore economico e scientifico, inoltre il mistero che le avvolge e la loro provenienza rende ogni loro ritrovamento qualcosa di affascinante. Vi sono stati alcuni ritrovamenti che sono sensazionali. Nel 1969 un bolide ha attraversato i cieli del Messico, esplodendo ha disseminato almeno due tonnellate di frammenti rocciosi su un'area di 150 km^2 . Allende, così denominato, è una meteorite primitiva, molto rara.

Nakhla, una meteorite rocciosa caduta il 28 giugno del 1911 nei dintorni di Alessandria, era parte di un gruppo di circa 40 pietre per un totale di 40 kg . È una roccia vulcanica simile a lava formata 1200 milioni di anni fa. Gli fu attribuita l'origine di Marte, è una delle 16 meteoriti eiettate dalla superficie del pianeta rosso e cadute sulla Terra dopo milioni di anni. Due meteoriti ferrose di 11 e 5 tonnellate furono ritrovate a Nullarbor Plain in Australia e furono nominate Mundrabilla. La meteorite originaria impiegò milioni di anni a solidificare. La medesima offre una rara occasione di analizzare leghe metalliche formatesi in assenza di gravità.

Il ritrovamento più sensazionale fu quello di Hoba West del 1920. La più grande meteorite mai ritrovata sulla Terra, misura $2,7 \text{ per } 2,7 \text{ per } 0,9 \text{ metri}$ e ha un peso di 66 tonnellate (vedi **Figura 2.3**). È costituito per l'84% da ferro e per il restante 16% da nichel. Se la meteorite originaria fosse stata più grande o la traiettoria d'impatto più inclinata, sarebbe andata distrutta formando un cratere.



Figura 2.3: Hoba West. (Fonte: *encyclopedia-of-meteorites.com*, novembre 2013.)

3 | Studio delle meteore

3.1 Studi storici

In Corea, negli anni '90 del '900, alcuni studiosi hanno rispolverato alcuni antichi archivi astronomici, nei quali sono contenuti libri che contengono le informazioni di tutte le meteore osservate. Questo studio delle meteore è stato particolarmente intenso durante la dinastia dei Koryo, che governò la Corea dal 918 al 1392. Durante questa dinastia, infatti, furono fondati gli osservatori reali, nei quali vi era la costante presenza di astronomi che osservavano in continuazione i fenomeni astronomici. Grazie a ciò fu possibile costituire degli archivi astronomici nei quali erano contenuti anche libri riguardanti il monitoraggio delle meteore. I dati raccolti allora sono ancora molto importanti al giorno d'oggi; essi permettono agli astronomi di farsi un'idea riguardo a gli sciami presenti all'epoca e i loro cambiamenti [4].

Giovanni Schiapparelli (1835 – 1910) era un astronomo dell'osservatorio di Brera (Milano). Nel 1866 calcolò l'orbita dei meteoroidi delle Leonidi e delle Perseidi accorgendosi che erano simili, rispettivamente, alle orbite delle comete Tempel-Tuttle e Swift-Tuttle. Concluse che l'erosione dei nuclei cometari è in grado di produrre i flussi di meteoroidi.

3.2 Gli ambiti di studio

Gli studi aventi oggetto le meteore possono essere di diverso tipo. Come nel mio caso studi riguardanti determinati sciami meteorici e la loro provenienza, oppure studi riguardanti la loro evoluzione negli anni. Negli ultimi anni gli studi più gettonati riguardano la ricerca di nuovi sciami meteorici, dei quali parlerò nel **Capitolo 4.3**. Esistono anche studi di tipo storico, ad esempio, vi sono studiosi che hanno eseguito ricerche basandosi sulle informazioni fornite dagli archivi astronomici della dinastia dei Koryo di cui ho parlato prima.

3.3 Il mio ambito di studio

La varietà del mondo delle meteore mi ha portato a delineare sempre più il mio studio riguardante queste affascinanti scie luminose, fino a restringere il campo agli sciami meteorici. Vista la varietà di sciami meteorici esistenti, ho deciso di concentrare il mio studio sulle Perseidi. Grazie ai dati ottenuti, ho elaborato dei grafici e delle rappresentazioni che mi

hanno permesso di capire la struttura degli sciami meteorici, in particolare appunto delle Perseidi.

4 | Gli sciame meteorici

Le meteore si dividono in due gruppi fondamentali: le “meteore di sciame” e quelle “sporadiche”. David Hughes¹ scoprì che, apparentemente, le meteore sporadiche “non sono molto sporadiche”, infatti circa il 20% delle meteore registrate durante un giorno, al quale non si attribuisce uno sciame, fanno parte di sciame deboli [4].

Capita che alcune notti le meteore appaiono ad intervalli più regolari, questo fenomeno è chiamato sciame meteorico, i cui meteoroidi fanno parte di uno sciame di particelle che disegnano orbite simili. Le “meteore di sciame”, sembrano provenire da una precisa zona delle cielo stellato (vedi **Figura 4.1**), definito comunemente radiante², mentre quelle sporadiche non hanno un radiante preciso, bensì si distribuiscono casualmente su tutta la volta celeste. Uno sciame meteorico è un fenomeno che si manifesta nel cielo notturno con una pioggia di stelle cadenti che sembrano provenire dallo stesso punto. Esso si manifesta quando la terra nel percorrere la sua orbita attorno a Sole, attraversa l’orbita di una cometa, la quale rilasciando detriti ha generato uno sciame di particelle (meteoroidi)[18]. La maggior parte di questo tipo di sciame sono periodici, ovvero è possibile osservarli durante lo stesso periodo anno dopo anno.

Gli sciame sono formati dalle particelle formatesi dall’erosione dei nuclei cometari, oppure dalla disgregazione di asteroidi dovuta a impatti.

¹David W. Hughes è stato un professore di astronomia alla “University of Sheffield”, dove lavorò fino al 1965. Hughes ha fatto più di 200 pubblicazioni riguardanti asteroidi, comete, meteore e meteoroidi [14].

²Per informazioni tecniche riguardanti il radiante, vedi **Allegato A.1**



Figura 4.1: Pioggia di Perseidi del 2012. (Fonte: *Raining Perseids* di Fred Bruenjes.)

4.1 Gli sciami di origine cometaria

I nuclei delle comete, assimilabili secondo alcuni modelli a “palle di neve sporca”, sono costituiti da un insieme di ghiacci, principalmente acqua, metano, ammoniaca e diossido di carbonio. Il tutto combinato con frammenti di rocce e polveri. Quando la cometa nel disegnare la sua conica giunge nelle vicinanze del Sole (3 - 4 UA), i ghiacci cometari irradiati dal Sole sublimano liberando le componenti solide imprigionate, formando così le caratteristiche chiome e code delle comete. Il materiale imprigionato viene eruttato a basse velocità, 5 - 10 m/s , che sono insignificanti per rapporto alla velocità orbitale della cometa, ma ciò nonostante permettono a queste particelle di distribuirsi attorno all’orbita della “cometa madre”. Le particelle staccatesi dal nucleo della cometa, molto probabilmente a causa dell’irraggiamento ultravioletto, e degli ioni e elettroni trasportati con il vento solare, inizialmente si distribuiscono attorno al nucleo della cometa, formando così la chioma. In seguito la pressione dell’irraggiamento solare, le fa allontanare elegantemente nella direzione del vento solare, opposta al Sole [5] [26].

A ogni passaggio della cometa dal perielio, lo sciame ad essa associato, viene alimentato fino ad esaurimento totale del nucleo cometario, oppure fino a un possibile cambiamento di orbita della cometa dovuto ad un possibile impatto o da perturbazioni gravitazionali. Come detto in precedenza, se la terra nel suo percorso attorno al Sole interseca la conica composta dalle particelle eruttate dalla cometa, si creano le condizioni per la formazione di uno sciame meteorico (vedi **Figura 4.2**) [26].

Il rilascio delle particelle è generalmente un processo asimmetrico. La maggior parte delle particelle vengono espulse dalla parte irradiata dal Sole, piuttosto che dalla parte non irradiata, come è normale che sia. Una possibile rotazione del nucleo della cometa bisogna chiaramente prenderla in considerazione. I meteoroidi vengono espulsi con diversi angoli, generalmente nella direzione del vento solare. Bisogna far notare che le particelle che formano

lo sciame meteorico non sono state generate da un singolo passaggio al perielio. La maggior parte vengono, probabilmente, eruttati ad ogni singolo passaggio della cometa. Ciononostante è possibile che le meteore presentino dei periodi di debole attività, dovuti alla struttura del nucleo, nei quali viene emessa una massa minore della normale attività. È anche però possibile che il processo di erosione sia più intenso. I fattori che intervengono in questi casi sono: la struttura del nucleo della meteora, e una particolare attività solare. Questo spiega come alcuni sciami mostrano per parecchi anni una debole attività, e improvvisamente gli anni seguenti si manifestano vere e proprie piogge di meteoriti; ad esempio le Leonidi mostrano ogni 33 anni circa un periodo di attività particolarmente intensa [15].

Dopo essere state eruttate dalla superficie della cometa, le particelle si allontanano lentamente dall'orbita originale e si spargono nello spazio. In questi casi la velocità dei meteoroidi gioca un ruolo fondamentale. Come ho notato basandomi sui risultati ottenuti (vedi **Capitolo 8.3.1** e **Capitolo 9.8.1**), le meteore che vengono espulse nella stessa direzione della meteora, aumentano la loro velocità e si muovono in orbite più esterne di quella della cometa, mentre quelle espulse nella direzione opposta al moto della cometa, ovvero quelle che diminuiscono la loro velocità, cadono su orbite più interne. Nella dispersione delle particelle attorno all'orbita della cometa, le perturbazioni gravitazionali dovute agli altri pianeti, in particolare a Giove e Saturno, hanno un ruolo fondamentale. Le particelle, allontanandosi dal perielio si avvicinano ai pianeti che popolano il sistema solare. L'avvicinamento a questi pianeti può causare importanti cambiamenti dell'orbita. Questo fenomeno è più debole su orbite di comete a lungo periodo con una grande inclinazione, come le Perseidi. Le perturbazioni gravitazionali possono essere tanto intense da cambiare l'orbita in modo così drastico che alcuni sciami non saranno più visti in futuro. A causa di ciò le Quadrantidi non si osservavano fino a prima del 1830, per lo stesso motivo, le Geminidi non saranno più visibili tra alcuni secoli [15].

Un'altra causa della dispersione delle particelle, come già accennato, è il vento solare. Esso è una continua corrente di particelle cariche emesse dal Sole. Assorbendo e riemettendo queste radiazioni, le particelle perdono velocità, la quale causa una caduta a spirale verso il Sole. Questo fenomeno è conosciuto come *effetto Poynting-Robertson*³. Codesto effetto è più intenso sulle particelle molto piccole. Tutti questi effetti causano i cambiamenti orbitali delle particelle e sono dunque responsabili della dispersione delle particelle attorno all'orbita. La conclusione è che la massima durata, per la maggior parte degli sciami meteorici, è dell'ordine di 10'000 anni, ciò che è sorprendentemente corto [15].

³Quando la radiazione investe un meteorioide, essa è riemessa isotropicamente. Tuttavia dato che il meteorioide si muove ad una velocità non nulla rispetto al Sole, per effetto Doppler la radiazione emessa in direzione del moto è spostata verso il blu mentre quella emessa in direzione opposta al moto risulta spostata verso regioni dello spettro più rosse. Come risultato, la forza comunicata alla particella dalla radiazione spostata verso il blu, che ha momento meccanico maggiore di quella arrossata, agisce in direzione opposta alla velocità del meteorioide, frenando la particella [24].



Figura 4.2: Origine degli sciame meteorici. (Fonte: *skylive.it*, novembre 2013.)

Tabella 4.1: Alcuni sciame meteorici di origine cometaria

Sciame meteorico	Massimo di attività	Corpo progenitore
Quadrantidi	3 gennaio	Machholz
Lyridi	22 aprile	Thatcher
Eta Acuaridi	5 maggio	Halley
Beta Tauridi	30 giugno	Encke
Delta Acuaridi	29 luglio	Machholz
Alpha Capricornidi	2 agosto	1948 XII
Perseidi	12 agosto	Swift-Tuttle
Draconidi	9 ottobre	Giacobini-Zinner
Orionidi	22 Ottobre	Halley
Tauridi	3 novembre	Encke
Leonidi	17 novembre	Tempel-Tuttle
Andromedidi	29 novembre	Biela
Ursidi	23 dicembre	Tuttle

4.2 Gli sciame di origine asteroidale

Anche gli asteroidi NEA (Near Earth Asteroids), che probabilmente sono il frutto di collisioni tra asteroidi più grandi della fascia principale, tra Marte e Giove, sono una possibile sorgente di meteoroidi. La loro produzione di meteoroidi è accidentale, dovuta a collisioni tra gli stessi, con la risultante generazione di detriti e polveri, che collidendo con l'atmosfera terrestre producendo il fenomeno meteorico.

Tabella 4.2: Alcuni sciami meteorici di origine asteroidale

Sciame meteorico	Massimo di attività	Corpo progenitore
Phi Bootidi	1 maggio	1620 Gographos, 1978 CA
Arietidi	2 giugno	1566 Icarus
Tau Erculidi	3 giugno	1087 SJ3
Bootidi	27 giugno	1987 PA
Sigma Capricornidi	12 luglio	2101 Adonis
Camaleopardidi	13 agosto	1221 Amor, 3288 Seleucus
Kappa Acquaridi	20 settembre	4179 Toutatis
Chi Orionidi	1 dicembre	2201 Oljato
Geminidi	13 dicembre	3200 Phaeton

4.3 La ricerca

La ricerca di nuovi sciami meteorici è effettuata grazie alle meteore osservate nel mondo. Il Giappone, grazie alla sonotaCo, è molto attivo nella ricerca di nuovi sciami.

Le comete sono di due tipi; periodiche o non periodiche, ovvero di orbite paraboliche o iperboliche. Con il passaggio di comete periodiche si possono fare calcoli per verificare se ci sarà la possibilità che la terra intersechi l'orbita di quest'ultime dando origine ad una pioggia di meteore. Nel caso di meteore non periodiche, che non si potranno più osservare, oppure meteore con un periodo molto lungo, dunque non ancora osservate a memoria d'uomo, la ricerca di sciami procede diversamente. Si mostrano in una mappa del cielo un punto per ogni meteora osservata, ogni punto è colorato in funzione della velocità associata alla medesima. Così facendo si ottiene una mappa del cielo piena di punti di diverso colore. Laddove si forma un agglomerato di punti, con velocità simili si può ipotizzare l'esistenza di sciami meteorici. Nella **Figura 4.3**, è mostrata la mappa del cielo con rappresentate tutte le meteore registrate nel 2008. La volta celeste è praticamente cosparsa di meteore, ma in alcune zone come si può vedere, la concentrazione delle meteore è maggiore. Infatti, basta guardare la **Figura 4.4**, nella quale sono state nascoste tutte le meteore sporadiche per notare che le zone di maggior concentrazione corrispondono al radiante di sciami meteorici. Tra gli sciami ci sono, a loro volta, differenze di concentrazione, ciò è dovuto alla struttura di ogni singolo sciame. Alcuni presentano più meteoroidi come le Perseidi (J5_Per), mentre altri meno, come le Liridi (J5_Lyr).

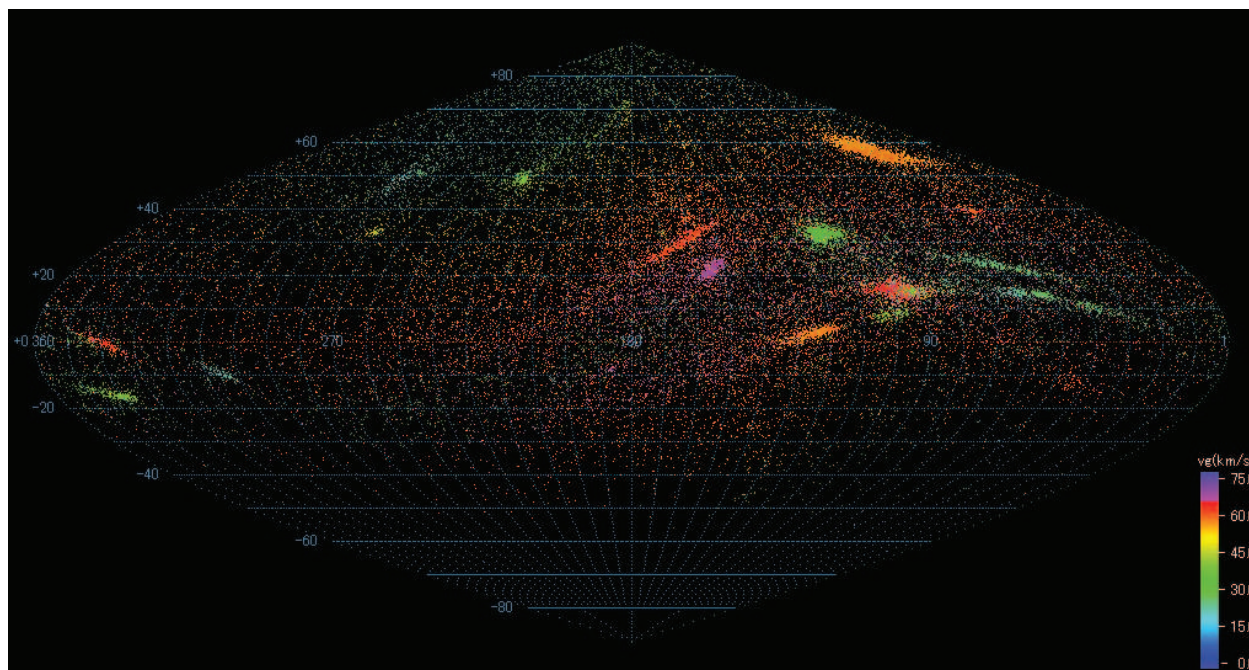


Figura 4.3: Mappa del cielo rappresentante tutte le meteore osservate nel 2008 in Giappone. (Fonte: *sonotaco.jp*, 10 dicembre 2013.)

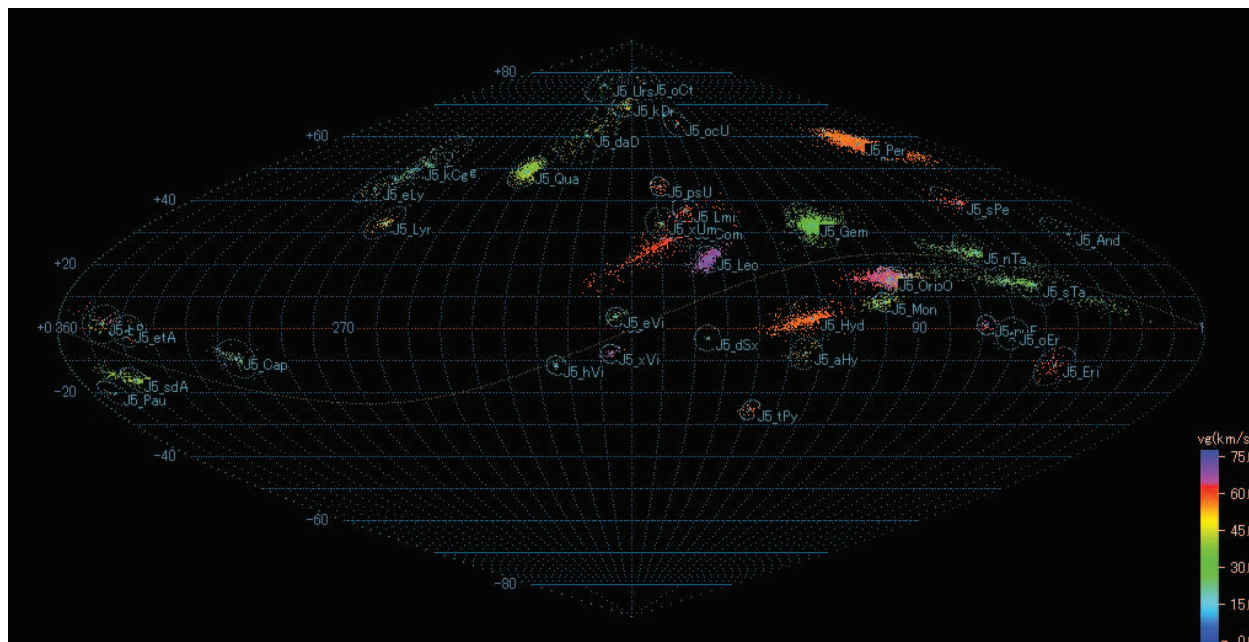


Figura 4.4: Mappa del cielo rappresentante tutte le meteore di sciame osservate nel 2008 in Giappone. (Fonte: *sonotaco.jp*, 10 dicembre 2013.)

5 | Le Perseidi

Le perseidi, conosciute come “Lacrime di San Lorenzo”, sono uno sciame meteorico che la Terra attraversa durante il periodo estivo nel procedere sulla sua orbita attorno al Sole. La pioggia meteorica si osserva da fine luglio fino a fine agosto. Il massimo lo si ha nella notte del 12 agosto, con una media di un centinaio di meteore visibili a occhio nudo all’ora. Il nome “Perseidi” è determinato dal punto nella volta celeste da dove sembrano provenire le meteore, infatti, il radiante è situato nella costellazione di “Perseo”. La **Tabella 5.1** riassume le principali caratteristiche delle Perseidi.

Tabella 5.1: Sommario delle caratteristiche delle Perseidi [15]

Radiante	$\alpha = 46.3^\circ \quad \delta = +57.7^\circ$
Spostamento del radiante (giornaliero)	$\Delta\alpha = 1.60^\circ \quad \Delta\delta = +0.2^\circ$
Periodo di visibilità	<i>Dal 15 luglio fino al 25 agosto</i>
Massimo di attività	<i>Picco a $\lambda_0^1 = 39.3^\circ$ con $TOZ^2_{massimo} = 90$</i>

¹ λ_0 equivale alla longitudine solare, per informazioni tecniche riguardanti la longitudine solare, vedi **Allegato A.2**

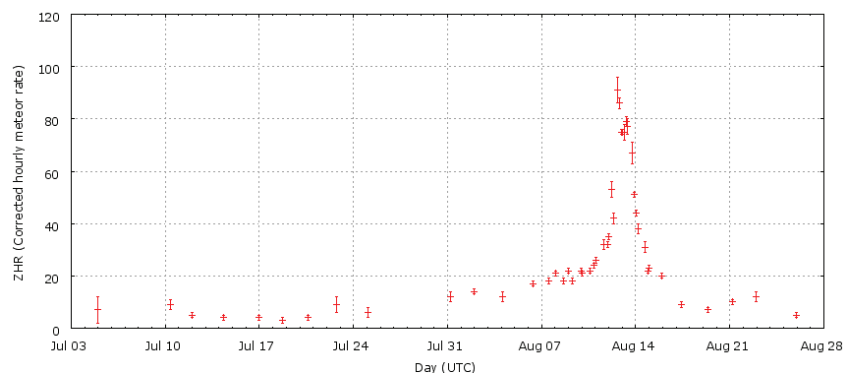
²In astronomia, il Tasso Orario Zenitale, identificato in italiano con la sigla TOZ e in inglese con ZHR, Zenithal Hourly Rate, di uno sciame meteorico è il numero di meteore che un osservatore sarebbe in grado di osservare in un’ora, sotto un cielo buio e terso, se il radiante dello sciame fosse allo zenit.

5.1 Visibilità

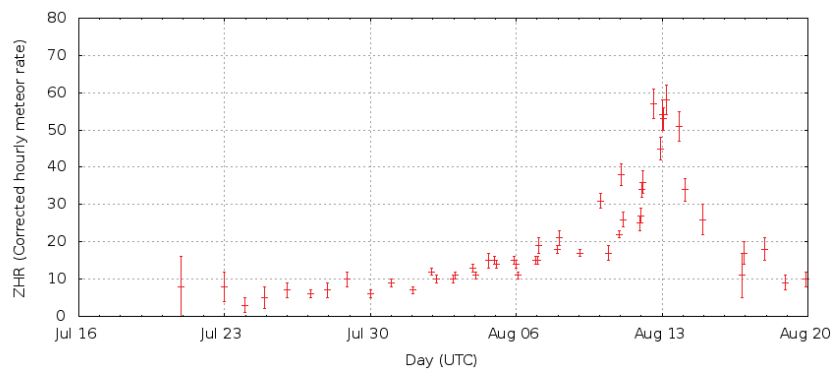
Le Perseidi sono osservabili a occhio nudo dal 25 luglio fino al 17 agosto. Il radiante si sposta dall'orizzonte durante le ore serali e si eleva fino allo zenit alla fine della notte.

Esse sono visibili dal 25 luglio in poi, poiché prima del 25 luglio la loro attività registrata è molto bassa (al massimo un paio di Perseidi a notte). Ciò rende difficile ad un osservatore la distinzione dalle meteore sporadiche. Dopo il 25 luglio le Perseidi sono facilmente riconoscibili grazie a un'intensificazione dell'attività e dal 7 agosto in avanti, diventa così intensa che la loro attività supera lo sfondo di meteore sporadiche. Il miglior periodo di osservazione è nelle notti tra l'11 - 12 o 13 -14 agosto, a dipendenza dell'anno bisestile. Il periodo di massima attività corrisponde a $\lambda_0 = 139.3^\circ$ e dura all'incirca 24 ore. Bisogna tenere in considerazione molti fattori; potrebbe darsi che il periodo di massimo non coincida con l'ora notturna locale nella quale il radiante è abbastanza alto in cielo. Non ci deve essere la luna e le condizioni del cielo devono essere perfette. Queste condizioni poste insieme si manifestano solo in rari casi.

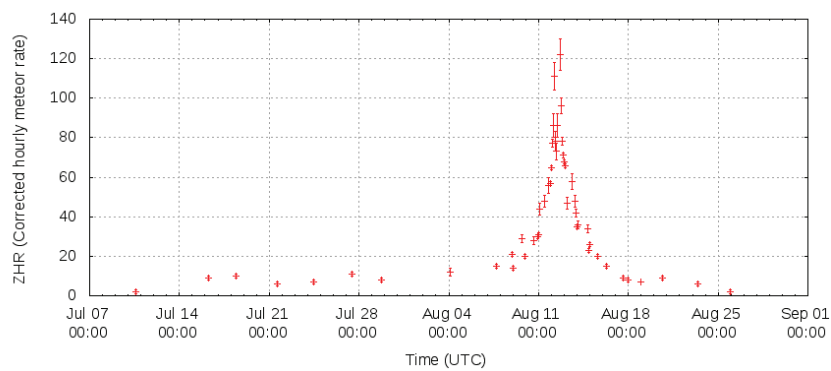
Dopo il 17 agosto si riesce ancora ad osservare le Perseidi finché la Terra non lascia lo sciame di particelle (attorno al 25 agosto). In quest'ultima settimana di attività diventano nuovamente difficile distinguerle dalle sporadiche che sono accidentalmente allineate con il radiante delle Perseidi. La completa attività consiste in due fasi distinte, una debole che dura 5 settimane e un'altra responsabile del tasso zenitale orario massimo. Due terzi della fase di debole attività hanno luogo prima della settimana di massima attività e un terzo dopo (vedi **Figura 5.1 a, b, c, d**). Ciò significa che la Terra impiega più tempo a passare attraverso il "pre-massimo" piuttosto che il "post-massimo" [15] [22].



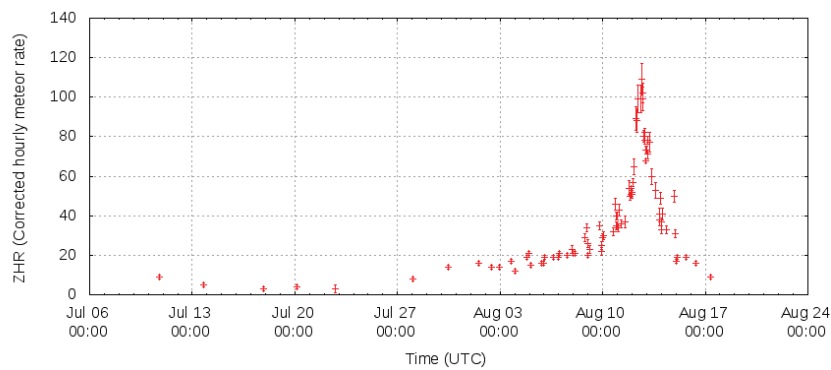
(a) 2010



(b) 2011



(c) 2012



(d) 2013

Figura 5.1: Tasso zenitale orario delle Perseidi dal 2010 al 2013. (Fonte: *imo.net*, dicembre 2013.)

5.2 La storia

Le Perseidi sono osservate da almeno 2000 anni. Le prime informazioni arrivano dal lontano Oriente. Le seguenti citazioni provengono da testi cinesi, giapponesi e coreani.

[...] più di 100 meteore volavano là alla mattina.
(21 luglio del 36)

Un numero incalcolabile di meteore volavano dalla sera fino al mattino.
(22 luglio del 830)

Più di cento, piccole e grandi meteore volavano in tutte le direzioni dalla sera al mattino.
(23 luglio del 833)

Per alcuni giorni, le meteore volavano a nord. Molte meteore volavano dalla sera fino all'alba.
(1007)

Di notte, a sud-est, le stelle cadevano come pioggia.
(5 agosto 1581)

Fino ad oggi, ogni sera vedevo stelle scivolare come se stessero tessendo.
(15 agosto 1625)

Di notte le meteore andavano da nord a sud incessantemente.
(10 agosto 1861)

Ci sono molti rapporti di antiche osservazioni inerenti le Perseidi. Nel 466, 835, 841, 924, 926, 933, 989, 1042, 1451, 1590, 1645 e 1862 l'attività dev'essere stata notevole. Molti di questi rapporti riferiscono di un'eccezionale attività meteorica. Si assume che molti antichi rapporti riguardanti le Perseidi siano andati distrutti con le guerre. Le osservazioni fatte in oriente mostrano un'evidente attività di meteore provenienti da un radiante situato nella costellazione della Cassiopea ($\alpha = 6^\circ$, $\delta = +58^\circ$), il quale può corrispondere al corrente radiante delle Perseidi. Quest'ultime hanno un'orbita molto inclinata, la quale le protegge dalle forti perturbazioni gravitazionali dovute ai pianeti. Di conseguenza, lo sciame non sembra aver subito grossi cambiamenti da quando è stato identificato per la prima volta. In Europa le Perseidi sono state menzionate per la prima volta nel 1700 da Musschenbroeck³. Sono state di nuovo citate nel 1783 e osservate più regolarmente dal 1800 in avanti. Malgrado l'assenza di rapporti, le Perseidi erano conosciute al popolo come "Lacrime di San Lorenzo", associando il loro manifestarsi con il giorno di San Lorenzo, il 10 agosto nel calendario cattolico.

Solo nel 1834 le sistematiche osservazioni permisero di determinare il radiante. Nel 1836 il radiante fu di nuovo confermato da altri astronomi. Nel 1839 un astronomo tedesco, A Erman, osservò che le perseidi erano un possibile anello di particelle attraverso il quale la Terra passava. Nel 1861 in Oriente fu notata una particolarmente intensa attività che si ripeté l'anno seguente. In quegli anni il corpo progenitore passava al suo perielio, ma gli

osservatori cinesi non notarono una relazione tra l'intensa attività meteorica e il passaggio della cometa. Tra il 1864 e il 1866 Schiapperelli provò attraverso dei calcoli che le orbite delle Perseidi condividevano l'orbita con la cometa 1862 III. Questa fu la prima volta che gli sciame meteorici furono associati alle comete. Negli anni seguenti le Perseidi furono osservate con molta attenzione e i rapporti forniti dalle varie osservazioni hanno permesso la costruzione della **Tabella 5.2** [15].

³Pieter van Musschenbroek (Leida, 14 marzo 1692 – Leida, 19 settembre 1761) è stato un fisico olandese.[28]

Tabella 5.2: Tasso zenitale orario delle Perseidi osservate nel mondo dal 36 al 1988 [15].

Anno	TOZ	Anno	TOZ	Anno	TOZ
36	alto	1848	113	1934	67
466	alto	1849	98	1937	70
830	alto	1850	83	1939	35
833	alto	1851	71	1940	29
835	alto	1852	60	1945	189
841	alto	1853	52	1947	26
865	alto	1855	45	1948	57
924	alto	1856	45	1949	57
925	alto	1857	44	1950	64
926	alto	1858	40	1951	37
933	alto	1861	alto	1952	50
989	alto	1862	alto	1953	37
1007	alto	1891	60	1963	32
1022	alto	1893	40	1966	50
1042	alto	1894	40	1968	65
1243	alto	1895	30	1969	73
1451	alto	1896	30	1970	73
1581	alto	1898	60	1971	65
1590	alto	1899	90	1972	90
1625	alto	1900	20	1973	55
1645	alto	1901	55	1974	70
1779	alto	1902	60	1975	75
1784	alto	1903	30	1976	80
1789	alto	1904	92	1977	95
1800	20	1907	71	1978	90
1823	33	1909	67	1979	95
1837	59	1910	46	1980	180
1838	62	1911	4	1981	180
1839	65	1912	12	1982	97
1840	48	1915	23	1983	116
1841	71	1920	196	1984	67
1842	74	1921	250	1985	85
1843	78	1928	33	1986	90
1844	80	1930	65	1987	100
1845	85	1931	160	1988	82
1846	92	1932	70		
1847	102	1933	91		

5.3 Swift-Tuttle

109P/Swift-Tuttle è una cometa periodica ($T = 133, 28y$) alla quale è stata attribuita l'appartenenza alla famiglia cometaria della cometa di Halley, scoperta separatamente da Lewis Swift il 16 luglio del 1862 da Horace Parnell Tuttle il 19 luglio del 1862. La cometa Swift-Tuttle è anche conosciuta per la sua grande probabilità di entrare in collisione con la Terra o la luna. L'impatto secondo i calcoli è scongiurato per il prossimo millennio (vedi **5.3**).

Tabella 5.3: Sommario delle caratteristiche della 109P/Swift-Tuttle [21]

109P/Swift-Tuttle	
Scoperta	<i>16 luglio 1862</i>
Scopritori	<i>Lewis Swift, Horace Parnell Tuttle</i>
Designazioni alternative	<i>1737 N1; 1737 II; 1862 O1; 1862 III; 1992 S2; 1992</i>
Parametri orbitali⁴	
Inclinazione (i)	<i>113.453816997171°</i>
Longitudine del nodo ascendente (Ω)	<i>139.3811920815948°</i>
Argomento del perielio (ω)	<i>152.9821676305871°</i>
Eccentricità (e)	<i>0.963225755046038</i>
Semiasse maggiore (a)	<i>26.0920694978266 UA</i>
Dati fisici	
Dimensioni (\emptyset)	<i>26 km</i>

⁴Per informazioni tecniche riguardanti i parametri orbitali, vedi **Allegato A.3**

6 | Osservazioni

Ci sono sostanzialmente tre modi possibili per osservare le meteore. A occhio nudo, con strumenti ottici e con strumenti radio.

L'osservazione delle meteore ad occhio nudo è la più affascinante e appagante. Non è però precisa quanto le osservazioni eseguite con strumenti. Se si vogliono ottenere delle informazioni necessarie a sviluppare uno studio, l'osservazione non è il metodo migliore visti i possibili errori che si possono fare. Un ottimo libro che spiega il modo in cui vanno osservate le meteore è : International Meteor Organization, *Handbook for Visual Meteor Observation*. Le osservazioni con strumenti ottici richiedono l'uso, come nel caso della videocamera del professor Sposetti, di apparecchi fotografici. Si possono ottenere informazioni delle meteore registrate sia con le foto che con i video. Il sistema più preciso è l'utilizzo di software, come UFOCapture, che registrano in continuazione, mediante una telecamera fissa, i fenomeni luminosi atmosferici che si manifestano nella volta celeste.

Il terzo tipo di osservazione, il *meteor scattering*, è una tecnica che prevede l'utilizzo di un radar. Il radar riceve l'eco radio di onde radio riflesse dalle scie di gas ionizzati delle meteore (vedi **Figura 6.1**).

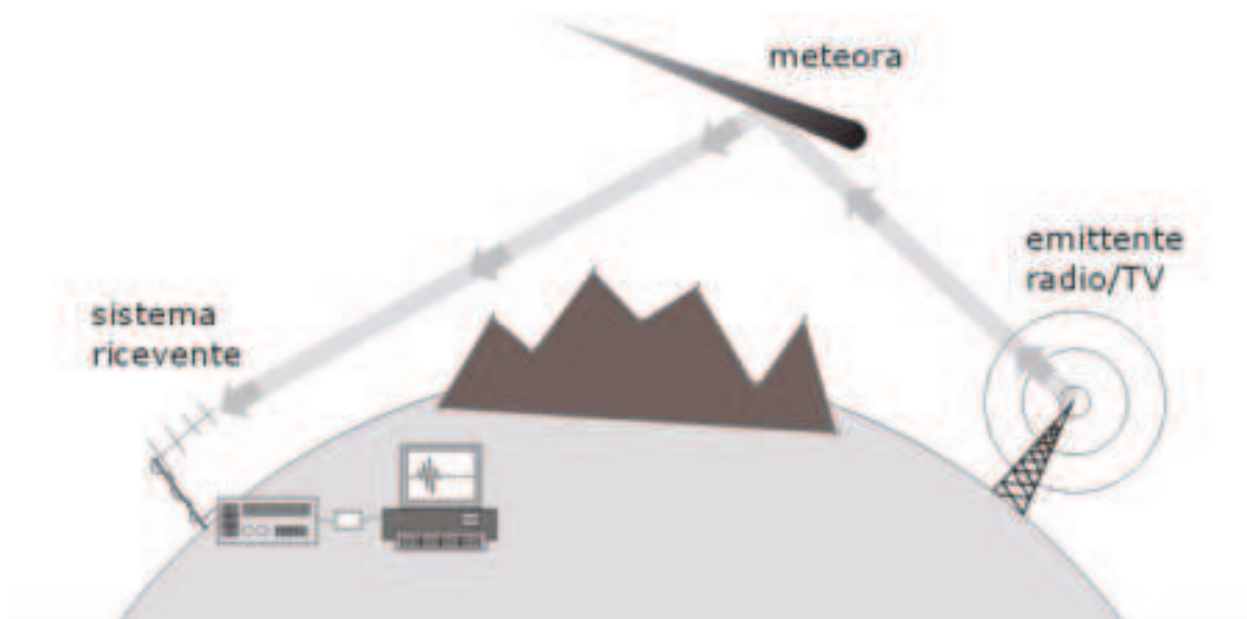


Figura 6.1: Meteor scattering. (Fonte: *radioastronomia.com*, dicembre 2013)

6.1 Le mie osservazioni

I miei tentativi di osservazioni hanno avuto esiti piuttosto negativi. Quest'estate ho provato a fotografare le Perseidi durante il loro massimo di attività. Visto che mi trovavo in vacanza in Croazia è stato difficile trovare una zona che avesse poco inquinamento luminoso (vedi **Figura 6.2**). Inoltre la caratteristica foschia delle zone marittime ha contribuito al fallimento del mio tentativo. Nonostante non sia riuscito a fotografare le Perseidi, le ho osservate a occhio nudo, ma senza annotare i loro dettagli.

Visto il fallimento avuto con le Perseidi ho deciso di riprovare con le Leonidi. Purtroppo il brutto tempo non mi ha permesso di osservarle, neanche a occhio nudo.



Figura 6.2: Osservazioni in Croazia

7 | Software

Nell'affrontare la mia ricerca è stato necessario utilizzare dei software, tutti sviluppati da SonotaCo: UFOCapture, UFOAnalyzer, UFOOrbit.

7.1 SonotaCo

La SonotaCo è una società giapponese che ha sviluppato software, per la maggioranza gratuiti, che possono essere utilizzati in vari ambiti.

7.1.1 UFOCapture

È un programma che cattura con un video oggetti in movimento. Principalmente viene utilizzato per la cattura di fenomeni astronomici come le meteore, raggi cosmici e monitoraggio dei satelliti. È anche utilizzato in svariati ambiti, come il monitoraggio dei movimenti di animali e la sicurezza privata.

7.1.2 UFOAnalyzer

UFO analyzer V2 è un software che richiede una piattaforma Windows XP o superiori. È un software sviluppato appositamente per analizzare oggetti luminosi in movimento nel cielo notturno, catturati da UFOCapture. La sua funzionalità sta nelle sue caratteristiche:

- allinea il campo visivo della videocamera grazie ad un catalogo stellare;
- misura la posizione dell'oggetto in movimento (azimut, altitudine e ascensione retta, declinazione);
- analizza la velocità, direzione, linearità e magnitudine del corpo in movimento;
- rileva il flusso meteorico dal catalogo dei flussi meteorici;
- disegna una mappa stellare e della terra con la traccia dell'oggetto;
- disegna il campo visivo (FOV) della videocamera.

7.1.3 UFOOrbit

UFOOrbit grazie alle informazioni fornite da UFOAnalyzer riesce a:

- calcolare l'orbita delle meteore;
- disegnare la traccia degli oggetti nella mappa stellare;
- disegnare l'orbita nella mappa stellare.

Affinché riesca nell'operazione, il software necessita delle informazioni fornite da UFOAnalyzer sullo stesso corpo, registrate in due luoghi differenti. Questo programma è fondamentale per paragonare le orbite delle meteore con quelle delle comete e associarle a uno sciame meteorico.

7.2 Introduzione all'utilizzo di UFOAnalyzer.

Questo capitolo è dedicato ad una breve introduzione all'utilizzo di UFOAnalyzer, dove sono descritte le fasi fondamentali per il suo utilizzo.

7.2.1 Creazione di un profilo

Il profilo serve a memorizzare la posizione geografica della telecamera, il campo visivo FOV, l'aberrazione ottica, ecc. Il profilo viene salvato nella cartella PROF; ed è collegato con la cartella che contiene i file video.

7.2.2 Elaborazione della maschera del profilo

La maschera di scintillazione è ciò che permette al software di riconoscere il FOV della videocamera per mezzo delle stelle presenti nelle immagini. Grazie alla stessa, il software riesce a identificare la provenienza degli oggetti in movimento, utilizzando il catalogo stellare. È necessario inserire la località d'osservazione: latitudine e longitudine (in gradi con virgola mobile).

Perfezionare la maschera di scintillazione

È possibile perfezionare la maschera di scintillazione mediante la funzione “manual link”, la quale permette all'utente di collegare manualmente le stelle di riferimento della maschera di scintillazione con quelle delle immagini video. Per raffinare i collegamenti vi è un metodo più rapido che consiste nell'utilizzo della funzione “autolink” e “adj pos all”; grazie ad esse l'errore viene ridotto al minimo.

7.2.3 Analizzare i file video

Grazie alla creazione del profilo è ora possibile iniziare l'analisi dei file video. La funzione "analyze all" dà inizio ad una analisi di tutti i video presenti nella cartella sorgente; tutti i dati forniti dall'analisi sono esportabili in un file .csv ed in seguito utilizzabile in UFOOrbit.

Generazione di una "Trail Map"

La "Trail Map" mostra la traiettoria e il percorso delle meteore in una mappa stellare; grazie ad essa è possibile visualizzare la provenienza dallo stesso punto in comune delle meteore di sciame.

Generazione di una "Ground Map"

Anche la generazione di una "Ground Map" fa parte dell'analisi, essa mostra la proiezione del percorso della meteora su una mappa contenente il luogo di osservazione. Grazie ad essa ci si può fare un'idea riguardo all'effettiva porzione di cielo (contenuta nel FOV) nella quale vengono registrate le meteore.

8 | Risultati

8.1 Provenienza dei dati utilizzati

La ricerca intrapresa mi ha permesso di confrontarmi con tre diverse sorgenti di dati:

- le informazioni fornite dall'analisi dei files video registrati dalla telecamera del Professor Sposetti, mi hanno permesso principalmente un'analisi del radiante di provenienza delle Perseidi e un'analisi quantitativa di esse;
- i dati di tutte le meteore simultaneamente registrate in Europa, fornitimi dalla *ED-MOND*¹ [27], mi hanno permesso un confronto qualitativo delle Perseidi con la cometa 109p/Swift-Tuttle;
- i dati di tutte le meteore simultaneamente registrate in Giappone, liberamente scaricabili dal *SonotaCO Network database*² [9], i quali comprendono anche i parametri orbitali delle meteore, mi hanno permesso un confronto qualitativo delle Perseidi con la cometa 109p/Swift-Tuttle.

¹European viDeo MeteOr Network Database; in esso sono contenuti i dati risultanti dall'analisi, di UFObit, di tutti i dati provenienti dalle stazioni europee volte al monitoraggio dei fenomeni meteorici.

²Database liberamente accessibile online (citare), il quale contiene tutti i dati risultanti dall'analisi, di UFObit, di tutti i dati provenienti dalle stazioni Giapponesi volte al monitoraggio dei fenomeni meteorici.

8.1.1 EDMOND

L'European viDeo MeteOr Network Database è alimentato dai dati riguardanti tutte le meteore simultaneamente registrate dalle stazioni europee (vedi **Figura 8.1**). L'EDMOND è un database di orbite cresciuto da una spontanea collaborazione tra gli osservatori d'Europa: *BOAM*³, *CEMeNt*⁴, *HMN*⁴, *IMTN*⁵, *PFN*⁶, *SVMN*⁷, *UKMON*⁸. I dati delle meteore simultaneamente registrate in Europa sono di due tipi. Per semplificare li chiamerò "Europa" A e "Europa B". Entrambi i dati sono stati ottenuti con l'analisi delle meteore simultaneamente osservate in Europa. La differenza è che i dati di tipo "B", sono stati ottenuti utilizzando criteri più severi, e dunque, da come mi è stato riferito da *Jakub Koukal*⁹, essi sono più precisi. Sempre in accordo alla parola dell'astronomo, i dati europei di tipo "B" sono più accurati di quelli giapponesi perché, con i criteri giapponesi, molte brutte orbite non vengono scartate, ma molte belle invece si.



Figura 8.1: Stazioni attive dell'EDMOND. (Fonte: *cement.fireball.sk*, dicembre 2013.)

³Base des Observateurs Amateurs de Météores, costituito dagli osservatori amatori situati in Francia.

⁴Central Uropean Meteor Network, una collaborazione tra gli osservatori amatori situati in Slovacchia e Repubblica Ceca.

⁵Hungarian Meteor Network, costituito dagli osservatori amatori situati in Ungheria.

⁶Italian amateur observers in Italian Meteor and TLE network, comprende tutti gli osservatori amatori italiani e ticinesi, tra i quali anche il Professor Sposetti.

⁷Polish Fireball Network, costituito dagli osservatori amatori polacchi.

⁸UK Meteor Observation Network, il quale comprende tutti gli osservatori amatori del Regno Unito.

⁹Central Uropean Meteor Network, e responsabile dell'EDMOND.

8.1.2 SonotaCo Network database

Il SonotaCo Network database è alimentato dai dati inerenti a tutte le meteore simultaneamente registrate dalle stazioni giapponesi (vedi **Figura 8.2**). La SonotaCo è anche la responsabile dello sviluppo di molti software che si utilizzano per lo studio astronomico di oggetti luminosi.

Purtroppo non si hanno molte informazioni a riguardo dello stesso, ma ciononostante sono riuscito a ricostruire una mappa delle loro stazioni di osservazione (vedi **Figura 9.2**).

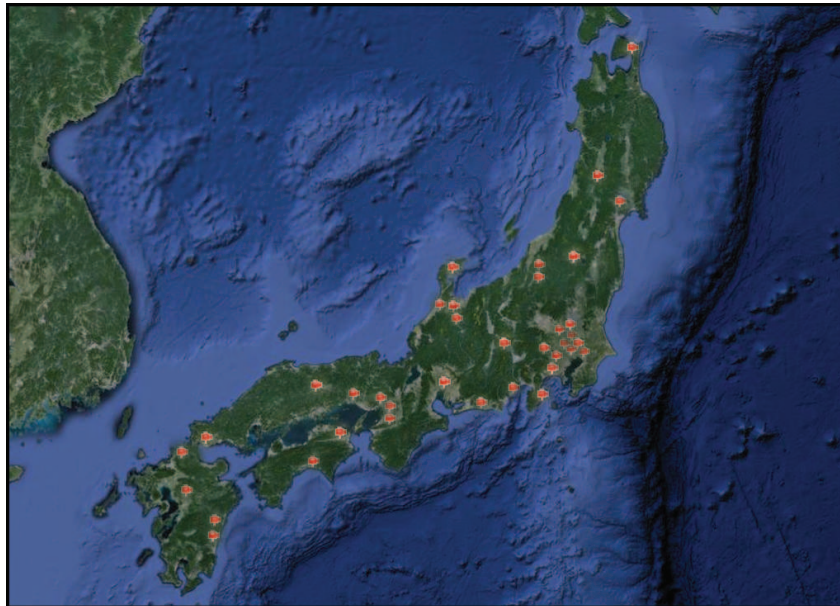


Figura 8.2: Stazioni attive della SonotaCo. (Elaborazione personale.)

8.2 Mappa della traiettoria delle meteore

Le seguenti immagini sono il risultato dell'analisi dei file video, con UFOAnalyzer, forniti dal Professor Sposetti.

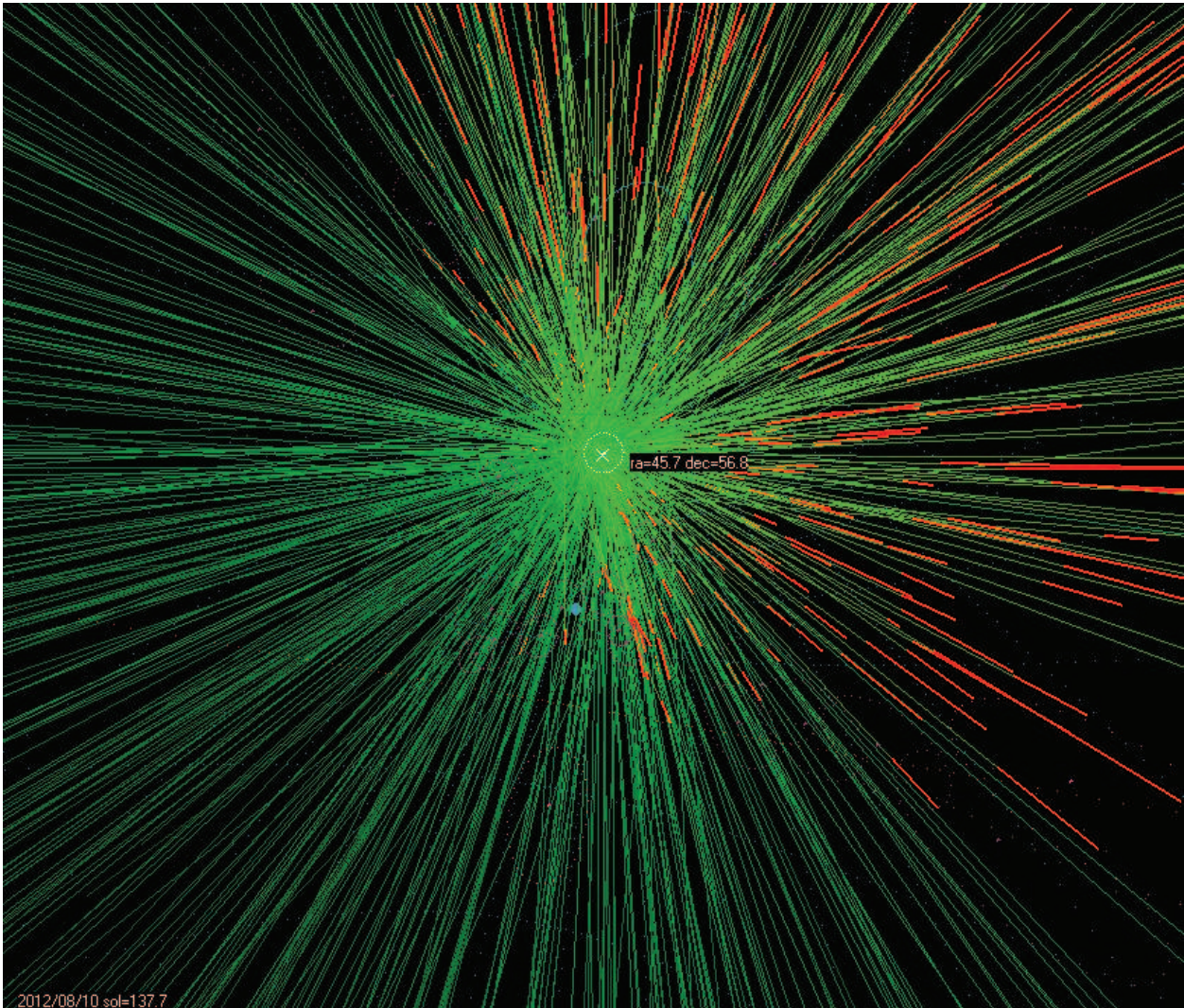


Figura 8.3: Mappa della traiettoria delle Perseidi osservate da Gnosca nel 2012

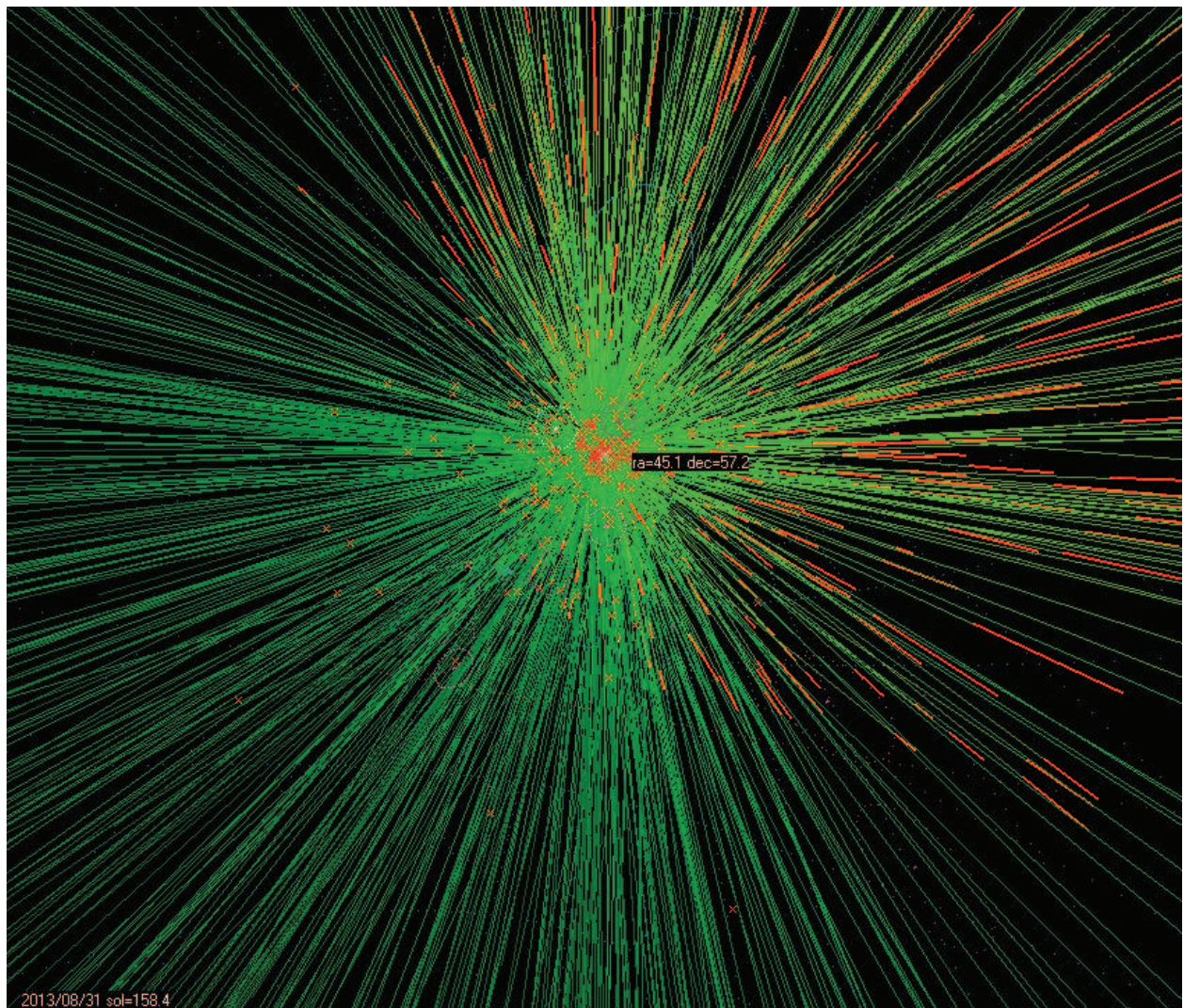


Figura 8.4: Mappa della traiettoria delle Perseidi osservate da Gnosca nel 2013

8.3 Tabelle

Le tabelle dei dati di UFOAnalyzer e dei dati forniti dai database, viste le loro dimensioni, sono contenute nell'**Allegato B.2**

8.4 Grafici

I seguenti grafici sono stati ottenuti analizzando le informazioni fornite dall'analisi di UFOOrbit di tutte le meteore simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

Grafico 8.1: Distribuzione delle frequenze relative in funzione dell'eccentricità dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

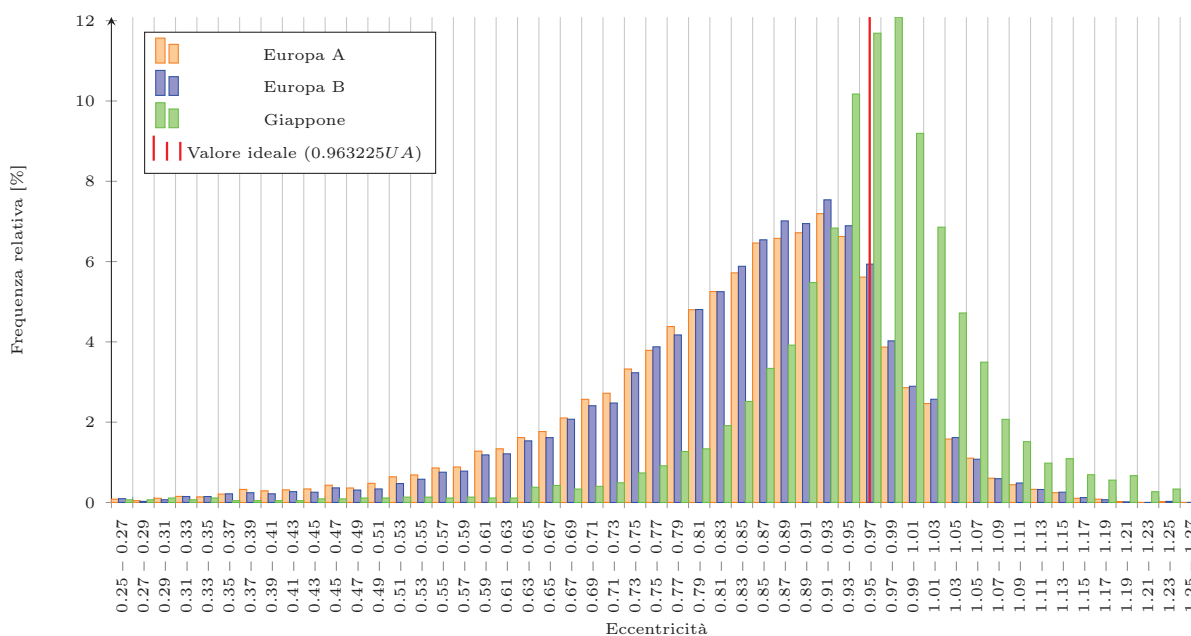


Grafico 8.2: Distribuzione delle frequenze relative in funzione del semiasse maggiore dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

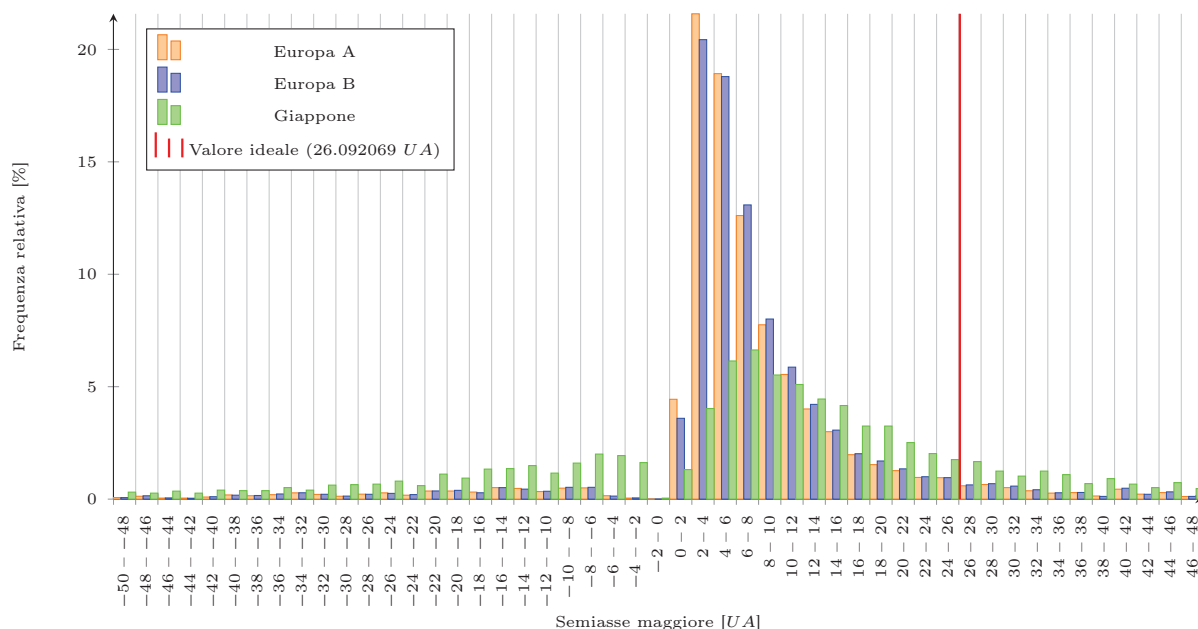


Grafico 8.3: Distribuzione delle frequenze relative in funzione dell'inclinazione dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

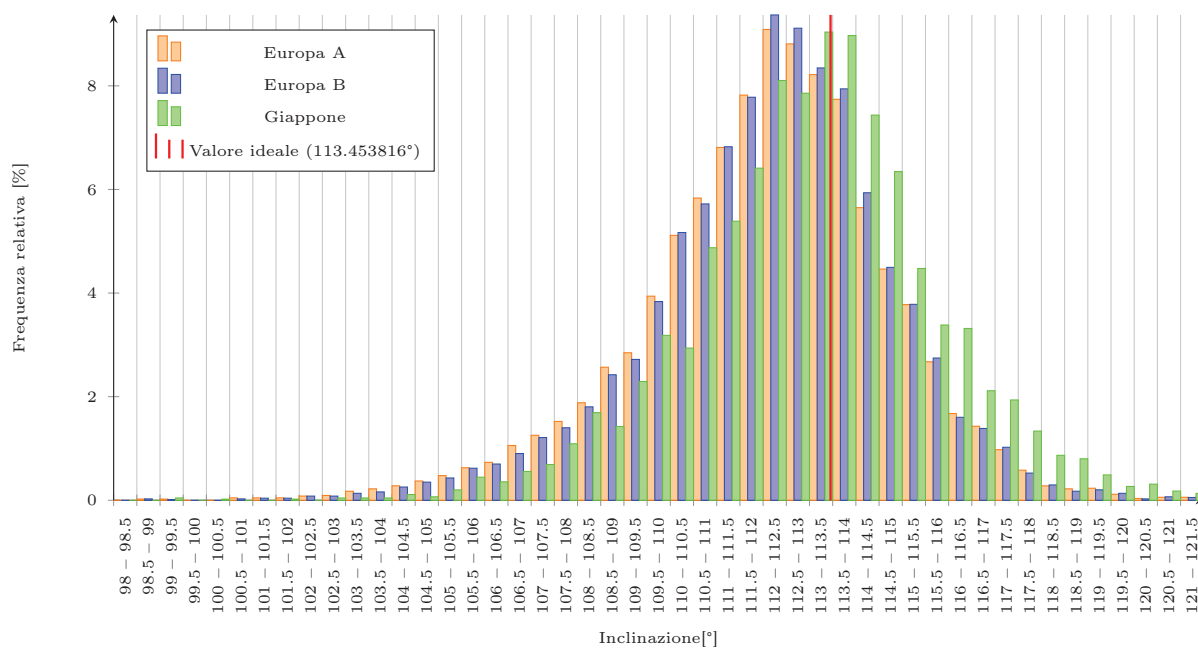


Grafico 8.4: Distribuzione delle frequenze relative in funzione della longitudine del nodo ascendente dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

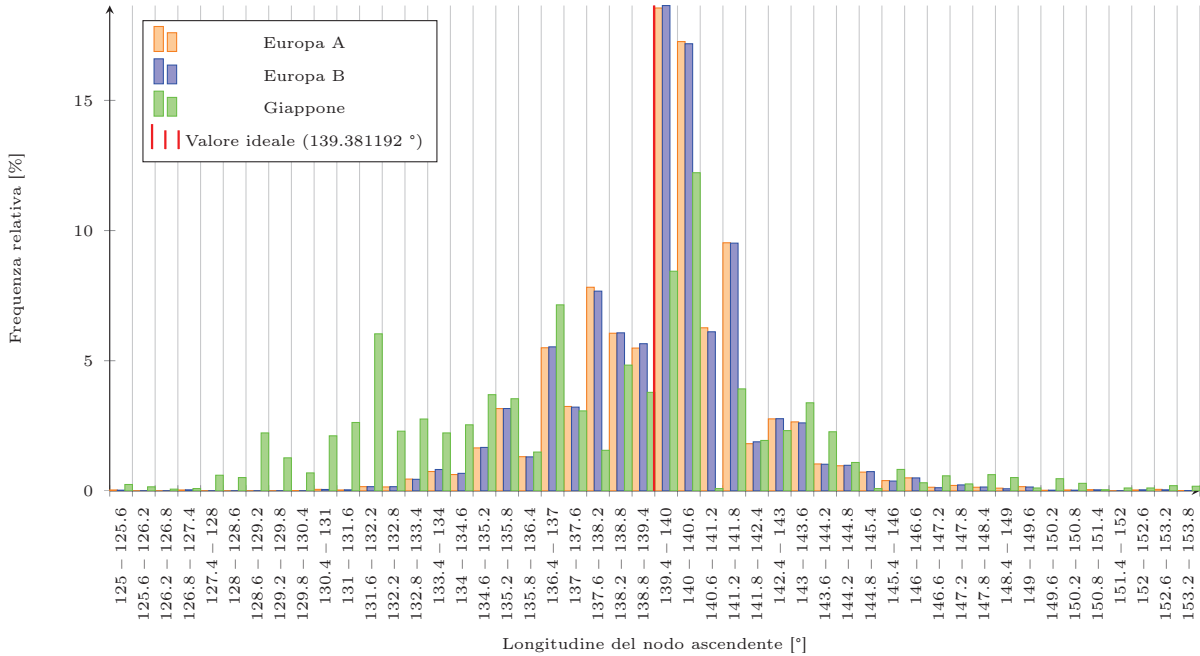
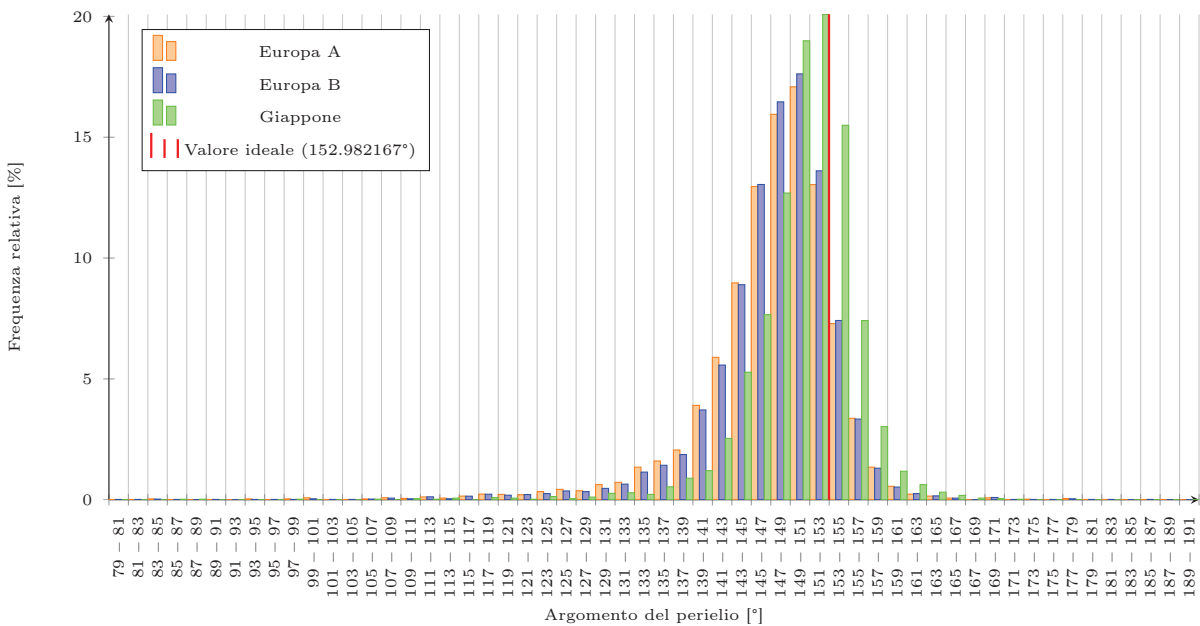


Grafico 8.5: Distribuzione delle frequenze relative in funzione dell'argomento del perielio dell'orbita delle Perseidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.



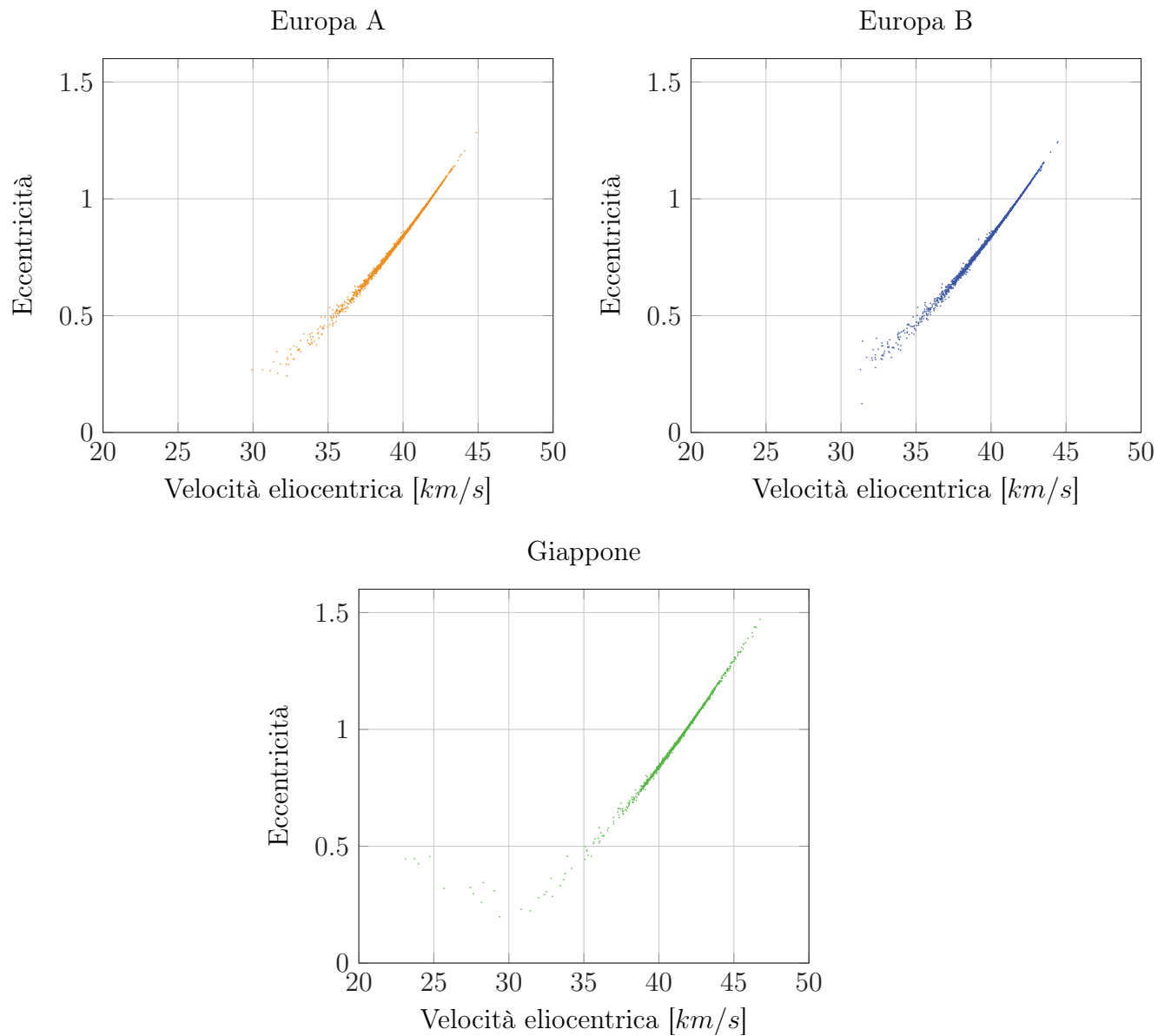


Grafico 8.6: Eccentricità in funzione della velocità eliocentrica delle Peresidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

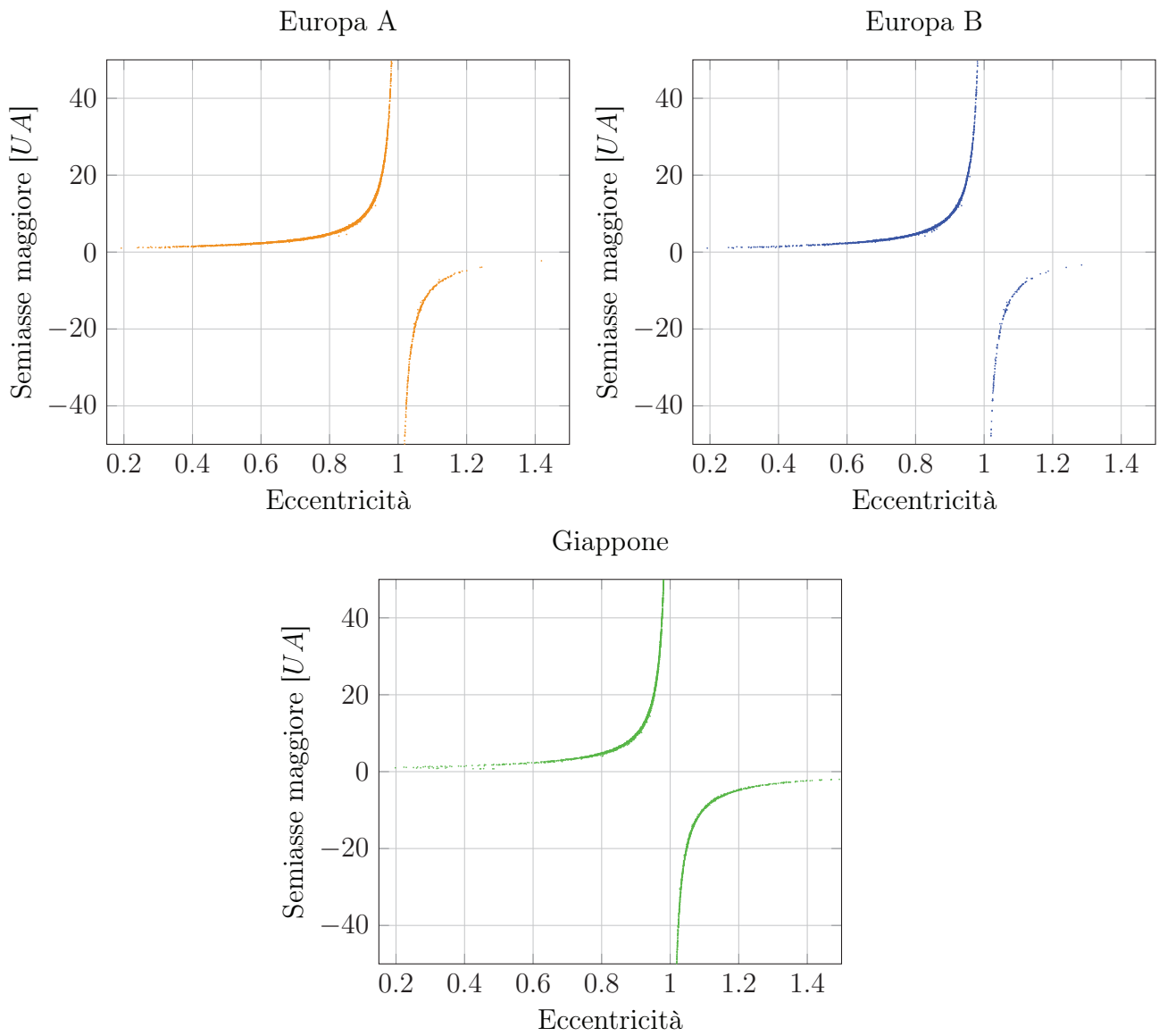


Grafico 8.7: Semiassa maggiore in funzione dell'eccentricità delle Peresidi simultaneamente registrate dal 2010 al 2012 in Europa e Giappone.

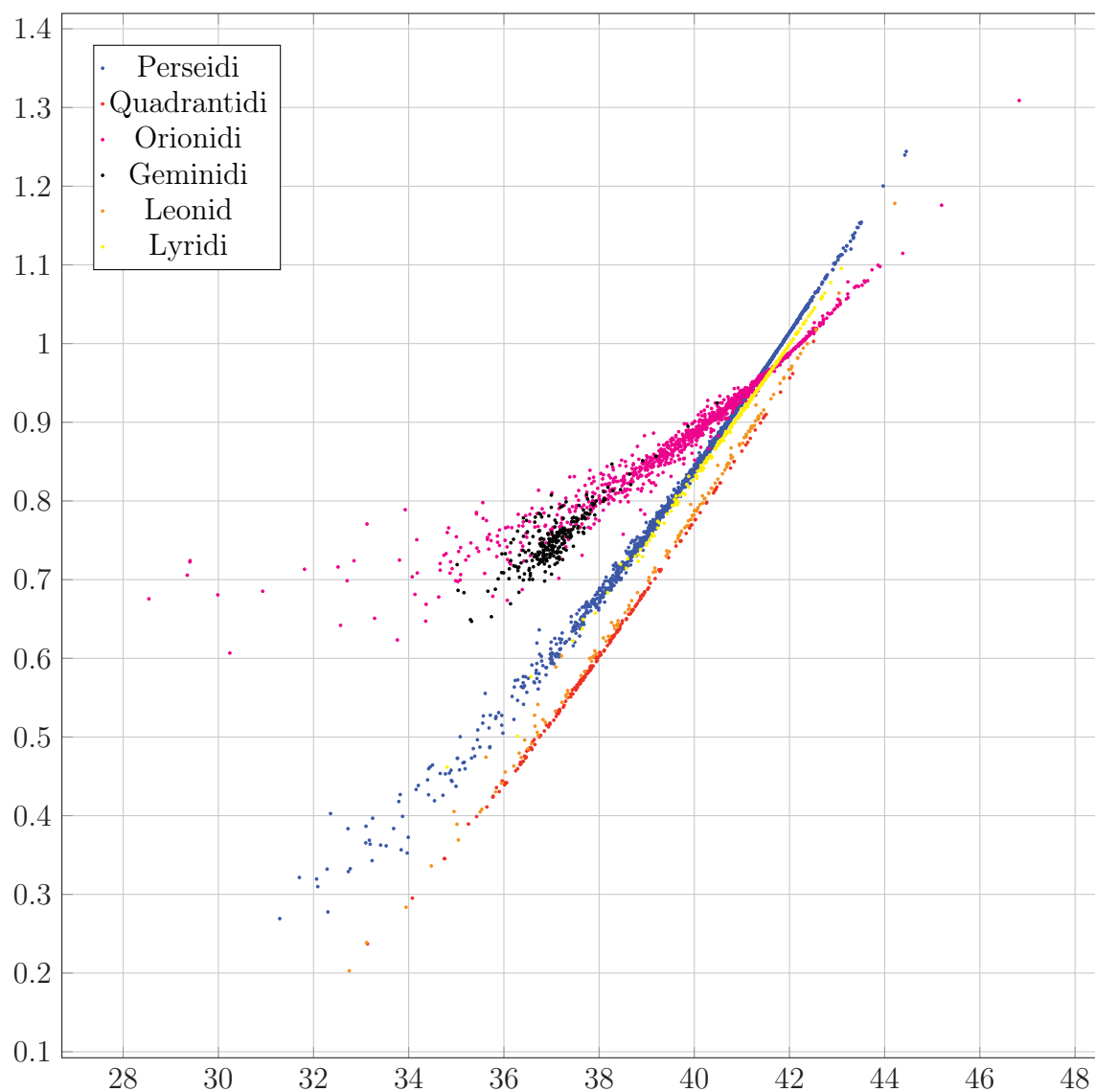


Grafico 8.8: Eccentricità in funzione della velocità di alcuni sciami meteorici simultaneamente osservati nel 2012 in Europa.

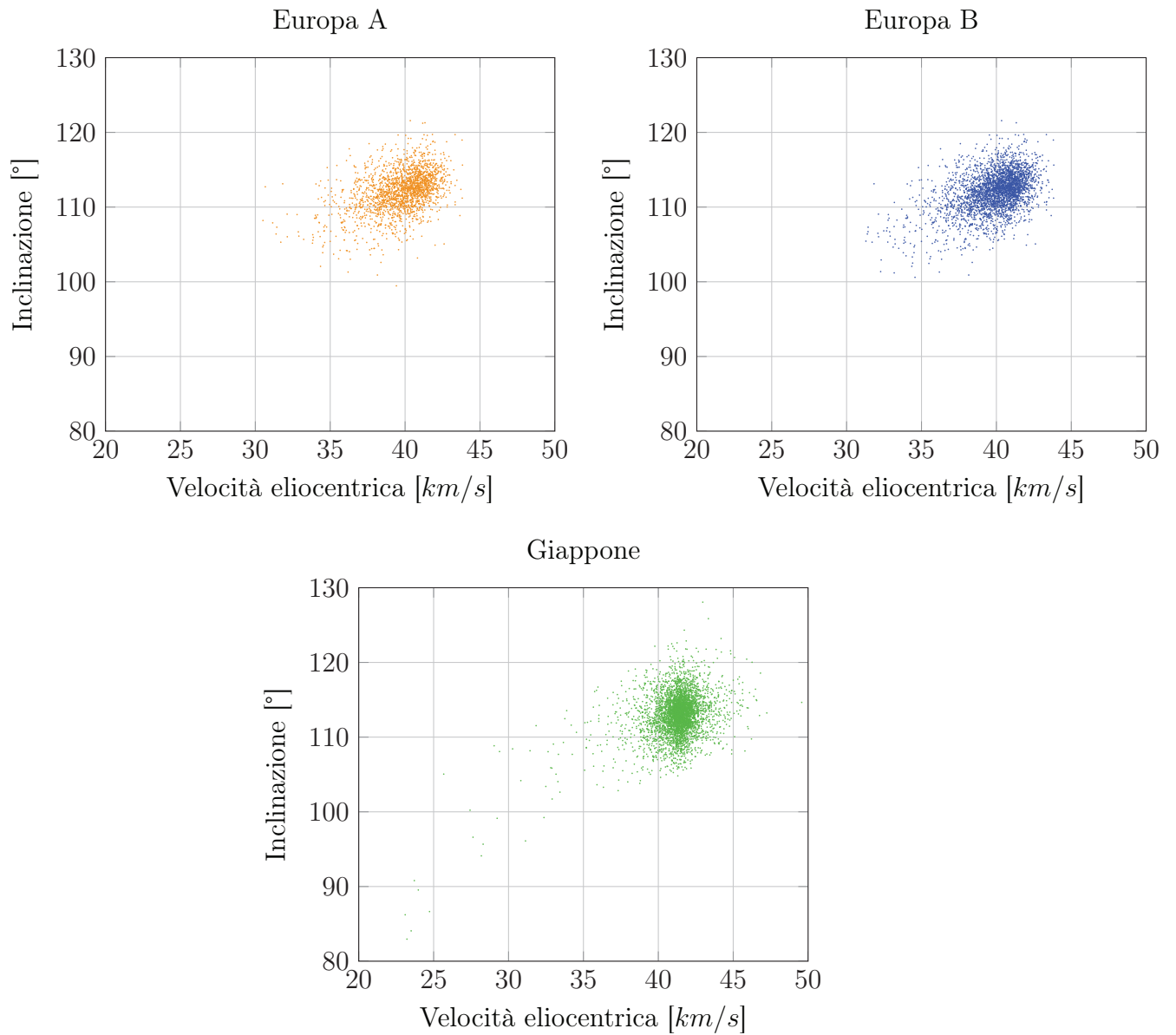


Grafico 8.9: Inclinazione in funzione della velocità delle Perseidi simultaneamente osservate nel 2012 in Europa e Giappone.

8.5 Rappresentazione del radiante

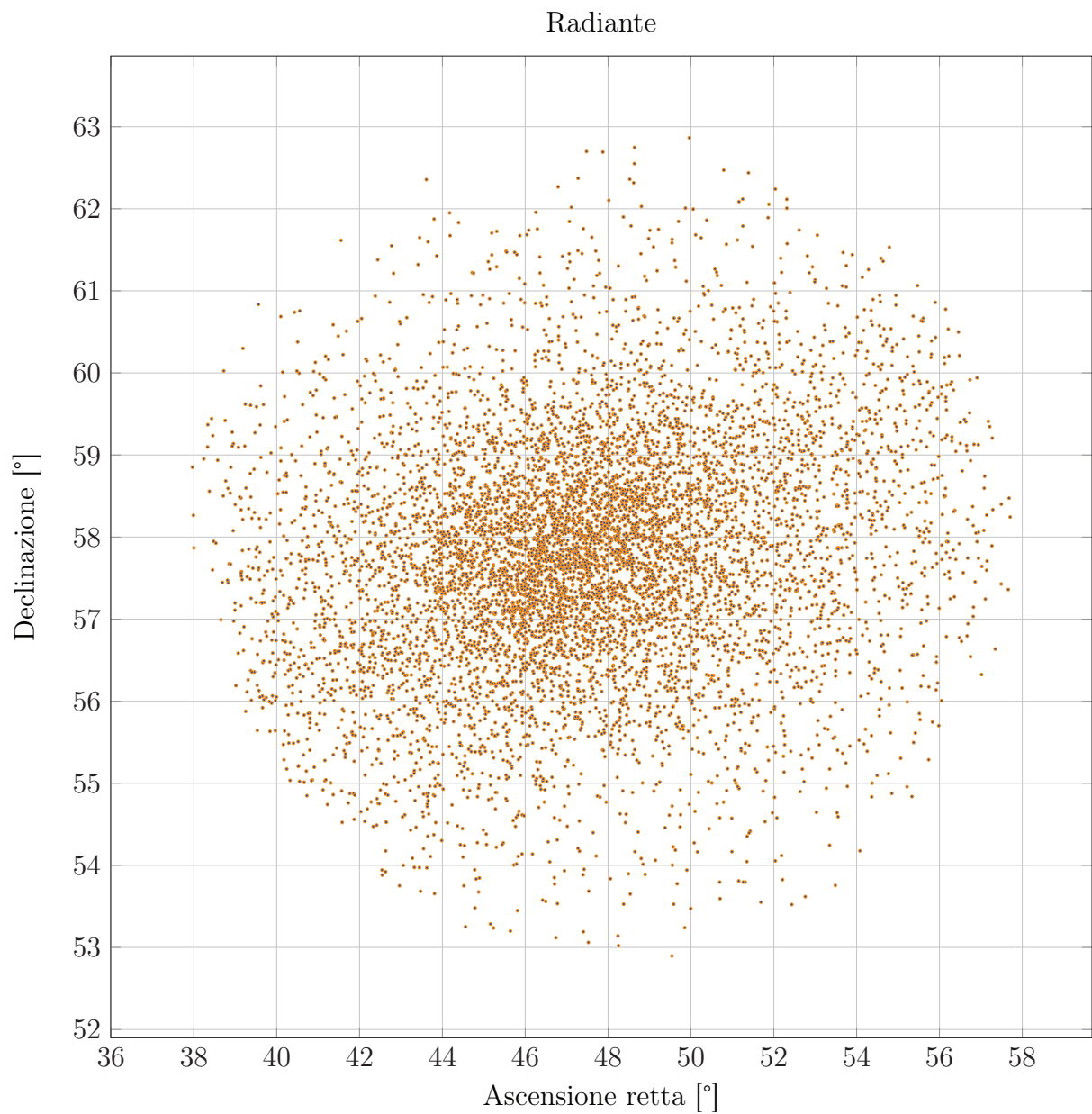


Grafico 8.10: Radiante delle meteore simultaneamente registrate in Europa (A) dal 2010 al 2013.

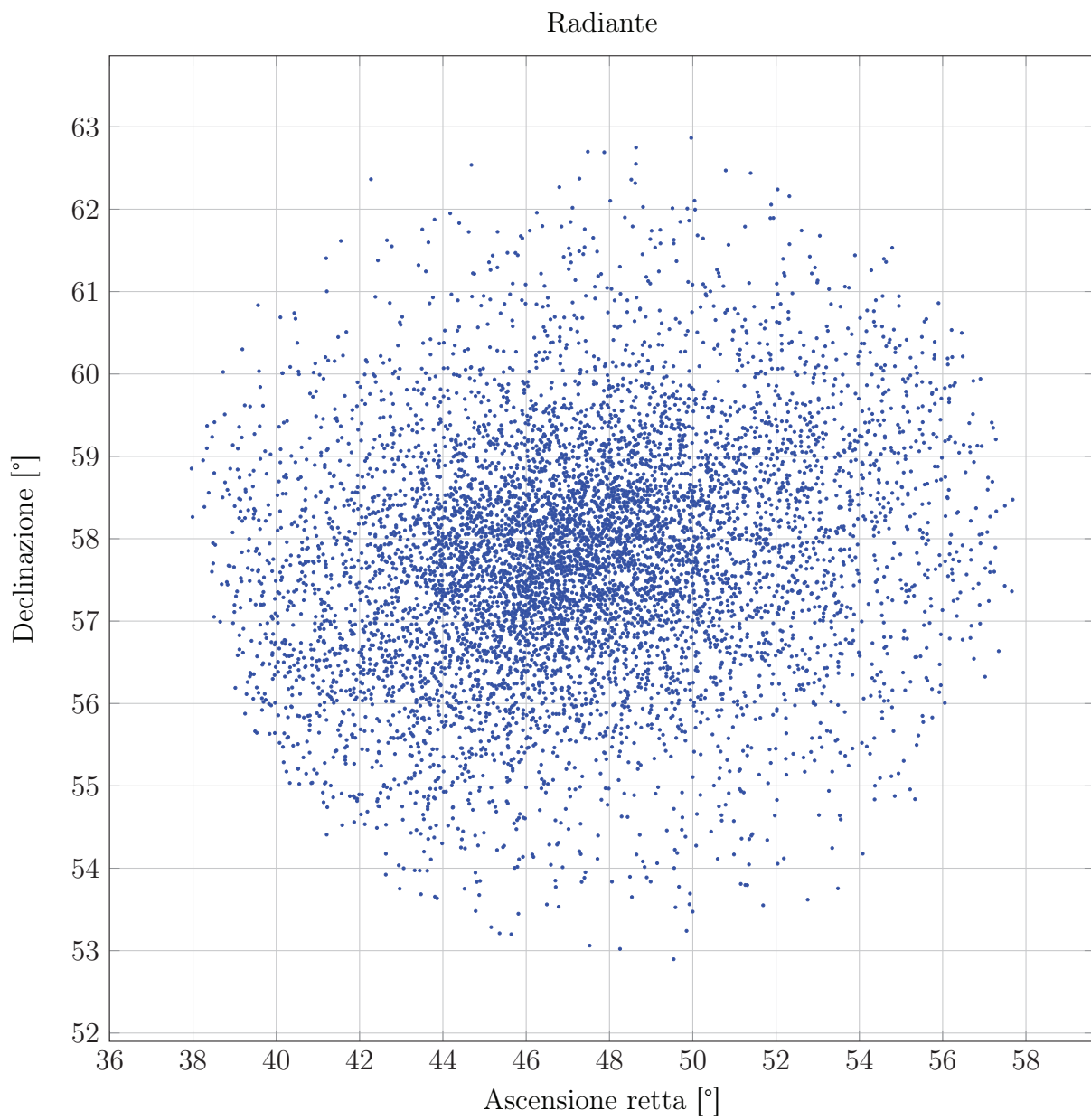


Grafico 8.11: Radiante delle meteore simultaneamente registrate in Europa (B) dal 2010 al 2013.

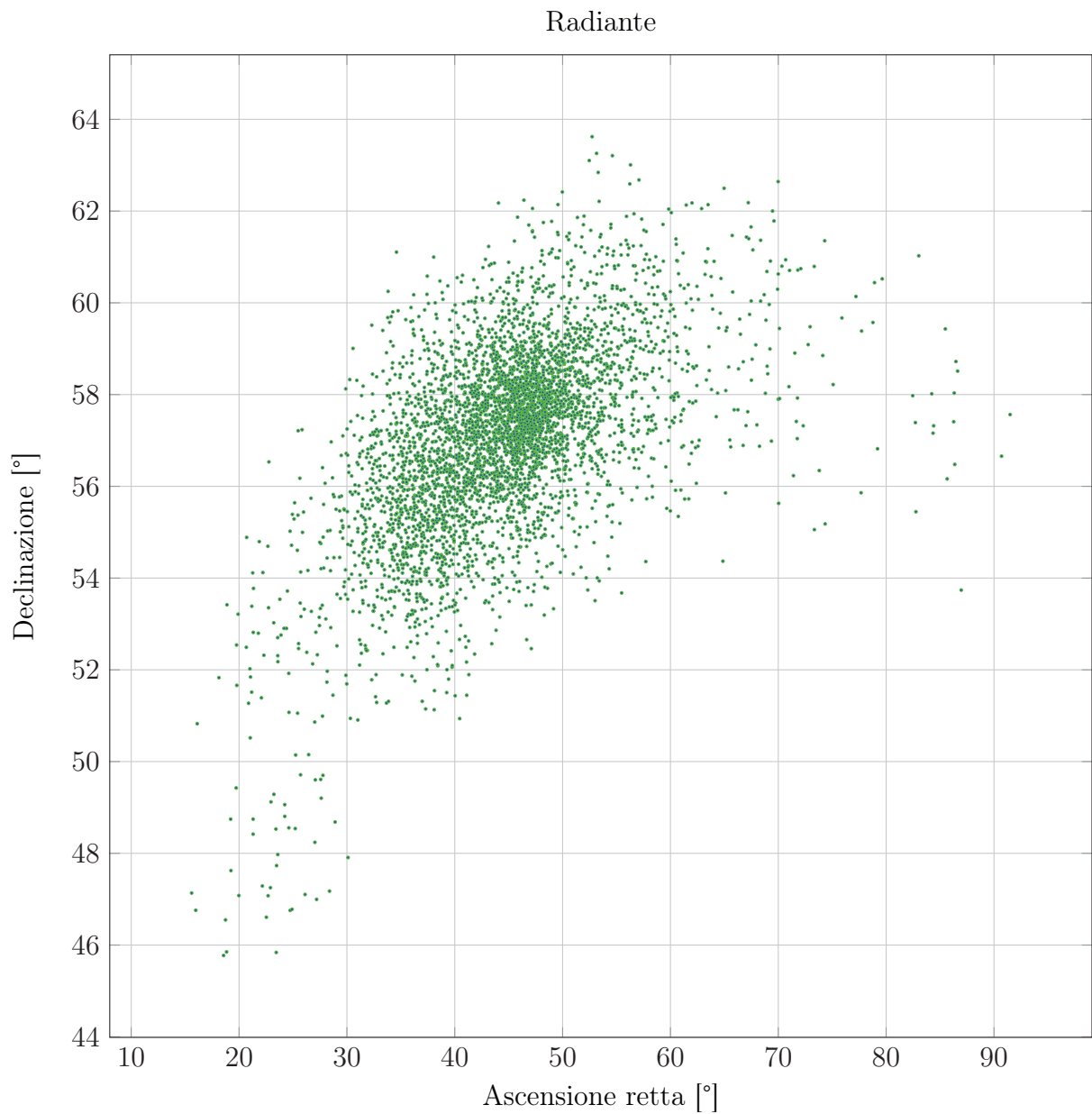


Grafico 8.12: Radiante delle meteore simultaneamente registrate in Giappone dal 2010 al 2013.

9 | Interpretazione dei risultati

Ricordo che alcuni studi hanno dimostrato l'origine cometaria delle piogge di meteoriti. Di seguito proverò, sulla base dei risultati ottenuti, a dare una mia interpretazione a sostegno di questa tesi, cercando di confermare la teoria, secondo la quale le Perseidi sono frutto dell'erosione del nucleo della 109p/Swift-Tuttle.

9.1 Interpretazione delle mappe delle traiettorie delle meteore

UFOAnalyzer, con i dati forniti dall'analisi dei file video, costruisce un'immagine tracciando, per ogni meteora, la traiettoria osservata. Come si vede dalla **Figura 8.3** e **Figura 8.4**, tutte le rette rappresentanti la traiettoria convergono in una zona; il radiante. L'etichetta posta nelle vicinanze del punto di convergenza indica l'ascensione retta e la sua declinazione. Come si può vedere i valori combaciano con quelli teorici. I segmenti rossi mostrano il percorso in cielo della meteora.

9.2 Interpretazione dei grafici

9.2.1 Eccentricità

Come si vede nel **Grafico 1**, la maggior parte delle meteore, osservate in Europa, classificate come Perseidi, seguono un'orbita con una eccentricità minore di quella della 109p/Swift-Tuttle; mentre quelle osservate in Giappone, un'orbita con una eccentricità maggiore del corpo progenitore.

È importante sottolineare che le eccentricità delle meteore simultaneamente registrate, nonostante siano diverse da quella del corpo progenitore, per la maggior parte, sia quelle osservate dal Giappone che dall'Europa, sono molto simili a quella del corpo progenitore. Ciò significa che lo sciame meteorico generato dalla 109p/Swift-Tuttle, sia formato da particelle aventi un'eccentricità, per la stragrande maggioranza simile a quella della cometa.

La diminuzione dell'eccentricità, ovvero la propensione a un'orbita più circolare, la interpreto come un risultato della diminuzione della velocità dei detriti originati dall'erosione del

nucleo della 109p/Swift-Tuttle. Per questo motivo, ho deciso di rappresentare in un grafico l'eccentricità in funzione della velocità eliocentrica dei meteoroidi classificati come Perseidi (vedi **Grafico 8.8**). Come si vede dal **Grafico 8.8**, le meteore più lente hanno un'orbita più circolare, mentre quelle più veloci un'orbita che tende alla parabola e all'iperbole. Si può dunque affermare che, nella fase di erosione del nucleo cometario, le particelle rallentate dal vento solare si dispongono in orbite più circolari. Mentre i meteoroidi accelerati dal vento solare si posizionano su orbite più ellittiche, fino a diventare paraboliche e iperboliche. Le particelle che raggiungono la velocità di fuga, 42 km/s , avranno orbite paraboliche ($e = 1$), o, nel caso la velocità sia maggiore di quelle di fuga ($e > 1$), avranno orbite iperboliche.

La mia ipotesi è che le particelle rallentate rispetto al copro progenitore cadono, nel processo di erosione del nucleo della cometa, su orbite più interne, mentre quelle accelerate, si dispongono su orbite più esterne. Questa mia ipotesi sembra essere sostenuta anche da studi scientifici (vedi **Capitolo 4.1**). Come si vede dal **Grafico 8.7**, il semiasse maggiore è inversamente proporzionale a $1/e$, ciò che è anche confermato dalla teoria. Questo significa che meteore aventi una piccola eccentricità hanno anche un semiasse piccolo, dunque la mia ipotesi, che le meteore rallentate cadono su orbite più interne, mentre quelle accelerate si dispongono su orbite più esterne, è confermata. A lungo andare le particelle, "cadranno" a spirale verso il Sole, come confermato dall'effetto Poynting-Robertson (vedi **Capitolo 4.1**).

Per capirne di più riguardo al comportamento dell'eccentricità in funzione della velocità, ho deciso di rappresentare le eccentricità di più sciami meteorici in funzione della velocità eliocentrica (vedi **Grafico 8.8**). Come si vede dal **Grafico 8.8**, i vari sciami meteorici hanno una loro caratteristica retta. Tutte le rette si incontrano all'incirca nel punto caratterizzato da velocità pari a 42 km/s e eccentricità pari a 1, ed è anche logico visto che è la velocità di fuga. Credo si ora ammissibile ipotizzare che ogni sciame meteorico abbia una pendenza della retta dell'eccentricità in funzione della velocità eliocentrica che lo caratterizza. La velocità equivale a quella del momento di osservazione, dunque la pendenza della retta è determinata anche dal punto in cui la terra interseca lo sciame di detriti. La differenza delle pendenze tra i vari sciami è dovuta dal punto in cui l'orbita terrestre interseca quella dello sciame meteorico e dall'orbita dello sciame. La velocità delle meteore è un criterio di valutazione per capire se la meteora osservata fa parte di uno sciame meteorico. I software della SonotaCo per catalogare le meteore di sciami non si basano solatanto sul radiante di provenienza, ma anche sulla velocità della meteora in questione. Infatti, alcune meteore provenienti dallo stesso radiante delle Persedi non vengono catalogate ad esse a causa della differenza di velocità troppo netta.

Come si sa, in un'orbita, diversa da una circolare, la velocità eliocentrica cambia in continuazione in funzione della posizione dell'oggetto nell'orbita. Una meteora quando si trova molto vicino al perielio della sua orbita sarà più veloce di una che invece si trova ancora distante dal perielio. Dunque, la pendenza delle rette dipende dal punto di intersezione tra l'orbita della cometa e quella terrestre. Se ipotizzassimo che due sciami intersechino l'orbita della terra nello stesso punto, allora la velocità delle loro particelle dipende dalla distanza al perielio dell'orbita. Per semplificare li chiamerò sciame "A" e sciame "B" (vedi **Figura .1**). Poniamo che "A" e "B" abbiano una identica eccentricità, ma una distanza al perielio diversa ($q_A < q_B$). Come si vede dalla **Figura .1**, la terra attraversa i due sciami contemporaneamente. Come abbiamo visto nel **Grafico 8.6** e nel **Grafico 8.8** la loro eccentricità è direttamente proporzionale alla velocità al momento dell'osservazione. La velocità in un'or-

bita ellittica aumenta con l'avvicinarsi al perielio, visto che lo sciame "B" ha una distanza al perielio maggiore di "A", la velocità delle sue particelle sarà minore di quelle di "A". E poiché la velocità è proporzionale all'eccentricità, e $e_A = e_B$, la pendenza dell'eccentricità in funzione della velocità di "B" sarà minore di quella di "A".

Riprendendo il mio ragionamento iniziato in precedenza, nel quale mi interrogavo sul perché le meteore di sciame si sparpagliano su orbite aventi lo stesso rapporto $e/\nu_{eliocentrica}$; posso aggiungere che le particelle subiscono una decelerazione o un'accelerazione, dovute al vento solare, che fanno variare direttamente la velocità del meteoroidi. Il cambiamento di eccentricità è un risultato dovuto al cambiamento di velocità, non vedo come l'interazione vento solare - meteoroidi, possa direttamente contribuire ad un cambiamento di eccentricità.

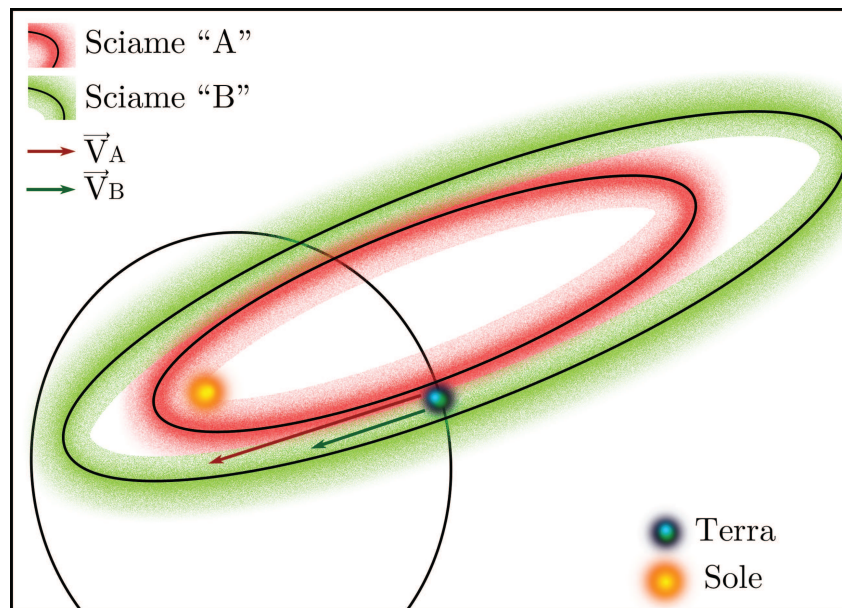


Figura 9.1: Schema di due sciami meteorici ideali con eccentricità identica. (Elaborazione personale.)

9.2.2 Semiasse maggiore

Riguardo alla distribuzione della frequenza relativa in funzione del semiasse maggiore, rappresentata nel **Grafico 8.2**, la maggior parte dei meteoroidi si distribuisce su orbite più piccole e di conseguenza più circolari (vedi **Grafico 8.7**). Nel grafico $a = 0$ equivale a una circonferenza, mentre $a < 0$ equivale ad un'iperbole. La parabola ha un ipotetico semiasse maggiore infinito. Come si vede le meteore registrate in Europa, sia A che B, mostrano una evidente propensione a orbite più interne. Mentre quelle giapponesi, hanno pur sempre un picco in orbite inferiori a quella del corpo progenitore, ma sono più omogeneamente distribuite. Questa differenza potrebbe derivare dai differenti criteri utilizzati per calcolare le orbite. La distribuzione delle particelle in un'orbita più interna a quella della 109p/Swift-Tuttle, è in concordanza con l'effetto Poynting-Robertson. Posso dunque affermare che, anche con questo grafico la mia ipotesi nella maggior parte dei casi è confermata. Inoltre, molto probabilmente, le particelle accelerate sono salite in orbite più esterne, avendo così

semiassi maggiori, più grandi della cometa madre. Il fatto che i meteoroidi non siano simmetricamente distribuiti rispetto all'orbita della cometa madre, è probabilmente dovuto a una persistente presenza del vento solare e all'effetto Poynting-Robertson.

9.2.3 Inclinazione

Il **Grafico 8.3** mostra la distribuzione della frequenza relativa in funzione dell'inclinazione dell'orbita delle meteore classificate come Perseidi. Come si può vedere tutte e tre le serie di dati hanno lo stesso tipo di distribuzione. La distribuzione mostra un massimo centrale attorno al valore del corpo progenitore. La distribuzione dimostra che la maggior parte dei meteoroidi appartenenti allo sciame non si discosta molto, per quanto riguarda l'inclinazione, dalla Swift-Tuttle. Come evidenziato dal **Grafico 8.9**, l'inclinazione non ha apparentemente alcuna relazione con la velocità. Ipotizzo dunque che la differenza di inclinazione è da attribuire all'iniziale espulsione delle particelle dalla chioma della cometa. Non credo che la continua corrente del vento solare possa causare cambiamenti dell'inclinazione.

9.2.4 Longitudine del nodo ascendente

La distribuzione delle frequenze relative in funzione del nodo ascendente, presenta una distribuzione piuttosto "caotica", come riscontrabile da una analisi del **Grafico 8.4**. Ciononostante la maggioranza delle meteore ha un valore simile a quello della cometa madre. Le orbite, per quanto riguarda la longitudine del nodo ascendente, non si discostano molto dall'orbita della Swift-Tuttle.

9.2.5 Argomento del Perieliio

Il **Grafico 8.5** mostra la distribuzione della frequenza relativa in funzione dell'argomento del Perieliio. Come si vede, la maggior parte delle particelle sono concentrate in un picco centrale avente valori simili al valore ideale. Come nel caso della longitudine del nodo ascendente, le orbite non si discostano molto dall'orbita della Swift-Tuttle.

9.3 Interpretazione del Radiante

Come mostrato nei **Grafici 8.10** e **8.11**, il radiante ha una forma circolare e tutte le meteore sembrano provenire da una zona circoscritta del cielo. Il grafico riguardante le meteore osservate in Giappone mostra un radiante di forma ovale. L'origine di questa differenza potrebbe essere ricercata nei differenti criteri utilizzati. Come già detto, i criteri di valutazione delle orbite utilizzati dalla SonotaCo sono poco severi ed è possibile che alcune orbite presentino ampi errori.

10 | Conclusioni

10.1 Conclusioni inerenti allo studio delle Perseidi

L'obiettivo del mio studio era quello di cercare di individuare la struttura dello sciame delle Perseidi. Dall'interpretazione dei risultati, mi sono fatto un'idea più chiara riguardo lo sciame delle Perseidi. Grazie ai grafici e alla loro interpretazione, sono riuscito a identificare la struttura delle Perseidi. Vista la difficoltà di esporre a parole la mia ipotesi, ho preferito rappresentarla in immagini con: una vista laterale dello sciame, una proiezione ed infine una sua sezione. Per costruire la sua sezione mi sono servito dei grafici del tasso zenitale orario. Come si vede dalla **Figura 5.1** lo sciame presenta al suo interno una zona ampia e rada di particelle. Le prime quattro settimane di attività mostrano una debole pioggia. Ciò significa che internamente lo sciame mostra una zona poco densa di particelle. A quattro settimane di debole attività si è seguita una settimana di forte attività, nella quale è raggiunto il TOZ massimo. Lo sciame presenta dunque una zona più densa di particelle. L'ultima settimana di attività è di nuovo debole, lo sciame dunque si dirada in maniera meno estesa rispetto al suo interno (vedi **Figura 10.1**).

Come già affrontato nel **Capitolo 9.2.3**, l'inclinazione delle particelle è simmetricamente distribuita attorno a quella della Swift-Tuttle. La **Figura 10.2** mostra la mia ipotetica visione laterale dello sciame delle Perseidi.

Infine la **Figura 10.3** mostra le orbite delle Perseidi, proiettate sul piano dell'eclittica, distribuite in una nube attorno all'orbita del corpo progenitore (in rosso). L'immagine è stata sviluppata su una riflessione analoga a quella sviluppata nel **Capitolo 9.2.1**.

Il mio tentativo di individuare lo sciame delle Perseidi rimane un esperimento. Come già detto nel **Capitolo 4**, è difficile sviluppare una teoria riguardante la creazione degli sciami meteorici. Nascono sotto l'influsso di innumerevoli fattori, che rendono una sfida il tentativo di costruirne un modello. La soluzione adatta è quella di rappresentare in una mappa dello spazio tutte le orbite delle meteore simultaneamente osservate. Purtroppo, UFO radiant, il programma adibito a questo tipo di rappresentazioni è ancora più complicato dei software precedentemente citati. I miei tentativi di utilizzarlo sono purtroppo falliti, inoltre il manuale redatto in lingua giapponese non aiuta. Con l'ausilio di questo software sarebbe stato possibile rappresentare in modo reale tutte le orbite delle meteore osservate nello spazio. Ciononostante il suddetto software non avrebbe permesso di verificare le mie ipotesi riguardanti il difficile processo di formazione degli sciami meteorici.

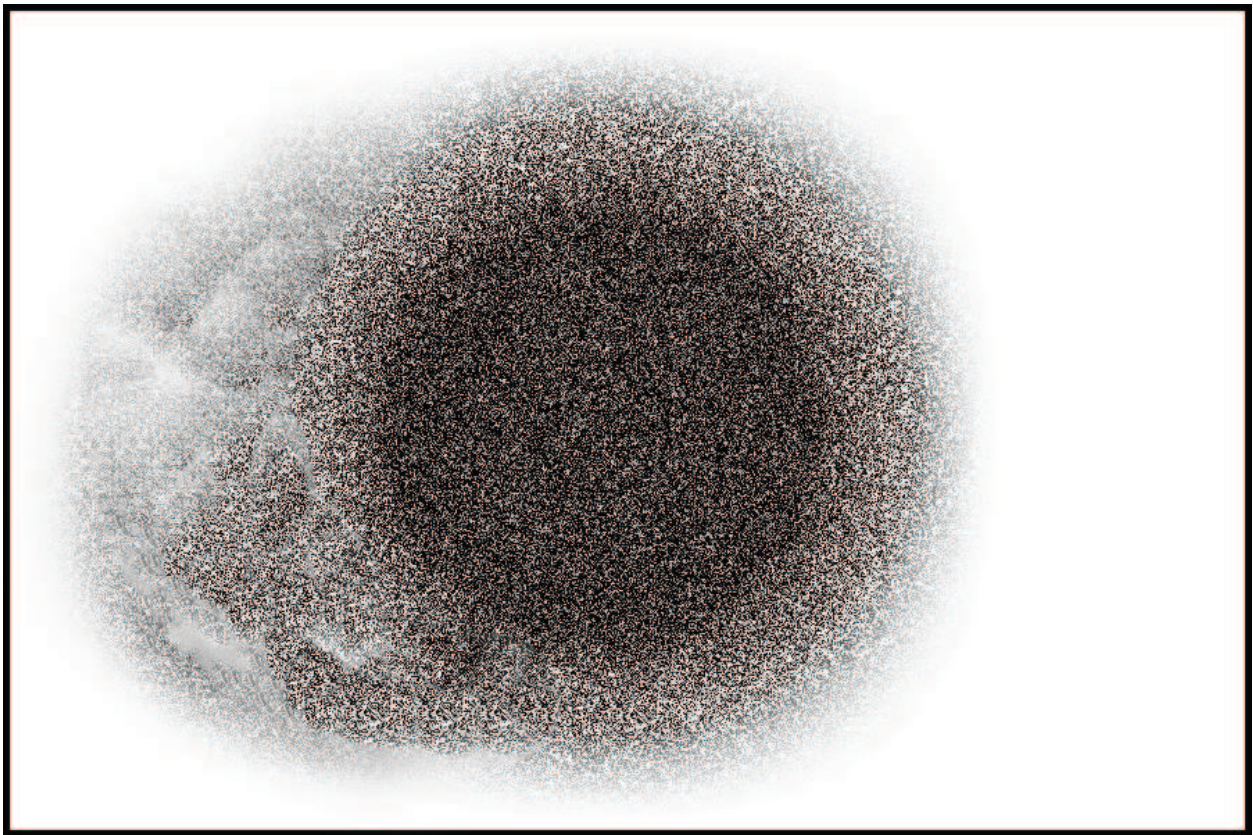


Figura 10.1: Sezione dello sciame delle Perseidi. (Elaborazione personale.)

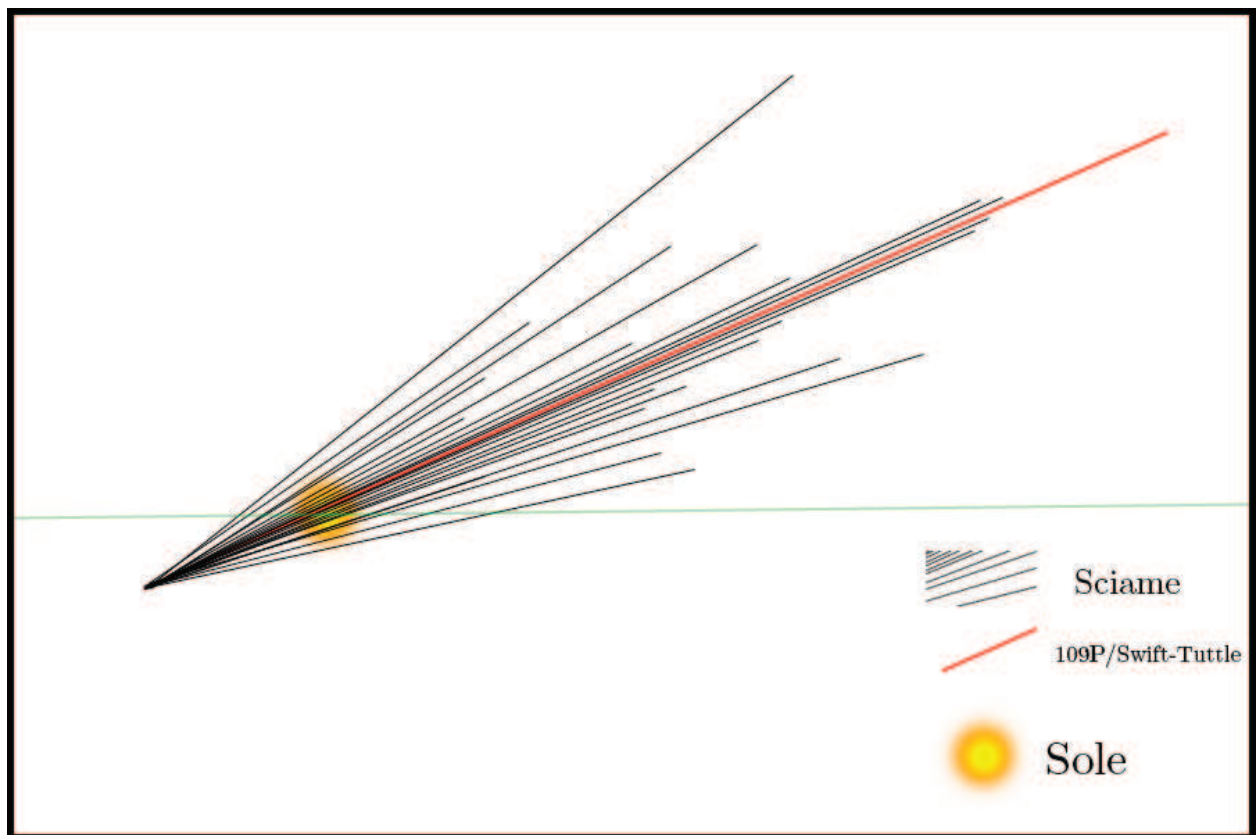


Figura 10.2: Visione laterale dello sciame delle Perseidi. (Elaborazione personale.)

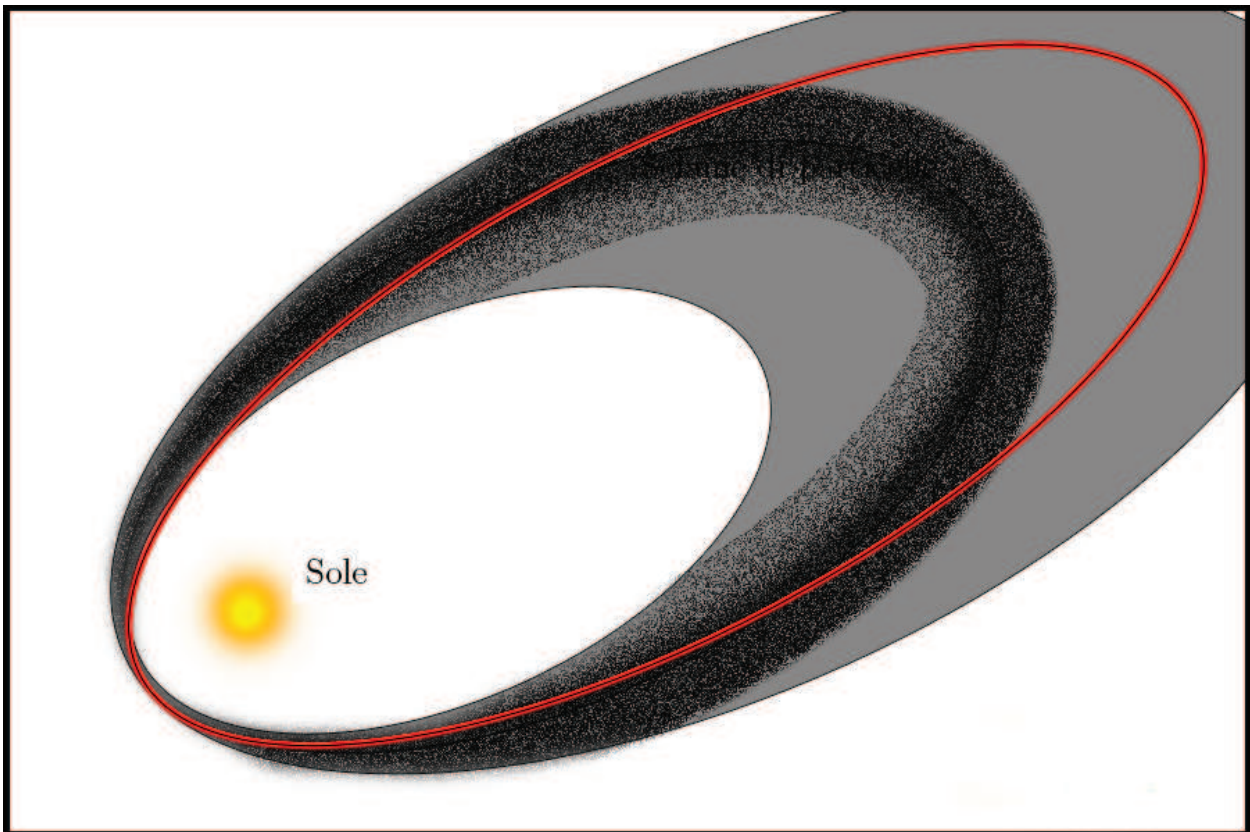


Figura 10.3: Proiezione sul piano dell'eclittica, delle orbite delle particelle dello sciame delle Perseidi. (Elaborazione personale.)

10.2 Conclusioni generali

Il mio interesse (inizialmente da spettatore) per l'astronomia mi ha permesso di affrontare il LaM con entusiasmo e voglia. Lo studio delle Perseidi mi ha portato a sviluppare ragionamenti difficili e ad affrontare sfide a livello interpretativo dei risultati. La sfida maggiore è stata nel dover ragionare su fenomeni come l'erosione dei nuclei della cometa poiché vanno affrontati in un sistema tridimensionale. I ragionamenti affrontati sono stati un ottimo allenamento per la mente. Nel corso del mio studio ho affrontato riflessioni riguardanti fenomeni extraterrestri, utilizzando diversi punti di vista. Questo modo di ragionare, non abituale, è particolarmente denso di ostacoli.

Concludo dicendo che è proprio la difficoltà dell'universo a rendere affascinante il suo studio. Le infinite teorie e ipotesi elaborate dai fisici teorici rispecchiano il tentativo di interpretare i caotici fenomeni del cosmo.

La cosa più incomprensibile dell'Universo è che esso sia comprensibile.

Albert Einstein

Appendice

A | Informazioni tecniche

A.1 Il radiante

Il radiante, in meteorica, è il punto da cui sembrano provenire le meteore di uno sciame. Il radiante è da molti erroneamente considerato un punto geometrico, senza dimensioni, in realtà un radiante meteorico è un'area, in genere circolare o ellittica, di dimensioni apprezzabili, in genere dell'ordine del grado, ma che per vari sciami con radiante ellittico, può arrivare ad avere dimensioni dell'ordine dei 10° e oltre di semiasse maggiore e oltre 5° di semiasse minore. Ciò nonostante esso ha delle coordinate espresse in gradi: α e δ , rispettivamente ascensione retta e declinazione[25][6].

A.2 La longitudine solare

La longitudine solare è l'angolo misurato tra l'equinozio primaverile dell'emisfero Nord e la posizione della Terra, prendendo come centro il sole.

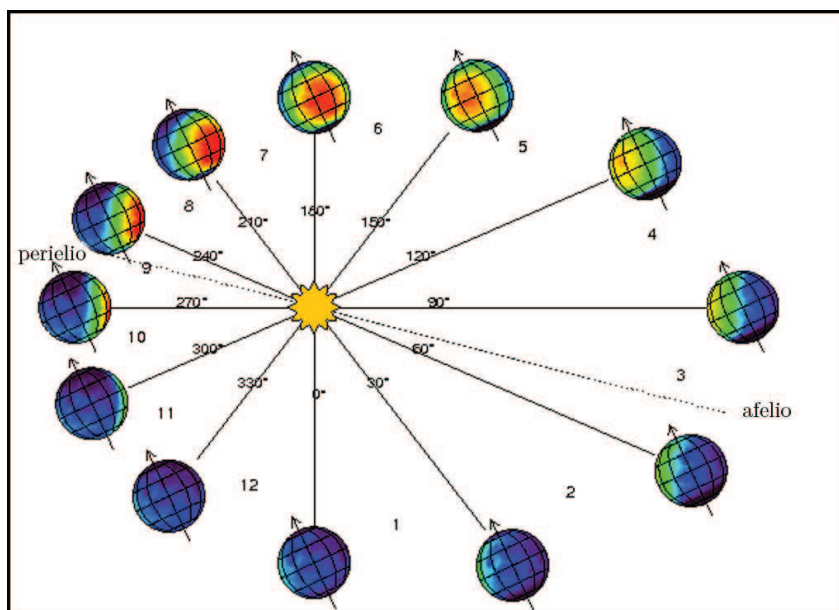


Figura A.1: Longitudine solare. (Fonte: www-mars.lmd.jussieu.fr, dicembre 2013.)

A.3 I parametri orbitali kepleriani

Gli elementi che definiscono la posizione ed il moto di un corpo celeste nella sua orbita attorno ad altro oggetto si definiscono: Parametri orbitali kepleriani (vedi **Figura A.2**). Nell'ipotesi, solo parzialmente vera, che l'azione gravitazionale dei rimanenti corpi sia trascurabile, il moto dei corpi planetari può essere descritto per mezzo delle leggi newtoniane del moto e la legge di gravitazione universale. Da queste si ricavano equazioni che consentono di stabilire, in ogni istante, posizioni e velocità di ciascun corpo per esempio rispetto al Sole [10].

I parametri previsti sono:

- inclinazione (i);
- longitudine del nodo ascendente (Ω);
- argomento del perielio o del pericentro (ω);
- eccentricità (e);
- semiasse maggiore (a) o periodo orbitale (T);
- anomalia vera (θ) oppure l'anomalia media (M_o).

Essi rappresentano:

- il semiasse maggiore (o il periodo) individuano le dimensioni dell'orbita;
- l'eccentricità determina la forma dell'orbita (più schiacciata, meno schiacciata, parabolica, iperbolica,...);
- l'inclinazione e la longitudine (o l'ascensione retta) del nodo ascendente precisano il piano orbitale;
- l'argomento del perielio (o del pericentro) specificano l'orientazione dell'orbita all'interno del piano;
- l'anomalia vera specifica la posizione dell'oggetto sull'orbita in funzione del tempo [20].

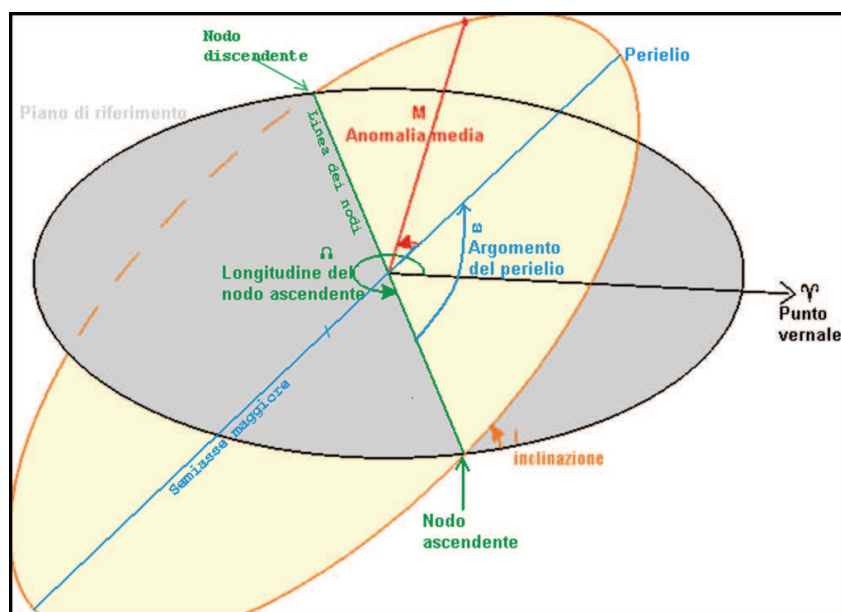


Figura A.2: Parametri orbitali kepleriani. (Fonte: *wikipedia.org*, dicembre 2013.)

A.4 Informazioni riguardanti i dati forniti dai software

Le seguenti tabelle, svolgono il compito di legenda per le tabelle dei dati ottenuti grazie a UFOAnalyzer e UFOOrbit (vedi **Tabella A.2**), facilitando la lettura degli stessi [2]. Per maggiori informazioni contemplate i manuali online sul sito sonotaco.com.

Tabella A.1: Informazioni tecniche riguardanti UFOAnalyzer

Nome	Unità di misura	Spiegazione
Sec	s	<i>durata</i>
Av	$^{\circ}/s$	<i>velocità angolare</i>
ra1	$^{\circ}$	<i>ascensione retta del punto d'inizio</i>
dec1	$^{\circ}$	<i>declinazione del punto d'inizio</i>
ra2	$^{\circ}$	<i>ascensione retta del punto di fine</i>
dec 2	$^{\circ}$	<i>declinazione del punto di fine</i>
Dr	$^{\circ}$	<i>distanza dal presunto radiante</i>
Vo	km/s	<i>velocità geocentrica calcolata</i>
Len	km	<i>lunghezza del tragitto</i>
Voo	km/s	<i>Velocità eliocentrica del radiante associato</i>
Ract	$^{\circ}$	<i>ascensione retta del radiante associato</i>
Dct	$^{\circ}$	<i>declinazione del radiante associato</i>

Tabella A.2: Informazioni tecniche riguardanti UFOOrbit

Nome	Unità di misura	Spiegazione
#	—	<i>numero della meteora</i>
localtime	—	<i>YYMMDD_hhmmss</i>
sol	°	<i>longitudine solare al momento dell'osservazione</i>
amag	—	<i>magnitudine assoluta</i>
ra_o	°	<i>ascensione retta del radiante osservato</i>
_dc_o	°	<i>declinazione del radiante osservato</i>
_vo	<i>km/s</i>	<i>velocità osservata</i>
_vg	<i>km/s</i>	<i>velocità geocentrica</i>
_vs	<i>km/s</i>	<i>velocità eliocentrica</i>
_a	<i>UA</i>	<i>semiasse maggiore</i>
_q	<i>UA</i>	<i>perielio</i>
_e	—	<i>eccentricità</i>
_p	<i>y</i>	<i>periodo</i>
_peri	°	<i>argomento del perielio</i>
_node	°	<i>longitudine del nodo ascendente</i>
_incl	°	<i>inclinazione</i>
_stream	—	<i>sigla dello sciame meteorico</i>
_mag	—	<i>magnitudine osservata</i>
_Qo	°	<i>anomalia media</i>
_dur	<i>s</i>	<i>durata</i>
_lng1	°	<i>longitudine del punto di inizio</i>
_lat1	°	<i>latitudine del punto di inizio</i>
_H1	<i>km</i>	<i>altitudine del punto di inizio</i>
_lng2	°	<i>longitudine del punto di fine</i>
_lat2	°	<i>latitudine del punto di fine</i>
_H2	<i>km</i>	<i>Altitudine del punto di fine</i>
dt	<i>s</i>	<i>differenza di tempo tra le stazioni</i>
GD	<i>km</i>	<i>distanza tra le stazioni</i>
_Y_ut	<i>y</i>	<i>anno (UT)</i>
_M_ut	<i>mo</i>	<i>mese (UT)</i>
_D_ut	<i>d</i>	<i>giorno (UT)</i>
_h_ut	<i>h</i>	<i>ora (UT)</i>
_m_ut	<i>m</i>	<i>minuto (UT)</i>
_s_ut	<i>s</i>	<i>secondo (UT)</i>
_No	—	<i>numero delle osservazioni simultanee</i>

B | Allegato digitale: CD

Il lavoro di maturità è accompagnato da un allegato digitale, ovvero un CD contenente alcuni risultati.

Nelle sezioni sono elencati i contenuti delle corrispondenti cartelle contenute nel CD.

B.1 Documento PDF

Il CD contiene il Lavoro di Maturità finito in formato PDF.

B.2 Tabelle

B.2.1 Gnosca

Contiene le tabelle dei dati forniti da UFOAnalyzer, in seguito all'analisi dei file video fornitimi dal Professor Sposetti, degli anni 2012 e 2013.

B.2.2 EDMOND

Contiene le tabelle dei dati forniti da UFOOrbit, in seguito all'analisi dei file video di tutte le meteore simultaneamente osservate dal 2010 al 2012 in Europa [27]. Contiene anche la tabella di calcolo con la quale ho diviso in classi i dati per rendere possibile l'elaborazione degli istogrammi.

B.3 SonotaCo Network database

Contiene le tabelle dei dati forniti da UFOOrbit, in seguito all'analisi dei file video di tutte le meteore simultaneamente osservate dal 2010 al 2012 in Giappone [9]. Contiene anche la tabella di calcolo con la quale ho diviso in classi i dati per rendere possibile l'elaborazione degli istogrammi.

Fonti

- [1] *McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms*, volume 6E. The McGraw-Hill Companies, Inc, 2013.
- [2] http://sonotaco.com/e_index.html, dicembre 2013.
- [3] Acondriti. <http://it.wikipedia.org/wiki/Acondrite>, ottobre 2013.
- [4] Sang-Hyeon Ahn. *Meteors and showers a millenium ago*, 2002.
- [5] André Brahic. *Les Comètes*. Presses Universitaires de France, 1993.
- [6] Coordinate celesti. http://it.wikipedia.org/wiki/Coordinate_celesti, ottobre 2013.
- [7] La cintura principale degli asteroidi. http://it.wikipedia.org/wiki/cintura_principale_degli_asteroidi, dicembre 2013.
- [8] Condriti. <http://it.wikipedia.org/wiki/Condrite>, ottobre 2013.
- [9] SonotaCo Network database. <http://sonotaco.jp/doc/SNM/>, novembre 2013.
- [10] Associazioni Pordenonese di Astronomia (APA). Elementi orbitali che definiscono un'orbita, <http://www.apaweb.it>, dicembre 2013.
- [11] La Biblioteca di Repubblica. Grande enciclopedia per ragazzi. In Martin Rees, editor, *Universo*, volume 2. Mondadori, 2005.
- [12] Marco Fulle. Motion of cometary dust. Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio Astronomico di Trieste.
- [13] Yu. M. Gorbanev and E. F. Knyaz'kova. *Young Meteor Swarms Near the Sun: I. Statistical Correlation of Meteors with Families of Short-Perihelion Comets*. PhD thesis, Astronomical Observatory, Odessa National University. Odessa, Ukraine., 2013.
- [14] David W. Hughes. [http://en.wikipedia.org/wiki/David_Hughes_\(astronomer\)](http://en.wikipedia.org/wiki/David_Hughes_(astronomer)), dicembre 2013.
- [15] Intranational Meteor Organisation (IMO). *Handbook for Visual Meteor Observation*. Sky Publishing Corporation, 1989.
- [16] Le meteore. <http://it.wikipedia.org/wiki/Meteora>, ottobre 2013.
- [17] Le meteore. <http://meteore.uai.it/>, ottobre 2013.
- [18] Sciami meteorici. http://it.wikipedia.org/wiki/Sciame_meteorico, novembre 2013.
- [19] Tasso orario zenitale. http://it.wikipedia.org/wiki/Tasso_orario_zenitale, dicembre 2013.
- [20] Parametri orbitali. http://it.wikipedia.org/wiki/Parametri_orbitali, dicembre 2013.
- [21] Parametri orbitali 109p/Swift Tuttle. <http://ssd.jpl.nasa.gov/?orbits>, dicembre 2013.
- [22] Perseidi. <http://it.wikipedia.org/wiki/Perseidi>, ottobre 2013.

- [23] Perseidi. <http://www.perseidi.it/>, ottobre 2013.
- [24] Effetto Poynting-Roberson. http://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_Poynting-Robertson, dicembre 2013.
- [25] Radiante. [http://it.wikipedia.org/wiki/Radiante_\(astronomia\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Radiante_(astronomia)), dicembre 2013.
- [26] Mario Sandri. Analisi di sciame meteorici di origine cometaria attraverso tecniche radar e visuali, 2003.
- [27] Leonard Kornoš; Jakub Koukal; Roman Piff; Juraj Tóth. Database of meteor orbits from several european video networks. In *Proceedings of the International Meteor Conference La Palma, Canary Islands, Spain, 20–23 September 2012*, 2012.
- [28] Peter van Musschenbroek. http://it.wikipedia.org/wiki/Pieter_van_Musschenbroek, dicembre 2013.
- [29] Peter Vereš and Juraj Tóth. *Analysis of the SonotaCo video meteor orbits*. PhD thesis, Faculty of Mathematics, Physics and Informatic, Comenius University, Mlynska Dolina, Bratislava, Slovakia.