Mario Sandri, *mario.sandri@gmail.com, www.astronomiavallidelnoce.it*

Echi dal cielo: lo studio degli sciami meteorici

IARA, Astronomia Valli del Noce, PNdR RadioAstronomia UAI, IMO

Abstract
The purpose of this work is to illustrate a standardized procedure that can be used to analyze scientifically the data obtained from radar detections of meteoric echoes.

Il sistema trasmittente-ricevente

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 [1].

La stazione trasmittente è il radar Graves (Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale) nei pressi di Dijon [2]. Questo radar, attivo dal 2003, viene gestito dall'aereonautica militare francese per mappare e catalogare gli oggetti che orbitano nello spazio intorno al nostro pianeta. Graves è stato progettato per rilevare oggetti di dimensioni superiori ai dieci centimetri ed ad oggi ha mappato più di 12000 fra satelliti e detriti spaziali che orbitano attorno al nostro pianeta. Il radar trasmette sulla frequenza di 143.050 Mhz con una potenza dell'ordine di centinaia di kW. La potenza esatta non è conosciuta in quanto è coperta da segreto militare. Graves trasmette un segnale continuo utilizzando quattro antenne direttive che puntano il segnale verso lo spazio.

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

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

- numero progressivo evento
- numero evento nell'ora
- data e orario (UT)
- lunghezza eco (solo per gli apparati più evoluti)

Procedura di analisi dei dati radio

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

Innanzitutto si seleziona un periodo di attività dello sciame. La prima operazione da effettuare è quella di ottenere il tasso orario HR (hourly rate) andando a sommare tutti gli eventi registrati per ogni ora.

Successivamente si seleziona il periodo incentrato sul massimo teorico dello sciame.

I dati così ottenuti tuttavia non possono ancora essere manipolati in quanto è necessario effettuare ancora due fondamentali operazioni al fine di eliminare gli errori di contaminazione: la sottrazione dell'attività meteorica sporadica (background sporadico) e l'eliminazione dei dati in cui il radiante si trova sotto l'orizzonte [3].

Uno sciame meteorico è caratterizzato 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 (variazione diurna) sia a lungo periodo (variazioni stagionali). Per minimizzare gli errori causati dalla presenza del fondo sporadico si va a mediare i flussi sporadici in alcuni giorni in cui non vi è l'attività dello sciame, con l'accorgimento tuttavia di non selezionare giorni troppo lontani dal periodo di attività dello sciame considerato. Questa scelta è fatta per minimizzare eventuali fluttuazioni stagionali del background sporadico. Inoltre, il fondo è campionato ad intervalli orari e sottratto nelle ore in cui è investigato lo sciame per ridurre al minimo gli effetti dovuti alla variazione diurna [3].

L'attività meteorica di uno sciame può essere rilevata unicamente se il suo radiante si trova sopra l'orizzonte dell'osservatore. Per tale ragione è indispensabile valutare quando il radiante dello sciame meteorico è visibile [3]. Questa procedura sembrerebbe andare a discapito di una completa analisi dell'attività dello sciame in tutte le sue fasi giornaliere in quanto lo sciame potrebbe esibire peculiarità quando il suo radiante non è

osservabile. Tuttavia è un'operazione indispensabile per osservare le caratteristiche dello sciame osservate dallo strumento. Come funzione di osservabilità del radiante *O(t)* è stata utilizzata la seguente formula:

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

dove h_r rappresenta l'altezza del radiante.
Dal profilo così ottenuto è possibile ricavare la longitudine del massimo con relativo errore.
Per ottenere la latitudine solare in corrispondenza di una certa data e un certo orario, espresso in Tempo Universale, si è utilizzata la seguente formula [6]:

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

Per i valori tabulati della longitudine solare si possono utilizzare i dati dell'IMO.

Esempio
Utilizzando i dati a campione, questi inizialmente sono stati graficati utilizzando diverse tecniche. La prima di queste è una tecnica bidimensionale che illustra il tasso orario in funzione dei giorni.

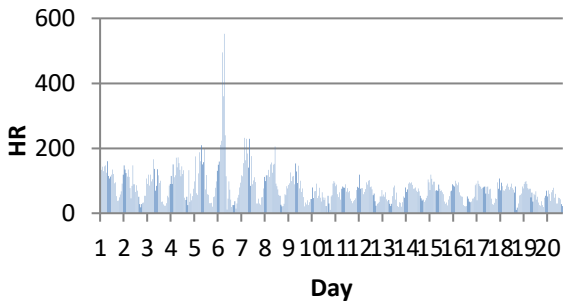

Figura 3. *Il grafico mostra il tasso orario in funzione dei giorni di indagine*

La seconda è tridimensionale, che meglio illustra l'attività dello sciame non solo in funzione del giorno ma anche dell'ora.

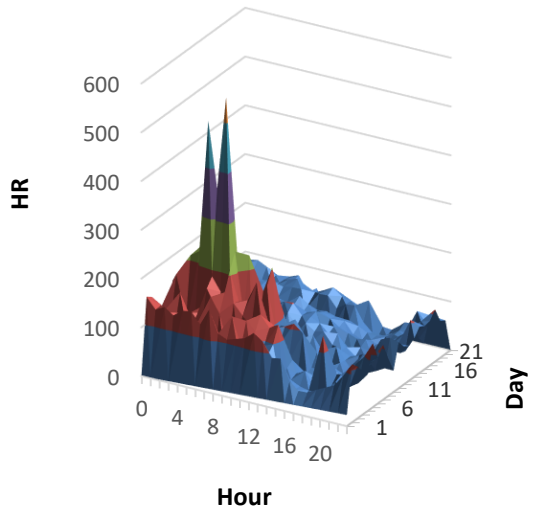

Figura 4. *Il grafico mostra l'attività dello sciame nel periodo selezionato. Sull'asse delle ordinate vi è l'ora, su quello delle ordinate il giorno e la quota rappresenta il tasso orario*

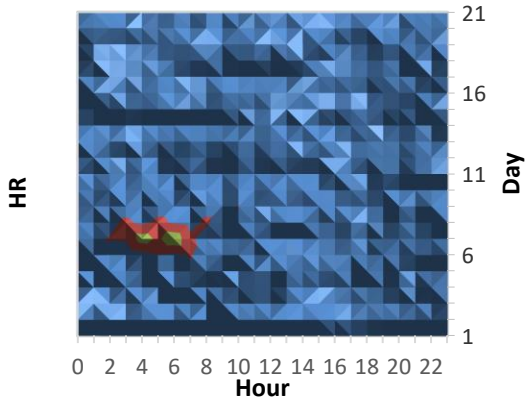

Figura 5. *Il grafico mostra l'attività dello sciame nel periodo selezionato. Sull'asse delle ordinate vi è l'ora, su quello delle ordinate il giorno e la quota, identificata dalla variazione di colore, rappresenta il tasso orario*

Successivamente è stato ottenuto il profilo di attività dello sciame durante il periodo del massimo di attività.

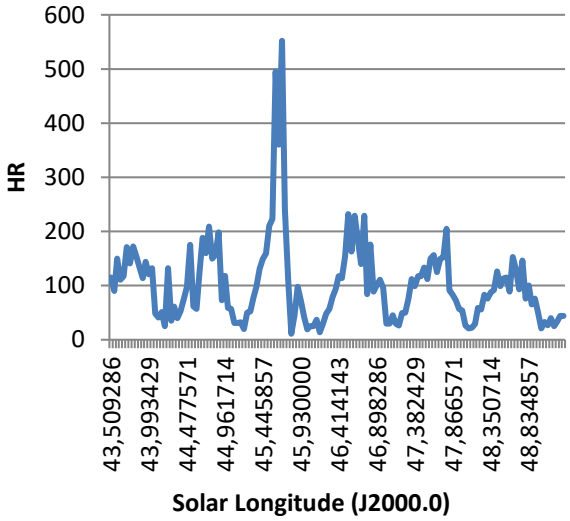

Figura 6. *Il grafico mostra il tasso orario in funzione della longitudine solare durante il periodo di massimo*

Infine sono state applicate le due correzioni precedentemente illustrate, la prima è la sottrazione del background sporadico.

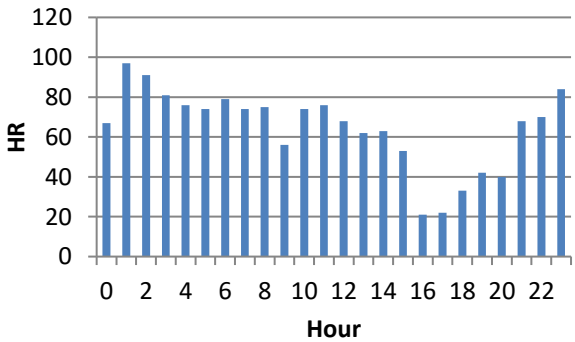

Figura 7. *Il grafico mostra l'andamento previsto per l'attività sporadica in funzione delle ore*

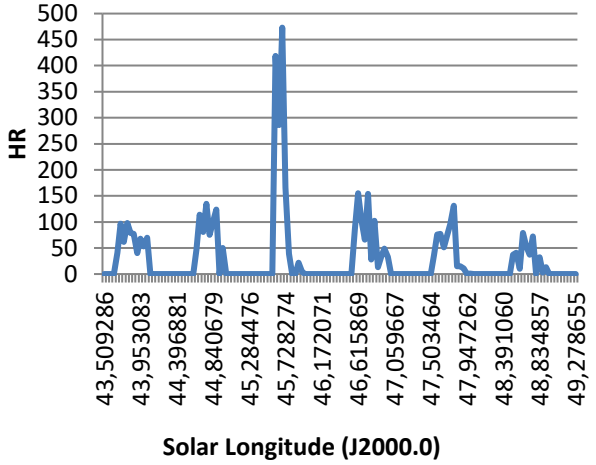

Figura 8. *Il grafico mostra il tasso orario in funzione della longitudine solare durante il periodo di massimo corretto per sottrazione del background sporadico*

La seconda correzione applicata è quella per l'altezza del radiante.

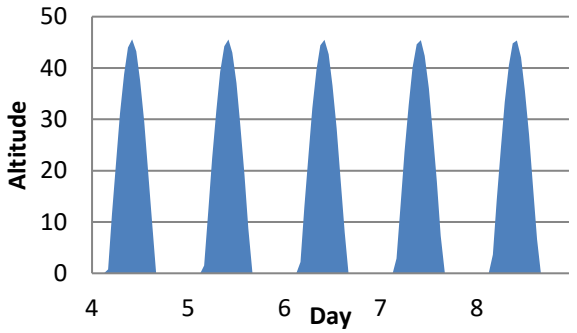

Figura 9. *Il grafico mostra l'andamento previsto per l'altezza del radiane in funzione dei giorni di indagine*

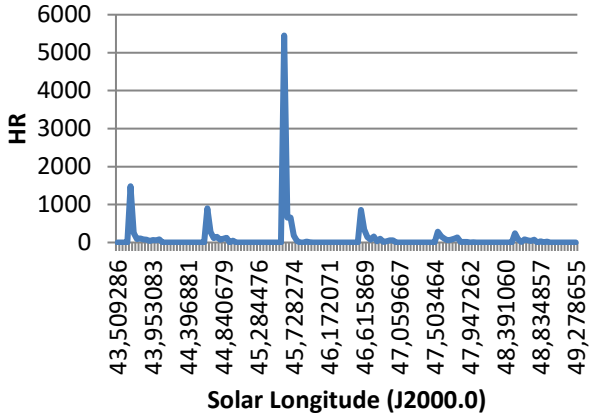

Figura 10. *Il grafico mostra il tasso orario in funzione della longitudine solare durante il periodo di massimo corretto per sottrazione del background sporadico e altezza del radiante*

Si è ottenuto il profilo dell'attività "vera" dello sciame. Non sono state eseguite normalizzazioni sul profilo di attività né sono state fatte valutazioni sul tasso orario.

Dati in rete

Per chi non dispone di un apparato ricevente è possibile utilizzare i dati prelevabili gratuitamente dall'archivio internet del Radio Meteor Observation Bullettins (RMOB).

I dati raccolti dagli osservatori del RMOB utilizzano la tecnica del meteor scatter.

La procedura di analisi è quella illustrata precedentemente.

Somma di profili di osservatori diversi

Non esistendo una tecnica standard che permetta di analizzare tali dati, si è creata una procedura di analisi consistente con le usuali procedure che si adottano in ambiti simili [2].

Innanzitutto si selezionano quegli osservatori che hanno un numero sufficiente alto di osservazioni durante tutto periodo in esame.

Per ognuno di essi si valuta in maniera approssimativa l'andamento dell'attività meteorica dello sciame in esame. Si valuta il giorno del massimo.

I dati così selezionati tuttavia risentono di due fattori di disturbo: il primo si riferisce al background sporadico ed il secondo all'effettiva visibilità dello sciame durante il giorno del massimo. Per correggere la prima causa di errore si utilizzata la procedura di sottrazione del background. La seconda procedura è quella di cancellare quei dati che sicuramente non sono caratterizzanti lo sciame. In effetti, uno sciame meteorico è osservabile solo se il suo radiante si trova sopra l'orizzonte. In questo caso va creata per ciascun osservatore una curva di visibilità dello sciame.

Per ogni osservatore va creato il profilo di attività dello sciame durante il massimo. Il profilo va normalizzato al valore massimo in quanto attraverso questa operazione è possibile confrontare e lavorare sui diversi profili.

Utilizzando i diversi set di dati è possibile ricreare il profilo comune dell'attività dello sciame. Tale profilo è ricavato utilizzando la funzione media nei vari intervalli orari ed il risultato ottenuto va normalizzato al valore massimo in modo che il picco sia caratterizzato da un valore pari ad 1.

Viene così ricavato il grafico tasso normalizzato in funzione della longitudine solare.

Ulteriori correzioni dei dati

Alle due precedenti correzioni possiamo aggiungerne altre due, unicamente se si ha a disposizione la durata dell'eco. Tali procedure sono professionali e generalmente non vengono considerate nelle trattazioni amatoriali.

Correzione per il dead-time. Un radar è in grado di rilevare un eco alla volta e questo significa che se vi è la presenza contemporanea di due o più echi, solo uno viene rilevato. La correzione per il dead-time è particolarmente indicata per sciami attivi, ma che non presentano una eccessiva attività, come nel caso di tempeste meteoriche, in quanto vi è la sovrapposizione di innumerevoli echi meteorici e questo rende inaffidabile tale procedura.

Correzione per effetti chimici. Esistono principalmente tre effetti che concorrono alla dissipazione di una scia meteorica:

- diffusione ambipolare

- ricombinazione
- attaccamento.

Analisi indice di massa
Tale analisi permette di ricavare la distribuzione in massa dei meteoroidi che compongono lo sciame.
L'indice di massa è un parametro che permette di stabilire come è distribuita la materia all'interno di uno sciame ed è dunque un tracciante di possibili strutture complesse.
L'aumento dell'indice di massa corrisponde sia all'aumento del numero di piccole particelle, ma anche all'area della sezione d'urto a parità di massa totale.

Concentrazione ozono mesosferico
Tale analisi permette di studiare la distribuzione e la variazione dell'ozono nella zona di atmosfera denominata mesosfera.
L'impossibilità di associare ad ogni meteora un'altezza, non consente di confrontare misure di ozono ottenute riferendosi a sciami diversi e ciò che si può fare è:

- studiare le variazioni su scala annuale delle concentrazioni di ozono a quote comprese fra 80 e 100 km, confrontando da un anno all'altro le misure ottenute per uno stesso sciame
- evidenziare le variazioni su scala giornaliera.

Bibliografia

[1] Sandri M., *Astronomia UAI*, **6**, 21-27 (novembre-dicembre 2006)
[2] http://www.itr-datanet.com/~pe1itr/graves/
[3] Newton H.A.: *American Journal of Science, Series 2*, **36**, 148-149 (1863)
[5] Denning W.F.: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **72**, 423-451 (1912)
[6] Herschel A.S.: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **36**, 210 (1876)
[7] Corder H.: *The Observatory*, **2**, 103 (1879)
[8] Herschel A.S.: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **38**, 379 (1878)
[9] *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **90**, 158, November (1929)
[10] *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **95**, 604, May (1935)
[11] Clegg J.A., Hughes V.A., Lovell A.C.B., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **107**, 369-378 (1947)
[12] Hajduk A., *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, **24**, 9-11 (1973)
[13] Yeomans D.K., Kiang T., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **197**, 633-646 (1981)
[14] McIntosh B.A., Hajduk A., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **205**, 931-943 (1983)
[15] *Meteor News*, **7**, 5, August (1971)
[16] Sandri M., *Astronomia UAI*, **6**, 26-29 (luglio-agosto 2007)
[17] Sandri M., *Astronomia UAI*, **3**, 27-33 (maggio-giugno 2010)
[18] http://www.imo.net
[19] Molau S., Kac J., Berko E., Crivello S., Stomeo E., Igaz A., Barentsen G., Goncalves R., *WGN*, **41:4**, 133-136 (agosto 2013)