

Meteor Scatter nelle VHF

Convegno Nazionale VHF 2013
ARI Associazione Radioamatori Italiani



EUMETSAT

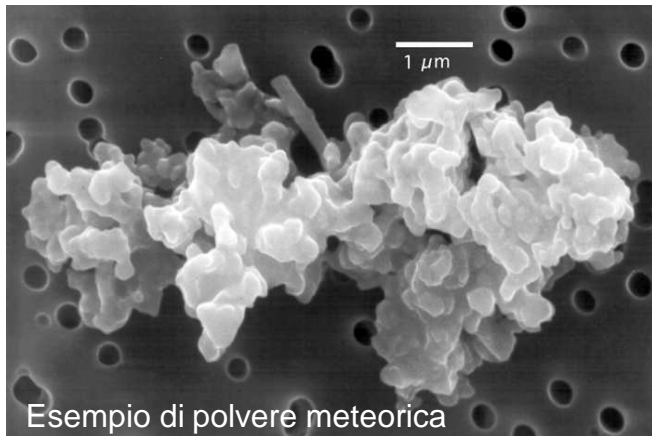
Immagine dal satellite del meteorite caduto in Russia il 15.02.2013

Il Flusso meteorico

Si calcola che quotidianamente entrino nell'atmosfera alla velocità dell'ordine dei 100.000 Km/ora qualche decina di miliardi di micro meteoriti di diametro variabile da qualche micron (pulviscolo cosmico) a qualche mm, senza contare le particelle di dimensioni più grandi. L'ablazione avviene all'altezza dello strato E, dove le possibilità di collisione con le molecole dei gas sono maggiori (per effetto dell'elevata densità).

Abbiamo due tipi di flusso meteorico:

- **Random Meteor Stream**
- **Meteor Shower**



Esempio di polvere meteorica

Typical Composition:

Iron Meteorite	Stony meteorite	
Iron 91%	Oxygen	30%
Nickel 8.5%	Iron	26%
Cobalt 0.0%	Silicon	18%
	Magnesium	14%
	Aluminum	11.5%
	Nickel	11.4%
	Calcium	11.3%

Source:
Encyclopaedia Britannica

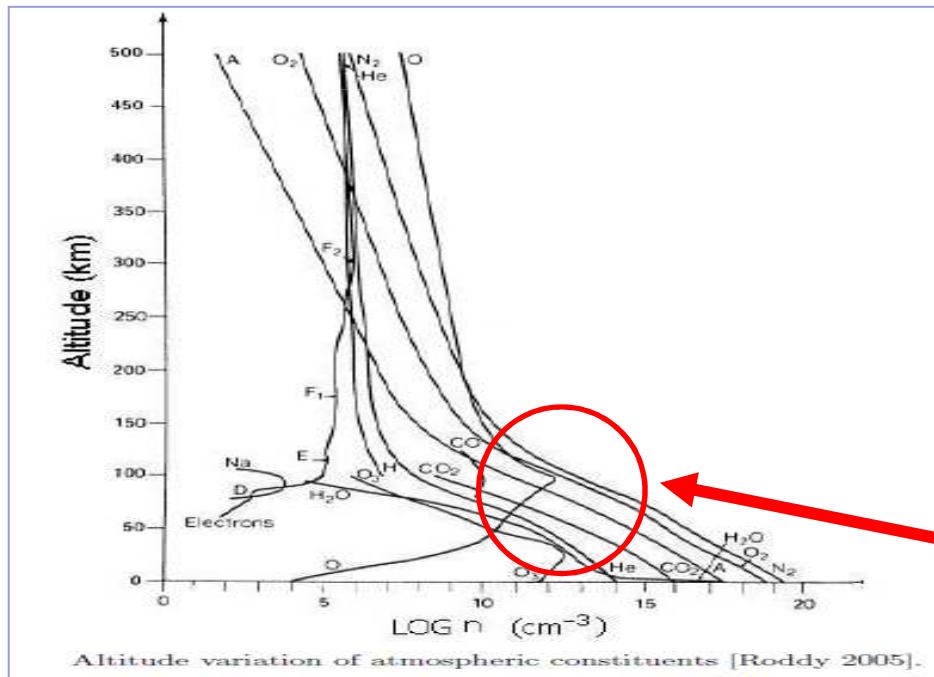
Some Prominent Meteor Showers

Name	Date of Maximum	Radiant	Maximum Meteors Per Hour	Storms
Draconids	June 30	Draco, near handle of Big Dipper	10-100	No
Geminids	December 14	Gemini	58	No
Leonids	November 17	Leo	10, except for storms	About every 33 years
Lyrids	apr-22	Lyra, near Vega	15	No
Orionids	October 21	Orion	30	No
Perseids	August 12	Perseus	50-100	No
Quadrantids	January 4	Bootes	110	No
Taurids	November 5	Taurus, near Pleiades	10, many fireballs	Yes, irregularly

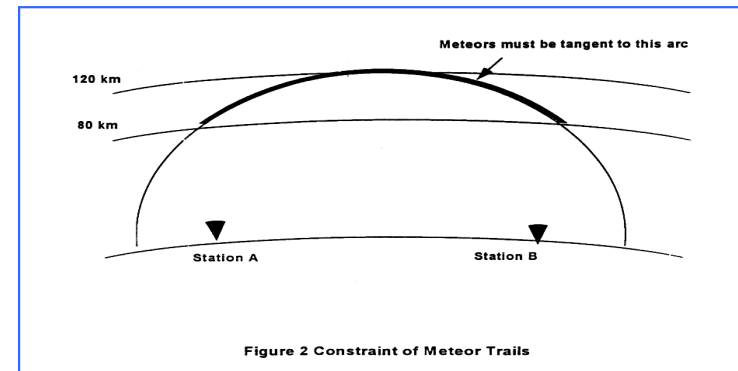
Processi di dissipazione di una scia ionizzata

Quando una meteora entra nell'atmosfera terrestre, per attrito si surriscalda con conseguente formazione di una scia altamente ionizzata. Avviene poi una dissipazione dove concorrono vari processi:

1. Diffusione elettronica nell'ambiente circostante e lungo la traccia
2. Ricombinazione elettronica con gli ioni
3. Associazione degli elettroni con le molecole dell'aria



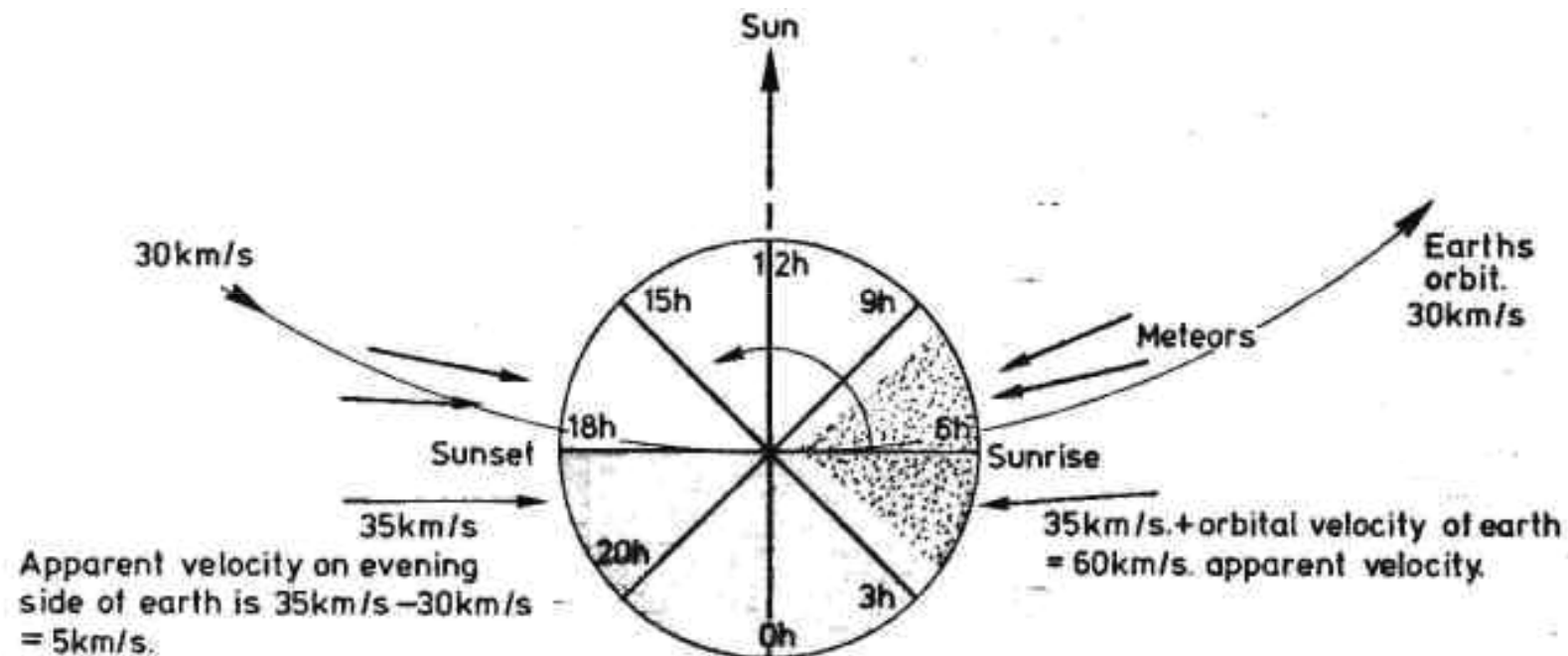
Constituenti dell'atmosfera in funzione dell'altezza



Il processo di ablazione avviene a circa 100 Km di quota, dove la densità molecolare diventa elevata

Il movimento della Terra

Il picco massimo di flusso meteorico avviene attorno al 6:00 AM ora locale.
Tra la mezzanotte e l'alba la terra si muove impattando direttamente il flusso meteorico.
In questo intervallo le meteore raggiungono la massima velocità di entrata



The path of the earth intercepts more sporadic meteors at sunrise than it does at sunset.

Velocità e durata delle scie ionizzate

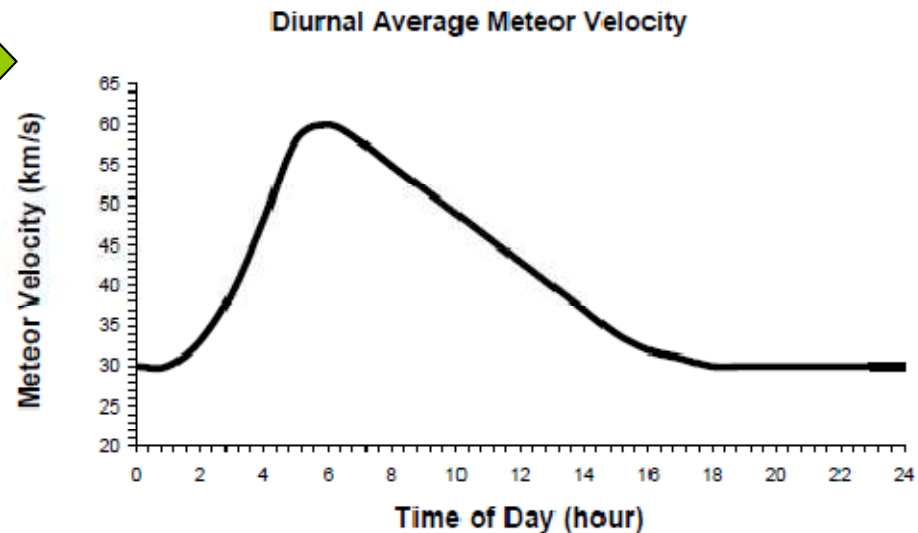
Per l'attrazione gravitazionale della Terra, la velocità minima con cui un meteoroido entra nell'atmosfera terrestre è di circa 12 km/s mentre la velocità massima dipende dall'origine del corpo e dalla direzione del suo moto. Essa, perciò, risulta essere di circa 72 km/s, come somma della velocità della Terra attorno al Sole (29.7 km/s) e della velocità di fuga di una particella dal Sistema Solare in prossimità della Terra (42.1 km/s).

Per effetto del moto di rivoluzione terrestre il picco di velocità si raggiunge all'alba



Durata

Le Scie meteoriche notturne presentano una durata maggiore rispetto a quelle diurne, questo perché la densità di elettroni è al suo minimo durante la notte



Modello semplificato della variazione di velocità diurna

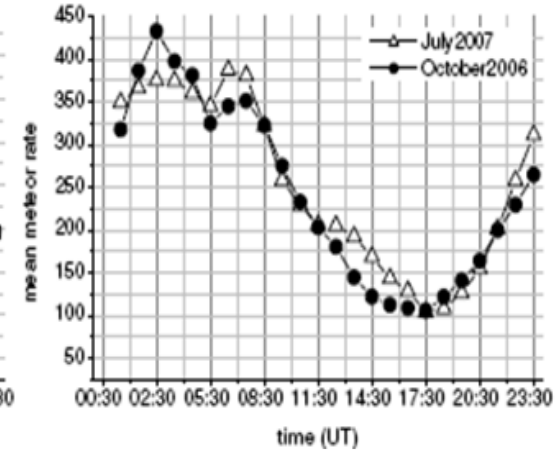
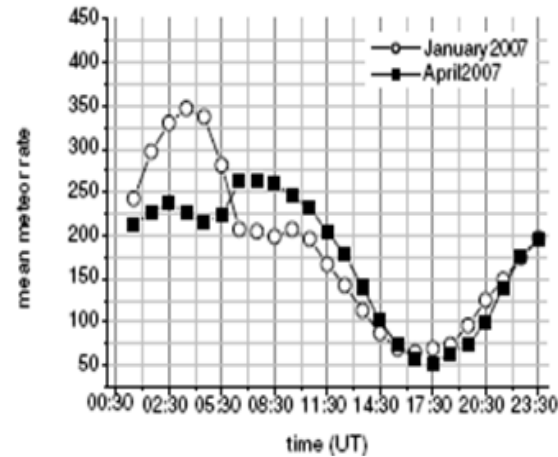
Courtesy:Annales Geophysicae

Variazioni del flusso meteorico

Il flusso di meteoriti non è costante ma presenta delle significative variazioni giornaliere e stagionali

Variazione diurna

Il picco massimo si verifica al mattino prima dell'alba, poi decresce progressivamente

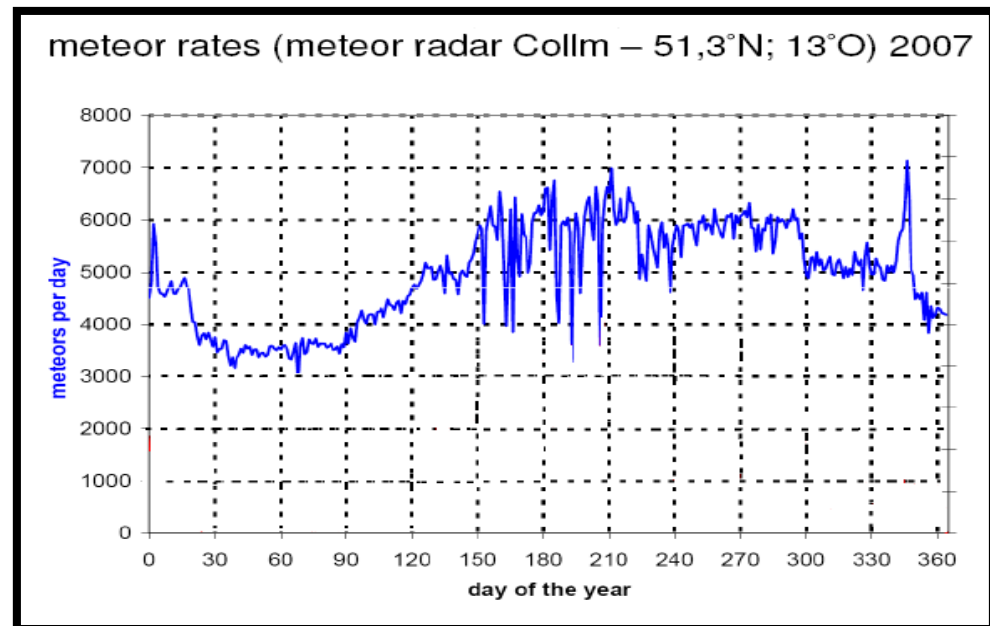


Variazione stagionale

Il flusso maggiore avviene nei mesi estivi



Il flusso è circa 6 volte superiore durante i mesi estivi. Ciò è dovuto all'inclinazione di 23° dell'asse di rotazione terrestre

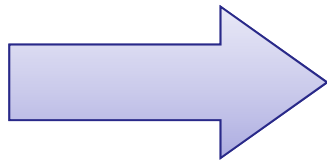


Courtesy: Collm meteor radar

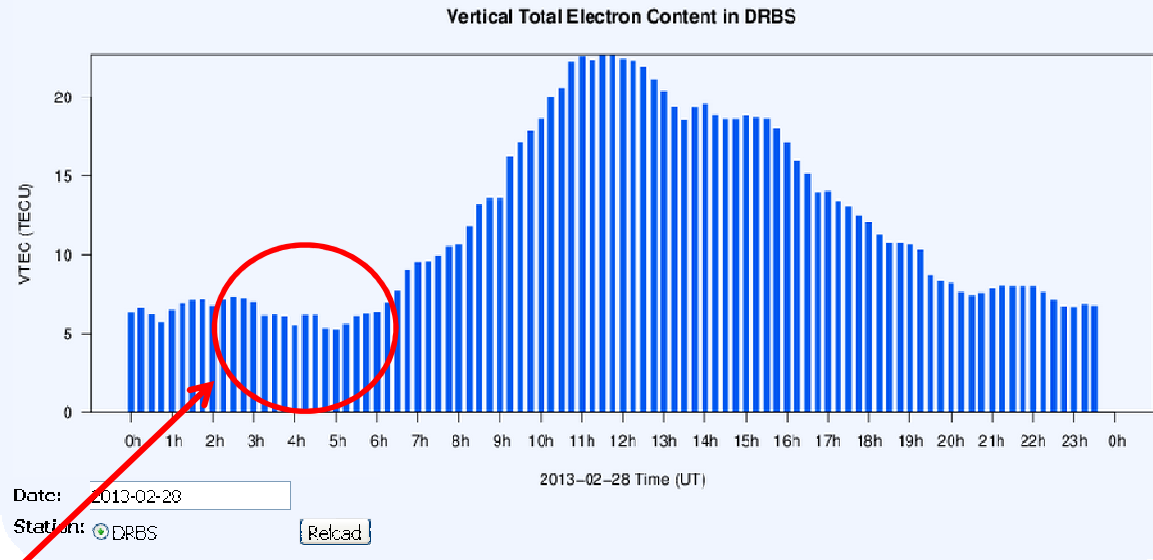
TEC Total electron content

Il periodo migliore è il mattino prima dell'alba in quanto si sommano due effetti favorevoli: il maggior numero di meteore e la minima ionizzazione della Ionosfera. Quindi data la bassa densità di ioni notturna, i tempi di ricombinazione sono più lunghi con il risultato di una maggiore persistenza di elettroni liberi nella scia.

Prima dell'alba c'è il minimo di ionizzazione



Vertical Total Electron Content

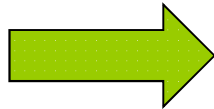


TEC pre sunrise dip

Variazione diurna

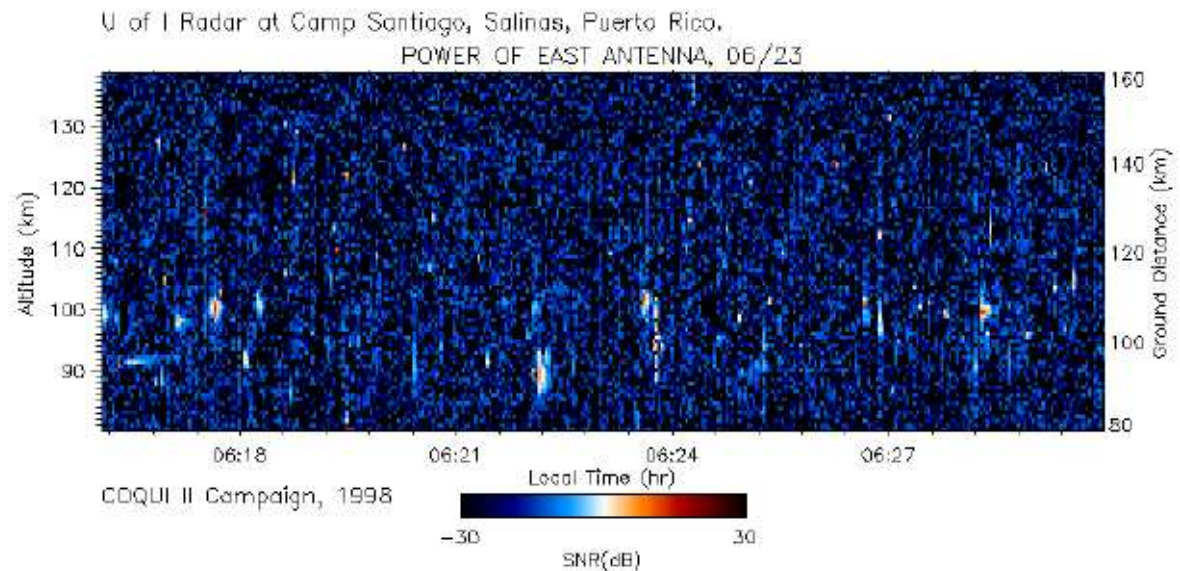
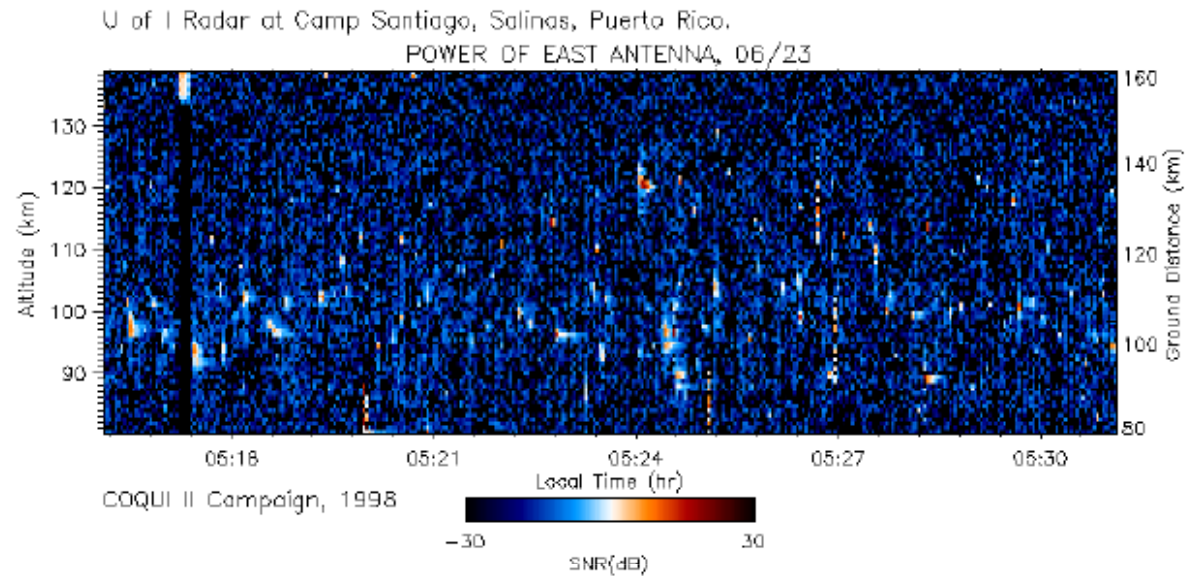
Riflessioni Meteor scatter

Prima dell'alba



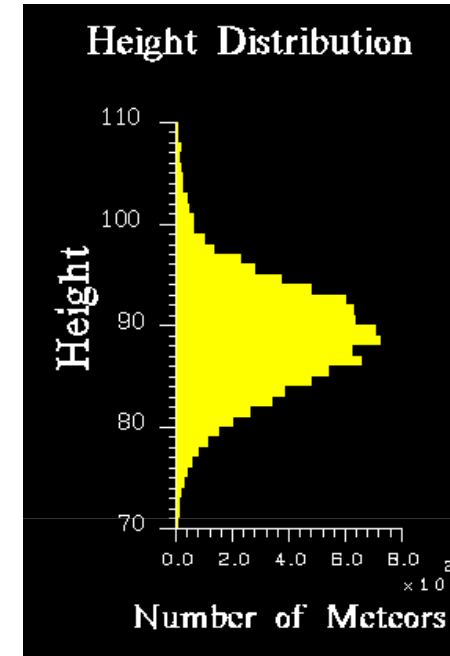
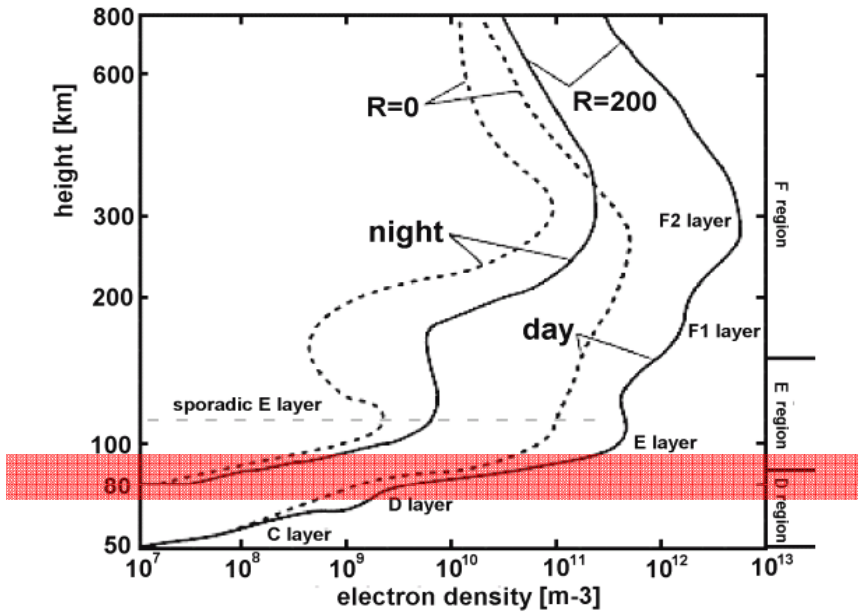
50 MHz radar observations of mid-latitude E-region irregularities at Camp Santiago, Puerto Rico

Dopo l'alba



Quota ionosferica e Velocità di entrata

L'ablazione avviene ad una quota compresa tra 80 e 100 Km, dove la densità inizia ad essere sufficientemente alta.



Distribuzione della velocità delle meteore

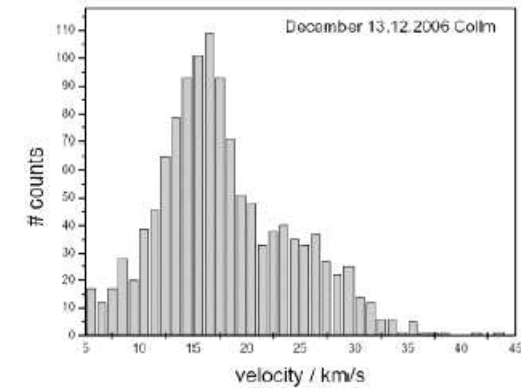


Image courtesy: Ref. Science Image NASA Johnson Space Center.

La riflessione dell'onda radio

La scia meteorica è formata da particelle ionizzate rappresentate da una miscela di **ioni positivi**, **elettroni negativi** e **molecole neutre**. Quando un'onda elettromagnetica incide sulla scia, il campo elettrico dell'onda produce uno spostamento degli **elettroni** e degli ioni; lo spostamento degli ioni è assai più ridotto di quello degli elettroni, perché uno ione pesa assai più degli elettroni. L'intensità del segnale riflesso dipende dalla densità elettronica e da come questa varia nel tempo.

Sono gli elettroni liberi che interagiscono con l'onda radio e quindi i responsabili della rifrazione

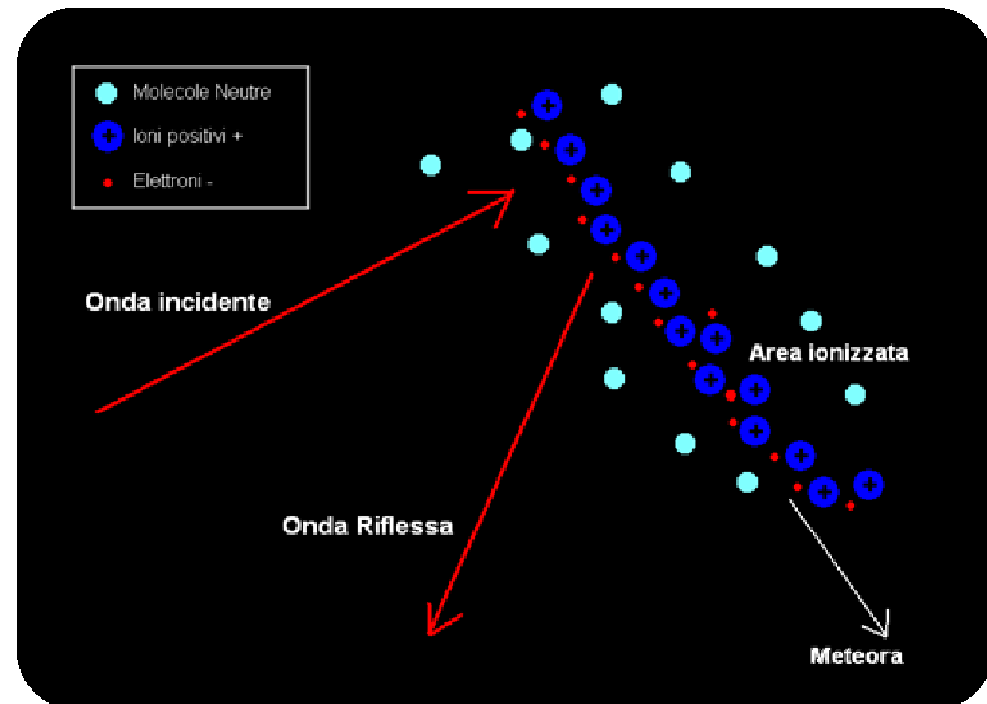
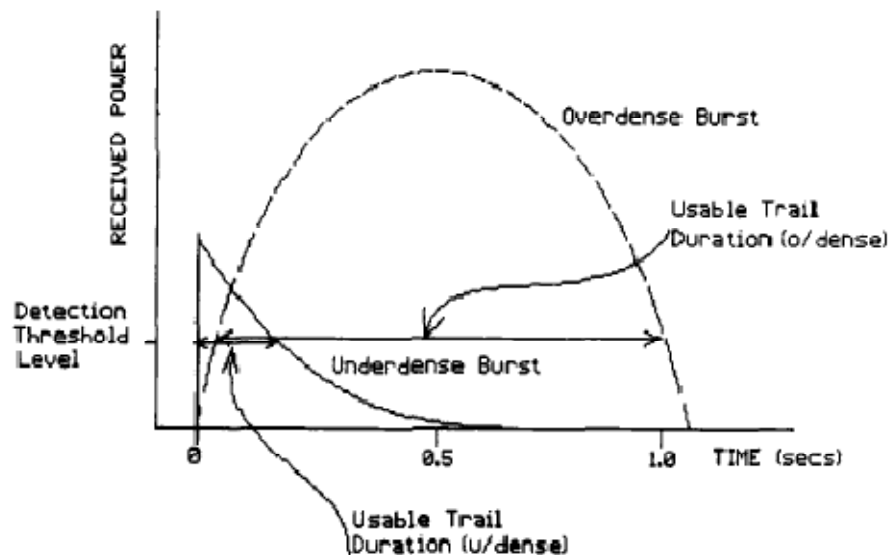


Immagine ik3xtv

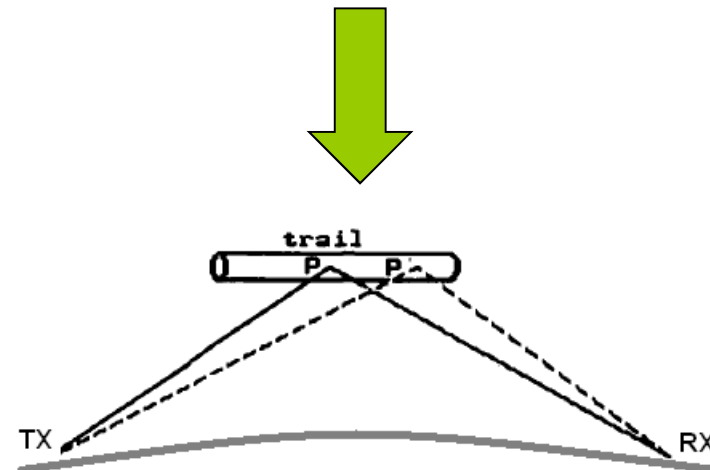
Proprietà di riflessioni delle tracce ionizzate

Le Meteore possono avere una massa variabile da 10^{-5} a 10^{-1} grammi (con diametro di 0,2 fino a 2 mm) Producono scie adatte per comunicazioni. Queste scie si localizzano ad altitudine media di 100 km, con una lunghezza tipica di 15 km, anche se in alcune casi sono state registrate tracce meteoriche di lunghezza fino a 50 km.

Il raggio iniziale della scia è tipicamente nell'ordine di m 0,5-4, e si espande per diffusione, di solito la dissipazione avviene in pochi secondi, o decimi di secondo

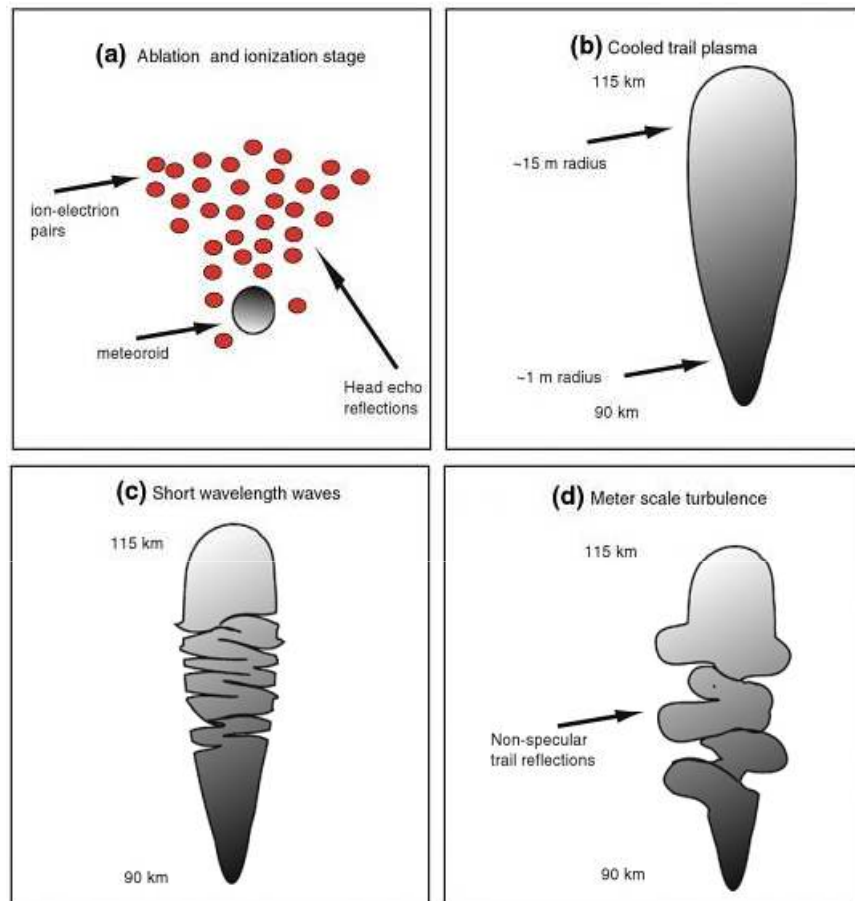


Lunghezza tipica della traccia ionizzata 15 Km



Il raggio iniziale della scia che al momento della sua formazione è all'incirca di una decina di centimetri. Poi si espande progressivamente per diffusione

La traccia ionizzata



Subito dopo la formazione della traccia gli ioni iniziano a diffondersi nello spazio circostante con andamento Gaussiano

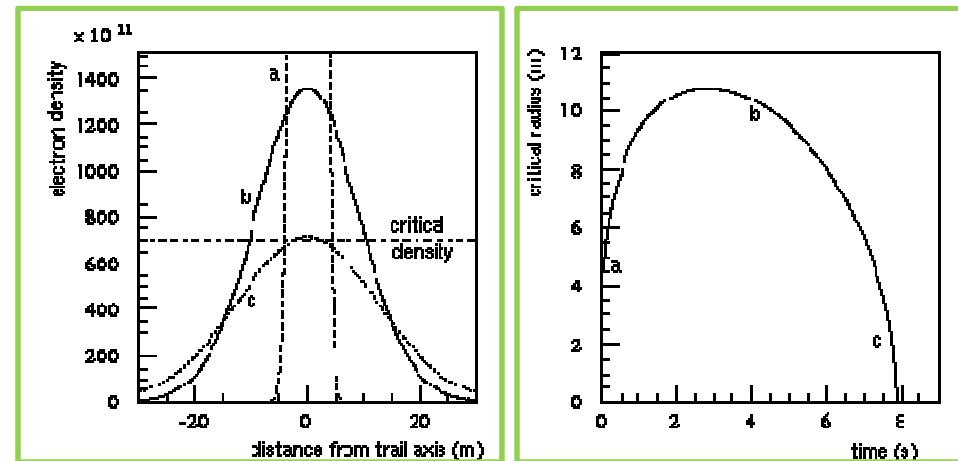


Fig. 2 Paneled cartoon depicting the four main stages of meteor trail evolution. The four stages ordered in increasing time are: (a) the ablation and ionization stage, head echo reflections are assumed to result from meteor plasma at this stage, (b) a cooled trail plasma column that has increasing radius at higher altitudes, (c) Farley-Buneman-gradient-drift (FBGD) waves at short wavelengths grow after only a few milliseconds after the stage (b), (d) The final stage depicts that the unstable portion of the meteor trail has become turbulent with structure at a broad range of wavelengths. Specular trail reflections are expected to occur throughout stages b-d, while non-specular trail reflections should only appear near stage d after sufficient field aligned irregularities (FAI) have formed

Underdense and Overdense trail

Il modo in cui una meteora riflette le onde radio dipende essenzialmente dalla densità di elettroni liberi nella scia ionizzata. Qui parleremo di due casi limite:

1- densità elettronica molto basse, (underdense trail) ,

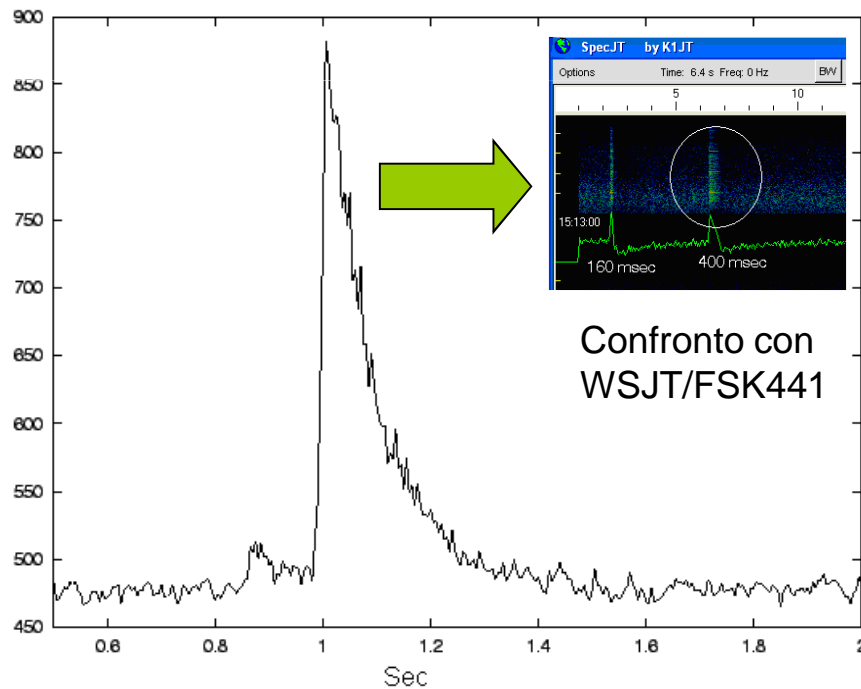
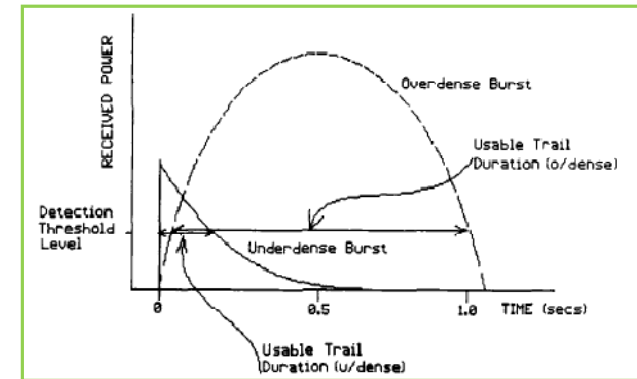
2- densità elettroniche molto elevate (overdense trail)

La maggior parte delle tracce ionizzate sono di tipo underdense

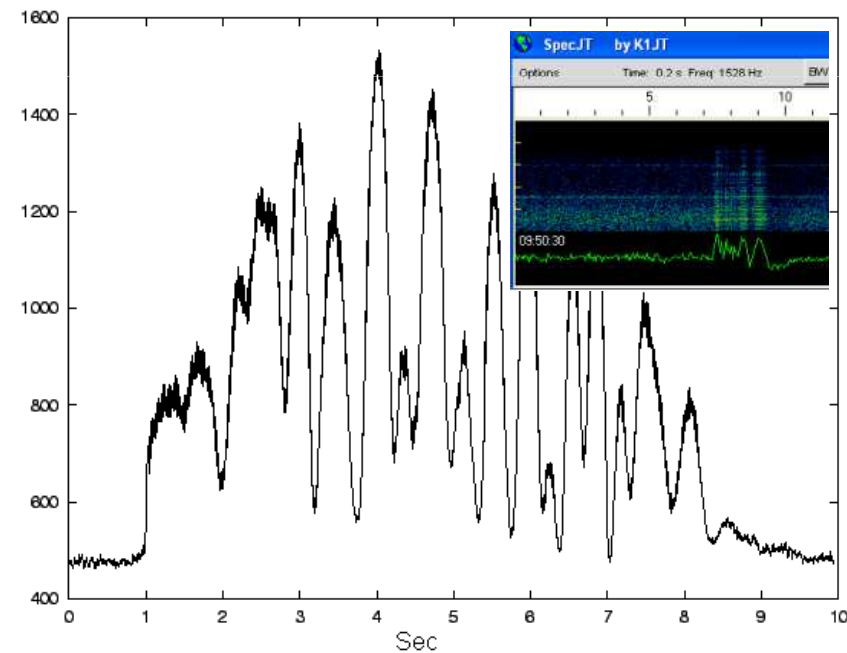
Meteor trails are classified according to electron line density:

Underdense ($n < 2 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-1}$)

Overdense ($n \geq 2 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-1}$)



Underdense trail

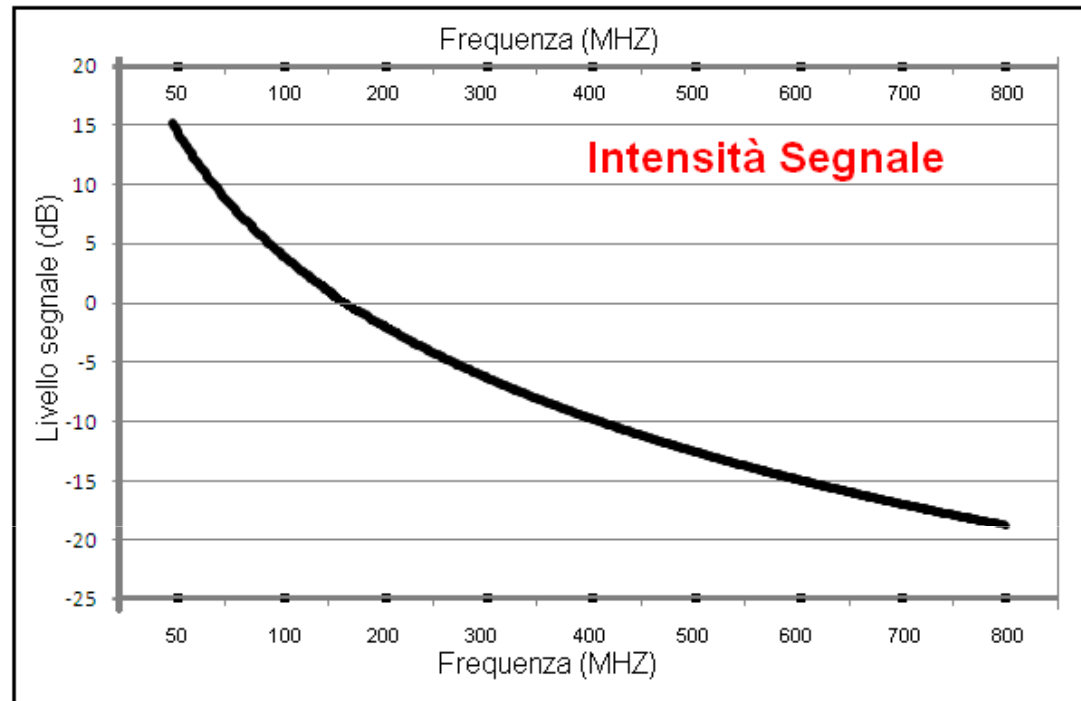


Overdense trail

Courtesy: International Meteor Organization

Tracce meteoriche e RF

La densità elettronica di una scia meteorica è abbastanza elevata da riflettere la RF.
L'intensità della riflessione **diminuisce all'aumentare della frequenza**

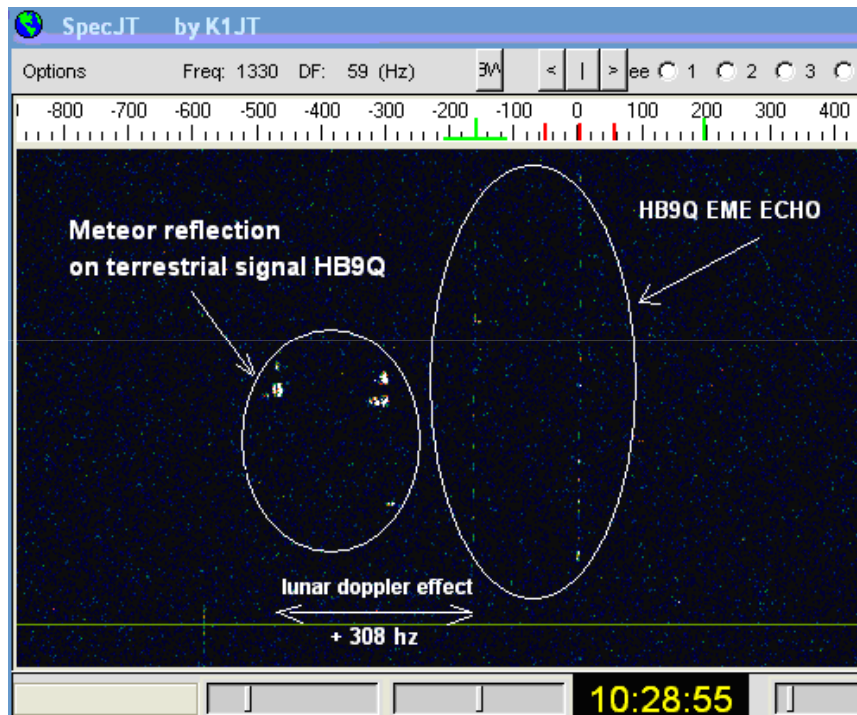


All'interno della scia, elettroni e ioni si ricombinano lentamente, riducendo la ionizzazione e quindi la capacità di riflessione della traccia.

La durata della capacità di riflessione della traccia **diminuisce rapidamente con l'aumentare della frequenza.**

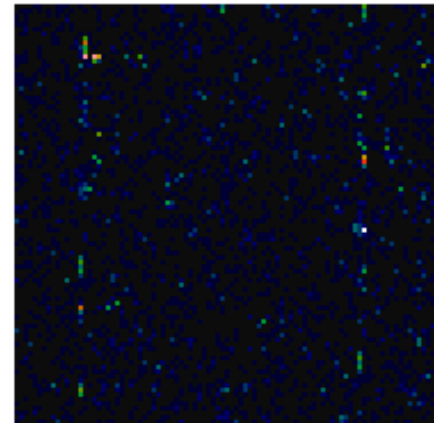
L'effetto doppler

Segnale in gamma VHF 144 Mhz:
Confronto tra segnale EME e segnale MS

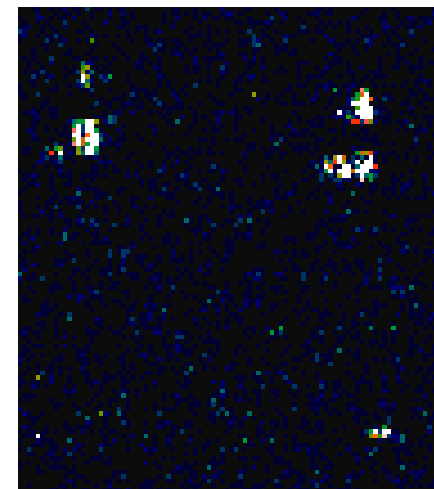


Distant doppler radar received simultaneously via the moon and meteor trail (Archive: IK3XTV)

Moon scatter



Meteor Scatter



Ricezione simultanea via EME e MS (JT65B mode)

Doppler frequency: l'effetto dei venti ionosferici

Vi sono due tipi di velocità in un evento meteorico. La velocità della stessa meteora, (qualche decina di Km/sec, e la velocità della traccia ionizzata che è uguale alla velocità dei venti in quota- Questi forti venti ionosferici (fino a 100 m/sec) deformano e spostano la traccia ionizzata (plasma) con la conseguenza che il segnale riflesso è afflitto da doppler

Il plasma è deviato dai venti ionosferici presenti a queste quote

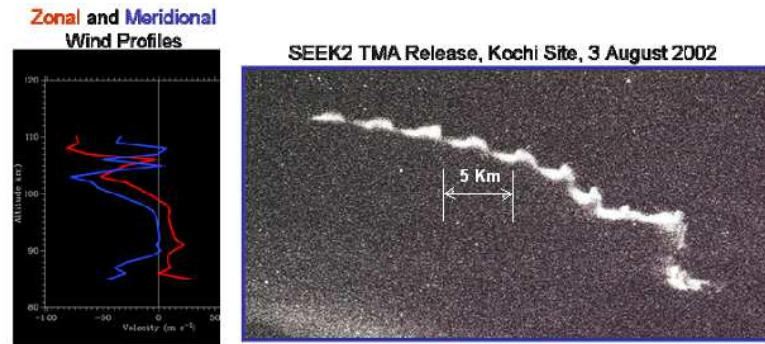
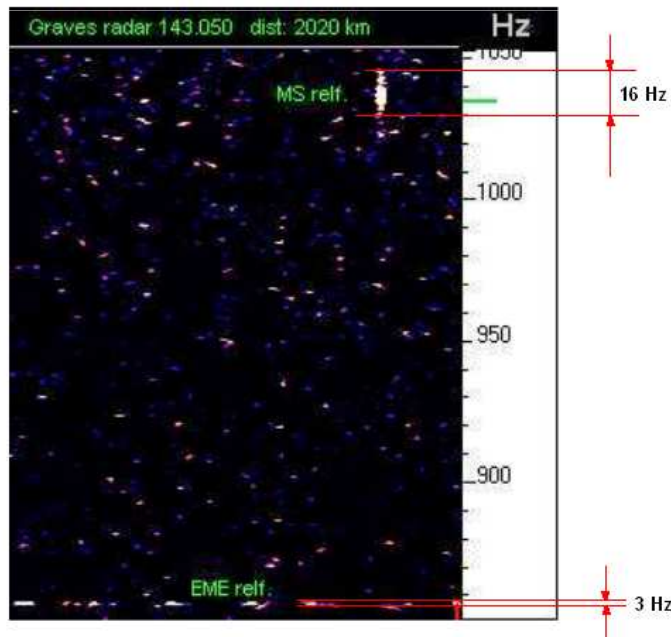


Figure 7: Upleg portion of the TMA trail during the SEEK2 experiment.

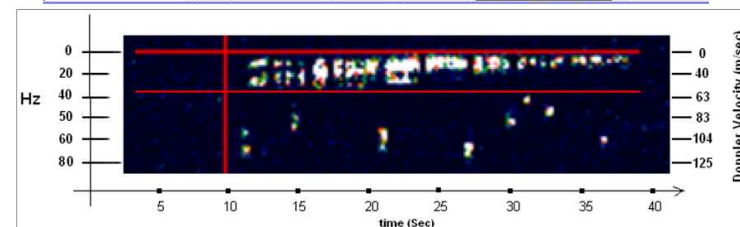
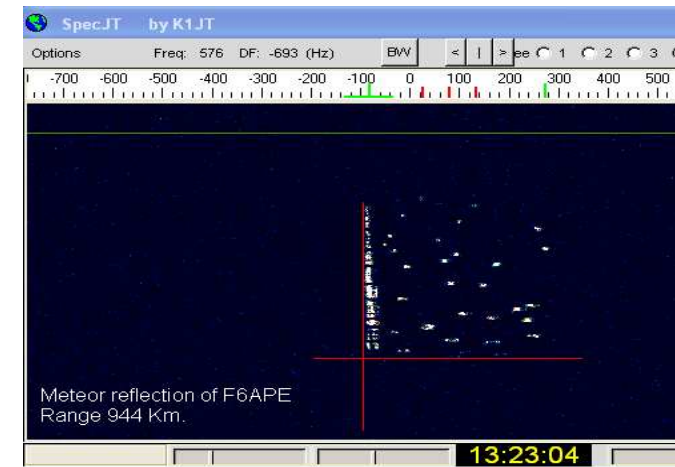
C'e' movimento della scia per velocità dei venti in quota, e quindi un mini-doppler che allarga la frequenza ricevuta

Non c'e' solo un minidoppler da allargamento della scia ma anche un doppler da spostamento della scia dovuta ai venti neutri



Courtesy: meteor Radar of Graves .The signal is a powerfull continuous wave signal without any modulation

L'effetto dei venti



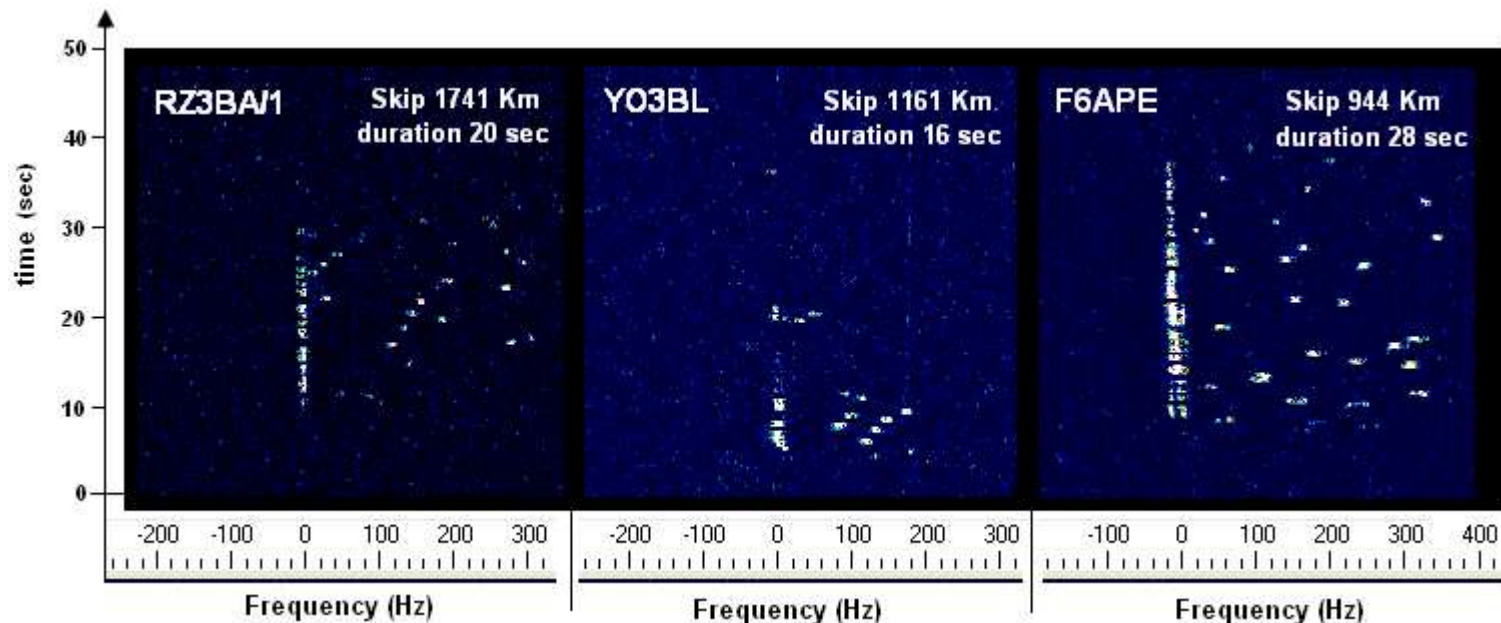
Tracce persistenti in VHF 144 MHz

Esistono dei rari eventi di echi di lunga durata che vanno da alcuni secondi a qualche minuto. Sono stati osservati in HF (15 MHz) e VHF (50 MHz). Ma sono possibili anche in VHF (144 MHz). Questo tipo di riflessioni presentano una ben distinta forma di Doppler spettrale caratterizzata da una biforcazione. In VHF (144 MHz) sono state registrate tracce di durata fino a 160 secondi

Connessione con l'E sporadico?

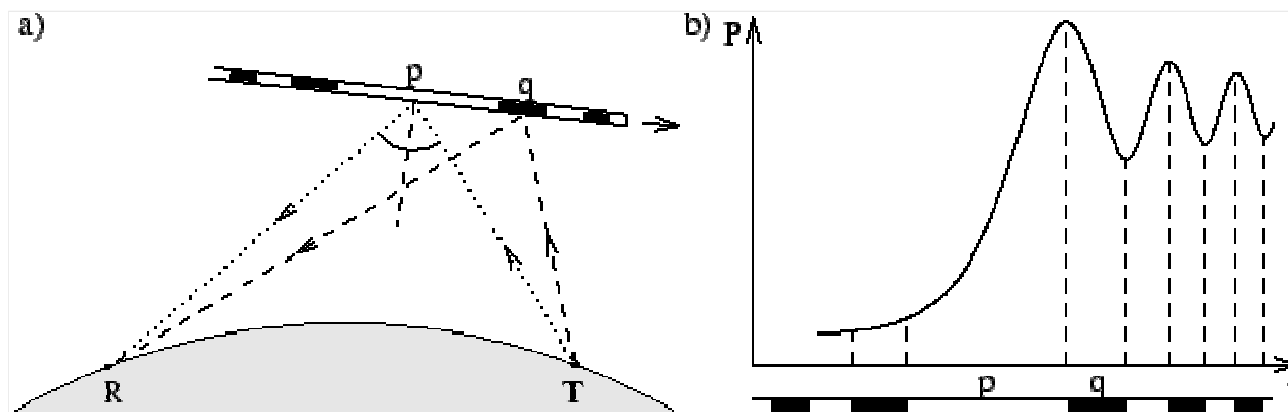
Ma perché queste riflessioni durano così a lungo? Purtroppo, la risposta non è facile. Le riflessioni di lunga durata restano un mistero da molti anni. Dato che le strutture di doppler evidenziate possono essere causate dalla frammentazione della scia dal wind shear verticale. Si ipotizza quindi che la ionizzazione potrebbe essere mantenuta dalla convergenza di elettroni liberi, come nel caso delle formazioni di E sporadico sotto l'azione dei venti zonali inversi che con l'aiuto della Forza di Lorentz convergono elettroni verso la scia ionizzata.

Esempi di
Riflessioni lunghe
in VHF 144 MHz
(>15 sec)



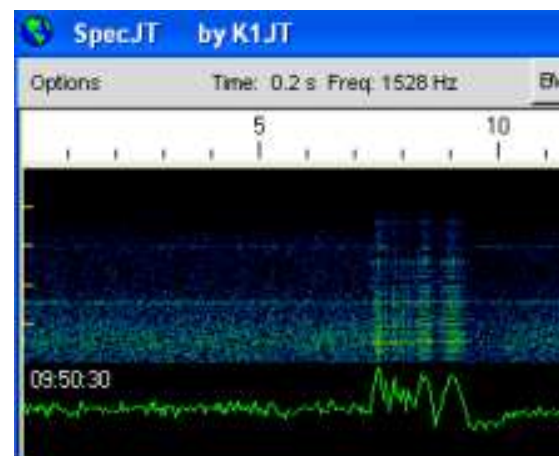
Oscillazione di Fresnel

Guardiamo piu' da vicino il processo di riflessione : dalla figura a, è chiaro che il segnale riflesso dal punto q percorre una distanza più lunga di quello riflesso dal punto p. Pertanto ci sarà una differenza di fase tra i due segnali. Si possono definire delle zone di interferenza costruttiva con il "segnale principale", e le zone di interferenza distruttiva. Sono evidenziate con il colore bianco e nero, rispettivamente. Queste zone sono chiamate **zone di Fresnel**. Il segnale evolve quindi come mostrato nella Figura b.



Courtesy: International Meteor Organization

Riflessione da scia iperdensa con evidenza di interferenza da Fresnel



I modi digitali piu' utilizzati: WSJT

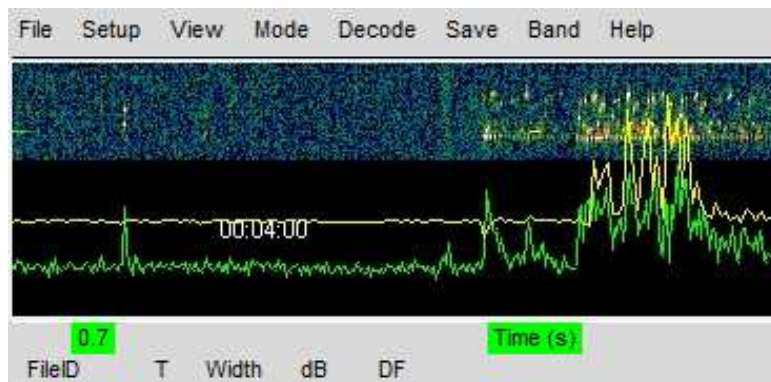
- ❑ **JT6M:** utilizzato per meteor scatter communication in 50 e 70 MHz
Adatto per riflessioni più lunghe e deboli

Joe, K1JT afferma: "JT6M può lavorare con segnali che sono fino a 13 dB più deboli di quelli richiesti per FSK441."

- ❑ **FSK441:** Utilizzato per meteor scatter communication in 144 Mhz e 432 Mhz più adatto per riflessioni brevissime ma forti

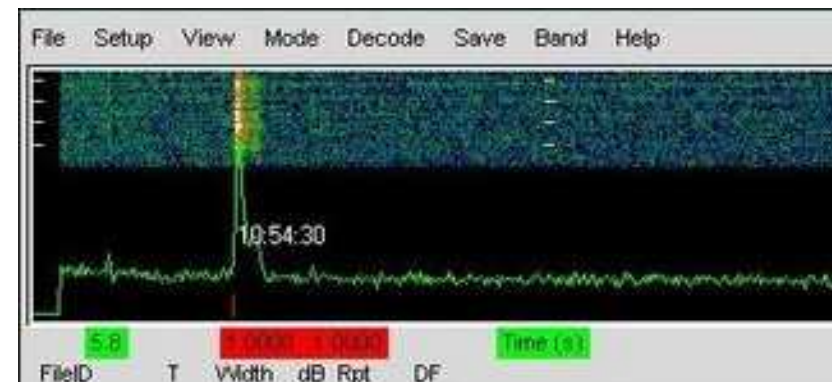
FSK441 è in grado di decodificare pings fino a 100 msec di durata.

JT6M



50 / 70 MHz

FSK441



144 / 432 MHz

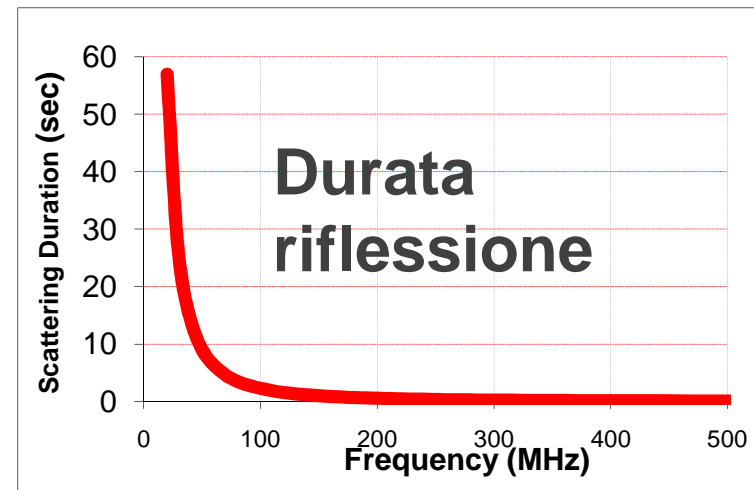
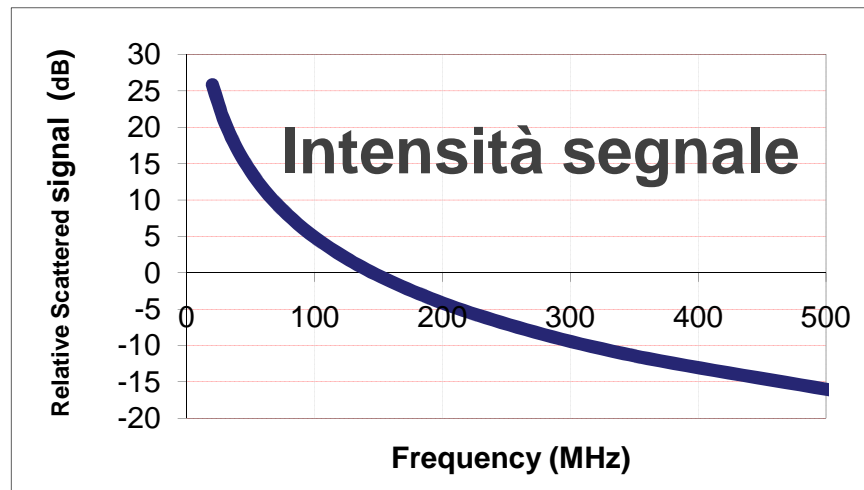
Operatività: Quale frequenza usare?

La banda dei 6m (50 MHz) rimane la gamma migliore perché i segnali MS sono più forti e di maggiore durata rispetto ai 2m (144 MHz).

Frequenza

Sui 10m (28 MHz) le riflessioni MS sono 25 volte di più rispetto ai 144 MHz e l'energia potenziale dei segnali è 120 volte superiore. D'altra parte, sulla gamma dei 70cm (432 MHz), la stessa riflessione avrà una durata 10 volte inferiore rispetto ai 144 MHz e sarà fino a 30 volte più debole.

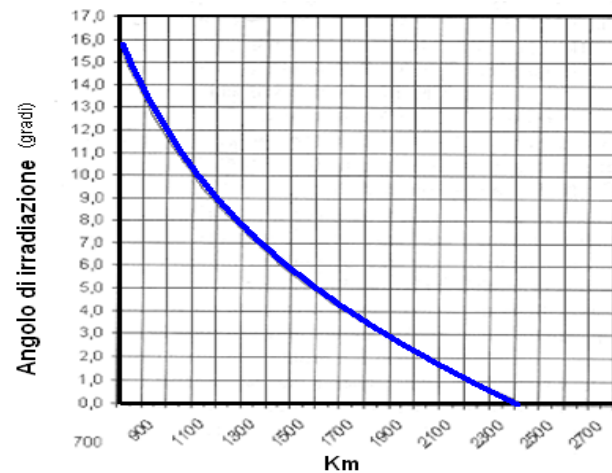
Frequenza 2 metri: 144.370 MHz
Frequenza 6 metri: 50.270 MHz
Frequenza 70 cm: 432.370 MHz



Operatività: Foot print Meteor scatter

Distanze e angoli di irradiazione

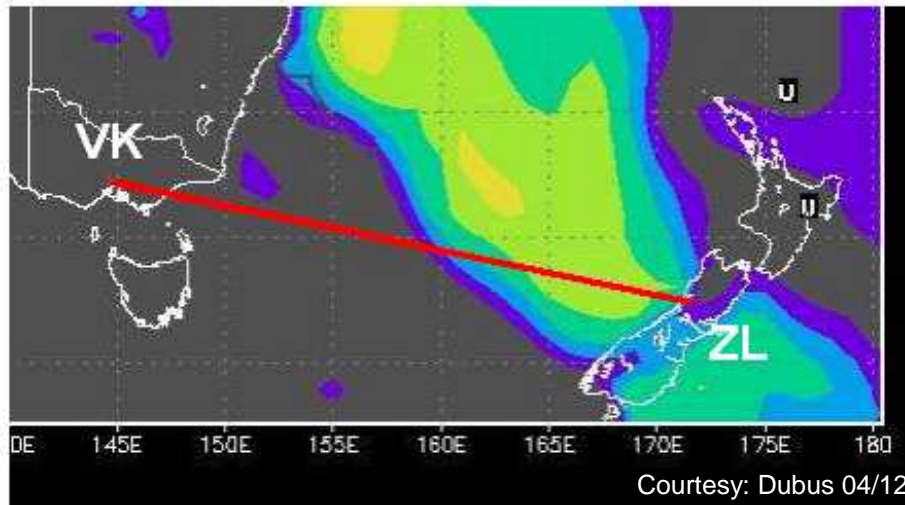
Le riflessioni MS avvengono ad un'altezza approssimativa di 100 km. Per un angolo di irradiazione < 10 gradi si ottiene una distanza di QSO di oltre 1.100 km. Il limite massimo teorico è di 2400 Km con angolo di irradiazione prossimo a 0 gradi. Le meteore sono casuali e non tutte le scie si trovano esattamente 100 km. Per questo la distanza di skip non è costante



Il limite pratico massimo è attorno ai 2000 Km.

La distanza di QSO piu' facile è compresa tra 1200 e 1500 Km.

Estensione tropo del meteor scatter



Tropo Extension of the VM3AMZ to ZL3TY path

VHF DX Record in Meteor scatter

IARU Region 1 VHF/UHF/SHF/EHF DX records

Last update: 15 May 2012

50 Mhz Meteor	G4IGO	IO80NW	SV1OE	KM17VX	SSB	1990-08-12	2542
	OH5LID	KP54DA	G4IGO	IO80NW	JT6M	2009-06-06	2421
	OH8K	KP27KS	G4IGO	IO80NW	JT6M	2005-06-11	2409
	ON4GG	JO20AR	OH9O	KP48DA	SSB	2003-08-09	2335
	ON4IQ	JO20AR	OH9O	KP48DA	CW	2003-09-09	2335

144 Mhz Meteor	GW4CQT	IO81LP	UW6MA	KN97VE	CW	1977-08-12	3101
	G4LOH	IO94EA	RW3PF	KO93CD	FSK441	2003-08-09	2605
	RU3ACE	KO95KG	G4LOH	IO94EA	FSK441	2003-08-08	2581
	EA3AXV	JN01TJ	ES6RQ	KO28WA	FSK441	2003-11-19	2518
	GW8ASA	IO81EM	LZ9X	KN32AS	FSK441	2005-08-08	2430

432 Mhz Meteor	LY2WR	KO24OQ	UA9FAD	LO88DA	CW	1998-08-12	1939
	SM2CEW	KP15CR	PA3DZL	JO21HM	CW	1989-08-12	1869
	PA5DD	JO22IC	SM2CEW	KP15CR	CW	2001-08-12	1808
	OH2TI	KP20KE	G0RUZ	IO93HN	CW	1995-08-13	1747

In casi eccezionali, è possibile una estensione della distanza di collegamento grazie al contributo della propagazione tropo. Sono stati fatti degli esperimenti per esempio tra Australia e Nuova Zelanda con **QSO MS + Tropo ducting** fino a 2900 Km, In gamma 2 metri con FSK441

Referenze

Detection of Meteors by RADAR (**Detection & Analysis of Meteors by RADAR** (Using the GRAVES space surveillance transmitter)
Dr David Morgan.

Diurnal variation of non-specular meteor trails (Ann. Geophys., 27, 1961–1967, 2009 www.ann-geophys.net/27/1961/2009/)

METEOR BURST COMMUNICATIONS SYSTEMS by DEPARTMENT OF **DEFENCE** DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY
ORGANISATION SALISBURY **SELECTIONS** RESEARCH LABORATORY- South Australia

Advances in Meteoroid and Meteor Science Di J. M. Trigo-Rodríguez

Annales Geophysicae

A tutorial review on Sporadic E layers Christos Haldoupis

Physics Department, University of Crete, Heraklion, Crete, Greece

"Global Observation and Analysis of Sporadic E layers using GPS radio occultation measurements" by

C.Arras,J.Wickert,S.Heise,T.Schmidt. Helmotz Centre Potsdam

"An explanation for the seasonal dependence of midlatitude sporadic E layers" JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112,
A06315, doi:10.1029/2007JA012322, 2007

Meteor Scatter A Newly-Discovered means for Extended-Range Communication (QST April 1953 by Oswald G, Villard, JR-W6QYT and
Allen M. Peterson-W6POH)

Radio Propagation Laboratory, Stanford University, Stanford, Calif.

Working DX on a Dead 50MHz Band Using Meteor Scatter by Palle Preben-Hansen, OZ1RH

Wikipedia

Development of MBC System using software modem by Khaled Mahmud, Kaiji Mukumoto and Akida Fukuda

Encyclopedia Britannica.

Semidiurnal tidal signature in sporadic E occurrence rates derived

from GPS radio occultation measurements at higher midlatitudes

C. Arras, C. Jacobi, and J. Wickert

Diurnal variation of non-specular meteor trails (J. Hinrichs L. P. Dyrud and J. Urbina Center for Remote Sensing, Inc., Fairfax, VA, USA

Communications and Space, Sciences Laboratory, Pennsylvania State University, University Park, PA, USA)

Articoli vari di Marino Miceli, I4sn

Collaborazioni

Giorgio Marchi, IK1UWL