



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ



Il meteor-scatter e i collegamenti radioamatoriali via meteor-scatter

(a cura di IZ5TEK)



INTRODUZIONE

Inserendo nel motore di ricerca la frase “meteor burst communications” e selezionando il sito di Wikipedia si trova una descrizione sommaria di come operano le comunicazioni via Meteor-Scatter, delle origini e sviluppi di questa tecnica, degli usi che se ne fa.

Dalla sua storia si evince che il periodo d’oro di questa tecnica furono gli anni che vanno dall’immediato secondo dopo guerra agli anni ’60, quando, per le comunicazioni punto-punto al di là dell’orizzonte ottico, l’interesse per il meteor-scatter diminuì a favore dai satelliti artificiali.

Per quanto riguarda gli usi, troviamo citati quello militare, quello scientifico e quello radioamatoriale.

Nel caso specifico del radiantismo, il meteor-scatter consente di effettuare collegamenti fino ad una distanza di 2500Km usando frequenze VHF-UHF (quindi con antenne di dimensioni limitate) le cui caratteristiche di propagazione permettono collegamenti solo in visibilità ottica.

Nella prima parte della presentazione è descritto il fenomeno delle meteore.

La seconda parte tratta della riflessione delle onde radio prodotta dalla scia di plasma che si forma quando le particelle vaganti nello spazio cosmico entrano nell’atmosfera terrestre.

La terza parte contiene un riassunto della storia delle comunicazioni radio via meteor-scatter.

Infine, nella quarta ed ultima parte è affrontato l’argomento dell’impiego del meteor-scatter in ambito radiomatoriale.



1. Le meteore

Il fenomeno delle meteore, noto fin dall'antichità, consiste nell'impatto di frammenti di materiale solido cosmico (quasi sempre residui di comete a asteroidi) con l'atmosfera. A causa dell'attrito, l'impatto con l'atmosfera provoca la **combustione** e l'**ablazione** di questi frammenti con emissione di luce e ionizzazione di atomi e molecole.

In alcuni casi la scia di luce è visibile ad occhio nudo dal nostro pianeta e volgarmente si parla di *stelle cadenti*.

Famose sono le stelle cadenti visibili all'inizio di Agosto, si tratta di meteore che sembrano provenire dalla costellazione di Perseo e per questo sono dette Perseidi.

I corpi che hanno una massa tanto grande da non essere completamente distrutti dal passaggio attraverso l'atmosfera si dicono *meteoriti*. Ciò che rimane dei meteoriti cade sulla Terra con la possibilità di provocare danni a cose o persone.

Nella tabella che segue sono riassunte alcune caratteristiche delle meteore [1].

La **magnitudine apparente** è una misura della luminosità di un corpo celeste così come appare all'osservatore. Il valore numerico che caratterizza la magnitudine aumenta al diminuire della luminosità. Per corpi particolarmente luminosi sono stati introdotti valori negativi. Il Sole ha una magnitudine apparente di -26.8, la Luna piena -12.4 e i corpi appena osservabili con il telescopi più potenti hanno magnitudine 30. I corpi al limite della visibilità ad occhio nudo hanno magnitudine apparente uguale a 5.



1.1 Principali caratteristiche delle Meteore.

	Massa M (grammi)	Magnitudine Apparente	Raggio	Numero di masse ≥ M incontrate dalla Terra ogni giorno.	Densità lineare elettroni nella scia (e ⁻ / m)	
Corpi che passano attraverso l'atmosfera e cadono sulla Terra.	10 ⁴	-12.5	8 cm	10	-	
Corpi e particelle che si disintegrano completamente nel passare attraverso l'atmosfera.	10 ³	-10.0	4 cm	10 ²	-	
	10 ²	-7.5	2 cm	10 ³	-	
	10	-5.0	0.8 cm	10 ⁴	10 ¹⁸	
	1	-2.5	0.4 cm	10 ⁵	10 ¹⁷	
	10 ⁻¹	0.0	0.2 cm	10 ⁶	10 ¹⁶	
	10 ⁻²	2.5	0.08 cm	10 ⁷	10 ¹⁵	
	<u>Limite di visibilità ad occhio nudo</u> →	10 ⁻³	5.0	0.04 cm	10 ⁸	10 ¹⁴
		10 ⁻⁴	7.5	0.02 cm	10 ⁹	10 ¹³
		10 ⁻⁵	10.0	80 micron	10 ¹⁰	10 ¹²
	<u>Limite approssimato per le misure radar</u> →	10 ⁻⁶	12.5	40 micron	10 ¹¹	10 ¹¹
	10 ⁻⁷	15.0	20 micron	10 ¹²	10 ¹⁰	
	10 ⁻⁸	17.5	8 micron	?	?	
Particelle fluttuanti verso il basso, che rimangono immutate dalla collisione con l'atmosfera (Micrometeore).	10 ⁻⁹	20.0	4 micron	Il totale di questo gruppo è stimato in 10 ²⁰ .	Praticamente densità nulla.	
	10 ⁻¹⁰	22.5	2 micron			
	10 ⁻¹¹	25.0	0.8 micron			
	10 ⁻¹²	27.5	0.4 micron			
Particelle rimosse dal sistema solare dalla pressione della radiazione.	10 ⁻¹³	30	0.2 micron	-	-	



1.2 Meteore sporadiche e sciame meteorici.

Le meteore possono essere sporadiche oppure appartenere a *sciame*. In questo caso è possibile individuare nel cielo un punto, apparente origine dello sciame, detto *radiante*.

Le meteore appartenenti agli sciame si muovono attorno al sole con la stessa velocità e su orbite abbastanza definite. In determinati periodi dell'anno le orbite delle meteore incrociano l'orbita di rivoluzione terrestre e danno luogo al fenomeno meteorico. Se le meteore risultano uniformemente distribuite lungo la loro orbita, le dimensioni degli sciame variano poco da anno ad anno.

Nella tabella che segue sono indicati i periodi di attività degli sciame più importanti visibili dal nostro emisfero, le coordinate del radiante, la velocità media delle meteore, il loro tasso orario zenitale (ZHR) indicativo (numero indicativo di meteore che un osservatore sarebbe in grado di osservare in un'ora, nella ipotesi ideali di cielo buio e terso e se il radiante dello sciame fosse allo zenit) e l'ora locale alla quale il radiante si presenta nel punto più alto rispetto all'orizzonte [1], [2].



Sciame	Limiti di attività	Max	Radiante		v Km/sec	ZHR	Trans.Rad. (LT) [1]
			A.R.	Decl.			
Quadrantids	Dec 28-Jan 12	Jan 03	230°	+49°	41	120	08 ^h 28 ^m
Lyrids	Apr 16-Apr 25	Apr 22	271°	+34°	49	18	03 ^h 59 ^m
η Aquariids	Apr 19-May 28	May 06	338°	-01°	66	55*	07 ^h 36 ^m
Daytime ξ Perseids [1]	Jun 1-Jun 16	Jun 9	62°	+23	29	42	10 ^h 59 ^m
South δ Acquariids	Jul 12-Aug 23	Jul 30	340°	-16°	41	16	02 ^h 14 ^m
Perseids	Jul 17-Aug 24	Aug 12	48°	+58°	59	100	05 ^h 43 ^m
Orionids	Oct 02-Nov 07	Oct 21	95°	+16°	66	20*	04 ^h 12 ^m
Leonids	Nov 06-Nov 30	Nov 17	152°	+22°	71	15*	06 ^h 22 ^m
Puppil/Velids	Dec 01-Dec 15	Dec 07	123°	-45°	40	10	-
Geminids	Dec 04-Dec 17	Dec 14	112°	+33°	35	120	02 ^h 01 ^m
Ursids	Dec 17-Dec 26	Dec 22	217°	+76°	33	10	08 ^h 24 ^m

(*) possono presentarsi dei picchi temporanei.



Le coordinate del radiante sono espresse nel “sistema equatoriale celeste”, mediante l’Ascensione Retta (A.R.) e la Declinazione (Decl.). Le coordinate così espresse sono indipendenti dal punto di osservazione. Non sono assolute in senso stretto perché dipendono dal moto (lento) degli equinozi.

Per contro, per effetto della rivoluzione attorno al sole e della rotazione propria della terra, la posizione del radiante vista da un osservatore terrestre varia da giorno a giorno e durante l’arco della giornata.

Per quanto riguarda la rotazione propria della terra, nell’ultima colonna della tabella è indicata l’ora locale (LT) alla quale il radiante visto dall’osservatore si trova nel punto più alto rispetto all’orizzonte.



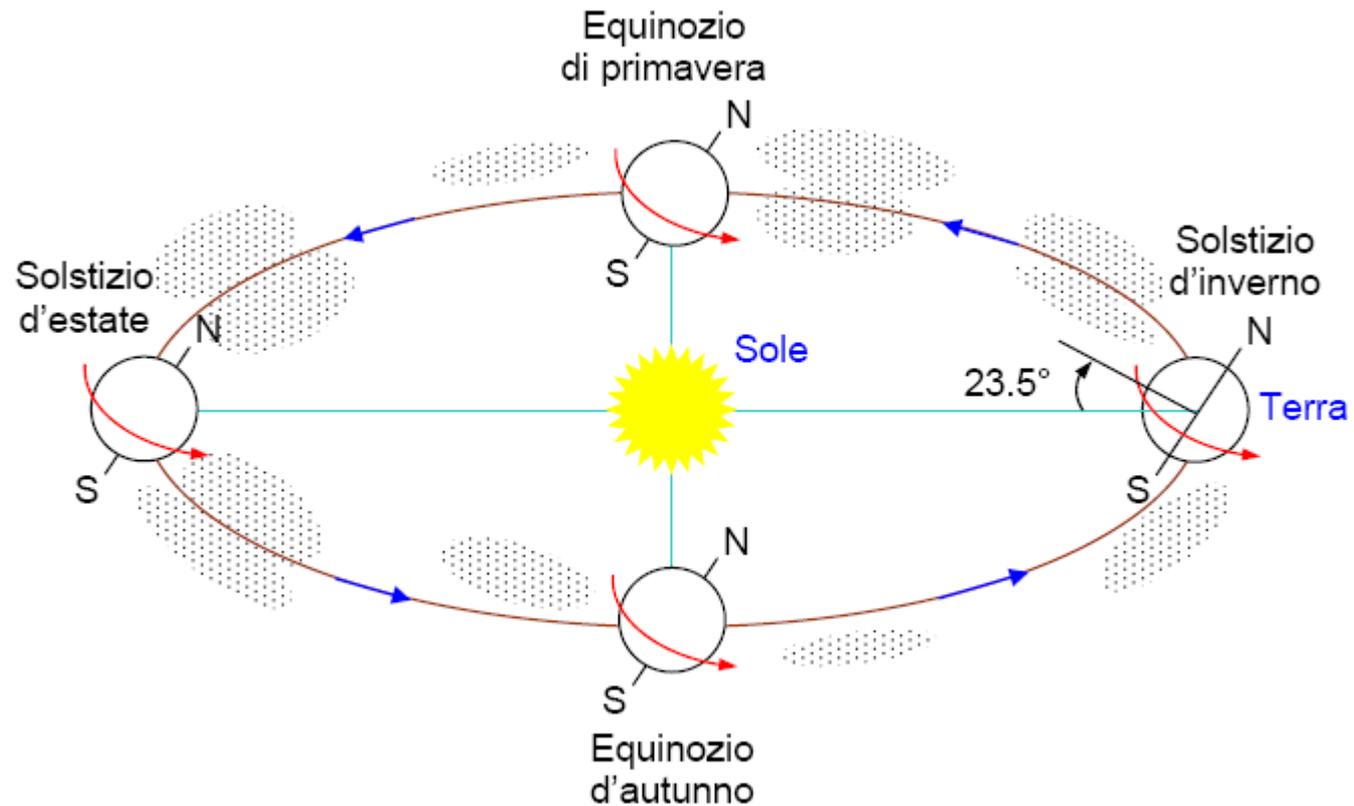
1.3 Il flusso delle meteore sporadiche.

Il flusso delle meteore sporadiche ha un andamento ciclico sia durante la giornata che durante l'anno.

Durante la giornata, il flusso è massimo alle prime ore del mattino perché la terra ruotando verso il sole favorisce l'impatto delle meteore con l'atmosfera. Alle prime ore della sera il flusso è minimo perché la terra ruotando dalla parte opposta al sole non favorisce l'impatto delle meteore con l'atmosfera.

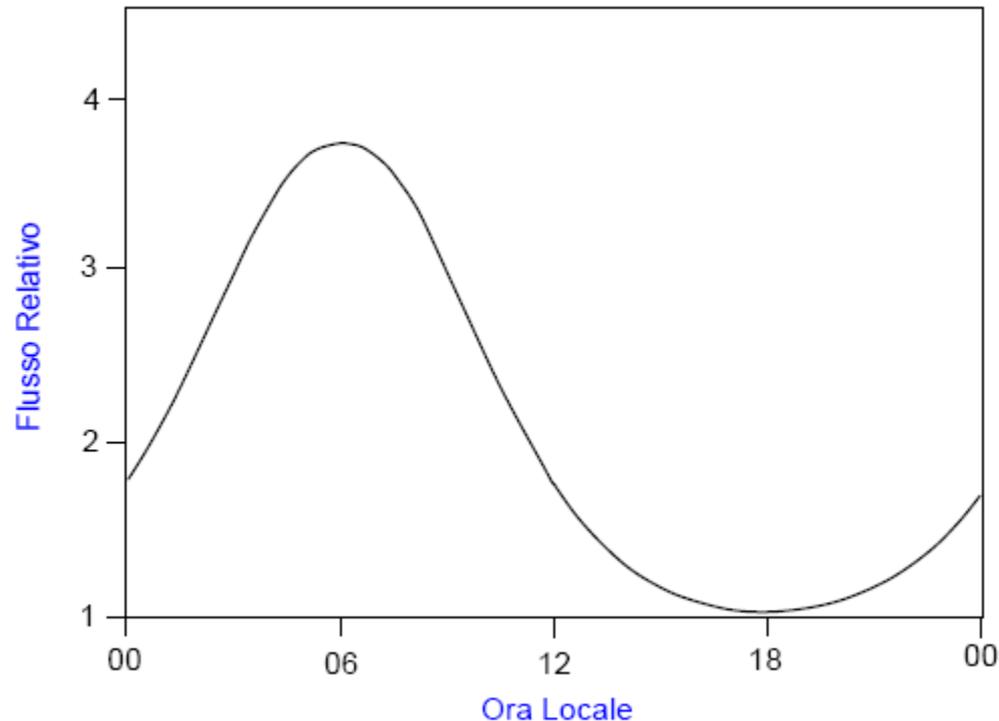
Durante l'anno, il flusso delle meteore varia perché la Terra nel suo moto di rivoluzione attorno al sole passa da zone dello spazio con caratteristiche diverse. L'andamento del flusso di meteore durante l'anno rimane tanto più costante da anno ad anno quanto più le caratteristiche dello spazio attraversato dalla Terra rimangono costanti.

Nella figura che segue è rappresentato il moto della terra attorno al sole. (In realtà, in accordo con le leggi di Keplero, l'orbita della Terra attorno al Sole è un'ellisse di cui il pianeta occupa un fuoco, ma poiché l'eccentricità dell'ellisse non è rilevante, la traiettoria è stata approssimata con una circonferenza.)

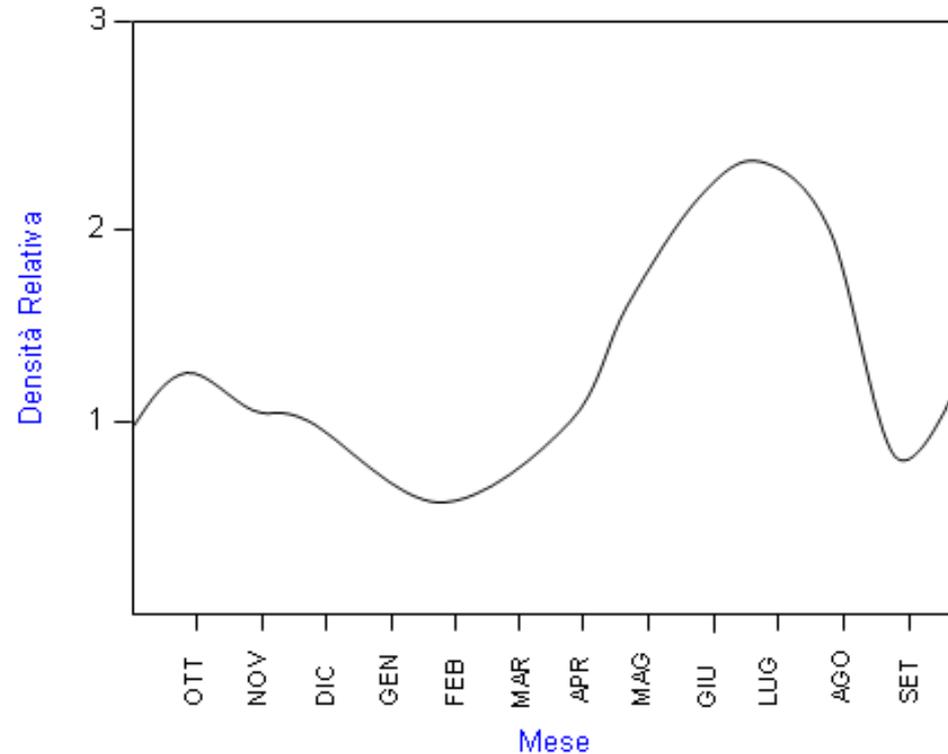




Nei due grafici che seguono è mostrato l'andamento tipico del flusso meteorico durante la giornata e la variazione della densità delle meteore lungo l'orbita di rivoluzione della Terra.



L'andamento dipende anche dalla posizione della Terra nella sua orbita di rivoluzione attorno al Sole, in ogni caso il massimo del flusso si ha intorno alle ore 6 del mattino ed il minimo intorno alle ore 18 del pomeriggio.



Andamento tipico della densità delle meteore sporadiche che interessano la Terra durante l'anno.



1.4 I processi che regolano i fenomeni meteorici

Tipicamente le meteore iniziano a subire i processi di combustione e ablazione ad un'altezza dalla superficie terrestre di 120Km e cessano di esistere ad un'altezza di 80Km. Quindi la regione delle meteore si colloca in corrispondenza della zona E della ionosfera.

A queste altezze l'aria è talmente rarefatta da non opporre resistenza ai corpi che la attraversano e la sua temperatura risulta -100°C . Nonostante questo, il calore prodotto dall'attrito incontrato dalle meteore ne provoca il riscaldamento e la fusione che avviene a temperature prossime a 1800°C .

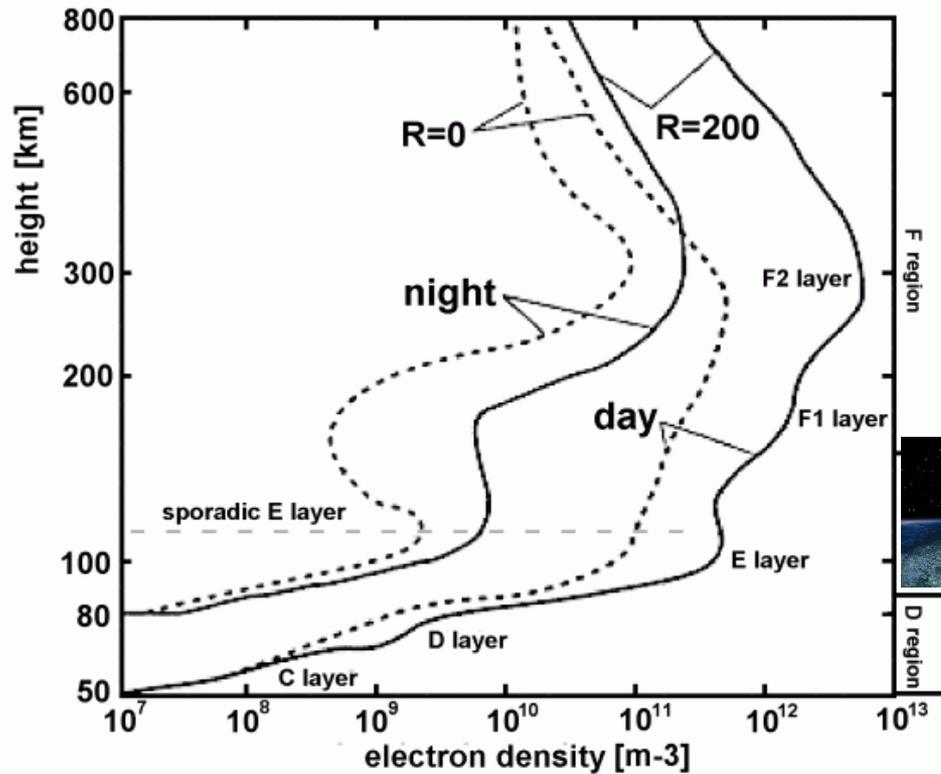
Nella figura seguente è rappresentata la collocazione della regione delle meteore nella ionosfera.

Le meteore

I processi che regolano i fenomeni meteorici



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ



Meteors

(R, indice dell' attività solare.)



1.4.1 La velocità di collisione con l'atmosfera e la formazione della scia.

Le meteore collidono con l'atmosfera ad una velocità che va da 12 Km/sec a 72 Km/sec (valori confermati dalle osservazioni sperimentali).

Il primo valore si ha nel caso particolare in cui la velocità della meteora (42.1 Km/sec) abbia stessa direzione e verso concorde con quella di rotazione della Terra, (29.7 Km/sec), e questo accade quando la zona della Terra interessata dalla caduta della meteora si allontana dal Sole, ovvero alla sera.

Il valore più alto si ha quando le due velocità hanno stessa direzione e verso contrario, e questo accade quando la zona della Terra interessata dalla caduta della meteore si avvicina al Sole, ovvero al mattino.

L'energia d'impatto di una particella meteorica con l'atmosfera produce calore che evapora gli atomi della meteora.

La collisione di questi atomi ad alta velocità con l'aria circostante produce calore, luce ed ionizzazione, distribuiti nella forma di una lunga, sottile scia avente la forma di un paraboloide di rivoluzione con la meteora posta al suo vertice.

La densità degli elettroni lungo la scia è proporzionale alla massa della particella meteorica.

La massa totale delle molecole d'aria che colpiscono la meteora è piccola rispetto alla massa della meteora, così la velocità della meteora rimane abbastanza costante fino a che la meteora non è quasi completamente evaporata.

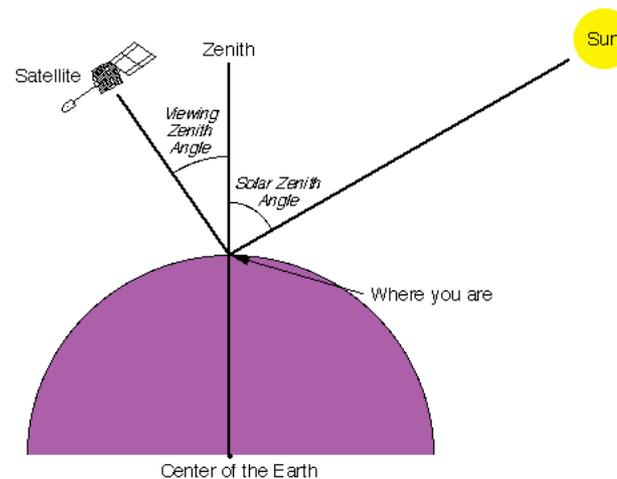


1.4.2 L'altezza della regione delle meteore.

- Per altezze maggiori di 120Km le collisioni della particella con le molecole dell'aria non sono frequenti, anche se possono essere significative.
- Ad altezze inferiori a 120Km la particella meteorica vaporizza rapidamente e la maggior parte delle molecole evaporano prima di raggiungere un'altezza di 80Km.
- La regione delle meteore è relativamente poco estesa in altezza per l'aumento rapido della densità dell'aria che avviene passando da 120 a 80Km di quota. (Ad una quota di 120Km il cammino libero medio degli atomi è 5.4m e diminuisce con legge logaritmica fino a raggiungere 3.8mm a 80Km).

- Le particelle meteoriche con velocità più elevata producono scie ad altezze più elevate.
- Le particelle con massa maggiore producono la massima ionizzazione della scia ad altezze minori.

L'altezza varia anche con l'angolo di zenit dell'orientamento della scia, ad angoli maggiori corrispondono altezze maggiori.





1.4.3 La lunghezza delle scie.

- La lunghezza delle scie meteoriche dipende soprattutto dalla massa della particella meteorica e dall'angolo di zenith.
- Lunghezze tipiche arrivano a 50Km, con la più probabile lunghezza per le meteore sporadiche di 15Km.

Le definizioni di lunghezza delle scie sono molte. Quella usata per questi dati usa come punto finale della scia quello corrispondente ad una soglia per la densità degli elettroni.

1.4.4 Il raggio iniziale.

Manning, un ricercatore della Stanford University (California), in un suo lavoro del 1958 assume che, nel momento della loro formazione, le scie delle meteore abbiano un raggio compreso fra la dimensione del cammino libero medio degli atomi e 14 volte tale dimensione.

Misure fotografiche e radio successive suggeriscono che il raggio iniziale è significativamente maggiore di quello assunto da Manning.

Con le misure radio è stato trovato un raggio di 0.55m in corrispondenza ad un'altezza di 81Km, dove il cammino libero medio risulta 5×10^{-3} m.

I risultati radio ottenuti per una quota di 121Km sono più consistenti con l'ipotesi di Manning, infatti il raggio iniziale osservato è 4.35m ed il cammino libero medio degli atomi risulta 5m.



1.4.5 Evoluzione delle scie.

Un volta che la scia si è formata, espande per diffusione con una velocità relativamente bassa, producendo una distribuzione radiale di materiale che può approssimarsi ad una curva a campana con il massimo in corrispondenza dell'asse della scia (gaussiana).

- La maggior parte delle scie rivelate con apparecchiature radio sono originate da particelle di piccole dimensioni. La durata di queste scie è solo una frazione di secondo.
- Particelle più grandi producono scie più densamente ionizzate. La durata della loro osservazione può raggiungere il minuto. Scie di questo tipo sono osservabili diverse volte al giorno.
- Scie con un tempo di osservazione di un'ora o più sono estremamente rare.

Nel momento della formazione le scie risultano abbastanza rettilinee, ma sono rapidamente deformate dai venti presenti nelle regioni più basse della ionosfera.

Questi venti hanno una velocità tipica di 25m/sec, ma con elevate variazioni al variare dell'altezza, e sono tali da modificare sensibilmente la forma della scia della meteora.

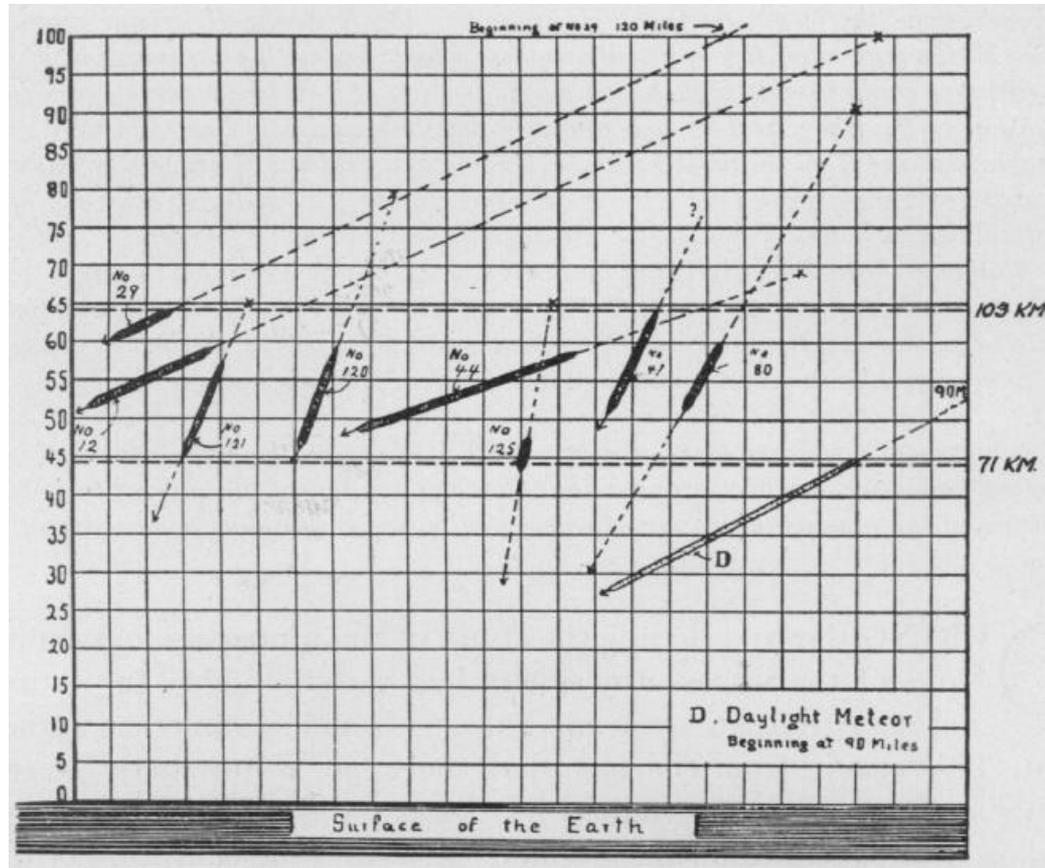
Le meteore

I processi che regolano i fenomeni meteorici



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Questa figura rappresenta una registrazione di traiettorie di meteore risalente al 1907 [3].





2. La riflessione delle onde radio mediante le meteore

La scia delle meteore è costituita da un plasma che contiene ioni ed elettroni liberi, per questo motivo consente, come la ionosfera, la riflessione e la diffusione delle onde radio, così è possibile:

- scoprire e studiare il fenomeno meteorico mediante il radar;
- utilizzare le meteore per realizzare collegamenti radio.

Le meteore di interesse per la propagazione radio sono quelle con massa compresa fra 10^3 e 10^{-7} grammi e dimensioni comprese fra 8cm e $40\mu\text{m}$.

(Per le altre caratteristiche si rimanda alla prima tabella della presentazione.)



Un'analisi approfondita della riflessione delle onde radio da parte delle scie delle meteore è molto complessa e conduce a risultati che non hanno interesse pratico.

Per contro l'analisi approssimata che si trova in letteratura conduce a risultati abbastanza aderenti alle osservazioni sperimentali.

Questa analisi considera quattro casi di riflessione:

1. onde lunghe, scie ipodense.
2. onde lunghe, scie iperdense.
3. onde corte, scie ipodense.
4. onde corte, scie iperdense.



2.1 Scie ipodense e iperdense.

Sono considerate ipodense le scie che hanno una densità di elettroni q inferiore a circa 10^{14} e-/m, che corrisponde, come indicato nella tabella della slide 8, al limite di osservazione della meteora ad occhio nudo. Nell'analisi approssimata, si fanno le ipotesi che:

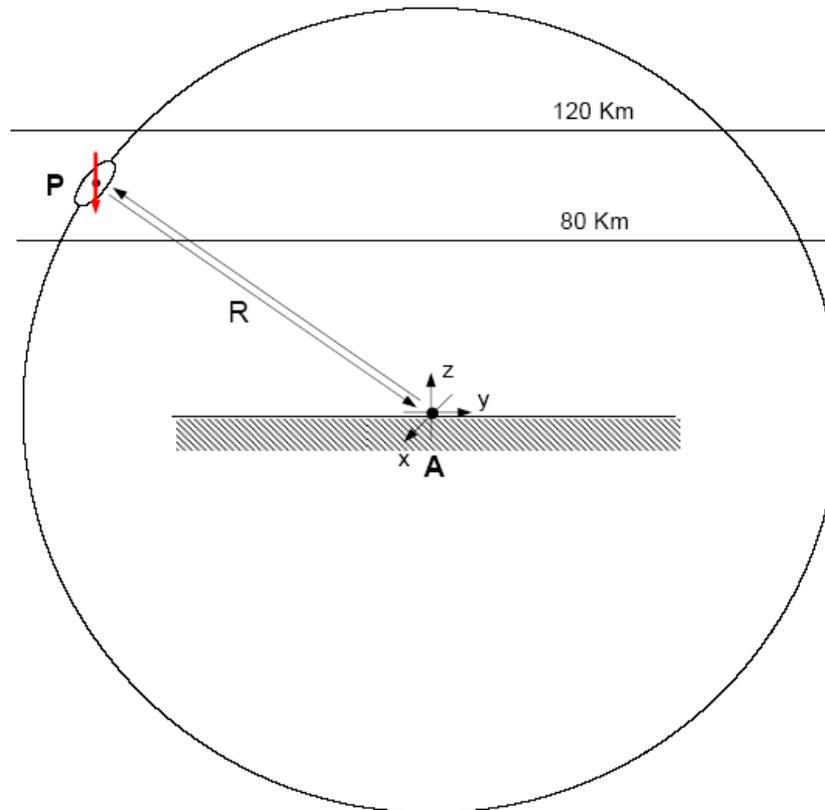
- la scia ipodensa si presenti come un lungo cilindro di elettroni che diffondono nello spazio circostante, e che ogni elettrone si comporti come se fosse isolato, senza risentire della presenza degli altri elettroni;
- l'influenza reciproca degli elettroni della scia iperdensa comporti che in prossimità del suo asse la costante dielettrica diventi negativa, impedendo la propagazione delle onde elettromagnetiche. La scia viene trattata come un cilindro di metallo avente raggio pari al raggio della scia reale in corrispondenza al valore nullo della costante dielettrica.

2.2 Onde lunghe e corte.

Questa suddivisione è legata al tempo di formazione della scia in relazione al tempo di attraversamento, da parte della meteora, delle zone dello spazio, illuminate dalle antenne trasmittente e ricevente, che contribuiscono a determinare l'involuppo del segnale riflesso. Il tempo di attraversamento delle zone dello spazio che contribuiscono a determinare l'involuppo del segnale riflesso è proporzionale alle loro dimensioni, quindi alla lunghezza d'onda λ associata con il segnale.

2.3 Geometria della propagazione nel caso di osservazione radar (back-scattering).

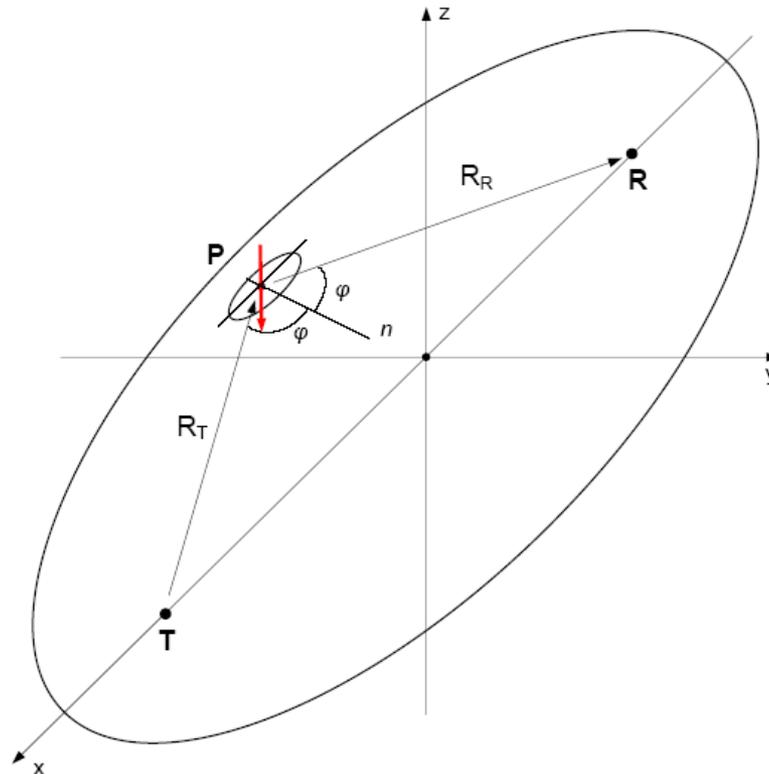
Nel caso dell'osservazione radar la scia della meteora deve essere perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda elettromagnetica, per cui le scie delle meteore devono essere tangenti ad una sfera di raggio R avente per centro l'antenna.

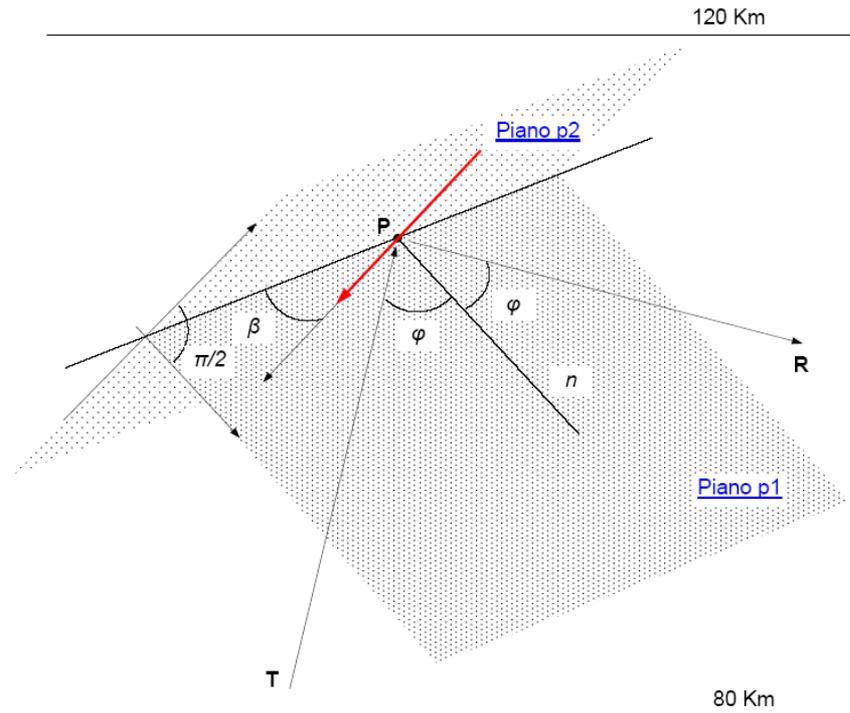


Geometria forward-scattering.

2.4 Geometria della propagazione di un collegamento radio (forward-scattering).

In una ellisse tutti i raggi uscenti da un fuoco e riflessi dalla linea che la definisce raggiungono l'altro fuoco. Estendendo questa proprietà al caso tridimensionale possiamo concludere che le meteore che consentono il collegamento radio fra due antenne sono quelle la cui scia è tangente alla superficie di un ellissoide che abbia le due antenne (T ed R) nei fuochi.





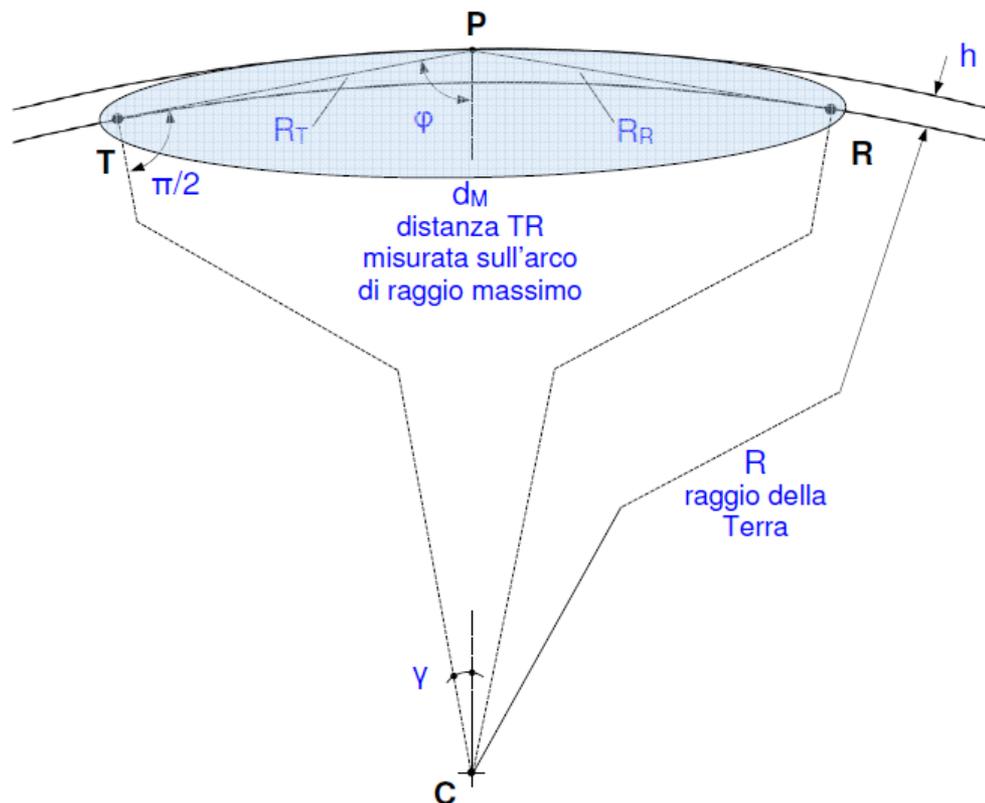
- Il piano p1 (piano di polarizzazione) è individuato dalle direzioni di propagazione del segnale dal trasmettitore alla scia della meteora e da questa all'antenna del ricevitore.
- Il piano p2 è il piano tangente in P all'ellissoide e che quindi contiene la scie di tutte le meteore interessate al collegamento radio da T ad R. I piani p1 e p2 sono perpendicolari.
- 2φ è l'angolo fra le direzioni di propagazione del segnale da T alla scia e da questa ad R. n è la normale alla superficie dell'ellissoide nel punto P.
- β è l'angolo formato dalla scia della meteora (contenuta nel piano p2) con il piano p1.

La riflessione delle onde radio mediante le meteore



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Geometria forward-scattering.

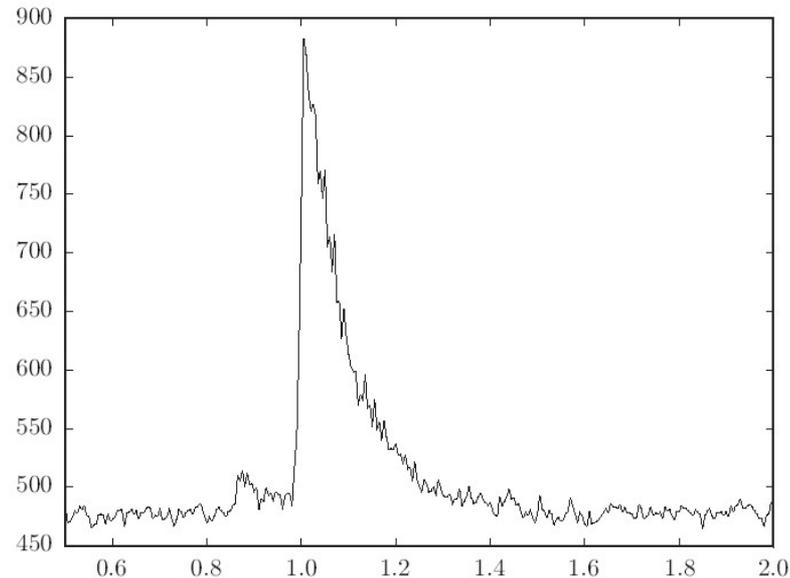


Considerando per la terra un raggio medio $R = 6372,8\text{Km}$, per riflessioni che avvengono ad una altezza $h = 100\text{Km}$ le massime distanze raggiungibili con i collegamenti per meteor-scatter diretto sono **2243 Km**, circa. L'angolo φ risulta **80°**, circa.



Area che è possibile coprire con il meteor-scatter.

2.4 Riflessione di onde lunghe da scie ipodense.

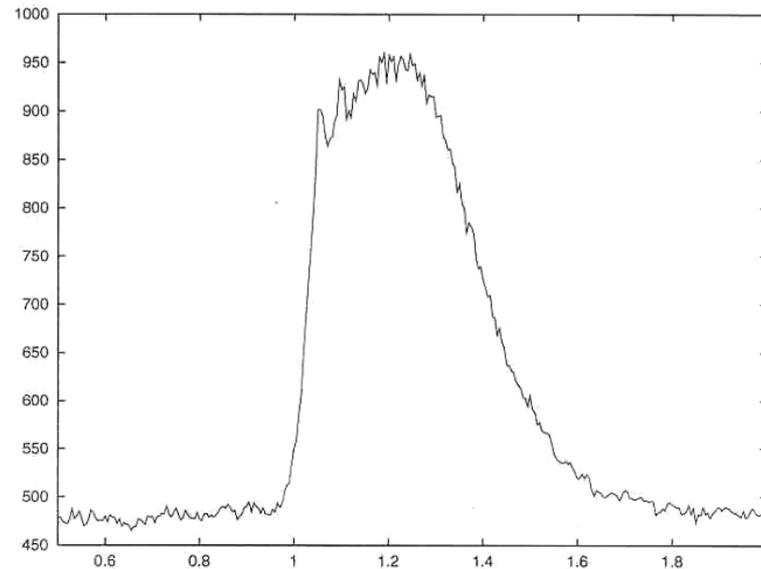


Andamento tipico del segnale ricevuto da una scia ipodensa (ping).

Dalle formule ottenute dall'analisi teorica si trova che la potenza ricevuta è proporzionale a $\lambda^3 q^2$.
La durata del segnale è proporzionale a λ^2 ed aumenta all'aumentare dell'angolo φ fra la direzione dell'onda incidente e riflessa e la perpendicolare alla scia della meteora.



2.5 Riflessione di onde lunghe da scie iperdense.



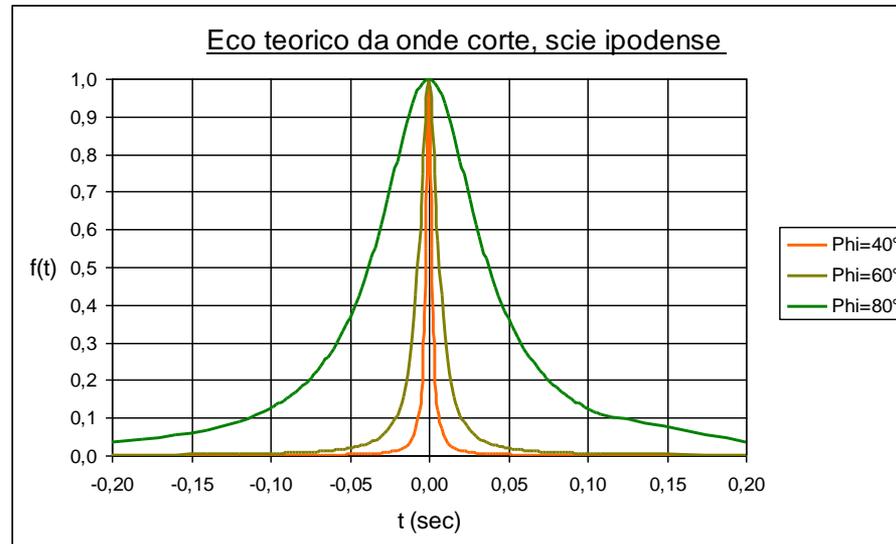
Andamento tipico del segnale ricevuto da una scia iperdensa.

Dalle formule ottenute dall'analisi teorica si trova che la potenza ricevuta è proporzionale a λ^3 .

La durata del segnale è proporzionale a λ^2 ed aumenta all'aumentare dell'angolo φ fra la direzione dell'onda incidente e riflessa e la perpendicolare alla scia della meteora.

Riflessione di onde corte da scie ipodense.

2.6 Riflessione di onde corte da scie ipodense.



Andamento teorico del segnale ricevuto da una scia ipodensa.

In questo caso, contrariamente a quanto accade per onde lunghe, la durata del segnale, definita come differenza fra i due istanti ai quali la potenza ricevuta assume un valore pari al 29% del valore di picco, è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda λ e, come nei casi precedenti, aumenta all'aumentare dell'angolo φ fra la direzione dell'onda incidente e riflessa e la perpendicolare alla scia della meteora.



Riflessione di onde corte da scie iperdense.

2.7 Riflessione di onde corte da scie iperdense.

Il caso della riflessione di onde corte da scie iperdense non ha interessato i ricercatori quanto i precedenti.

Si fa l'ipotesi che le caratteristiche della riflessione siano determinate dal transitorio di formazione della scia della meteora e che la superficie riflettente sia assimilabile ad uno sferoide, più che ad un cilindro metallico infinito.

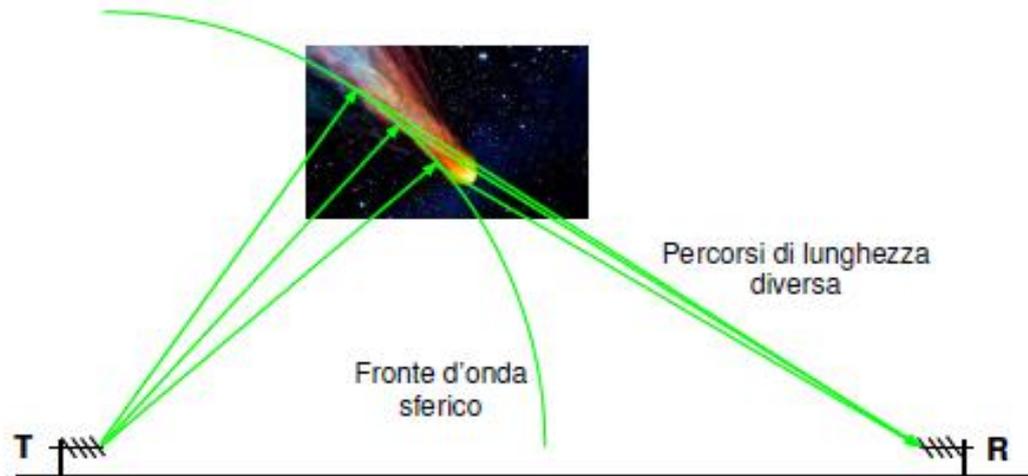
La variazione del segnale nel tempo probabilmente è simile a quella del caso precedente.

Altri fenomeni che condizionano i segnali riflessi.

2.8 Altri fenomeni che condizionano i segnali riflessi.

2.8.1 Ondulazione sull'ampiezza dovuto all'attraversamento delle zone di Fresnel.

Nel caso del meteor-scatter le zone di Fresnel rivestono particolare importanza in quanto le scie delle meteore hanno una estensione tale da diffondere il segnale incidente verso il ricevitore su cammini le cui lunghezze differiscono di multipli di lunghezze d'onda. Questo fa sì che il segnale ricevuto sia composto dalla somma di tanti segnali elementari con fasi diverse.



I segnali elementari provenienti da zone che distano multipli di $\lambda/2$ risultano in controfase con quelli che provengono da zone che distano multipli di λ per cui si hanno interferenze costruttive e distruttive.

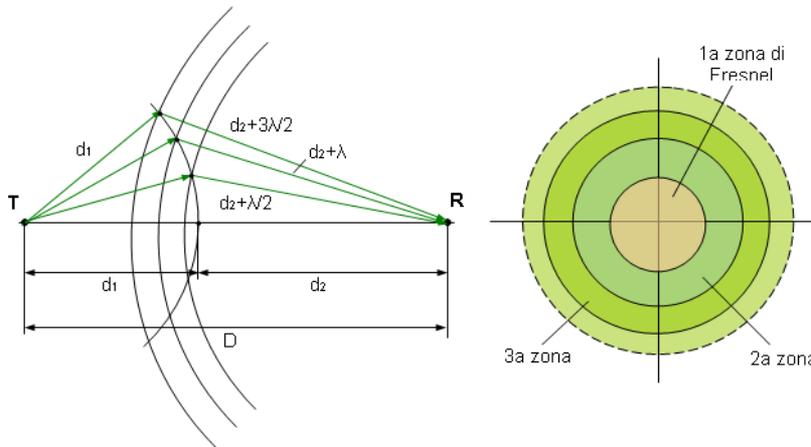
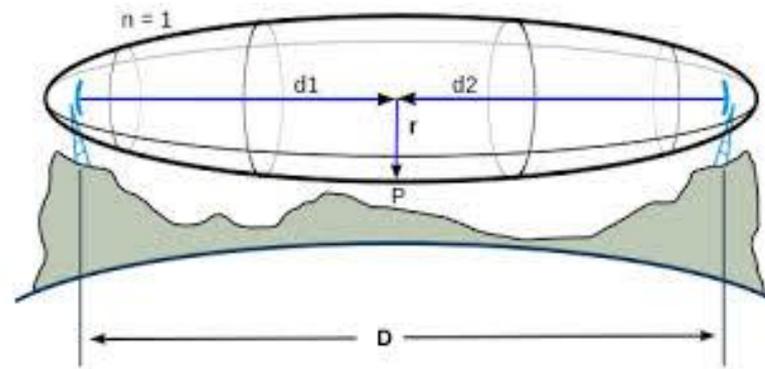
La riflessione delle onde radio mediante le meteore



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Altri fenomeni che condizionano i segnali riflessi.

In un collegamento in ponte radio la 1a zona di Fresnel è la più importante in quanto fornisce il maggior contributo al segnale ricevuto.



Raggio della k-ma zona di Fresnel:

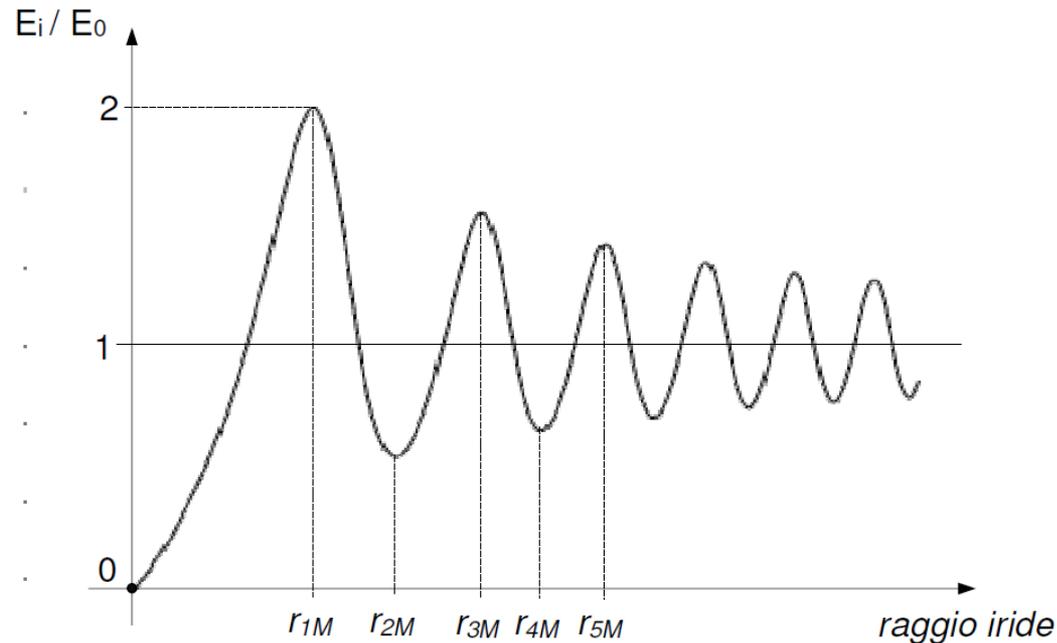
$$r_k = \sqrt{k\lambda \frac{d_1 d_2}{D}}$$

Raggio massimo della 1° zona di Fresnel
($d_1 = d_2 = D/2$):

$$r_{1M} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda D}$$

Altri fenomeni che condizionano i segnali riflessi.

In figura è rappresentato l'andamento del rapporto fra l'ampiezza E_i del segnale raccolto all'uscita dell'antenna ricevente di un collegamento in ponte radio al variare del raggio di una ipotetica «iride» circolare equidistante da antenna TX e antenna RX, e l'ampiezza E_o del segnale raccolto in assenza di iride.



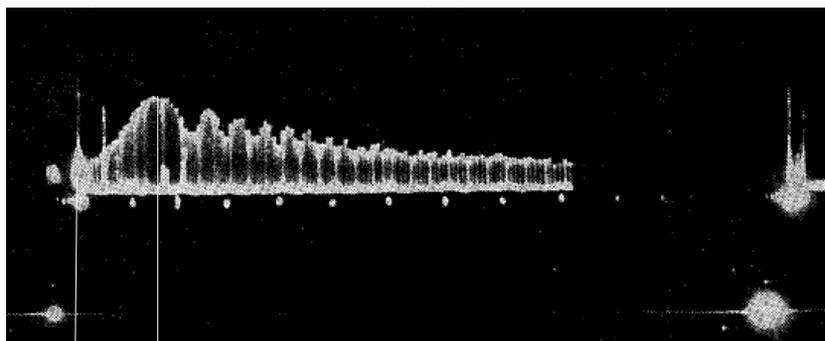
Come si vede se l'iride lascia passare solo il contributo relativo alla 1a zona di Fresnel, l'ampiezza del segnale risulta doppia rispetto al caso in cui fra TX ed RX non vi siano ostacoli.

Altri fenomeni che condizionano i segnali riflessi.

Nel caso del meteor-scatter una trattazione teorica generale che consideri le zone di Fresnel non è semplice ed esula dallo scopo divulgativo di questa presentazione.

In dati tabella si riferiscono al raggio massimo della 1a zona di Fresnel per antenne isotropiche e $D = 200$ e 2000Km e mostrano che le dimensioni della 1a zona di Fresnel risultano molto minori della lunghezza più probabile della scia delle meteore che è 15Km .

Frequenza (MHz)	λ (m)	$r_{1\text{max} 200\text{Km}}$ (m)	$r_{1\text{max} 2000\text{Km}}$ (m)
50	6	547,72	1732,05
144	2	316,23	1000,00
432	0,7	187,08	591,6



Attraversamento
1a zona di Fresnel

L'attraversamento delle zone di Fresnel da parte della meteora comporta un'ondulazione sull'ampiezza del segnale ricevuto (registrazione radar, [4])

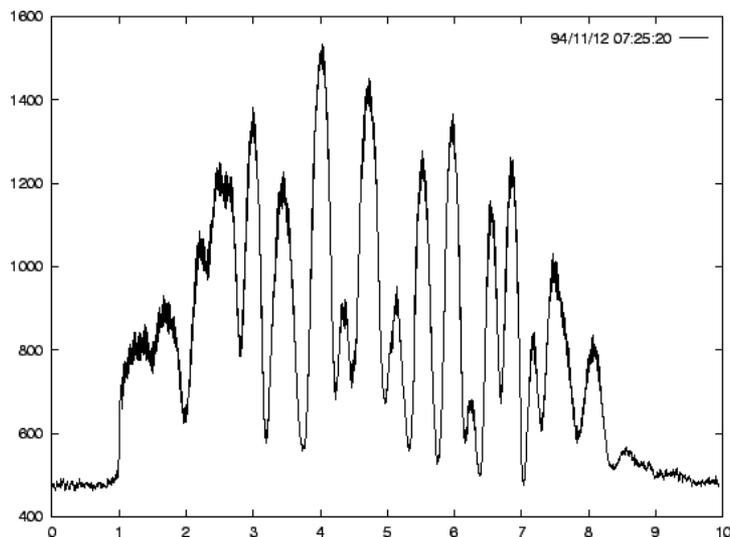
2.8.2 Drift e distorsione delle scie.

Le scie sono soggette a venti ionosferici che a loro volta possono produrre un effetto Doppler.

Le distorsioni delle scie delle meteore possono portare alla formazione di forti diffusori del segnale incidente. Il segnale ricevuto è una composizione dei loro contributi che muovendosi con velocità diverse creano frequenze doppler diverse e il segnale composto risulta affetto da evanescenze (fading) irregolari.

Un'altra causa di distorsioni è la rotazione delle scie.

Nel segnale di figura, ricevuto da una scia iperdensa, si riconoscono le evanescenze descritte.





2.9 Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.

2.9.1 L'orientamento delle antenne.

I guadagni G_T e G_R indicati nelle formule precedenti dipendono dall'orientamento delle antenne trasmittente e ricevente rispetto alla traiettoria della meteora e dalla loro polarizzazione rispetto alla scia della meteora e rispetto piano di polarizzazione del segnale riflesso dalla meteora.

Antenne più direttive consentono guadagni maggiori, quindi, a parità di tutti gli altri parametri, potenze di trasmissione minori. Per contro con le antenne direttive aumenta la difficoltà di orientamento verso la meteora e diminuisce la durata del segnale ricevuto in quanto la meteora esce rapidamente dalla zona di massimo guadagno dell'antenna.

Per quanto riguarda la polarizzazione, non avendo informazioni a priori su come si presenta la scia della meteora e su quanto può risultare depolarizzata l'onda riflessa rispetto a quella incidente, la scelta più ragionevole è quella di usare la stessa polarizzazione (orizzontale o verticale) per le due antenne.

Nello specifico, per consentire l'osservazione radar (back-scattering) le scie delle meteore devono essere tangenti ad una sfera avente per centro l'antenna.

Per consentire i collegamenti radio (forward-scattering) le scie delle meteore devono essere tangenti alla superficie di un ellissoide avente le due antenne (T ed R) nei fuochi.

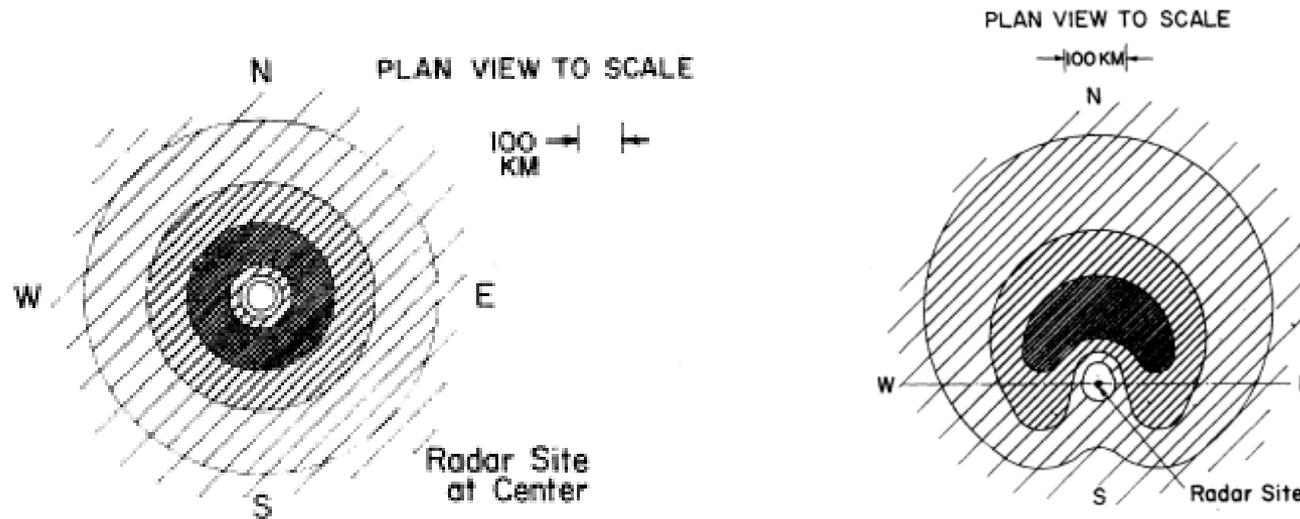
La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Osservazione radar. In figura [5] è rappresentato il numero relativo delle scie delle meteore adatte per produrre echi osservabili mediante il radar, in funzione della posizione nella regione delle meteore (altezza 80 – 120Km, regione E dell'atmosfera), nell'ipotesi di una distribuzione casuale dei radianti delle meteore rispetto alla terra. Il numero relativo di meteore è indicato dall'ombreggiatura dei settori circolari.



Nella figura a destra è rappresentato lo stesso grafico per una distribuzione reale dei radianti delle meteore. È la situazione tipica delle prime ore del mattino per una postazione alle medie latitudini dell'emisfero nord.

La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.



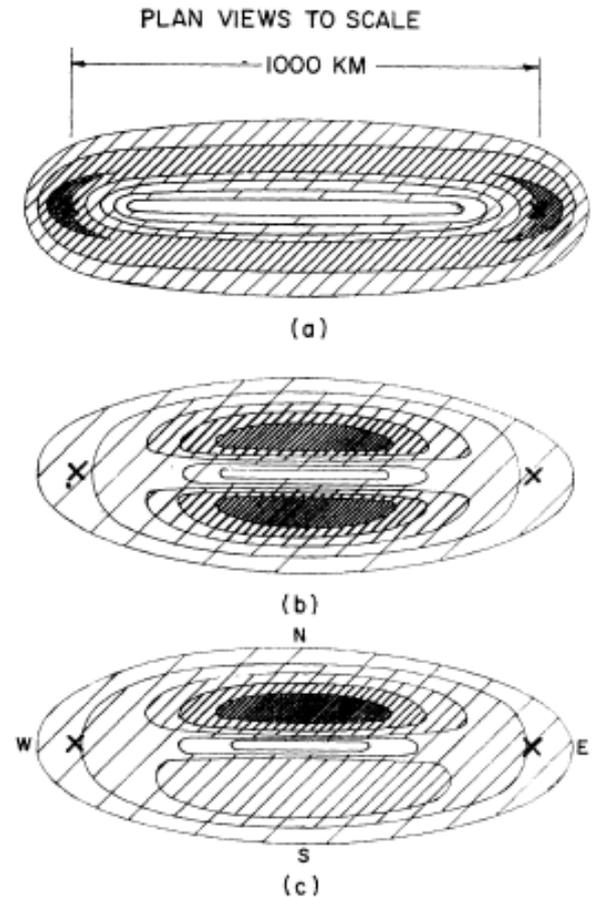
A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Collegamenti radio. Nel caso di un collegamento radio est-ovest i grafici precedenti si modificano come nelle figure a destra.

In **(a)** è rappresentato il numero relativo di meteore utili per stabilire il collegamento radio per una distribuzione casuale dei radianti indipendentemente dalla durata dei segnali ricevuti.

In **(b)** è rappresentato come varia la distribuzione delle meteore utili di figura (a) tenendo conto anche della durata dei segnali ricevuti. La durata dei segnali ricevuti aumenta all'aumentare dell'angolo fra la direzione del segnale incidente e quella del segnale riflesso, per cui i segnali riflessi di figura (a) sono di breve durata, mentre quelli di figura (b) sono di durata massima. (Alla durata massima corrisponde il Duty-Cycle massimo, quindi una maggiore capacità del collegamento di scambiare messaggi di lunga durata in un tempo breve.)

In **(c)** è rappresentato come varia il grafico in (b) per la distribuzione dei radianti tipica delle prime ore del mattino, alle medie latitudini dell'emisfero nord.



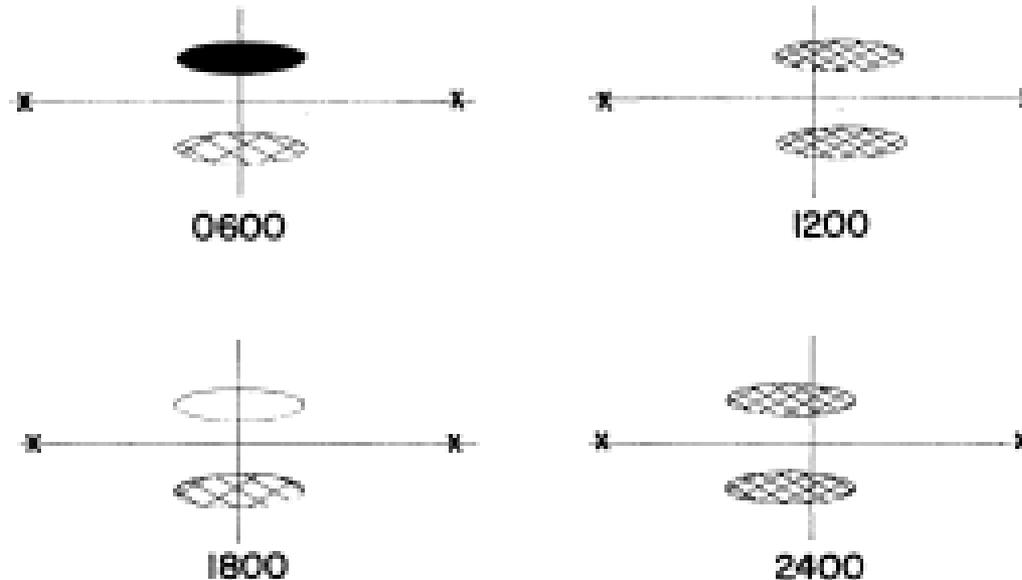
La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

In queste altre figure [6] è rappresentato come varia la distribuzione di figura (c) durante le ore della giornata. I grafici si riferiscono sempre a collegamenti est-ovest, situati alle medie latitudini dell'emisfero nord. Per l'emisfero sud, nei grafici occorre invertire il nord con il sud.



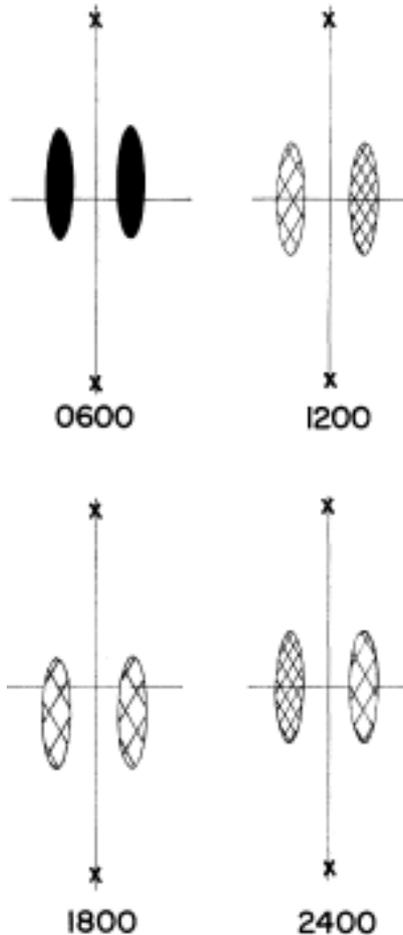
La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Per un collegamento nord-sud la situazione è la seguente:



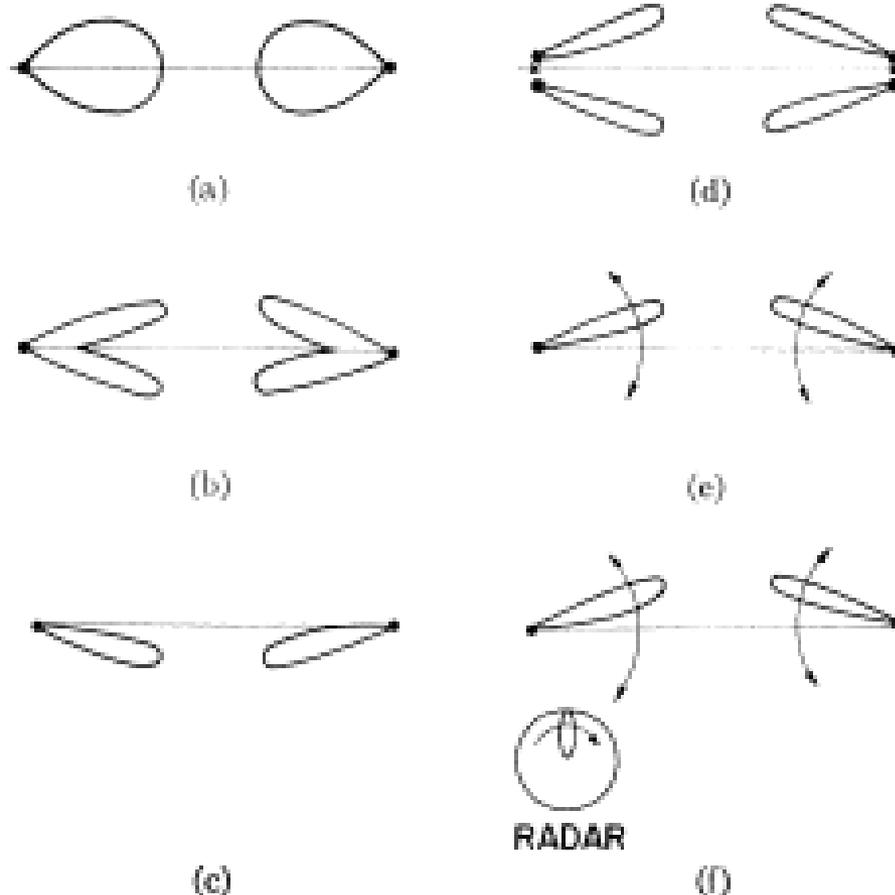
La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

In definitiva, alla luce delle osservazioni precedenti, le varie possibilità per l'orientamento delle antenne, per un collegamento est-ovest, sono in sintesi le seguenti:





- (a)** Lobo di antenna ampio in modo da poter intercettare le due zone di interesse. È la configurazione preferita per antenne piccole e semplici. Però lobo ampio significa guadagno d'antenna basso.
- (b)** Lobi di antenna separati. Questa configurazione consente guadagni di antenna, nelle direzioni di interesse, più elevati. Entrambe le zone calde dei diagrammi precedenti sono costantemente illuminate indipendentemente dalla loro intensità relativa. Questa configurazione può essere ottenuta usando per ogni terminale due antenne Yagi ad elevato guadagno orientate in modo obliquo di un angolo, che dipende dalla distanza fra trasmettitore e ricevitore, rispetto all'arco di circonferenza di raggio massimo che unisce le due antenne.
- (c)** Questa configurazione minimizza le variazioni dell'intensità del flusso dei segnali che è possibile far transitare attraverso il collegamento nell'arco della giornata.
- (d)** In questo caso ogni terminale è provvisto di due antenne separate in modo da poter selezionare, a seconda di dove si presenta la zona più calda dei diagrammi della figura precedente, la coppia di antenne da utilizzare.
- (e)** Con antenne orientabili in azimuth oltre ad individuare la zona più calda dei diagrammi della figura precedente è possibile ottimizzare l'angolo di deviazione della direzione del lobo d'antenna rispetto all'arco di circonferenza di raggio massimo che unisce le due antenne.
- (f)** Nell'ultimo caso, al sistema delle due antenne orientabili in azimuth è associato un sistema radar che consente di monitorare costantemente i cambiamenti della direzione del radiante e di conseguenza fornire le informazioni alle due antenne la direzione da assumere.



2.9.2 Zona di ricezione o footprint.

Una caratteristica molto importante delle comunicazioni meteor-scatter è il loro aspetto di collegamento radio punto-punto. Questa caratteristica fa sì che il collegamento sia difficilmente intercettabile (LPI) e sicuro da disturbi più o meno intenzionali come, in campo militare, il “jamming”.

Questa caratteristica deriva dalla necessità che le scie utili delle meteore siano tangenti alla superficie di un ellissoide che abbia i fuochi in corrispondenza delle antenne T ed R del sistema di comunicazioni e che intercetti la zona di formazione delle meteore.

L'area intorno al ricevitore in cui il segnale riflesso dalla stessa scia può essere ricevuto in modo intellegibile è detto *footprint* o zona di ricezione del trasmettitore associato.

Il “footprint” ha una forma allungata, ampia pochi Km nella direzione perpendicolare alla congiungente trasmettitore-ricevitore e 50-100Km nella direzione parallela, centrata in corrispondenza del ricevitore.

In figura [7] sono rappresentati i “footprint” per distanze trasmettitore-ricevitore di 1800, 1500, 1000, e 500Km. Le curve sono quotate con la percentuale delle trasmissioni che possono essere ricevute entro il loro perimetro (il valore 1 corrisponde al 100%).

La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.

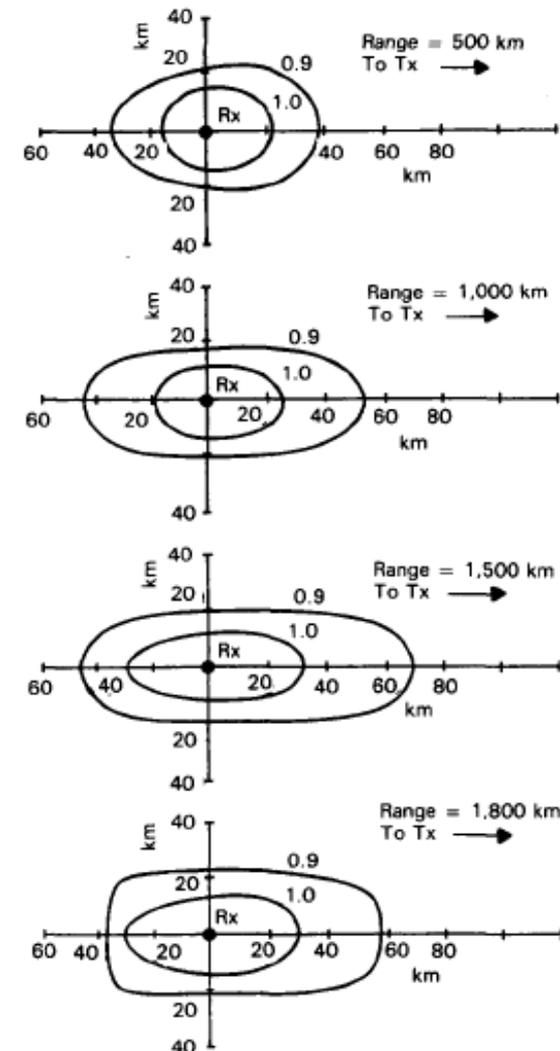


A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

I grafici di figura di riferiscono ad antenne aventi un guadagno di 9dBi (antenne Yagi con 4-5 elementi) impiegate tipicamente per i collegamenti meteor-scatter.

I grafici di figura sono un'approssimazione dei "footprint" reali in quanto sono stati ricavato considerando solo gli effetti del primo ordine.

Il "footprint" varia con la distanza, con il margine di potenza (in relazione alla sensibilità del ricevitore) e nell'arco della giornata.



La riflessione delle onde radio mediante le meteore

Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.

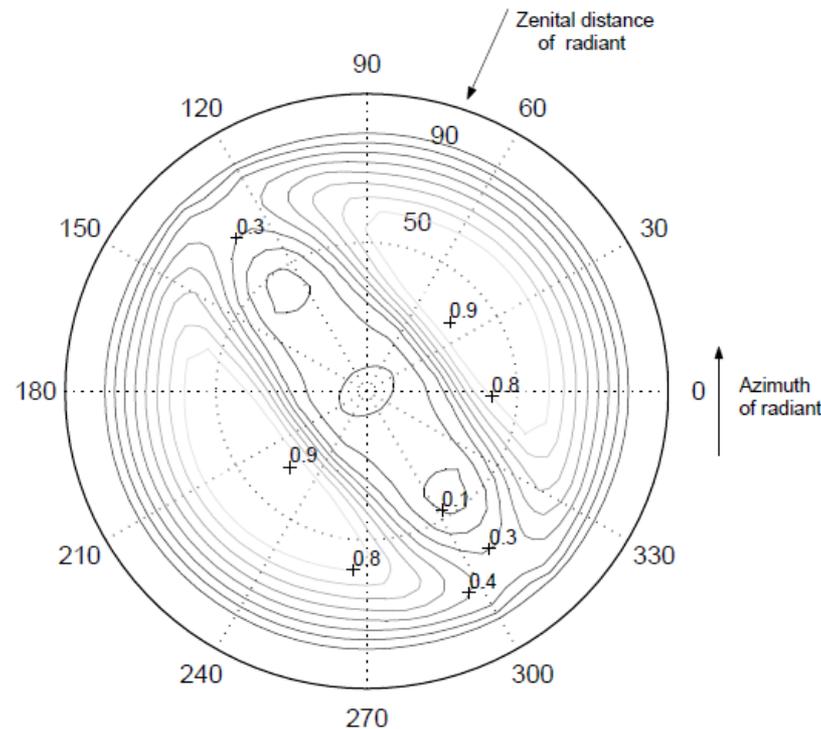


A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

2.9.3 La funzione di osservabilità.

Con riferimento agli sciami meteorici, la funzione di osservabilità rappresenta, in valori normalizzati rispetto al valor massimo, l'intensità del flusso meteorico in grado fornire segnali utili per un collegamento radio avente caratteristiche prestabilite.

In figura [8] sono rappresentati i contorni della funzione di osservabilità del collegamento Bologna-Lecce dell'ISAC (Institute of Atmospheric Sciences and Climate), un Istituto del CNR.





La distanza fra i due siti è di 728Km con un angolo di azimuth (misurato rispetto alla direzione Est) pari a 128° . Le antenne usate, sia in trasmissione che in ricezione, sono Yagi a 5 elementi in polarizzazione orizzontale.

Il grafico è stato calcolato usando la teoria ellissoidale presentata da Hines [9] ed è espresso in coordinate azimutali (azimut e distanza zenitale) dipendenti dal punto di osservazione. Il centro del grafico è posto nel punto di mezzo dell'arco di raggio massimo congiungente T con R.

I valori indicati sono stati calcolati considerando un flusso meteore uniforme e quindi una distribuzione uniforme dei radianti.

Nel caso in cui il radiante sia puntiforme la funzione di osservabilità assumerà il valore corrispondente alla posizione del radiante ottenuta trasformando le coordinate equatoriali «assolute» (tabella slide 10) in coordinate azimutali.

Riportando sul grafico precedente la posizione assunta dal radiante durante le ore del giorno, variabile per la rotazione della terra, è possibile determinare l'andamento del valore assunto dalla funzione di osservabilità nell'arco della giornata.

Per effetto della rotazione della terra attorno al sole la funzione di osservabilità dipende anche dal giorno (del periodo di attività dello sciame) considerato. Infatti per effetto della rotazione della terra attorno al sole la posizione del radiante visto dalla terra cambia anche da giorno a giorno.

La riflessione delle onde radio mediante le meteore

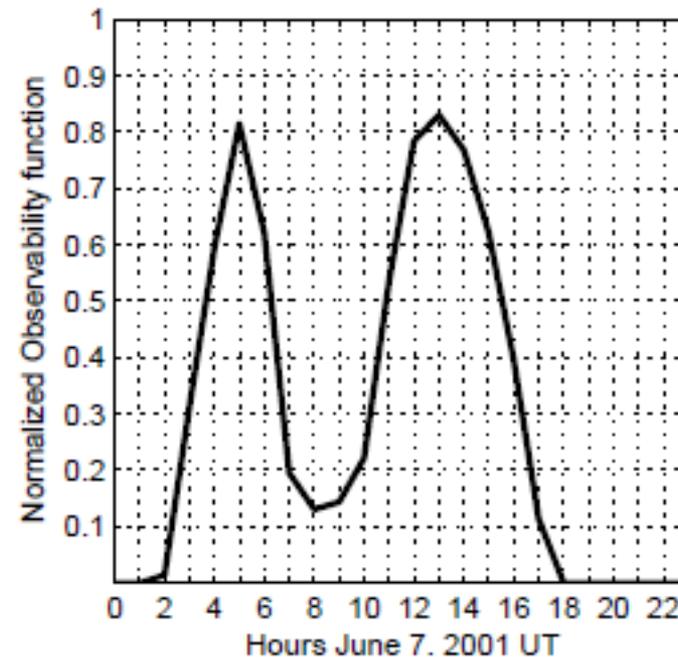
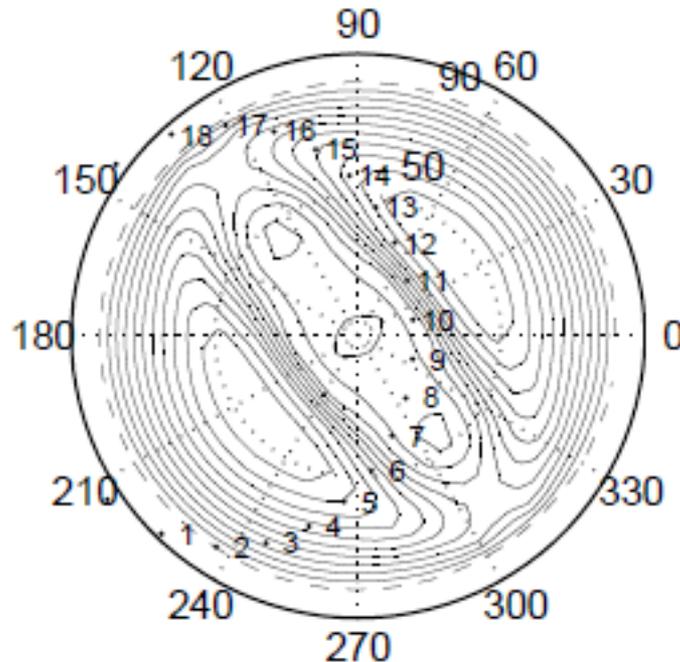
Orientamento delle antenne, footprint e funzione di osservabilità.



A.R.I. Sezione di PISA - IQ5PJ

Per il collegamento considerato, in figura [8] è rappresentata la costruzione della funzione di osservabilità in funzione dell'ora UT del 7 Giugno 2001 per lo sciame delle Zeta Perseidi.

Example of the diurnal changes of observability as function of the radiant position for Zeta Perseids on the June 7. 2001 for Bologna - Lecce system





3. Cenni storici sui collegamenti radio via meteor-scatter. [10]

Le prime osservazioni dirette dell'interazione fra le meteore e la propagazione radio furono descritte dal giapponese Hantaro Nagaoka, nel 1929.

Nel lontano 1930, quando le comunicazioni radio erano ancora nella loro infanzia, Pickard [11] notò che sprazzi di propagazione a lunghe distanze e alte frequenze avvenivano contemporaneamente ai maggiori sciami di meteore.

Skellet [12] dette credito alle osservazioni di Pickard postulando che in quei casi la propagazione avvenisse per riflessione o diffusione delle onde radio causate dalle code delle meteore.

Durante la seconda guerra mondiale i tecnici addetti alle radio osservarono echi provenienti dalla coda delle meteore che, in alcuni, casi furono confusi con echi provenienti da missili in avvicinamento.

Solo alla fine della guerra, quando la tecnologia permise la radio comunicazione in VHF e UHF, le tecniche radio si interessarono di nuovo al fenomeno del meteor-scatter.

Nell'immediato dopo guerra, le ricerche procedettero per capire il potenziale di questo nuovo mezzo di comunicazione. Sperimentazione fu fatta negli Stati Uniti, nel Canada, in Gran Bretagna e nell'Unione Sovietica.

Questa sperimentazione consentì di stabilire i fondamenti della natura del meccanismo di meteor scattering.



Una delle proprietà più interessanti associate con il meccanismo di scattering da meteora fu la piccola dimensione della zona illuminata a terra da ogni singola meteora. Ciò forniva alle comunicazioni meteor-scatter le caratteristiche di un collegamento punto-punto, come sono i collegamenti via ponte radio o satellite.

Dopo questa scoperta le ricerche sull'argomento furono secretate dagli organi militari e rimasero secretate fino a metà degli anni 50, quando l'edizione di Dicembre del 1957 delle *IRE Proceedings* fu dedicato interamente al meteor-scatter.

Il primo ad avere l'idea che lo scatter dalle code ionizzate delle meteore possa essere utilizzato per comunicazioni (punto-punto) oltre la portata ottica fu Pineo del National Bureau of Standards (NBS). I primi a sviluppare tale idea furono Montgomery e Sugar [13].

Gli anni successivi videro un'esplosione di ricerche perché nessuna organizzazione voleva rimanere in ritardo nello sfruttamento di questo mezzo di comunicazione.

Uno dei primi collegamenti radio sperimentali fu realizzato mediante il sistema **JANET** dal Radio Physics Laboratory del Canadian Defense Research Board nel 1953, che permetteva una comunicazione punto-punto mediante telescrivente fra Ottawa e Port Arthur.

Nel 1962 al gruppo canadese fu assegnato anche un brevetto [U.S. patent 3,054,895, Sept.1962] per l'uso del meteor-scatter come mezzo di comunicazione.

Il sistema JANET era bidirezionale e trasmetteva sulla frequenza nominale di 50MHz con la spaziatura di 1MHz fra le due frequenze di trasmissione. Ciascuna stazione trasmetteva un segnale sonda in CW e la modulazione veniva attivata solo quando veniva individuato un canale utilizzabile.



La potenza trasmessa da ciascuna stazione con un'antenna avente un guadagno di 12dBi era 500W. Come in tutti i sistemi del tempo, i dati venivano memorizzati su nastro magnetico o in memorie a nucleo magnetico.

Contemporaneamente, all'inizio del 1953, il National Bureau of Standards per indagare sulla propagazione VHF, incluso meteor-scatter e scatter ionosferico, realizzò collegamenti in tutto il Nord America.

Il primo collegamento operò fra Cedar Rapids (Iowa) e Sterling (Virginia).

Nel 1955 fu installato un secondo collegamento fra Erie (Colorado) e Long Branch (Illinois).

Anche in Alaska e Canada furono realizzati collegamenti per indagare sulle caratteristiche delle meteore ed altri meccanismi di propagazione in VHF.

All'inizio degli anni '60, il National Bureau of Standards fu la prima organizzazione a misurare la dispersione multipath del canale radio usando una forma d'onda impulsiva da alta risoluzione (300KHz). Fu mostrato che il canale è in grado di supportare comunicazioni a larga banda, sebbene la tecnologia in grado di supportare comunicazioni digitali ad alta velocità via meteor-scatter fosse almeno 20 anni in ritardo.

Un altro collegamento fra i più importanti per scopi di ricerca negli Stati Uniti fu quello realizzato dallo Stanford Research Institute (SRI) per la U.S. Air Force.

Il collegamento operò, a partire dal 1950, da Palo Alto (California) a Bozeman (Montana)



Questo collegamento fu usato principalmente per ricerche sulla propagazione e portò ad alcune scoperte fondamentali sulla natura dei meccanismi di propagazione delle meteore.

L' Harvard/Smithsonian Astrophysical Observatory contribuì molto alla elaborazione della fisica teorica e sperimentale.

Alla fine degli anni '50 per il meteor-scatter, con il progredire della tecnologia e l'invenzione del transistor che portò ad una semplificazione e riduzione degli ingombri degli apparati, furono postulate nuove applicazioni come le comunicazioni in facsimile, i sistemi di telerilevamento e semplici sistemi per trasmissione dati punto-punto.

La Hughes Aircraft su commissione della U.S. Air Force investigò sull'uso del meteor-scatter per estendere la distanza dei collegamenti radio aeronautici.

Dopo il lancio dello *Sputnik* (1957), all'inizio degli anni '60, l'interesse sulle comunicazioni via satellite iniziò a prevalere su quello per le comunicazioni via meteor-scatter.

Dalla fine del 1960 l'interesse per il meteor-scatter si limitò principalmente alle applicazioni scientifiche legate all'uso degli echi dalle meteore per le investigazioni sui venti nella parte più bassa della ionosfera.

Il 1960 vide il primo sistema militare di comunicazioni via meteor-scatter sviluppato in Europa, il sistema **COMET**, gestito dal NATO SHAPE (Supreme Headquarters Allied Powers Europe) Technical Center. Il sistema forniva la possibilità di comunicare fra The Hague (Olanda) e il sud della Francia.



Questo fu il primo collegamento ad introdurre protocolli di segnalamento più avanzati come ARQ (automatic request), in cui un pacchetto di dati viene trasmesso ed accettato oppure viene fatta una richiesta di ripetere la trasmissione. Il sistema fu impiegato per trasmettere messaggi convenzionali mediante telescrivente.

Nel 1970 i rapidi progressi nella tecnologia digitale, incluso lo sviluppo del primo microprocessore, ridussero ulteriormente gli ingombri e il costo degli apparati per le comunicazioni meteor-scatter. Il meteor-scatter per un certo numero di caratteristiche proprie diviene la scelta naturale per sistemi di comunicazione usati per trasmettere piccole quantità di dati di telerilevamento da siti che non possono essere connessi alle comunicazioni convenzionali telefoniche (nel 1970 i terminali satellitari mobili non sono ancora stati inventati).

La prima applicazione importante della nuova tecnologia meteor-scatter per la trasmissione di piccole quantità di dati meteorologici e relativi alla profondità della neve da centinaia di stazioni alimentate da energia solare fu realizzata nella parte occidentale degli Stati Uniti. Il sistema, **SNOTEL**, sviluppato e installato dalla nuova società Meteor Communication e gestito dal Department of Agriculture, consisteva in 500 (circa) stazioni remote basate su sistemi a microprocessore e due stazioni master organizzate in una configurazione circuitale a stella.

Dall'inizio del 1980 la percepita vulnerabilità delle comunicazioni via satellite e terrestri per applicazioni militari stimolò un risveglio delle comunicazioni via meteor-scatter come mezzo di trasmissione di back-up.



Durante il 1980 nuove ricerche in ambito meteor-scatter orientate ad un canale di comunicazione congiunto ai nuovi progressi in campo tecnologico portarono ad apparati sempre più performanti.

Furono messe in campo architetture con più stazioni master interconnesse capaci di coprire distanze intercontinentali.

Tecniche di codifica avanzate furono impiegate nei terminali per migliorare le loro prestazioni in termini di riduzione degli errori su canali scatter deboli.

Lavori teorici mostrarono che usando tecniche che adattano la velocità di trasferimento dei dati alla capacità dinamica del canale, possono essere ottenuti aumenti consistenti della quantità di dati trasmessi nell'unità di tempo attraverso il canale. Il lavoro teorico fu verificato con la messa in campo del primo sistema con velocità dei dati o protocollo adattivi.

Anche miglioramenti nella tecnologia delle antenne consentirono al meteor-scatter di essere competitivo nei confronti di più tecniche convenzionali come le HF.

Per il relativamente basso costo delle apparecchiature rispetto ai terminali satellitari, un numero di nuove potenziali applicazioni sono in fase di sviluppo.



4. Meteor-scatter e radiantismo

L'interesse documentato dei radioamatori verso il meteor-scatter coincide con l'inizio dell'età d'oro per questo tipo di propagazione.

Facendo una ricerca nell'archivio di **QST** uno dei primi articoli sul meteor-scatter fu quello di W6QYT (O.G.Villard della Stanford University) pubblicato nel fascicolo di Gennaio 1946 [14]. Il suo titolo è:

Listening in on the Stars

Doppler Whistles from Meteor Trails

BY OSWALD G. VILLARD, JR.,* W6QYT, EX-WIDMV

Un secondo articolo interessante dello stesso autore fu «*Meteor Detection by Meteor Radio*», che si trova nel fascicolo di Luglio 1947 [15].



Una curiosità. Dai ringraziamenti che chiudono questo articolo si evince il legame stretto fra i ricercatori coinvolti con le ricerche ufficiali sulle meteore e i radioamatori.

Acknowledgment

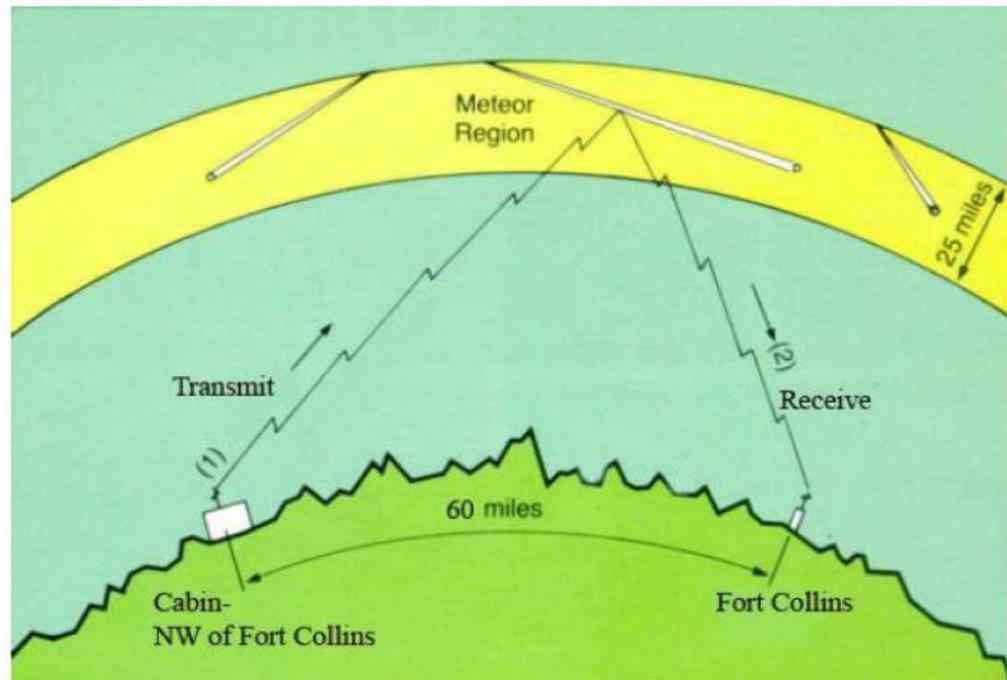
The experiments described in this article have been carried out jointly by W. E. Evans, jr., R. A. Helliwell, W6MQG, L. A. Manning, W6QHJ, and the author. Members of the Stanford Radio Club who have assisted in various ways include: L. A. Roberts, W6YWX, R. O. Beaudette, W7FXI, and J. W. Menne, W0LTV.

Un terzo articolo di W6QYT, scritto insieme a W6POH (A.M. Peterson sempre della Stanford University) dal titolo «*Meteor Scatter*» si trova nel fascicolo di Aprile 1953 [16].

Infine nel fascicolo di Aprile 1957 [17] troviamo un articolo di W4LTU (W.F.Bain) dal titolo «*V.H.F. Meteor Scatter Propagation*» che riguarda il meteor-scatter in VHF.

4.1 Caratteristiche dei collegamenti radioamatoriali.

In figura è rappresentato un collegamento radio via meteor-scatter.



Tipicamente i collegamenti radioamatoriali via meteor-scatter usano segnali radio modulati SSB in modo digitale.



Il tipo di modulazione più usato è l' FSK (Frequency Shift Keying) ovvero una modulazione ottenuta spostando in modo discreto, secondo un codice prestabilito, la frequenza della portante. Lo standard più usato con il meteor-scatter è l' FSK441 ideato da K1JT (Joe Taylor).

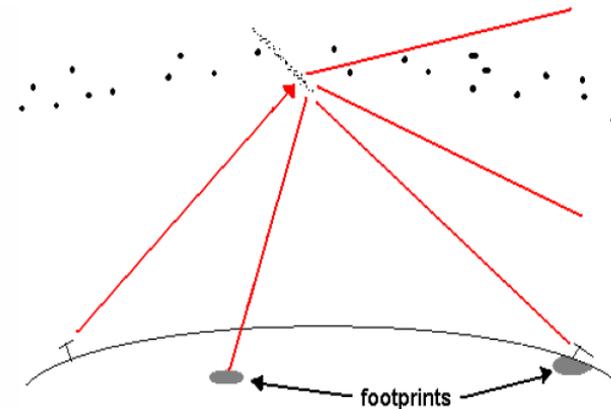
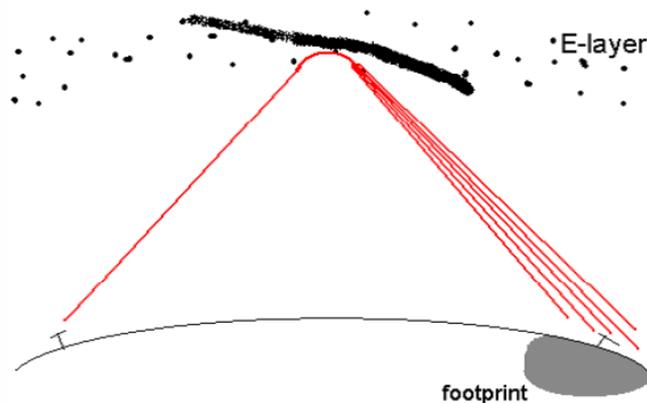
Le frequenze sono assegnate. In VHF, **50.2MHz** è la frequenza di riferimento i 6m, mentre **144.195 – 144.295MHz** è la banda prioritaria per i 2m.

La maggior parte (90%, circa) dei segnali ricevuti provengono da scie meteoriche ipodense. Questi segnali si dicono **pings** ed hanno il caratteristico andamento ad ampiezza decrescente con decadimento pseudoesponenziale mostrato nella slide 28.

La rimanente parte (10%) dei segnali ricevuti provengono da scie meteoriche iperdense e il loro andamento simile ad un **burst**, ovvero segnale con involuppo limitato nel tempo, di ampiezza pressoché costante, simile a quello mostrato nella slide 29.

Nelle seguenti figure sono rappresentate le modalità di riflessione nei due casi.

Nel caso di scie ipodense i segnali riflessi si disperdono nello spazio. Le zone in cui è possibile ricevere il segnale sono meno definite rispetto al caso di scie iperdense. Il concetto di footprint risulta più sfumato. È più appropriato parlare di diffusione che di riflessione del segnale incidente.



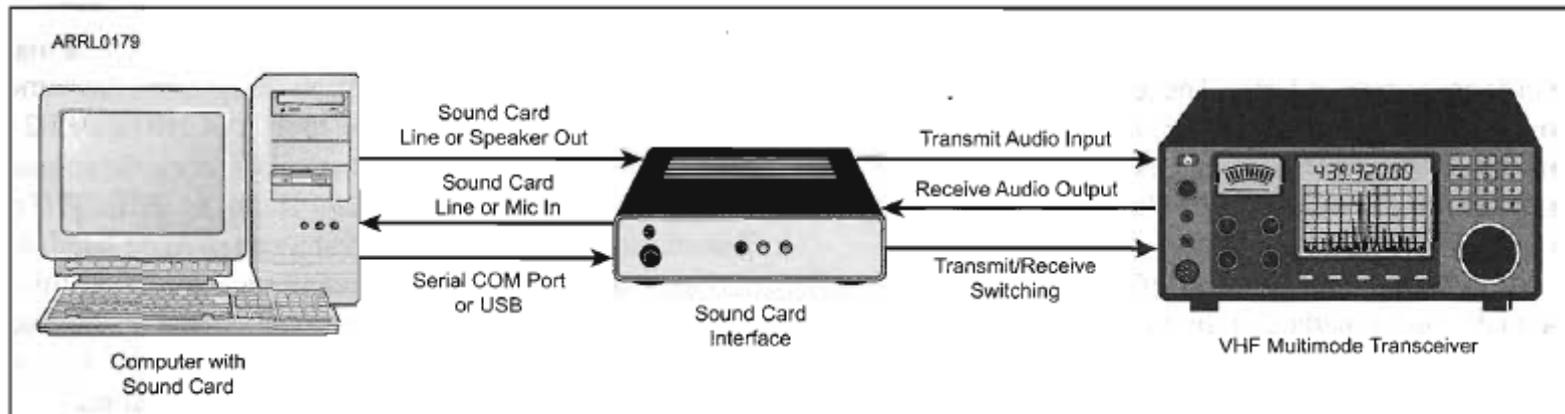
Per quanto indicato sulla durata e l'ampiezza dei segnali riflessi dalle scie meteoriche nelle slides 28 e 29 è possibile concludere che, a parità di frequenza, all'aumentare della distanza fra TX e RX la durata del segnale ricevuto aumenta. Per contro la sua ampiezza decresce perché aumenta l'attenuazione di percorso.

Per contro, per una distanza prefissata, all'aumentare della frequenza decresce sia la durata del segnale sia la sua ampiezza.

La durata dei segnali ricevuti generalmente non supera qualche secondo, in casi molto eccezionali può raggiungere alcune decine di secondi.

4.2 Configurazione della stazione radio.

In figura è rappresentata la configurazione tipica e le interconnessioni di una stazione predisposta per collegamenti via-meteor-scatter, riprodotta dal *VHF Digital Handbook*, ARRL [18]. È la stessa configurazione usata per le trasmissioni digitali.



La generazione del segnale modulante (contenente l'informazione) e il campionamento del segnale ricevuto sono affidati alla scheda audio del computer, al quale è affidata anche la decodifica del segnale campionato. Il software maggiormente usato è WSJT, introdotto nel 2001 da K1JT. Il PC è collegato al transceiver per mezzo di un'interfaccia.



Configurazione della stazione radio

L'uscita della scheda audio del PC è collegata all'ingresso audio del transceiver.

L'uscita audio del transceiver è collegata all'ingresso della scheda audio del PC.

Un terzo collegamento, fra la seriale del (RS-232 o USB) del PC e il comando PTT del transceiver, consente al PC di commutare il transceiver dalla ricezione alla trasmissione e viceversa.

Nei transceiver più moderni l'ingresso, l'uscita audio e il comando PTT sono accessibili da un connettore multipolare posto sul retro del transceiver.

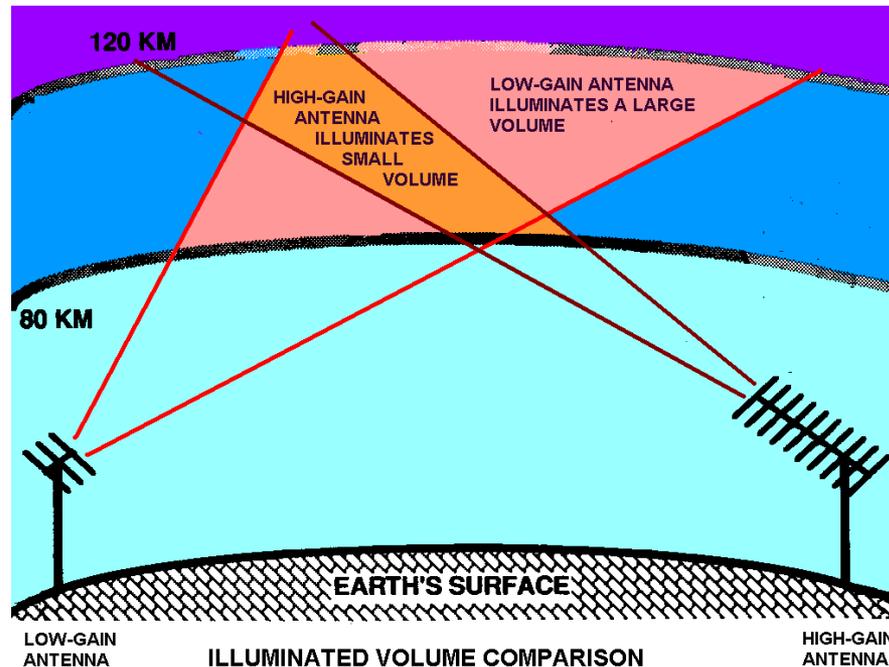
Nei transceiver vintage, l'ingresso audio e il comando PTT sono accessibili dal connettore del microfono, mentre l'uscita audio è accessibile dal connettore per la cuffia.

Per il corretto funzionamento del sistema è necessario che la banda occupata dal segnale modulante FSK441, generato, dal PC sia minore o uguale alla banda audio del transceiver.

Frequenza di trasmissione, tipo di modulazione (SSB) e potenza trasmessa devono essere selezionate direttamente dai comandi del transceiver. Inoltre il transceiver deve avere una regolazione della sintonia precisa ed una buona stabilità in frequenza per evitare che offset eccessivi fra la frequenze di trasmissione e ricezione provochino errori nella decodifica dei messaggi ricevuti. La differenza fra le due frequenze non deve superare, indicativamente, 200Hz.

Configurazione della stazione radio

Per quanto riguarda l'antenna, è opportuno utilizzare un'antenna con un guadagno non superiore a 10dB in modo da disporre di un lobo di radiazione ampio, tale da illuminare con guadagno costante, nella zona di ablazione delle meteore, una superficie piuttosto estesa così da ridurre le incertezze di puntamento.



Per avere la stessa potenza incidente sulla scia della meteora, al diminuire del guadagno d'antenna è necessario aumentare la potenza trasmessa.



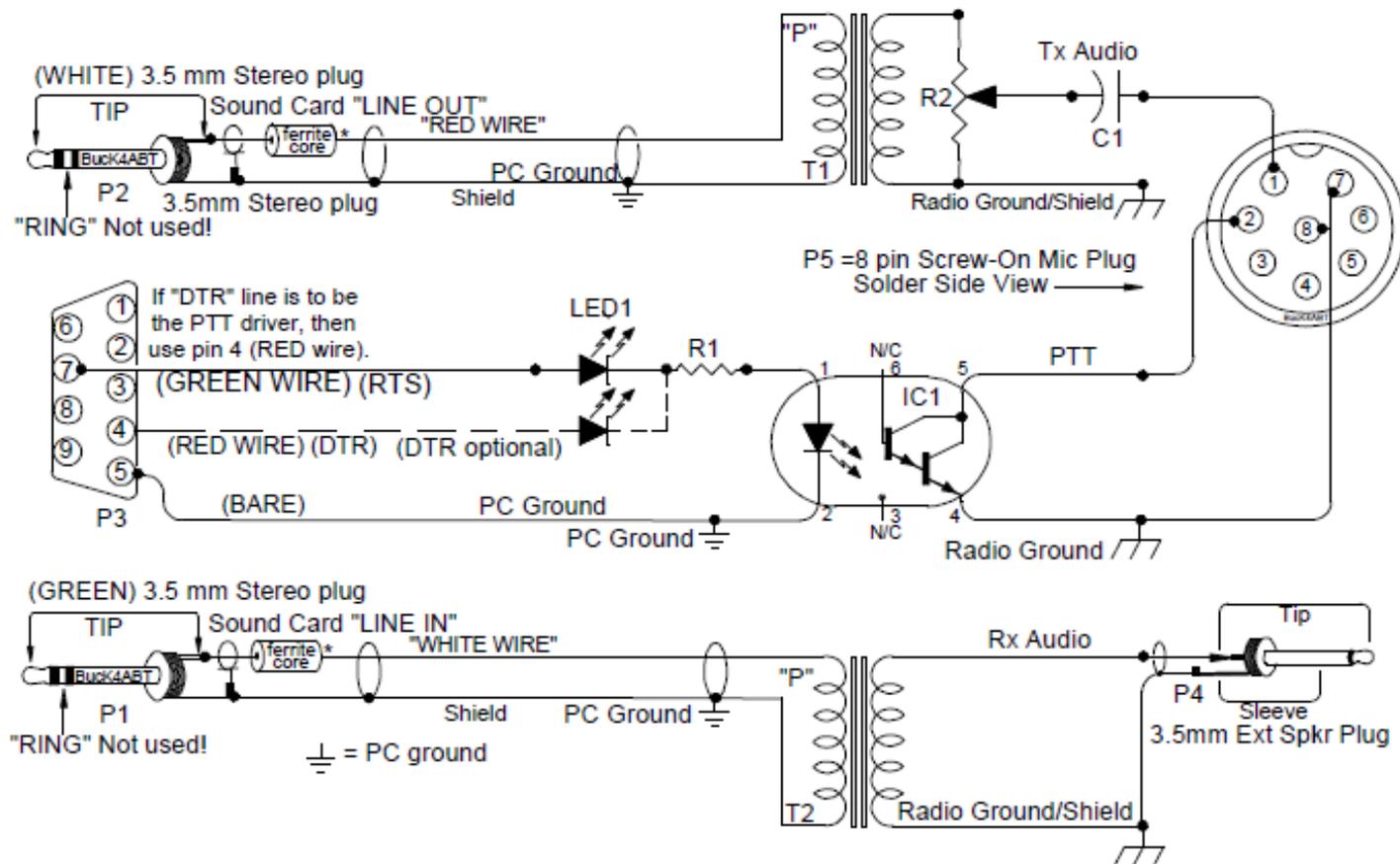
Configurazione della stazione radio

Con un'antenna avente un guadagno di 10dB (Yagi, 5 elementi), per ottenere risultati soddisfacenti nella banda dei 2m è necessaria una potenza di trasmissione di almeno 100W.

È opportuno anche osservare che nel caso di collegamento fra transceiver e antenna con perdite non trascurabili la soluzione migliore potrebbe essere quella di posizionare l'amplificatore finale del trasmettitore in prossimità dell'antenna ed inserire sul percorso di ricezione, sempre in prossimità dell'antenna, un preamplificatore a bassa cifra di rumore.

4.3 L'interfaccia fra PC e transceiver.

In commercio ne esistono di diverso tipo e ad un prezzo modico. In figura è riportato lo schema tipico di un'interfaccia per modi digitali [19].





L'interfaccia fra PC e transceiver

I collegamenti verso il PC si trovano a sinistra. Il JACK in alto deve essere collegato all'uscita della scheda audio per inviare il segnale modulante proveniente dal PC all'ingresso audio del transceiver. Il JACK in basso deve essere collegato all'ingresso della scheda audio per inviare il segnale audio in uscita dal transceiver alla scheda audio del PC. Il connettore multipolare al centro deve essere collegato all'uscita seriale del PC. Attraverso questo connettore il PC aziona il PTT del transceiver per passare da ricezione a trasmissione e viceversa.

Le connessioni sul lato destro riguardano il transceiver. Il connettore multipolare in alto deve essere collegato dove normalmente si collega il microfono. Il JACK in basso deve essere collegato all'uscita per le cuffie.

Come si vede dallo schema i collegamenti sono realizzati avendo cura di isolare la massa del transceiver dalla massa del PC. Per questo i collegamenti destinati ai segnali analogici sono realizzati attraverso due trasformatori con rapporto di trasformazione 1:1, mentre il collegamento che aziona il PTT è realizzato mediante un optoisolatore.

Il LED1 in serie, sull'ingresso dell'optoisolatore si illumina durante la trasmissione, quando il pin 7 del connettore P3 è sotto tensione e il pin 2 del connettore multipolare in alto a destra si trova collegato a massa tramite il transistor d'uscita dell'optoisolatore.



L'interfaccia fra PC e transceiver

Le due ferriti sul filo caldo dei collegamenti coassiali ai due JACK di sinistra realizzano due filtri passa basso in modo da evitare che disturbi provenienti dal PC, esterni alla banda occupata dal segnale audio in transito, possano disturbare il transceiver.

Il potenziometro R2 consente di regolare il livello del segnale modulante in ingresso al transceiver.

Il condensatore C1 evita che eventuali componenti continue raggiungano l'ingresso del transceiver.

4.4 Il software WSJT.

Il software più usato per le comunicazioni radioamatoriali è stato sviluppato da K1JT, Joe Taylor.

Joseph Hooton Taylor Jr. è un fisico famoso, nato nel 1941, che ha effettuato ricerche sulle pulsar binarie per dimostrare l'esistenza della radiazione gravitazionale prevista da A.Einstein nella sua teoria della relatività generale. Nel 1993, per i risultati ottenuti nelle ricerche fatte, è stato insignito del premio Nobel. È stato professore di fisica e successivamente, per sei anni, preside di facoltà all'Università di Princeton prima di ritirarsi nel 2006.

Come radioamatore ha ottenuto la prima licenza come KN2ITP nel 1954, a soli 13 anni. Prima di K1JT, ha avuto i seguenti nominativi: K2ITP, WA1LXQ, W1HFV, e VK2BJX, l'ultimo ottenuto in Australia.





Il software WSJT

WSJT è l'acronimo di "Weak Signal Joe Taylor".

Il software WSJT è scaricabile, insieme ai manuali d'uso e ad altra documentazione, dal sito <http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>.

La versione di WSJT attualmente scaricabile è la 9.7

Questa versione rispetto alla precedente implementa il modo ISCAT pensato per lo scatter troposferico e ionosferico debole.

Rispetto alla prima versione, oltre al modo FSK441, implementa i modi JT65, JT4 e CW particolarmente indicati per i collegamenti EME (Earth Moon Earth) e il modo JTMS.

Quest'ultimo è un modo sperimentale che usa la modulazione MSK (Minimum Shift Keying), una variante della modulazione FSK, che consente una velocità di trasmissione per unità di banda maggiore.

Un altro modo presente è Echo che consente la verifica dei propri echi lunari.

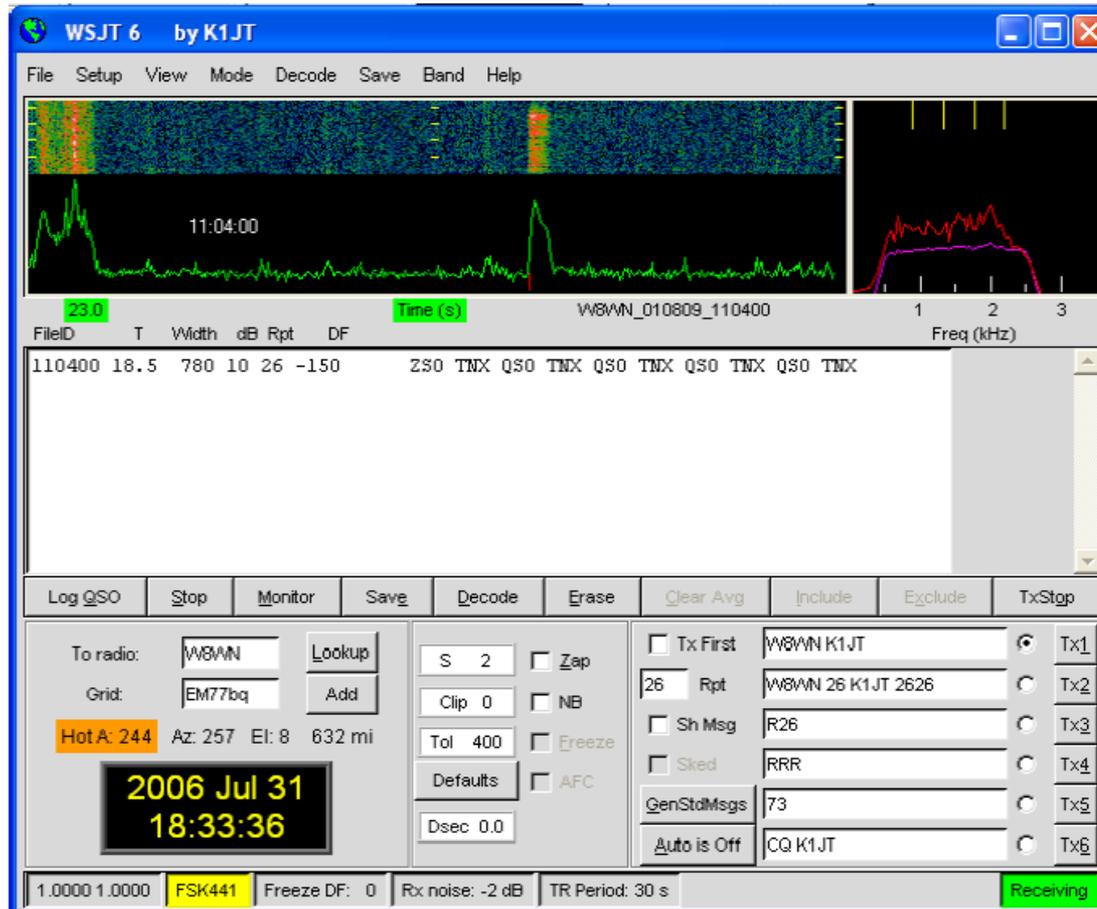
Nella tabella seguente [20] sono riassunte le caratteristiche dei modi implementati nella versione 9.0 di WSJT.



Parametri dei Modi WSJT

Mode	T/R (s)	Mod	FEC	Nsps	Baud	Δf (Hz)	BW (Hz)	cps s-1	S/N (dB)
FSK441	15, 30	4-FSK	-	25	441	441	1764	147	-1
JTMS	15, 30	MSK	parity	8	1378	689	2067	197	-1
ISCAT	15, 30	42-FSK	-	256	43.1	43.1	1809	32.3	-17
								TxT (s)	
JT65A	60	65-FSK	RS(63,12)	4096	2.69	2.69	178	46.8	-25
JT65B	60	65-FSK	RS(63,12)	4096	2.69	5.38	355	46.8	-24
JT65C	60	65-FSK	RS(63,12)	4096	2.69	10.77	711	46.8	-23
JT4A	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	4.375	17.5	47.1	-23
JT4B	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	8.75	35	47.1	-22
JT4C	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	17.5	70	47.1	-21
JT4D	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	39.375	157.5	47.1	-20
JT4E	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	78.75	315	47.1	-19
JT4F	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	157.5	630	47.1	-18
JT4G	60	4-FSK	K=32,r=1/2	2520	4.375	315	1260	47.1	-17
Diana	30	42-FSK	-	2048	5.38	5.38	226	23.4	-22

(Il modo Diana, ultima riga, non è presente nella versione 9.7, dove i modi JT65 sono presenti anche con i suffissi B2 e C2.)



Nella figura è rappresentata la schermata tipica di WSJT durante un QSO fra K1JT e W8WN tratta dal Manuale d'Uso e di Istruzioni [21]. La schermata di WSJT 9.7 è leggermente diversa, ma questo non invalida le descrizioni che seguono.



Il software WSJT

In alto vi sono due aree grafiche. La più grande mostra uno spettrogramma “waterfall” con la variabile tempo sull’asse orizzontale e la frequenza sull’asse verticale. Nell’intervallo temporale considerato il segnale ricevuto comprende all’inizio due segnali spuri di alta intensità seguiti, a 18.5sec, da un *ping* di discreta intensità.

La traccia verde in basso rappresenta la potenza contenuta nella banda del ricevitore. La coordinata verticale della traccia verde è proporzionale alla potenza totale, espressa in dB, rispetto al livello del rumore, e distribuita in frequenza come mostrato nella rappresentazione waterfall corrispondente.

Nell’area grafica a destra sono rappresentati due grafici. La traccia fucsia mostra lo spettro del rumore, quella rossa lo spettro del *ping* ricevuto. L’ordinata dei due grafici è espressa in dB. Le marche di color giallo in alto e quelle nella rappresentazione waterfall indicano i quattro toni nominali della modulazione FSK44. Nella traccia rossa gli stessi toni si presentano leggermente spostati verso sinistra, questo è dovuto ad un leggero offset di frequenza fra trasmettitore e ricevitore.

Al centro della schermata si trova un’area testo piuttosto grande destinata a contenere i testi decodificati da ogni *ping* rivelato nell’intervallo di ricezione.

Per ogni *ping* riconosciuto appare una linea di testo.



Le informazioni contenute nella linea di testo di figura mostrano che:

- L'intervallo di registrazione è iniziato alle 11:04:00 UTC
- Un *ping* è stato rivelato dopo 18.5sec
- La sua lunghezza era 780msec
- La sua potenza di picco è risultata 10dB maggiore del rumore
- Il report relativo, in accordo ai criteri stabiliti in WSJT, è 26
- L'offset di frequenza fra trasmettitore e ricevitore è stata stimata in -150Hz

Nella riga a destra si trova la decodifica del messaggio contenuto nel *ping*.

Ad una velocità di 147 caratteri per secondo, un *ping* lungo 780msec dovrebbe contenere più di 100 caratteri. Nella schermata di figura i caratteri sono 40 perché il programma tronca tutti i messaggi a 40 caratteri, numero più che sufficiente in quanto i messaggi trasmessi mediante WSJT hanno una lunghezza massima di 28 caratteri.

WSJT risalendo alle ripetizioni del messaggio all'interno del testo decodificato dal *ping* ricevuto riesce, in alcuni casi, a guadagnare in sensibilità mediando le ripetizioni dello stesso messaggio.



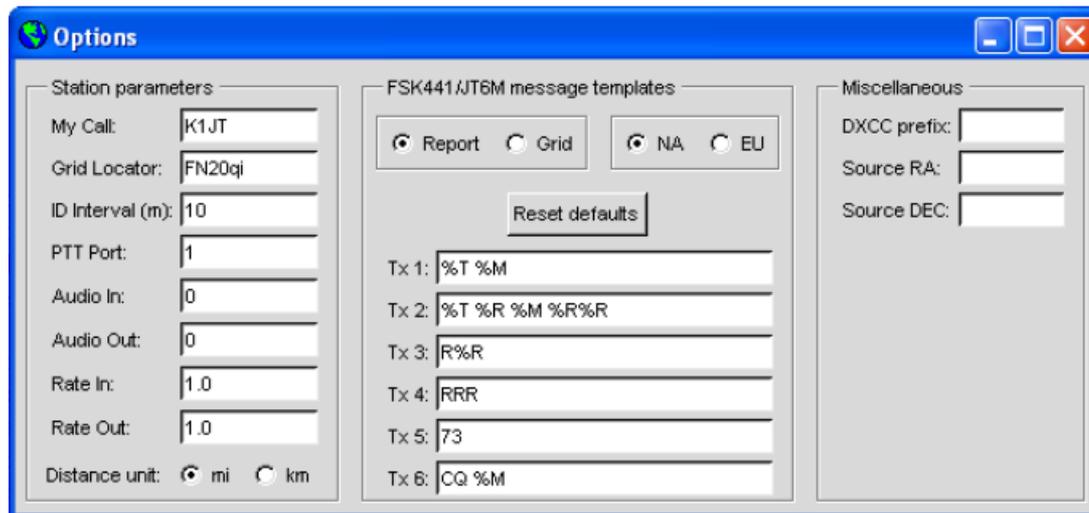
Il software WSJT

Questo risulta utile per *ping* di durata maggiore di 0.2sec (28 caratteri) e per collegamenti in 6m dove i *ping* sono più lunghi.

Il funzionamento di WSJT può essere controllato dai menu posti in alto, nella schermata, ed usando i comandi e le finestre di testo poste in basso.

Per esempio cliccando su “Setup”, in alto, quindi su “Options” è possibile accedere ad una videata come quella rappresentata nella figura seguente.

Questa permette di inserire vari parametri di stazione che tipicamente non variano spesso e comporre i messaggi che si intende trasmettere.





4.5 La modulazione FSK441.

La modulazione FSK441 [22] è una delle tante modulazioni codificate in frequenza (*Frequency Shift Keying*).

Ad ogni carattere (lettere, numeri ed altri segni) è attribuito un segnale di ampiezza costante, di durata limitata e composto da una sequenza continua di segnali sinusoidali elementari a frequenza costante di durata pari ad un sottomultiplo della durata complessiva del segnale. La frequenza di ciascun segnale elementare è scelta da un insieme discreto, composto da frequenze prestabilite.

Nel nostro caso ogni carattere, dei 43 ritenuti significativi per le comunicazioni radioamatoriali, è codificato con tre segnali elementari aventi ciascuno una frequenza scelta fra le quattro frequenze di 882, 1323, 1764 e 2205Hz.

I segnali elementari a frequenza costante di ciascun carattere sono trasmessi ad una velocità di 441baud (da qui il termine FSK441), per cui la loro durata risulta $1/441=2.267$ msec, circa.

La velocità di trasmissione dei caratteri è $441/3 = 147$ caratteri/sec, questo significa che un *ping* di 0.1sec è in grado di ritrasmettere verso il ricevitore ben 15 caratteri del messaggio.



La modulazione FSK441

Quattro frequenze disponibili prese a gruppi di tre consentono di codificare $4 \times 4 \times 4 = 64$ caratteri.

Nel nostro caso:

- le 4 sequenze composte da impulsi aventi la stessa frequenza sono impiegati per codificare i messaggi corti più frequentemente usati R26, R27, RRR e 73;
- fra le rimanenti, le 15 sequenze che iniziano con la frequenza più alta non sono usate;

per cui delle 64 sequenze possibili ne rimangono 45, due in più rispetto a 43, numero dei caratteri scelti come significativi.

In tabella è indicata l'associazione fra caratteri e frequenze trasmesse.

Ai numeri (*dit* in [\[22\]](#)) 0, 1, 2, 3 corrispondono rispettivamente le quattro frequenze di 882, 1323, 1764, 2205Hz.

Table 1
FSK441 Character Codes

<i>Character</i>	<i>Tones</i>	<i>Character</i>	<i>Tones</i>
1	001	H	120
2	002	I	121
3	003	J	122
4	010	K	123
5	011	L	130
6	012	M	131
7	013	N	132
8	020	O	133
9	021	P	200
.	022	Q	201
,	023	R	202
?	030	S	203
/	031	T	210
#	032	U	211
space	033	V	212
\$	100	W	213
A	101	X	220
B	102	Y	221
C	103	0	223
D	110	E	230
F	112	Z	231
G	113		

Il software WSJT

In figura è rappresentato l'andamento nel tempo della sequenza corrispondente alla lettera C, (1 0 3, in tabella).

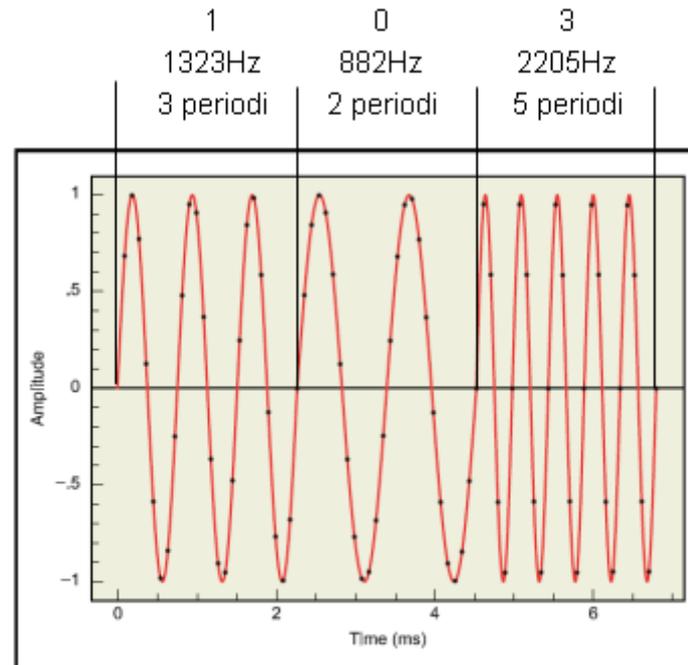


Figure 1—Audio waveform corresponding to the letter C in an FSK441 transmission. Each tone lasts for exactly 25 samples (filled circles) at the 11025 Hz sampling rate, or about 2.3 ms. Each character requires three tone intervals. The code for the letter C is 103, which means that the transmitted tones are at the frequencies 1323, 882 and 2205 Hz.

La prima cosa che si osserva è la mancanza di discontinuità di fase quando si passa da un segnale elementare al successivo.



La modulazione FSK441

Questo è reso possibile dalla particolare scelta delle frequenze di modulazione infatti per tutte le quattro frequenze il numero di periodi contenuto nell'intervallo di tempo di $1/441\text{sec}$ è intero: 2, 3, 4, 5 periodi, rispettivamente per 882, 1323, 1764, 2205Hz : le frequenze di modulazione sono la 2a, 3a, 4a e 5a armonica di 441Hz.

La composizione del messaggio avviene mettendo in cascata i segnali di ciascun carattere, compreso lo spazio, senza soluzione di continuità.

Per quanto osservato sulla fase, il segnale complessivo, corrispondente al messaggio, non presenta neppure discontinuità di fase.

Questo fa sì che lo spettro del segnale risulti particolarmente pulito e consente di usare per la trasmissione amplificatori di potenza ad alta efficienza come quelli in classe C.

La modulazione FSK441

Nella figura seguente è rappresentato lo spettro relativo al messaggio “W8WN 27 K1JT 2727.”

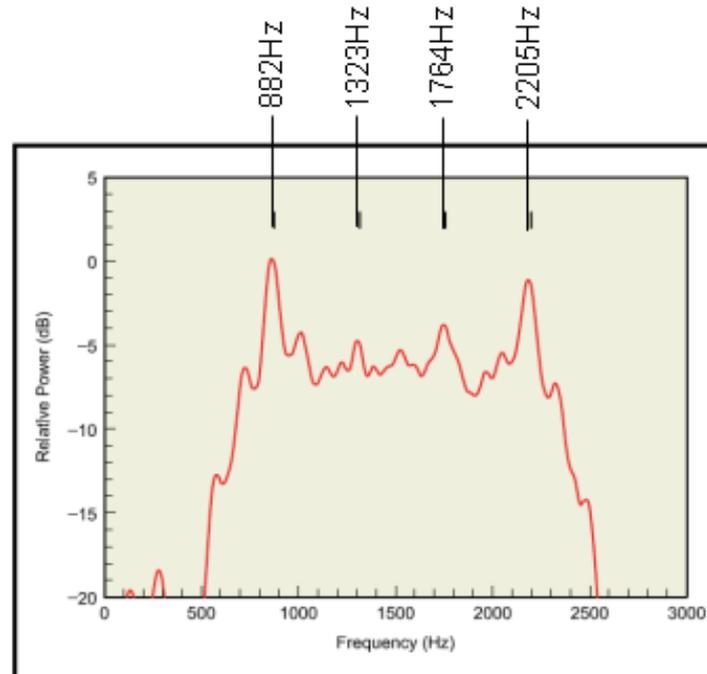


Figure 2—Computed spectrum of the FSK441 message “W8WN 27 K1JT 2727.” The frequencies of the four basic tones are indicated by the tick marks above the spectrum. Note that nearly all of the transmitted power falls in the range 660–2425 Hz.

Il segnale corrispondente al messaggio è composto da 18 segnali composti relativi ai caratteri (6 lettere, 8 numeri, 3 spazi, 1 punto) ottenuti dalla codifica della tabella precedente e posti in sequenza senza soluzione di continuità.



La modulazione FSK441

La sequenza codificata risulta:

213|020|213|132|033|002|013|033|123|001|122|210|033|002|013|002|013|022¹

e contiene 18 valori 0, 10 valori 1, 13 valori 2 e 13 valori 3.

Questo è evidente anche dallo spettro che mostra i picchi di maggior ampiezza alle frequenze corrispondenti allo 0 e al 3 ed il picco di minor ampiezza (dei quattro) alla frequenza corrispondente all' 1.

Il segnali dei messaggi che transitano fra PC transceiver sono di tipo analogico e per il messaggio considerato occupano una banda compresa fra 660 e 2425Hz.

Il PC, per contro, opera su segnali digitali.

In trasmissione il segnale modulante è prodotto in modo digitale, successivamente è convertito dalla scheda audio mediante un D/A Converter in segnale analogico ed inviato all'ingresso del transceiver.

¹ Il carattere di separazione è stato inserito per comodità di lettura.



La modulazione FSK441

In ricezione, il segnale proveniente dall'uscita audio del transceiver è inviato alla scheda audio che provvede a campionarlo e a convertirlo mediante un A/D Converter in un segnale digitale per le successive elaborazioni.

Per una frequenza di campionamento di 11025Hz ai segnali elementari che compongono i segnali relativi ai caratteri corrispondono esattamente $11025/441=25$ campioni, evidenziati nella penultima figura con dei punti sovrapposti alle sinusoidi che rappresentano il segnale.

La modulazione FSK441 consente di rivelare segnali di poco superiori al rumore, ed affetti da evanescenze rapide e da effetto Doppler (variazione della frequenza del segnale ricevuto per effetto del movimento della meteora) fino a 100Hz. Fenomeni questi che possono mandare in crisi gli altri tipi di modulazione digitale come ad esempio il PSK31.



4.6 La decodifica dei segnali ricevuti.

L'algoritmo per decodificare i segnali ricevuti deve dapprima rivelare la presenza di un *ping*, sincronizzare il segnale corrispondente al ping in modo da riconoscere i segnali elementari che compongono ciascun carattere, sincronizzare i segnali elementari per riconoscere i segnali composti corrispondenti a ciascun carattere ed infine trasformare le sequenze dei segnali composti in messaggi di testo.

Per rivelazione dei pings il codice usa un *rivelatore a soglia* che confronta il segnale ricevuto opportunamente filtrato, per ridurre le variazioni rapide in ampiezza dovute al rumore, e campionato ad intervalli di 20msec con una soglia posta alcuni dB al di sopra del livello di fondo. Quando il segnale supera la soglia si decide per la presenza di un *ping*. Quando il segnale torna almeno 1dB sotto la soglia si ritiene che in *ping* sia terminato. Con un metodo di rivelazione di questo tipo, *pings* con profonde evanescenze possono essere scambiati per una sequenza di *pings*.

Per la sincronizzazione dei segnali elementari, il software deve identificare i punti di partenza delle sequenze di 25 campioni consecutivi della forma d'onda ricevuta in corrispondenza di un *ping* in modo da riconoscere i toni che la compongono. In questa fase il software deve tenere conto di eventuali offset fra la frequenza del trasmettitore e quella del ricevitore.



Stimato l'errore in frequenza, riconosciute le frequenze nominali della modulazione FSK441 il software provvede a numerarle con le cifre da 0 a 3 come indicato al precedente paragrafo.

Per la sincronizzazione dei segnali composti, il software deve riconoscere quale delle quattro cifre che identificano i segnali elementari può essere la prima di un segnale composto secondo la tabella riportata nel paragrafo precedente. Per questa sincronizzazione due osservazioni ci aiutano:

1. Non sono previsti segnali composti che iniziano con 3.
2. Lo spazio è codificato come 033 ed è facilmente riconoscibile.

Per agevolare la leggibilità dei messaggi il software inserisce nel messaggio uno spazio se non è già incluso in modo esplicito.

L'algoritmo di decodifica esamina la sequenza trovata delle cifre che identificano i messaggi elementari e seleziona la cifra N diversa da 3 tale che nessuna delle cifre $N+3$, $N+6$, $N+9$ ha valore 3. Per come è stabilita la codifica dei caratteri, ad N che soddisfa questo requisito corrisponde sicuramente il primo segnale elementare di un segnale composto che corrisponde ad uno dei 43 caratteri di tabella.



La decodifica dei segnali ricevuti

Effettata la sincronizzazione, la sequenza delle cifre dalla notazione in base 4 (cifre da 0 a 3) è convertita ad una notazione in base 2 (0, 1) e i codici numerici sono convertiti in caratteri mediante una tabella di corrispondenze.

Sempre a proposito della decodifica dei segnali ricevuti, rimangono due osservazioni.

La prima è che il segnale ricevuto, per aver scelto come frequenze di modulazione le armoniche di 441Hz, ha il contenuto spettrale di un segnale modulato a 441Hz e alle frequenze delle sue armoniche per cui è facilmente distinguibile dal rumore e dalle interferenze.

La seconda è che i messaggi composti da un singolo tono sono trasmessi come un segnale sinusoidale puro. La banda di ricezione è approssimativamente uguale al reciproco della durata del *ping*, se questa è uguale a 20ms la banda risulta uguale a 50Hz, molto minore della banda di un segnale modulato multitono.

Questo comporta che per i messaggi composti da un singolo tono occorrono metodi di rivelazione più sensibili. Lo spettro di un *ping* che veicoli un messaggio a singolo tono deve essere esaminato con una risoluzione spettrale di circa 40Hz, a cui corrisponde una sensibilità molto alta ed una eccellente capacità di evitare la decodifica di segnali spuri.



4.7 Regole operative e protocollo dei QSO.

La durata della trasmissione e della ricezione è stabilita in 30sec.

Secondo la procedura europea la stazione più ad Ovest o a Sud trasmette durante i primi 30 secondi di ogni minuto.

Gli «orologi» delle due stazioni devono essere sincronizzati fra loro per cui, non essendo possibile una sincronizzazione diretta, la soluzione è sincronizzarli via Internet, via GPS o via radio.

La lunghezza dei messaggi non deve superare i 28 caratteri.

La convenzione per i rapporti **RS** è la seguente:

R	DURATA
2	Ping fino a 5 secondi
3	Ping da 5 a 15 secondi
4	Burst da 16 a 60 secondi
5	Burst oltre 60 secondi

S	INTENSITÀ
6	Fino ad S6
7	Fino ad S8
9	Fino ad S9



La decodifica dei segnali ricevuti

I QSO possono essere occasionali oppure programmati. Il contenuto dei QSO deve essere essenziale. In [\[21\]](#) si trova il seguente esempio:

	Da: K1JT	W8WN
1.	CQ K1JT	
2.		K1JT W8WN
3.	W8WN K1JT 27	
4.		JT R26
5.	WN RRR	
6.		73 W8WN

Per un QSO programmato l'esempio potrebbe essere il seguente:

0	Da: K1JT	W8WN
1.	W8WN K1JT	K1JT W8WN
2.		K1JT W8WN R26
3.	WN R27	
4.		RRR W8WN

Lo scambio finale dei 73 non è obbligatorio.



Il meteor-scatter offre la possibilità di effettuare DX in VHF alle cui frequenze la riflessione ionosferica può ritenersi assente.

La riuscita di un QSO via meteor-scatter richiede, però, dedizione ed un minimo di conoscenze sui fenomeni che regolano la riflessione meteorica per individuare il giorno e le ore giuste per effettuare il collegamento nella direzione voluta.

Thank you for your attention!

Rossano



5. RIFERIMENTI

- [1] G.R.Sugar, *Radio Propagation by Reflection from Meteor Trails*, Proc. IEEE 52: 116-136 (February 1964)
- [2] International Meteor Organization (IMO), *2013 Meteor Shower Calendar*, compiled by Alastair McBeath
- [3] A.M.Skellett, *The Ionizing Effect of Meteors in Relation to Radio Propagation*, Proc. IRE 20: 1933-1940 (December 1932)
- [4] D.W.R.McKinley, *Meteor Science and Engineering*, McGraw-Hill, 1961
- [5] O.G.Villard, V.R.Eshleman, L.A.Manning, A.M.Peterson, *The Role of Meteors in Extended-Range VHF Propagation*, Proc. IRE 43: 1473-1481 (October 1955)
- [6] V.R.Eshleman, R.F.Mlodnosky, *Directional Characteristics of Meteor Propagation Derived from Radar Measurements*, Proc. IRE 45: 1715-1723 (December 1957)
- [7] D.Yavuz, *Meteor Burst Communications*, IEEE Communications Magazine, pp 40-48, September 1990
- [8] V.Porubcan, P.Zigo, P.Pecina, D.Pecinova, G.Cevolani, G.Pupillo, J.Rozboril, *Summer streams of the Taurid meteor complex*, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, **37**, 31-48. (2007)
- [9] Hines, C.O.: 1958, Canad. J. Phys. 36, 117



- [10] D.L.Schilling, *Meteor Burst Communication, Theory and Practice*, J.Wiley & Sons, 1993
- [11] G.W.Pickard, *A note on the relation of meteor showers and radio reception* Proc.IRE 19: 1166-1170 (July, 1931)
- [12] A.M.Skellet, *The Ionization Effects of Meteors*, Proc.IRE 23: 132-149 (February, 1935)
- [13] G.F.Montgomery, G.R.Sugar, *The Utility of Meteor Bursts for Intermittent Radio Communication*, Proc.IRE 45: 1684-1693 (December, 1957)
- [14] O.G.Villard (W6QYT), *Listening in on the Stars*, QST, pag.59 e segg., January 1946
- [15] O.G.Villard (W6QYT), *Meteor Detection by Amateur Radio*, QST, pag.13 e segg., July 1947
- [16] O.G.Villard (W6QYT) A.M.Peterson (W6POH), *Meteor Scatter*, QST, pag.11 e segg., April 1953
- [17] W.F.Bain (W4LTU), *V.H.F. Meteor Scatter Propagation*, QST, pag.20 e segg., April 1957
- [18] S.Ford (WB8IMY), *VHF Digital Handbook*, First Edition, 2008, ARRL
- [19] B.Rogers (K4ABT), *Sound Card to Transceiver Interface Schematics*, The Handbook of Ham Radio



[20] J.Taylor (K1JT), *WSJT 9.0: Supplemento al Manuale*, 2010

[21] J.Taylor (K1JT), *WSJT6 Manuale d'Uso e di Istruzioni*, 10 Agosto 2006

[22] J.Taylor (K1JT), *WSJT: New Software for VHF Meteor-Scatter Communication*, QST, pag. 36 e segg., December 2001