

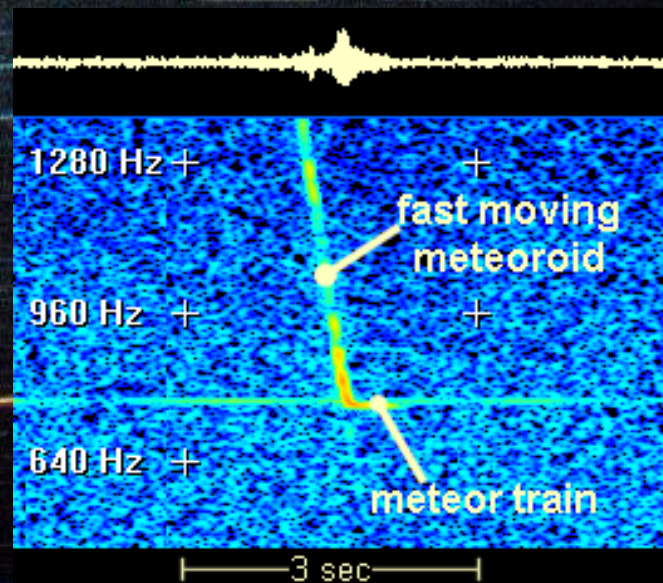
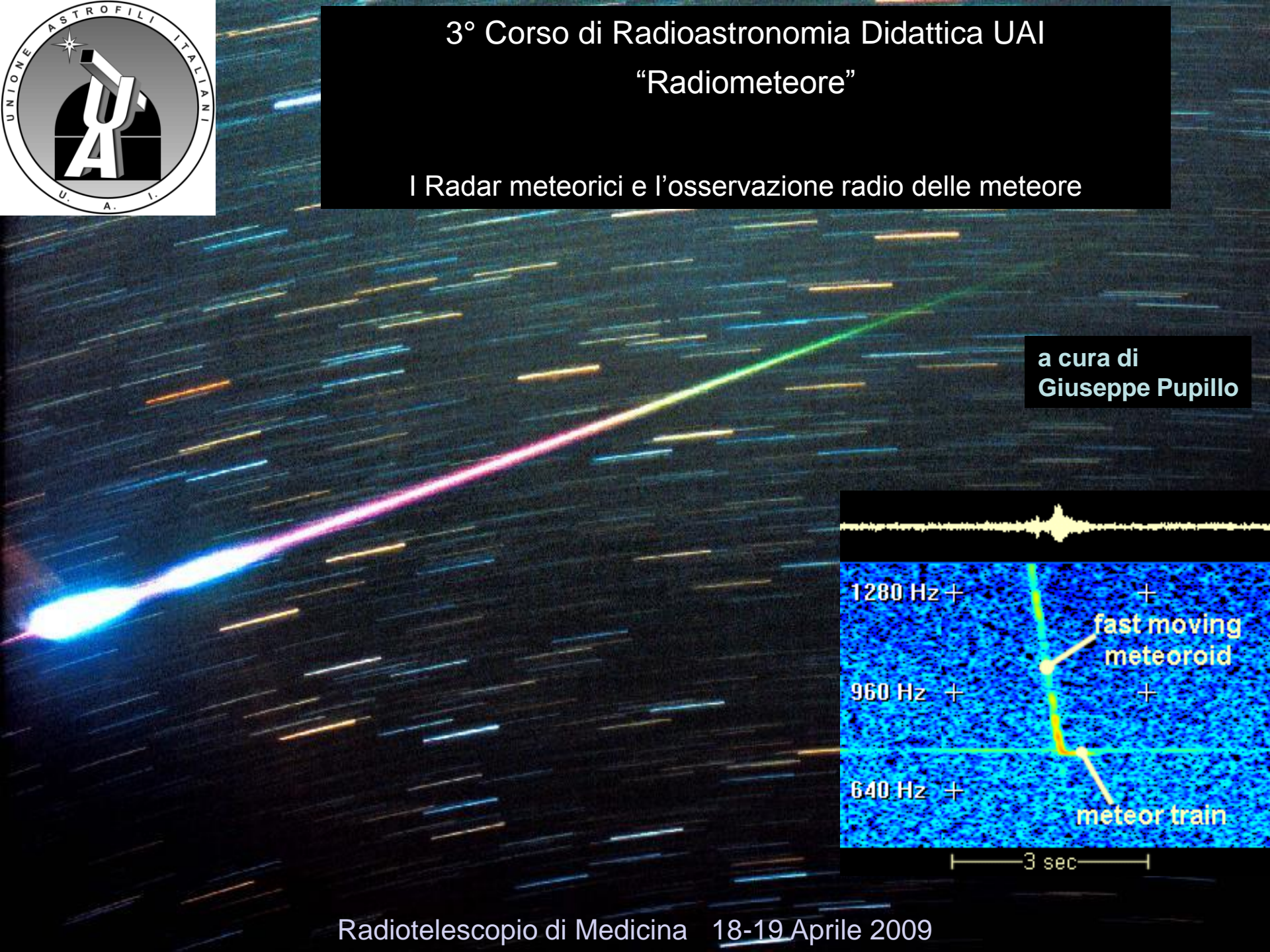


3° Corso di Radioastronomia Didattica UAI

“Radiometeore”

I Radar meteorici e l'osservazione radio delle meteore

a cura di
Giuseppe Pupillo



RADAR = Radio Detection and Ranging



Un segnale radio inviato da un trasmettitore quando incontra un oggetto (nave, aereo, nube, ecc.) viene in parte riflesso verso un ricevitore, che rivela la presenza del bersaglio ed eventualmente anche posizione, velocità, distanza, ecc.

APPLICAZIONI dei RADAR

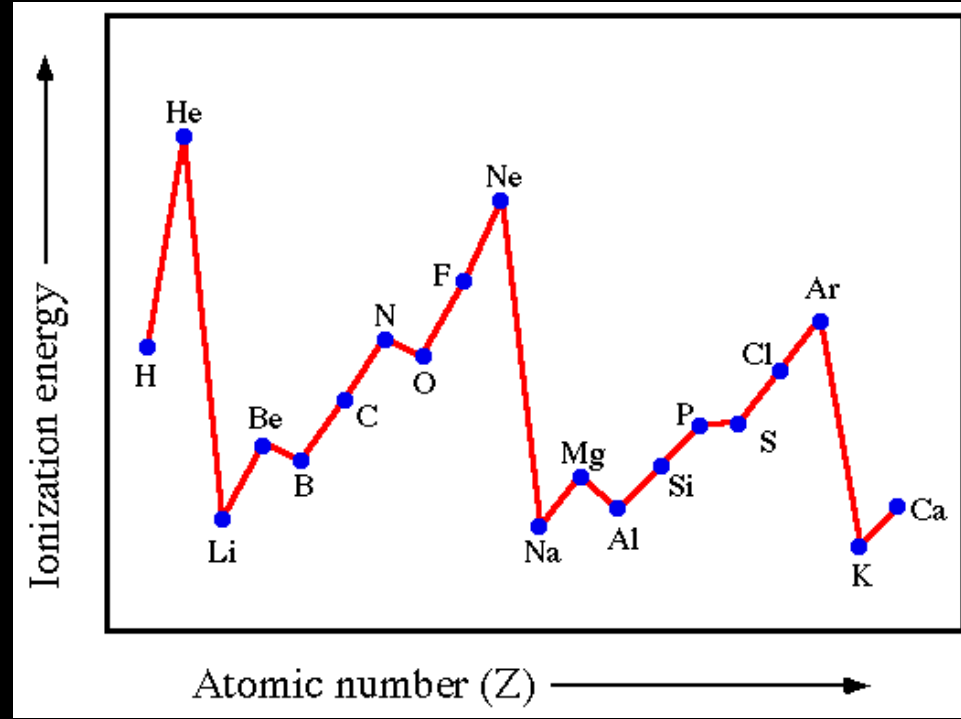
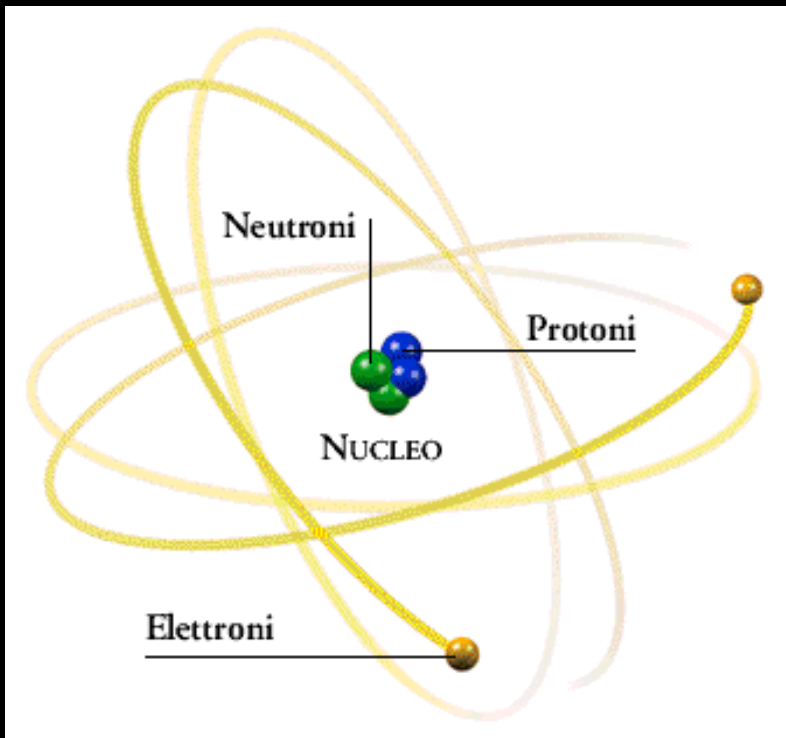
Civili	Terra	Controllo traffico aereo
		Controllo traffico navale
		Previsioni meteorologiche
		Autovelox
		Sistemi di allarmi di sicurezza
		Astronomia e Geofisica
		Misure industriali
	Mare	Navigazione
		Prevenzione collisioni
	Aria	Altimetria
		Navigazione
		Tempo meteorologico
	Spazio	Studio delle risorse terrestri
Controllo navette spaziali		
Mappatura di pianeti e corpi minori		
Militari	Rilevamento	Forze nemiche ed alleate
	Inseguimento	Obiettivi marini, terrestri, aerei o spaziali
	Guida	Sistemi di armi

Un oggetto interplanetario (cioè in orbita intorno al Sole) può entrare nell'atmosfera della Terra con:

Velocità minima = 11 km/s (oggetto in caduta libera)

Velocità massima = 72 km/s (scontro "frontale")





Elemento	Simbolo	Prima ionizzazione	Seconda ionizzazione	Terza ionizzazione
Sodio	Na	5,14	47,29	71,64
Magnesio	Mg	7,65	15,03	80,14
Alluminio	Al	5,99	18,83	28,45
Silicio	Si	8,15	16,34	33,49
Argon	Ar	15,76	27,63	40,74

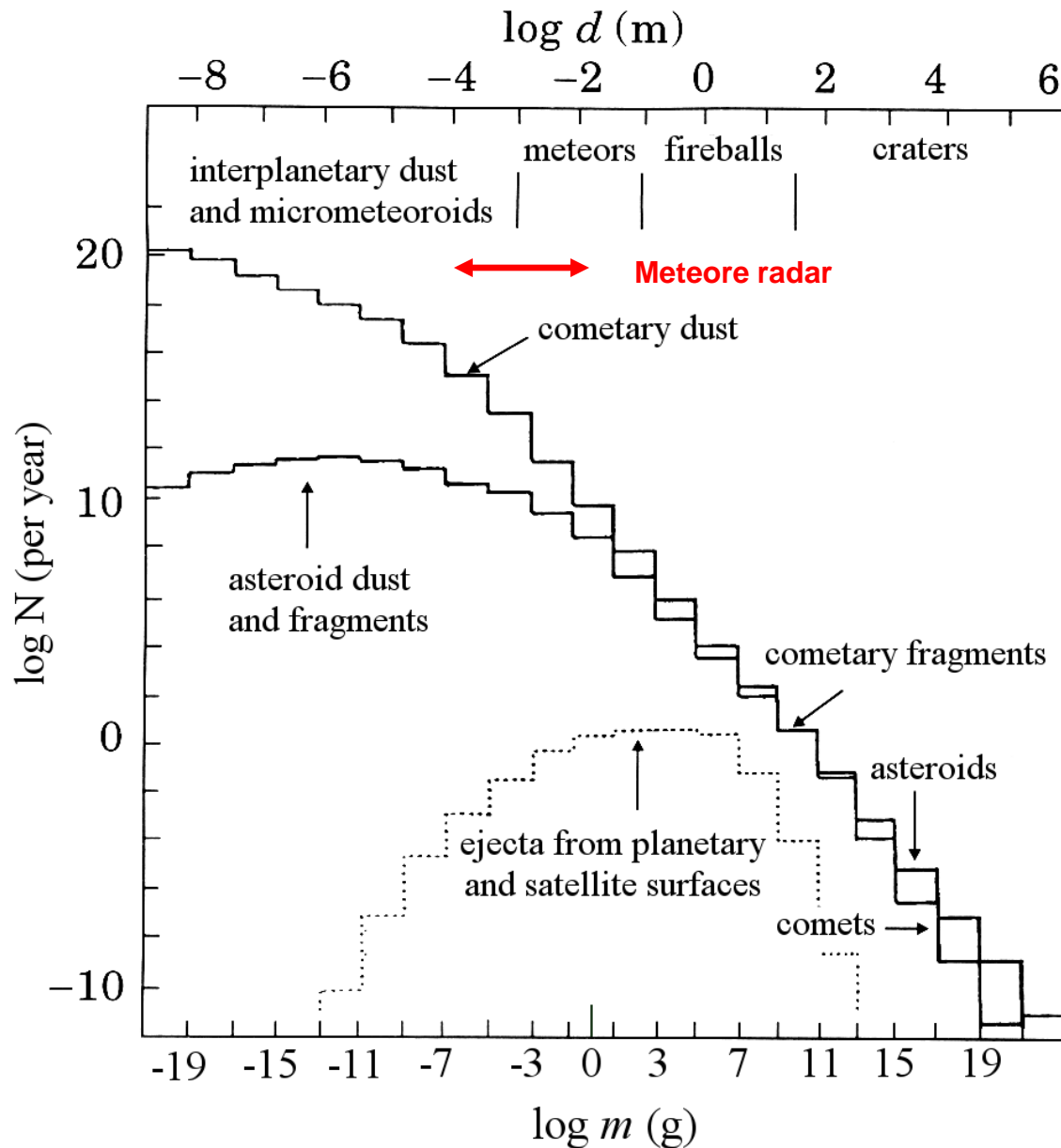
A causa delle enormi velocità dei meteoroidi, ogni collisione tra un atomo di un meteoride e una molecola dell'atmosfera sviluppa mediante un'energia dell'ordine dei 100 eV

Nella ionizzazione meteorica possiamo distinguere due componenti

- 1 – Ionizzazione confinata intorno al meteoroido e in movimento con esso (testa della meteora)
- 2 – Scia ionizzata (praticamente stazionaria), lasciata lungo la traiettoria atmosferica del meteoroido



Flusso di materia interplanetaria sulla Terra



**Flusso totale:
220.000 ton/anno**

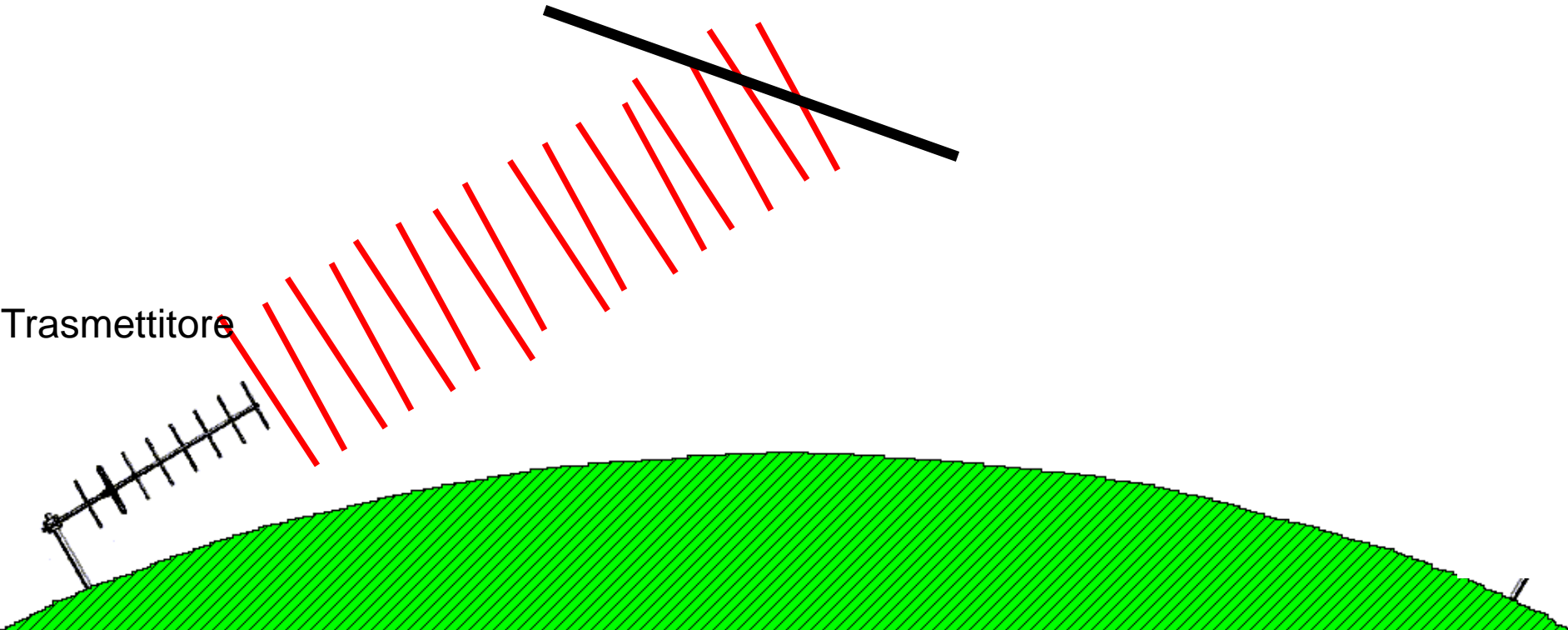
(Hughes, 1993)

Esistono due tipi principali di Radar

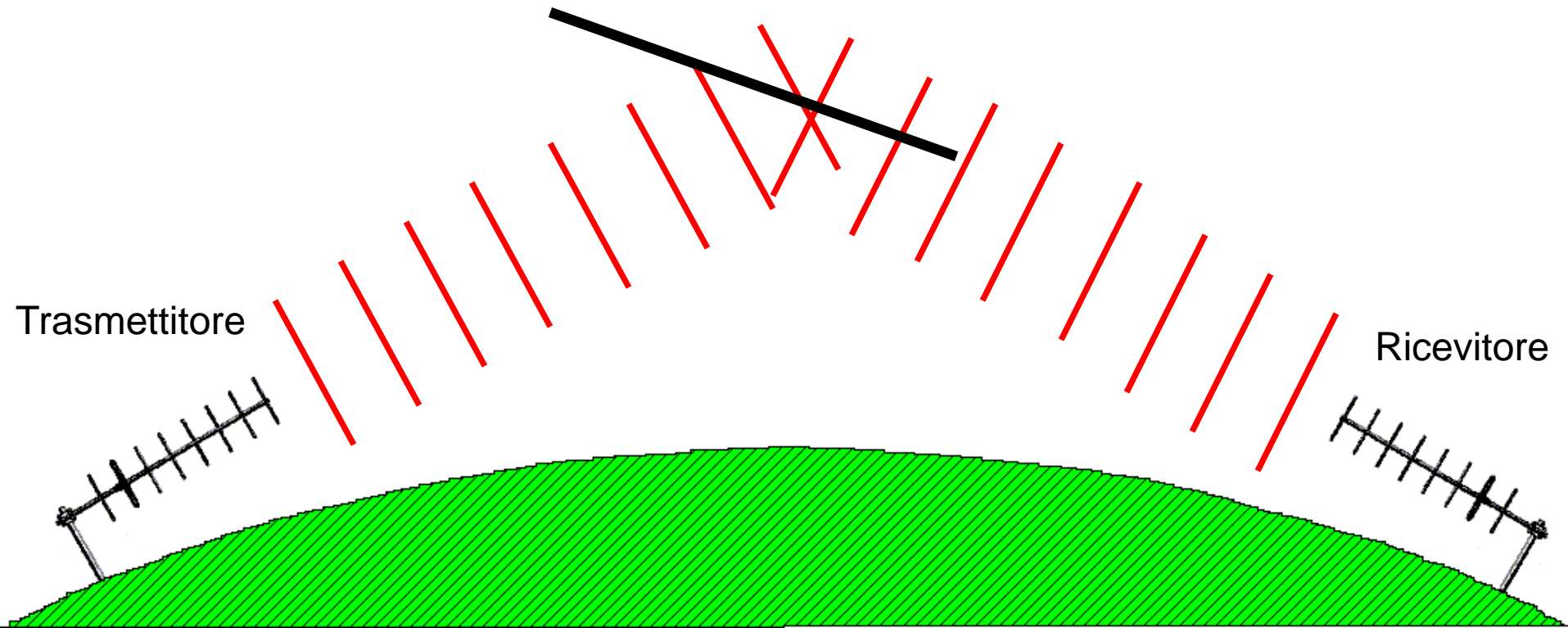
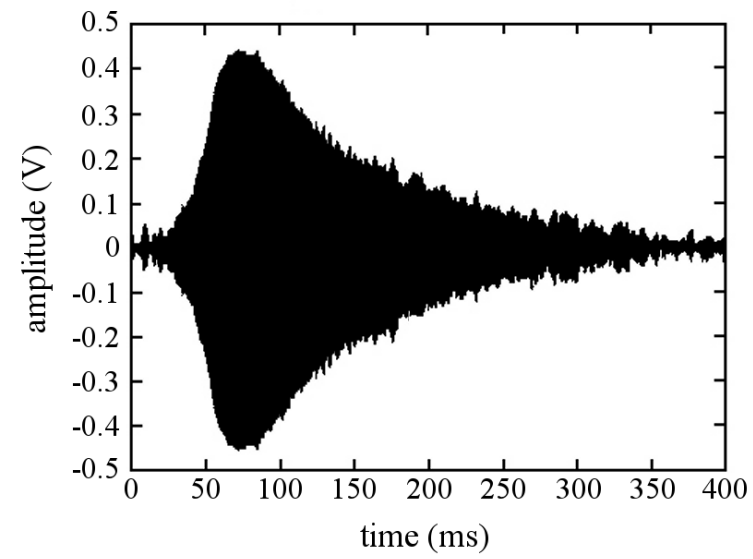
- Radar Monostatici (a back-scatter)
- Radar Bistatici (a forward-scatter)



Radar meteorico monostatico



Radar meteorico bistatico



Vantaggi del radar meteorico monostatico

- semplice geometria
- determinazione della distanza della meteora (range)
- determinazione della velocità radiale dell'oggetto (range rate)

Svantaggi del radar monostatico

- necessità di trasmissione pulsata
- altezza massima degli echi intorno a 110 km di quota (echo ceiling)
- minore sensibilità rispetto a un radar bistatico

Vantaggi del radar meteorico bistatico

- possibilità di utilizzare anche trasmissioni in onda continua (CW)
- sensibilità molto elevata
- capacità di osservare meteore fino a 140 km di quota (limite dello strato E)
- possibilità di usare “parassitamente” trasmettitori di altri (es. TV, ecc.)

Svantaggi del radar bistatico

- geometria complessa
- difficoltà di sincronizzazione tra Tx e Rx
e quindi di misurare la distanza (o impossibilità in caso di trasmissioni in CW)
- indeterminazione della velocità radiale separatamente rispetto a Tx ed Rx

$$\Delta f = -\frac{1}{\lambda} \frac{d}{dt} (R_{Tx} + R_{Rx})$$

Equazioni del Radar

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \sigma \lambda^2}{4\pi^3 R_T^2 R_R^2}$$

Radar Bistatico (o a forward-scatter)

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \sigma \lambda^2}{4\pi^3 R^4}$$

Radar Monostatico (o a back-scatter)

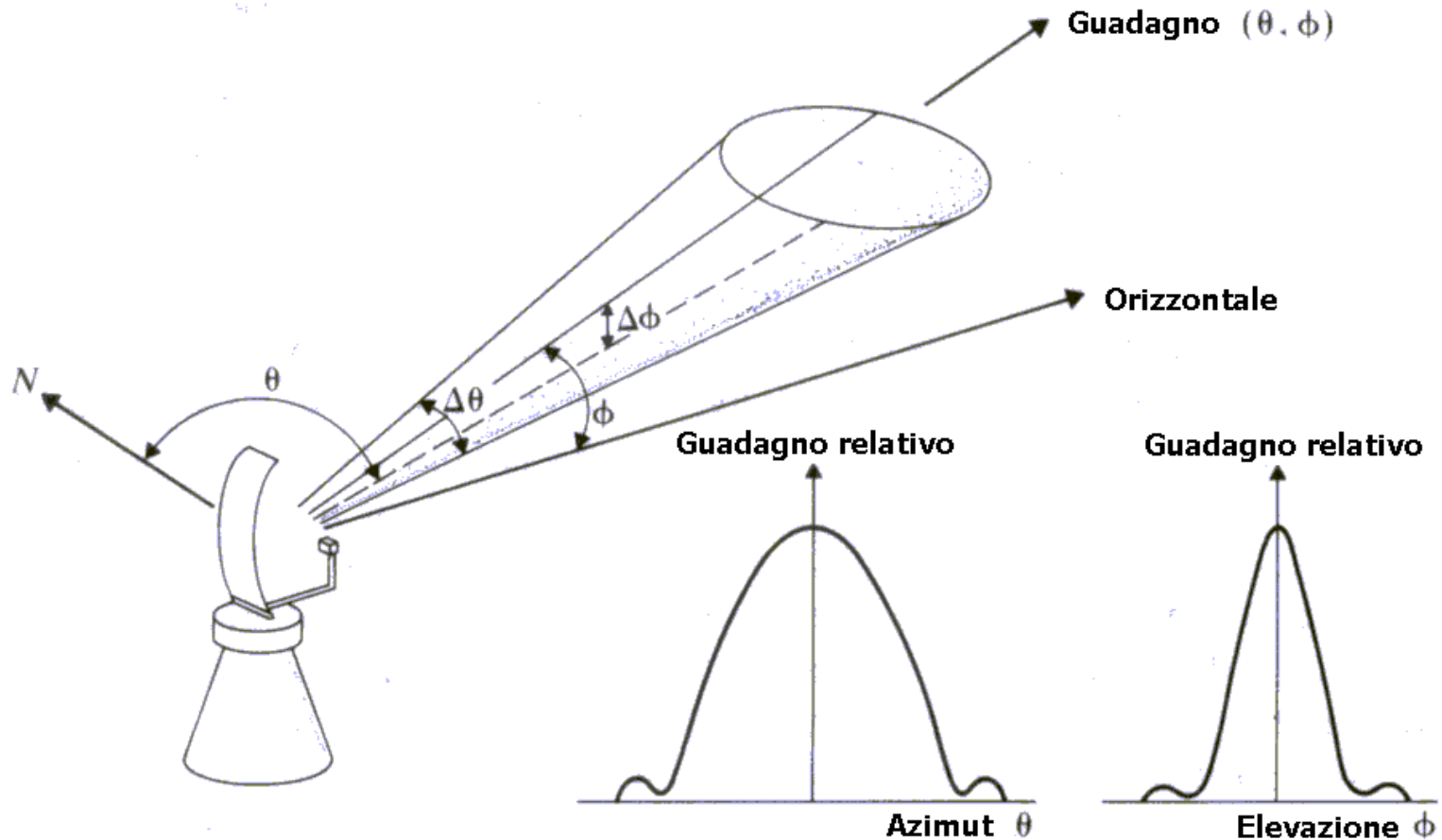
(dove $R_T = R_R = R$)

$$\sigma = \sigma(q, t, \dots)$$

Radar Cross Section (RCS) della traccia meteorica

DENOMINAZIONE	SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE	ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME	VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
RADIOFREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
MICROONDE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm

Il fascio d'antenna



Occorre trovare un compromesso tra un fascio sufficientemente largo per monitorare un grande volume atmosferico nella zona meteorica, e ma non troppo largo da avere poca sensibilità (basso guadagno)

Antenna

Buona direttività
Buon guadagno

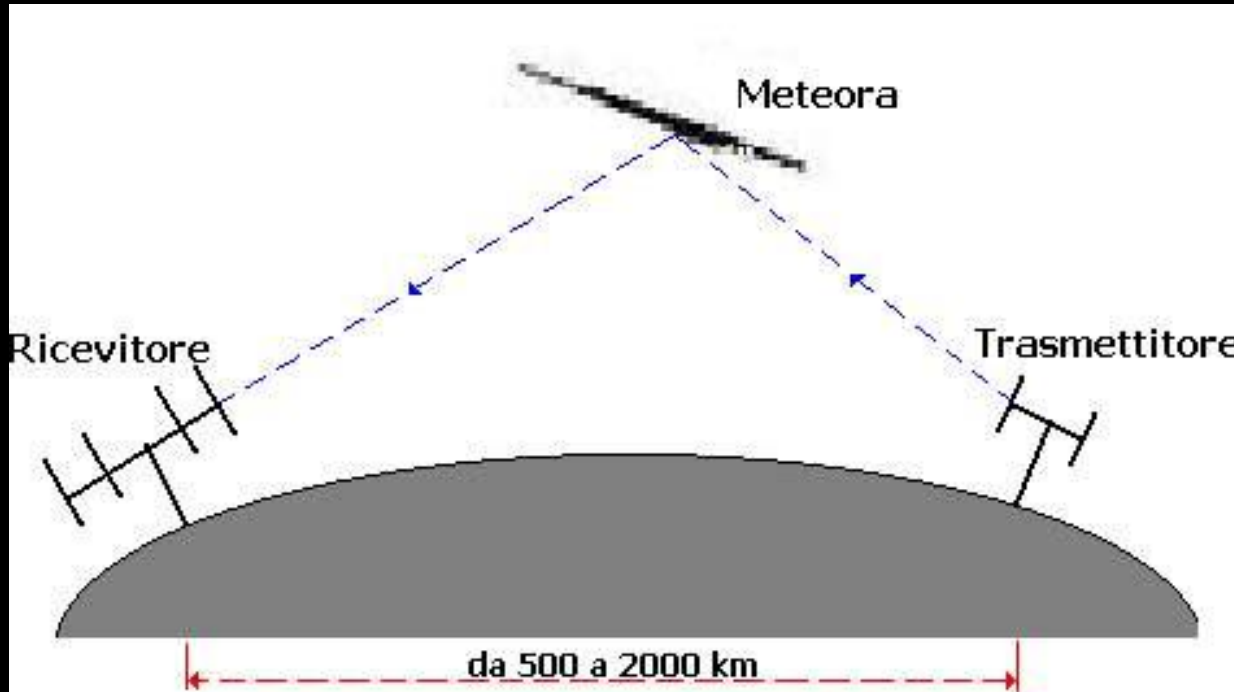
Il tipo più adatto è probabilmente l'antenna Yagi
(tipo di quelle usate normalmente per la ricezione TV)

Si possono acquistare a poche decine di Euro

Possibilità di autocostruzione



Nei radar meteorici bistatici la distanza utile tra trasmettitore e ricevitore deve essere compresa tra circa 500 km e 2000 km



Distanza minori a 400-500 km: rischio di vedere l'onda diretta del Tx

Distanze maggiori di 2000 km: i fasci delle antenne non si possono incrociare alle quote meteoriche

$$\sigma = \sigma(\underline{q}, t, \dots, \beta, \phi)$$

Radar Cross Section (RCS) della traccia meteorica nei radar bistatici

Il tipo di riflessione dipende in modo critico dalla densità di carica lineare q della scia ionizzata

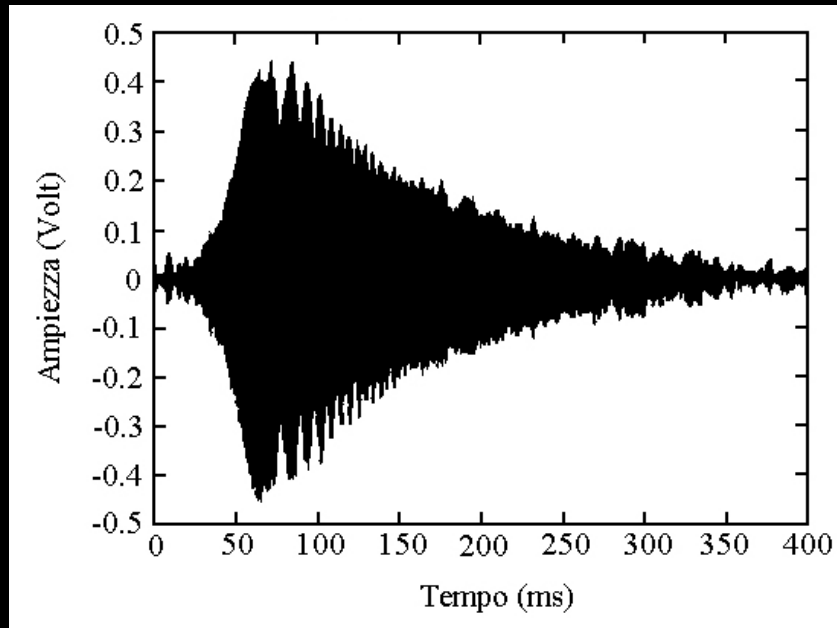
Se $q > 2 \times 10^{14}$ el/m \rightarrow Traccia iperdensa

Se $q < 2 \times 10^{14}$ el/m \rightarrow Traccia ipodensa

Inoltre con il passare del tempo la scia ionizzata della meteora si dissolve per

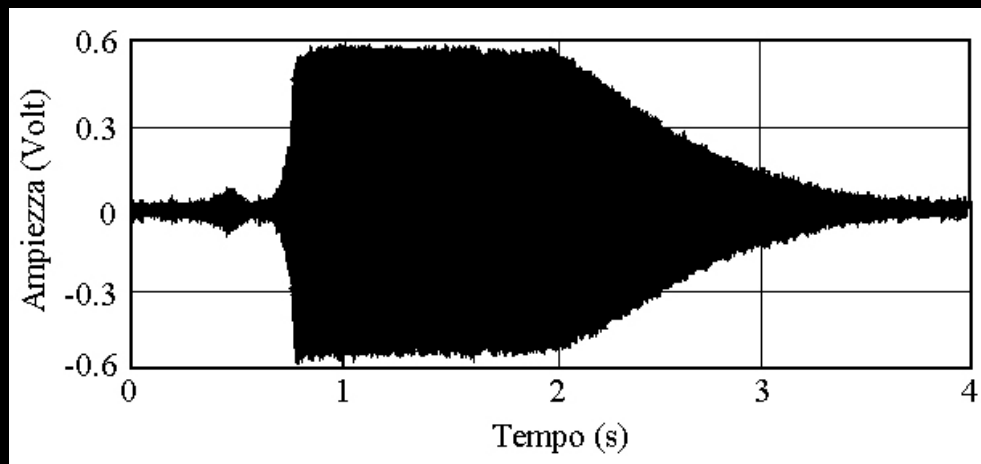
- Diffusione degli elettroni e degli ioni nell'ambiente in cui si è formata la scia ionizzata (diffusione ambipolare)
- Ricombinazione degli elettroni liberi con gli ioni positivi
- Attaccamento degli elettroni liberi alle molecole neutre dell'aria, con formazione di ioni negativi

Classificazione delle scie meteoriche in ambito Radar



Eco da traccia ipodensa

$$q < 2 \times 10^{14} \text{ el / m}$$

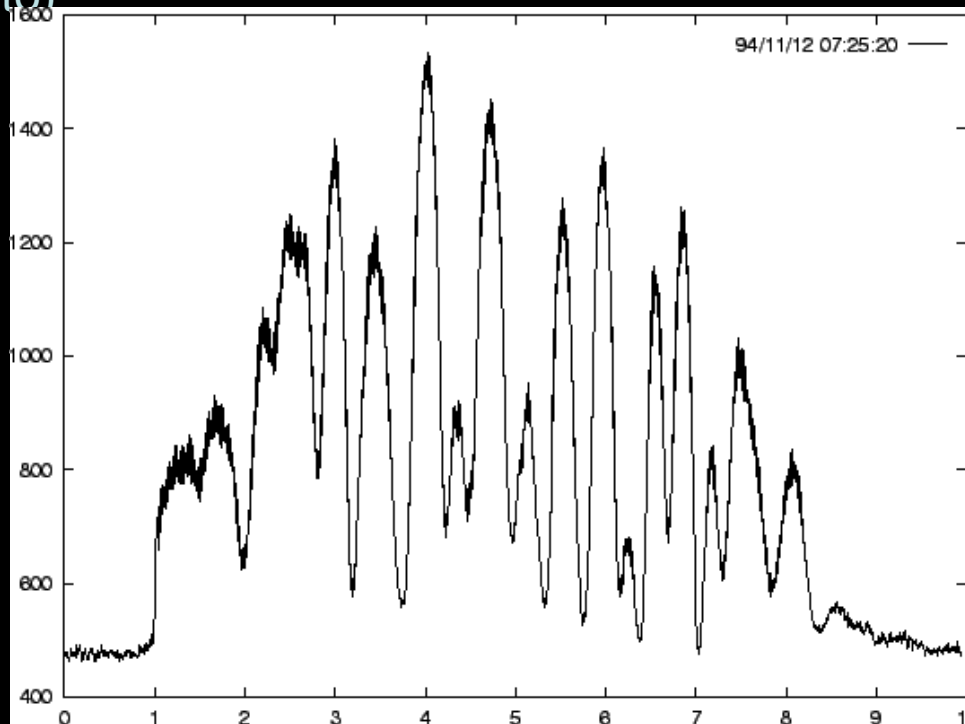


Eco da traccia iperdensa

$$q > 2 \times 10^{14} \text{ el / m}$$

Purtroppo questi sono solo dei comportamenti ideali, che negli echi reali ben poche tracce seguono, in quanto al fenomeno concorrono numerosi fattori di disturbo tra cui:

- distorsione e rottura della traccia meteorica ad opera dei venti mesosferici
- formazione di zone di riflessione multiple (glint)
- presenza di oscillazioni di Fresnel nelle tracce ipodense
- processi non diffusivi coinvolti nel dissolvimento della traccia (es. attaccamento)

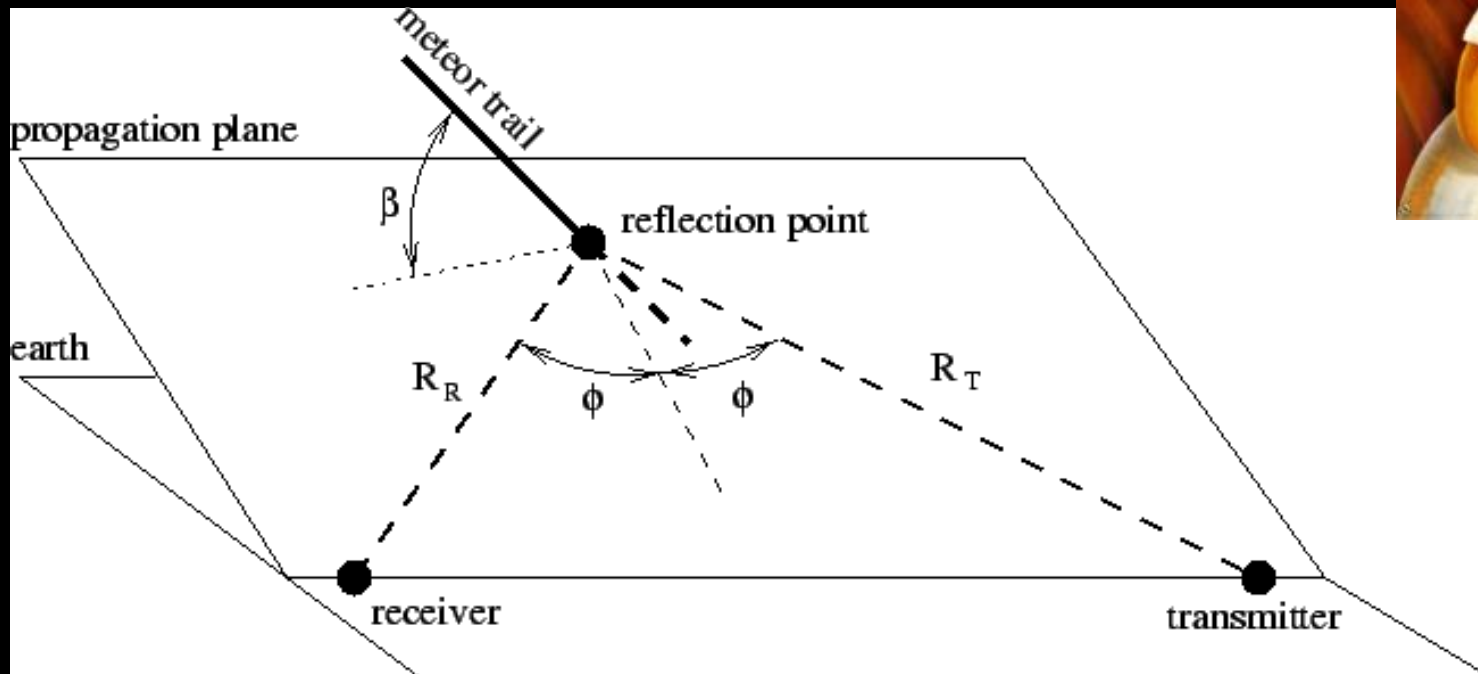


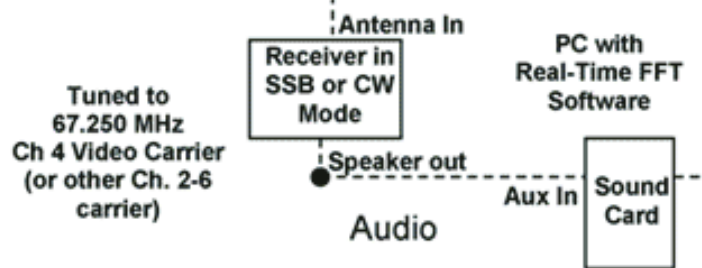
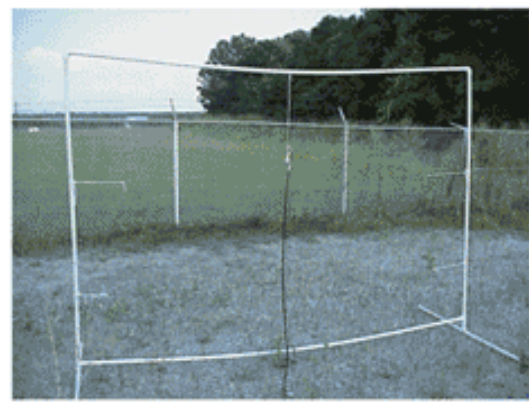
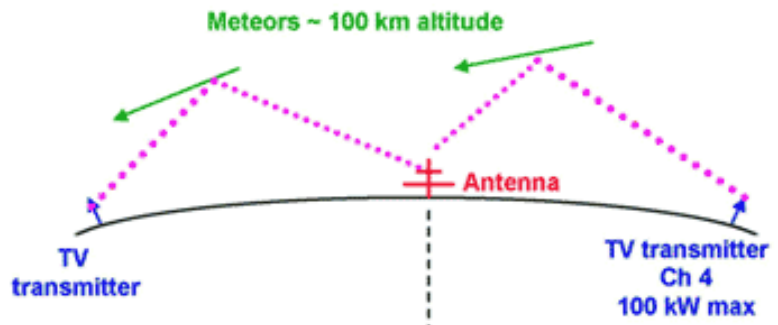
$$\sigma = \sigma(q, t, \dots, \beta, \phi)$$

Radar Cross Section (RCS) della traccia meteorica

Nei radar bistatici l'interpretazione delle tracce è ulteriormente complicato dalla geometria obliqua della riflessione

$$P_R = \frac{P_T G_T \lambda^3 q^2 r_e^2 \sin^2 \alpha}{16 \pi^2 R_T R_R R_T + R_R} \cdot e^{-\left(\frac{8 \pi^2 r_0^2}{\lambda^2 \sec \phi}\right)} \cdot e^{-\left(\frac{32 \pi^2 D t}{\lambda^2 \sec \phi}\right)}$$





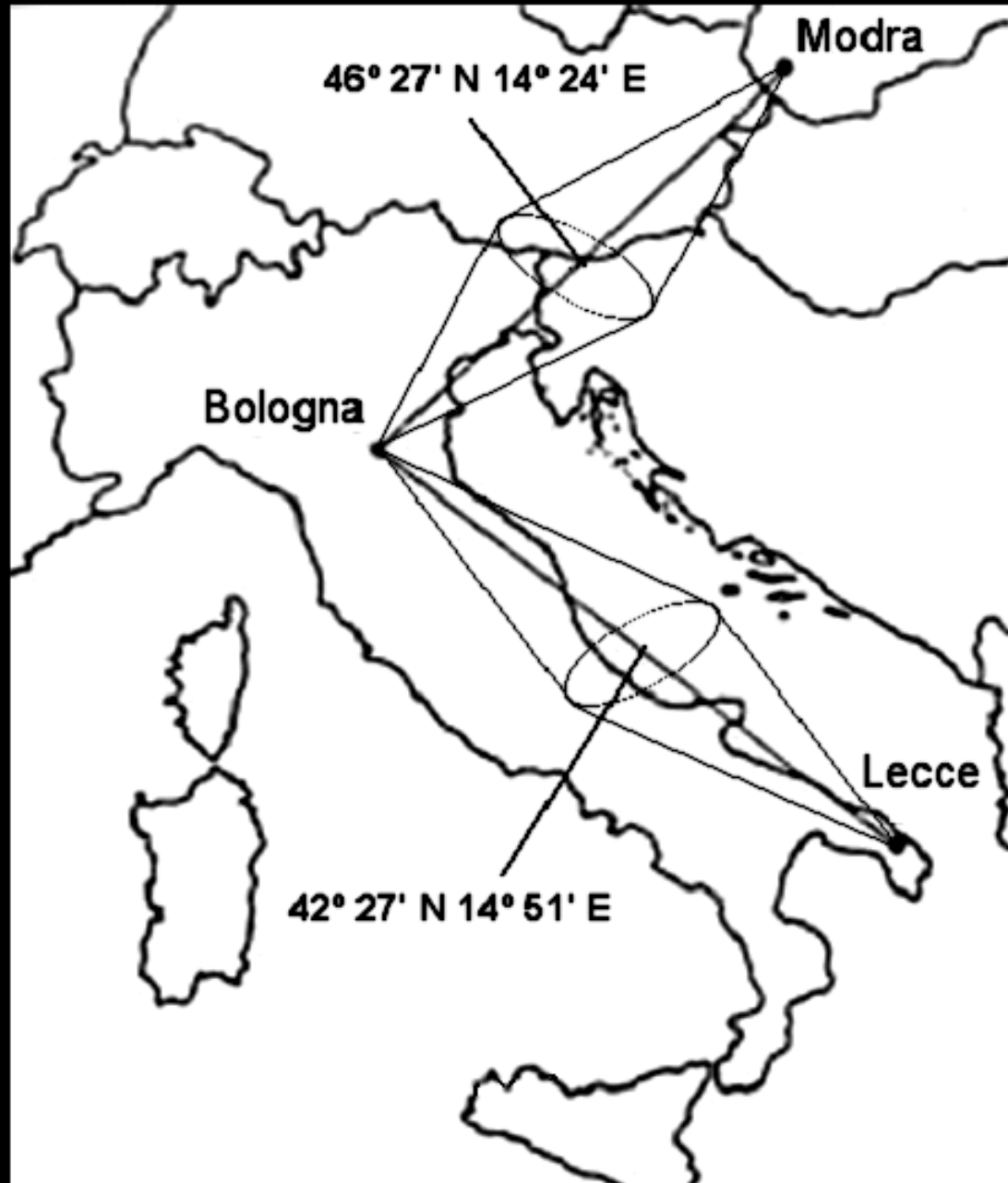
Apparato Ricevente

L'apparato presenta delle caratteristiche abbastanza comuni ai normali radioricevitori dei radioamatori. Essenzialmente le caratteristiche principali devono essere:

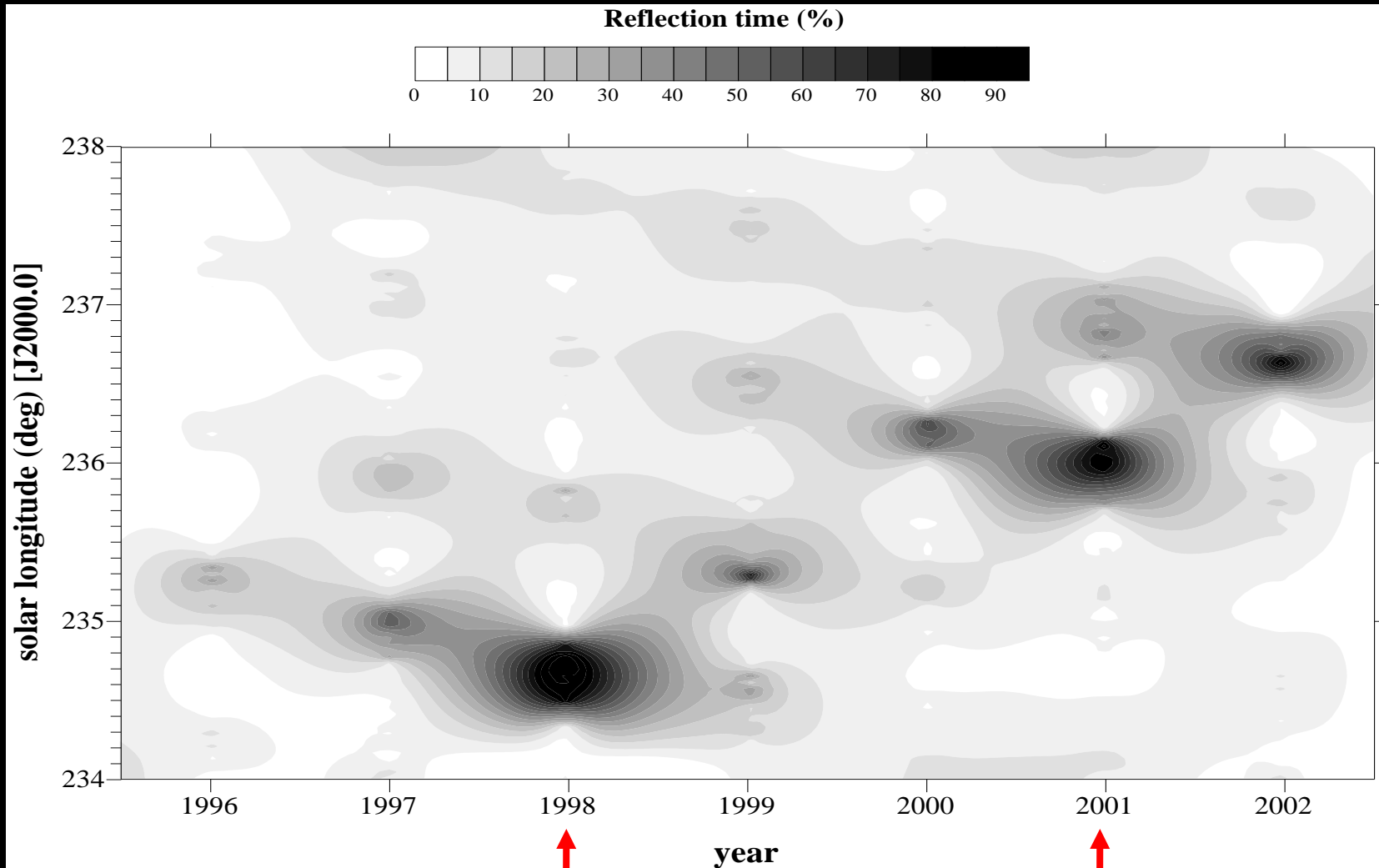
- banda di ricezione: la più ampia possibile all'interno del range tra i 40 e i 200 MHz in continuo
- modo di ricezione: USB - LSB - CW settabile dall'utente
- alimentazione: batterie e/o da rete elettrica
- uscita: audio su altoparlante e cuffia per l'ingresso nella scheda audio del PC e/o tramite porta accesso dati
- sensibilità di ingresso: -150 Dbm e basso rumore intrinseco



il radar Bologna-Lecce-Modra (BLM)



Attività radar delle Leonidi 1996-2002



1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Outburst	Outburst	Fireball outburst	Meteor storm	Substorm	Meteor storm	Meteor storm