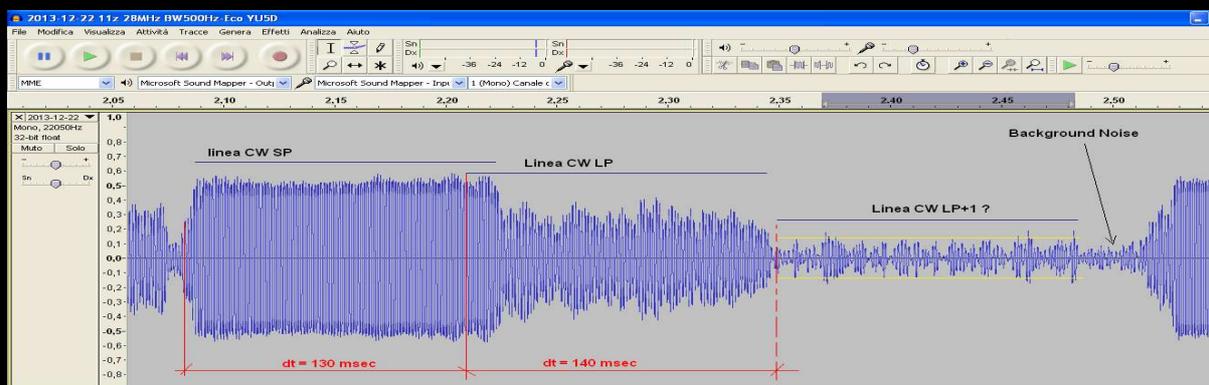


# STUDIO SUGLI ECHI LONG PATH



**Amateur Radio  
Propagation Studies**

09/05/2015

Flavio EGANO , IK3XTV

Il presente documento riporta alcuni esperimenti di ricezione di echi sulle parte alta dello spettro HF, dovuti a ricezione multipla da Long path. In presenza di condizioni di propagazione adeguate, puo' succedere che il segnale venga ricevuto sia per la via breve (short path) che per la via lunga (long path). In questo caso si tratta di multipath che genera un notevole effetto eco sul segnale

## Introduzione

Mi è capitato varie volte di ascoltare delle trasmissioni caratterizzate da un marcato effetto eco, sia in fonia che in telegrafia. Incuriosito da questo fenomeno e con l'aiuto di alcuni amici (IK2GRA e IK3PCZ), testimoni anche loro di trasmissioni con eco, ho provato a fare qualche ricerca e qualche misura. Questo documento riporta alcuni esperimenti di ricezione di echi sulla parte alta delle HF, dovuti a ricezione multipla da Long path. Con le condizioni giuste, può succedere che il segnale sia ricevuto sia per la via breve (short path) che per la via lunga (long path). In questo caso si tratta di multi path che genera un notevole effetto eco sul segnale. Il tempo che un'onda radio impiega a fare un giro completo della circonferenza terrestre è:  $40.021/299792,458 = 0.133$  sec. I testi sulla radio propagazione stabiliscono il ritardo di propagazione da long path in 138 ms perché tengono conto di un ulteriore 1400 km di lunghezza del percorso a causa delle riflessioni tra la terra e la ionosfera (salti ionosferici). Nella maggior parte dei casi noi abbiamo misurato un ritardo coerente con questo valore cioè di 140 ms.

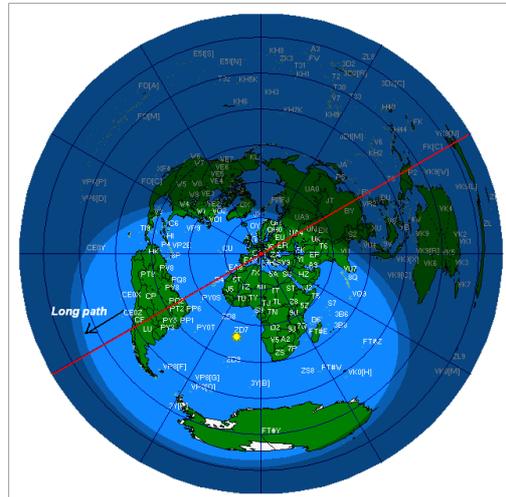
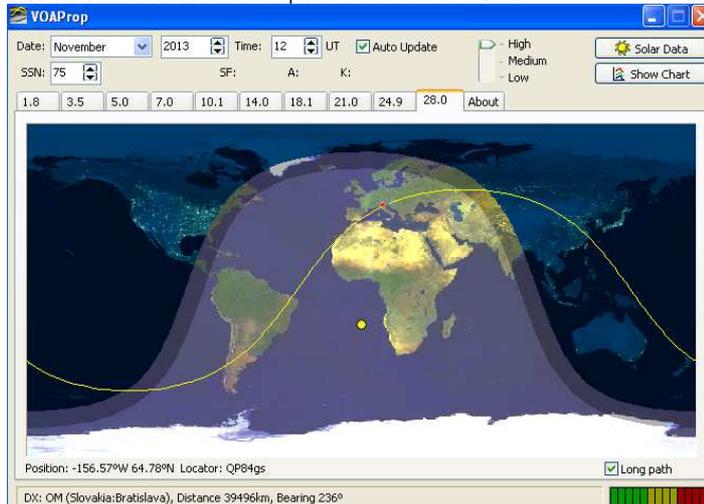


Fig.1 Long path centrato con OM3PA riferito al caso 1, tracciato con il programma VOAProp di G4ILO <http://www.g4ilo.com/voaprop.html>

Mappa azimutale a destra. Analisi del percorso del segnale: nel caso che il segnale seguisse il gran circolo dovrebbe percorrere circa metà percorso sul lato illuminato del globo e l'altra metà sul lato in oscurità. Senza lambire le zone Aurorali (in prossimità dei poli).

Mappa realizzata con il software Dx Atlas <http://www.dxatlas.com/>

## I casi analizzati

Vediamo di seguito l'analisi di alcuni casi:

- 1-Ricezione CW di OM3PA da parte di IK2GRA con eco long path dt=125 msec in data 10.11.2013 (SFU 148- KP=3)
- 2-Ricezione del proprio segnale in CW da parte di IK2GRA ECO dt=139 msec in data 16.11.2013 (SFU 178- KP=3)
- 3-Ricezione del proprio segnale in CW da parte di IK2GRA ECO dt=140 msec in data 22.12.2013 (SFU 144- KP=1)
- 4-Ricezione CW di YU5D da parte di IK2GRA con eco long path = 130 msec. in data 22.12.2013 (SFU 144- KP=1)
- 5-Ricezione CW di UN9GD da parte di IK2GRA con eco Long path=140 msec. in data 22.12.2013 (LPP long path da proseguimento) (SFU 144- KP=1)
- 6- Ricezione CW di UA3KW da parte di IK2GRA Con eco Long path=140 msec in data 09.02.2014 (SFU 178 KP=4)

## Una premessa importante

Dalle analisi che abbiamo fatto quindi, sembra che un giro completo della terra venga effettuato in 140 ms. E' un dato di fatto, e non è falsato da ritardi nella catena del segnale. Come abbiamo già detto, a livello puramente teorico, se il segnale potesse viaggiare a quota zero ci impiegherebbe 133 ms, quindi sappiamo che il percorso (considerando trascurabile l'eventuale piccolo rallentamento nella ionosfera) è  $40000 \times 140 / 133 = 42105$  km, cioè il 5% in più. Se viaggiasse linearmente, dovrebbe fare un circolo a quota  $6370 \times 0,05 = 318$  km. L'ipotesi che formuliamo in questo documento è che il segnale non si propaghi per salti ma che l'allungamento del percorso sia dovuto al fatto che il segnale viaggia all'interno di una guida d'onda ad una quota ionosferica di circa 300 Km. Abbiamo anche registrato qualche eco di natura anomala, come riportato di seguito e che potrebbero essere causati da anomalie del campo magnetico terrestre. Sono stati effettuati anche studi di possibili condotti nella magnetosfera con echi maggiori di 300 ms e oltre. In alcuni casi, abbiamo misurato ritardi inferiori ai 140 ms, probabilmente dovuti a condotti non necessariamente su circonferenze massime, ma che potrebbero formarsi su piani non passanti per il centro terrestre e quindi con lunghezza inferiore al condotto che segue il gran circolo.

## Analisi di alcuni casi studiati

Vediamo di seguito l'analisi di alcuni casi significativi effettuata con Audacity e alcuni commenti:

**Caso 1:** data 10.11.2013 ore 12 utc 28 Mhz. SFU 148 Kp=3 (quiet) IK2GRA riceve OM3PA con un dt=125 msec.

Il long path in questo caso è pari a 39317 Km. Ci si aspetta un dt LP teorico pari a 131 msec che con la regola del 5% dovrebbe essere pari a 137,5 ms. Noi abbiamo misurato 125 msec. Sembra quindi che il segnale di OM3PA abbia fatto un percorso più corto, diverso dal gran circolo. Questa è una possibile anomalia che al momento non siamo in grado di spiegare. Il grafico con l'analisi audio del segnale riportato in basso, richiede una breve spiegazione: la parte di segnale a sinistra è una linea CW lunga 150 msec. Poiché il ritardo è pari a 125 msec. Il segnale eco, a destra, di ampiezza circa la metà, si sovrappone parzialmente con il segnale principale. Anche gli altri grafici sono da leggere nello stesso modo. Per quanto riguarda la scala tempi nell'asse orizzontale, ogni marcatura corrisponde a 10 msec.

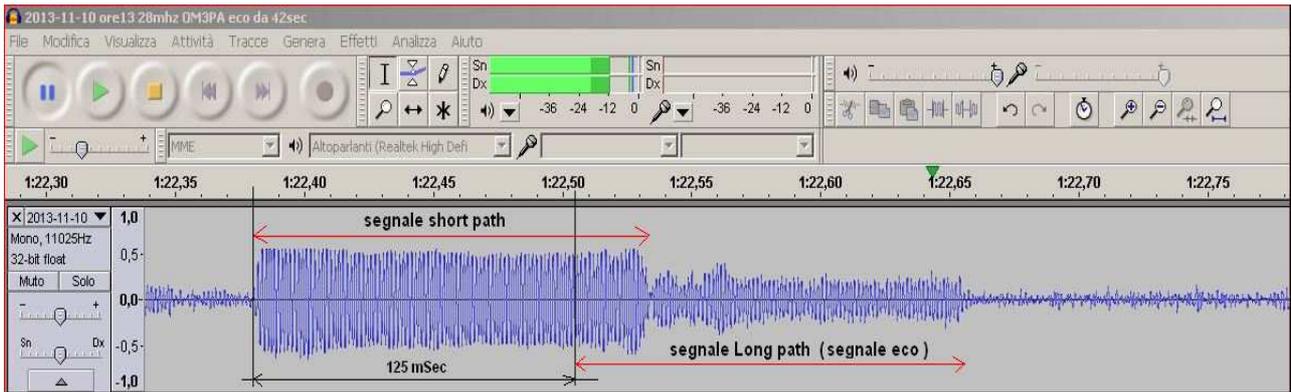


Fig.2 Analisi audio del caso 1. Registrazione del segnale audio di OM3PA fatta da Annibale, IK2GRA. Si vede la temporanea sovrapposizione dell'eco con il segnale principale (quello di maggiore ampiezza) in quanto il ritardo di 125 msec. è inferiore alla durata della linea CW. Da notare la differenza di ampiezza del segnale LP , di circa la metà rispetto al segnale SP , a conferma della bassa attenuazione in gioco in questo meccanismo di propagazione. Credits: IK2GRA

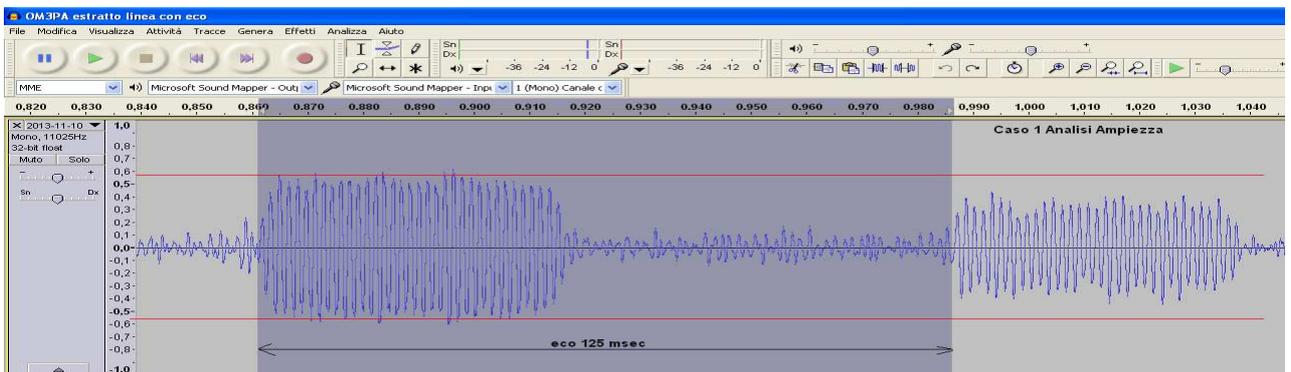


Fig.3 Analisi sempre del caso 1: Ricezione di OM3PA da parte di IK2GRA. In questo caso si vede bene il ritardo di 125 msec, del segnale eco rispetto al segnale principale e si vede bene come la differenza in ampiezza tra il segnale Short path e il segnale Long path sia minima. Il segnale viaggia all'interno del condotto LP con bassissima attenuazione. Credits: IK2GRA

**Caso 2:** 16.11.2013 ore 10 utc 28 Mhz. SFU 178 Kp=1 (quiet) IK2GRA riceve il proprio eco con un  $dt=139$  msec.

In questo caso il  $dt$  è coerente con i 138 ms teorici di un segnale LP. Potenza trasmessa 90W con antenna verticale multibanda. Diminuendo la potenza  $< 50$  w, l'eco spariva. Il fenomeno è durato circa un 45 minuti, con intensità variabile..

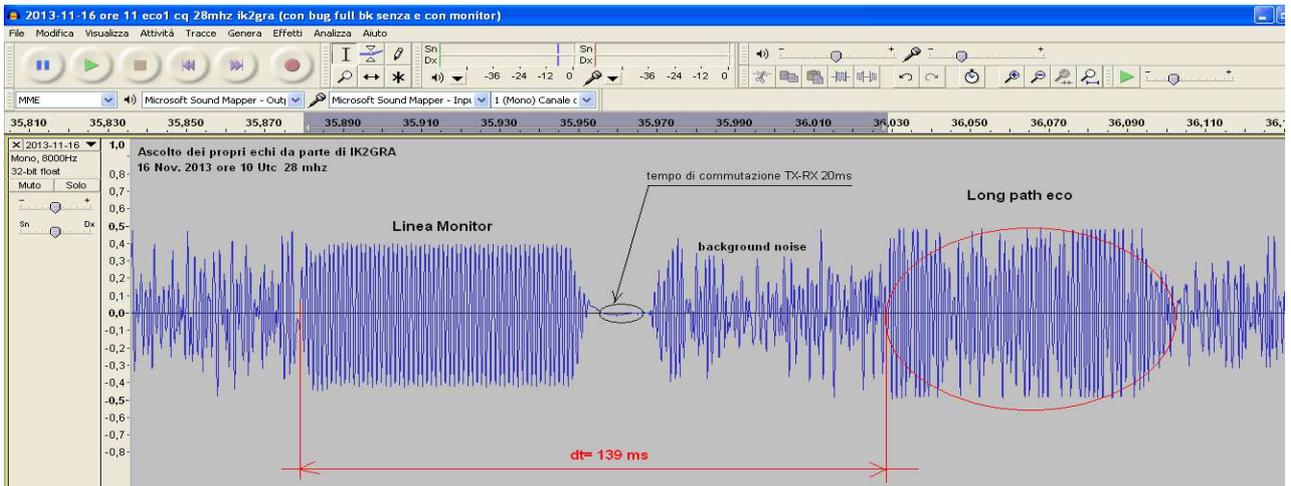


Fig.4 Analisi audio del caso 2. Registrazione del segnale del proprio segnale fatta da Annibale, IK2GRA. Anche in questo caso Si vede la temporanea sovrapposizione dell'eco con la registrazione della linea trasmessa e il momento di nullo dovuta al tempo di commutazione del Transceiver nel passaggio da TX a RX. Il  $dt$  dell'eco LP misurato risulta essere di 139 msec. (Abbiamo sottratto i 10 msec di errore dovuti al transceiver  $eco = dt - errore$ ). Il segnale è stato trasmesso con una potenza di 90W con antenna verticale multibanda. Diminuendo la potenza sotto i 50 w, l'eco spariva. Il fenomeno è durato circa un 45 minuti, con intensità variabile. Credits: IK2GRA

**Caso 3:** 22.12.2013 ore 11 utc 28 Mhz. SFU 144 Kp=1 (quiet) IK2GRA riceve il proprio eco con un  $dt=140$  msec. Anche in questo caso il  $dt$  LP misurato è coerente con il valore teorico di 138 msec.



Fig 6. Analisi audio del caso 3. Registrazione del proprio segnale fatta da Annibale in data 22.12.2013. Il dt dell'eco LP misurato risulta essere di 140 msec. (Anche in questo caso abbiamo sottratto i 10 msec di errore dovuti al transceiver eco= dt-errore). Credits: IK2GRA

**Caso 4:** data 22.12.2013 ore 11 utc 28 Mhz. SFU 144 Kp=1 (quiet) Ricezione CW di YU5D da parte di IK2GRA con eco long path = 130 msec. In questo caso valgono le stesse considerazioni fatte per il caso 1 di OM3PA. Anche qui ci troviamo di fronte ad un dt inferiore di quanto ci si dovrebbe aspettare per una propagazione LP che segue il gran circolo.

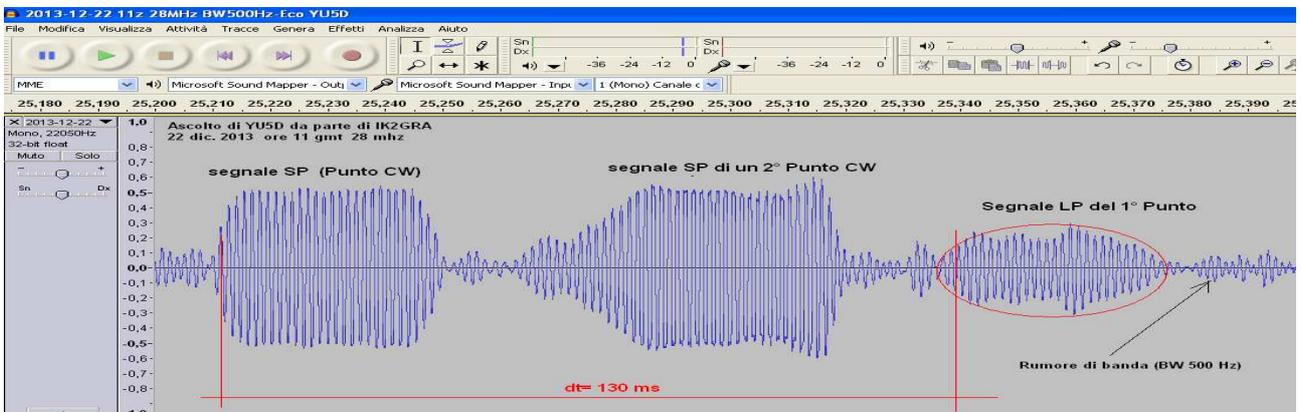


Fig 7. Analisi del caso 4. Ricezione di YU5D da parte di IK2GRA. Il dt è di 130 ms. Quasi lo stesso del caso di OM3PA. Si tratta quindi di ricezione che si scosta di circa 7 msec dai 137 msec (131+5%) che dovremo avere rispetto LP di YU5D per il gran circolo. Anche in questo caso siamo di fronte ad una attenuazione del segnale eco molto bassa (circa 3 dB) in quanto l'ampiezza del segnale eco LP è la metà di quello SP.

#### Alcune note sulla ricezione di YU5D

Il segnale LP di YU5D è molto forte, rispetto al segnale SP presenta una attenuazione di solo 3 dB.

Proviamo a fare una speculazione e ad analizzare dettagliatamente la traccia Audio. In teoria è possibile che il segnale di YU5D possa fare un giro successivo all'interno del condotto ionosferico, in questo caso dovrei trovare un segnale eco che potremmo chiamare LP+1 a circa 140 msec. dal segnale principale SP. Ci si dovrebbe aspettare un'attenuazione di altri 3 dB e quindi dovrei trovare il segnale LP+1 confuso nel rumore di fondo. In effetti, una porzione di segnale non decodificabile sembra sia presente, come evidenziato nella figura 8. Si possono fare considerazioni analoghe anche sul segnale di UA3KW, evidenziato sempre in figura 8 in basso.

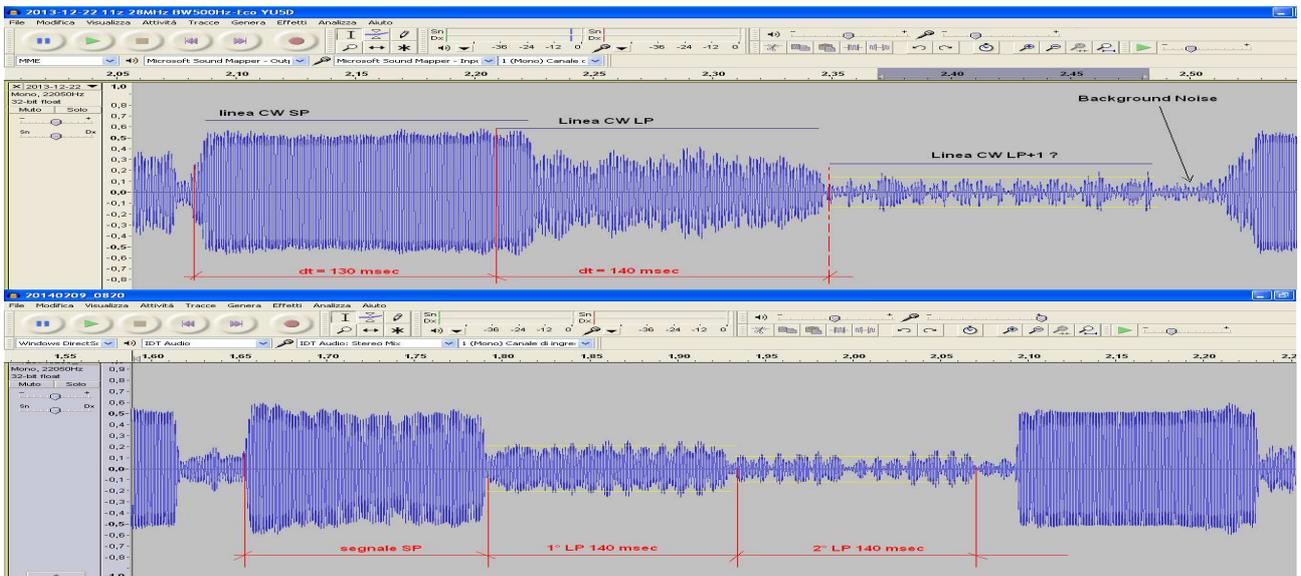


Fig.8. La figura mostra due registrazioni distinte, la prima traccia in alto è di YU5D, dove si può vedere bene la bassa attenuazione di tratta rispetto al segnale SP (circa 3 dB). La registrazione in basso è relativa ad un altro caso di doppio long path sul segnale di UA3KW.

**caso 5:** data 22.12.2013 ore 11 utc 28 Mhz. SFU 144 Kp=1 Ricezione CW di UN9GD da parte di IK2GRA con eco Long path=140 ms  
 In questo caso dovremo essere di fronte ad un caso di LPP (4) (long path da proseguimento) , misurato con un  $dt=140$  msec.  
 Il segnale di UN9GD dopo essere stato ricevuto da IK2GRA, ha continuato e percorso un ulteriore giro della terra.  
 Questa ipotesi è rafforzata anche dal fatto che UN9GD trasmette con una antenna Quad 4 elementi, quindi fortemente direttiva e con un buon F/B. Questo caso presenta un'anomalia sul segnale eco che evidenzia una forma conica crescente, probabilmente causata da un effetto di saturazione del ricevitore sul forte segnale principale di UN9GD.

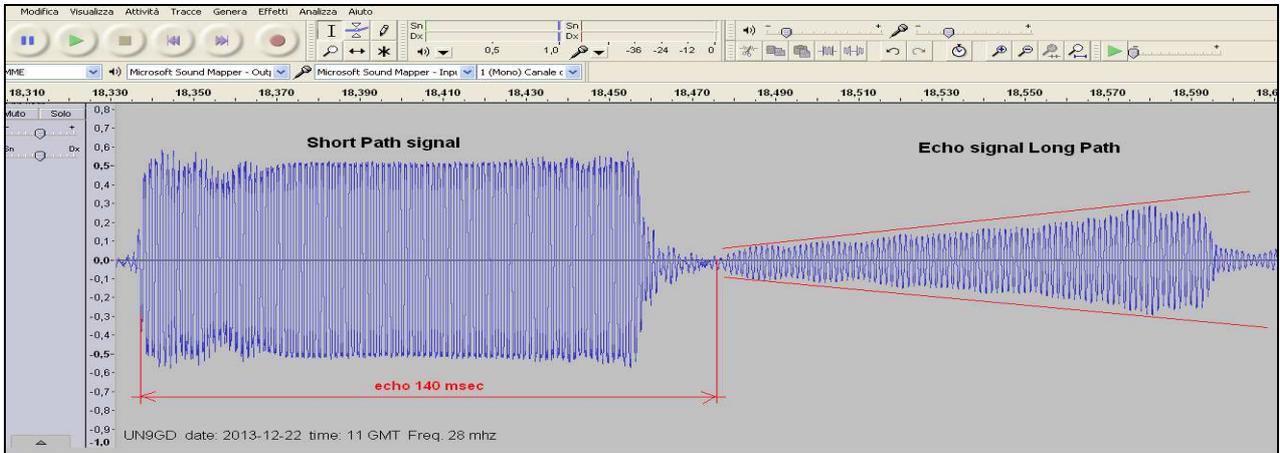


Fig. 9 Segnale di UN9GD dove si vede il particolare eco a forma conica.

**Caso 6:** data 09.02.2014 ore 8.20 utc 28 Mhz. SFU 148 Kp=3 (quiet) IK2GRA riceve UA3KW con un  $dt=140$  msec e un secondo eco da LP+1 con ritardo sempre di 140 msec

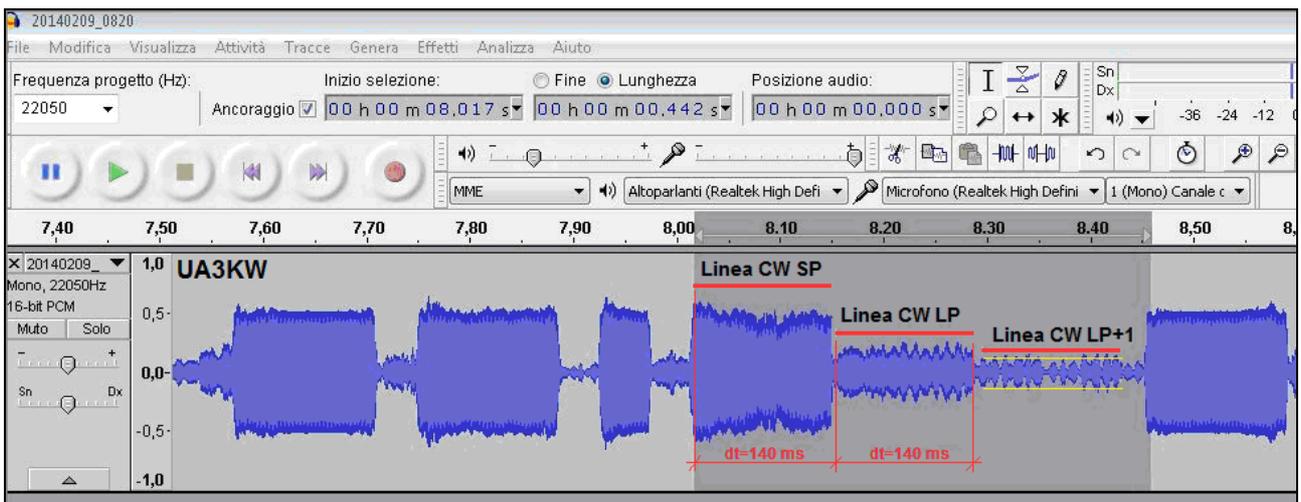


Fig. 10 Ricezione di UA3KW da parte di IK2GRA sui 28 Mhz. Anche in questo caso rileviamo un secondo eco da LP+1. Il ritardo complessivo è pari a 280 ms, con un  $dt$  da long path di 140 ms. Anche in questo caso l'attenuazione di tratta risulta molto bassa.

#### Alcune Prove in Fonia SSB

Durante l'ARRL 10 metri contest di Dicembre 2013, ho effettuato alcuni test anche in fonia SSB, registrando parecchi echi long path. In questo caso Ci sono delle difficoltà tecniche per analizzare il segnale in quanto i tempi di ritardo non sono tali da discriminare facilmente la componente eco dal segnale principale. Il segnale Eco si sovrappone alla traccia del segnale principale. I tentativi di evidenziare l'eco sono mostrati nelle figure 11 e 12 rispettivamente. Pur con delle difficoltà oggettive a discriminare l'eco dal segnale principale, la misura sembra essere attorno ai 130 msec, ma data la criticità della misurazione non è possibile fare ulteriori considerazioni e i test in SSB non sono considerati attendibili.

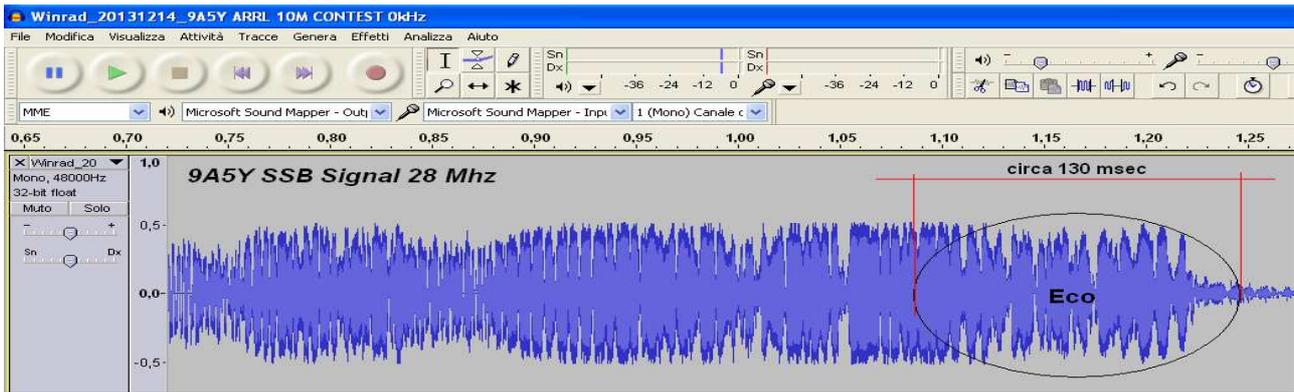


Fig 11. Analisi di una porzione di segnale di 9A5Y in 28 mhz SSB registrato durante l'ARRL 10 Metri contest 2013. Il segnale era riconoscibile in quanto presentava un forte eco. (9A5Y data ricezione 14.12.2013 ore 12.21 UTC). Credits: IK3XTV



Fig.12. Analisi di una porzione di segnale di HB9TJR in 24 mhz SSB. Anche in questo caso, il segnale presenta un marcato effetto eco. (HB9TJR ascoltato da IK3PCZ con antenna a est in data 26.12.2013 ore 15.00 UTC). Credits:IK3PCZ

### Eco anomalo

Nella figura 13 riportiamo un eco di 330 msec ricevuto da IK2GRA sull'emissione CW di UA3KW. In questo caso siamo in presenza di un possibile condotto di quasi 100.000 Km. Che al momento non siamo in grado di spiegare.

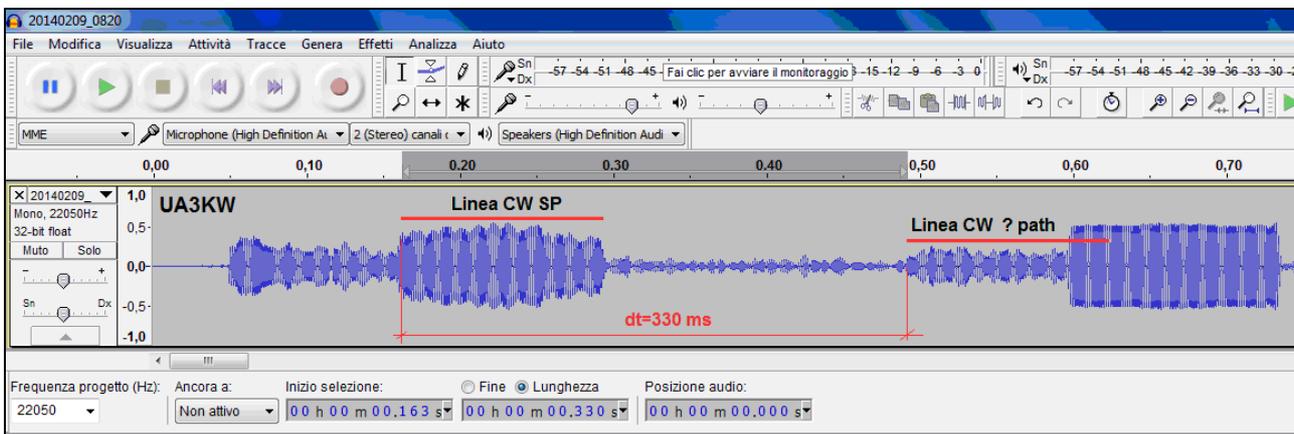


Fig.13 Ricezione di UA3KW da parte di IK2GRA del 09-02-2014 alle 08.20 utc sui 28 Mhz. In questo caso siamo in presenza di un segnale eco con un ritardo anomalo, non compatibile con propagazione LP. Abbiamo registrato un dt di 330 ms. Significherebbe che l'onda radio ha percorso quasi 100.000 Km. Non abbiamo idea di cosa possa aver generato questo eco.

### Analisi con VOACAP

Voacap è un programma di previsione e studio della propagazione. Utilizzando questo software abbiamo provato a fare delle simulazioni con i dati reali di alcuni dei casi analizzati. Il programma conferma la possibilità di aperture Long path coerenti con quelle rilevate e sono collegate al picco delle MUF (Vedi note 3). VOACAP: [www.voacap.com/prediction.html](http://www.voacap.com/prediction.html)  
Esempio descrittivo nella figura 14.

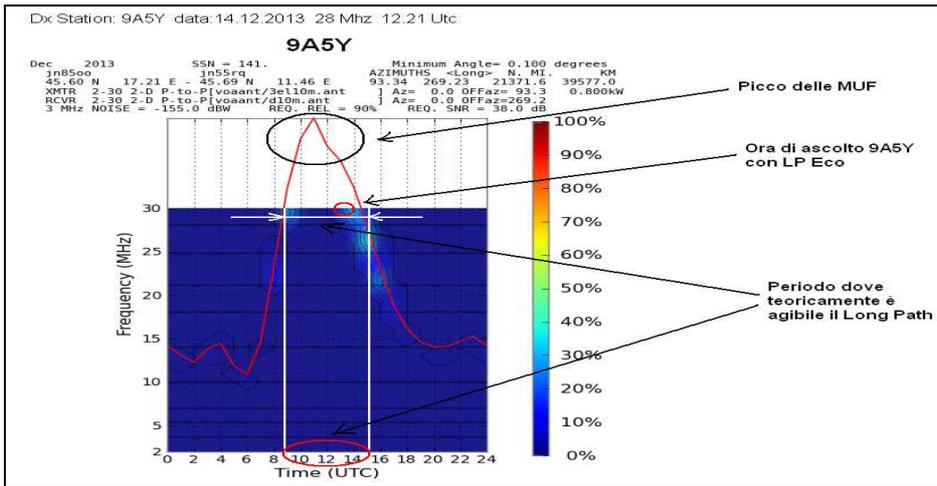


Fig.14. Esempio di analisi del percorso e delle MUF effettuato sempre con VOACAP e riferito all'ascolto di 9A5Y. (MUF Voacap vedi note 3)

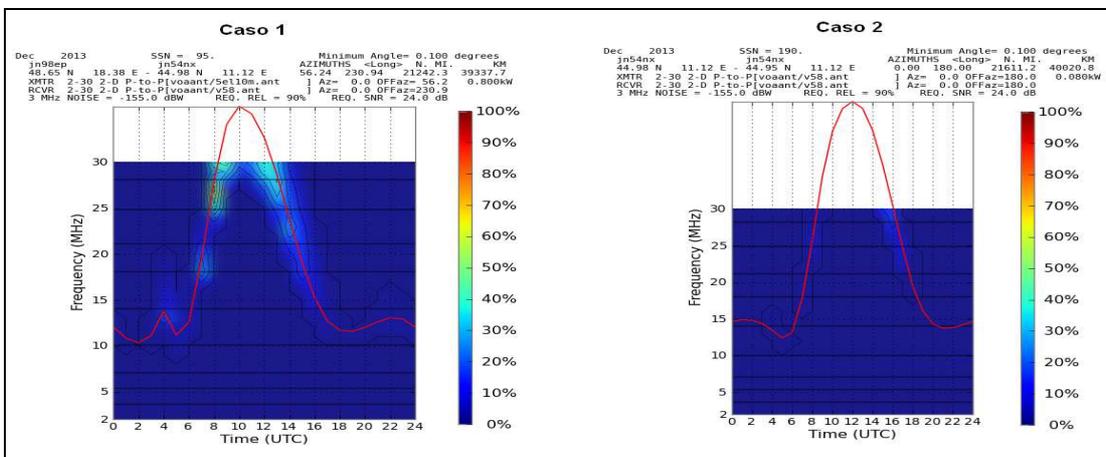


Fig.15. Analisi delle MUF e della fattibilità teorica del collegamento long path con il programma VOACAP. Sono stati analizzati il caso 1 e il caso 2. Con il software di previsione che conferma gli orari long path ed evidenzia l'apertura del percorso LP in prossimità del picco massimo delle MUF (3), che salgono proprio attorno agli orari della registrazione degli echi (curva Rossa).

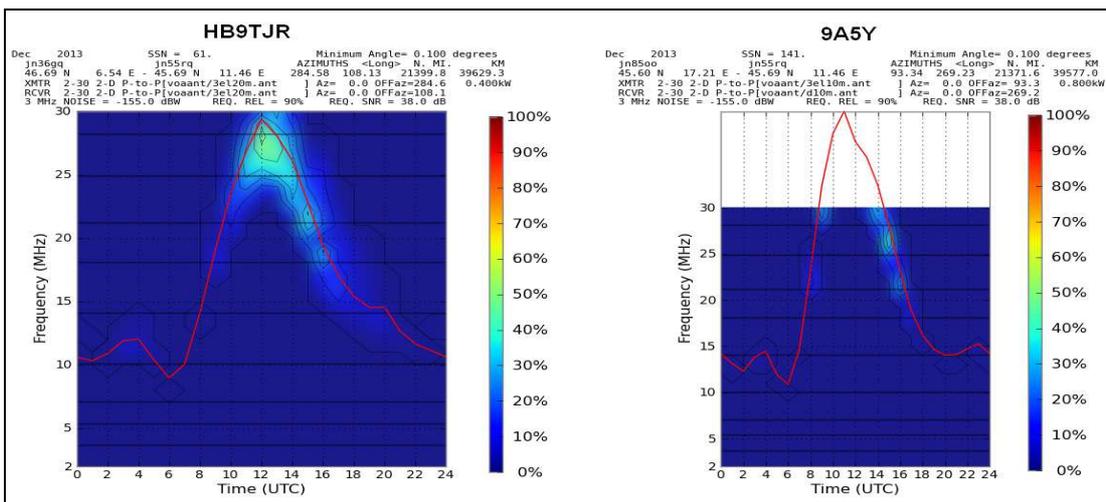


Fig.16. Analisi delle MUF e della fattibilità teorica del collegamento long path con il programma VOACAP di HB9TJR e di 9A5Y, con il software di previsione che conferma gli orari long path ed evidenzia l'apertura del percorso LP in prossimità del picco massimo delle MUF (3), che raggiungono il picco proprio attorno agli orari della registrazione degli echi (curva Rossa)

### Che cosa permette al segnale di uscire dalla guida d'onda?

Questa è la domanda importante a cui stiamo tentando di dare una risposta coerente. Il segnale viaggia dentro questa guida d'onda, con un meccanismo simile al Whispering Gallery (1) e mi viene in mente l'analogia con la fibra ottica, ecco io penso ad una cosa del genere. Ma siccome la ionosfera non è una fibra ottica chiusa ma presenta una serie di discontinuità, penso siano queste discontinuità a far entrare e uscire il segnale. Credo che nella zona attorno allo Short path la ionosfera permetta di entrare e uscire dalla guida.

Il segnale Long path può essere affetto anche da minidoppler. Abbiamo analizzato il segnale con WINRAD in modo da visualizzarne lo spettro. In questo caso abbiamo analizzato un'altra registrazione: la ricezione di OM3PA con eco, questo segnale è caratterizzato da un minidoppler con allargamento della traccia. Dovrebbe trattarsi di doppler ionosferico, ma vediamo meglio di che cosa si tratta. La ionosfera non è un mezzo statico, ma è un plasma in continua evoluzione, soggetto a movimenti causati principalmente dai venti ionosferici. Gli strati ionosferici hanno dei movimenti verticali e orizzontali con la conseguenza che la ionosfera subisce un'ondulazione continua che modifica il punto di riflessione del segnale generando un doppler shift. Il segnale long path farebbe quindi pensare a un doppler ionosferico dovuto a tutte le irregolarità e ondulazioni incontrate dal segnale nel suo lungo percorso all'interno della volta ionosferica (riferendoci sempre all'ipotesi del Whispering Gallery). In un piano riflettente in movimento con velocità  $V$ , un segnale radio di frequenza  $f$ , è riflesso con frequenza  **$f$  riflessa =  $f \pm \Delta f$** . Dove il segno  $\pm$  dipende dalla direzione del movimento dello strato riflettente. Dalla figura 4, è possibile dedurre un allargamento delle tracce di circa  $\pm 10$  Hz. Un doppler di 10 Hz a 28 Mhz, corrisponde ad una velocità di 0,1 km/s cioè 360 km/h, perfettamente compatibile con la velocità dei venti ionosferici a quelle quote.

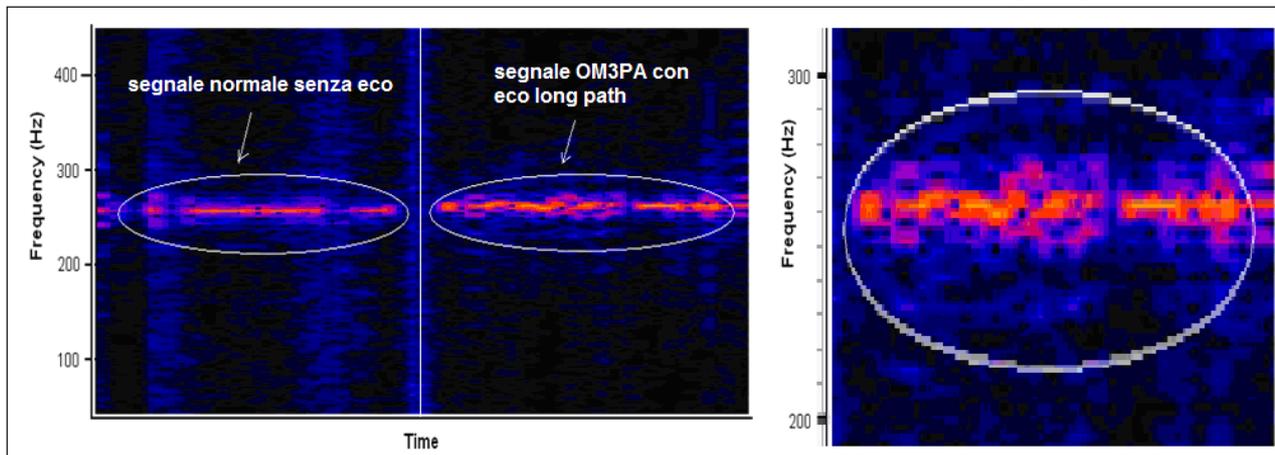


Fig.17 Analisi del segnale di OM3PA che evidenzia un minidoppler ionosferico con allargamento della traccia. L'immagine a destra mostra un ingrandimento della traccia CW long path dove si può dedurre un allargamento delle tracce di circa  $\pm 10$  Hz. Un doppler di 10 Hz a 28 Mhz implica una velocità di 0,1 km/s cioè 360 km/h, compatibile con la velocità dei venti ionosferici a quelle quote. (Analisi effettuata con WINRAD).

### Campo Magnetico terrestre

I condotti ionosferici dove entrano i segnali potrebbero essere parzialmente deviati dalla conformazione del campo magnetico terrestre che non è uniforme e presenta delle significative variazioni sia in intensità che direzione. Inoltre sono documentate anche significative anomalie crostali. Questo potrebbe essere un ulteriore motivo dell'allungamento del percorso rilevato sui segnali LP, dove abbiamo misurato 140 msec.

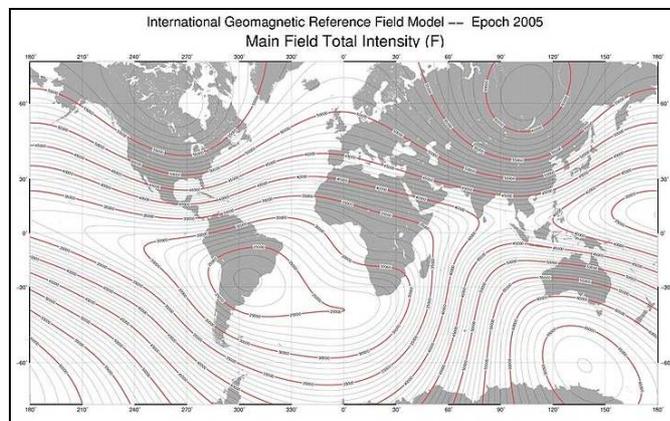


Fig.18. Il campo magnetico terrestre non è uniforme e presenta delle significative variazioni sia in intensità che direzione. Inoltre sono documentate anche significative anomalie crostali. Credits: Wikipedia [http://it.wikipedia.org/wiki/File:F\\_map\\_mf\\_2005\\_large.jpeg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:F_map_mf_2005_large.jpeg)

### Stagionalità

Una prima analisi del fenomeno sembra evidenziare una stagionalità Autunno-Inverno (Emisfero Nord) con un'enfaticizzazione degli eventi nel periodo di fine Autunno e fine Inverno. Il motivo non ci è chiaro, probabilmente centra la differenza di densità elettronica ionosferica tra i due emisferi, la posizione del terminatore ecc, ed i meccanismi sono da chiarire. Una'altra cosa importante, tutti i casi analizzati presentano un indice geomagnetico KP, mai superiore a 3 (che significa un campo geomagnetico in quiete). Fa eccezione la registrazione di UA3KW del 9 Febbraio 2014, con un KP=4, un campo geomagnetico perturbato da una CME di qualche giorno prima.

### Attenuazione

Si tratta di una questione importante. Tutte le osservazioni e le registrazioni di echi lungo il percorso mostrano una attenuazione molto bassa. Nel caso di Figura 4, YU5D: con uno Short path di 650 e un Long path di 39.400 chilometri. Il loro rapporto è 60. Secondo la legge di attenuazione inversamente proporzionale al quadrato della distanza, l'attenuazione di tratta dovrebbe essere  $10 * \log 60^2 = 35$  dB. Invece è di 3 dB. Da questo rapporto, risulterebbe chiaro che non possiamo essere in propagazione in spazio libero (funzione di attenuazione del quadrato della distanza), ma in una propagazione via condotto ionosferico (tipo guida d'onda nelle microonde).

## Discussione

Dai dati che abbiamo finora a disposizione, sembra che i segnali non percorrano sempre il gran circolo (vedi note 2), ma possono fare dei percorsi diversi, anche sensibilmente più lunghi. Qui possiamo formulare solo delle ipotesi, basate sullo studio dei casi che abbiamo a disposizione. Come già più volte discusso, la propagazione potrebbe avvenire come all'interno di una guida d'onda. . Vedi altri studi sull'argomento in questo link: <http://www.gsl.net/ik3xtv/ARCHIVIO/Esperimenti%20long%20path.pdf>

Infatti, seguendo il modello classico di propagazione per salti ionosferici e ipotizzando mediamente la lunghezza di un salto di 2500 Km, servirebbero almeno 16 salti per compiere l'intero percorso. Questo vorrebbe dire un'attenuazione enorme che però non trova riscontro confrontando per esempio, le ampiezze del segnale principale con il segnale eco. Solo una guida d'onda all'interno della ionosfera e localizzata indicativamente ad una quota di 300 Km e con bassa attenuazione, potrebbe spiegare il fenomeno. La direzione e/o conformazione di queste guide d'onda o condotti ionosferici potrebbe essere influenzata dalle linee del campo magnetico terrestre che non è uniforme, ma presenta delle anomalie. Queste guide d'onda sembrano essere abbastanza indipendenti dalla lunghezza d'onda del segnale. D a questa analisi emerge abbastanza chiaramente che abbiamo questo effetto eco legato al long path, quando le MUF arrivano al picco massimo (Curva Gaussiana Rossa nelle tabelle previsionali VOACAP), per poi progressivamente sparire quando le MUF iniziano a scendere. Quindi il fenomeno ha una durata limitata e governata dalla curva Gaussiana delle MUF. (Fig.14) . Abbiamo ricevuto e analizzato echi sia in banda 21 Mhz che 28 Mhz.

## Collaborazione

Grazie ad Annibale, IK2GRA , (senza le sue professionali registrazioni non sarebbe stata possibile questa ricerca) per la preziosa collaborazione, a Loris, IK3PCZ per le segnalazioni fornite e a Giorgio, IK1UWL e Carl, K9LA per la consulenza tecnica. (Tutte le registrazioni audio riprodotte in questo documento sono state fatte da IK2GRA).

## Precisione delle misure:

Nel caso delle misure effettuate sugli echi autoascoltati da IK2GRA, abbiamo considerato un errore di 10 msec dovuto ai tempi di ritardo introdotti dall'elettronica del transceiver nell'emissione del segnale monitor. Quindi sui casi di segnale autoascoltato emesso dal Transceiver abbiamo sottratto il ritardo introdotto dagli stadi intermedi del ricetrasmittitore effettuando quindi una correzione sulle misurazioni con Audacity. Riteniamo pertanto che le varie misurazioni degli echi possano avere una tolleranza di compresa tra +/- 1 ms. Il tempo di commutazione TX-RX è invece ininfluenza nella misurazione del ritardo degli echi.

## Strumenti

Le Analisi Audio sono state fatte con il programma Audacity, un editor e registratore audio libero, multitraccia.

Le previsioni di propagazione e l'analisi delle MUF sono state fatte con VOAPROP di G4ILO e VOACAP

(HF Propagation Prediction and Ionospheric Communications Analysis- On line service). Mentre l'analisi dello spettro del segnale CW è stata fatta con WINRAD <http://www.weaksignals.com/>. E' stato anche utilizzato il software Faros che permette il monitoraggio dei beacons della NCDX Foundation ed è in grado di determinare la ricezione dei beacons via Short path oppure Long Path.

TX-RX - TS930 con potenza max utilizzata di 90W. Antenna - verticale multibanda Hy Gain AV640. AGC setting=0

Registrazione file MP3 - programma QARTEST + con scheda audio PC

## Note

- (1) **Whispering Gallery:** Si tratta di un effetto legato alla diffusione del suono all'interno di volte cupolari (per esempio nella Galleria del bisbiglio all'interno della Cattedrale di S.Paolo a Londra) nelle quali il suono segue il bordo della parete, proseguendo per riflessioni successive con bassa attenuazione. Questo meccanismo è applicabile sia alle onde luminose che alle onde radio e quindi per analogia all'interno del condotto ionosferico che abbiamo ipotizzato in questo documento.
- (2) **Possibili percorsi diversi rispetto al gran circolo** cioè al Long path tradizionale antipodale. Come raffigurato nella figura 9 a destra, ci possono essere dei percorsi diversi rispetto al gran circolo, con la formazione di condotti ionosferici più brevi rispetto alla linea del gran circolo come evidenziato dalla ricezione di echi con ritardi anche notevolmente inferiori di quanto ci si aspetterebbe rispetto ad un segnale che ha percorso la classica linea del Long path lungo il gran circolo.
- (3) **VOACAP MUF:** Nel programma VOACAP , il parametro MUF ( massima frequenza utilizzabile ) è un concetto statistico, e viene definita come la massima frequenza utilizzabile mediata per un dato percorso ionosferico, mese, ora e SSN numero di macchie solari. Su ogni giorno del mese in una determinata ora , c'è una frequenza massima osservata ( MUF ) per una modalità . La media di questa distribuzione è chiamata MUF. Quindi in questo caso la MUF non è la frequenza massima utilizzabile in termini di comunicazione. In altre parole, la MUF è la frequenza per la quale il collegamento ionosferico è previsto sul 50 % dei giorni del mese.
- (4) **LPP Long Path da proseguimento:** Per Long path si intende un segnale che si propaga nella direzione opposta rispetto al percorso breve SP. Per differenziare abbiamo chiamato invece Long Path da proseguimento LPP, il segnale che si propaga nella stessa direzione della via breve ma percorre un ulteriore giro della terra.
- (5) **Ondulazioni periodiche della Ionosfera riconducibili ai TID Travelling Ionospheric Disturbances,** che sono moti di natura ondosa che si propagano nella ionosfera sottoforma di onde.

## APPENDICE

### Studio con il Software Faros (Beacon Monitors)

Ho provato ad analizzare un percorso propagativo Long path/Short path utilizzando il software per il rilevamento dei Beacons "Faros". Questo programma oltre a registrare l'ascolto del beacon, fornisce anche altri interessanti parametri come il livello SNR del segnale e il ritardo propagativo, quindi è in grado di selezionare se il segnale arriva per via corta oppure per via lunga. L'esperimento descritto di seguito è stato fatto in banda 21 Mhz in data 7/11/2014 con Flusso solare SFI=136 e KP=2. L'obiettivo di questo esperimento è rilevare l'esistenza di un condotto propagativo in grado di coprire l'intera linea geodetica terrestre, centrata in questo caso sul mio QTH. La ricezione contemporanea del beacon ZL6B ascoltato via SP e OA4B ascoltato via LP è una conferma dell'esistenza di condotti propagativi molto lunghi in grado di coprire l'intera circonferenza terrestre. Come si vede nell'immagine in basso, i due beacon si trovano praticamente lungo la stessa linea geodetica. La mappa è azimutale. Purtroppo per una momentanea anomalia delle apparecchiature, il beacon CS3B situato a Madeira lungo la stessa linea, è spento. Il protocollo di registrazione di Faros, nel caso di ricezione simultanea del beacon via SP e via LP, sceglie il segnale piu' forte.

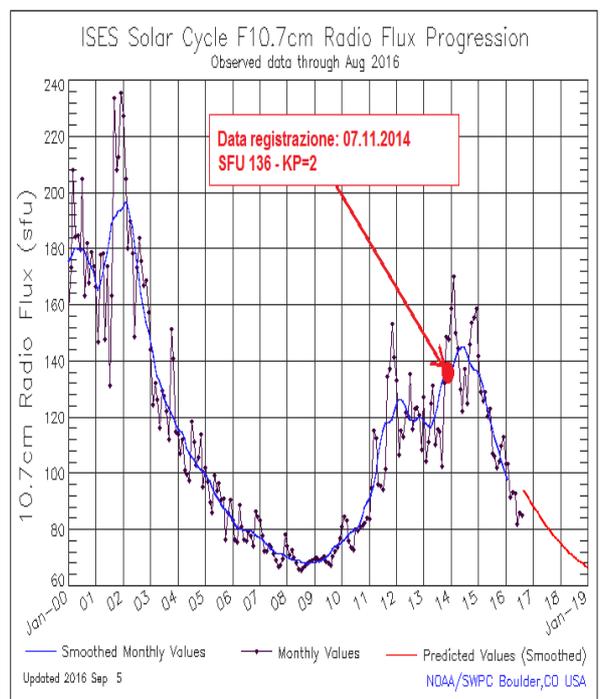
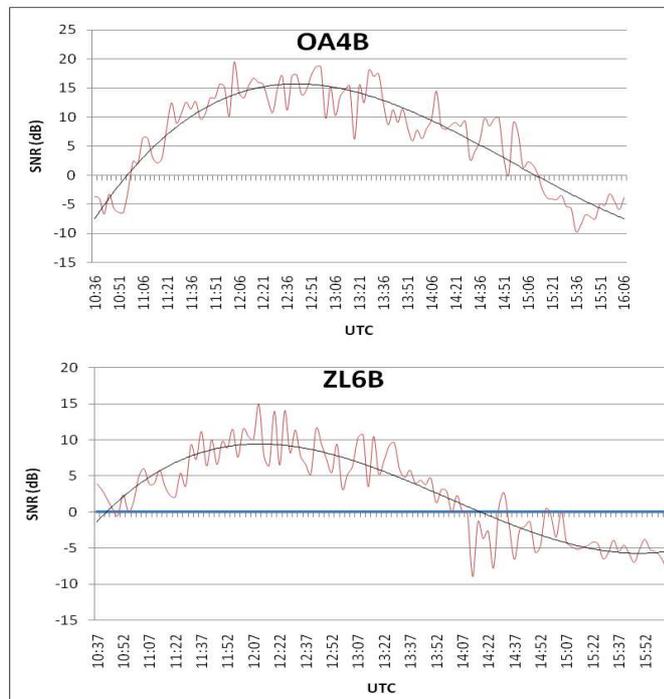
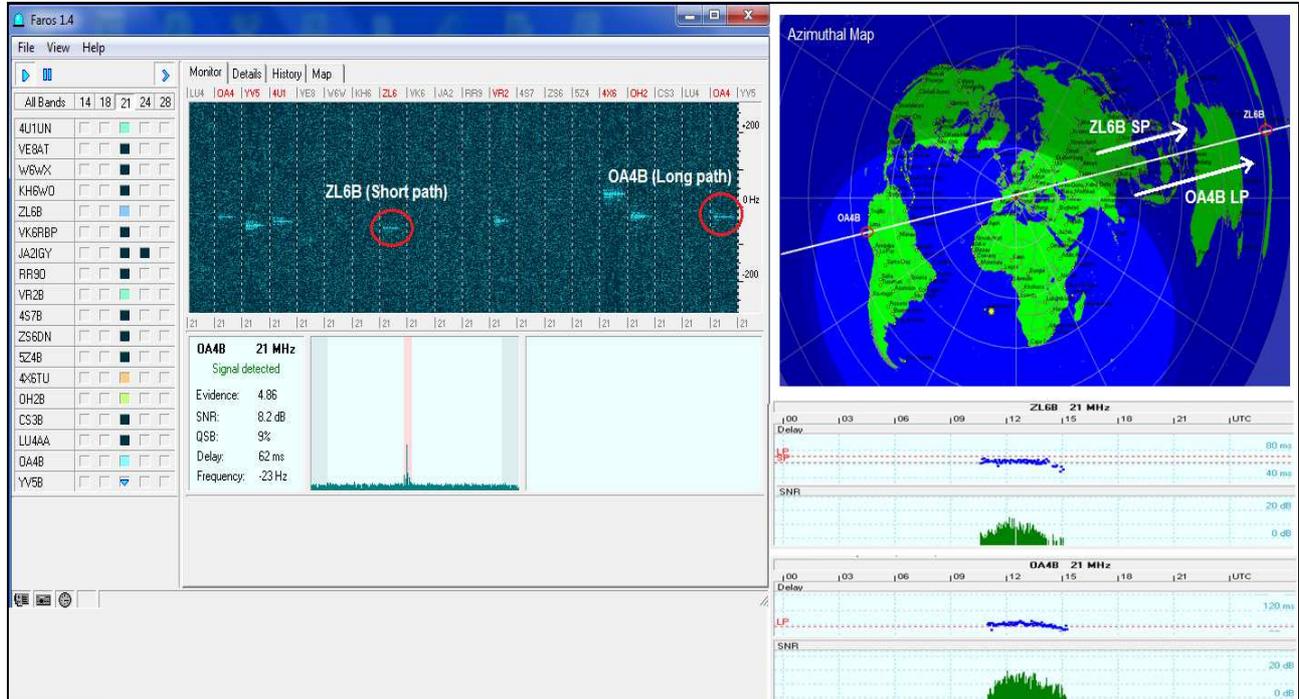


Fig.19 Grafico dell'andamento del segnale dei due beacons monitorati. OA4B è sempre stato ascoltato via Long path, mentre il beacons ZL6B è stato ascoltato sempre via Short Path (eccetto alcuni passaggi Long path di breve durata). La curva nera rappresenta una linea polinomiale che evidenzia un andamento gaussiano del segnale. I due grafici hanno un andamento simile, solo l'ampiezza del segnale di OA4B è maggiore. Questo denota come la dinamica di apertura e chiusura propagativa del condotto sia praticamente la stessa. La registrazione è stata fatta in gamma 21 Mhz, in data 7/11/2014 - Flusso solare SFI=136 e KP=2. In una fase alta del ciclo solare 24.