

Introduzione

Durante la mia attività in HF, mi è capitato varie volte di ascoltare delle trasmissioni caratterizzate da un forte 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.

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 $40021 \times 140 / 133 = 42127$ km, cioè il 5% in più. Se viaggiasse linearmente, dovrebbe fare un circolo a quota $6370 \times 0,05 = 318$ km. (6370 è la lunghezza del raggio terrestre). 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, compreso quello di figura 1, 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.

Vari casi

Abbiamo analizzato vari casi, per semplicità e per motivi di spazio riportiamo a titolo di esempio soli dei casi più efficaci. Abbiamo ricevuto e analizzato echi sia in banda 21 Mhz che 28 Mhz. La documentazione e l'analisi completa che comprende vari casi può essere consultata al seguente sito: www.qsl.net/ik3xtv dove è possibile scaricare il file completo in formato PDF.

Descrizione: data 22.12.2013 ore 11 utc. frequenza :28 Mhz. SFU 144 Kp=1 (quiet) Ricezione CW di YU5D da parte di IK2GRA con eco long path = 130 ms. In questo caso ci troviamo di fronte ad un dt inferiore di quanto ci si dovrebbe aspettare per una propagazione LP che segue il gran circolo. Il secondo eco LP+1 dovrebbe essere attorno ai 270 ms, ma con qualche dubbio dovuto alla difficoltà di effettuare correttamente questa misura a causa della qualità sensibilmente degradata del secondo eco.

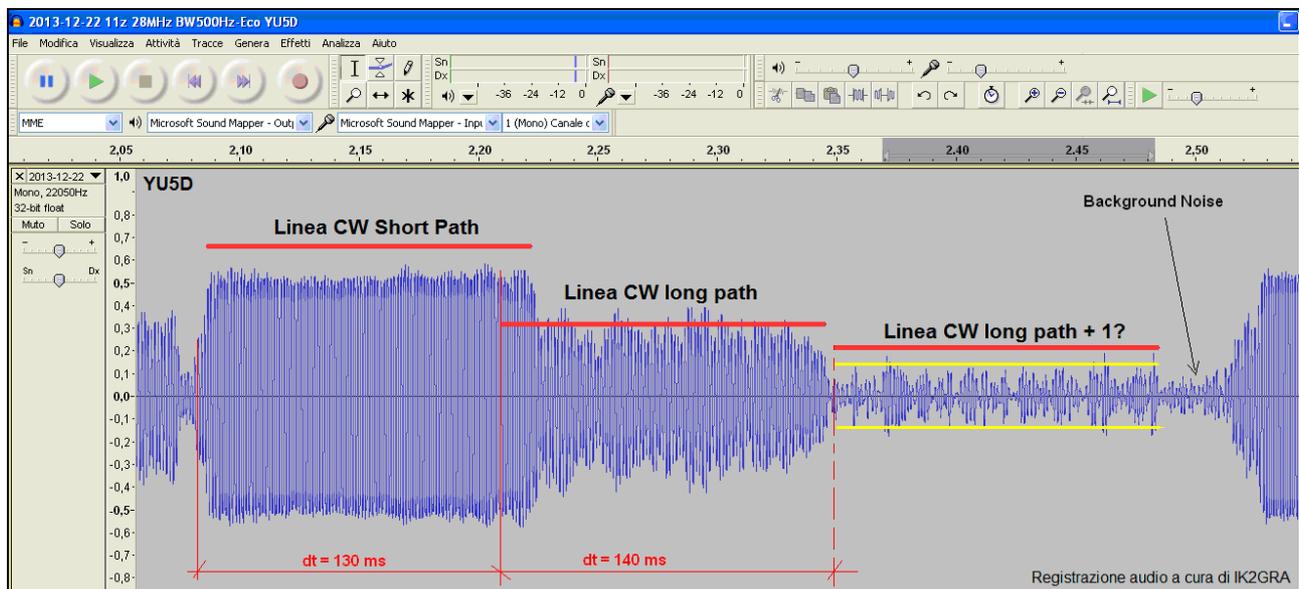


Fig 1. Ricezione di YU5D da parte di IK2GRA. In questo caso il dt è di 130 ms. Anche in questo caso siamo di fronte ad un'attenuazione del segnale eco molto bassa (circa 3 dB) in quanto l'ampiezza del segnale eco LP è la metà di quello SP. La figura, infatti, mostra una porzione della traccia di YU5D, dove si può vedere bene la bassa attenuazione di tratta rispetto al segnale SP (circa 3 dB). La prima linea CW è il segnale di YU5D ricevuto per la via breve (circa 650 km), la seconda linea CW long path è l'eco ricevuto per la via lunga, circa 39400 Km. La terza linea CW, long path+1, confusa tra il rumore di fondo, è con molta probabilità un secondo eco del segnale che ha fatto un ulteriore giro della terra (circa 40.000 Km). Il ritardo del secondo eco è stato misurato in 270 ms. (Ogni marcatura della scala tempi nell'asse orizzontale, corrisponde a 10 ms).

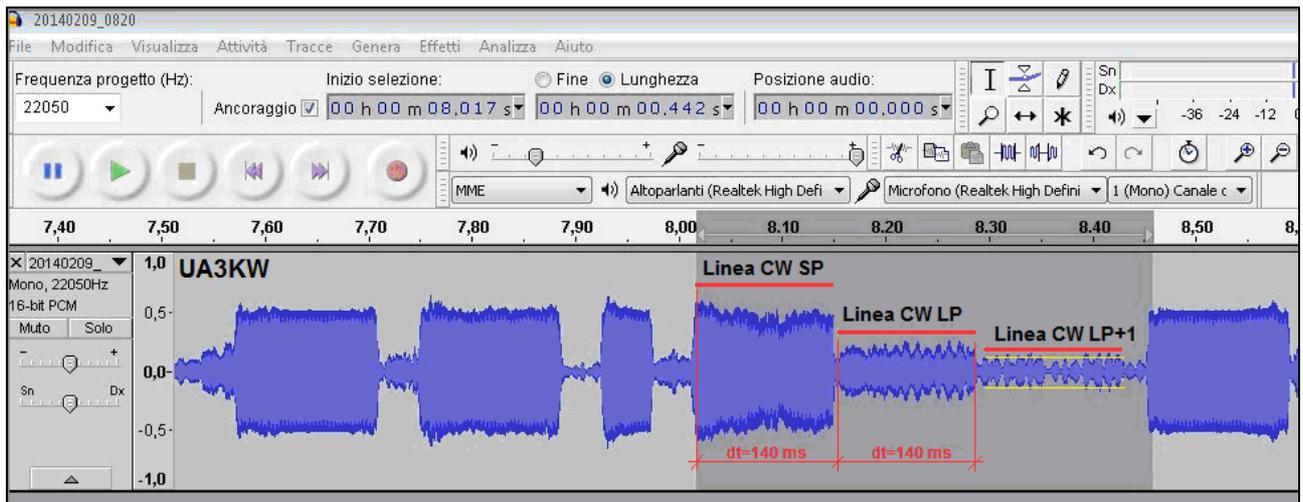


Fig.2 Ricezione di UA3KW da parte di IK2GRA sui 28 Mhz. Anche in questo caso rileviamo un secondo eco da LP+1. Il ritardo complessivo è pari a 280 ms, con un dt da long path di 140 ms. Anche in questo caso l'attenuazione di tratta risulta molto bassa.

Alcune considerazioni sulla ricezione LP+1

Il segnale LP di YU5D è molto forte, rispetto al segnale SP presenta una attenuazione di solo 3 dB. Proviamo 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 dall'orecchio umano, sembra sia presente, come evidenziato nella figura 1. (Linea CW LP+1). Il ritardo del secondo eco (LP+1) è pari a 270 ms. Analogo discorso lo possiamo fare sulla registrazione di UA3KW, che presenta sempre un secondo eco ritardato di 280 ms. Questo potrebbe confermare che il segnale può effettuare più di un giro con attenuazioni molto basse e quindi rafforzare l'ipotesi di una guida d'onda. Riportiamo anche la registrazione molto interessante di un segnale con un eco anomalo di 330 ms che non siamo in grado di spiegare (figura 3).

Eco anomalo

Nella figura 3 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.

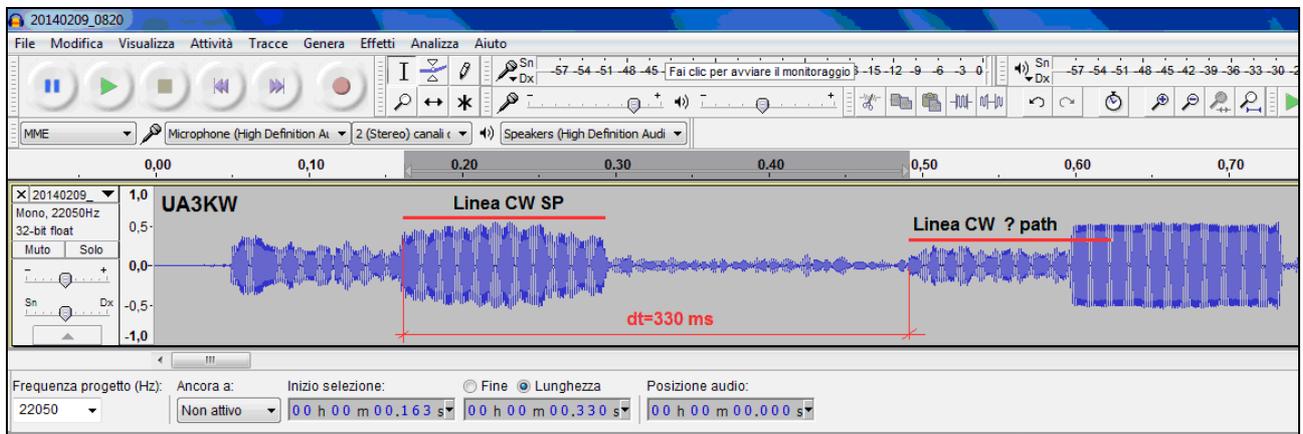


Fig.3 Ricezione di UA3KW da parte di IK2GRA del 09-02-2014 alle 08.20 utc sui 28 Mhz. In questo caso siamo in presenza di un segnale eco con un ritardo anomalo, non compatibile con propagazione LP. Abbiamo registrato un dt di 330 ms, e risulta parzialmente coperto da un'altra linea short path. Significherebbe che l'onda radio ha percorso quasi 100.000 Km. Non abbiamo idea di cosa possa aver generato questo eco.

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. 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.

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

Questa è una domanda importante 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 a una cosa del genere. Siccome la ionosfera non è una fibra ottica chiusa, ma presenta una serie di discontinuità, penso siano queste discontinuità che permettono di far entrare ed uscire il segnale.

Doppler Ionosferico

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 ± 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.

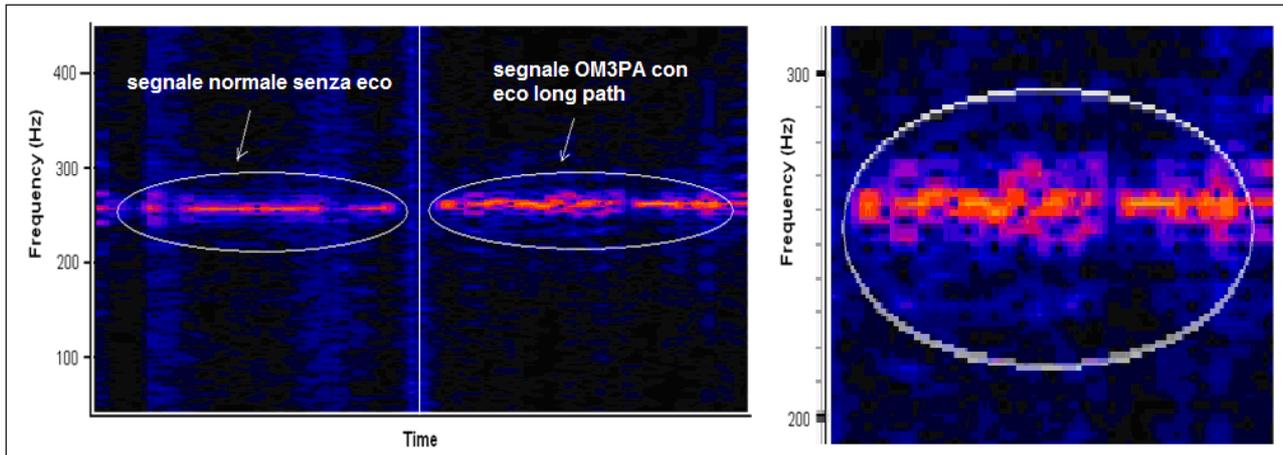


Fig.4 Analisi del segnale di OM3PA che evidenzia un minidoppler ionosferico con allargamento della traccia. L'immagine a destra mostra un ingrandimento della traccia CW long path dove si può dedurre un allargamento delle tracce di circa ± 10 Hz. Un doppler di 10 Hz a 28 Mhz implica una velocità di 0,1 km/s cioè 360 km/h, compatibile con la velocità dei venti ionosferici a quelle quote. (Analisi effettuata con WINRAD).

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.

Precisione delle misure

Nel caso delle misure effettuate sugli echi auto ascoltati da IK2GRA, abbiamo considerato un errore di 10 msec dovuto ai tempi di ritardo introdotti dall'elettronica del transceiver nell'emissione del segnale monitor. Nei casi di segnale auto ascoltato emesso dal Transceiver, abbiamo sottratto il ritardo introdotto dagli stadi intermedi del ricetrasmittitore effettuando quindi una correzione sulle misurazioni con Audacity. Il tempo di commutazione TX-RX è invece ininfluenza nella misurazione del ritardo degli echi.

Riteniamo pertanto che le varie misurazioni degli echi possano avere una tolleranza di compresa tra ± 1 ms.

In alcuni casi, a causa della sovrapposizione tra il segnale Short path e il segnale eco, la precisione della misura è risultata più critica.

Strumenti

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

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/>

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).

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 sonore, sia 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. Ci possono essere dei percorsi diversi rispetto al gran circolo, con la formazione di condotti Ionosferici aventi lunghezza diversa rispetto alla linea del gran circolo come evidenziato dalla ricezione di echi con ritardi anche notevolmente diversi da quanto ci si aspetterebbe rispetto ad un segnale che ha percorso la classica linea del Long path.