

PROPAGAZIONE VHF

Il contributo delle celle convettive e delle onde gravitazionali Atmosferiche nella propagazione Tropo

Introduzione

Qualche tempo fa scrissi un articolo per Radio Rivista, che parlava della possibilità di collegamenti tra il Veneto e il Sud della Germania sulla banda dei 2 metri. Questo tipo di collegamenti, che nonostante la sfavorevole morfologia del territorio sono abbastanza frequenti, sarebbero da imputare a mio parere ad una sorta di tropo scatter indotto da celle convettive. Come mi ero ripromesso, a distanza di circa 1 anno, ho cercato di approfondire e di raccogliere ulteriori dati per studiare meglio questo tipo di propagazione.

Troposfera

La troposfera è lo strato più basso della nostra atmosfera, delimitata dalla superficie della terra (sotto) e dalla tropopausa (sopra). Si estende dal livello del suolo fino a circa 10 - 12 km nella fascia temperata anche se l'altezza varia con la latitudine e con le stagioni. A causa, infatti, del maggiore riscaldamento dell'aria, nella fascia equatoriale l'altezza della troposfera può raggiungere i 18 chilometri di quota, questo poiché l'aria calda, tende ad espandersi e quindi ad occupare una superficie più grande, viceversa, ai poli l'altezza della Troposfera non supera mediamente gli 8-9 chilometri.

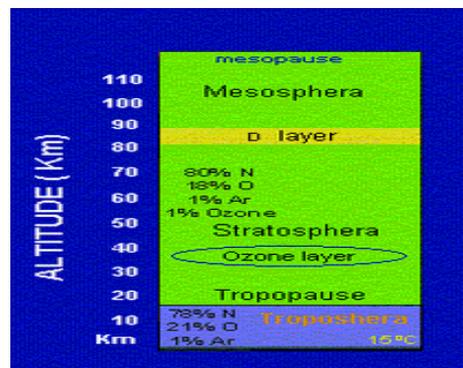
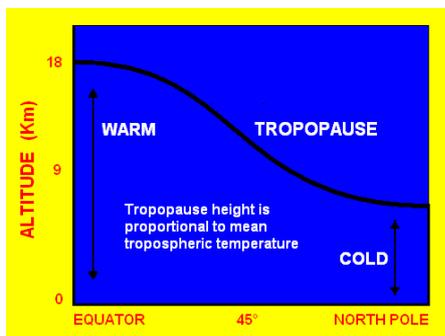


Fig.1 L'estensione in altezza della troposfera varia con la latitudine, minima nelle zone polari e massima nella fascia dell'equatore.

La troposfera più bassa, che si estende fino a circa 3 chilometri di quota, è di gran lunga lo strato più attivo e interessante, dove i cambiamenti nell'umidità, nella temperatura e nella pressione sono più grandi e sono proprio queste irregolarità le cause della rifrazione delle onde, di conseguenza è anche la fascia più importante per i collegamenti VHF via troposfera.

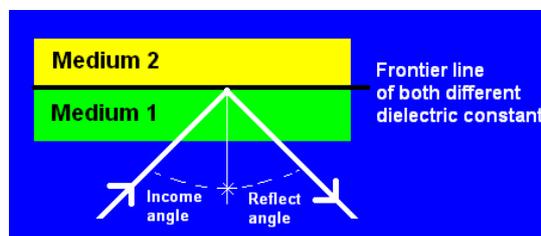
Qui sono anche presenti i condotti (che derivano dagli strati d'inversione) ed è la posizione più comune per le cellule convettive (formate dal riscaldamento solare della terra e dell'atmosfera immediatamente sopra di essa). In questa fascia avviene anche la maggior parte dei fenomeni atmosferici giornalieri. Sopra la Tropopausa, la temperatura è costante (-60 gradi C°), la densità dell'aria è molto bassa e quindi non sono possibili variazioni dell'indice di rifrazione di nessun genere, non esistono quindi quelle irregolarità che causano la rifrazione dell'onda elettromagnetica. In linea di principio, la temperatura della terra diminuisce di circa 6 gradi centigradi ogni 1000 metri d'altitudine, questo a causa della progressiva riduzione della densità dell'aria.

Rifrazione di un'onda elettromagnetica

La teoria di Maxwell dice, che nel mezzo più denso, la luce (la radiazione elettromagnetica, si comporta analogamente alla radiazione luminosa) rallenta la sua corsa e perciò subisce una deviazione, ossia rifrazione, perché ogni fascio d'onde trasversali (di cui è costituita) varia la lunghezza d'onda per mantenere costante la frequenza e soddisfare quindi la relazione fondamentale $f = \text{velocità della luce} / \text{lunghezza d'onda}$.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

f = Frequenza
 λ = lunghezza d'onda
 c = Velocità della luce
 C = 299.792 Km/sec.



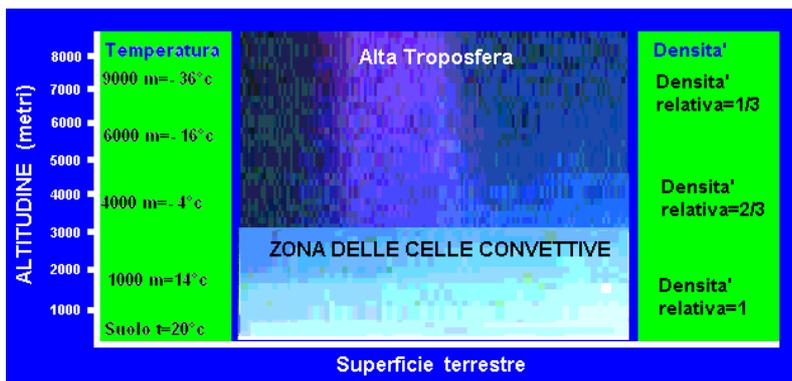
Il raggio di luce propagandosi nel mezzo più denso rallenta, e la parte superiore d'ogni onda frontale sorpassa la parte inferiore, con il risultato che il raggio s'incurva verso il basso. L'ampiezza di questo "incurvamento" è direttamente proporzionale all'indice di rifrazione, che è strettamente legato alla densità ottica del mezzo. L'indice di rifrazione è funzione della costante dielettrica.

La radiazione elettromagnetica, che si propaga attraverso la troposfera terrestre, quindi in un mezzo più denso del vuoto, subisce una deviazione (rifrazione) sulla superficie di separazione fra i due mezzi aventi costante dielettrica diversa, alla stessa maniera della luce che passando da un mezzo meno denso ad uno più denso viene deviata. Interpretando la teoria elettromagnetica di Maxwell, il termine più denso sta a significare, avente costante dielettrica maggiore.

Propagazione Troposferica

I cambiamenti del tempo meteorologico causano variazioni nell'umidità dell'aria e un irregolare riscaldamento della superficie terrestre, di conseguenza, l'aria nella troposfera è in costante movimento. Questo induce delle piccole turbolenze che sono più intense in prossimità della superficie e diminuiscono gradualmente con l'altezza. Queste turbolenze hanno una capacità rifrangente che consente la dispersione delle onde radio.

Ricordo che nel rapporto tra frequenza e lunghezza d'onda, la lunghezza d'onda diminuisce mentre la frequenza aumenta e viceversa. Le onde radio con frequenze inferiori a 30 megahertz hanno lunghezze d'onda tali da superare le turbolenze del tempo e sono, quindi influenzate pochissimo dalle turbolenze. D'altra parte, mentre la frequenza aumenta nella gamma di VHF e superiori, le lunghezze d'onda diminuiscono al punto che diventano conformi alla dispersione troposferica. La gamma di frequenza utilizzabile per la dispersione troposferica va da circa 100 Megahertz fino a 10 Gigahertz. Quando un'onda radio che passa attraverso la troposfera viene a contatto di una turbolenza, avviene un brusco cambiamento nella velocità. Ciò induce una piccola quantità d'energia ad essere sparsa ed essere restituita a terra a distanze oltre l'orizzonte ottico. Questo fenomeno si ripete quando l'onda radio viene a contatto con altre turbolenze durante il percorso. Il fronte del segnale ricevuto totale è un'accumulazione dell'energia ricevuta da ciascuna delle turbolenze. Questa dispersione della propagazione permette ai segnali di frequenza elevata, di essere trasmessi oltre la linea dell'orizzonte ottico. Per capire meglio come questi segnali si propagano sulle grandi distanze, si deve in primo luogo considerare le caratteristiche di propagazione dell'onda VHF in spazio libero nelle comunicazioni in linea retta. Il segnale subisce pochissima attenuazione all'interno dell'orizzonte ottico, quando raggiunge l'orizzonte, l'onda rifratta segue la curvatura della terra. Oltre l'orizzonte, il tasso d'attenuazione aumenta molto velocemente e il segnale diventa presto molto debole ed inutilizzabile. La turbolenza che causa la dispersione può essere idealmente raffigurata come una stazione ripetitrice situata sopra l'orizzonte che riceve l'energia e la re-irradia oltre l'orizzonte ottico. La grandezza del segnale ricevuto dipende dal numero di turbolenze che causano lo spargimento e dal guadagno dell'antenna ricevente. La zona dove avviene lo spargimento del segnale è denominata volume comune. L'angolo in cui l'antenna di ricezione deve essere puntata per la ricezione dell'energia sparsa è denominato angolo d'irradiazione (angolo dell'antenna trasmittente di radiazione), e determina l'altezza del volume comune. Un basso angolo d'irradiazione produce un volume comune basso che a sua volta permette ad un'antenna ricevente puntata con un basso angolo la migliore ricezione possibile. All'aumentare dell'angolo d'irradiazione aumenta anche l'altezza del volume comune con la conseguenza che la quantità d'energia ricevuta diminuisce. Questo perché le turbolenze diminuiscono all'aumentare dell'altezza rendendo più critica la diffusione, inoltre aumenta anche la distanza tra i corrispondenti abbassando il livello del segnale ricevuto. La regione troposferica che contribuisce più fortemente al tropo scatter si trova vicino al punto mediano fra le antenne trasmettenti e riceventi ed appena sopra l'orizzonte radiofonico delle antenne. Poiché la diffusione troposferica dipende dalle turbolenze nell'atmosfera, i cambiamenti atmosferici hanno un deciso effetto sulla qualità del segnale ricevuto. Sia le variazioni stagionali che quotidiane nell'intensità dei segnali, sono una conseguenza di questi cambiamenti. Le variazioni sono denominate fading di lunga durata. Oltre che all'evanescenza di lunga durata, il segnale derivante da diffusione troposferica è caratterizzato spesso da fading rapido a causa della propagazione a più angoli. Poiché lo stato turbolento cambia costantemente, variano anche le lunghezze del percorso e il livello del segnale, con conseguente rapido fading. Poiché pochissima dell'energia sparsa è re-irradiata verso la ricevente, l'efficienza è molto bassa ed il livello del segnale finale ricevuto è basso. La potenza iniziale di trasmissione deve essere alta per compensare il basso rendimento della diffusione che avviene nel volume comune. E' necessario pertanto utilizzare molta potenza e antenne ad alto guadagno, che concentrano la potenza trasmessa in un fascio, in modo da aumentare l'intensità d'energia d'ogni turbolenza presente nel volume comune, la stazione ricevente deve anch'essa molto sensibile per rilevare i segnali a basso livello.



Propagazione per inversione di temperatura

La causa forse più comune di rifrazione atmosferica è dovuta alla cosiddetta inversione termica.

Normalmente la temperatura nella bassa atmosfera (100 m. – 3000 m.) diminuisce regolarmente e in maniera costante con l'aumentare dell'altezza, se per motivi atmosferici in una certa zona, questa costante diminuzione non è rispettata, cioè la temperatura ricomincia ad aumentare, in conseguenza di ciò, si ha una brusca variazione del contenuto di vapore d'acqua; anche l'indice di rifrazione varia sensibilmente e quindi i treni d'onde, subendo una differente curvatura, sono di norma costretti a ricadere a distanze maggiori di quelle normali. Le portate per riflessione ottenibili dipendono dall'altezza dell'inversione, che in casi eccezionali può essere anche a 8 km. d'altezza, e anche dall'angolo d'irradiazione dei segnali. Con un'altezza d'irradiazione di 8 km. si ottiene dunque una portata di circa 800 km, però in pratica le altezze sono minori, quindi è raro il caso di giungere oltre i 300 Km. I collegamenti su percorsi prevalentemente marittimi sono favoriti dal fatto che il mare si presenta come una superficie uniforme, mentre in terra, a parte gli ostacoli naturali, le stesse varie condizioni del terreno influenzano gli strati d'aria superiori.

Limite della troposfera

La distanza dei collegamenti dx, in VHF viene influenzata dall'altezza della troposfera, o meglio dall'altezza di quella parte della troposfera dove la densità dell'aria e di conseguenza di quelle variazioni di cui ho già precedentemente parlato, è ancora sufficiente per consentire una rifrazione dell'onda elettromagnetica. Fino a 300 metri dal suolo, la densità dell'aria è uniforme, per ridursi a 2/3 ad un'altezza di 4000 metri e di 1/3 a 9000 metri dal suolo. La troposfera contiene il 90% dell'atmosfera terrestre e il 99% del vapore acqueo; è formata per il 21% d'ossigeno molecolare (O₂), per il 78% d'azoto molecolare (N₂) e sono presenti in quantità del tutto trascurabile (1-2%) anche altri gas. La zona dove è più probabile trovare le condizioni per un'efficace rifrazione, per quanto detto sopra, si trova negli strati più bassi della troposfera. Fino a 300 metri d'altezza, troviamo particelle di polvere, foschia, umidità e variazioni di temperatura, man mano che si sale l'atmosfera diventa via, via più pura e meno densa, riducendo progressivamente le capacità di rifrazione.

Collegamenti Via Tropo Celle convettive

Date	utc	call	locatori
05-05-01	1640	DF8ON	JN48NF
06-05-01	1124	DG3FK	JN59OP
06-05-01	1135	DL0RT	JN48RE
06-05-01	1200	DK0PX	JN48JC
06-05-01	1353	DK3SR	JN49RB
05-08-01	1025	DF5G0	JN47OR
05-08-01	1330	DG2NBN	JN59OP
02-09-01	855	DK0GG	JN68GI
02-03-02	2237	DG9GN	JN59OP
03-03-02	740	DL0KB	JN47NQ
03-03-02	1030	DL0HEU	JN47NX
15-06-02	1525	DL0DK	JN59OP
07-07-03	1115	DL0UL	JN48UO
07-07-03	1120	DL0ML	JN48WU
04-08-03	750	DH9NF	JO50RE
02-03-03	829	DL9NEF	JN59OP
02-03-03	1100	DL7AOS	JN48NF
03-03-03	1110	OL3Y	JN63JJ

Meteo:
Alta pressione

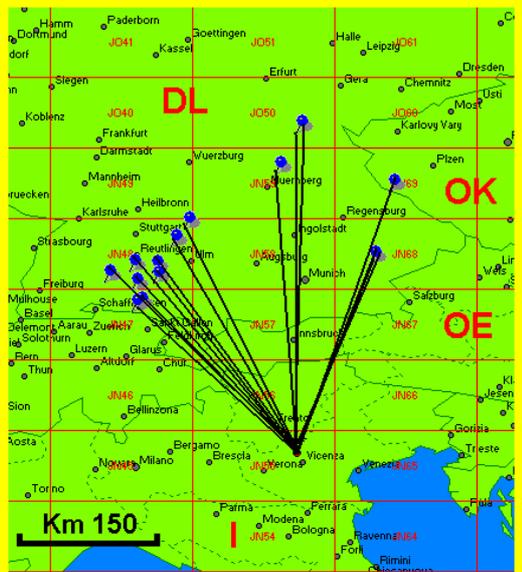
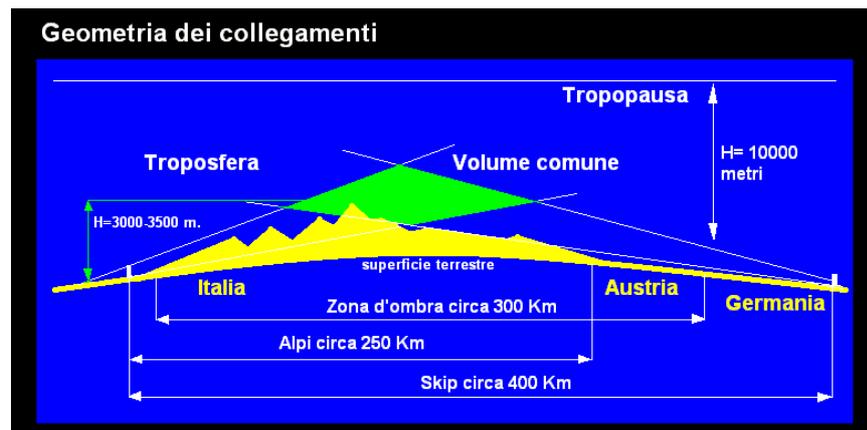


Fig. la figura mostra alcuni collegamenti che ho realizzato con il sud della Germania sostenuti da propagazione per mezzo di celle convettive. Interessante osservare come i collegamenti siano avvenuti alla presenza d'alta pressione atmosferica.

L'Irraggiamento del sole e la Morfologia del territorio determinano la Formazione delle celle Convettive

L'irradiazione solare sulla superficie terrestre ha un ruolo molto importante sulla propagazione dei segnali VHF all'interno della troposfera, poiché determina il riscaldamento degli strati d'aria. Riporto un grafico che illustra la quantità d'irradiazione solare e la quantità d'energia ceduta dalla crosta terrestre. La morfologia del territorio influenza in maniera determinante le condizioni di propagazione nella troposfera, noi sappiamo che i collegamenti su percorsi marini, sono favoriti oltre che dalla mancanza d'ostacoli naturali anche dalle migliori condizioni troposferiche indotte dalle masse d'acqua che possono formare vaste aree d'inversione di temperatura che si possono trasformare in veri e propri condotti troposferici, all'interno dei quali i treni d'onde possono viaggiare con relativamente bassa attenuazione. Dalla conformazione della terra dipende quindi una serie di fattori quali: la diversa distribuzione dei raggi solari sulle varie zone della superficie terrestre, la diversa capacità termica delle varie zone della terra, la differente disponibilità di vapore acqueo, la deviazione delle masse d'aria in movimento alle quote più basse. Ciascuna conseguenza ha una diretta ricaduta sulla dinamica e sulle condizioni dell'atmosfera.



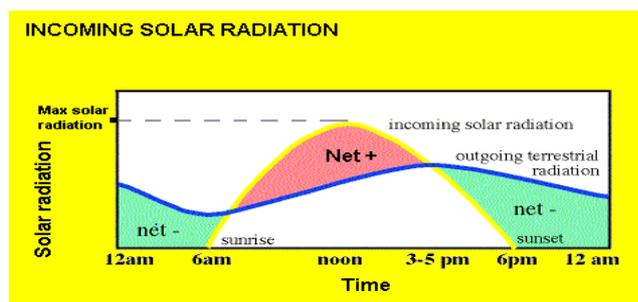
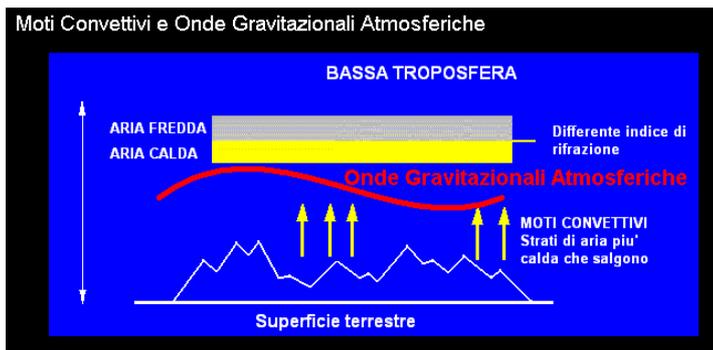
Venendo al percorso troposferico in esame, siamo in presenza di una tratta prevalentemente montuosa, con vette molto alte e vallate profonde, difficile quindi da analizzare poiché la morfologia del terreno è complessa. Tuttavia, la presenza di profonde vallate sembra favorire per effetto del diverso riscaldamento del suolo, la formazione di moti convettivi che dovrebbero essere il sostegno della propagazione verso la Germania. Il possibile allineamento di queste celle convettive dovrebbe formare un insieme di lenti capaci di portare i segnali oltre le Alpi. Quest'allineamento non sempre è possibile e non sempre è in grado di sostenere la propagazione, a conferma della forte instabilità dei segnali soggetti a rapida e improvvisa evanescenza. Le stazioni arrivano anche molto forti per poi scomparire e ricomparire nuovamente dopo alcuni minuti. Ho avuto modo di discutere con il Dr. Volker Grassmann, DF5AI, che è stato in passato ricercatore al Max Planck Institute (Facoltà di Aeronautica) circa le varie condizioni di propagazione troposferica. DF5AI mi faceva notare come la propagazione Via Tropo non può essere generalizzata ma bensì studiata in relazione alla morfologia locale del territorio dove si svolge il collegamento. Ogni tratta ha le sue caratteristiche indotte dalla conformazione fisica del territorio, cioè dalla presenza di masse d'acqua, valli e catene montuose che influenzano significativamente i movimenti d'aria nella troposfera.

Azione delle Onde Gravitazionali Atmosferiche

Un contributo importante che sostiene la propagazione VHF sopra le Alpi, viene a mio avviso dalle onde Gravitazionali Atmosferiche.

La presenza della catena delle Alpi genera una serie di onde gravitazionali che si propagano dalla superficie fino ai limiti della troposfera e anche oltre.

L'azione delle O.G. sulle bolle d'aria sostenute dai moti convettivi sarebbero la causa delle irregolarità che causano il variare dell'indice di rifrazione e quindi in grado di supportare la propagazione delle onde elettromagnetiche.



Altezza della troposfera

Una ragione delle migliori condizioni estive per il dx sulle Vhf potrebbe essere la maggior rifrazione per il radio orizzonte più grande, dovuto alla più elevata umidità dell'aria più calda e al maggiore gradiente di temperatura. L'altezza della troposfera varia a seconda delle stagioni e della latitudine. Questo influenza le possibilità dei nostri collegamenti a lunga distanza.

La tropopausa è il limite superiore della troposfera, che contiene le celle di diffusione in grado di diffondere (Scatter) i nostri radio segnali. Il limite della tropopausa è quindi il punto più alto dove possiamo trovare queste celle.

Uno dei motivi delle migliori condizioni di propagazione dei mesi estivi, potrebbe essere dovuto alla maggiore altezza della tropopausa in estate. A proposito dell'aumento del radio orizzonte, è stato calcolato che per effetto del riscaldamento dell'aria e del contenuto di vapore acqueo, il raggio reale della terra di 6375 Km, possa assumere un valore virtuale due volte e mezzo maggiore, come se fosse 16000 Km. Questo significa che l'attenuazione su un percorso può ridursi di ben 60 dB (incremento di 1000 volte della tensione in arrivo), rendendo un collegamento a oltre 300 Km di distanza, da impossibile ad abbastanza buono.

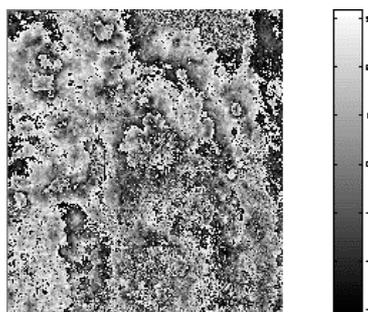
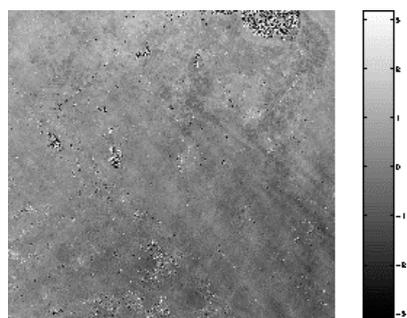
Volume comune

È quella zona nella troposfera dove può avvenire la rifrazione del segnale, e' un'area ampia e indefinita, e che dipende tra le altre cose dagli angoli di irradiazione delle antenne, e' legata alle continue variazioni e turbolenze dell'atmosfera comunque per quanto già detto si può trovare ad altezze in genere fino a 3 - 4 Km. In quest'area i fasci d'onda dei corrispondenti si incrociano per così dire in un volume "comune" della troposfera, il posizionamento in altezza di questa zona, influenza la distanza del collegamento. Quest'area ha come limite superiore la tropopausa, sopra di essa, non essendoci variazioni di alcun genere non può esserci rifrazione.

Analisi Interferometrica

La figura a sinistra mostra l'analisi interferometrica di una zona troposferica tranquilla mentre la figura a destra mostra la stessa analisi su una zona troposferica turbolenta con presenza di celle convettive.

È possibile vedere una situazione non omogenea ed irregolare che causa la rifrazione del segnale.



Flavio Egano - ik3xtv
flavio.egano@schneiderelectric.it
www.gsl.net/ik3xtv

Bibliografia:

www.df5ai.net by Dr. Volker Grassmann, df5ai
Max Planck Institute for Aeronomie
National weather Service, San Diego, California
Propagation Studies committee of the Radio Society of Great Britain
Articoli vari di Marino Miceli, i4sn
"Everyday vhf,uhf, and shf propagation" di Palle Preben Hansen, oz1rh
ARRL Handbook