

51° Meeting Alpe Adria

Domenica 20 Ottobre 2024

**La propagazione delle onde
elettromagnetiche in 144 MHz.
Simulazione di copertura radio
e tipologie di antenne.**

ing Alessio PhD Minin

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Troposfera e tempo meteorologico

La troposfera è lo strato più basso dell'atmosfera terrestre, che alle nostre latitudini geografiche si estende circa fino a 11 km d'altezza. Tutti i processi che determinano il nostro tempo meteorologico si svolgono nella troposfera, e questa è limitata superiormente dalla tropopausa. Nella zona di contatto tra le due masse d'aria la temperatura e l'umidità variano piuttosto repentinamente. Questo passaggio è chiamato inversione di temperatura, che offrono interessantissime possibilità di collegamenti dx sulle VHF. Le condizioni per i migliori collegamenti avvengono con situazione di tempo bello, caldo, anticiclonico. Vediamo di seguito i vari modi di propagazione nella troposfera.

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Portata ottica

Il collegamento può avvenire in qualsiasi momento poiché le antenne “si vedono”. La distanza massima copribile è limitata dalla curvatura terrestre e dipende dall'altezza delle antenne dei due corrispondenti. La portata ottica può essere calcolata con la seguente formula empirica, che tiene conto anche dell'indice di rifrazione dell'aria (d è espresso in Km e h è espresso in metri):
$$d=4,1*\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}$$

Il limite di questi collegamenti è dato dall'orizzonte ottico, anche se la presenza della troposfera migliora la situazione teorica, poiché l'indice di rifrazione dell'aria è maggiore di 1 (1,00033), e questo causa sempre una certa rifrazione che può aumentare la portata ottica anche di un 20%.

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Propagazione per rifrazione e diffrazione troposferica

Le onde possono seguire leggermente la curvatura terrestre estendendo la portata. Le onde subiscono un incurvamento verso il basso, (rifrazione) causato dalla presenza di masse d'aria stratificate in regioni aventi costante dielettrica diversa.

Le distanze copribili possono essere indicativamente attorno ai 100 – 150 km. La diffrazione è una propagazione non rettilinea dell'onda elettromagnetica incidente sul contorno degli oggetti. Se ci sono delle montagne in direzione della stazione corrispondente e nel caso di un alto angolo di radiazione che colpisce la montagna ci può essere una diffrazione del segnale che, nonostante molti dB di attenuazione, può consentire buoni collegamenti dx e che permette di svolgere un discreto traffico via tropo in vhf, anche a quelle stazioni che operano per esempio nelle valli alpine. Esistono poi fenomeni di super rifrazione, come le inversioni di temperatura.

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Propagazione per inversione di temperatura

La causa forse più comune di rifrazione atmosferica è dovuta all' *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, avviene il fenomeno dell'inversione di temperatura che dà luogo ad un incurvamento delle onde superiore al normale. Le portate per riflessione ottenibili dipendono dall'altezza e dall'inversione, che in casi eccezionali può essere anche a 8 km di altezza, e anche dall'angolo di radiazione dei segnali. Con un'altezza di radiazione di 8 km si ottiene dunque una portata di circa 800 km. In pratica le altezze sono minori, per cui è raro il caso di superare i 300 Km. Il dx per inversione è spesso riconoscibile da una lenta evanescenza con poca profondità. 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 condizioni del terreno influenzano gli strati d'aria superiori.

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Troposcatter

Questo tipo di propagazione troposferica è provocato da turbolenze situate al limite superiore della troposfera che generano in continuità delle inversioni in miniatura. La diffusione si deve alle rifrazioni multiple di agglomerati d'aria di diversa densità, che fanno da rifrangente per i segnali, per dare meglio l'idea, la diffusione (scatter = irradiazione diffusa) è composta da simultanee rifrazioni di moltissimi piccoli oggetti. I collegamenti tropo-scatter sono possibili in qualsiasi momento, anche se richiedono apparecchiature ed antenne efficaci, poiché l'attenuazione provocata da questi ripetuti "rimbalzi" e sparpagliamenti, è maggiore rispetto alla normale propagazione troposferica. La distanza dei collegamenti dipende molto dalle attrezzature, poiché il segnale in arrivo per diffusione è di norma debole. Con una stazione discreta sono possibili collegamenti di 500-800 Km e anche più i segnali per diffusione troposferica, sono caratterizzati da una forte evanescenza, causata dal continuo mutare delle condizioni delle microcelle di diffusione e dai percorsi casuali che possono fare i segnali riflessi giungendo fuori fase al ricevitore (distorsione).

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Propagazione per Condotti (Duct) Troposferici

Nel caso di inversioni di temperatura con superficie molto estesa, che si formano soprattutto sopra i mari, possono avvenire rifrazioni multiple dei segnali ad opera dell'inversione, e riflessioni multiple ad opera della superficie terrestre. Quindi si ha una propagazione per salto doppio o multiplo. L'inversione di temperatura innesca una caduta del contenuto di umidità in quota (100 – 1000 m.) che determina la formazione del condotto. La variazione di indice di rifrazione è dovuta al diverso tenore di umidità nei vari strati dell'aria. Le onde radio sono bloccate come se fossero dentro una guida d'onda fra uno strato di inversione e la terra o fra due strati di inversione, seguendo perfettamente la curvatura terrestre, riuscendo a coprire distanze considerevoli. In questo caso si ha una debole attenuazione del segnale, che spesso è ascoltabile solo alle estremità di questa “guida d'onda” e le condizioni sono buone su aree geografiche relativamente piccole. Il fenomeno di propagazione per “Ducting” troposferico, si verifica spesso, principalmente nei mesi caldi, tra il Veneto e la Puglia, i condotti si formano sopra il mare Adriatico e consentono collegamenti su percorsi di 700 – 800 Km., in casi eccezionali il condotto può estendersi fino alla Grecia.

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Come già detto, in alcune zone della terra , soprattutto sopra i mari, le inversioni termiche sono presenti quasi con continuità, e ad altezze molto modeste, infatti la zona più comune per la formazione dei condotti troposferici si estende da 100 m fino a 1000 m di altitudine, difficilmente si verificano a quote superiori, presumibilmente poiché salendo in quota la densità dell'aria diminuisce progressivamente, riducendo sempre di più la probabilità che si formi il condotto troposferico. Le condizioni meteo necessarie perché si formino questi condotti sono: alta pressione barometrica (su un'area piuttosto vasta), buona insolazione e assenza di vento. Per mezzo del ducting si possono superare lunghissime distanze. 1000 Km non sono una rarità, i 2000 Km sono stati superati ripetutamente e sono stati effettuati collegamenti record con uno skip di 4000 Km. Una caratteristica della propagazione per ducting troposferico è che i due corrispondenti devono trovarsi dentro o nelle vicinanze del condotto. Nel caso in cui le antenne si trovino in posizione elevata, e il condotto si formi solamente a pochi metri dal suolo, il segnale non riesce ad entrare nel condotto stesso. I condotti si possono formare solamente su superfici piatte o a bassa curvatura .

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

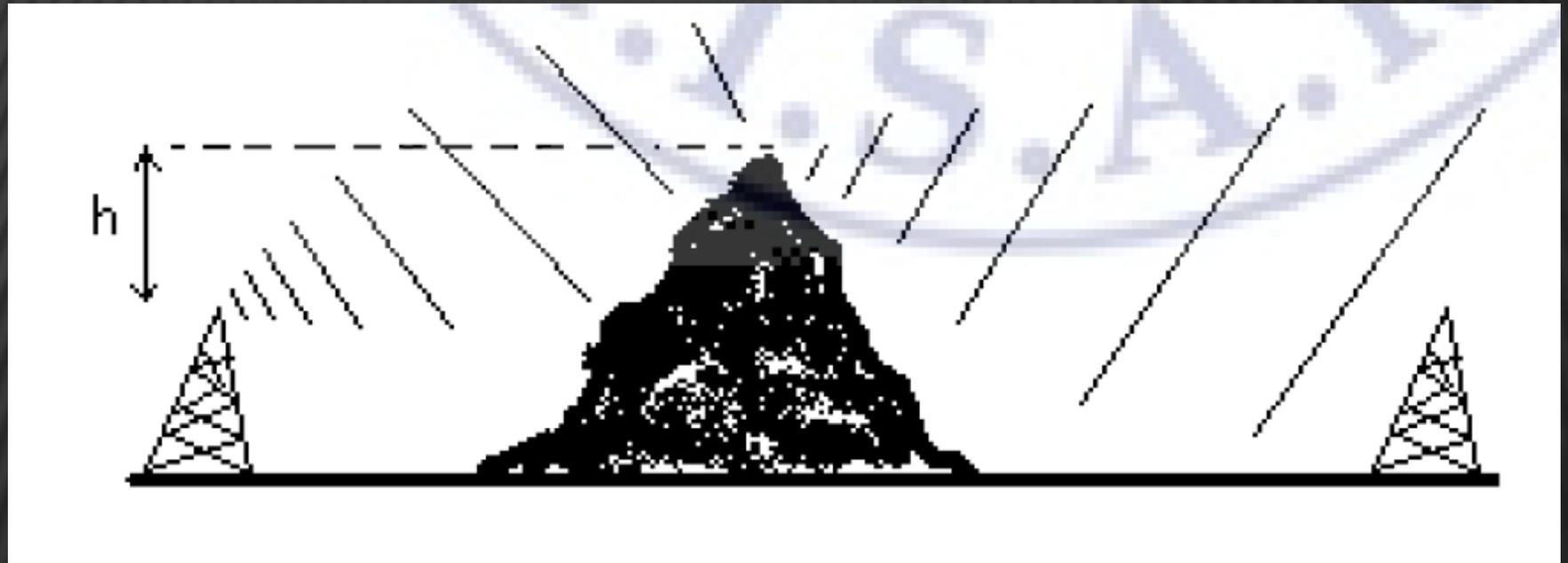
Propagazione per mezzo di celle convettive

Il modo di propagazione è simile all'ordinaria propagazione troposferica, ma che trae vantaggi sostanziali da piccole variazioni locali nell'atmosfera, come la formazione di celle convettive, che producono una serie di rifrazioni lungo il percorso. Per esempio le valli nelle Alpi. Quindi l'allineamento di una serie di celle convettive lungo la tratta, renderebbe possibile la diffusione del segnale radio vhf permettendogli di superare la alpi e, in altre parole, potrebbero essere viste come un treno di lenti con capacità rifrangenti. L'efficacia di questa rifrazione è abbastanza elevata, anche se non paragonabile in termini di intensità dei segnali a quella dovuta alla "Ducting propagation", poiché le perdite lungo il percorso possono essere notevoli. Inoltre, rispetto alla rifrazione per "Ducting" troposferici è molto più instabile e l'evanescenza è molto più marcata. Tuttavia i collegamenti sono possibili anche con antenne di modeste dimensioni. Le celle convettive normalmente iniziano vicino al suolo e salgono di circa 1 km ogni 3 ore, pertanto in un pomeriggio estivo, alle ore 15 possono trovarsi ad un'altezza di 3 chilometri. Questa è l'altezza necessaria per superare le montagne e infatti i collegamenti sono molto più facili nelle ore del pomeriggio. Questo tipo di propagazione è stato confermato da recenti studi del comitato di ricerca per la propagazione dell'RSGB.

COMUNICAZIONI PER DIFFRAZIONE

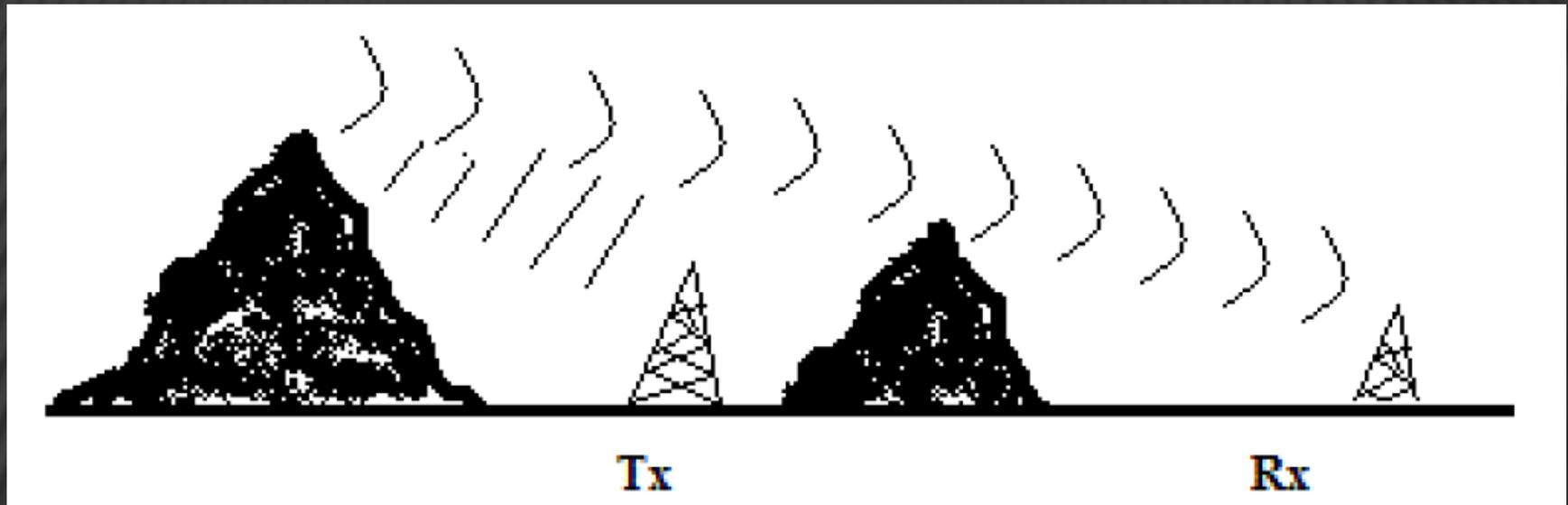
Come accennato all'inizio, oltre alle comunicazioni per onda diretta, ci sono quelle per diffrazione. Nella figura che segue, viene mostrato un esempio di onda diffratta. La diffrazione varierà in funzione dell'onda incidente e, sarà in relazione con la differenza d'altezza tra l'ostacolo, l'antenna trasmittente e l'antenna ricevente.

Specialmente in caso di ostacoli con le sommità non regolari (monti, colline ecc.), risulta complesso determinare come avverrà la diffrazione. In molti casi dove non c'è visibilità tra le due stazioni, sfruttando questo fenomeno sarà possibile effettuare collegamenti anche in queste condizioni.

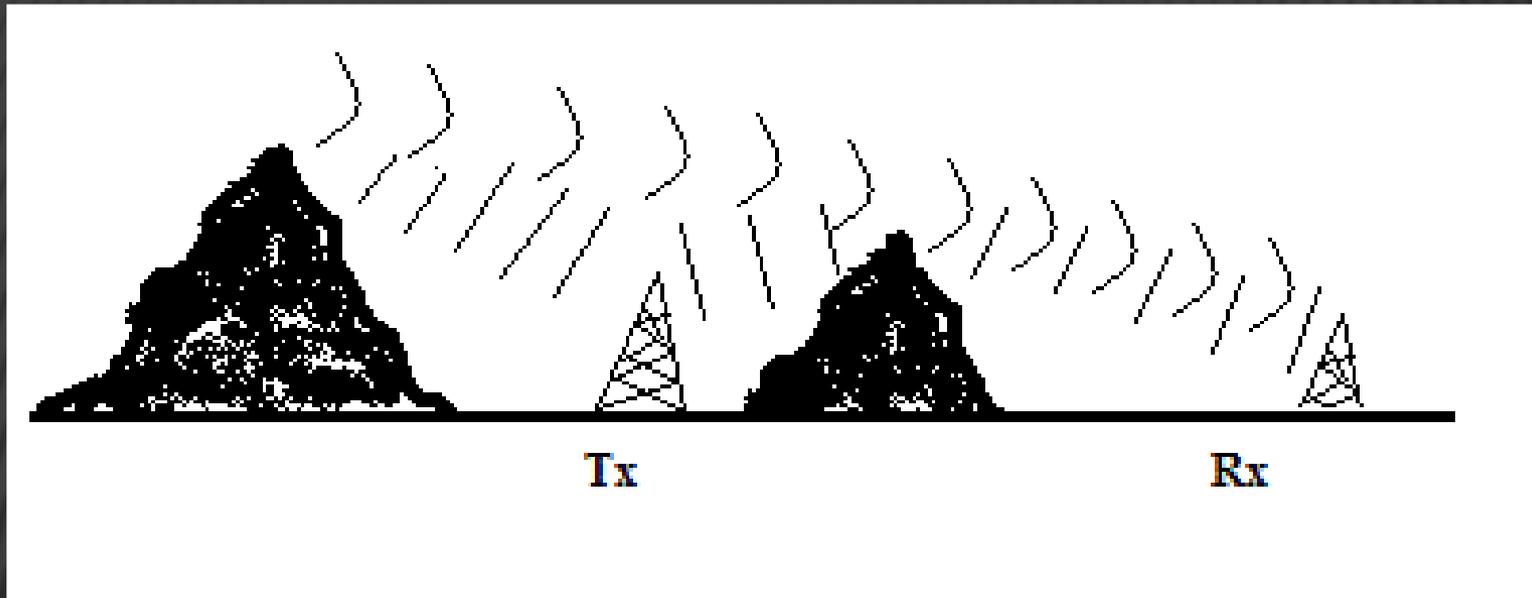


COMUNICAZIONI PER RIFLESSIONE TERRESTRE

Anche in questo caso, come accennato all'inizio, oltre alle comunicazioni per onda diretta, ci sono quelle per riflessione. Nella figura successiva, viene mostrato un esempio di onda riflessa. La riflessione sarà funzione dell'angolo incidente, del materiale di cui è composto l'ostacolo (riflettore). Anche in questo caso valgono le caratteristiche ottiche del fenomeno, riferite sempre ad un fascio d'onde.



La figura di sopra indica bene il concetto di riflessione, ma nella realtà subentrano altri fenomeni, il principale dei quali è anche la diffrazione, così, la vera immagine sarà la seguente.



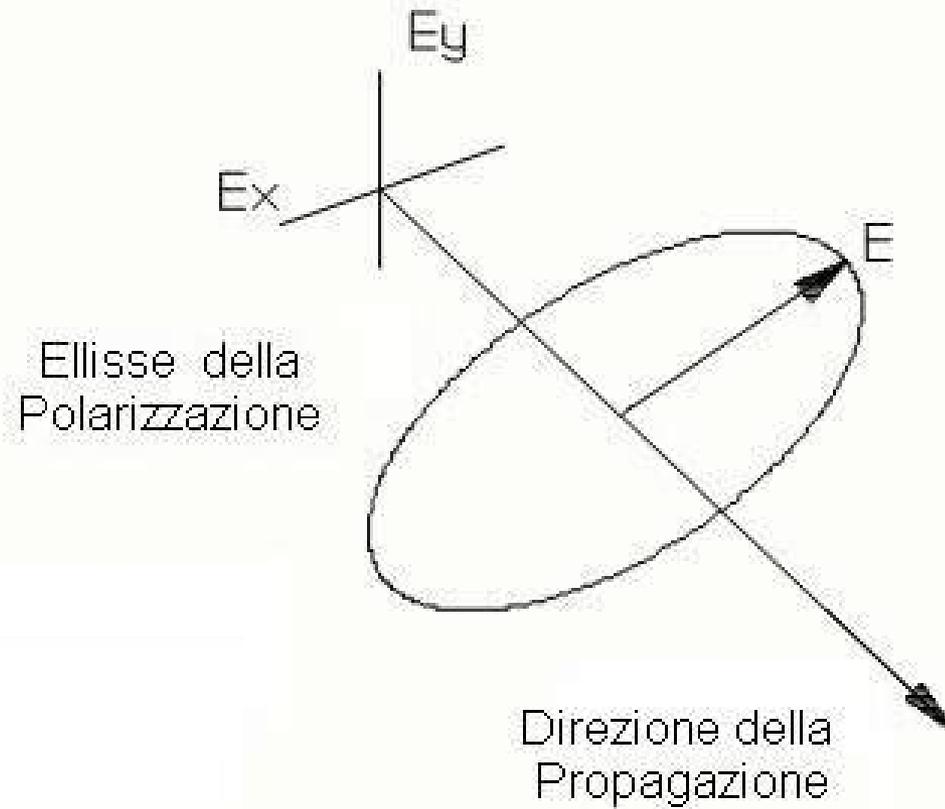
Da questa figura è possibile comprendere la complessità dei fenomeni in esame, alla stazione ricevente arriveranno segnali riflessi e diffratti, che saranno in fase ed in controfase e si sommeranno e si sottrarranno.

POLARIZZAZIONE

Approfondiamo il discorso accennato prima sulla polarizzazione e sull'attenuazione che deriva dallo sfasamento della polarizzazione tra due antenne.

Nella figura sotto riportata è raffigurata la polarizzazione come parametro del Campo Elettrico, ortogonale alla direzione della propagazione.

POLARIZZAZIONE



POLARIZZAZIONE

Anche per questo fenomeno esiste una formula per il calcolo dell'attenuazione in funzione dello sfasamento della polarizzazione tra le due antenne.

Attenuazione per sfasamento della polarizzazione in dB = $20 \times \log (\cos q)$
dove q è l'angolo di sfasamento tra due antenne.

Nella tavola che segue è possibile verificare quale siano i valori dell'attenuazione per una serie di angoli notevoli di sfasamento tra due antenne.

Si noterà come per l'angolo di 90° (cioè tra un'antenna polarizzata orizzontalmente ed una verticale) l'attenuazione viene riportata correttamente come (infinita), infatti: attenuazione per sfasamento in dB = $20 \times \log (\cos q)$
 $= 20 \times \log (\cos 90^\circ) = 20 \times \log (0) = (\text{infinita})$.

Questo sul piano teorico, nella pratica si considerano una ventina di dB, che, lo ricordiamo, in termini di potenza significano un rapporto di 1 a 100.

ATTENUAZIONE TRA DUE ONDE POLARIZZATE LINEARMENTE, IN FUNZIONE DELL'ANGOLO DI SFASAMENTO

Angolo di Sfasamento	Perdita in dB
0.0 (allineato)	0.0
15.0	0.3
30.0	1.25
45.0	3.01
60.0	6.02
75.0	11.74
90.0 (ortogonale)	∞

PROPAGAZIONE DELLE ONDE NELLA BANDA DEI 2 METRI

Comunicazioni per onda diretta

Come sappiamo, a differenza di quanto avviene nelle HF (onde corte), a partire dai 50 MHz, le comunicazioni avvengono essenzialmente per onda diretta. Si è voluto specificare essenzialmente, perché in effetti anche su queste gamme, vi sono collegamenti che possono avvenire per riflessione (terrestre, troposferica per sporadico), per diffrazione e per rifrazione.

PORTATA FRA DUE STAZIONI RADIO NELLA BANDA DEI 2 METRI

Vediamo ora come è possibile determinare la portata fra due stazioni radio, oppure la copertura di un ripetitore.

La formula (empirica) che consente di calcolare la distanza utile è:

$$D = 3,57 \times \sqrt{H} + \sqrt{H1}$$

dove D è la distanza utile in Km; H e H1 sono le altezze (quota sul livello del mare) in metri delle antenne delle stazioni o del ripetitore (nel caso del calcolo per il raggio di copertura di un ripetitore, ci sarà soltanto H).

Da quanto sopra deriva che se abbiamo l'antenna di un ripetitore situata a 1000 m. sul livello del mare avremo che:

$$D = 3,57 \times 31,623 = 112,89 \text{ Km (che sarà il raggio di copertura del ponte)}$$

E' evidente che la copertura teorica, non tiene conto della conformazione orografica della zona e di eventuali ostacoli che possono frapporsi tra le due stazioni, impedendo il contatto. Questo risultato è applicabile per apparati con potenza tra i 3 / 4 Watt e 10 Watt in antenna. In pratica potremo definire la nostra formula approssimata per difetto.

Portata fra due stazioni radio nella banda dei 2 metri

Se vogliamo conoscere più approfonditamente i parametri per i calcoli esatti,

dobbiamo introdurre l'equazione fondamentale della trasmissione in decibel la cui forma canonica è:

$$P_{ric} \text{ (dBm)} = P_{tr} \text{ (dBm)} + G_{tr} \text{ (dB)} + G_{rc} \text{ (dB)} - A_{sl} \text{ (dB)}$$

dove:

$P_{ric} \text{ (dBm)}$ = potenza ricevuta in dBm

$P_{tr} \text{ (dBm)}$ = potenza di trasmissione in dBm

$G_{tr} \text{ (dB)}$ = guadagno dell'antenna trasmittente in dB

$G_{rc} \text{ (dB)}$ = guadagno dell'antenna ricevente in dB

$A_{sl} \text{ (dB)}$ = attenuazione nello spazio libero della tratta in dB

E' necessario convertire la potenza irradiata in dBm, sapendo che per convenzione 1 Watt equivale a 30 dBm.

Ogni 6 dB, si quadruplica la potenza e si raddoppia la tensione, è quindi possibile determinare ogni possibile valore. I Volt sono riferiti ad un carico di 50 Ohm.

Portata fra due stazioni radio nella banda dei 2 metri

Una volta capita ed effettuata la conversione, ci accorgeremo che l'unico elemento che ci manca è l'attenuazione nello spazio libero. La formula per calcolarlo è:

$$Asl (dB) = 32.4 + 20 \text{ Log } D(Km.) + 20 \text{ Log } F(Mhz.)$$

Facciamo due esempi uno a 145 MHz e un altro a 430 MHz.

Per cui:

$$d = 30 \text{ Km}$$

$$f = 145 \text{ Mhz}$$

$$f1 = 430 \text{ Mhz}$$

Per 145 MHz

$$Asl (dB) = 32,4 + 20 \times (1,4771) + 20 \times (2,16137) = 32,4 + 29,542 + 43,2274 = -105,1694 \text{ dB}$$

Per 430 MHz

$$Asl (dB) = 32,4 + 20 \times (1,4771) + 20 \times (2,6335) = 32,4 + 29,542 + 52,67 = -114,612 \text{ dB}$$

Portata fra due stazioni radio nella banda dei 2 metri

L'attenuazione ha segno negativo in quanto si tratta di un elemento che deteriora (abbassa) il segnale, mentre avranno valori positivi la potenza in Tx ed i guadagni delle antenne.

E' interessante notare come i parametri relativi ai valori della frequenza, variano di poco (43,2274 per i 145 e 52,67 per i 430).

Attualmente per convenzione è stato stabilito che sopra i 30 MHz, i ricevitori moderni siano calibrati per l'S9 uguale a 5uV su 50 ohm, mentre in quelli più datati l'S9 era calibrato per 10uV su 50 ohm.

Tuttavia, si comprenderà che se lo S meter è realmente tarato correttamente, si potrà definire il ricevitore come un voltmetro selettivo a radio frequenza.

Dalla tabella riportata successivamente, deriviamo quale intensità di segnale avremo al bocchettone d'antenna del ricevitore.

PUNTI DELLO S METER PER FREQUENZE SUPERIORI A 30 MHZ CON LA CONVERSIONE IN DB, VOLT E WATT RELATIVI

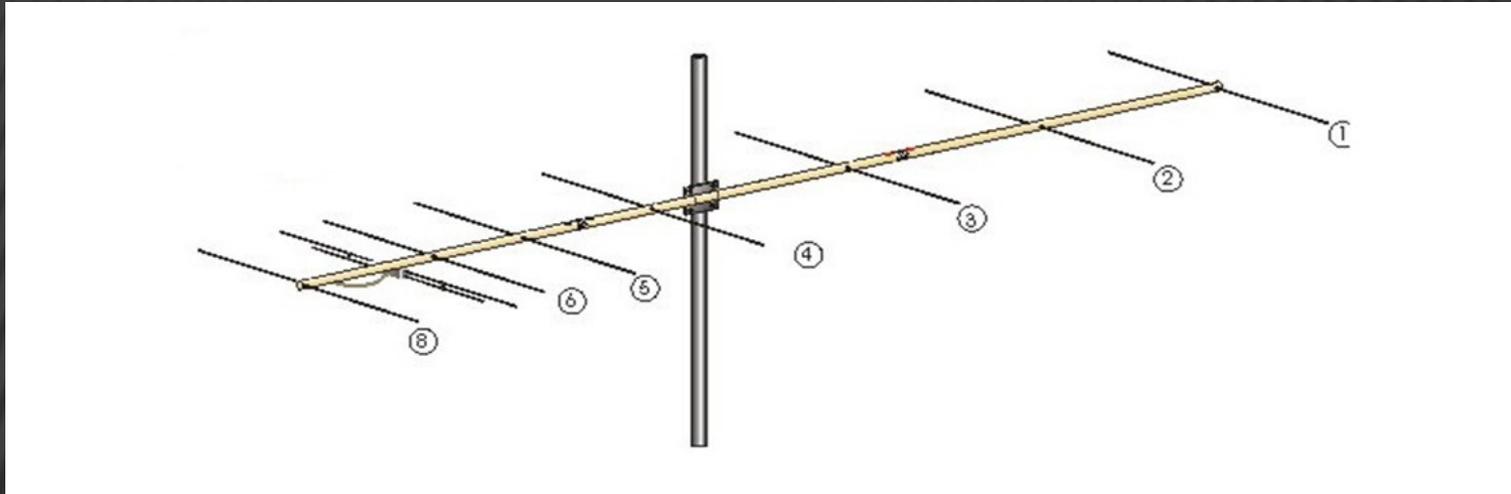
Signal strength	Relative intensity	Received voltage		Received power ($Z_c = 50 \text{ Ohm}$)	
S1	-48 dB	20 nV	-34 dBuV	7.9 aW	-141 dBm
S2	-42 dB	40 nV	-28 dBuV	32 aW	-135 dBm
S3	-36 dB	79 nV	-22 dBuV	130 aW	-129 dBm
S4	-30 dB	160 nV	-16 dBuV	500 aW	-123 dBm
S5	-24 dB	320 nV	-10 dBuV	2.0 fW	-117 dBm
S6	-18 dB	630 nV	-4 dBuV	7.9 fW	-111 dBm
S7	-12 dB	1.3 uV	2 dBuV	32 fW	-105 dBm
S8	-6 dB	2.5 uV	8 dBuV	130 fW	-99 dBm
S9	0 dB	5.0 uV	14 dBuV	500 fW	-93 dBm
S9+10	10 dB	16 uV	24 dBuV	5.0 pW	-83 dBm
S9+20	20 dB	50 uV	34 dBuV	50 pW	-73 dBm
S9+30	30 dB	160 uV	44 dBuV	500 pW	-63 dBm
S9+40	40 dB	500 uV	54 dBuV	5.0 nW	-53 dBm
S9+50	50 dB	1.6 mV	64 dBuV	50 nW	-43 dBm
S9+60	60 dB	5.0 mV	74 dBuV	500 nW	-33 dBm

TIPI DI ANTENNE



Collineari : antenne omnidirezionali, polarizzazione verticale, basso guadagno. Guadagno : 6 db.

TIPI DI ANTENNE



Direttiva : ascolto/trasmetto il segnale solo lungo una direzione

Guadagno : 8 elementi : 9 db

12 elementi : 12 db

16 elementi : 14 db

17 elementi : 15.3 db

AUMENTO DEL GUADAGNO

E se volessi aumentare ancora di più il guadagno ?

Accoppio più antenne assieme

- accoppiatore coassiale
- accoppiatore in aria

ACCOPPIATORE COASSIALE



- semplice da costruire
- utilizza spezzoni di cavo da 75 ohm

SPLITTER RF IN ARIA



Splitter RF in aria :

- split x 2
- split x 4
- split x 8
- caratteristiche : bassa perdita e alte potenze.

Sono costruiti con tubi in alluminio o blocchi di alluminio e conduttori centrali in metallo solido per realizzare linee coassiali con dielettrico d'aria, quindi le loro perdite sono pressoché non misurabili. Connettori N.

PERCHE' AUMENTARE IL GUADAGNO DELLE ANTENNE

Ricordo (dalle slide precedenti) :

$$P_{ric} \text{ (dBm)} = P_{tr} \text{ (dBm)} + G_{tr} \text{ (dB)} + G_{rc} \text{ (dB)} - A_{sl} \text{ (dB)}$$

dove:

$P_{ric} \text{ (dBm)}$ = potenza ricevuta in dBm

$P_{tr} \text{ (dBm)}$ = potenza di trasmissione in dBm

$G_{tr} \text{ (dB)}$ = guadagno dell'antenna trasmittente in dB

$G_{rc} \text{ (dB)}$ = guadagno dell'antenna ricevente in dB

$A_{sl} \text{ (dB)}$ = attenuazione nello spazio libero della tratta in dB

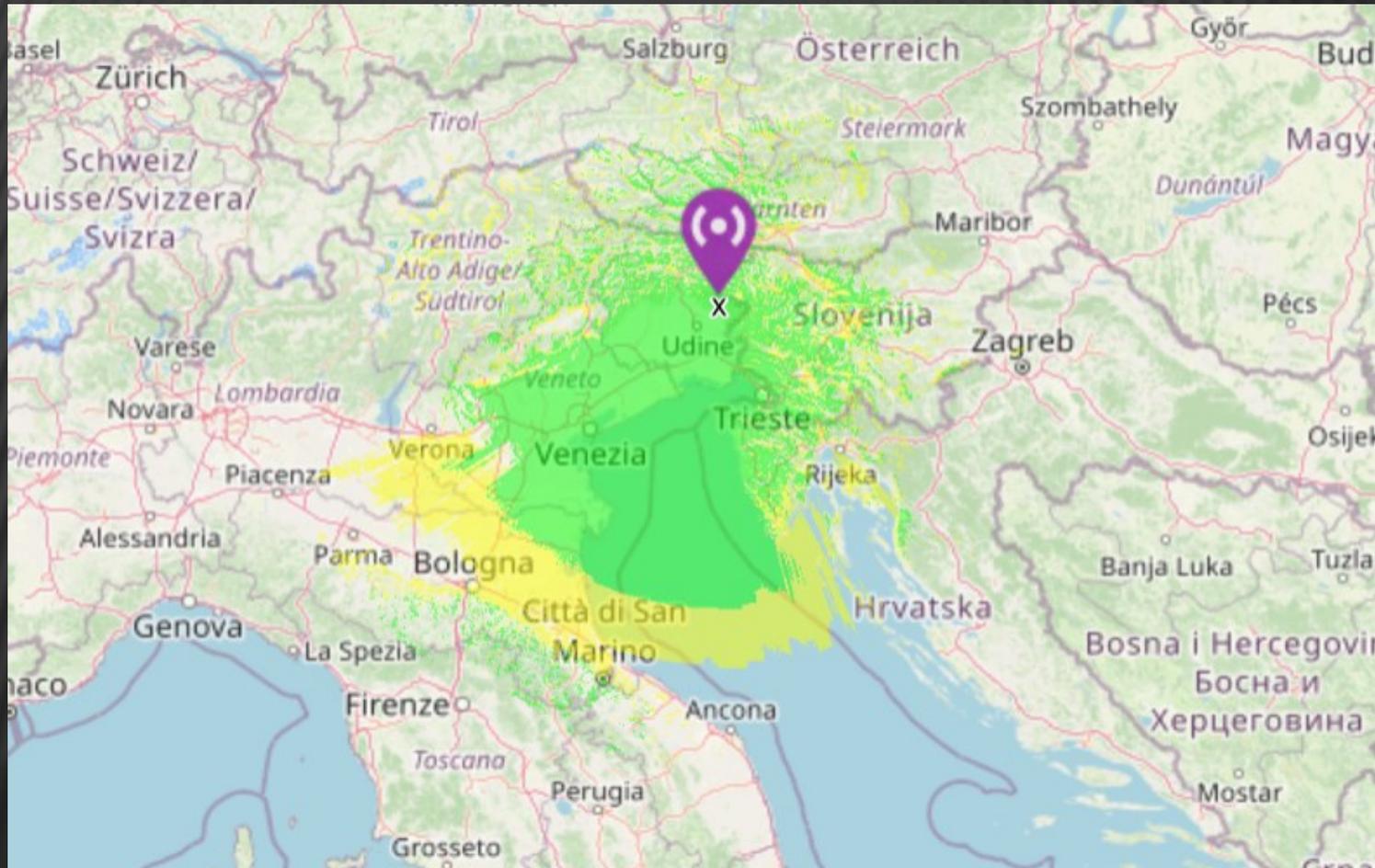
Nel ricevitore : aumentando G_{tr} e G_{rc} (guadagno delle antenne), la potenza ricevuta aumenta e di conseguenza riusciamo a ricevere segnali provenienti da tratte più lunghe. Sopperisco all'attenuazione di tratta.

Le antenne sono componenti reciproci, per cui il guadagno in trasmissione sarà uguale al guadagno in ricezione. Per cui oltre ad ascoltare segnali più distanti, anche ci ascolteranno più distanti in quanto è come se aumentassimo la potenza di trasmissione.

SOFTWARE DI SIMULAZIONE

https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp

Calcolo empirico riferito alla sola portata ottica (sicura)



CALCOLO POTENZA RICEVUTA

https://www.rohde-schwarz.com/it/soluzioni/wireless-communications-testing/landing-pages/calcolatore-ota_256594.html

Software con calcolo potenza ricevuta dal ricevitore

SSB / CW (10 dB S / N) Inferiore a $0,11 \mu\text{V}$ valore di un buon ricevitore commerciale

CONSIDERAZIONI FINALI

Una portata di 500/700 Km, è possibile con soli 150/300 W e 13 dB d'antenna.

E' bene tenere a mente questo dato, su cui possiamo lavorare per migliorare le nostre prestazioni.

Se il nostro orizzonte non è libero, dobbiamo purtroppo sottrarre portata, poiché ogni grado in più d'elevazione produce un'attenuazione di 10 dB nella diffusione troposferica.

Per questo motivo gli esperti di contest vanno sulla cima delle montagne, non per migliorare la portata ottica, ma per ottenere un basso angolo di radiazione anche con un modesto sostegno di pochi metri d'altezza.

Per lo stesso motivo è inutile accoppiare antenne se montate ad altezze inadeguate.

CONSIDERAZIONI FINALI

I segnali sono affetti molto spesso dalla riflessione da aerei di linea in volo e che contribuiscono a rinforzare il segnale, talvolta da pochi secondi fino ad uno/due minuti, consentendo il DX con distanze ulteriori di 100/200 Km oltre al fenomeno, sempre presente, della diffusione nella troposfera.

Questo fenomeno “sempre presente”, consente da solo, collegamenti stabili, pur nella precarietà di quanto appena sufficiente per concludere un QSO, fino a 500/700 Km, 24 ore il giorno e tutto l’anno.

In caso di perturbazioni atmosferiche, i fronti d’aria calda e fredda che si scontrano, creano ulteriore rinforzo ai nostri deboli segnali e non è raro trovare possibilità di spettacolari DX anche con mezzi modesti ed al di fuori dei dotti troposferici che consentono invece collegamenti di migliaia di chilometri ma essenzialmente “via mare”.

CONSIDERAZIONI FINALI

Una botta di fortuna di propagazione e-sporadico, è un evento molto raro e in qual caso si possono fare anche migliaia di Km, da 1000 a 2000.

Ricordo che esistono anche i collegamenti via troposfera, per i quali servono apparati SSB, antenne direttive adeguate, potenza di un certo livello e una postazione brillante. Allora tutto l'anno si riescono a fare collegamenti fino a circa 1000 Km e più.