

ARRAY di eliche ed antenna ad elica

di Alessandro Corsini

1K5MEP

Premessa

L'idea di costruire un'antenna ad elica mi è scaturita da un'esigenza piuttosto bizzarra. All'Isola d'Elba un mio carissimo amico aveva dei problemi con il telefono cellulare. Quando mi spiegò il problema rimasi piuttosto perplesso anche perché non sapevo esattamente come poter aggirare l'ostacolo. Ho cercato sul momento di vederci un po' più chiaro ed in effetti presso la sua casa il segnale era zero mentre a 100 m dall'abitazione il segnale era fortissimo. Da qui l'idea di costruire un ripetitore di segnale passivo (vista anche l'impossibilità di alimentare il tutto da rete elettrica)...ma quale? La soluzione più commerciale era quella di utilizzare una parabola per ricevere il segnale dal ripetitore ed un'antenna YAGI per ripeterlo verso l'abitazione, soluzione peraltro difficile da realizzare per problemi meccanici a pratici. La soluzione che in seguito mi ha stimolato di più e che poteva essere un buon compromesso meccanica-praticità era quella di un array di 4 antenne ad elica per prelevare il segnale dal ripetitore ed una antenna ad elica singola per ripeterlo verso l'abitazione. L'antenna ad elica non è molto critica nel puntamento, ha buona resistenza meccanica, si installa in spazio ridotto, non necessita di strutture portanti enormi ed ha un discreto guadagno

(superiore comunque a qualsiasi YAGI).

Dimensionamento

Il punto di partenza l'ho avuto vedendo la rivista *RADIOKIT* del settembre 2003 che riporta un articolo del radioamatore IW3QBN ove descrive l'Array di 4 eliche per i 2400 MHz. Mi sono inoltre documentato su testi americani ed inglesi trovando in merito diversi articoli anche interessanti relativi alle antenne ad elica che spiegano come calcolarne il dimensionamento ed il guadagno. In particolare "THE ARRL UHF/MICROWAVE EXPERIMENTER'S MANUAL" esprime in maniera non molto complessa come determinare la circonferenza dell'elica:

$$C = 1.066 + (N - 5) \cdot 0.003$$

dove

C = circonferenza in lunghezza d'onda al guadagno di picco;
N = numero di giri dell'elica;

Per quanto riguarda il calcolo del guadagno la seguente formula rende piuttosto semplice il difficile problema del calcolo:

$$G_p = 8.3 \left(\frac{\pi D}{\lambda_p} \right)^{\sqrt{N+2.1}} \left(\frac{NS}{\lambda_p} \right)^{0.8} \left(\frac{\tan 12.5}{\tan \alpha} \right)^{\frac{\sqrt{N}}{2}}$$

Dove

λ_p = lunghezza d'onda al guadagno di picco;
 α = angolo del passo dell'elica;
D = diametro dell'elica;
N = numero di giri dell'elica;
S = spazio fra i giri dell'elica;

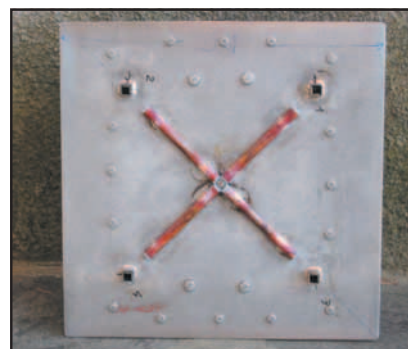
Infine per quanto riguarda la larghezza di banda la seguente formula ne calcola il valore:

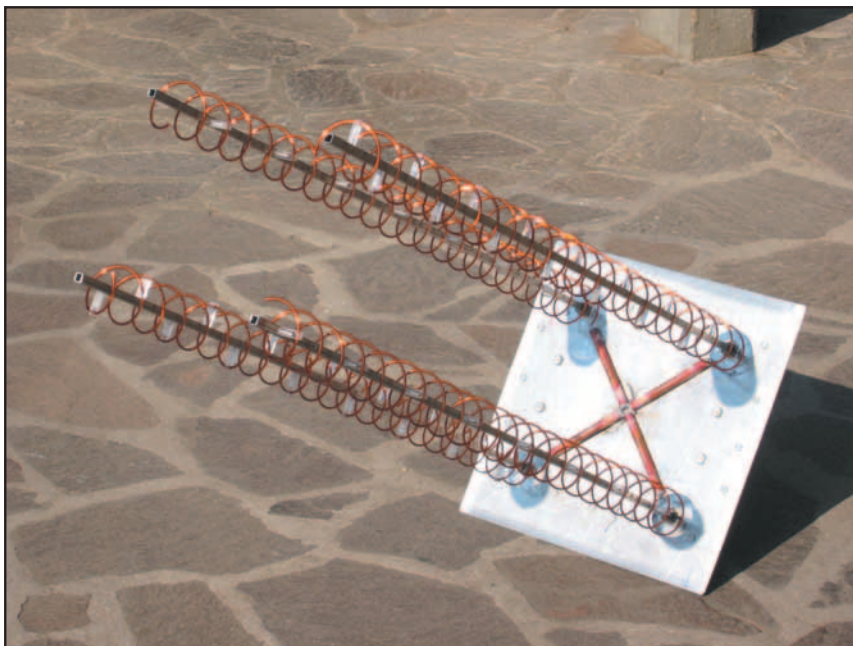
$$FB = \frac{F_h}{F_l} \approx 1.07 \left(\frac{0.91 G_p}{G} \right)^{4/(3\sqrt{N})}$$

Dove

N = numero dei giri dell'elica;
F_h = frequenza superiore ove il guadagno scende a G;
F_l = frequenza inferiore ove il guadagno scende a G;
G_p = guadagno alla frequenza massima di guadagno
FB = larghezza di banda

Volendo non entrare (per ovvii motivi di praticità) nella complessità dei calcoli ho trovato nel





mare di Internet due siti che online ti calcolano l'antenna in base alla frequenza ed alle spire che intendi utilizzare. Calcolando che la frequenza di lavoro dei cellulari che hanno la frequenza di lavoro sui 1800 MHz si nota che essa spazia da un minimo di 1835 MHz ad un massimo di 1870 MHz e visto che la massima lunghezza dell'antenna doveva essere di circa 1 mt le caratteristiche del sistema dovrebbero essere (secondo i calcoli) quelli riportati nella tabella 1.

Dalla tabella si evince che le differenze costruttive non sono enormi e pertanto ho utilizzato la tabella riferita ai 1840 MHz considerando anche il fatto che le misure su queste antenne non sono critiche come per altri tipi di antenne (YAGI). Secondo i cal-

coli della tabella il guadagno di ogni singola elica dovrebbe essere di poco superiore a 16 dB ma un array di 4 eliche dovrebbe essere intorno ai 22- 23 dB. Pertanto la soluzione al problema potrebbe essere un array di 4 eliche verso il repeater e singola elica verso l'abitazione.

Sistema di accoppiamento

Una delle cose che complica notevolmente un progetto simile è che tipo di adattatore d'impedenza da usare perché gli spazi sono quello che sono. Le soluzioni da prospettare sono diverse:

- 1) antenne a 50 Ω ed accoppiatore 4-1;
- 2) antenne a 140 Ω , adattatore $\frac{1}{4}$ ed accoppiatore 4-1;

- 3) antenne a 140 Ω , adattatore/accoppiatore a $\frac{1}{4}$ in aria;
- 4) come il precedente ma in cavo coassiale.

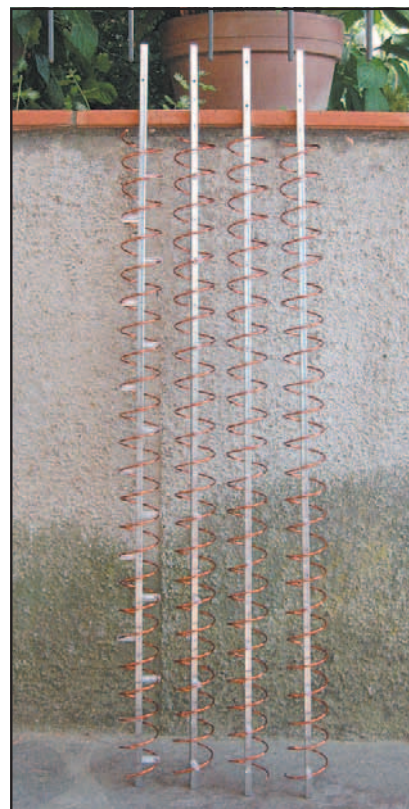
La prima soluzione si usa generalmente in V-UHF ed un po' meno in SHF ove spesso vengono usati sistemi parabolici anche se di grosse dimensioni. Ogni antenna viene adattata a 50 Ω , il collegamento dell'array viene fatto mediante un trasformatore di impedenza in quarto d'onda e tutte le antenne sono collegate ad esso con cavi perfettamente uguali.

L'antenna ad elica ha un'impedenza caratteristica di circa 140 Ω , quindi si ha la necessità di portare questa impedenza ai 50 Ω del cavo. La cosa non è difficile nel caso singolo ma lo diventa quando si devono adattare 4 antenne uguali.

Nel secondo caso si adatta ogni antenna a 50 Ω mediante trasformatore di un quarto d'onda, l'uscita a 50 Ω , mediante cavi perfettamente uguali va' allo stesso accoppiatore del caso precedente. Le difficoltà si spo-

Tabella 1

Frequenza	1840 MHz	1860 MHz
Circonferenza	18,248 cm	18,051 cm
Diametro	5,8085 cm	5,746 cm
Gioco fra le girate	4,1458 cm	4,1012 cm
Lunghezza della girata	18,7131 cm	18,5119 cm
Lunghezza del filo	430,4017 cm	425,7737 cm
Lunghezza antenna	95,3548 cm	94,3295 cm
Giri di elica	N° 23	N° 23
Guadagno medio	16,7 dB	16,7 dB
Apertura fascio gradi	23	23
Riflettore	16,3043 cm	16,129 cm





Distanza fra le antenne dell'Array

Altra cosa da dover bene considerare è la distanza fra le antenne dell'array. Chi intende costruire array di antenne sa bene che è molto importante calcolare la corretta distanza fra le antenne per avere la migliore resa ed il migliore lobo nella direzione che si intende ricevere. Nel mare di Internet come pure sui vari testi che parlano di antenne non si trova mai scritto niente di preciso in relazione alle eliche, mentre abbondano misure ed esempi per quanto riguarda le YAGI. Per queste ultime sappiamo che le distanze orizzontali sono diverse alle distanze verticali e dipendono dal parametro denominato "area di cattura". Uno dei modi piuttosto grossolani per definirlo è di non scendere mai al di sotto della lunghezza d'onda. Di solito la distanza tipica è $2 \times \lambda$ ignorando volutamente il valore dell'area di cattura. A rigore di logica per le eliche dovremmo utilizzare una sola delle dimensioni orizzontale/verticale in quanto l'antenna ad elica è a polarizzazione circolare. Volendo un riscontro matematico ho cominciato a calcolare l'area di cattura trovando un sistema valido sul testo "Kraus R. Marhefka – Antennas – Third editino – McGraw Hill" che risulta essere $2,146 \lambda$. In effetti si deve essere piuttosto rigorosi nel calcolare la distanza delle antenne perché se le metti troppo vicino (sovrapposizione delle loro aree di cattura) si riduce il guadagno globale dell'array mentre mettendole troppo lontano (aree di cattura non affiancate o con grossi buchi fra loro) aumentano i lobi secondari dell'array stesso. Pertanto conoscendo l'area di cattura di ogni elica e considerando che avrei dovuto utilizzare un sistema di alimentazione in fase ho calcolato la distanza fra i centri dell'elica in 235mm e la base di supporto dell'array in un quadrato di acciaio inox di 404x404x3 mm.

stano dall'adattamento di ogni antenna alla costruzione di quattro trasformatori uguali (problemi di natura meccanica). Tutto il resto è uguale al precedente.

Nel terzo e quarto caso invece le funzioni di accoppiamento ed adattamento sono combinate.

Si sfrutta la trasformazione d'impedenza e la combinazione simultanea su un unico punto (in pratica quello del connettore del cavo di linea) mediante tronchi di linee ad un quarto d'onda con impedenza calcolata. Il terzo caso vede la realizzazione di adattamento/accoppiamento in linea "aerea" ovvero con un filo posto ad una distanza stabilita dal piano di massa mentre la quarta vede la realizzazione in cavo coassiale. Per praticità ho scelto quest'ultima.

Adattatori d'impedenza

E' conosciuto da tutti il funzionamento del sistema di adattamento di impedenza mediante tronchi di linea di lunghezza pari ad un quarto d'onda della frequenza che si vuole utilizzare. Nelle V-UHF si fa con cavi coassiali flessibili. Nelle SHF è difficile farlo sia per le ridotte dimensioni sia per le perdite che introducono questi sistemi a certe frequenze. Pertanto si realizzano linee coassiali che usano l'aria come dielettrico. La dimensione fisica della parte meccanica determina il valore dell'impedenza e solo la precisione realizzativi determina variazioni al calcolo. Sia nell'autocostruito che nel commerciale abbiamo visto sistemi di accoppiamento che usano tubi di ottone o rame in sezione quadrata che permettono di creare il voluto adattamento oltre che fungere da base per il fissaggio dei connettori. Nessuno ci impedisce di usare sezioni tonde (tubo) se non si devono fissarci sopra connettori. Il calcolo della linea a sezione quadrata è possibile con la seguente formula:

$$Z_{tq} = 138 \cdot \log((Dg/Dp) \cdot 108)$$

Mentre per la sezione tonda è possibile con la seguente formula:

$$Z_{tc} = 138 \cdot \log(Dg/Dp)$$

Dove:

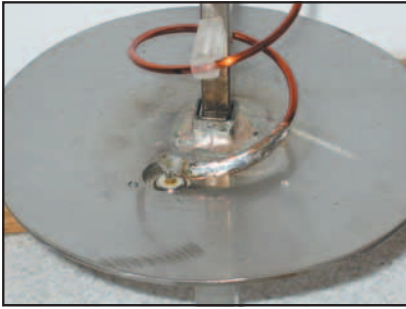
Z_{tq} = impedenza del tronco a sezione quadrata;

Z_{tc} = impedenza del tronco a sezione circolare;

Dg = diametro interno del tubo esterno;

Dp = diametro del filo conduttore centrale,

La differenza non è grande fra l'uno o l'altro e torna molto utile per arrivare al valore calcolato usando o l'uno o l'altro in relazione al materiale che hai a disposizione (difficilmente hai in casa quello che ti occorre). Nel caso delle 4 eliche si deve portare l'impedenza di ognuna da circa 140 Ω a 200 Ω per far sì che il pa-



rallelo delle alimentazioni al punto di giunzione siano i 50Ω del cavo coassiale. In pratica alimentando l'elica alla periferia della spira siamo leggermente sopra ai 142Ω come dice la formula:

$$Z_e = 150 \sqrt{CL}$$

dove:

CL = circonferenza dell'elica calcolata in relazione della lunghezza d'onda $L = \lambda$;

Fino a qui parliamo di ogni singola elica, in generale l'impedenza del trasformatore si calcola con la seguente formula:

$$Z_m = \sqrt{Z_e \cdot Z_u}$$

Dove:

Z_m = impedenza del tronco di adattamento;

Z_e = impedenza dell'elica;

Z_u = impedenza del punto di alimentazione;

Visto che le antenne sono quattro il valore di Z_u non dovrà essere 50Ω ma $50 \times 4 \Omega$, per cui ogni adattatore dovrà essere di circa $168,94 \Omega$. Non esiste cavo coassiale avente questo valore di impedenza caratteristica. Io ho usato un tubo in rame a sezione circolare di 12 mm esterni e 1 mm di spessore, quindi 10 interni e del filo di rame argentato da 0,6 mm. Il filo di rame argentato è tenuto in posizione da due piccoli dischetti di nylon che fungono da tappi all'estremità del tubo. In questo modo la linea ha un dielettrico di valore noto (aria) ed il valore ottenuto è mol-

to prossimo a quello calcolato. Per mettere un diametro maggiore di filo avrei dovuto usare un maggior diametro di tubo... cosa peraltro difficile nel reperimento perché il tubo ha misure standard per non parlare del posto in più che avrebbe preso nella base. La lunghezza di questi adattatori risulterebbe di 31 mm misura che avrebbe posto le antenne troppo vicine fra loro. Dovendo utilizzare la funzione di trasformazione in quarto d'onda ho moltiplicato la lunghezza in numero dispari (tre) ovvero ho scelto $\frac{3}{4}$ di lunghezza d'onda: con i 120 mm così calcolati si ottiene la condizione di avere la spaziatura fra le eliche molto vicina al valore di non sovrapposizione delle aree di cattura.

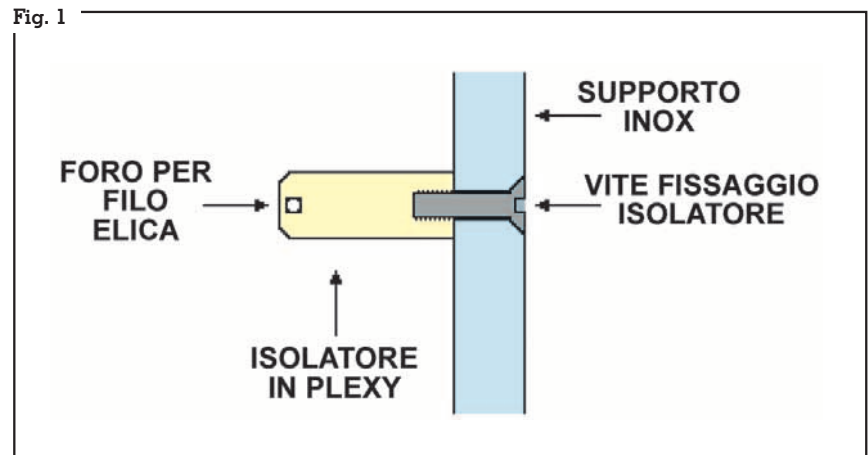
Realizzazione meccanica dell'array di 4 eliche

La realizzazione meccanica in maniera casalinga di questa antenna non è così semplice come lo è per un dipolo o per una verticale e necessita di una discreta attrezzatura. Inoltre visto che il tutto deve essere installato presso una località marina ho pensato bene di utilizzare materiali in acciaio inox (AISI 304). Prima cosa da fare è dimensionare e tagliare la piastra di base sulle misure da me calcolate di 420x420x3 mm. Fatto questo fare la foratura centrale di 15mm per il bocchettone RF serie N e le forature relative ai supporti delle 4 eliche tenendo conto che la di-

stanza dai lati deve essere 77 mm. Le dimensioni delle forature dipendono dalle dimensioni del quadro di supporto. Io ho optato di inserire il tubo quadro di supporto dell'elica in un tubo quadro di misura superiore saldato a castolin sulla piastra di base, pertanto il supporto saldato è in tubo 15x15x1 mm, mentre il supporto dell'elica 10x10x1 mm. Di seguito mi sono procurato 6 mt di tubo quadro inox 10x10x1 mm dove ho ricavato 5 pezzi di 1,10 mt. Forare questi tubi in modo che dalla piastra ogni 1,5 spire di elica si possa mettere una vite a passare per fissarci l'isolatore in plexy. Da notare che i tubi di supporto per le eliche possono anche non essere in materiale isolante perché con un diametro così piccolo non influiscono nell'area di cattura e quindi non diminuiscono il rendimento dell'antenna. Le eliche per essere tenute meccanicamente allineate e distanziate in maniera ottimale sono sorrette da supporti al plexy di 10x10x25 mm. Questi supporti sono stati opportunamente forati e filettati dalla base verso il centro al fine di essere tenuti meccanicamente fissi sul supporto inox (foro 3,25mm filettato a 4mm) e forati lateralmente (foro 3,5mm) affinché la spira dell'elica passi quasi precisa all'interno come in fig. 1.

Ogni 1,5 spire di elica ho montato un supporto e così facendo l'elica risulta molto robusta a livello meccanico. Il modello della spirale dell'elica si ricava avvolgendo del filo di rame smaltato

Fig. 1



da 3mm sopra un tubo del diametro di 54mm per 26 spire. Prima di avvolgerlo però si deve segnare (sul filo di rame smaltato) in sequenza e con pennarello indelebile la misura di ogni singola girata per quante sono le spire dell'elica. Inoltre si deve segnare sul tubo dove si avvolge l'elica la misura del gioco fra le girate per quante sono le spire dell'elica.

Queste misure ci torneranno utili al momento di bloccare l'elica sugli isolatori in plexy dando la possibilità di avere le spire allineate il più possibile. Avvolgere il filo di rame smaltato sul tubo ed allungare questa elica fino a che ogni singola spira corrisponda al segno di "gioco fra le girate". Fatto ciò provvedere a far passare i 15 isolatori dentro il filo dell'elica., distanziarli fra loro di 1,5 spire ed infine metterci dentro il supporto 10x10x1 in inox ed avvitare i relativi isolatori in plexy. Una volta che tutti gli isolatori sono fermati vedere dove sono i segni sull'elica relativi alle girate ed allinearli tutti sullo stesso punto del lato in modo che questa misura sia uguale per tutte le spire. Fissare con collante il filo di rame smaltato all'isolatore appena allineato il tutto. L'operazione va' ripetuta per ogni singola elica. E' il momento di preparare gli adattatori di impedenza. Prendere del tubo di rame del diametro di 12mm e tagliarne 4 pezzetti di 120mm. Preparare i tappi isolanti da mettere a pressione ai lati dei tubetti. Questi tappi in teflon sono delle lunghezza di 6mm cadauno, devono essere uguali al diametro interno del tubo (10mm) per entrarci a forza dentro e devono essere forati al centro con punta di 0,7mm in modo che il filo di rame argentato ci passi dentro preciso. Saldare i tubetti in rame sulla piastra di base fra il foro del raccordo RF serie N e l'inizio della rispettiva elica. Mettere i tappi sui tubetti lato centro e metterci dentro i relativi fili. Saldare i 4 fili sul raccordo RF serie N e quindi mettere i tappi sul lato elica facendo attenzione affinché i fili non si attorciglino all'interno dei relativi tubetti e siano ben dritti. Mettere le

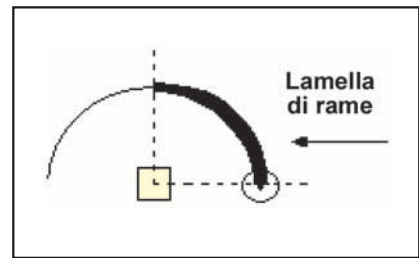
4 eliche nei loro alloggi, tagliare il filo dell'elica in modo che inizi la sua spira lato adattatore e fermare con vite a passare il supporto dell'elica sulla guida di base. Dalla base ove si collega l'elica all'adattatore contare 23 spire e poi tagliare l'eccedenza. Saldare l'inizio dell'elica con il filo di rame argentato dell'adattatore.

Ripetere l'operazione per ogni singola elica. Ricordarsi inoltre di riempire il foro centrale ove è alloggiato il raccordo RF serie N con colla a caldo. Costruire infine una piastrina in inox che deve coprire tutta la parte relativa al raccordo al fine di evitare che i fili di collegamento fra gli adattatori ed il raccordo RF serie N fungano da microantenna ed andrà fissato alla base con due viti M3 (le stesse del raccordo RF serie N). Quando tutto è finito necessita di un velo di vernice spray in acrilico su tutte le parti saldate per evitare fenomeni di corrosione (esistono in commercio spray trasparenti).

Realizzazione meccanica della singola antenna ad elica

Per la realizzazione meccanica dell'antenna si incrocia le stesse problematiche costruttive dell'array con la sola differenza che la base dell'antenna è una piastra circolare di circa 13,5 cm di diametro, il supporto viene saldato al centro della piastra e il raccordo RF serie N viene messo sul sotto l'inizio dell'elica. L'elica si costruisce come detto nel capitolo precedente e l'adattatore d'impedenza è una piastrina di rame curva da 6 mm lunga 45 mm saldata sotto l'inizio della prima spira dell'elica. L'adattamento d'impedenza avviene avvicinando o allontanando questa piastrina dalla base circolare come nel disegno sotto riportato.

Quando tutto è finito necessita di un velo di vernice spray in acrilico su tutte le parti saldata per evitare fenomeni di corrosione (esistono in commercio spray trasparenti).



Collegamento delle antenne

Le due antenne sono da montarsi su un singolo palo e per evitare interferenze dovrebbero avere un puntamento opposto l'una rispetto all'altra. Diciamo che se la prima viene puntata a nord l'altra dovrebbe essere puntata a sud e questo per minimizzare la possibilità che le antenne possano captare segnali prossimi al loro lobo di irradiazione. Il collegamento fisico fra le due antenne viene effettuato tramite un corto cavo coassiale a bassa perdita.

Funzionerà?

Non è facile rispondere a questa domanda. Non è facile neanche riuscire a trovare un luogo nelle mie zone, ove qui non c'è segnale e 100 m più su hai segnale pieno. In teoria dovrebbe funzionare (ho realizzato un sistema simile per i segnali TV dalle mie parti) ma in pratica ancora non ho provato. Se funziona rimane significativo il fatto che questo "repeater" casalingo non necessita di alimentazioni esterne e può essere installato senza particolari accorgimenti. La costruzione purtroppo necessita di attrezzature specifiche ma questo difetto viene compensato da molti altri pregi.

Alexcor_@libero.it