

Genesi di un'antenna per onde medie/lunghe

Dopo tanti grattamenti di capo cercando una soluzione che mi permettesse di tirare fuori un po' di segnale a 137 kHz finalmente si è sentito un grande rumore di tuono, si sono squarciate le nubi e l'illuminazione marconiana è giunta!

Tra il palo che alloggia la direttiva delle HF e vari toc 'd fil (dipoli per 40, 80 e 160m) ed una verticalina strana partorita e non ancora terminata l'anno scorso, ci sono 16m. Se si realizzasse una antenna a T, con costruzione leggera, questa potrebbe essere sospesa tra questi due supporti e si potrebbero così raggiungere un'altezza discreta con un buon cappello capacitivo.

Dopo aver surriscaldato il PC simulando a tutto spiano con EZNEC (1), la cosa sembrava fattibile ma rimaneva sempre il consueto problema dei radiali che per una verticale sono essenziali.

Dovete sapere che il condominio dove risiedo aveva un tetto realizzato con lastre in Eternit (un incubo non tanto per il contenuto di amianto.. ma perché le visite alle antenne richiedevano sempre un'attenzione altissima per evitare di fare stragi di tegole!). Da qualche anno la copertura è stata sostituita con dei pannelli sandwich costituiti da due lamiere grecate con ripieno di schiuma uretanica. Questi pannelli oltre a migliorare l'isolamento termico del tetto fanno dimenticare le ansie da amianto e, last but not least.., i patemi dell'andare sul tetto. Questa modifica mi ha da allora fatto pensare che non sarebbe male provare una antenna verticale e, in preparazione a questo evento, ho passato alcuni fine settimana a ponticellare tutti i pannelli in modo da realizzare un piano di terra continuo. Nel 2000 avevo realizzato una antenna per i 137 kHz con la quale ho effettuato diversi ascolti ed alcuni QSO, poi in seguito alla scriteriata deiezione di un corvo che compromise l'isolamento in una zona ad alta tensione dell'antenna, doveti smontare l'antenna e iniziare a grattarmi la pera cercando una nuova soluzione. Comunque restava sempre il dubbio se il lavoro fatto fosse utile o meno in mancanza di una verticale "classica" con cui valutare l'efficacia del piano di terra. Una prima verifica è stata fatta lo scorso anno con la verticale cui accennavo prima e i risultati sono stati buoni anche se per il momento non tanto da farmi mettere in pensione i dipoli.

Allora ecco il parto:

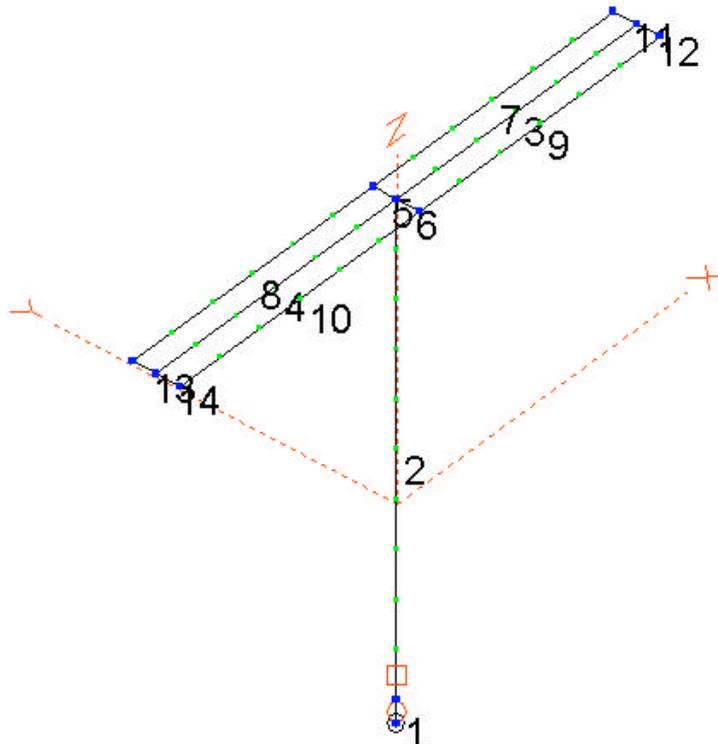


Fig. 1 rappresentazione dell'antenna

D'accordo, niente di nuovo, è l'invenzione dell'acqua tiepida visto che sono passati più di 100 anni da quando sono state usate antenne del genere, ma si tratta di un'antenna semplice e decisamente interessante sia per le onde lunghe che per la parte bassa delle HF.

La realizzazione è stata anche abbastanza celere e potrebbe essere un'antenna per portatile o per qualche altro evento..  
La ricetta è la seguente: si prendano un po' di metri di filo di rame, io ho usato del filo da  $\varnothing$  0,7mm di rame smaltato (quello da trasformatori) ed ho preparato 6 spezzoni da 7m.  
Ho preso poi delle barre di tubo in PVC da impianto elettrico e ne ho tagliato 5 pezzi da circa 50cm che ho forato in modo da far passare il filo. Tre spezzoni di trecciola di rame costituiscono il conduttore che unisce al centro ed alle estremità i fili del cappello.



Fig. 2 La bobina sopraelevata

Per il tratto verticale invece che un singolo filo, ho pensato di migliorare le prestazioni dell'antenna ingrossando fittiziamente il diametro del radiatore (non dimenticate che in questo tipo di antenna il cappello non irradia! Serve a forzare una maggiore corrente nel tratto verticale che è l'unico responsabile dell'irradiazione). Ho quindi realizzato il radiatore con 4 fili disposti su pianta quadra tenendoli separati con degli spaziatori ottenuti ancora da tubo in PVC



Fig. 3 Il radiatore



Fig. 4 Il radiatore visto dal basso

Descrizione: verticale composta da 4 fili Ø 2 mm disposti ai vertici di un quadrato con lato 100 mm, altezza 6m  
 Top hat composto da 3 fili paralleli lunghezza 7+7 metri distanziati 25 cm, uniti da traversa alle estremità ed al centro dove si congiunge al tratto verticale.

I quattro fili verticali (2) danno un diametro efficace di circa 50 mm.

Il top hat, è inclinato verso le estremità quindi ci sarà un piccolo contributo alla resistenza di radiazione a causa della componente verticale, in compenso la capacità complessiva viene ridotta per lo stesso fattore ( $\cos \alpha$ ). Utilizzando 5 pF/m per il calcolo, e considerando che il tratto verticale termina a 6,5m, mentre il top hat finisce a circa 9,5m l'inclinazione del top hat è di  $\arctg(3/8) = 20^\circ$ .

La capacità complessiva del top hat viene quindi calcolata come:

$$C_{\text{HAT}} = 6 \cdot 7 \text{m} \cdot 5 \text{pF/m} \cdot \cos 20 = 197 \text{pF}$$

$$\text{Per il tratto verticale vale } Z_{\text{surge}} = 60 \cdot [\ln(4 \cdot 650/5) - 1] = 315,2 \Omega$$

L'antenna così fatta è stata vista risuonare intorno a 3,8 MHz, vediamo un po'....

$$\text{A } 3,8 \text{ MHz, la reattanza del top hat vale } X_{\text{Chat}} = 1E+6 / (2 \cdot \pi \cdot 3,8 \cdot 197) = 212,6 \Omega$$

$$\text{Il top hat rappresenta a questa frequenza l'equivalente di } \arctg(Z_{\text{surge}} / X_{\text{Chat}}) = 56,0^\circ$$

$$\text{Il tratto verticale rappresenta invece } 6,5 \text{m} \cdot 3,8 \text{MHz} \cdot 90^\circ / 75 = 29,6^\circ$$

Il totale  $29,6 + 56,0 = 85,6^\circ$  quindi la risonanza dovrebbe essere poco più in su. (nota: i gradi non sono la temperatura riscontrata ma rappresentano la lunghezza dell'antenna; una verticale classica da  $\lambda/4$  è lunga  $90^\circ$ )

Vediamo adesso a 500 kHz di risuonare l'antenna con una induttanza posta tra la sommità del tratto verticale e il centro del top hat. Da prime simulazioni con EZNEC, l'induttanza avrebbe dovuto essere circa  $600 \mu\text{H}$ . Si è preparata una

bobina di 86 spire realizzate con un cavetto coassiale teflonato  $\varnothing$  2mm avvolte serrate su un supporto  $\varnothing$  140 mm per una lunghezza di 165mm. L'induttanza misurata a parte è risultata 667 $\mu$ H con  $R_{\text{loss}} = 5,2 \Omega$   
L'antenna così fatta è risultata risonante a 458 kHz:  $Z = 10,6 + j2,2 \Omega$

A questa frequenza, il top hat dovrebbe presentare una reattanza  $X_{\text{Chat}} = 1E+6 / (2 * \pi * 0,457 * 197) = -j 1767,8 \Omega$

Inoltre, come visto prima, vale  $\arctg(315,2/1767,8) = 10,1^\circ$  mentre il tratto verticale rappresenta 3,6°

Per conoscere il valore dell'induttanza necessaria a risuonare l'antenna a 457 kHz, dobbiamo pensare all'antenna come una linea di trasmissione con impedenza 315,2 $\Omega$  cortocircuitata al fondo; in questo caso l'impedenza all'ingresso vale:

$Z = X_L = +j Z_0 \tan \ell = +j 315,2 \tan 3,6 = +j 19,8 \Omega$  dove  $Z_0$  è l'impedenza caratteristica della linea cortocircuitata (il tratto verticale),  $\ell$  è la lunghezza in gradi della verticale e  $Z$  è l'impedenza di ingresso della linea cortocircuitata.

Allora visto che alla risonanza la reattanza totale del circuito è pari a zero, la reattanza che la bobina dovrà esibire sarà:

$X_L = 1767,8 - 19,8 = +j 1748 \Omega$  che a 458kHz sono rappresentati da una induttanza di  $1748 / (2 * \pi * 0,458) = 607 \mu\text{H}$

La differenza (comunque non così grande) tra il valore calcolato e quello sperimentale è attribuibile alla valutazione della capacità del top hat.

Per quanto riguarda l'impedenza dell'antenna alla risonanza, questa è data dalla somma della resistenza di radiazione ( $R_{\text{RAD}}$ ) + la resistenza della terra + la resistenza della bobina.

Per quanto riguarda  $R_{\text{RAD}}$ , questa può essere stimata come  $36,6 * \sin^2 \ell = 36,6 * \sin^2 3,6 = 0,14 \Omega$

Le perdite della bobina soprelevata (5,2 $\Omega$ ) trasferite alla base dell'antenna valgono  $5,2 * \cos^2 \ell = 5,2 * \cos^2 3,6 = 5,18 \Omega$

Il piano di terra (in questo caso il tetto condominiale costituito da circa 700m<sup>2</sup> di pannelli sandwich) può essere determinato da una misura dell'impedenza dell'antenna che, alla risonanza è risultata pari a 10,6  $\Omega$ ; quindi, a questa frequenza, la nostra  $R_{\text{loss}}$  è pari a  $10,6 - 5,18 - 0,14 = 5,3 \Omega$  che non è affatto male!

L'efficienza dell'antenna è dunque stimabile come  $100 * 0,14 / 10,6 = 1,3\%$

Non male per un'antenna di 8m quando il canonico quarto d'onda è dell'ordine di grandezza di 150m...

Accorciando la bobina di qualche spira (totale finale 74 spire) la risonanza si è spostata tra 505 e 506 kHz dove al momento sono allocati beacon amatoriali in alcuni paesi europei e negli USA. L'impedenza a questa frequenza è stata misurata pari a  $14,9 + j1,4 \Omega$ . La  $R_{\text{RAD}}$  diventa 0,17  $\Omega$ , le perdite di terra possiamo pensare che restino le stesse mentre diminuendo le spire della bobina le sue perdite dovrebbero anche loro diminuire (stimate ma non misurate per non smontare la bobina dall'antenna... in 4,4  $\Omega$ ). L'efficienza dell'antenna a questa frequenza viene stimata quindi in  $100 * 0,17 / 14,9 = 1,14\%$

In teoria avrebbe dovuto crescere.. visto il piccolo aumento della  $R_{\text{RAD}}$ , ma probabilmente si sono inserite delle perdite aggiuntive visto che i contatti alla linea di trasmissione sono stati fatti con dei mammoth..

Comunque visto che l'impedenza era prossima a  $\frac{1}{4}$  di 50  $\Omega$  si è pensato di mettere un bel trasformatore 4:1 per adattare l'impedenza alla linea coassiale. Il trasformatore è il solito fatto con i due manicotti di ferrite ed una linea di trasmissione (4 spire) bifilare twistata. Ancora una misura e l'antenna risulta risonante a 506,5 kHz con impedenza di 61  $\Omega$  quindi un SWR di 1,2 ovvero... alla grande!

A questo punto si torna sotto nello shack: si rifanno alcune misure tanto per verificare e poi... malaccortamente si dimentica il generatore collegato all'antenna tramite 50m di RG213 e altri 50 di RG212..

Il "Moru", al secolo IIDDS, sentiva il milliwatt (0dBm) del generatore una tronata a 6 km di distanza! Riducendo la potenza, il segnale era ascoltabile ad orecchio fino a -20dBm e seguibile con i programmi di analisi audio (Spectran, Speclab etc.) fino ad una potenza di -34dBm!! Signori si tratta di 0,4 $\mu$ W!! Dicesi poco meno di mezzo microwatt che è poi sempre un milionesimo di Watt!!

Meditate gente meditate... quando accendete un oscillatore e lo collegate ad una antenna!



Fig. 5 l'antenna issata e pronta all'uso (la foto è ritoccata per evidenziare i fili del top hat)

A questo punto abbiamo un'antenna per i 500 kHz e vogliamo forse fermarci qui? Non sarebbe male avere un'antenna bibanda che funzioni anche per i 137 kHz. Questa opzione può essere realizzata inserendo alla base una seconda induttanza che la porti a risuonare là sotto (si passa da  $\lambda = 600\text{m}$  a  $\lambda = 2200\text{m}$ !).

Vediamo un po' che razza di bobina dovrebbe servire:

A 137 kHz la reattanza del top hat vale:  $X_{\text{Chat}} = 1E+6/2*\pi*0,137*197 = +j5897\ \Omega$ ; la bobina sotto al top hat ha reattanza  $X_{\text{Ltop}} = 2*\pi*0,137*547 = +j471\Omega$  l'induttanza del radiatore (che qui è lungo  $1,07^\circ$ ) può essere calcolata come prima  $X_{\text{Lrad}} = +j Z_0*tg\theta = +j 315,2*tg1,07 = +j5,9\Omega$ . Quindi per portare alla risonanza l'antenna dovremo inserire alla base una induttanza che abbia reattanza di  $+j(5897-471-5,9)\ \Omega = +j5420\ \Omega$  ovvero di  $6296\mu\text{H}$ .

Nel cassetto (si fa per dire..) avevo una bobinetta avanzata da prove precedenti (tnx a I1HQ) costituita da 156 spire su  $\varnothing 250\text{mm}$  che ho misurato avere induttanza  $4524\mu\text{H}$  con  $7\ \Omega$  di resistenza.



Fig. 6 – la bobinetta ..

Vuoi non fare una prova??? Rimontato tutto il test set (N2PK network analyzer (3)) l'antenna esibisce una risonanza tra 156 e 157 kHz ( $Z = 57 \pm j20 \Omega$ ) che purtroppo dimostra che serve più induttanza, ma approfittiamo dell'occasione per ripetere i calcoli di prima su questa nuova frequenza e verificare se i conti tornano...

Allora, a 157 kHz, il radiatore è "lungo"  $1,23^\circ$ , la  $X_{\text{Chat}}$  vale  $-j5113\Omega$ , la  $X_{L\text{top}}$  vale  $+j543\Omega$  e il radiatore rappresenta una reattanza di  $+j6,8\Omega$ . Quindi, nuovamente, alla base dell'antenna servirà una reattanza pari  $5113-543-6,8 = +j4563,2\Omega$  ovvero una induttanza di  $4625\mu\text{H}$ . Che dire la teoria sembra proprio funzionare!

In compenso bisogna trovare il modo di aggiungere un po' di induttanza per andare a lavorare sulla giusta frequenza: di riavvolgere la bobina su un altro supporto non se ne parla neppure! Però, contando che abbiamo intenzione di aggiungere un piccolo variometro per sintonizzare l'antenna ( $280\text{-}500\mu\text{H}$ ) su tutta la banda, decido di avvolgere una diecina di spire come secondo strato alla base della bobina in modo da sfruttare l'autoinduttanza delle spire aggiunte alla bobina principale. Perché avvolgerle alla base? Per un motivo semplicissimo: si tratta del lato a bassa tensione! Bisogna rammentare cosa succede ai capi di una induttanza quando applichiamo potenza! Il mio trasmettitore eroga 250W che su  $50\Omega$  di impedenza implicano una corrente RF alla base dell'antenna di circa 2,5A e ai capi dell'induttanza si prevede una tensione superiore ai 10kV..

Avendo abbondato un po' visto che a tagliare c'è sempre tempo, l'antenna è andata a risuonare più in basso e di conseguenza con molta calma a togliere una spira per volta fino a portare l'antenna a risuonare a 138kHz (totale netto aggiunto 7 spire) nei grafici qui di seguito si vede una famiglia di curve che rappresentano l'andamento della  $R_S$  e della  $X_S$  dell'antenna al cambiare del numero di spire:

Rs al variare spire L base

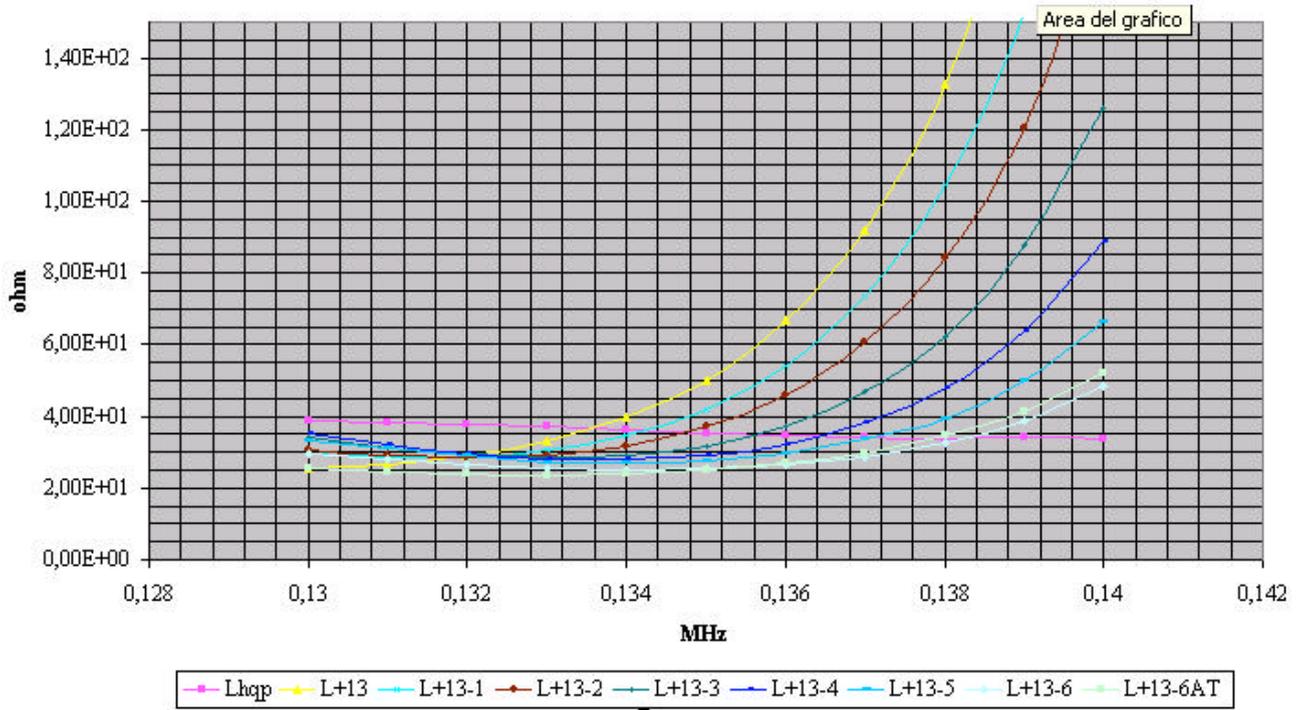


Fig. 7 curva di resistenza

tuning L base (variazione spire su ex hqp)

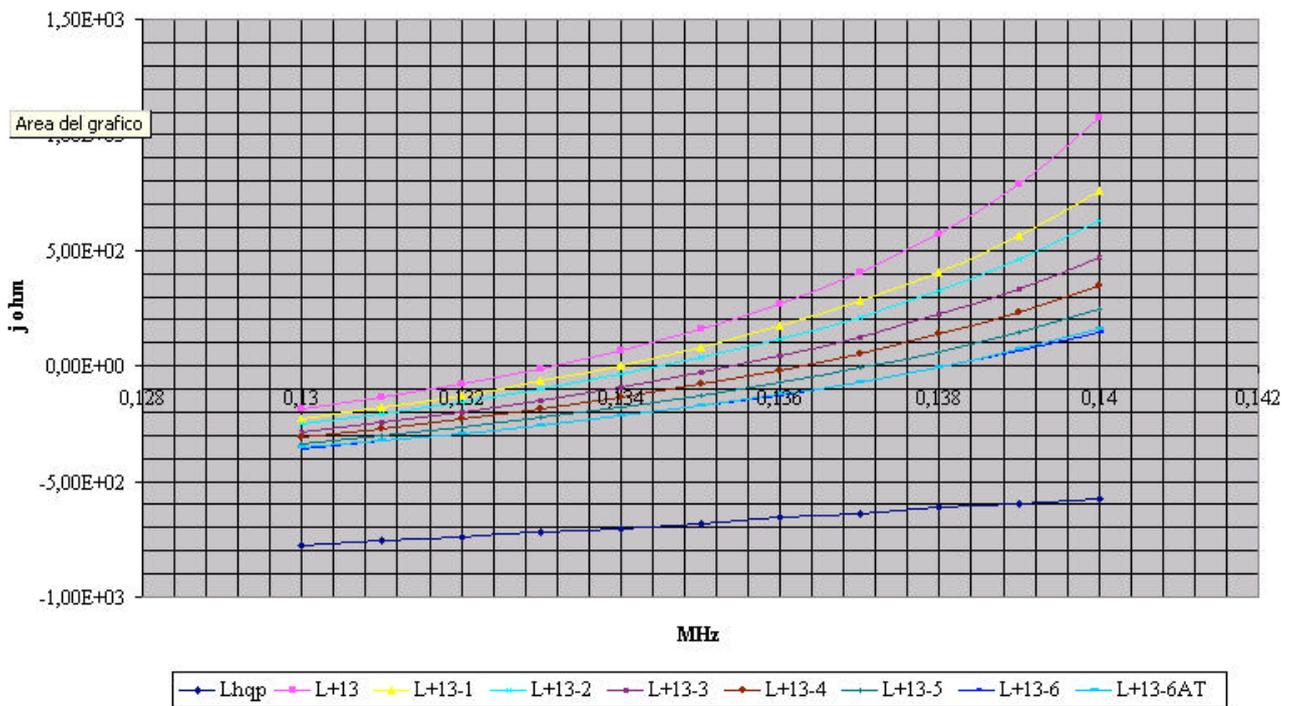


Fig. 8 curva di reattanza

Intanto visto che siamo qui, facciamo ancora due conti: a 138 kHz, la  $R_{RAD}$  vale  $0,017 \Omega$  mentre misuriamo una impedenza  $Z_{138}=34,6-j2,9 \Omega$  e quindi si può calcolare l'efficienza dell'antenna come  $\eta = 100 * 0,017 / 34,6 = 0,05\%$  ovvero  $-33\text{dB}$ ; quindi alimentando l'antenna con  $250\text{W}$  saranno irradiati  $0,125 \text{W}$  che ci fa stare tranquilli di non eccedere il limite previsto di  $1\text{W ERP}$ !

Poiché la curva di risonanza è abbastanza stretta, è necessario poter effettuare la sintonia cambiando il valore di induttanza alla base quindi ho modificato un poco l'accordatore remoto previsto per la verticale (sì quella che fa da supporto all'oggetto qui descritto) inserendo un variometro ed alcuni relais in modo da controllare anche questa antenna.

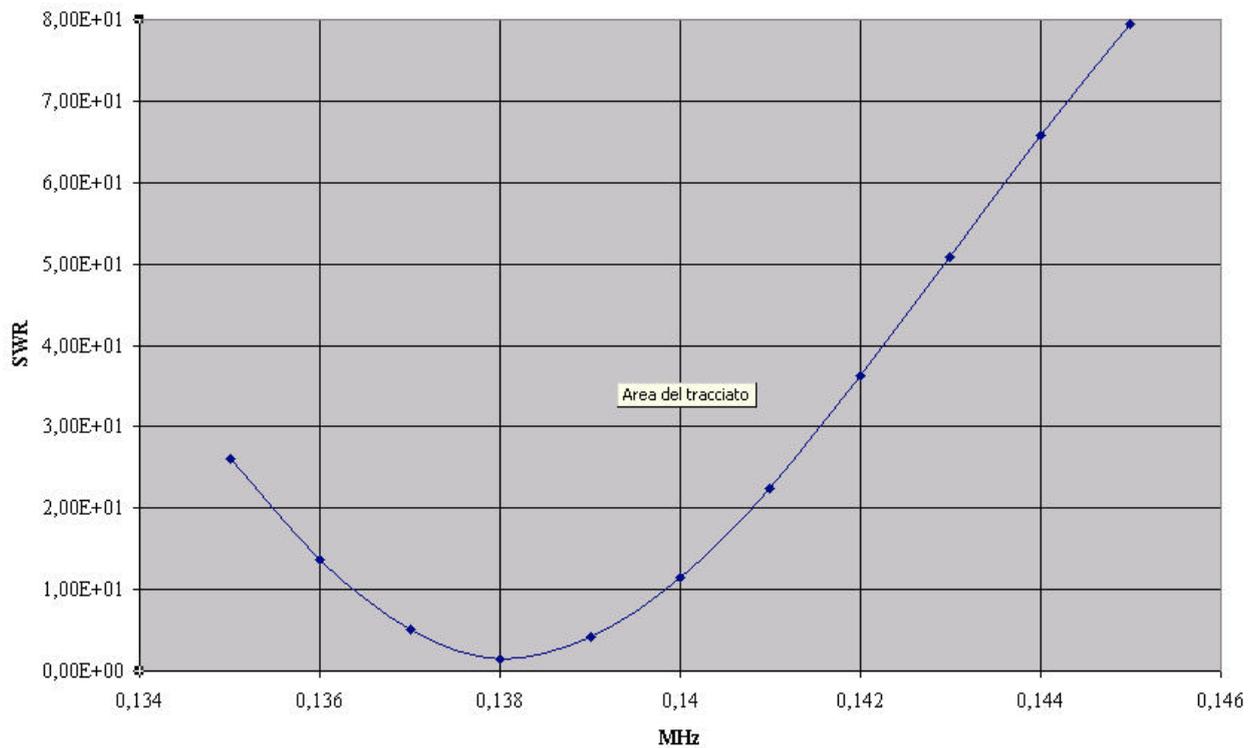


Fig. 9 SWR vs. frequenza

Notare che la scala di SWR è in multipli di 10.. quindi mentre a 138 kHz abbiamo SWR 1,45 a 136 kHz il valore è 13 non 1,3!

Lo schema complessivo dell'accordatore (un circuito a L) è mostrato qui di seguito:

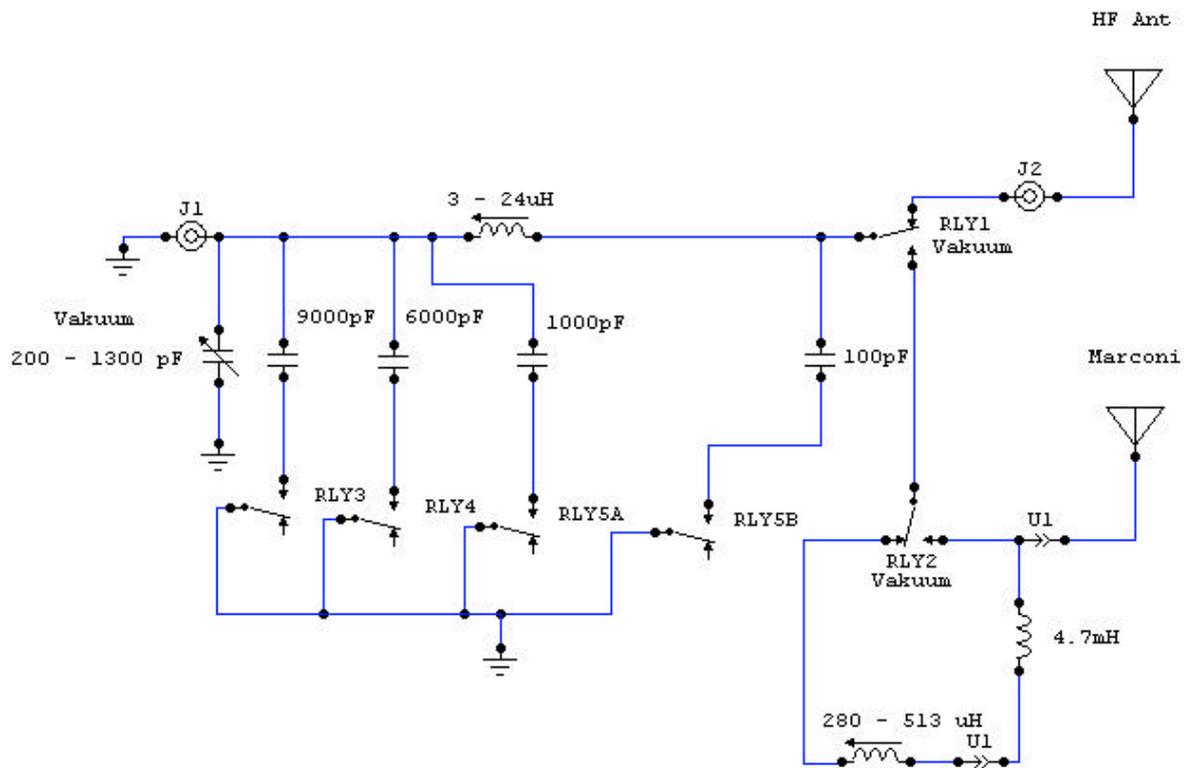


Fig. 10 schema di accordatore remoto

Che è stato realizzato così:

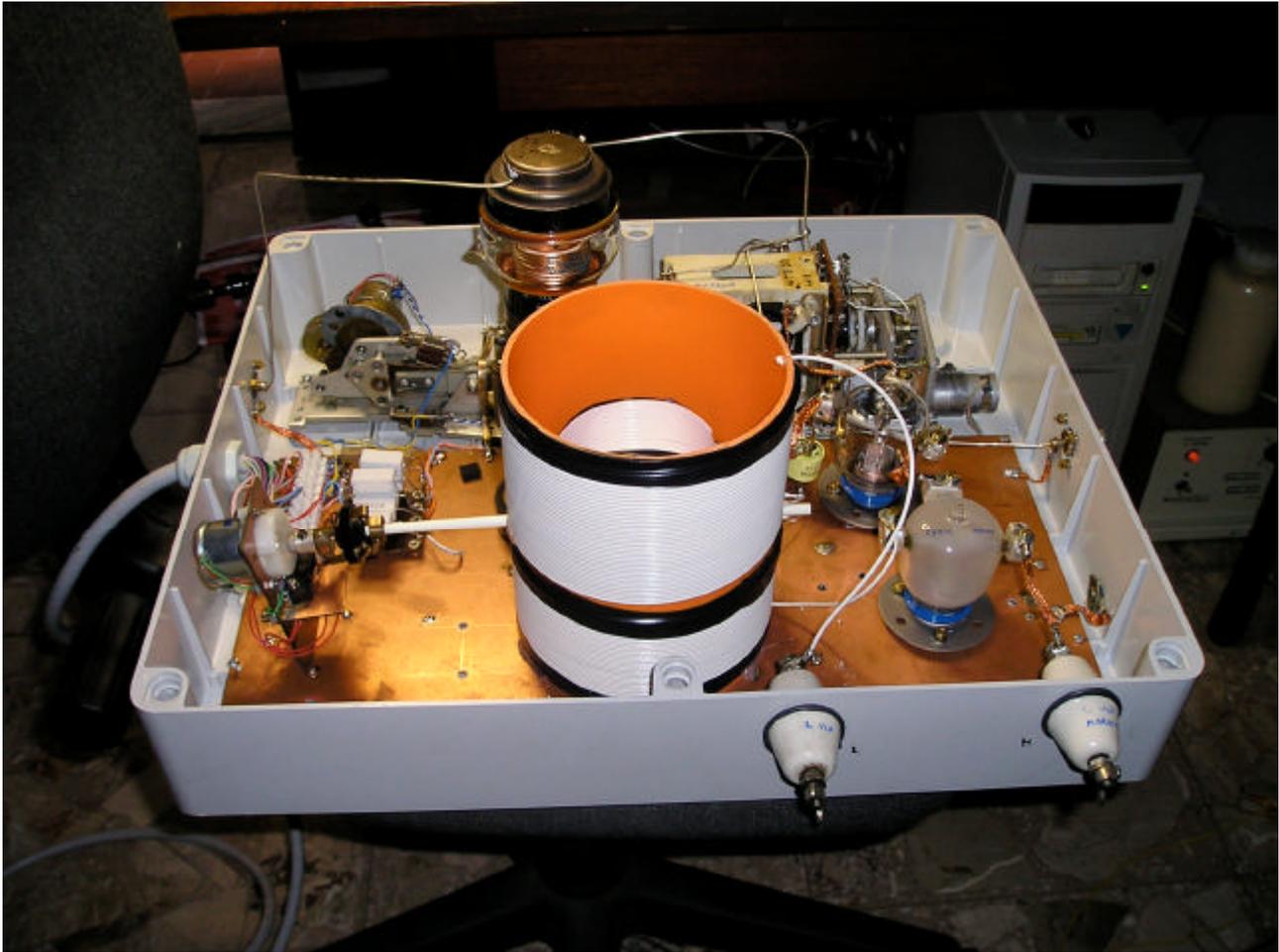


Fig. 11 accordatore remoto di antenna

Notare i relays sotto vuoto per le commutazioni d'antenna!

Due parole ancora sul variometro: si tratta di un simpatico modo per realizzare una induttanza variabile ideato all'inizio dello scorso secolo e ritornato di moda (almeno tra i radioamatori) con l'assegnazione della banda delle onde lunghe. È un componente analogo al "roller" ma decisamente più semplice da costruire e con il vantaggio di evitare i contatti striscianti che sono il punto debole del "roller". È una induttanza costituita da 2 o 3 bobine di cui una ruota o si sposta lungo l'asse della bobina principale. Nella versione dove una induttanza scivola dentro e fuori dall'altra (no non fatevi delle idee poi non nascono le induttanzine!) sostanzialmente si cambia la lunghezza della bobina e quindi si modifica il valore di induttanza. La versione a bobina rotante invece somma o sottrae l'induttanza mobile (comprensiva di autoinduttanza) a seconda dell'orientamento. Nell'esemplare che ho realizzato, le due bobine fisse hanno induttanza rispettivamente di 116 e 168  $\mu\text{H}$  mentre quella rotante è da 48  $\mu\text{H}$ . L'induttanza del variometro varia con continuità da 286 a 495  $\mu\text{H}$  presentando un valore di resistenza costante (nel roller la resistenza cambia con il variare delle spire attive).



Fig. 12 variometro per LF

- (1) EZNEC è un software per simulazione di antenne di W7EL
- (2) Low Band Dxing, 4 edizione, John Devoldere ON4UN, ARRL pagina 8-8
- (3) N2PK home made VNA su [www.n2pk.com](http://www.n2pk.com)

Marco Cadeddu, IK1HSS  
Via Postumia 26  
10141 Torino

[ik1hss@arrl.net](mailto:ik1hss@arrl.net)