

Domenico Marini • I8CVS
Via A. de Gasperi 89 - Parco Merola
80059 Torre del Greco (NA)

Antenna quadrifilare per 70 cm

Premessa

L'antenna quadrifilare trova applicazione in uplink e downlink, sia a bordo di satelliti che nelle stazioni terrene per uso commerciale, meteorologico e amatoriale oltre i 30 MHz.

Le caratteristiche principali sono un lobo di radiazione omnidirezionale a forma di cardoide il cui volume si sviluppa in un solo emisfero in cui il campo elettromagnetico è polarizzato circolarmente.

Questa peculiarità rende la quadrifilare utile quando è impossibile inseguire il satellite usando rotori per azimuth ed elevazione, come in mobile o nelle spedizioni, dove il volume delle antenne da trasportare rappresenta sempre un grosso problema.

La quadrifilare per 70 cm occupa un volume poco maggiore di una bottiglia da 2 litri, quando è sul palo quasi non si vede, costa poche migliaia di lire e, collegata a un FT-790 R con 4 metri di RG-213 senza alcun preamplificatore, consente di ascoltare in modo perfetto il downlink di FO-20 e FO-29 senza alcun QSB e ottimo rapporto S/N per tutto il tempo in cui i satelliti sono ad elevazione superiore a circa 20 gradi.

Durante le prove notturne fatte sul tetto per ascoltare le orbite più favorevoli mi sono reso conto che bisognava abbassare il volume dello FT-790 R per non svegliare i condomini dello stabile, tanto erano forti e chiari tutti i segnali degli europei.

Gli ascolti fatti nelle stesse condizioni su KO-23, utilizzando un preamplificatore da NF=0,5 dB, hanno permesso di ricevere il segnale con oltre 20 dB di rapporto S/N.

Anche IO-26 è stato ricevuto in buone condizioni nonostante le sue limitazioni di potenza.

Il crescente aumento di potenza EIRP dei prossimi satelliti, come P-3D, rende questa antenna particolarmente attraente per l'OM sperimentatore.

Caratteristiche tecniche

Il lobo di radiazione, visibile in **fig. 4**, ha un massimo verso l'alto in corrispondenza dell'asse Z ad angolo $\theta=0^\circ$ e per visualizzarlo basta pensare che il mast di sostegno della quadrifilare sia un palo che sale dal basso sovrapponendosi al raggio che in **fig. 4** va dai

180 gradi fino al centro del diagramma di radiazione.

Se ora facciamo ruotare il palo di 360 gradi insieme al foglio, otterremo che la parte del lobo tratteggiata in nero descrive un cardoide di rivoluzione il cui volume è proprio il lobo di radiazione nello spazio, la cui forma di emisfero rassomiglia esattamente a un solido a forma di mela o pomodoro col palo del mast infilato al posto del gambo.

Questo lobo si ottiene senza bisogno di mettere alcun riflettore sotto l'antenna, e ciò rappresenta un enorme vantaggio in risparmio di peso e spazio, purché l'altezza minima dell'antenna, da ogni superficie metallica sottostante, sia almeno $1/4 \lambda$.

L'antenna quadrifilare irradia solo in polarizzazione circolare o destra o sinistra, e il senso della polarizzazione dipende, come diremo, da come sono avvolte le spire (quella di **fig. 5** è destra RHCP).

La quadrifilare guadagna 5 dBic, ossia 5 dB rispetto all'isotropia polarizzata circolarmente, è omnidirezionale, occupa poco volume, e quindi è anche raccomandabile per ricevere i satelliti meteorologici da 136-138 MHz, gli Oscar, gli RS e i Microsat sia in 146 MHz che nella banda 435-438 MHz.

La quadrifilare è utilizzabile in uplink e downlink in 2 metri e 70 cm, e in modo particolare sarà efficace nelle stazioni mobili e portatili, in 23 e 13 cm per Phase-3D quando il futuro satellite orbiterà in prossimità del perigeo.

Date le piccole dimensioni della quadrifilare, questa sarà utile per migliorare la futura telefonia cellulare da satellite del progetto in corso IMT-2000 che opererà nella banda 1850-1910 MHz.

Per dare un'idea delle dimensioni contenute, basti pensare che una quadrifilare per 136 MHz è alta circa 57 cm, ha diametro di circa 35 cm e per funzionare correttamente basta montarla a un minimo di 55 cm dal suolo.

La prima quadrifilare amatoriale fu montata su Oscar-7 per il suo beacon dei 2304 MHz, era alta circa 3,5 cm, aveva un diametro di 2 cm, e pesava solo 20 grammi.

Questa quadrifilare fu progettata e realizzata da Walter Maxwell, W2DU nei laboratori della RCA Astro Electronics Division di Princeton, New Jersey.

W2DU è oggi l'OM più esperto in quadrifilari in assoluto, avendone progettate e rea-



Foto 8 - La quadrifilare per 70 cm in controllo al tramonto del sole sul Golfo di Napoli.

lizzate a centinaia, sia per scopi di ricerca presso la RCA, che per uso su satelliti meteorologici NOAA, TIROS, TIROS-N, ESSA, ITOS e anche militari.

W2DU tratta teoricamente questa antenna nel suo volume *Reflections* in (1) al Capitolo 22, *The Quadrifilar Helix Antenna*.

Questo capitolo, data la sua importanza, è stato riportato integralmente anche su ARRL *Antenna Book* in (2) e rappresenta lo scritto teorico più completo sulla quadrifilare, scritto da un OM per renderlo comprensibile all'OM.

La quadrifilare a polarizzazione circolare destra è anche adatta ai 29,4 MHz per ricevere gli RS giacché, se realizzata in cavo semirigido Cellflex 1/2", le sue dimensioni non sarebbero poi mostruose e anzi occuperebbero il volume di un cilindro alto solo 2,64 m con diametro di 1,75 m.

Tale quadrifilare dei 10 metri peserebbe quanto 21,5 m di cavo Cellflex da 1/2", ossia 7,5 kg, e potrebbe essere sostenuta da un leggero scheletro in legno con un palo di materiale isolante al centro che la tenga sollevata a soli 2,5 m da terra.

La quadrifilare è poco popolare fra gli OM, ma a torto, in quanto la bibliografia disponibile è principalmente teorica e non mi risulta che sia disponibile sul mercato.

In ogni modo, incuriosito dallo studio in bibliografia 1-2-3-4 e dai risultati positivi descritti da IOLYL che la usa per i meteorologici su 136-138 MHz, ho realizzato la quadrifilare per 435 MHz in RHCP ottenendo risultati lusinghieri, ma prima di vedere quanti etti di rame ci vogliono per costruirla, vediamo come l'antenna funziona e quanti dubbi restano ancora da sciogliere.

Sviluppo fisico della quadrifilare

L'antenna quadrifilare di **fig. 5**, o elica quadrifilare, è costituita da due eliche bifilari che si sviluppano lungo lo stesso asse avvolgendosi su due piani sempre perpendicolari fra loro occupando lo stesso volume.

Ciascuna delle due eliche bifilari è formata da due mezzespire lunghe ciascuna $1/2 \lambda$ e quindi l'antenna completa è costituita da quattro mezzespire lunghe ognuna circa mezza lunghezza d'onda.

Il modo per visualizzare un'elica bifilare formata da due mezzespire è quello di costruirla manualmente partendo da **fig. 1** che rappresenta il ben noto loop quadrato della cubical quad.

Ciascun lato di **fig. 1** è lungo $1/4 \lambda$ e il punto di alimentazione si trova al centro del lato orizzontale inferiore che è stato aperto alla sua metà.

Come si vede in **fig. 1**, fra ogni terminale della linea di alimentazione e il suo punto antipodale nel lato orizzontale opposto del loop, ci sono due tratti di conduttore comune, lunghi ciascuno $1/4 \lambda$ e che insieme formano il tratto L_e lungo in tutto $1/2 \lambda$.

Ovviamente il loop quadrato è costituito da due tratti L_e uguali, uno a sinistra e l'altro a destra ed entrambi vengono alimentati in modo bilanciato dalla stessa linea di trasmissione bifilare.

Siccome questo loop è il punto di partenza del ragionamento, lo chiameremo "configurazione loop bifilare $1/2 \lambda$ a mezzespire zero", proprio perché le due mezzespire non si vedono ancora.

Come si formano le mezzespire

Costruiamo per prova un piccolo loop quadrato di filo di rame da 3 mm con lati

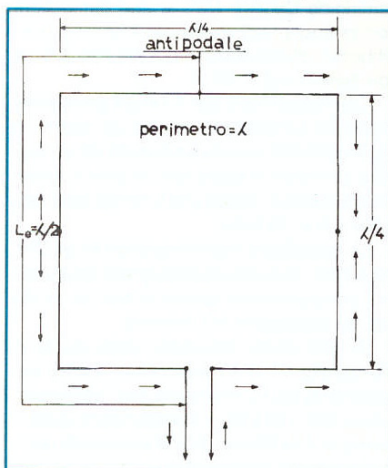


Fig.1 - Loop quadrato della cubical quad polarizzato orizzontalmente. Le frecce indicano il senso della corrente.

lunghi 10 cm e infiliamoci dentro un barattolo con diametro di 10 cm, ossia con $D=1/4 \lambda$ come se fossimo nell'interno del loop di **fig. 1**.

Stringiamo il lato inferiore del loop nelle ganasce di una morsa e con le due dita, pollice e indice insieme, ruotiamo in senso orario il lato superiore orizzontale del loop esattamente di 180 gradi rispetto al lato inferiore.

Come risultato, se l'altezza del barattolo è inferiore a 10 cm, vedremo che ciascuno dei due lati verticali dritti del loop quadrato, si è trasformato in un'elica di mezza spirale che si avvolge in modo sinistrorso intorno alla superficie del cilindro.

Siccome ora il percorso delle due mezzespire è più lungo di quando i due lati verticali erano dritti, ne consegue che l'altezza del loop diminuisce e diventa alto L_p che è minore di $1/4 \lambda$ come si vede in **fig. 2**.

Se facciamo in modo che il diametro del loop, che è $1/4 \lambda$, diminuisca e passi da 0, 25 λ a valori compresi fra 0, 156 e 0, 173 λ , allora le lunghezze assiali L_p della spirale in **fig. 2** aumenteranno rispettivamente fra 0, 238 e 0, 260 λ .

Queste particolari proporzioni migliorano notevolmente le caratteristiche di irradiazione dell'antenna e furono studiate teoricamente dall'ideatore della quadrifilare che è il Dr. C.C. Kilgus della Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, come riportato in bibliografia.

Caratteristiche di irradiazione

Ritorniamo a **fig. 1** che rappresenta il loop quadrato con perimetro $P=1 \lambda$ caratteristico della cubical-quad e che deriva dalla trasformazione di un dipolo ripiegato in un loop quadrato con lato di $1/4 \lambda$.

Nei punti intermedi dei due lati verticali la tensione è massima e la metà superiore del loop, composta dal lato orizzontale e dai due mezzi lati superiori verticali, costituisce $1/2 \lambda$ alimentato in tensione dal corrispondente $1/2 \lambda$ inferiore.

Come si vede dal senso delle frecce in **fig. 1**, le correnti nei due lati orizzontali inferiore e superiore circolano nello stesso senso e quindi i due campi polarizzati orizzontalmente sono in fase fra loro e si sommano rinforzandosi.

Se teniamo la **fig. 1** verticale davanti a noi possiamo immaginare che il loop irradia un lobo bidirezionale simmetrico a forma di 8.

Uno dei lobi dell'otto è rivolto verso di noi e l'altro è diretto verso la parte opposta a noi.

Il lobo di radiazione a forma di 8 è quindi perpendicolare al piano del loop o del foglio e questo modo di radiazione è chiamato "broadside".

I due nulli del lobo di radiazione a forma di 8 sono diretti uno a destra e l'altro a sinistra di **fig. 1** e giacciono entrambi lungo l'asse

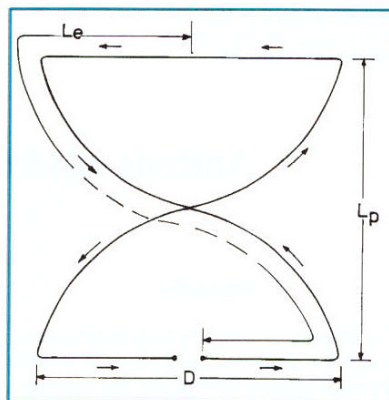


Fig. 2 - Trasformazione da loop quadrato di Fig.1 in elica bifilare a due mezzespire, ottenuta ruotando di 180 gradi il lato superiore rispetto a quello inferiore. La distanza L_e rappresenta la lunghezza di una spirale mentre le frecce indicano il senso della corrente.

orizzontale parallelo al foglio che passa per il centro dei due lati verticali del loop, contrassegnati dai due punti neri.

In ognuno dei lati verticali di **fig. 1** le correnti che circolano nella metà inferiore e superiore hanno senso contrario e quindi i campi polarizzati verticalmente sono in opposizione di fase fra loro e si cancellano a vicenda in tutte le direzioni.

La netta cancellazione di tutte le componenti polarizzate verticalmente determina una altrettanto netta polarizzazione orizzontale del loop, alimentato sulla metà del lato orizzontale inferiore, sfatando per inciso la credenza che la cubical-quad sia un'antenna che, alimentata in tal modo, irradia energia con polarizzazione anche verticale.

Passiamo ora alla **fig. 2** che rappresenta il loop ad elica bifilare di due mezzespire.

Siccome abbiamo ruotato di 180 gradi in senso orario il lato orizzontale superiore rispetto a quello inferiore, le due correnti, come mostrano le frecce, ora circolano in senso contrario rispetto al loop quadrato di **fig. 1**.

In conseguenza della rotazione di 180 gradi, i campi prodotti dai due lati orizzontali del loop a elica bifilare di **fig. 2** sono in opposizione di fase fra loro di 180 gradi e il lobo bidirezionale a forma di 8, che ora si forma, giace sullo stesso piano del foglio di **fig. 2** ma è diretto lungo l'asse longitudinale che passa centralmente da sopra a sotto nell'interno del loop.

Mezzo lobo è rivolto verso il lato superiore del loop e l'altro mezzo lobo è rivolto verso il lato inferiore del loop di **fig. 2**, così come avviene in un array end-fire.

End-fire significa che, se mettiamo la **fig. 2** verticale, il campo viene irradato con due lobi uguali, uno verso l'alto e l'altro verso il

basso del foglio, che è il piano su cui giacciono i due elementi orizzontali del loop.

Tenendo sempre la **fig. 2** verticale di fronte a noi, questa volta vedremo però che il campo verso la nostra direzione e verso la parte a noi opposta è nullo mentre prima, nel loop quadrato di **fig. 1**, dove le correnti nei due lati orizzontali erano in fase fra loro, un lobo era rivolto verso di noi e l'altro era diretto verso la parte a noi opposta.

Come si vede in **fig. 2**, i sensi delle correnti che circolano nelle due mezze spire non sono influenzati dalla rotazione meccanica di 180 gradi che abbiamo impresso al loop quadrato rispetto a quello inferiore e quindi conservano le stesse direzioni di quelle in **fig. 1**.

Tuttavia, a causa dell'avvolgimento elicoidale, le posizioni fisiche delle correnti elementari che ora circolano nelle due mezze spire verticali si sono spostate rispetto alle posizioni che le stesse correnti avevano nei due lati verticali di **fig. 1**, perché questi lati hanno assunto ora un nuovo orientamento elicoidale.

In conseguenza, lungo ogni mezza spira, ogni corrente elementare produce un rispettivo campo elementare la cui direzione e verso cambia da punto a punto.

Tutti questi campi elementari si compongono insieme e generano due campi risultanti che hanno polarizzazione orizzontale e verticale.

Sviluppo dell'antenna quadrifilare, sue correnti e campi

L'elica quadrifilare si costruisce partendo da quella bilare A-A' disegnata in **fig. 3**, inserendo sullo stesso asse longitudinale una seconda elica bifilare B-B' che occupa lo stesso volume comune in tratteggio, ma è ruotata di 90 gradi rispetto all'elica bilare A-A'.

I campi irradiati dall'elica bifilare B-B' sono identici a quelli irradiati dall'elica bilare A-A' ad eccezione del fatto che l'intero lobo di radiazione della bifilare B-B' è ruotato di 90 gradi rispetto a quello irradiato dalla bilare A-A'.

In conseguenza del montaggio delle due eliche a 90 gradi fra loro, i nulli della bilare A-A' e i massimi del campo irradiato dalla bifilare B-B' vengono a trovarsi negli stessi punti dello spazio circostante e viceversa.

Tuttavia, e questo è il punto importante, nelle due direzioni assiali opposte, sopra e sotto l'asse longitudinale Z di **fig. 3**, i campi irradiati dalle due eliche bifilari sono uguali e hanno la stessa intensità.

Come vedremo, se alimentiamo le due eliche con una opportuna differenza di fase di 90 gradi, i campi irradiati dalle due eliche bifilari A-A' e B-B' determinano un lobo di radiazione unidirezionale a forma di cardioide che occupa l'emisfero superiore di **fig. 4**.

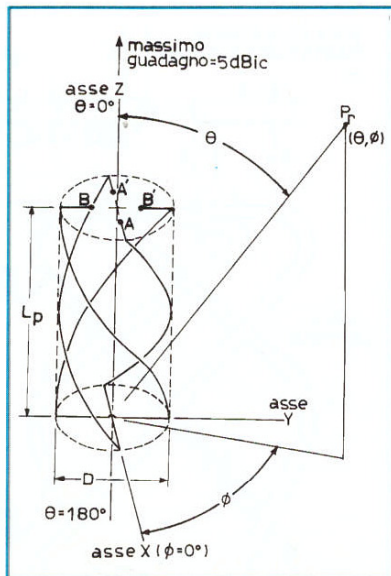


Fig. 3 - Antenna quadrifilare costituita da due eliche bifilari montate a 90 gradi fra loro come descritto nel testo.

Quando infatti le due eliche A-A' e B-B' sono alimentate in parallelo, ma le correnti hanno un ritardo di fase di 90 gradi fra loro, allora nello spazio del campo lontano si forma il lobo unidirezionale a forma di cardioide con un massimo di radiazione verso l'alto e un minimo verso il basso lungo l'asse Z di **fig. 3**.

Ciò si verifica perché avendo alimentato le due eliche con ritardo di fase di 90 gradi, i campi irradiati dalle due bifilari di **fig. 3** sono in fase e si sommano nella sola direzione con angolo $\theta=0^\circ$ verso l'alto dell'asse Z, mentre sono in opposizione di fase e si cancellano nell'altra direzione con angolo $\theta=180^\circ$ verso il basso dell'asse Z.

Nelle altre direzioni angolari di θ rispetto all'asse Z, e che sono comprese fra 0 e 180 gradi, la cancellazione non è perfetta e il risultato è un lobo di radiazione a forma di cardioide che si vede in **fig. 4**.

Se ora torniamo in **fig. 3** vediamo che il massimo guadagno di 5 dBic è in corrispondenza di $\theta = 0^\circ$ verso la parte superiore dell'asse Z che, tenendo l'antenna verticale, è rivolto in alto verso lo zenith.

In **fig. 3** notiamo anche che una delle eliche bifilari è orientata secondo l'asse X e l'altra secondo l'asse Y che sono a 90 gradi fra loro.

Se ora prendiamo un punto qualunque Pr nello spazio e lo uniamo con il centro dell'antenna, avremo costruito il vettore di Poynting alla cui estremità in Pr esiste una certa densità di potenza in W/metro quadro.

Se ora partiamo da X e facciamo ruotare il vettore di Poynting di un angolo $\phi=360^\circ$, il punto Pr descriverà un cerchio nello spazio

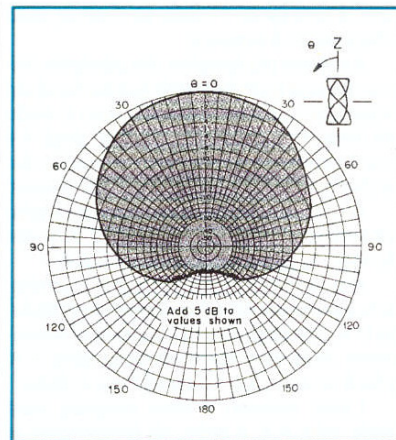


Fig. 4 - Lobo di radiazione di un'antenna quadrifilare costituita da quattro mezze spire lunghe ciascuna $1/2 \lambda$.

in cui il campo è uniforme su tutta la sua circonferenza.

Ripetiamo questa operazione facendo variare l'angolo θ per tutti gli infiniti angoli esistenti fra 0 e 180 gradi.

Otterremo così infiniti vettori di Poynting Pr, ognuno dei quali ha una densità di potenza che diminuisce man mano che l'angolo θ aumenta passando da un massimo a 0 gradi a un minimo a 180 gradi, come si vede in **fig. 4**.

Se ora per ogni vettore di Poynting facciamo ruotare l'angolo ϕ di 360 gradi, descriveremo infinite circonferenze orizzontali una sovrapposta all'altra e nel cui interno la densità di potenza è costante ma diversa da cerchio a cerchio.

L'insieme di tutti i cerchi descritti dalla variazione contemporanea degli angoli θ e ϕ , descrive la forma e il volume del cardioide di rivoluzione intorno all'asse Z che definisce il lobo di radiazione solido dell'antenna che si espande nello spazio.

Come si vede in **fig. 4**, il guadagno della quadrifilare verso l'alto è 5 dBic mentre il rapporto avanti-indietro, ossia il rapporto fra il campo irradiato verso l'alto e quello irradiato verso il palo di sostegno e quindi verso il basso, è maggiore di 20 dB.

Alimentazione della quadrifilare

Le due eliche bifilari richiedono alimentazione bilanciata e l'alimentazione mediante cavo richiede un balun.

Inoltre le due eliche bifilari devono essere alimentate in modo che fra una e l'altra esista una differenza di fase di 90 gradi che determina un lobo di radiazione unidirezionale verso l'alto.

L'anticipo o il ritardo della differenza di fase di 90 gradi determina un lobo di radiazione che può irradiare solo verso l'alto ma

Antenne

anche solo verso il basso se il senso dello sfasamento è sbagliato.

Il sistema più semplice che permette l'alimentazione bilanciata delle due eliche bifilari in parallelo, usando un singolo cavo in modo da ottenere il giusto ritardo di 90 gradi e il contemporaneo adattamento di impedenza, è chiamato "Infinite balun" che funziona così:

Se osserviamo **fig. 5** vediamo che il cavo coassiale si estende nei tratti 2-3-A' per formare la prima metà della spira A-A'.

Alla fine della mezza spira in A' il conduttore interno del cavo è collegato direttamente in A, che rappresenta il punto di alimentazione della seconda metà della spira A-A' che è un semplice filo conduttore in rame.

L'altro estremo 4 della seconda metà della spira A-A' è collegato direttamente al conduttore esterno del cavo coassiale in 2.

In tal modo la spira bifilare è chiusa sul punto antipodale dove entra la linea di alimentazione in cavo.

Supponiamo un momento che il conduttore B sia staccato da A. La corrente RF che circola nel conduttore interno del cavo, appena esce da A' trova l'unico percorso sulla superficie esterna della mezza spira che va verso A-5-4.

La corrente RF che circola invece nella superficie interna del conduttore esterno del cavo, che forma la mezza spira da 2-3-A', appena arriva sul bordo aperto del conduttore esterno del cavo gira intorno al bordo e circola all'indietro percorrendo la superficie esterna dello stesso cavo nei tratti da A' e 3 fino ad arrivare in 2.

Questa corrente che percorre il conduttore esterno del cavo è quella che ci serve per alimentare la mezza spira del radiatore A'-3-2.

Il fatto importante è che, da un punto di vista esterno, il punto A' rappresenta contemporaneamente la fine della linea di trasmissione in cavo e l'inizio della mezza spira A'-3-2.

Le due correnti che percorrono contemporaneamente la superficie interna e quella esterna del conduttore esterno del cavo coassiale che forma la mezza spira 2-3-A', non si influenzano affatto fra loro perché ognuna di queste due correnti percorre il "tubo" di rame per effetto pelle, interessandolo solo per una profondità di pochi micrometri e quindi le due correnti sono indipendenti una dall'altra.

L'unico punto comune delle due correnti è il bordo del "tubo" esterno di rame in A', dove la corrente che percorre la superficie interna esce, e gira sul bordo che diventa così il punto di partenza della corrente esterna che percorre il tubo all'esterno circolando all'indietro in senso contrario verso A'-3-2.

In queste condizioni è come se il cavo coassiale fra 2-3-A' fosse scomparso, ed è come se il generatore fosse collegato direttamente fra i punti A-A' che costituiscono i terminali di una linea bilanciata formata dalle due mezza spire che ora, "scomparso virtualmente il cavo coassiale", non richiedono più alcun balun.

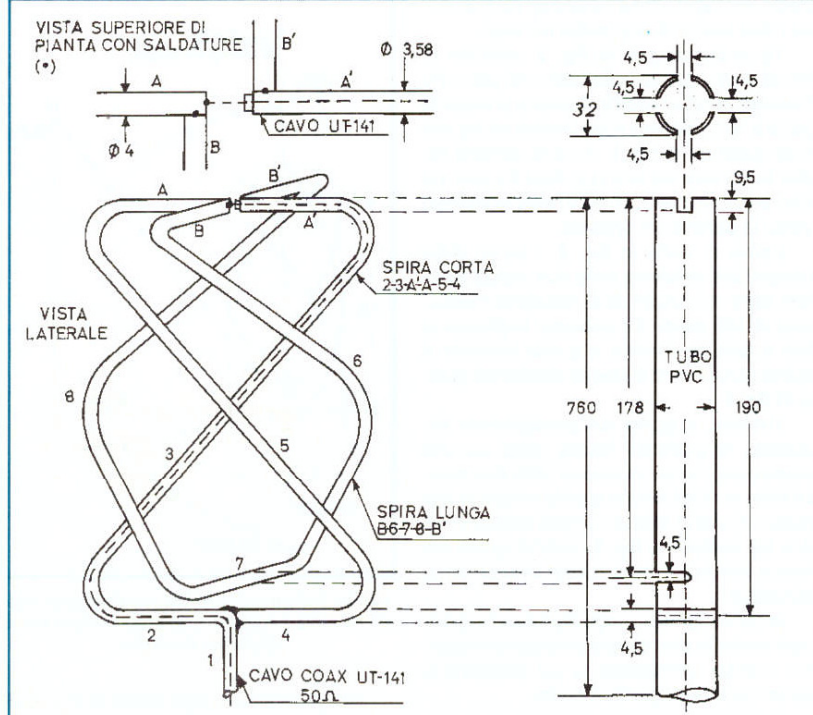


Fig. 5 - Disegno costruttivo dell'antenna quadrifilare. I numeri dei vari segmenti sulle spire vanno riferiti alle loro lunghezze in millimetri riportate in **fig. 6**. In alto a sinistra sono raffigurati i collegamenti fra le quattro mezza spire come descritto nel testo. Il tubo da 32 mm sulla destra si è rivelato superfluo ed è usato solo in parte ma le sue quote possono essere scalate per usare questo tipo di supporto per antenne più pesanti a frequenze più basse.

Lo sfasamento di 90 gradi

Lo sfasamento di 90 gradi fra le correnti che alimentano le due eliche bifilari serve solo per ottenere la unidirezionalità del lobo verso l'alto e a cancellare quello verso il basso dell'asse Z, ma non per ottenere la polarizzazione circolare.

La polarizzazione sarà destra RHCP se, come nell'esempio di **fig. 2**, abbiamo ruotato il lato superiore orizzontale di 180 gradi in senso orario, ma **attenzione** nella quadrifilare è tutto il contrario della elicoidale.

Nella quadrifilare, se l'elica è inclinata verso sinistra, la polarizzazione è circolare destra, mentre nella elicoidale la polarizzazione è circolare destra quando le spire avanzano il passo inclinate verso destra.

Il metodo riportato in alto di **fig. 5** consente di collegare fra loro gli estremi A+B, A'+B' e il conduttore interno di A' con A in modo da ottenere sia lo sfasamento di 90 gradi che l'adattamento di impedenza al cavo da $Z_0=50\Omega$.

Questo circuito è chiamato "self-phasing method" e per realizzarlo occorre che l'elica bifilare B-B' sia più lunga rispetto alla frequenza di risonanza dell'antenna e quindi presenti una ben precisa reattanza induttiva, mentre l'elica bifilare A-A' deve essere più corta rispetto alla frequenza di risonanza in

modo che presenti una reattanza capacitiva di valore assoluto uguale a quella induttiva ma di segno contrario.

L'elica più lunga B-B' viene calcolata affinché sia lunga $1,120\lambda$, in modo che alla frequenza di lavoro la reattanza induttiva XL ai terminali B-B' sia di valore uguale alla parte resistiva R dell'impedenza.

Similmente, l'elica bifilare più corta A-A' viene calcolata in modo che sia lunga $1,016\lambda$, in modo che una volta collegata alla spira lunga presenti reattanza capacitiva $X_c=R$ alla frequenza di lavoro.

Il fatto che nella spira lunga B-B', la parte resistiva R dell'impedenza abbia lo stesso valore assoluto della reattanza induttiva +XL e che nella spira corta A-A' la componente reattiva -Xc abbia lo stesso valore assoluto della stessa parte resistiva R dell'impedenza, è molto importante.

Quando $+XL=R$ si verifica la condizione che la corrente è in ritardo di 45 gradi e quando $-X_c=R$, si verifica che la corrente è in anticipo di 45 gradi.

Quando le due eliche bifilari sono collegate in parallelo, la somma dei due ritardi della corrente è proprio di 90 gradi che ci servono per cancellare il lobo di radiazione lungo l'asse Z di **fig. 3** in corrispondenza di $\theta=180^\circ$, ossia verso il basso.

Antenne

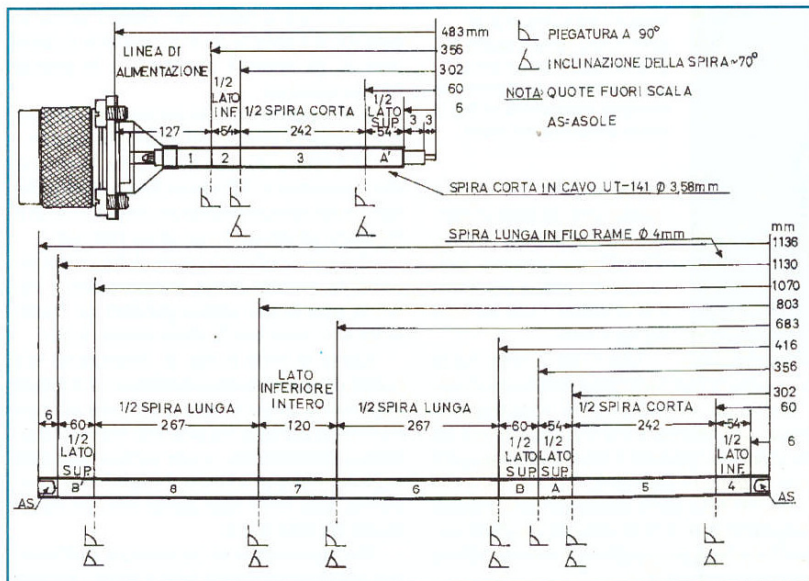


Fig. 6 - La spirale corta e quella lunga della quadrifilare sono state divise in segmenti numerati per facilitare la sagomatura delle spire in conformità al disegno costruttivo di Fig. 5. Le quote possono essere scalate per frequenze diverse come descritto nel testo.

Siccome le due reattanze $+X_L$ e $-X_C$ sono uguali e di segno contrario, queste si cancellano a vicenda e alla frequenza di lavoro resta un'impedenza puramente resistiva.

Siccome le due eliche bifilari sono in parallelo e l'impedenza della quadrifilare è circa $Z=34+j0 \Omega$ si deduce che alla frequenza di lavoro l'impedenza della spirale lunga sia circa $Z=68+j68 \Omega$ e che l'impedenza della spirale corta sia $Z=68-j68 \Omega$.

Queste due impedenze, riferite alla $Z_0=50 \Omega$ della linea, danno luogo rispettivamente a un ritardo di 45 gradi e un anticipo di 45 gradi che sommati fra loro danno uno sfasamento complessivo di 90 gradi, mentre il ROS a risonanza risulta di circa $50/34=1,47$ a cui corrisponde un return loss = -15 dB circa.

Le dimensioni delle eliche bifilari, che occorrono per ottenere queste relazioni di fase usando conduttore con diametro di 0,0088 lambda, sono:

	Elica bifilare corta A-A'	Elica bifilare lunga B-B'
Diametro D:	0,156 λ	0,173 λ
Lunghezza Lp:	0,238 λ	0,260 λ
Lunghezza spira Le:	1,016 λ	1,120 λ

Realizzazione della quadrifilare

La costruzione è molto semplice. Con riferimento a Fig. 6, procurarsi mezzo metro di cavo semirigido UT-141 con guaina esterna in rame non stagnato e tagliarne esattamente 483 mm.

Intestare una delle estremità con un connettore N maschio o femmina del tipo per cavo UT-141 come si vede in foto 1 e 2.

Raddrizzare accuratamente il cavo che ha diametro esterno 3,58 mm, e partendo dalla parte opposta al connettore, contrassegnare le quote 6-60-302-356 mm utilizzando un pennarello sottile indelebile.

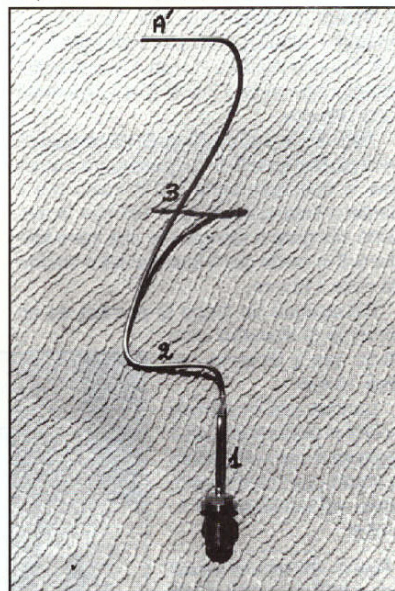


Foto 1 - La mezza spirale corta è stata sagomata in conformità al disegno costruttivo di Fig. 5 che riporta gli stessi numeri per identificare i vari segmenti di spirale.

Asportare 6 mm di guaina usando una piccola tagliatubi USAG per diametri da 3 a 16 mm e poi tagliare e asportare 3 mm di teflon usando una lametta da barba.

Così facendo abbiamo preparato metà della spirale corta che si vede in Fig. 5 e foto 1.

Procurarsi ora 1,5 metri di filo di rame ricotto diametro 4 mm e non smaltato, che viene usato comunemente dai bobinatori di grossi motori elettrici.

Se il filo si trova trafilato crudo, occorre ricuocerlo sulla fiamma di un fornello a gas per renderlo duttile.

Si può anche utilizzare del tubetto in rame da 4 mm usato dai riparatori di serpentine per frigoriferi.

Siccome ho realizzato questa antenna in agosto, non trovando negozi aperti ho dovuto sacrificare per forza del cavo UT-141 che avevo di scorta e in tal caso il conduttore interno del cavo va ripiegato e saldato sul tubo esterno in rame.

Tagliare esattamente 1136 mm del conduttore con diametro 4 mm che si riesce a trovare.

La lunghezza di 1136 mm rappresenta l'altra metà di spirale corta più tutto il resto della spirale lunga.

Partendo dall'estremo di destra di Fig. 6, contrassegnare col pennarello le quote 6-60-302-356-416-683-803-1070-1130-1136 mm e usando una limetta a coda di porco scavare le due asole AS agli estremi del conduttore facendo attenzione che entrambe vengano allineate e simmetriche come in Fig. 6.

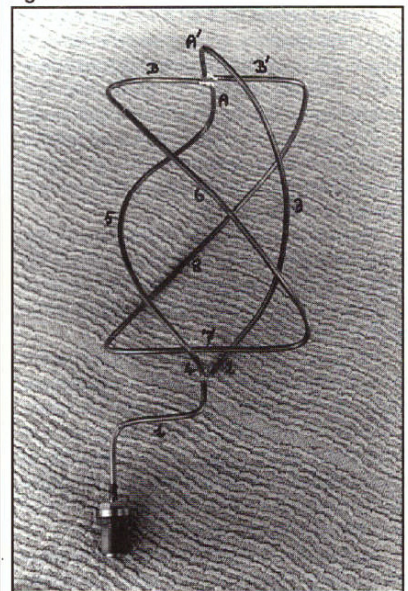


Foto 2 - Tutta la quadrifilare è stata sagomata e tutte le saldature sono state eseguite. I numeri dei vari segmenti sono gli stessi di Fig. 5 anche se la vista di prospetto rende la forma della quadrifilare apparentemente diversa.

Antenne

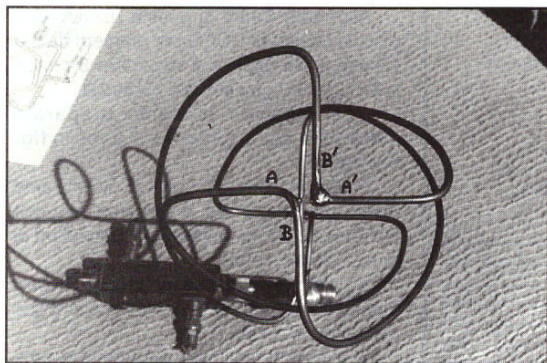


Foto 3 - Gli estremi A-A' della spira corta e quelli B-B' della spira lunga sono stati saldati in conformità al disegno costruttivo di Fig. 5 come descritto nel testo.

mente in **foto 3** e questa operazione va fatta infilando accuratamente il cavo UT-141 nell'interno dell'asola AS che si trova alla fine di quota 1136 mm del filo da 4 mm.

Ora il più è fatto ma le due eliche bifilari saranno certamente storte e andranno accuratamente sagomate in modo che i segmenti 2 e 4 siano allineati fra loro e che il segmento 7 risulti incrociato a 90 gradi rispetto al segmento 2 e 4.

Inoltre nella parte superiore dell'antenna i segmenti A-A' e B-B' devono risultare entrambi perfettamente allineati e incrociati fra loro come in **foto 3**.

La cosa più importante da controllare è che il tratto superiore A-A' risulti allineato e parallelo con quello inferiore 2 e 4 e che il tratto superiore B-B' risulti allineato e parallelo col segmento inferiore 7 come in **foto 3**.

Bisogna anche ricontrollare che il segmento 7 risulti incrociato a 90 gradi rispetto al tratto 2-4 come in **foto 2**.

Quando ciò è realizzato, allora sicuramente il conduttore interno del cavo UT-141 all'uscita di A' risulterà in corrispondenza di A e vi potrà essere saldato a stagno, come risulta chiaramente in **foto 3**.

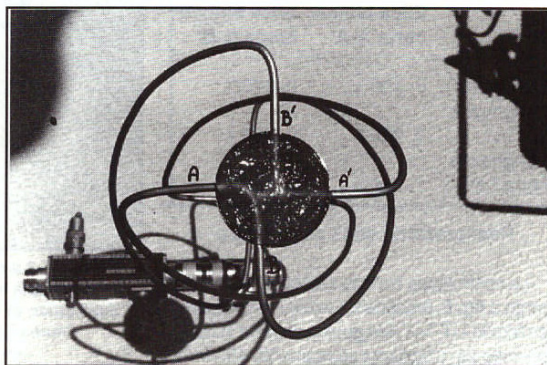
Stirare o comprimere tutta l'antenna in modo che l'altezza interna fra il lato superiore A-A' e quello inferiore 2-4 sia 178 mm e che l'altezza interna fra il lato B-B' e il segmento 7 sia 166 mm.

Aggiustare a circa 70 gradi l'inclinazione delle quattro spire 3-5-6-8 e allargare o stringere le due spire corte 3-5 in modo che il diametro interno risulti circa 107 mm, dopodiché allargare o stringere le due spire lunghe 6-8 in modo che il loro diametro interno sia circa 119 mm.

Recuperare un tappo di plastica da un barattolo di diametro circa 45-50 mm e battente alto circa 10 mm.

Usando una lima tonda a coda di porco praticare 4 asole da 4 mm sul battente in modo che risultino allineate coi lati superiori A-A'-B-B'.

Foto 4 - Gli estremi saldati A-A' e B-B' sono stati chiusi dentro un coperchio di protezione e sigillati con candelotti di silicone termoisolante colato a caldo.



Incastrare il tappo dal disotto come in **foto 4** e 5 e colarci dentro il silicone a caldo usando gli appositi candelotti e la pistola termoincollante.

Non usare il normale silicone trasparente che contiene acetato ed è fonte di perdite.

Acquistare un tubo in PVC da 1" che ha diametro esterno 32 mm e interno 26 mm, del tipo usato comunemente per impianti idrici e tagliarne un pezzo lungo circa 760 mm.

Questa lunghezza renderà l'antenna facilmente maneggevole, trasportabile e volendo allungabile aggiungendoci un manico e un altro pezzo dello stesso tubo.

Come si vede in **fig. 5**, l'intenzione era quella di incastrare la quadrifilare nei 4 intagli superiori a croce e nelle due asole inferiori incrociate del tubo ma alla fine, vista la robustezza dell'antenna, e per evitare materiali estranei nel suo interno, ho preferito incastrarla solo nelle due asole inferiori come risulta da **foto 5** e 8.

Per aumentare la robustezza dell'insieme, ho sagomato a squadra il tratto 1 di cavo UT-141 infilandolo in un solco longitudinale praticato nel tubo in PVC bloccando il connettore N in una staffa di vetronite infilata nello stesso tubo.

Quando tutte le asole e i solchi sono stati preparati, serrare il tubo in PVC dentro una morsa bloccandolo verticale e incastrare i lati 2-4 e 7 della quadrifilare nelle due asole inferiori infilando il gomito 1 nel solco longitudinale come si vede in **foto 5**.

Allineare l'antenna col tubo in PVC servendosi di sottili fili di rame da 0,5 mm legandoli alle spire e ancorandoli nei punti fissi più vicini e convenienti allo scopo.

Colare UHU Plus a due componenti nelle asole e nel foro da 32 mm per fissare la staffa del connettore mescolando un po' più di legante bianco che indurente giallo.

UHU Plus è araldite e dopo 24 ore indurisce a temperatura ambiente rendendo l'antenna inamovibile.

E' opportuno colare UHU Plus nelle asole più volte dopo il primo indurimento in modo da riempirle completamente.

A indurimento avvenuto ricontrollare l'allineamento, l'altezza e i diametri delle eliche

Ora possiamo cominciare la sagomatura della mezza spira corta e pieghiamo a 90 gradi il cavo in corrispondenza di quota 356 mm fra i segmenti 1 e 2, usando come raggio di curvatura una punta da trapano da 5 mm.

Con riferimento a **fig. 5** e **foto 1** e 2 sagomare i segmenti di spira 2-3-A' tenendo presente che le pieghe fra 2-3 e 3-A' vanno fatte su una punta da trapano da 9 mm.

Siccome l'antenna deve essere a polarizzazione circolare destra, tenendo il cavo verticale bisogna conferire al gomito fra 2 e 3 una inclinazione di circa 70 gradi verso la nostra sinistra, come si vede in **foto 2**.

Ora bisogna passare al filo lungo 1136 mm facendo la piega a quota 60 fra i segmenti 4 e 5, sagomando la curva su punta da trapano diametro 9 mm.

Il gomito fra 4 e 5 va inclinato a 70 gradi verso sinistra dopodiché si farà la piega a quota 302 mm su punta da 9 mm fra i segmenti 5 ed A.

Anche il gomito fra 5 ed A va inclinato a 70 gradi verso sinistra e, come si vede nel disegno in **fig. 6**, tutti i punti in cui la piega a 90 gradi deve essere inclinata anche a 70 gradi sono stati contrassegnati dal doppio simbolo degli angoli.

Ora bisogna fare una piega a 90 gradi a quota 356 mm fra i segmenti A e B con raggio di curvatura piccolissimo piegando il conduttore su punta da 3,5 mm.

Aiutandosi con le **foto 2-3-4-5** e con **fig. 5** occorre piegare e sagomare tutto il filo lungo 1136 mm senza preoccuparsi tanto se inizialmente la forma non viene proprio come quella in **foto 2**.

Facendo questo lavoro la cosa più importante è non sbagliare a piegare le quote per non buttare via tutto e cominciare da capo.

Quando tutte le pieghe a 90 gradi e le inclinazioni a 70 gradi sono eseguite, la prima cosa da fare è la saldatura a stagno fra l'estremo del segmento 4 e la guaina in rame del cavo UT-141 sul gomito fra 1 e 2.

La saldatura va fatta accuratamente dopo aver infilato l'asola AS sul cavo coassiale UT-141 facendo in modo che lo stagno prenda su tutta la periferia dell'asola.

Il passo successivo è quello di saldare a 90 gradi fra loro l'estremo B' del filo all'estremo A' del cavo UT-141, come si vede chiara-

Antenne

bifilari e riempire di silicone a caldo la parte superiore del tubo in corrispondenza delle asole e del solco.

Per finire il lavoro, come si vede in **foto 5**, coprire il tubo col coperchio in plastica di un contenitore da rollini fotografici e bloccarlo col silicone.

Se guardando la quadrifilare da punti diversi sembra sempre di forma diversa, non preoccuparsi, non è sbagliata, perché la quadrifilare fa come un caleidoscopio e come appare in **foto 5** si può vedere da un punto solo, quello da cui è fotografata.

Prove e misure

La prima misura che ho fatto è stata il ROS usando il Bird 43 con testina da 10 W e circa 1 m di RG-213 fra Bird ed antenna.

Tenendo la quadrifilare lontana da ostacoli vicini, si misura $ROS=1,25$ circa ma, toccando i lati inferiori e superiori delle eliche, il ROS varia notevolmente mentre cambia pochissimo aumentando o diminuendo l'altezza dell'antenna dal suolo.

Alimentando l'antenna con 10 W si riesce ad accendere una lampadina a incandescenza GE 47 per spie a 6 V tenendola fra le dita sul vetro e toccandola con lo zoccolo sulle spire, mentre i residui di aria nell'interno del bulbo si ionizzano con luminescenza bluastro e la luminosità è massima al centro delle spire ma scompare nell'interno.



Foto 5 - L'antenna montata in opera, da cui si possono studiare tutti i dettagli costruttivi utili per la duplicazione. Le piccole dimensioni della quadrifilare per 435 MHz con guadagno di 5 dBic sono messe in evidenza dal paragone con le misure del suo connettore N in basso.

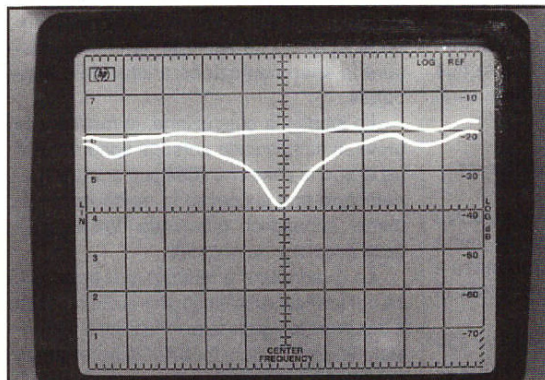


Foto 6 - Misura del return loss: Il riferimento della potenza incidente è -20 dBm. Center frequency 435 MHz; Scan width 20 MHz/div; Vertical 10 dB/div. Il return loss si mantiene circa costante a -20 dB ($ROS=1,22$) entro una banda di 5 MHz

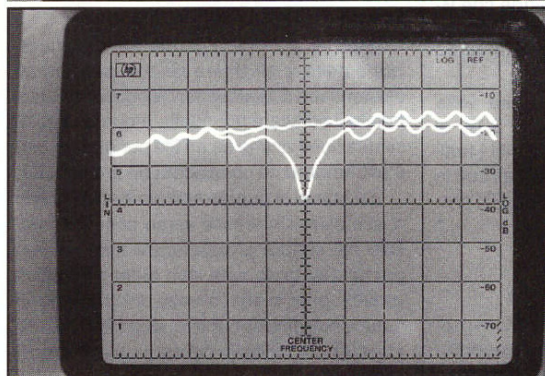


Foto 7 - Misura del return loss: Come in Foto-6 ma con scan width di 50 MHz/div. Il return loss di -20 dB alla frequenza centrale di lavoro 435 MHz con $ROS=1,22$, unitamente all'andamento del ROS sopra e sotto la risonanza, indicano che le lunghezze della spira corta A-A' e quella lunga B-B' sono esattamente calcolate.

Con 100 W, una lampada al neon GE NE-51, dopo averla innescata su una spira, si disinnescava allontanandola di circa 15 cm ma a questo punto le prove vanno sospese in quanto l'esposizione per lungo tempo a campi così elevati a 435 MHz, con l'antenna davanti agli occhi, produce la cataratta.

Misure più conclusive di return loss sono state fatte su analizzatore di spettro HP-141 e cassetto HP 8555A con tracking generator HP 8444A.

Alimentando l'antenna tramite accoppiatore direzionale EME 7020/30 A con direttività di 35 dB si è misurato il return loss di **foto 6** con scan width di 20 MHz/divisione e quello di **fig. 7** con scan width di 50 MHz/divisione.

Il riferimento della potenza incidente si trova a -20 dBm e come si osserva in **foto 6** e **7**, le curve di return loss hanno il massimo valore sull'asse center frequency sintonizzato su 435 MHz.

Ciò è molto importante perché il return loss di circa -20 dB sulla frequenza di lavoro,

Tabella 1

Spira corta (mm)				Spira lunga (mm)		
f	D	Lp	A-A'	D	Lp	B-B'
137 MHz	342	521	2225	379	569	2452
146 MHz	320	489	2087	355	534	2301
435 MHz	107	164	700	119	179	774
Qualunque frequenza	0,156 λ	0,238 λ	1,016 λ	0,173 λ	0,260 λ	1,120 λ

D = Diametro interno della spira
Lp = Altezza della spira (Figg-3 e 5)
A-A' = Lunghezza totale spira corta
B-B' = Lunghezza totale spira lunga

Nota: Le lunghezze sono riferite a un diametro del conduttore pari a 0,0088 lambda. Per le frequenze più basse come 136 e 144 MHz il diametro del conduttore è circa 20 mm per cui si può usare cavo Cellflex il cui conduttore esterno è in guaina di rame corrugata. Il Cellflex 1/2" ha diametro esterno 13,7 mm e meglio ancora il 5/8" che ha diametro esterno 17,2 mm.

che resta circa costante entro una banda di 5 MHz, unitamente alla simmetria dei due fianchi della curva, dimostrano che le due lunghezze di spira lunga e spira corta sono state calcolate con esattezza.

La quadrifilare su frequenze diverse

Per ottenere le lunghezze della mezza spira corta e della spira lunga più metà spira corta su qualunque altra frequenza è sufficiente scalare tutte le dimensioni di fig. 6.

Per esempio, la spira lunga B-B' dei 435 MHz è lunga in tutto 774 mm e siccome $\lambda = 689,65$ mm ne consegue che B-B' è lunga $774/689,65 = 1,120 \lambda$ come riportato dalla tabella 1 che è stata rielaborata dal riferimento bibliografico 3.

Il vantaggio di fig. 6 è che una volta scalate le due lunghezze A-A' e B-B', si possono ricavare le lunghezze di tutti i tratti di spira numerati da 1 a 8 e identificati con le lettere A A' B B' facendo delle semplici proporzioni per qualunque frequenza.

Conclusioni

Lo studio teorico e la realizzazione pratica di questa antenna hanno rappresentato un'esperienza molto interessante che

ha dato risultati soddisfacenti ma resterebbe incompleta se altri OM non continuassero la sperimentazione anche sulle altre bande.

Lo studio, la costruzione, le misure e le prove in campo sulle antenne sono rimaste fra le poche cose che l'OM può ancora sperimentare con successo in modo estremamente economico ottenendo dati tangibili dalla ricezione dei segnali.

La quadrifilare è indicata per eccellenza nel traffico uplink e downlink via satellite e per quanto riguarda prestazioni e dimensioni in applicazioni mobili o di emergenza nel futuro avrà come rivale solo l'antenna patch.

Non ho ancora visto dei file di simulazione della quadrifilare nei vari programmi esistenti ma il Mininec for Windows è certamente il software più adatto a questo tipo di simulazione anche se un file per quadrifilare è estremamente complicato da architetture.

Lo scopo di questo articolo è stato quello di stimolare l'interesse verso cose già vecchie nel settore professionale spaziale ma per noi OM poco note, non tanto per cattiva volontà, quanto per carenza di informazione pratica che dica appunto quanti etti di rame o alluminio ci vogliono per fare un'antenna di tipo nuovo.

Ora gli etti ci sono e chi volesse approfondire l'argomento quadrifilare e non disponesse della bibliografia citata, che è quella fondamentale, può chiederla in copia allo scrivente.

Sulla quadrifilare restano diversi dubbi da sciogliere e spero di farlo con la collaborazione di chi leggendo l'articolo e studiando attentamente la bibliografia, si accorgerà da solo che occorre un approfondimento ulteriore.

Bibliografia

- 1) "Reflections Transmission Lines and Antennas" by M. Walter Maxwell, W2DU: ARRL Order No 2995 ISBN 0-87259-299-5 costo \$ 20.00
- 2) "The ARRL Antenna Book": Published by the American Radio Relay League, Costo \$ 18.00
- 3) "The Satellite Experimenter's Handbook": by Martin Davidoff, K2UBC, 2nd Edition ARRL Order No 3185, costo \$ 20.00
- 4) "The AMSAT Journal" March/April 1994 Quadrifilar Antennas for Amateur and 137 MHz Satellites, by Dave Guimont, WB6LLO

Personaggi delle VHF: IK5UBM Luca Scatena

QUESTA rivista ospita spesso profili d'OM che caratterizzano il panorama radiantistico. Molti altri però ve ne sono che lasciano una loro impronta, senza essere noti alla maggioranza di noi.

Uno di questi è stato senz'altro Luca Scatena, IK5UBM.

Luca, conseguita la licenza speciale come IW5CUT nel 1990, si dedicò subito all'attività via satellite con notevole successo, fu in quel periodo che lo conobbi, io ero impegnato nel DX in VHF abbastanza seriamente e stavo facendo i primi passi nell'EME in 144 MHz.

Nacque subito tra noi un sodalizio strettissimo, era avido di apprendere tutte le tecniche del DX VHF e la sua abilità e la voglia di fare lo portarono ben presto a livelli elevati.

Nel frattempo conseguiva la licenza ordinaria come IK5UBM. Nel 1992 a causa di lavori alla casa dove abitavo dovetti smontare la stazione e non sapendo dove mettere parecchio del materiale in mio possesso, e dispiaciuto del fatto di dover fare QRT in EME per un bel po' di tempo, così per scherzo gli proposi di cominciare l'attività EME con il mio PA.

Un po' spaventato accettò la sfida ma invece di buttarsi a capofitto negli sked, cominciò un periodo d'ascolto che lo impratichì e portò il suo CW a livelli ottimali.

Il primo QSO fu fatto naturalmente con W5UN, random, senza shed usando solo il 790. Uno dei pochi a collegarlo con 45 W. Le sue antenne del tempo erano due 17 el F9FT.

Di lì in poi fu una vera escalation, di cui assaporo con gioia ogni momento, visto che ne sono stato anch'io partecipe e coadiutore.

Decise dunque di dotarsi di una potenza adeguata, e qui sfruttò la sua magnifica capacità d'artigiano, "replicando" il mio PA prestabilito, ma rifacendolo molto migliorato. Di lì a poco seguirono le nuove antenne, tipo DJ9BV studiate, elaborate e modificate all'inverosimile, la lunga e difficile scelta dell'alluminio giusto, poi il successo con la verifica al Symposium d'Orvieto e dunque via verso il DX, verso la Luna!

Nel frattempo lo aiutavo con soddisfazione nella parte elettrica ed elettronica delle sue realizzazioni: mi ha ripagato dieci volte quello che ho fatto per lui.

Luca amava fare radio, montare le due nuove antenne, e finalmente QRO si buttò questa volta sì a capofitto nel DX: tropo, ES, Meteor Scatter, Fai ed Eme, giungendo in pochi anni a superare il traguardo dei 300 squares lavorati da una posizione come la nostra, la piana di Lucca, completamente circondata da colline e montagne fino a 2000m.

In Eme superò rapidamente le 100 stazioni lavorate, e molti sentendo la forza del suo segnale riflesso dalla luna non credevano che fosse generato da sole due yagi di quattro λ , al punto che fu eletto "leader mondiale delle stazioni con due yagi".

Nel 1994 ebbi l'idea di ritornare all'Eme su una nuova frequenza: i 432, ma necessitavo del PA, e non mi ritenevo in grado di costruirne uno completamente, specialmente la cavità RF.

E qui il grande Luca intervenne, e non me lo costrui, ma mi guidò passo per passo nella costruzione, correggendo i miei errori, furono sei mesi di lavoro fianco a fianco, e fu così che veramente compresi l'essenza del radiantismo: io che ero stato un suo "maestro" alle VHF diventavo ora suo allievo, e lui ex allievo aveva spiegato le ali, era lui il maestro e superiore a me.

Questa è la gran forza educativa della radio, farne un mezzo di crescita personale per noi e per chi ci è vicino.

Vi chiederete come mai parlo di IK5UBM al passato, purtroppo Luca è stato come una meteora che ha attraversato le nostre esistenze, ha brillato di luce propria, ma troppo presto si è spento, lasciando i suoi amici sgomenti e la sua giovane famiglia nel dolore.

Questo scritto non vuole essere un necrologio, ma solo il racconto dell'esperienza breve ma straordinaria di un OM come noi.

73 Luca Cu Agn de IK5QLO