

Antenna Loop ed Adattamento di Impedenza

Lo scopo di questo articolo e' quello di descrivere una antenna loop ad onda intera realizzata per la gamma degli 80 metri e prendere spunto da tale descrizione per discutere due metodi per l'adattamento di impedenza.

L'antenna realizzata deve risuonare intorno ai 3.7 Mc/s, assumiamo quindi una lunghezza d'onda:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300 \cdot 10^6}{3.7 \cdot 10^6} \simeq 81m \quad [1]$$

Dove v e' la velocita' di propagazione nel vuoto (velocita' della luce o 300.000.000 m/s) e f e' la frequenza di interesse (3.7 Mc/s).

La lunghezza fisica dell'antenna loop e' leggermente superiore della sua lunghezza elettrica (di circa il 2%). La lunghezza del filo utilizzato per costruire il loop (nel mio caso ho utilizzato trecciola isolata da 1.5mm) sara' quindi circa 82-83 metri.

Il loop da me realizzato e' un quadrato di circa 20.5x20.5 metri. Un lato (verticale) di questo quadrato e' ancorato al traliccio che utilizzo per la beam e l'altro lato verticale e' ancorato a un palo per antenne TV con opportuna prolunga per portarlo ad un'altezza adeguata.

In corrispondenza dei vertici superiori del quadrato ho utilizzato due piccole carrucole per far scorrere il filo. Questo accorgimento mi consente, dopo aver sganciato la parte inferiore del loop, di ruotare l'antenna per poter scegliere tra polarizzazione orizzontale (alimentazione in basso al centro) o verticale (alimentazione al centro di uno dei due lati verticali).

La figura 1 mostra schematicamente il loop da me realizzato.

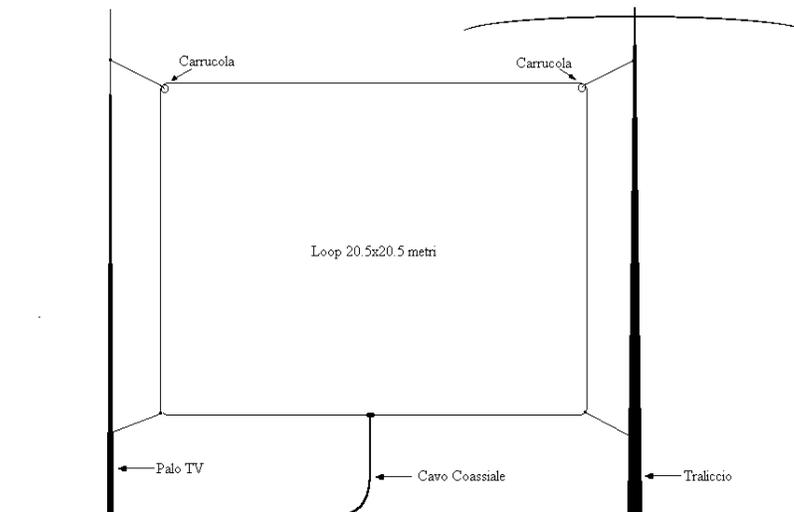


Fig.1 – Loop per gli 80m

Per la realizzazione del loop possono essere scelte forme diverse da un quadrato (rombo, triangolo, rettangolo, ecc.). Va però ricordato che all'aumentare dell'appiattimento dell'antenna (ad esempio aumentando lo "schiacciamento" di un rettangolo) il comportamento del loop tende ad uguagliare quello di un dipolo ripiegato. Si rimanda alla bibliografia per una trattazione più dettagliata di questo comportamento.

Un'antenna come quella da me realizzata presenta un guadagno teorico nell'ordine di 2 dB rispetto al dipolo a mezz'onda, con una direzione di massima radiazione ortogonale al piano contenente il loop. L'impedenza tipica di questa antenna è intorno ai 100 Ω. Si rende quindi necessario un'adattamento di impedenza per la connessione dell'antenna al ricetrasmittitore, tipicamente progettato per essere utilizzato con un carico intorno ai 50 Ω.

Il resto di questo articolo discute un paio di semplici metodi utilizzabili per adattare l'impedenza non soltanto di un'antenna loop, ma anche altre di antenne con impedenze di diverso valore.

Il trasformatore $\frac{1}{4} \lambda$

Il metodo più utilizzato per adattare l'impedenza di un loop ad onda intera e' quello di inserire un tratto di coassiale da 70 Ω lungo $\frac{1}{4} \lambda$ tra l'antenna e la discesa da 50 Ω.

Tale scelta nasce dal comportamento di un tratto di linea coassiale lunga un multiplo dispari di un quarto della lunghezza d'onda di interesse.

Questo comportamento è ben descritto dalla formula:

$$Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad [2]$$

Dove Z_{in} è l'impedenza di ingresso (i circa 50 Ω del ricetrasmittitore e del cavo coassiale usato per la discesa), Z_0 è l'impedenza del tratto di cavo utilizzato per fornire l'adattamento di impedenza e Z_L è l'impedenza del carico (antenna).

Una volta note le impedenze dell'antenna e della discesa/ricetrasmittitore, è quindi immediato trovare l'impedenza del cavo necessario alla costruzione del segmento da $\frac{1}{4} \lambda$.

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_L} \quad [3]$$

Nel nostro caso, usando ad esempio cavo RG-58 (53.5 Ω), per un carico con impedenza uguale a 100 Ω otteniamo:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_L} = \sqrt{53.5 \cdot 100} \simeq 73 \Omega$$

È quindi possibile utilizzare ad esempio cavo RG-59 (73 Ω) per il nostro segmento da $\frac{1}{4} \lambda$.

Per calcolare la lunghezza fisica del segmento in questione è necessario conoscere la velocità di propagazione del cavo, o meglio il fattore di velocità espresso in percentuale. La lunghezza del segmento è data una delle due formule:

$$L = \frac{\lambda}{4} \cdot k \quad [4]$$

$$L = \frac{75}{f} \cdot k \quad [5]$$

Dove L e' la lunghezza in metri del segmento di coassiale, λ e' la lunghezza d'onda in metri, k e' il fattore di velocita' del cavo in percentuale e f e' la frequenza in Mc/s.
 Le formule [4] e [5] forniscono con buona approssimazione la lunghezza necessaria. Un metodo piu' accurato, ma abbastanza semplice, per la taratura del cavo richiede l'utilizzo di un'oscillatore grid-dip (GDO). Si puo' procedere come segue.

1. Tagliare il cavo un po' lungo del valore teorico (ad esempio il 5% in piu').
2. Chiudere una delle estremita' del cavo con un a spira approssimativamente dello stesso diametro della bobina del GDO e lasciare aperta l'altra estremita'.
3. Avvicinare la spira alla bobina del GDO. Si deve notare una deflessione dello strumento in corrispondenza della frequenza alla quale e' tarata la linea.
4. Accorciare un po' alla volta l'estremita' del cavo aperta fino a raggiungere la frequenza voluta.

Quando si utilizza quest'ultimo metodo bisogna pero' ricordare che le scale di gran parte dei GDO commerciali sono molto approssimative. E' allora consigliabile sintonizzare un ricevitore sulla frequenza desiderata e muovere la manopola del GDO fino a ricevere il suo segnale sul ricevitore. Prendere quindi nota della posizione della scala del GDO e procedere alla taratura.

Il trasformatore serie-sezione

Immaginiamo ora di interrompere il cavo coassiale usato per la discesa dell'antenna (nel nostro caso il coassiale da 50 Ω) per inserirvi un tratto di cavo di diversa impedenza. Otteniamo un nuovo tipo di trasformatore di impedenza piu' versatile e compatto rispetto al trasformatore $\frac{1}{4} \lambda$ precedentemente illustrato.

La figura 2 mostra schematicamente quest'ultima configurazione.

Nella linea di discesa, denominata "Coax 1", viene inserito un tratto di cavo di diversa impedenza, denominato "Coax 2". Per la costruzione e' possibile utilizzare virtualmente qualsiasi tipo di cavo, coassiale e non, a patto che siano noti impedenza e fattore di velocita' e che le impedenze dei dui tipi di cavo siano sufficientemente diverse (ne vedremo in seguito il motivo).

Per procedere con buona approssimazione al calcolo delle lunghezze delle sezioni di cavo, indicate nel disegno come L_1 e L_2 , si procede come segue.

Indichiamo con Z_1 l'impedenza del tratto di cavo connesso all'antenna (dello stesso tipo di quello utilizzato per la discesa verso il ricetrasmittitore), indichiamo con Z_2 l'impedenza della sezione di accoppiamento Coax2 ed infine indichiamo con Z_L l'impedenza dell'antenna, assumendo nel resto della discussione che tutte le componenti siano puramente resistive.

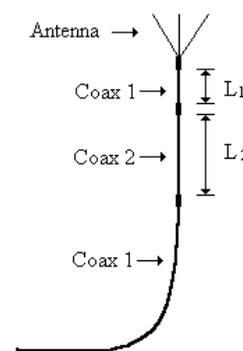


Fig.2 – Trasformatore serie-sezione

Le impedenze normalizzate rispetto ai tratti di cavo (z_c) e rispetto al carico (z_l) sono date dalle seguenti formule:

$$z_c = \frac{Z_2}{Z_1} \quad [6]$$

$$z_l = \frac{Z_L}{Z_1} \quad [7]$$

Una volta ricavate le grandezze z_c e z_l , e' necessario ricavare i due valori X_2 e X_1 dalle seguenti formule:

$$X_2 = \sqrt{\frac{(z_l-1)^2}{z_l\left(z_c-\frac{1}{z_c}\right)^2 - (z_l-1)^2}} \quad [8]$$

$$X_1 = \frac{X_2\left(z_c-\frac{z_l}{z_c}\right)}{z_l-1} \quad [9]$$

Una quantita' negativa sotto radice di X_2 (e quindi X_2 uguale ad un numero immaginario) indica che i due tipi di coassiale *Coax1* e *Coax2* hanno impedenze troppo vicine.

Assumendo un valore reale per X_2 , dopo aver calcolato X_1 diventa immediato ricavare le lunghezze in gradi elettrici dei segmenti *Coax1* e *Coax2* (l_1 e l_2 rispettivamente), infatti:

$$\hat{l}_1 = \arctan X_1 \quad [10]$$

$$\hat{l}_2 = \arctan X_2 \quad [11]$$

Qualora risultasse un valore negativo per l_1 , aggiungere 180° alla quantita' trovata.

Per passare dalle grandezza espresse in gradi elettrici a quelle espresse in lunghezze d'onda e' necessario dividere per 360° le quantita' trovate. Infine, le lunghezze fisiche dei segmenti di cavo saranno ottenute dal prodotto tra quest'ultimo quoziente, il fattore di velocita' del cavo e la lunghezza d'onda di interesse:

$$L_1 = \frac{l_1 \cdot k_1 \cdot \lambda}{360} \quad [12]$$

$$L_2 = \frac{l_2 \cdot k_2 \cdot \lambda}{360} \quad [13]$$

dove l_1 e l_2 sono le lunghezze dei segmenti di cavo *Coax1* e *Coax2* in gradi elettrici precedentemente ricavate, k_1 e k_2 sono i fattori di velocita' dei due tipi di cavo utilizzato e λ e' la lunghezza d'onda di interesse.

Vediamo ora un'esempio numerico di questa tecnica.

Dato un carico da circa 100 Ω , le impedenze dei cavi RG-58 (53.5 Ω) e RG-59 (73 Ω) sono troppo vicine al limite di utilizzo per questo tipo di trasformatore. Per dimostrare cio' si possono applicare le formule [6], [7], [8]. Si notera' per X_2 un quoziente sotto radice negativo. Riducendo leggermente la Z_1 o aumentando leggermente Z_2 si ottiene invece un risultato reale per X_2 .

Per il nostro esempio numerico, proviamo ad adattare la nostra antenna loop utilizzando cavo RG-62 (93 Ω). Questo cavo era usato in grandi reti di calcolatori ed e' abbastanza facile trovarne spezzoni di recupero.

Applicando le formule da [6] a [13] con i valori noti $Z_1=53.5\Omega$, $Z_2=93\Omega$, $\lambda=81m$, $k_1=0.66$, $k_2=0.86$, otteniamo:

$$z_c = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{93}{53.5} \simeq 1.74$$

$$z_l = \frac{Z_L}{Z_1} = \frac{100}{53.5} \simeq 1.87$$

$$X_2 = \sqrt{\frac{(z_l-1)^2}{z_l\left(z_c-\frac{1}{z_c}\right)^2-(z_l-1)^2}} = \sqrt{\frac{(1.87-1)^2}{1.87\left(1.74-\frac{1}{1.74}\right)^2-(1.87-1)^2}} \simeq 0.65$$

$$X_1 = \frac{X_2\left(z_c-\frac{z_l}{z_c}\right)}{z_l-1} = \frac{0.65\left(1.74-\frac{1.87}{1.74}\right)}{1.87-1} \simeq 0.50$$

$$\hat{l}_1 = \arctan X_1 = \arctan 0.50 \simeq 26.57^\circ$$

$$\hat{l}_2 = \arctan X_2 = \arctan 0.65 \simeq 33.02^\circ$$

$$L_1 = \frac{l_1 \cdot k_1 \cdot \lambda}{360} = \frac{26.57 \cdot 0.66 \cdot 81}{360} \simeq 3.95m$$

$$L_2 = \frac{l_2 \cdot k_2 \cdot \lambda}{360} = \frac{33.02 \cdot 0.86 \cdot 81}{360} \simeq 6.39m$$

Si puo' notare che il tratto di coassiale di impedenza diversa rispetto alla discesa e' ben piu' corto del segmento utilizzato per il trasformatore $\frac{1}{4}\lambda$ illustrato in precedenza. Infatti nel primo caso abbiamo una lunghezza di circa 6.4 metri, mentre per il trasformatore $\frac{1}{4}\lambda$ avevamo una lunghezza di $81/4 \cdot 0.66 = 13.4$ metri.

Per concludere, e' ora possibile dimostrare che il trasformatore $\frac{1}{4}\lambda$ e' un caso particolare del trasformatore serie-sezione.

Nel trasformatore $\frac{1}{4}\lambda$ il segmento *Coax1* e' di lunghezza nulla (il cavo *Coax2* di impedenza diversa dalla discesa e' direttamente connesso all'antenna).

Otteniamo quindi:

$$L_1 = \frac{l_1 \cdot k_1 \cdot \lambda}{360} = 0 \quad \Rightarrow \quad \hat{l}_1 = 0$$

$$\hat{l}_1 = \arctan X_1 \quad \Rightarrow \quad X_1 = \tan \hat{l}_1 = \tan 0^\circ = 0$$

Ricordando la formula [9]:

$$X_1 = \frac{X_2 \left(z_c - \frac{z_1}{z_c} \right)}{z_1 - 1}$$

Per $X_1=0$ e' necessario annullare il numeratore quindi, per mantenere un valore non nullo per X_2 , dobbiamo avere:

$$z_c - \frac{z_1}{z_c} = 0$$

Sostituendo a z_c e z_1 le formule [6] e [7] otteniamo:

$$\frac{Z_2}{Z_1} - \frac{\frac{Z_L}{Z_1}}{\frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{Z_2}{Z_1} - \frac{Z_L \cdot Z_1}{Z_1 \cdot Z_2} = 0$$

quindi:

$$Z_2^2 - Z_1 \cdot Z_L = 0 \Rightarrow Z_2 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_L}$$

Ma quest'ultima formula e' proprio la formula [3] vista in precedenza per il trasformatore $\frac{1}{4} \lambda$.

Conclusioni

Spero di aver dato con questo articolo qualche informazione interessante su due semplici sistemi di adattamento di impedenza ed invito i lettori a sperimentare i metodi descritti.

Alcuni strumenti sono indispensabili per chi volesse cimentarsi nella sperimentazione delle antenne per onde corte. Un buon oscillatore grid-dip ed un ponte di impedenza dovrebbero essere sempre a disposizione. Altri strumenti, come un'analizzatore di ROS portatile (con generatore entrocontenuto, non un semplice misuratore di ROS), aiutano a risparmiare tempo nella taratura delle antenne, anche se non sono strettamente indispensabili.

Per cio' che riguarda la realizzazione della antenna loop, e' evidente che non sono molti i fortunati ad avere abbastanza spazio per realizzarne una versione per gli 80 metri. Il progetto potrebbe essere pero' scalato per una frequenza piu' affrontabile, quali i 40 o i 30 metri, calcolando nuovamente tutti i valori rilevanti.

Bibliografia

The ARRL Antenna Book
The ARRL Handbook for Radio Amateurs
W5REX – Amateur Tests and Measurement
I2BGL – Delta Loop “capovolta” – Radio Rivista 9/97