

Un recente scambio di messaggi sulla Lista Radiorama mi dà lo spunto per ritornare su un argomento sempre attuale e sul quale non si dice mai abbastanza.



■ Cos'è un'antenna

L'antenna è sostanzialmente un trasduttore, trasduce o converte o trasferisce o restituisce all'ambiente circostante un segnale elettrico che viaggia su un conduttore; per il principio di reciprocità, cui l'antenna non si sottrae, vale anche il contrario ovvero l'antenna è un trasduttore che trasduce in un segnale elettrico un campo elettromagnetico captato. Il termine pare proprio sia stato utilizzato per la prima volta da Guglielmo Marconi, mutuando nel campo radio le sue conoscenze marinare; "antenna" è infatti il nome di un albero di nave (quello orizzontale che sostiene la vela quadra o latina). L'antenna è una macchina abbastanza complessa; infatti permette a correnti elettriche variabili nel tempo che scorrono in/su un conduttore di irradiarsi nello spazio come onde elettromagnetiche; e viceversa un'onda elettromagnetica che incide su un conduttore produce una corrente elettrica variabile nel tempo. Se è vero che in linea teorica qualsiasi conduttore elettrico può comportarsi da antenna, la trasduzione avviene solo se vengono rispettati dei parametri e delle regole, che sono poi leggi fisiche.

Sorvolo sulle leggi che mettono in relazione lunghezza d'onda e frequenza, sorvolo sulla risonanza, sulle misure caratteristiche delle antenne semplici, sorvolo su reattanza capacitiva, reattanza induttiva, impedenza, resistenza; non perché non siano cose importanti (anzi, sono basilari!) ma perché altri hanno scritto prima e meglio di me. Vorrei affrontare piuttosto l'argomento dipolo con annessi e connessi, forme derivate ed assimilabili.

■ Il dipolo

Il dipolo aperto è l'antenna più semplice, la più economica, la più facile da costruire; è l'antenna di riferimento per effettuare per confronto le misure su tutte le altre antenne (tralascio per brevità l'antenna puntiforme che va bene come teoria ma nella pratica non ha senso alcuno). È sostanzialmente un conduttore lineare (filo elettrico sostenuto da appositi sostegni o barre rigide di alluminio o altro metallo conduttore) lungo metà della lunghezza d'onda sulla quale risuona, e tagliato a mezzo; proprio a metà il dipolo viene "alimentato". Il punto di alimentazione è il punto in cui il segnale radio, captato dall'antenna, viene trasdotto in segnale elettrico e trasferito al conduttore, che poi lo porta al ricevitore oppure è il punto in cui un segnale elettrico, generato da un

trasmettitore e portato da un cavo d'antenna, viene trasdotto in segnale radio. Vedremo che è un punto assai critico nell'antenna. Perché il dipolo è il re (o la regina) delle antenne? Perdonatemi, ma debbo ricorrere ad un po' di teoria.

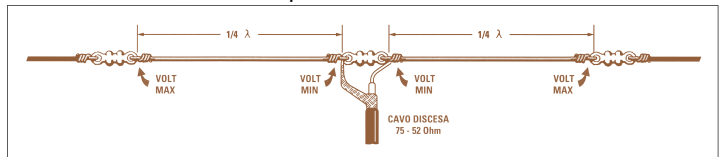


Fig. 1 - Ecco un bel dipolo: è composto da due bracci identici (semidipoli) lunghi un quarto della lunghezza d'onda per la quale il dipolo risuona, con opportuni isolatori e tiranti alle estremità e l'inserzione del cavo coassiale per la sua alimentazione.

Un'onda, in fisica (differentemente dal cavallone marino), è sempre composta da una semi onda positiva e da una semi onda negativa che viste su un sistema di assi cartesiani, non sono speculari: quando infatti è presente la semionda positiva non è presente la semionda negativa e viceversa. Nell'antenna lunga metà lunghezza d'onda, la semionda positiva parte da un'estremità con un minimo di corrente, raggiunge metà lunghezza con il massimo di corrente e termina il suo percorso sull'opposta estremità del filo sempre con un minimo di corrente. Terminato il percorso della semionda positiva inizia quello della semionda negativa, che parte anch'esso con un minimo di corrente, raggiunge metà lunghezza d'onda con la massima corrente e termina il suo percorso sull'opposta estremità con una minima corrente.

Metà lunghezza d'onda, quindi, è sufficiente per far scorrere sull'antenna sia le semionde positive che le semionde negative. Utilizzando un'antenna lunga esattamente metà lunghezza d'onda, sul suo punto centrale (l'alimentazione) si otterrà sempre una corrente massima, sia per le semionde positive che per quelle negative. In questo punto si ha un valore di impedenza che normalmente si aggira intorno ai 50-75 ohm (per un dipolo rigido e in campo aperto). Più ci si allontana dal centro dell'antenna, più l'impedenza aumenta; alle due estremità (dove c'è il minimo di corrente) questa sarà sui 5.000-6.000 ohm.

Fig. 2

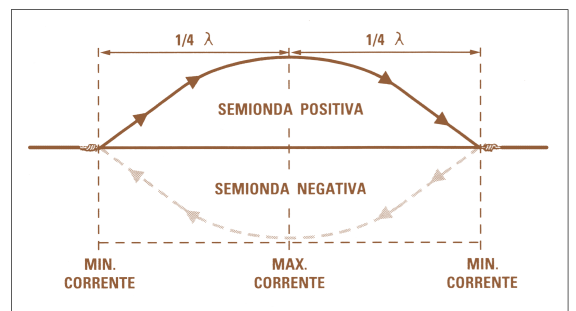
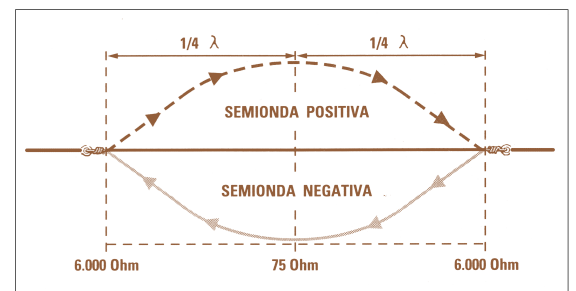


Fig. 3



■ Impedenza, corrente, tensione

Si è detto che al centro del dipolo (lineare, rigido o filare, in spazio libero) si localizza il massimo della corrente del segnale che dal conduttore deve prendere il volo verso lo spazio; qui e solo qui avremo il minimo dell'impedenza, diciamo tra 50 e 75 ohm. Sia che il dipolo sia messo in orizzontale, sia che sia messo in verticale.

Se si volesse alimentare un dipolo verticale alla sua base anziché al centro, troveremmo un valore di impedenza troppo alto (abbiamo visto sopra), di circa 6.000 ohm. Se volessimo alimentare un'antenna alla base anziché al centro, occorrerebbe utilizzare un radiatore di $\frac{1}{4}$ d'onda, oppure di $\frac{3}{4}$ d'onda, perché è solo con queste misure che avremo alla base la massima corrente ed all'estremità la minima corrente.

Sapendo che al centro il dipolo orizzontale presenta impedenza tra 50 e 75 ohm, possiamo anche calcolare, in funzione della potenza applicata, qual è la corrente e qual è la tensione al centro come all'estremità (nei calcoli ho usato la misura di 75 ohm). Vi ricordate la Legge di Ohm?

$$\text{ampere} = \sqrt{\text{watt} : \text{ohm}} \text{ e anche } \text{volt} = \sqrt{\text{watt} \times \text{ohm}}$$

Se forniamo all'antenna 100 watt di radiofrequenza, al centro del dipolo ci saranno:

$$\sqrt{100 : 75} = 1,15 \text{ ampere e } \sqrt{100 \times 75} = 86,60 \text{ volt}$$

Alle due estremità con 6.000 ohm di impedenza, avremo:

$$\sqrt{100 : 6.000} = 0,12 \text{ ampere e } \sqrt{10 \times 6.000} = 774,59 \text{ volt}$$

■ Disadattamento e perdite

Se abbiamo calcolato correttamente il nostro dipolo per la banda desiderata, la massima corrente della semionda positiva e di quella negativa (ovvero la massima corrente in valore assoluto) si troverà correttamente posizionata in corrispondenza del centro dell'antenna, e quindi qui e solo qui avremo la corretta impedenza di circa 75 ohm. Se invece avessi realizzato un'antenna più lunga o più corta rispetto alla banda in uso, il valore di impedenza sarebbe variato notevolmente, con conseguenze anche gravi se l'antenna venisse usata in trasmissione (i radioamatori dovrebbero ben conoscere questo argomento, essendo materia d'esame). Le figure 4, 5 e 6 sono chiarificatrici.

Fig. 4

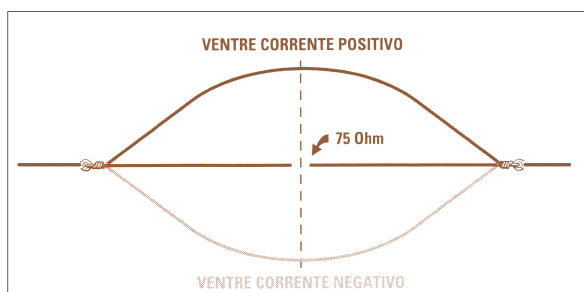


Fig. 5

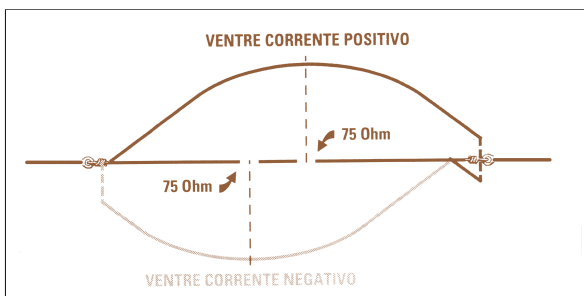
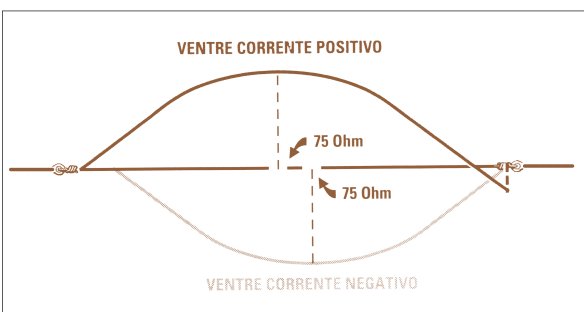


Fig. 6



Per catturare dallo spazio la debole potenza RF generata da un trasmettitore è necessario che questa venga interamente trasferita dall'antenna al ricevitore; questa condizione si ha solo se c'è un perfetto adattamento di impedenza tra il trasduttore antenna e il ricevitore (ovvero il cavo coassiale che porta il segnale dall'antenna al ricevitore). Se il nostro dipolo presenta impedenza di 50-52 ohm al punto di alimentazione, basterà collegare un cavo coassiale da 50-52 ohm all'antenna, supposto che il ricevitore abbia una presa d'antenna di 50-52 ohm (la supposta è d'obbligo, ci sono ricevitori con prese d'antenna ben differenti!). Se, come è visibile in figura 5 e 6, al punto di alimentazione non si avesse un valore di impedenza corretto, i deboli segnali elettrici catturati dall'antenna non potrebbero venire correttamente trasmessi al coassiale e al ricevitore. Ci sono diversi strumenti in grado di leggere l'impedenza caratteristica di un'antenna ad una data frequenza; il mio consiglio è di acquistarne almeno uno, serve sempre!

Dimenticavo: il disadattamento d'impedenza per un'antenna ricevente non è pericoloso, ma per un ricetrasmittitore potrebbe essere devastante!

■ Risonanze e armoniche

Si è visto che il dipolo è un'antenna risonante su una determinata frequenza; solo se tagliato di lunghezza corretta per la banda in uso potrà risonare perfettamente, la sua risonanza è essenziale per catturare al meglio determinate lunghezze d'onda, così come l'adattamento tra antenna e cavo coassiale. Questo risponde in parte ai dubbi di quanti, leggevo sulla lista Radiorama, scrivevano di comportamenti strani avuti da un dipolo alimentato con trasformatori di impedenza 1:4.

Fortunatamente per chi fa radioascolto ed ha bisogno di avere un'antenna risonante su più bande, il dipolo aperto, calcolato per una banda, riesce a risonare anche su frequenze armoniche. Se, per esempio, abbiamo costruito un dipolo per la banda dei 75 metri, questo potrà entrare in risonanza anche sulle frequenze multiple di 4 MHz : 8, 12, 16, 20, 24, 28 MHz.

Ma l'antenna risulterà efficiente solo per le armoniche dispari, non già per quelle pari. Vediamo perché. Se con un generatore applichiamo una RF a 4 MHz al dipolo $\frac{1}{2}$ onda tagliato per i 75 metri, in corrispondenza del suo centro avremo la massima corrente della sua semionda (positiva e negativa) ed un valore di impedenza di 52-75 ohm; qui possiamo quindi collegare un cavo coassiale da 52-75 ohm e non avremo alcun disadattamento di impedenza.

Se facciamo risonare l'antenna sulla sua prima armonica pari, $4 \times 2 = 8$ MHz, al centro del dipolo avremo un minimo di corrente ed avremo di conseguenza un alto valore di impedenza (abbiamo visto essere intorno ai 5.000-6.000 ohm); se qui colleghiamo il nostro cavo coassiale con impedenza di 52-75 ohm avremo un fortissimo disadattamento di impedenza, cosa che non permetterà al segnale RF di essere trasferito dal generatore all'antenna.

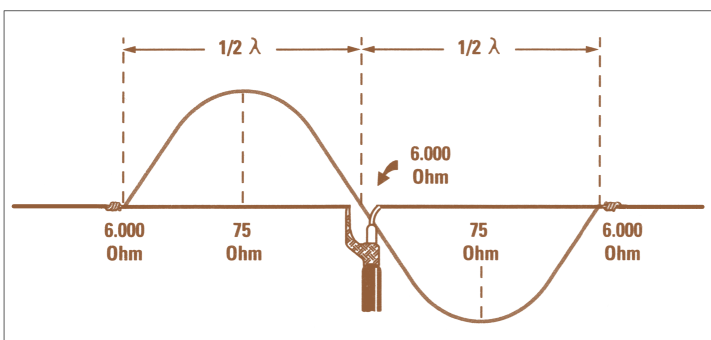


Fig.7 - Se attraverso un'antenna calcolata per i 4 MHz sintonizziamo un ricevitore a 8 MHz, al suo centro sarà presente un minimo o nodo di corrente e per conseguenza l'impedenza sarà di 6.000 ohm.

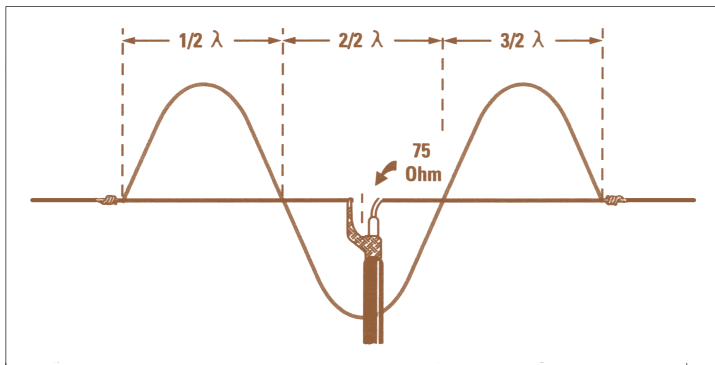


Fig. 8 - Il dipolo tagliato per i 4 MHz funziona anche sui 12 MHz; infatti al centro risulta presente un massimo di corrente (in valore assoluto).

Che succede se facciamo risuonare l'antenna sulla sua prima armonica dispari, cioè $4 \times 3 = 12$ MHz? Al centro del dipolo si avrà ancora un massimo di corrente, e quindi un valore di 52-75 ohm, cosa che ci permette di connettere il nostro cavo coassiale di 52-75 ohm senza problemi di disadattamento. Similmente succede per tutte le armoniche dispari. Nel caso nostro il dipolo per i 75 metri, lungo circa $75:2=32.5$ metri, avrà al suo centro l'impedenza caratteristica per i 12, 20, 28 MHz.

■ Altezza dal suolo

L'impedenza di un'antenna varia al variare della sua lunghezza, della vicinanza con corpi vicini e circostanti e delle vicinanza con la terra, visto che variano i parametri fondamentali della reattanza induttiva e della reattanza capacitiva. Occorre però chiarirci su cosa si intende, per i casi nostri, per "terra"; essa è sostanzialmente il suolo, quella roba su cui poggiamo i piedi, e per i casi nostri è il prato su cui stiamo facendo esperimenti con il nostro dipolo; ed utilizziamo un prato, un campo o simili perché non debbono esserci altri elementi di disturbo che possano intervenire nelle misure e nelle prove. Ma la condizione di prato aperto è molto rara, lo ammetto, più comunemente i nostri dipoli sono messi alla meglio sui tetti o tra gli alberi, in un parcheggio, su un declivio; qualsiasi massa metallica (i fili elettrici che corrono dentro un edificio, i tubi del gas o dell'acqua, i cavi del telefono, ecc.) o

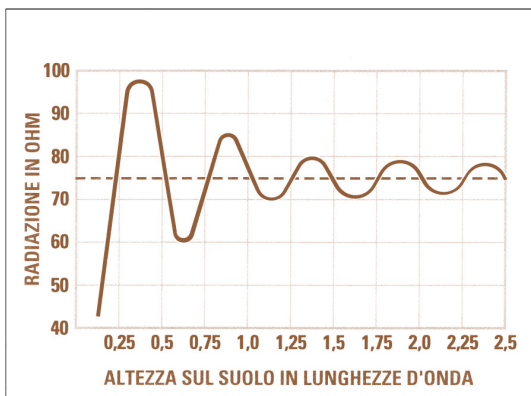


Fig. 9 - L'impedenza del dipolo varia al variare dell'altezza dal suolo. Nel grafico si evince per quali altezze dal suolo (esprese in lunghezze d'onda) vengono rispettati i 75 ohm canonici.

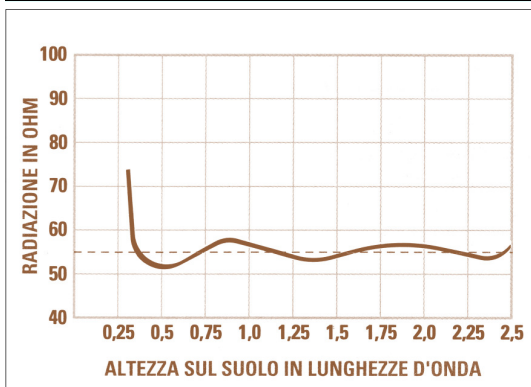


Fig. 10 - Differentemente dal dipolo orizzontale, per le antenne verticali l'impedenza non varia di molto al variare dell'altezza dal suolo, almeno a partire da $\lambda/2$.

qualsiasi perturbazione del piatto suolo (alberi, arbusti e cespugli, pali della luce, case prossimali e/o distali, manufatti vari, ecc.) portano ad avere un piano di terra assolutamente irregolare, non prevedibile e dagli effetti alle volte anche deleteri; in effetti, se non in rari casi, non si può mai definire un preciso valore di distanza da terra. Senza contare che le onde radio, a seconda della loro lunghezza, possono venire riflesse dal suolo a profondità diverse. Insomma, la migliore terra è il mare!

Dalla figura appare evidente le differenti impedenze a seconda dalla distanza dal suolo di un dipolo orizzontale. Ben diversamente accade per le antenne verticali!

■ Dipolo a V

Abbiamo visto chi, cosa, come quando e perché del dipolo aperto orizzontale, e cose da dire ce ne sarebbero ancora tante. La realizzazione di un dipolo aperto orizzontale non è difficile, è difficile trovare le condizioni idonee per piazzarlo al meglio; distante da ostacoli, ben teso in orizzontale, ad una certa distanza dal suolo. Condizioni abbastanza proibitive per la maggior parte di noi, visto che il sistema di alimentazione ed il cavo coassiale pesano e tendono a far abbassare il centro del dipolo, le estremità del dipolo debbono essere sorrette da tiranti convenientemente lunghi, occorrono due punti di ancoraggio per le estremità ed altre amenità.

Si è notato sperimentalmente che abbassare le punte di un dipolo, mantenendo alto il suo centro, provoca un abbassamento dell'impedenza dal valore caratteristico di 75 ohm al valore di 50 ohm, che è quello di molti cavi coassiali e della maggior parte dei ricevitori.

Bene, un dipolo che presenti un angolo inferiore a 180° , e che assomiglia a quello in figura, viene detto dipolo a V rovesciato; l'angolo al centro è approssimativamente a 120° ma non è critico (almeno fino a 90°), il centro del dipolo ed il cavo coassiale possono essere sorretti da un palo anche di metallo, che sopporterà tutto il peso dell'antenna, le punte del dipolo andranno isolate dal suolo con spezzoni di cordina di nylon.

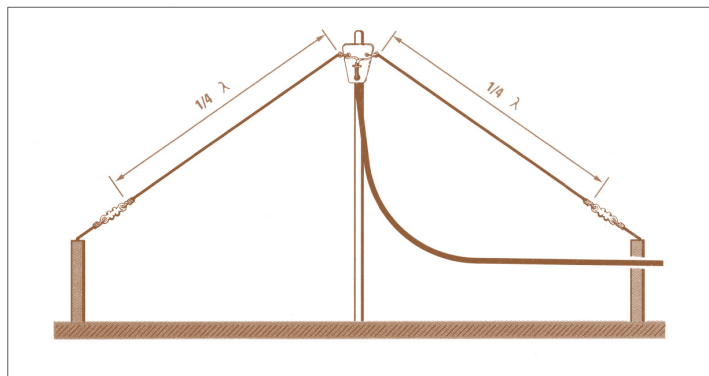


Fig. 11

Un altro vantaggio del dipolo a V rovesciato (in inglese "inverted vee") è che risulta avere 4 lobi di radiazione, uno lungo il piano del dipolo, l'altro ortogonale ad esso; rispetto al dipolo aperto, dunque, il dipolo a V rovesciato irradia/riceve anche dalle punte.

■ Dipolo Windom

È un tipo un po' particolare di dipolo, visto che per realizzare l'alimentazione dello stesso non occorre tagliare l'antenna; l'alimentazione si può ottenere con un semplice filo di discesa, connesso in un punto che presenta circa 300 ohm di impedenza. Supposto di avere un filo lungo una o mezza lunghezza d'onda della banda per la quale vogliamo realizzare l'antenna, il punto di alimentazione si ottiene moltiplicando la lunghezza totale dell'antenna per 0,36.

Ma un semplice filo mal si connette ad un ricevitore moderno;

sostituendo alla presa calcolata un trasformatore d'impedenza con rapporto 1:6 potremo arrivare alla presa coassiale del ricevitore con un cavo coassiale a 50-52 ohm.

Ma perché calcolare una presa, mettere un trasformatore di impedenza, rovinarci cioè la giornata? Perché così facendo realizzeremo un'antenna multibanda, che risuona sulla lunghezza per la quale l'abbiamo tagliata e per le sue frequenze pari. Infatti abbiamo visto che in prossimità di un massimo di corrente l'impedenza raggiunge il suo valore minimo; questo ventre di corrente si trova al centro di tutti i dipoli. Ad esempio, in un dipolo per la banda radioamatoriale degli 80 metri, se il punto di alimentazione si trova alla metà della lunghezza totale, l'antenna risulterà accordata a 3600, 10800, 18000, 25200 kHz (armoniche dispari). Se ci spostiamo dal centro del dipolo e ci mettiamo a circa un terzo della sua lunghezza totale (36%), a 3600 kHz la corrente non è massima ma comunque elevata, quindi l'impedenza sarà relativamente bassa. Le altre frequenze armoniche con il medesimo livello di corrente sono ora quelle pari (7200, 14400, 18000, 25200, 28800), tutte gamme radioamatoriali. L'impedenza su queste sei bande (solo in questo punto) sarà quindi la stessa e relativamente bassa, circa 300 ohm. Un semplice filo però mal si connette ad un ricevitore moderno; sostituendo alla presa calcolata un trasformatore d'impedenza con rapporto 1:6 potremo arrivare alla presa coassiale del ricevitore con un cavo coassiale a 50-52 ohm.

Loren Windom W8GZ presentò la sua antenna nel settembre del 1929.

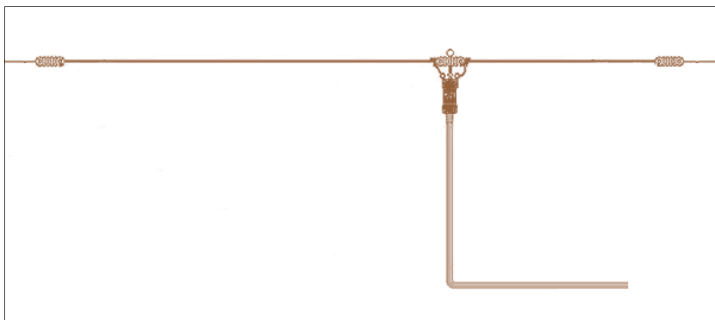


Fig. 13 - Anche nel dipolo a presa calcolata l'altezza dal suolo fa variare l'impedenza caratteristica dell'antenna. Su www.windomantenna.com si suggerisce di usare un trasformatore con rapporto 4:1 per altezze dal suolo tra 20 e 40 piedi ($Z = 200$ ohm), 5:1 per altezze tra 40 e 55 piedi ($Z = 250$ ohm); 6:1 per altezze tra 55 e 70 piedi ($Z = 300$ ohm).

■ Dipoli a ventaglio

Un'altra antenna in grado di funzionare su più bande e facile da realizzarsi (non abbisogna infatti di prese calcolate o trasformatori di impedenza) è il l'antenna a dipoli multipli o a ventaglio. Dipoli per bande differenti vengono tutti alimentati al centro per mezzo di una unica linea di discesa; siccome ogni dipolo entra in risonanza sulla sola frequenza per la quale è stato calcolato, gli altri dipoli - che hanno una lunghezza diversa - è come se non fossero presenti. Siccome però avvengono mutue induttanze tra braccio e braccio ed intervengono effetti capacitivi, è bene tenere distanti i dipoli tra loro o ancorandoli in punti differenti sullo stesso asse, o - avendo un unico sostegno come nel dipolo a V invertito - ancorandoli con angoli differenti, come le stecche di un om-

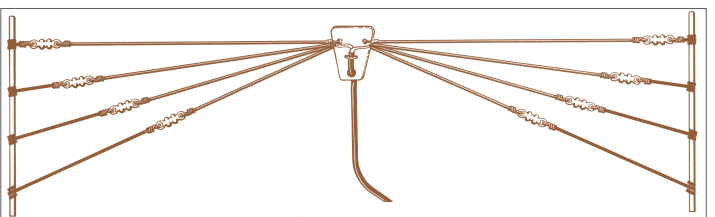


Fig. 14 - Dipolo a ventaglio per 4 bande. Ogni braccio (semidipolo) sarà lungo $\lambda/4$

brello. E comunque un buon strumento di analisi potrà sempre indicarci le varie risonanze esatte. Multidirezionalità e multibanda garantiti!

■ Dipolo asimmetrico (orizzontale e verticale)

Come si osserva in figura, quest'antenna è costituita da due bracci orizzontali asimmetrici; uno è lungo un quarto d'onda, l'altro è lungo tre quarti d'onda: in totale fanno quattro quarti ovvero un'onda intera, il doppio dell'area di cattura di un dipolo aperto.

Come per gli altri dipoli, al punto di alimentazione è presente un ventre di corrente, quindi una bassa impedenza. Solitamente si unisce la calza del cavo coassiale al braccio corto ed il conduttore centrale del coassiale al braccio lungo. Sempre con il nostro fido strumento di misura potremo controllare la frequenza di risonanza, per variare la quale basterà agire sul braccio lungo. In mancanza di spazio o delle condizioni ottimali, anche questo dipolo potrebbe essere messo in configurazione a V rovesciata.

In configurazione verticale, questo dipolo viene comunemente usato in VHF e UHF, dal momento che ha un certo guadagno rispetto alla $\frac{1}{2}$ onda, è omnidirezionale, e la parte corta del dipolo può essere ulteriormente riaccurciata realizzando una bobina.

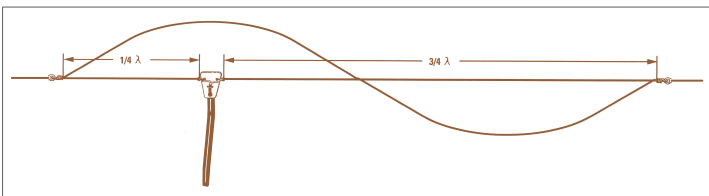


Fig. 15 - Dipolo asimmetrico: anche questo dipolo presenta, all'alimentazione, impedenza caratteristica di 50-75 ohm. Se si ha lo spazio per un filo ad onda intera, questa è l'antenna ideale.

■ Considerazioni finali

Non ho detto tutto quello che ci sarebbe da dire sul dipolo, perché non sono un tuttologo; ritengo però di aver aperto un interessante argomento di indagine, di ricerca e di riflessione. Spero di aver sfatato miti, leggende, errati convincimenti, supposte pretese. Con un dipolo si può fare tutto e niente, molto o poco, o forse solo quanto è sufficiente per divertirsi ed avere certe soddisfazioni. Il dipolo si costruisce con 4 soldi, si monta e si smonta abbastanza facilmente, si installa con pochi accorgimenti.

Chi utilizza il dipolo anche per trasmettere è bene che interponga, tra linea di alimentazione (il cavo coassiale) ed il centro del dipolo, un simmetrizzatore (un trasformatore di impedenza con rapporto 1:1) perché sulla calza del coassiale può scorrere RF ed abbiamo visto che all'alimentazione la corrente è massima; accorgimento non necessario per chi usa quest'antenna solo per ricevere. Per lo stesso motivo se un certo disadattamento di impedenza tra cavo coassiale (52 ohm) e dipolo (75 ohm) può portare apprensione per chi usa il dipolo in trasmissione, non è certo un problema per chi utilizza il dipolo solo per ricevere.

Il dipolo è un'antenna che non ha modo di essere messa a terra, come può succedere ci venga richiesto dal condominio o da un amministratore mal informato; andrà messo a terra il ricevitore e/o il suo alimentatore o qualsiasi altro apparecchio di stazione; o eventualmente il palo di sostegno, se si tratta di dipolo a V rovesciato o a ventaglio.

Un dipolo collocato in posizione orizzontale capta al meglio le onde con polarizzazione orizzontale, offrendo una forte reiezione alle onde con polarizzazione verticale; e viceversa. Un dipolo collocato in posizione obliqua (sloper, mi raccomando... non sluper, slooper o amenità del genere!) raccoglierà sufficientemente bene sia le onde polarizzate orizzontalmente che verticalmente. Ma come vengono emessi i vari segnali radio? Beh, su alcuni non abbiamo dubbi: antenne verticali come quelle degli NDB, dei volmet, di parte delle trasmissioni dei radioamatori, vengono emessi in polarizzazione verticale. Segnali di tempo e frequenza

ANTENNE

campione, stazioni utility, altra parte dei segnali dei radioamatori vengono emessi in polarizzazione orizzontale. E le broadcasting? In onda media come in VHF (FM) la polarizzazione usata è tendenzialmente quella verticale; i segnali TV in UHF sono emessi in polarizzazione orizzontale. In onda corta l'esperienza accumulata in questi anni mi porta a ritenere che siano usate entrambe le polarizzazioni. Infatti un segnale con polarizzazione orizzontale ha l'indubbio vantaggio di risultare meno influenzabile da disturbi di origine elettrica ed atmosferica; ma un'antenna con polarizzazione verticale presenta il vantaggio di avere un lobo di radiazione/cattura molto basso rispetto al suolo, quindi permette di ricevere/trasmettere segnali da/a distanze maggiori. Giuseppe Montuschi (fondatore della rivista Nuova Elettronica e di altre pubblicazioni, giornalista e divulgatore scientifico) afferma: "Salvo una inversione di fase causata da riflessioni o rifrazioni del suolo

o delle ionosfera, un'onda con polarizzazione orizzontale rimane sempre orizzontale ed un'onda con polarizzazione verticale rimane sempre verticale". Non mi sento pienamente d'accordo, mi piacerebbe sentire anche il parere di altri.

Il simbolo della lunghezza d'onda è λ (la lettera greca lambda); per cui $\frac{1}{2} \lambda$ significa mezza lunghezza d'onda, $\frac{1}{4} \lambda$ significa un quarto della lunghezza d'onda, ecc. Si può anche trovare $\lambda/2$ o $\lambda/4$. La lettera Z indica l'impedenza, che si misura in ohm, come la misura della resistenza.

P.S. - Ringrazio di cuore Rinaldo Briatta I1UW, cui ho sottoposto il testo per correzioni, consigli e suggerimenti, che, nonostante il caldo, non mi ha fatto mancare il suo aiuto.

