



Radiolocalizzando 2ª parte di IØAMS

Scrivere in poche righe qualcosa di valido sul vastissimo argomento antenne è cosa ardua. Comunque proverò a commentare alcuni elementi di base e il loro funzionamento, presentando l'antenna più usata in assoluto sia nelle gare di radiolocalizzazione sia nel mondo delle telecomunicazioni.

Quando un conduttore viene posto trasversalmente alla direzione di propagazione di un'onda elettromagnetica (detta incidente) vi induce i massimi valori di tensione e di corrente se la lunghezza del conduttore è pari alla lunghezza dell'onda dell'energia che sta transitando.

Se il conduttore verrà dimezzato, cioè se la sua lunghezza è pari alla metà della lunghezza d'onda, avremo sempre la tensione e la corrente ai massimi livelli, ma così distribuiti: per quanto riguarda la tensione, ad un estremo del conduttore avremo sempre il massimo positivo, al centro del conduttore invece avremo il minimo (nodo di tensione), all'altro estremo il massimo negativo. Per quanto riguarda la corrente, il massimo del suo valore (ventre di corrente) sarà presente solo al centro del conduttore mentre sarà nullo agli estremi.

Tagliando ancora a metà questo conduttore otterremo due conduttori lunghi un quarto della lunghezza d'onda, tra le due sezioni verrà attaccato il cavo per prelevare l'energia che è stata indotta dal campo elettromagnetico in transito. In questo punto centrale l'antenna (che prende il nome di **dipolo a mezz'onda**) presenta una impedenza compresa tra **60 e 75 Ω** , in base al diametro del conduttore, mentre alle estremità la sua impedenza si aggira tra **5000 e 6000 Ω** . La bassa impedenza al centro del dipolo è dovuta al valore massimo della corrente (ventre di corrente) ed a una tensione minima (nodo di tensione) infatti **$Z = V / I$**

Un dipolo realizzato con un conduttore di sezione molto piccola e lungo esattamente $\lambda/2$, presenta un'impedenza **$Z_a = 73.2 + j42.5 \Omega$** , dalla quale si vede come esso presenti una componente reattiva induttiva di **42,5 Ω** , per cui in fase di realizzazione dovremo accorciarlo leggermente per eliminare questa componente, a spese di una leggera riduzione della parte reale.

Confrontando l'antenna isotropa con il dipolo a mezz'onda quest'ultimo guadagna sulla prima **1,64** volte in potenza (**2,14 dB**).

$$G = \text{Potenza antenna isotropa} / \text{Potenza dipolo mezz'onda.}$$

Per aumentare il guadagno e quindi la direttività del dipolo, i professori giapponesi **Yagi** (pron. Iaghi) e **Uda** misero di fronte al dipolo risonante lungo **0,47 λ** una serie di conduttori ad esso paralleli (elementi passivi) di lunghezza poco inferiore a mezza lunghezza d'onda tra **0,40 λ** e **0,43 λ** e un conduttore dietro al dipolo lungo **0,5 λ** . Gli elementi avanti al dipolo vengono chiamati direttori e distanziati dal dipolo da **0,1 λ** a **0,15 λ** , più aumenta il numero dei direttori più aumenta il guadagno dell'antenna (circa **0,8 dB** per ogni elemento aggiunto), mentre l'elemento dietro al dipolo è chiamato riflettore.

Radiolocalizzando 2ª parte

La spaziatura del riflettore per ottenere il massimo guadagno deve essere di $0,22\lambda$ dal dipolo, se viene portata a $0,1\lambda$ il guadagno risulta nullo e la resistenza di radiazione è ridotta a circa 15Ω . Data la lunghezza degli elementi passivi, essi hanno un comportamento reattivo, il riflettore ha una reattanza positiva (**induttiva**), mentre i direttori hanno una reattanza negativa (**capacitiva**). Essendo reattivi questi elementi non presentano perdite significative quindi re-irradiano l'energia a loro trasmessa dal dipolo con opportuna fase, aumentando così la direttività in avanti nel piano di polarizzazione. In un' antenna con 10 direttori, il guadagno può salire fino a 15 dB (31,6 volte), con un restringimento del lobo di radiazione. Aumentando ancora il numero dei direttori non si ottengono altrettanti incrementi significativi del guadagno.

Il dipolo risente la vicinanza degli elementi parassiti tanto che costruendo un'antenna a due elementi, dipolo più riflettore, dovremo accorciare il dipolo perché risuonerebbe su una frequenza più bassa; al contrario se faremo seguire il dipolo da un elemento direttore, lo dovremo allungare, perché ci risuonerebbe su una frequenza più alta, mentre se gli elementi parassiti riflettore e direttore sono presenti contemporaneamente (antenna tre elementi) l'effetto tende in parte a compensarsi.

Nelle radiocacce vengono impiegate antenne yagi con al massimo 4 elementi: 1 riflettore, 1 dipolo e 2 direttori, ma non mancano esempi di concorrenti che impiegano 2 soli elementi per ragioni di peso e di maneggevolezza, a scapito di una maggiore precisione di puntamento. Lo scrivente preferisce gareggiare con una 4 elementi anche se qualche volta rimane agganciata su qualche ramo di cespuglio e al termine della gara il braccio è abbastanza indolenzito "hi".

I diametri dei conduttori influiscono sulla larghezza di banda dell'antenna. Per ottenere una banda molto larga si debbono usare elementi aventi grossi diametri; per le nostre antenne questo non è un problema dato che non si richiedono larghezze particolari ed inoltre le antenne impiegate per la radiolocalizzazione usano elementi aventi diametri da 3 a 6 mm, garantendo la larghezza di banda ben oltre il necessario. I diametri degli elementi influiscono anche sulla loro lunghezza che deve essere ridotta in funzione dei diametri per compensare l'effetto di estremità, prodotto dalle correnti agli estremi degli stessi; mentre tali elementi debbono subire un allungamento nel caso che il diametro del boom abbia delle dimensioni significative in rapporto con la lunghezza d'onda di lavoro. Riguardo alle spaziature degli elementi, essi influiscono pesantemente sia sul guadagno che sull'impedenza del dipolo; i guadagni maggiori si hanno mettendo il riflettore a una distanza di $0,2\lambda$ dal dipolo e il direttore a $0,1\lambda$ dal dipolo. Con queste spaziature però si ha una bassa impedenza nel dipolo per cui sarà bene cercare un compromesso.

Le misure per una buona antenna a 4 elementi per i 2 metri (145 MHz) ottimizzata per il massimo guadagno potrebbero essere le seguenti:

Lunghezza riflettore (coeff · λ)	Spaziatura riflettore e dipolo (coeff · λ)	Lunghezza dipolo (coeff · λ)	Spaziatura dipolo e 1 direttore (coeff · λ)	Lunghezza 1 direttore (coeff · λ)	Spaziatura 1 direttore e 2 direttore (coeff · λ)	Lunghezza 2 direttore (coeff · λ)
$0,50 \cdot 2,06 =$ 1,034 m	$0,201 \cdot 2,06 =$ 0,415 m	$0,47 \cdot 2,06 =$ 0,972	$0,09 \cdot 2,06 =$ 0,186 m	$0,45 \cdot 2,06 =$ 0,930 m	$0,15 \cdot 2,06 =$ 0,310 m	$0,44 \cdot 2,06 =$ 0,910 m

Il guadagno si aggira intorno a **8 dB** (2,51 volte in tensione; 6,31 volte in potenza)

Radiolocalizzando 2^a parte

Per quanto riguarda l'adattatore di impedenza, per connettere il cavo al dipolo aperto, può essere scelto tra i seguenti adattatori: **beta match**, **delta match** o **gamma match**. Il più usato è quest'ultimo oltre che per la sua semplicità, anche perché adatta la bassa impedenza del dipolo a quella del cavo e adatta un sistema bilanciato quale è il dipolo a uno sbilanciato quale è il cavo coassiale.

L'adattatore gamma match è realizzato con un conduttore lungo $1/16 \lambda$ posto parallelamente iniziando dal centro dell'elemento radiante ad una distanza, nel nostro caso, compresa tra 5 e 8 cm, e collegato al

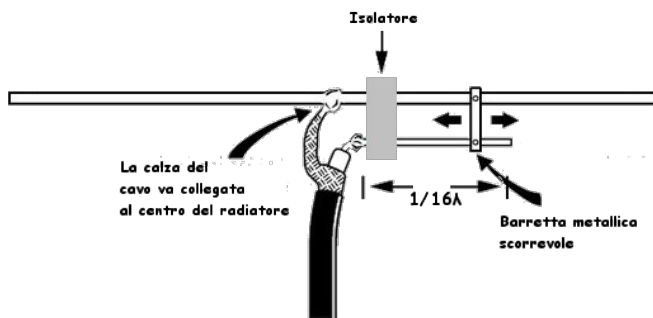


Fig.1 – Adattatore gamma match

radiatore attraverso una barretta metallica scorrevole, vedi Fig.1; l'estremità di questo conduttore rivolta al centro del radiatore va collegata al centro del cavo coassiale, mentre al centro del radiatore va collegata la calza.

L'aumento del rapporto d'impedenza lo si ottiene diminuendo la sezione del tubo del gamma match rispetto a quello dell'elemento radiante e aumentando la sua distanza dal radiatore nei limiti suddetti.

Altra soluzione è quella di avvalersi di un dipolo ripiegato o folded dipole la cui impedenza caratteristica è di 300Ω se i bracci che lo costituiscono sono del medesimo diametro. Variando questi ultimi è possibile far variare il valore dell'impedenza del dipolo per adattarla all'antenna che si sta costruendo.

La potenza captata da una antenna può essere associata ad un'area disposta ortogonalmente rispetto alla direzione di propagazione, quest'area, che intercetta il campo elettromagnetico in arrivo, estrae da esso parte della sua energia, viene chiamata *area equivalente* A_e o *area efficace*.

Se P_d è la *densità di potenza del campo elettromagnetico intercettato* e P_r è la *potenza che si rende disponibile ai suoi morsetti*, possiamo scrivere le seguenti relazioni:

$$P_r = P_d \cdot A_e \quad \text{da cui} \quad A_e = P_r / P_d \quad (\text{m}^2)$$

Il rapporto tra guadagno G e l'area efficace A_e di una antenna è una costante universale, valida per ogni tipo di antenna:

$$G / A_e = 4\pi / \lambda^2$$

Da questo rapporto possiamo calcolare l'area efficace di una antenna conoscendo il guadagno G e la lunghezza d'onda λ :

$$A_e = G\lambda^2 / 4\pi \quad (\text{m}^2)$$

Dalla quale formula si evince che al crescere della frequenza (diminuzione della lunghezza d'onda λ) l'area equivalente A_e si riduce notevolmente.

Radiolocalizzando 2ª parte

Esempio:

Avendo una antenna con un guadagno di 7dB e frequenza di lavoro di 144 MHz, la sua **area equivalente** sarà :

$$\lambda = 300/144 = 2,08 \text{ m} \quad 7\text{dB} = 5 \text{ volte} \quad A_e = (5 \cdot 2,08^2) / (4 \cdot 3,14) = 1,72 \text{ m}^2$$

Se un' antenna con il medesimo guadagno (7dB) lavorasse a 432 MHz la sua area equivalente sarebbe:

$$\lambda = 300/432 = 0,69 \text{ m} \quad 7 \text{ dB} = 5 \text{ volte} \quad A_e = (5 \cdot 0,69^2) / (4 \cdot 3,14) = 0,189 \text{ m}^2$$

La conoscenza di questa area serve anche nel caso in cui intendessimo mettere delle antenne direttive in parallelo, in modo da piazzarle alla giusta distanza tra loro, per non sovrapporre le aree delle antenne e limitarne così l'efficienza.

Altro parametro molto importante è il **diagramma di radiazione** o **diagramma polare**. Sono dei grafici che ci informano come e quanto irradia un'antenna nelle varie direzioni, e se si tratta di una antenna direttiva, quanto questa privilegerà una sola direzione rispetto alle altre.

Questi diagrammi possono essere tracciati sia per il piano verticale che orizzontale. La radiazione utile è contenuta tra due direzioni simmetriche rispetto al valore massimo presente al centro delle due direzioni, dalle quali si ha una riduzione di **-3 dB**; il corrispondente angolo 2α viene chiamato **angolo di radiazione**. I diagrammi hanno valore sia per le antenne impiegate in trasmissione che in ricezione. L'angolo di radiazione di un'antenna con un guadagno di 5,6 dB è circa 70 gradi, una che ne guadagna 6,5dB è di 65 gradi e una di 9 dB è di circa 45 gradi. Si comprende chiaramente che man mano che aumenta il guadagno l'angolo di radiazione si restringe, cosa ghiotta per il radiocacciatore.

Un'onda elettromagnetica emessa da un'antenna si compone di due energie una elettrica ed una magnetica, energie che si sostengono mutuamente, non può esistere l'una senza l'altra in quanto si generano reciprocamente, l'oscillazione elettrica è ortogonale a quella magnetica. Il termine **polarizzazione** si riferisce al piano sul quale l'oscillazione elettrica si propaga e dato che il campo elettrico è parallelo all'asse del dipolo, quando quest'ultimo è piazzato orizzontalmente, le onde elettromagnetiche irradiate sono polarizzate orizzontalmente. Se il dipolo (o l'antenna) è piazzato verticalmente le onde elettromagnetiche trasmesse saranno polarizzate verticalmente. Conoscere la polarizzazione in fase di ricezione è importante, in quanto si potrà ricevere il massimo segnale solo se le antenne di trasmissione e di ricezione avranno la medesima polarizzazione, altrimenti si subirebbero forti attenuazioni. Oltre a questo tipo di polarizzazione detta lineare ne esiste un'altra detta circolare (destra o sinistra) usata per comunicazioni satellitari e per scopi e situazioni particolari, ma in questo contesto non verrà presa in considerazione.

Ora per terminare questa chiacchierata, rispondo alla domanda fatta nella prima parte che chiedeva: disponendo di un'antenna a tre elementi e un trasmettitore con potenza di 2 watt che alimenta un dipolo disposto nella direzione di massima radiazione verso la nostra antenna, e con la corretta polarizzazione, con un rendimento $\eta = 1$ (magari!) alla distanza di 4 Km, quanta è la tensione ricevuta ai suoi morsetti?

Ebbene in base a quanto sopra esposto, ed ai dati a disposizione qui sotto riportati iniziamo a calcolare la *densità di potenza* (P_d).

Radiolocalizzando 2ª parte

Dati di calcolo (esempio):

Potenza trasmettitore = 2 watt;

Guadagno dipolo $G = 2,15$ dBi = 1,64 volte (in potenza);

Rendimento $\eta = 1$;

Distanza (r) = 4000 metri;

Guadagno antenna 3 elementi $G = 7$ dBi = 5 volte (in potenza).

MHz = 145

Soluzione:

Dalla formula $G/A_e = 4\pi/\lambda^2$ ci calcoliamo l'area efficace $A_e = G\lambda^2/4\pi$

Per conoscere la *potenza ricevuta* P_r basta moltiplicare la *densità di potenza* P_d per l'area efficace A_e dell'antenna: $P_r = P_d \cdot A_e$

Dall'elettrotecnica $\text{watt (W)} = E^2/R$ dalla quale ricaviamo $E = \sqrt{P_r \cdot R \cdot 2}$, la presenza del valore 2 è dovuta dal fatto che l'antenna è vista come un generatore con una sua resistenza interna chiusa su un carico adattato il cui valore è stato interpretato arbitrariamente 50Ω (valore abbastanza vicino al reale).

$$P_d = P_t G / (4\pi r^2) = 2 \times 1,64 / (4 \cdot 3,14 \cdot 4000^2) = 0,0000000163 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Densità di Potenza a 4 Km})$$

$$A_e = G\lambda^2 / 4\pi = 5 \cdot 2^2 / (4 \cdot 3,14) = 1,592 \text{ m}^2 \quad (\text{Area efficace antenna})$$

$$P_r = P_d A_e = 0,0000000163 \cdot 1,592 = 0,000000026 \text{ W} \quad (\text{Potenza ricevuta})$$

$$\lambda = 300 / \text{MHz} = 300 / 145 = 2,068 \text{ m} \quad (\text{Lunghezza d'onda})$$

La tensione ricevuta ai morsetti della 3 elementi yagi sarà:

$$E = \sqrt{P_r \cdot R \cdot 2} = \sqrt{0,000000026 \cdot 50 \cdot 2} = 0,0016 \text{ V} = 1,61 \text{ mV}$$

Altro metodo di calcolo potrebbe essere questo:

$$P_r = (\text{dBm} + \text{dB}_{RX} + \text{dB}_{TX}) - (\text{Attenuaz. di tratta} + \text{Attenuaz. dei cavi})$$

L'attenuazione dei cavi non è stata considerata negli esempi di calcolo che seguiranno in quanto i rispettivi cavi che collegano sia l'antenna da radiocaccia al relativo ricevitore che l'antenna della volpe al relativo trasmettitore, sono di lunghezza trascurabile.

La potenza del trasmettitore di 2 watt la possiamo esprimere o in dBW o in dBm, per la prima il livello di riferimento è 1 watt per la seconda è 1 milliwatt:

$$\text{dBW} = 10 \log 2/1 = 10 \log 0,3 = 3 \text{ dBW} \text{ oppure } \text{dBm} = 10 \log (2 \cdot 1000/1) = 10 \log 3,3 = 33 \text{ dBm.}$$

Il dBm è il più usato.

Radiolocalizzando 2^a parte

Calcolo dell'attenuazione di tratta:

$$20 \log (4\pi r / \lambda) = 20 \log (4 \cdot 3,14 \cdot 4000 / 2) = 88 \text{ dB} \quad (\text{attenuaz. di tratta})$$

oppure

$$32,45 + 20 \log \text{MHz} + 20 \log r \text{ (in Km)} = 32,45 + 20 \log 145 + 20 \log 4 = 88 \text{ dB} \quad (\text{attenuaz. di tratta})$$

Esprimere la potenza del trasmettitore, i guadagni delle antenne e le attenuazioni in dB rende più semplice eseguire i calcoli perchè si limitano a somme e sottrazioni. Quindi se il guadagno del dipolo (TX) è di **2,15** dBi e dell'antenna 3 elementi (RX) è di **7** dBi, la *potenza ricevuta* P_r sarà:

$$P_r = (\text{dBm} + \text{dB}_{\text{tx}} + \text{dB}_{\text{rx}}) - \text{dB}_{\text{attenuaz. di tratta}} = (33 + 2,15 + 7) - 88 \text{ dB} = -45,85 \text{ dBm}$$

Per convertire in watt la potenza espressa in dBm, togliere il segno meno dalla P_r e applicare la seguente formula:

$$W = 0,1^{\text{dBm}/10} / 1000 = 0,000000026 \text{ W}$$

La tensione ricevuta ai morsetti della 3 elementi yagi sarà:

$$E = \sqrt{P_r \cdot 50 \cdot 2} = \sqrt{0,000000026 \cdot 50 \cdot 2} = 0,00161 \text{ V} = 1,61 \text{ mV}$$

Per essere più rapidi si può applicare la seguente formula derivata dal primo metodo:

$$P_r = P_t G_{\text{tx}} G_{\text{rx}} \lambda^2 / [(4\pi)^2 r^2] = 2 \cdot 1,64 \cdot 5 \cdot 2,068^2 / [(4 \cdot 3,14)^2 \cdot 4000^2] = 0,000000027 \text{ W}$$

La tensione ricevuta ai morsetti della 3 elementi yagi sarà:

$$E = \sqrt{P_r \cdot R \cdot 2} = \sqrt{0,000000027 \cdot 50 \cdot 2} = 0,00164 \text{ V} = 1,64 \text{ mV}$$

Come si vede i vari metodi di calcolo danno praticamente gli stessi risultati.

Un altro strumento indispensabile da interporre tra l'antenna e il ricevitore è l'**attenuatore**, perché quando siamo ormai vicini al trasmettitore (volpe) l's-meter è sicuramente a fondo scala e ciò non ci permetterebbe più di fare nessuna rilevazione, quindi si rende necessario diminuire il segnale captato dall'antenna.

L'attenuatore deve operare una riduzione di segnale mantenendo costante la sua impedenza d'ingresso e d'uscita.

La rete di resistori più impiegata per questo scopo è quella di tipo a π , trattasi di tre resistori collegati in modo da somigliare alla famosa lettera greca, di valore tale da raggiungere il valore di attenuazione e di impedenza desiderati.

Radiolocalizzando 2ª parte

Alcuni attenuatori sono realizzati con una cella da 10 dB seguite da quattro celle da 20 dB, inseribili tramite doppi deviatori a pallina o a slitta, oppure realizzati nella successione di 10+20+40+80 dB (più pratica la prima).

Altro tipo di attenuatore è quello a conversione che garantisce una attenuazione di circa 100 dB. Il ricevitore dovrà essere sintonizzato non sulla frequenza della volpe f_v ma su una frequenza di 1MHz sopra o sotto quella della volpe, dato che questo attenuatore esegue una conversione di frequenza per battimento, con un segnale generato da un oscillatore stabilizzato da un quarzo da 1 MHz. L'attenuazione avviene limitando l'ampiezza di questa tensione attraverso un potenziometro, e di conseguenza si ridurranno anche le ampiezze dei prodotti di battimento ($f_v - f_o$), ($f_v + f_o$). Il vantaggio è di non dover schermare il ricevitore, perché, in prossimità della volpe, il forte campo elettromagnetico riuscirebbe invece a scavalcare un'attenuatore resistivo e mantenere costantemente a fondo scala l's-meter.

Allego i valori delle resistenze per realizzare un attenuatore resistivo a 50 Ω :

$$10 \text{ dB} = R_1 = R_3 = 96,2 \Omega \quad R_2 = 71,1 \Omega$$

$$20 \text{ dB} = R_1 = R_3 = 61,1 \Omega \quad R_2 = 248 \Omega$$

Con questi quattro valori si può realizzare l'attenuatore sopra citato. Tali valori non fanno parte della serie standard quindi si potranno raggiungere (avvicinare) effettuando dei collegamenti tra resistenze di opportuno valore o in serie o parallelo. Per realizzare il valore **96,2 Ω** effettueremo il parallelo tra una resistenza da **100 Ω** e una da **2700 Ω** ($100//2700$). Mentre per realizzare il valore di **71,1** collegheremo in serie una resistenza da **56** con una da **15 Ω** ($56+15$).

Per le altre seguiremo lo stesso procedimento: **61,1**= ($39+22$) e **248**= ($330//1000$).

Come vedete questa attività tecnica sportiva ci dà l'occasione di ripassare qualcosa, per poi impegnarci a costruire o il ricevitore o l'antenna o il semplice attenuatore. In più ci regalerà il piacere di gareggiare tra amici e di godere dei verdi spazi per poi, a fine gara, abbuffarci e ripristinare il colesterolo bruciato "hi".

Con questo termino la mia lunghissima chiacchierata e vi attendo numerosi sul territorio di caccia.

Sono disponibile per qualsiasi chiarimento, 73.

Antonio IØAMS