

Accoppiatori di potenza Radioamatoriali

Chiunque abbia l'intenzione di realizzare un sistema di antenne composto da almeno due elementi radianti ha la necessità utilizzare un metodo di accoppiamento in grado di adattare l'impedenza del cavo coassiale al valore risultante dal parallelo di 2 o più antenne.

Si tratta semplicemente di interporre un adattatore/trasformatore di impedenza che può essere realizzato in vari modi ma soprattutto per le VHF o superiori si tende ad utilizzare un Accoppiatore in quarto d'onda.

Se ad esempio vogliamo collegare due antenne direttive ognuna con impedenza di 50ohm, avremo un valore risultante dal parallelo delle due pari alla metà, cioè 25ohm.

Se invece intendiamo utilizzare un Array di 4 antenne l'impedenza risultante sarà di un quarto, cioè 12,5ohm.

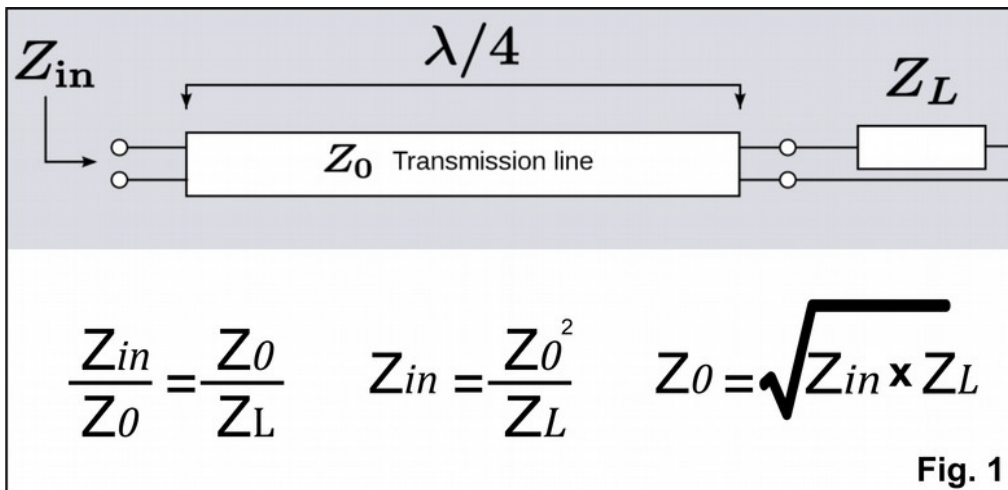
Perché questo accoppiamento avvenga in modo corretto serve che le singole antenne siano perfettamente uguali, con la corretta impedenza e quindi con il migliore rapporto di onde stazionarie possibile.

Solo in questo modo l'accoppiatore che andremo ad utilizzare funzionerà in modo corretto.

La teoria della trasformazione di impedenza è veramente molto semplice da capire e da realizzare.

Si tratta di applicare l'effetto che si ha quando si interpone fra la sorgente (il nostro apparato radio che alimenta il cavo d'antenna) e il sistema radiante di impedenza diversa dai classici 50ohm un tratto di linea in quarto d'onda.

Se questo tratto di linea ha la giusta impedenza si comporta come un adattatore/trasformatore di impedenza (**Fig. 1**).



Il calcolo della Lunghezza d'Onda immagino sia ben conosciuto da tutti gli appassionati ma per i pochi che potrebbero avere dubbi si tratta di dividere la Velocità della Luce (arrotondando sono 300.000 Km/sec per la Frequenza a cui si vuole utilizzare l'accoppiatore, poi dividere per questa specifica applicazione per 4 (¼ d'Onda, cioè Lamda/4)

L'esempio più banale può essere quello di calcolarlo per la banda dei 2mt (centro banda 145Mhz)

Avremo quindi $300000/145 = 2068,9$ e avendo ommesso nel calcolo di indicare i Km e i Mhz il risultato ottenuto è in mm, quindi circa 2000mm (sono i nostri 2mt classici) che poi diviso per 4 da come risultato arrotondato 51,7cm.

Questa è la lunghezza del tratto di linea che realizzerà il nostro accoppiatore d'antenna.

Procediamo ora con l'esempio di calcolo dell'impedenza per accoppiare due antenne e quindi con una impedenza da adattare che sarà di 25ohm

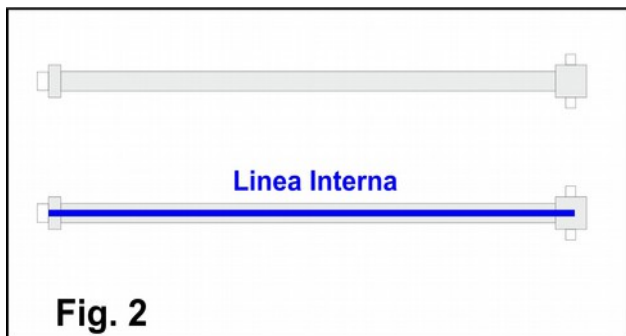
Applicando la formula sopra indicata andremo a trovare l'impedenza del tratto di ¼ d'onda che dovremo interporre " **Z₀**".

La Radice Quadrata di **Z_{in} x Z_L** (50x25) è uguale a 35,3ohm e quindi questa è l'impedenza necessaria per il tratto di linea in Lamda /4.

Se lo stesso calcolo lo facessimo per realizzare un accoppiatore adatto a collegare 4 antenne sarebbe la Radice di 50x12,5 e quindi 25ohm.

Ora non resta che capire come definire le dimensioni del tratto di linea che sarà composto dalla parte esterna e da una linea interna isolata e tenuta saldamente al centro, come fosse un cavo coassiale ma senza il dielettrico che nel nostro caso è l'Aria.

Solitamente si ha questa configurazione, con a un estremo l'ingresso del cavo coassiale di salita e all'altro lato le uscite che andranno alle varie antenne (**Fig. 2**).



Poi normalmente l'accoppiatore viene posizionato in verticale, con l'ingresso in basso (**Foto 1**)

Chi si volesse cimentare nella realizzazione dovrà poi iniziare scegliendo un tubo per la parte esterna e a prescindere dallo spessore noi andremo a prendere in considerazione il solo diametro interno.

Partendo da questo valore si dovrà calcolare il diametro della linea interna che andrà a realizzare il tratto con la impedenza richiesta dal progetto.

La formula per calcolare l'impedenza di una Linea Coassiale circolare in Aria è $Z_0 = 138 \log D/d$

Si tratta del logaritmo del rapporto fra il diametro interno del tubo esterno e il diametro della linea interna quindi semplicemente il rapporto fra i diametri.

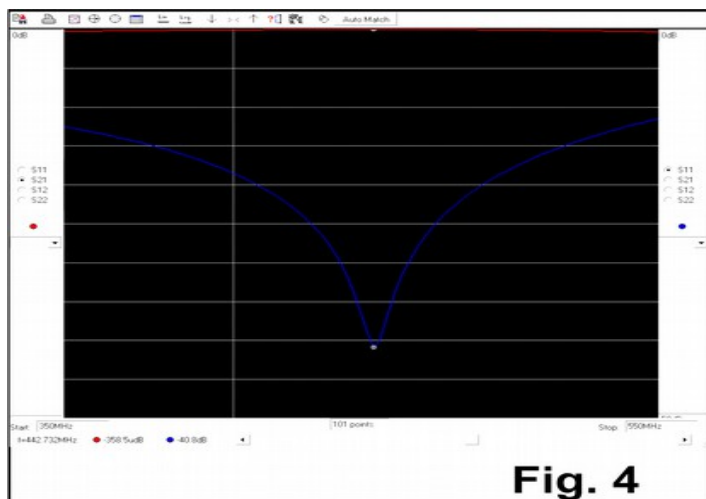
$$\frac{D}{d} = \frac{Z_0}{138} \cdot 10^x$$

Fig. 3

Solitamente però si conosce l'impedenza richiesta dal progetto, si decide quale tubo esterno utilizzare e si va poi a calcolare solo il diametro della Linea interna con questa altra formula (**Fig 3**).

Trovato quindi il rapporto **D/d** necessario e facile scoprire quale dovrà essere il diametro della linea interna, quindi per il nostro accoppiatore a 2 uscite, considerando che serve una linea con impedenza di 35,3ohm il rapporto D/d dovrà essere di 35,3/138 e poi inverso logaritmo cioè 10 alla x = 1,8

Se quindi per esempio fissiamo il diametro interno del tubo a 18mm e dividiamo per 1,8 avremo che la nostra linea interna dovrà avere un diametro di 10mm.

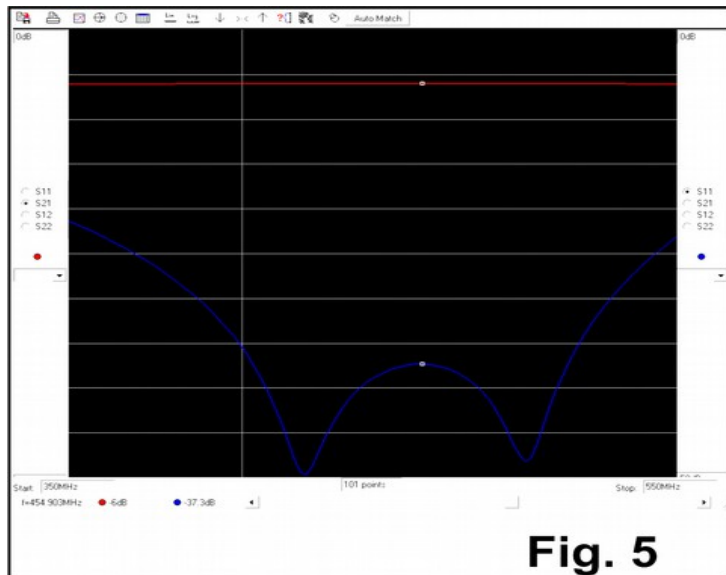


Ecco un tipico grafico del return loss di un accoppiatore così realizzato (**Fig. 4**).

La larghezza di banda è in relazione al numero di uscite e quindi al salto di impedenza . Più uscite ci sono minore è l'impedenza che ne risulta (cioè il valore del parallelo di tutti i carichi) e minore sarà la banda passante. Per l'uso amatoriale questo non è molto importante perché le porzioni di banda assegnate al nostro utilizzo sono limitate ma per altri servizi questo può essere un serio problema. Ad esempio per la FM la banda è di 20Mhz mentre per la TV addirittura qualche centinaio.

Esiste però una soluzione tecnica per estendere la banda di utilizzo che consiste nel realizzare più salti di impedenza. Se ad esempio si volesse realizzare un accoppiatore a 8 uscite si avrebbe una impedenza di $50/8$ quindi $6,25\text{ohm}$. Nessuno vieta di realizzare un accoppiatore semplice con un singolo salto ma questo produrrà una banda passante di utilizzo molto limitata.

La soluzione è quella di fare 2 o più salti di impedenza, ad esempio passando da 50ohm dell'ingresso a 25ohm intermedi e poi da 25ohm a 6.25ohm dell'uscita.



In **Figura 5** si può vedere il comportamento di un divisore a 4 uscite ma a Doppio Salto per la banda dei 430Mhz e subito si nota come la banda di utilizzo si sia estesa con il grafico che assume la tipica risposta a sella, cioè con una risalita a centro banda.

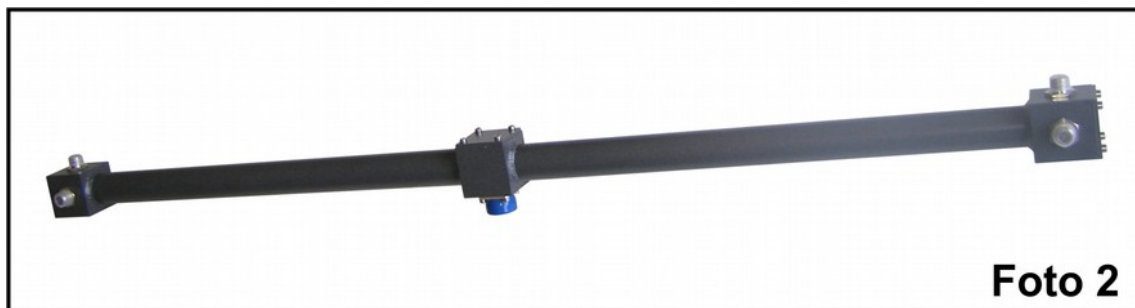
Per questo tipo di accoppiatori il calcolo è un po più complicato perché per ottenere la curva desiderata è necessario un corretto bilanciamento fra i salti di impedenza e la realizzazione necessita di un più attento rispetto dei diametri, quindi tolleranze più stringenti non compatibili con le tecniche hobbistiche.

Un ulteriore problema è la posa dei vari cavi di uscita che devono raggiungere le antenne.

Se le uscite sono 2 o massimo 4, è ancora accettabile utilizzare uno accoppiatore di potenza classico ma con 6 o più uscite il groviglio dei cavi necessari ai vari collegamenti diventa imbarazzante

Per minimizzare le perdite nei cavi e per avere un layout pulito, i classici accoppiatori potrebbero essere non perfettamente adatti allo scopo.

Per ovviare a tutto questo esistono particolari configurazioni con le uscite poste simmetricamente sui due lati mentre l'ingresso si trova al centro.



La **foto 2** si riferisce a un modello per i 144Mhz a 3+3 uscite con connettori di uscita N e con ingresso in $7/16$ e quindi in grado di reggere con tranquillità $3 - 4\text{KW}$ di potenza.

Montando quindi orizzontalmente questo speciale modello di accoppiatore si potranno collegare le 6 antenne con cavi molto corti e assolutamente ben posizionati .

Lo stesso ragionamento vale anche per configurazioni a 2+2 o a 4+4.

L'ulteriore pregio di questa soluzione è che la larghezza di banda è quella risultante dal salto di impedenza di ogni singolo ramo e non per la totalità delle uscite, la larghezza di banda sarà quindi molto buona anche per un numero elevato di uscite totali.

Scendendo ora nei particolari più tecnici ecco alcune foto(**Foto 3, 4 e 5**) che consentono di mostrare come possono essere realizzati questi particolari modelli. Si tratta di modello professionale con la struttura esterna in alluminio Anticorodal saldato a TIG e trattata Alodyne e poi successivamente verniciata esternamente a polveri.

Le linee interne sono in Ottone argentato e per prevenire problemi la viteria è in acciaio Inox.

Si possono notare le guarnizioni o-ring di colore rosso, che vanno a garantire la tenuta sui tappi di chiusura.

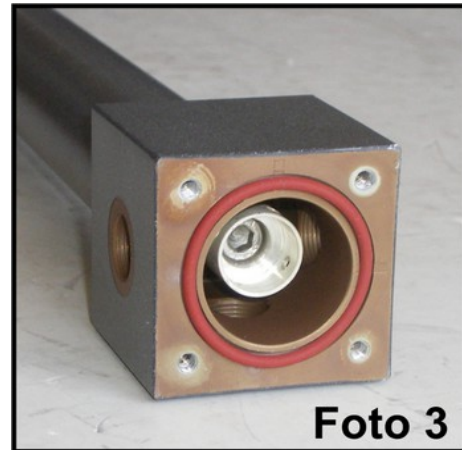


Foto 3

Anche tutti i connettori utilizzati devono sempre essere dotati di guarnizioni o-ring in gomma siliconica, materiale perfetto per elasticità e tenuta in un ampio range di temperature che vanno dal freddo più intenso dell'inverno al caldo estremo, quando il sole estivo arroventa il metallo.

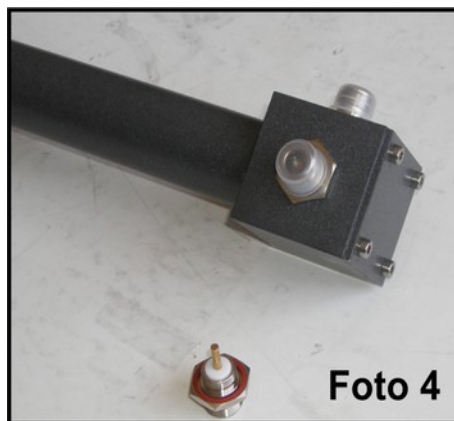


Foto 4



Foto 5

Andiamo ora ad analizzare le performance elettriche di questa speciale versione di accoppiatori ma nella versione a 2+2 uscite dove su ogni porta avremo un livello di **-6db** rispetto all'ingresso mentre l'attenuazione extra dovuta alle perdite generiche è praticamente ininfluenza (inferiore a 0.1dB) e su queste frequenze non viene mai presa in considerazione.

Ecco quindi in **Figura 6** il tipico grafico del return loss su una porzione di banda di 10Mhz e con i 3 marker a identificare la banda fra 144 e 146Mhz. Si può notare come il valore di return loss sia sempre inferiore a **-35db** pari a un VSWR migliore di **1.04:1**.

In termini percentuali significa che l'onda stazionaria è inferiore a **1:2000** della potenza diretta .

Praticamente un disadattamento impercettibile e spesso non misurabile se non con strumenti di classe, cioè non con un semplice SWR meter a lancette.

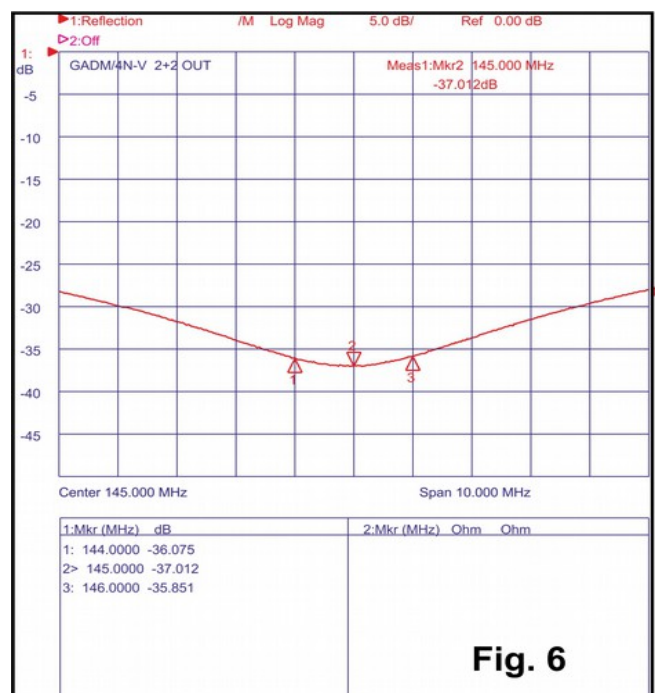


Fig. 6

Anche per oggetti abbastanza semplici come gli accoppiatori di potenza la cura dei particolari fa la differenza e se si desidera installare un componente che duri negli anni deve essere prestata particolare attenzione all'aspetto meccanico, ai trattamenti sui materiali e alla perfetta tenuta dell'acqua. Non ultima la possibilità di poter procedere anche dopo molti anni a una ispezione interna e questo necessita di una progettazione adeguata.

Per quanto riguarda le performance elettriche ora è tutto più facile visto che i VNA sono alla portata di ogni hobbista mentre nel passato si dovevano spendere cifre importanti per la strumentazione di misura. Per non commettere però errori nel valutare il funzionamento di questi partitori di potenza sarà comunque necessario dotarsi del necessario numero di carichi fittizi di adeguata qualità. Se si vuole realizzare un partitore con le performance come quelle di Figura 6 necessariamente i carichetti dovranno avere un return loss di almeno 40 - 45dB per non alterare la misura.

Infine, oltre al VNA servirà dotarsi anche del Kit di calibrazione (Open – Short – Load) altrimenti tutte le misure che si andranno a fare saranno errate.

Un cordiale saluto e al prossimo approfondimento tecnico

73,s Davide Ghelli, I4GZV