

ADATTATORI D'IMPEDENZA - premessa

di Giovanni G. Turco, ikOziz

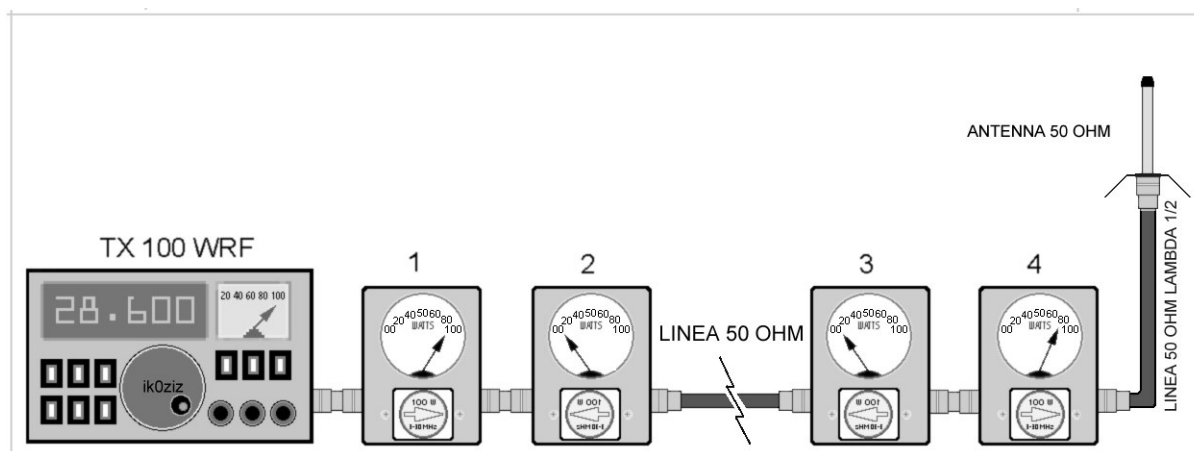
Sappiamo che:

Z_g è l'impedenza d'uscita del generatore

Z_o è l'impedenza della linea

Z_L l'impedenza del carico

Quando queste tre caratteristiche hanno valore uguale tra loro, il circuito di è adattato. Quindi si ottiene che il trasferimento della potenza (RF) dal generatore sia di quantità massima, o quasi.



Impianto trasmettente adattato. Il generatore, la linea e l'antenna hanno impedenza 50 Ω .

Sul wattmetro (1) si legge la potenza erogata dal trasmettitore che giunge all'antenna attenuata solo per la perdita dovuta alla lunghezza della linea (4). La misura del perfetto adattamento si rileva dai ROSmetro (2) e (3).

Un'antenna calcolata in modo che abbia impedenza d'ingresso uguale alla linea ed al trasmettitore, in altre parole senza necessità di adattamento, non ha un guadagno elevato, quindi neppure un ottimo rapporto A/R, ma solo un basso valore di R.O.S., che ci permette di operare però su un intervallo di frequenza sicuramente più ampio. Per ottenere che l'antenna abbia un buon guadagno, bisogna calcolarla in modo che l'impedenza d'ingresso sia bassa, poi si compensa per il valore richiesto dalla linea mediante un adattatore (d'impedenza).

In mancanza di strumentazione specifica per determinare l'impedenza di un'antenna, si può utilizzare un semplice ROSmetro ed una formula.

Ecco il procedimento:

1. Si misura il R.O.S. proprio tra l'ingresso dell'antenna ed il cavo di trasmissione (linea).
2. Se meccanicamente risulta difficoltoso, si inserisce una linea $\frac{1}{2}$ lambda (o multipli, misura elettrica) tra l'antenna ed il ROSmetro.
3. Si legge il valore, ad esempio 3,5 : 1

La formula per conoscere l'impedenza dell'antenna è: $Z_L = \frac{Z_o}{R.O.S.} = Z_L = 50 : 3,5 = 14,28$

VARI TIPI DI ADATTATORI D'IMPEDENZA

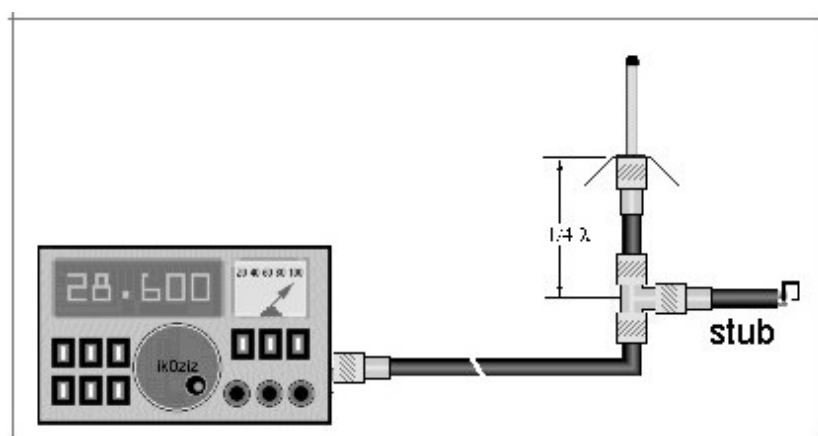
Adattamento mediante "stub"

Lo **stub** è un tratto di linea aperto o chiuso in corto circuito che, se inserito in parallelo alla linea di discesa, opera adattamento d'impedenza.

Il punto di ingresso di questo dispositivo può essere induttivo o capacitivo, a seconda della sua lunghezza. L'impedenza d'ingresso di un tronco di linea in cortocircuito o aperta si calcola in rapporto alla frequenza.

Se l'antenna presenta, al suo ingresso, una reattanza capacitiva X_c , per poterla cancellare lo stub dovrà contenere una componente induttiva X_l , e viceversa. Se non si è in possesso di adeguata strumentazione, lo stub va sezionato un po' più lungo e poi tagliato progressivamente misurando di volta in volta il R.O.S., fino ad ottenere che il punto di risonanza abbia R.O.S. pari ad 1:1.

Quando come stub s'impiegano dei cavi coassiali, è preferibile realizzarne due o più, posizionandoti a distanze di $1/8$ di λ (misura elettrica) o multipli dispari. A distanza di $1/2 \lambda$ dal carico si possono porre, ad esempio, due stub $\lambda/4$ ad intervalli di $3/8 \lambda$ chiusi agli estremi. Questo ed è il metodo più diffuso.



Stub chiuso per annullare la componente reattiva dell'impedenza d'ingresso.

Balun a "trombone" 4 :1

È conosciuto come "balun a trombone" per la sua forma ripiegata che ricorda lo strumento musicale.

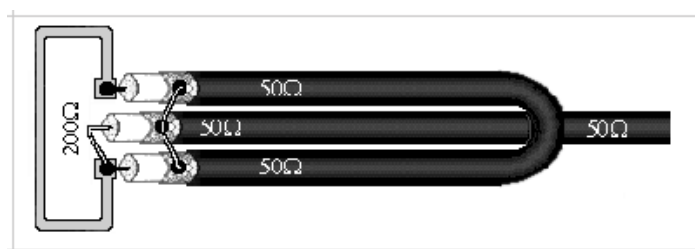
È realizzato con cavo coassiale e consente una trasformazione d'impedenza pari a 4:1 a rialzo.

In altre parole il valore d'ingresso (verso la linea) è la quarta parte del valore d'impedenza d'ingresso dell'antenna.

Questo tipo di balun adatta anche la linea sbilanciata all'ingresso bilanciato dell'antenna, ovvero, blocca quella parte (piccola) di corrente che, liberatasi dal radiatore, scorre lungo la garza esterna del cavo coassiale verso il generatore.

Come si può osservare nella figura, il tratto di cavo ripiegato è realizzato con linea coassiale il cui valore, quale dividendo di quello dell'antenna, dà come risultato 4; se il carico fosse stato quindi di impedenza 300 ohm, avremo adoperato un cavo di 75 ohm ($300/4=75$).

La lunghezza deve essere pari a di $1/2$ lambda elettrica (accorciamento dovuto al fattore di velocità del cavo).

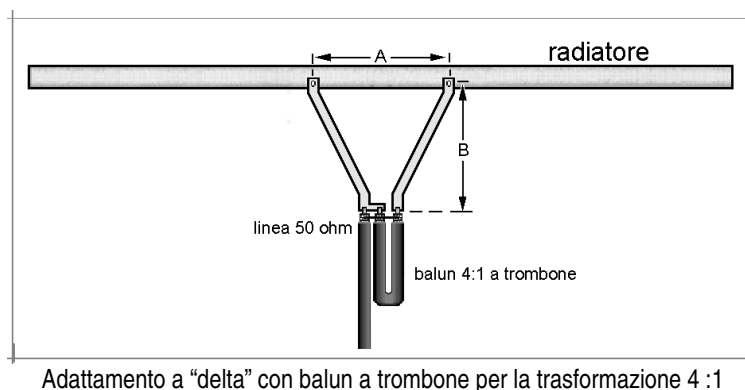


Balun per trasformazione 4 :1, detto a "trombone" per la sua forma.

Adattamento a "Delta"

E' un tipo di alimentazione applicato a dipoli $\lambda/2$ non aperti al centro.

E' possibile utilizzare come radiatore un conduttore cilindrico tagliato ad una certa frequenza, della dimensione di $\lambda/2$ lunghezza d'onda, quindi non tagliato al centro, e collegare ad esso la linea di alimentazione. Aumentando per un certo tratto la distanza tra i conduttori, l'impedenza varia. In figura, nei punti "A" e "B" di connessione avviene l'adattamento a 200Ω . Per trasformare l'impedenza ai 50Ω richiesti, si inserisce un balun del tipo a trombone (4:1) posto in parallelo alla linea. Questo sistema funziona anche da simmetrizzatore.



Le distanze "A" e "B" si determina sperimentalmente. Per la banda dei 70 cm. quella "A" è prossimo a 0.22λ e quella "B" a 0.05λ . Per un'antenna yagi 15 elementi sintonizzata su 434 MHz, il tratto "A" sarà di 15 cm. e quello "B" di 3,4 cm. c.a..

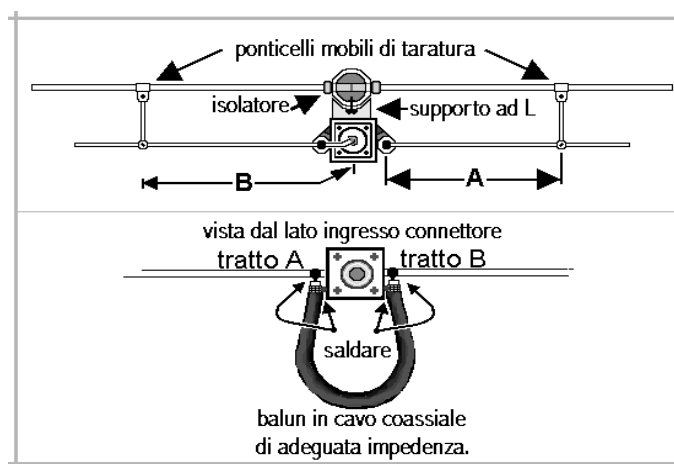
Adattatore a T match

Questo tipo di adattatore ricorda il dipolo ripiegato. Viene usato per adattare una linea bilanciata a bassa impedenza all'elemento pilotato di un sistema multibanda.

In figura si vede infatti la meccanica che si sviluppa parallelamente al dipolo per un tratto lungo circa il 60% della sua totale estensione. La corrente che transita è suddivisa tra il dipolo ed il sistema adattatore.

Simile a quello a delta, l'adattamento d'impedenza è regolato dalla lunghezza del tratto "A" e di quello "B" con l'ausilio di un balun 4:1 (il classico "trombone"). Il tratto "A" è di circa 0.18λ , quello "B" intorno a 0.96λ . La distanza "S" tra le sezioni a "T" ed il dipolo è di circa 0.025λ .

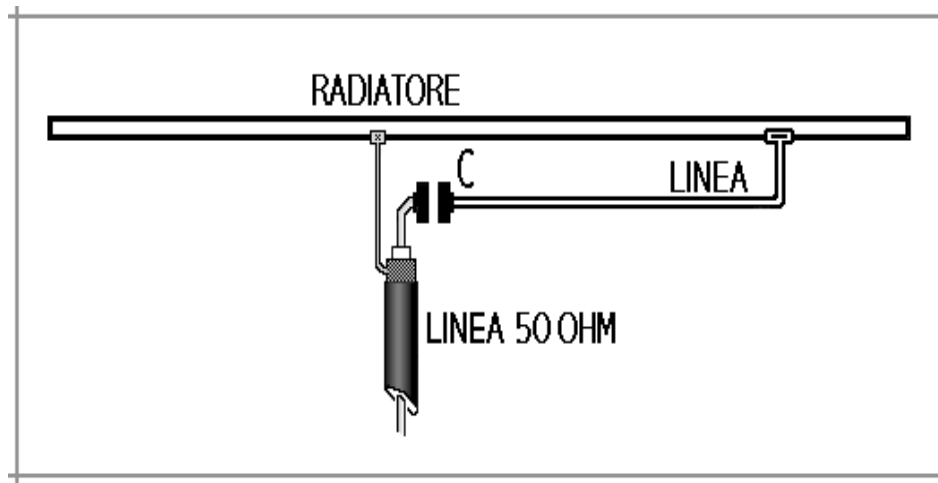
Il diametro dell'adattatore è di circa $1/4$ rispetto a quello del dipolo.



Nella figura il "T match", con il balun a trombone. Se l'impedenza del dipolo è 300Ω , sarà realizzato con cavo di 75Ω , se di 200Ω sarà di 50Ω . In mancanza di un impedenziometro, regolare i tratti "A" e "B" per il minimo R.O.S. (4 : 1 circa). Collocare poi il balun avendolo tagliato un poco più lungo, e tararlo per il minimo R.O.S. (1 : 1) agendo sulla sua lunghezza.

Gamma match

Questo tipo di adattatore d'impedenza, di larghissima diffusione, è preferito per la sua semplicità di realizzazione. Viene adottato quando il radiatore dell'antenna è di unica dimensione e connesso a massa.



Adattatore a gamma match.

La capacità per l'accordo è di 7 pF per ogni metro di λ .

Ad esempio, per 28 MHz = 75 pF per λ pari a 10,70 m.

Per cavo del tipo RG213, avente capacità di 97 pF per metro, la lunghezza sarà 77,4 cm, in quanto:

$97 \text{ pF} : 100 \text{ cm} = 0,97 \text{ pF per cm};$

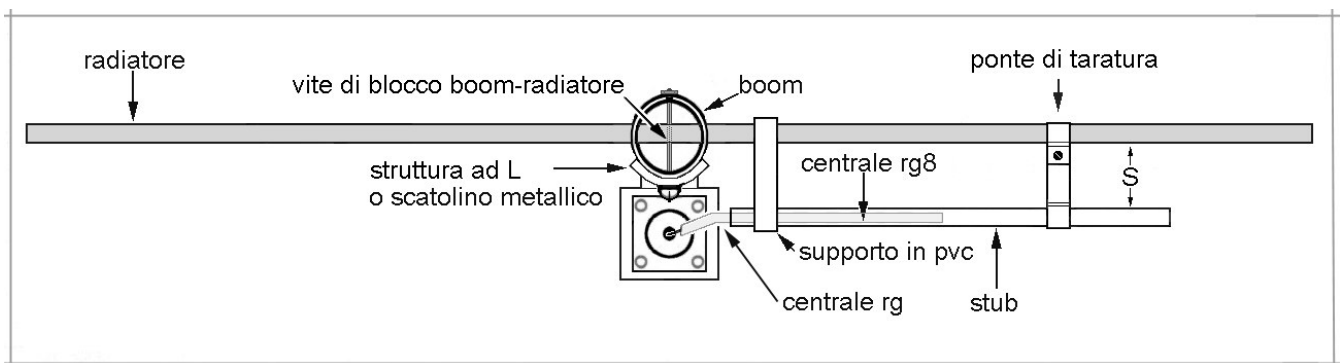
$0,97 \times 77,4 = 75 \text{ pF}.$

Per la sezione adattatrice $L = 0,045 \lambda$, quindi:

(C) $299.793 : (F) 28.000 \text{ MHz} = 10,70 \text{ m. } (\lambda)$

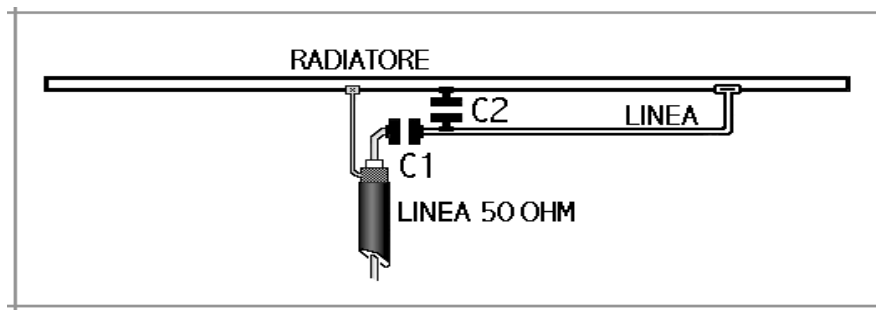
$10,70 \times 0,045 = 0,48 \text{ cm}.$

Il diametro esterno della sezione adattatrice deve essere compreso tra $\frac{1}{4}$ e metà rispetto a quella del radiatore. Conviene scegliere un tubicino di diametro interno poco più grande rispetto al diametro esterno del cavo utilizzato. La distanza misurata tra le superfici dei due elementi deve essere di $0,007 \lambda$. La linea d'alimentazione prevista per questo tipo di adattatore è sbilanciata: si utilizza un normale cavo coassiale. La versione più facile da realizzare è quella in figura. Un tratto del conduttore centrale del cavo coassiale viene inserito in un tubicino (posto parallelo al radiatore) ed in esso fatto terminare. Mediante un ponticello mobile si trova il punto di adattamento.



Omega match

Quella in figura è una versione più versatile del gamma.



Adattatore Omega match.

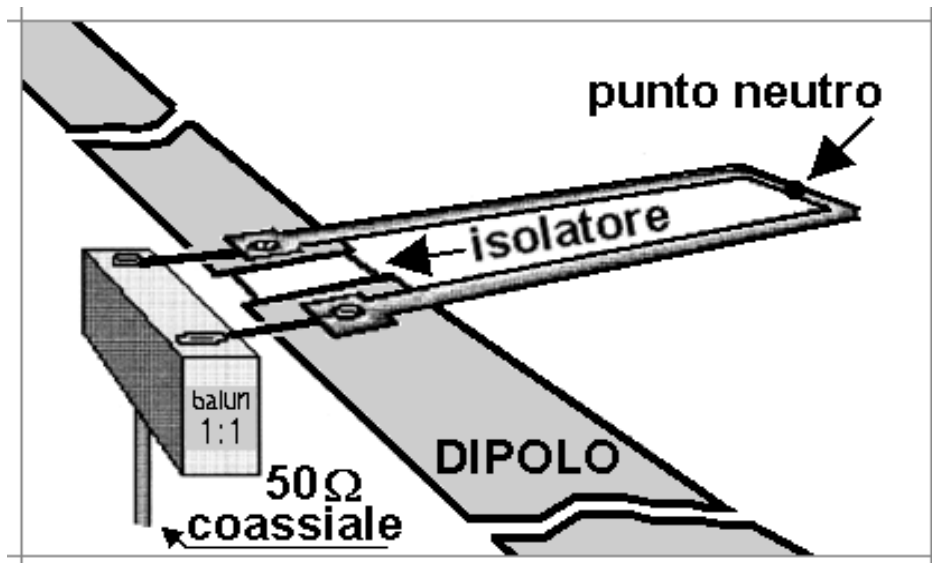
Il condensatore C2 (in parallelo) serve a cancellare la parte reattiva di tipo induttivo introdotta dal gamma match e definisce la componente del carico così come è vista dalla linea.

Inoltre, permette l'uso di un tubicino di minor lunghezza e rende l'accordo più facile, a condizione che il radiatore sia perfettamente risonante alla frequenza per la quale è calcolato.

Il condensatore C1 ha la funzione dello stub del gamma match, e serve a cancellare la reattanza.

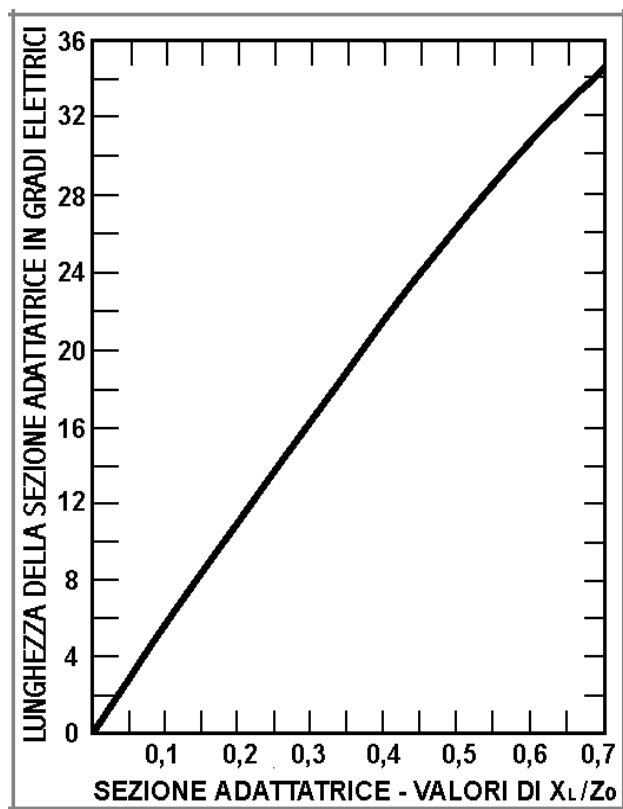
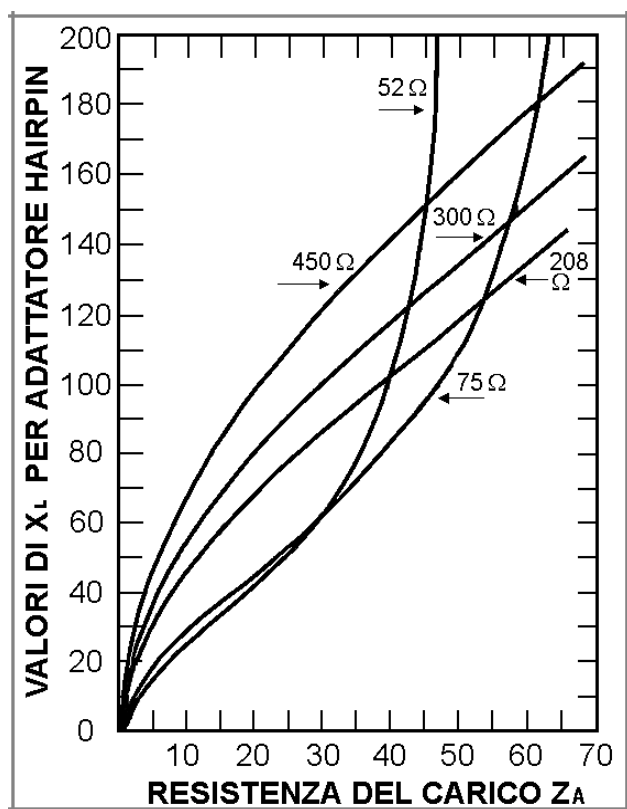
Hairpin

Adattatore d'impedenza applicabile a dipoli aperti con elementi isolati dal boom. E' necessario un balun 1:1 per il bilanciamento della linea coassiale.



Adattatore Hairpin.

La forma dell'adattatore hairpin è ad "U". Nel punto centrale della curva la tensione è di valore pressoché zero. Per il calcolo delle dimensioni ci si avvale dei grafici riportati di seguito.



Prendiamo ad esempio un'antenna avente una resistenza d'irradiazione di 25 ohm sintonizzata su 28.5 MHz, ed una linea 50 ohm.

1. Nel primo grafico, nella scala orizzontale in basso, cerchiamo il valore d'impedenza dell'antenna.
2. Da quel punto tracciamo una verticale fino ad incontrare la curva relativa al valore di impedenza del cavo.
3. Tracciando una linea orizzontale verso sinistra, nella colonna dei valori XL (reattanza induttiva), troveremo il valore della reattanza che dovrà avere l'hairpin: 50 ohm.

Ora bisogna rapportare questo valore a quello di riferimento che è di 300 ohm, cioè alla linea bifilare avente una distanza tra conduttori di 38 mm ed un diametro di 6 mm., dunque:

$$50 \Omega : 300 \Omega = 0.166$$

4. Sul secondo grafico, nella scala di valori X_L/Z_0 cerchiamo il valore ricavato di 0.166.
5. Da quel punto, tracciamo una linea verticale fino ad incontrare la curva che indica varie lunghezze per la sezione adattatrice, in gradi elettrici.
6. In corrispondenza di quel punto, sulla colonna delle cifre a sinistra, leggeremo la lunghezza che dovrà avere l'hairpin: 8,4 gradi elettrici ($8,4/360 \lambda$).
7. Calcolo lunghezza fisica a F 28.5 mediante barretta diametro 1 cm.:

$$\frac{C}{F} \cdot \frac{8,4}{360} \cdot K$$

dove K è il fattore di velocità relativo al diametro del tondino utilizzato.

$$\frac{299.793}{28.500} \cdot \frac{8,4}{360} \cdot 0,97 = 10,51 \cdot 0,023 \cdot 0,97 = 23,8 \text{ cm.}$$

Piegandolo ad "U" lo spazio interno tra le estremità dovrà essere di 3,8 cm..

L'ottimizzazione dell'adattatore avviene con piccoli ritocchi in larghezza o lunghezza, fino ad eliminazione totale delle componenti reattive.

BALUN simmetrizzatore

Questo tipo di dispositivo ha lo scopo di adattare le linee sbilanciate (coassiali), a radiatori bilanciati (dipoli aperti). Il balun simmetrizzatore blocca la corrente di ritorno verso il generatore (che scorre lungo la superficie interna della garza del cavo) ridistribuendola in antenna, e quindi simmetrizza il lobo d'irradiazione.

Vediamo, in particolare, il comportamento della corrente in assenza di un balun.

La corrente I1 nella fase di ritorno dal braccio 1 si dirige verso l'origine.

La corrente I2, nello stesso istante proveniente dal generatore, è in fase opposta e si divide in due percorsi nel momento in cui si trova all'ingresso del dipolo (i2' E i2''), la prima verso il semidipolo di destra e I2'' verso il trasmettitore (G), percorrendo la superficie interna dello schermo, in quantità determinata dall'impedenza che la superficie esterna dello schermo presenta verso terra.

Se la linea è ¼ d'onda o multiplo dispari, l'impedenza è alta, e la porzione di corrente I2'' che torna verso il generatore è piccola, ed essendo quindi trascurabile si può assumere che I1 e I2' siano uguali.

Se la linea è lunga multipli pari di $\lambda/4$, l'impedenza è molto bassa, e la porzione di corrente I2'' che torna lungo l'interno della garza è di altissima intensità.

Di conseguenza, tra le due sezioni del dipolo la differenza d'intensità di corrente aumenta, quindi non sono simmetrici.

Ci troviamo, in sostanza, in presenza di un secondo radiatore: il cavo.

Questo è motivo di vari disturbi causati intorno all'antenna, manifestati come il TVI, "ronzii" del trasformatore del Tx, o rumori provenienti dagli apparecchi casalinghi.

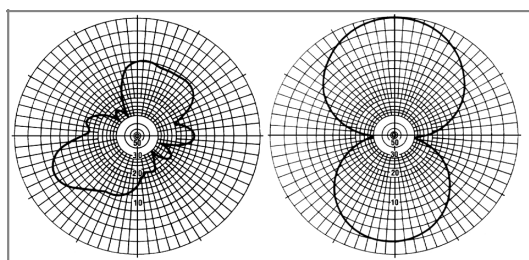
La resistenza d'irradiazione del dipolo alla frequenza di risonanza è di valore compreso tra 50 e 75 ohm, variazione dovuta alla distanza dal piano riflettente, oltre o sotto la quale tende ad aumentare o diminuire, assumendo reattanza induttiva o capacitiva.

Ogni braccio del dipolo è d'impedenza pari a metà del suo valore mentre il cavo, divenuto un terzo braccio radiante, avrà una resistenza Rr tale da poter essere considerato come una linea in cortocircuito ad un estremo. Quindi, se la linea è lunga un multiplo dispari di ¼ d'onda, è da considerarsi come un circuito risonante parallelo, il cui valore d'impedenza supera facilmente i 2.500 ohm, cifra trascurabile rispetto alla resistenza del dipolo e se stesso.

Tale valore cala invece quando la lunghezza si discosta da $\lambda/4$, e compare inoltre una reattanza in serie.

Quando la linea è lunga $\lambda/2$ o multiplo, si comporta come un circuito risonante in serie e il valore della Rr è molto basso.

In tal caso l'impedenza totale del dipolo poco si discosta dal suo valore originario.

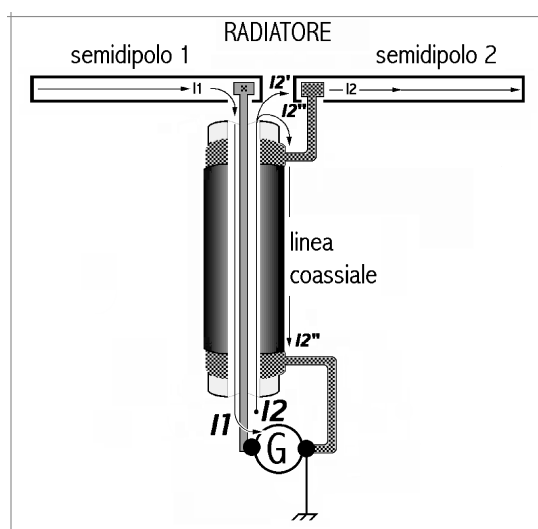


A sinistra un lobo di dipolo senza balun, a destra con il balun simmetrizzatore.

Per concludere, si può desumere che in assenza di un balun, variare la lunghezza della linea di trasmissione significa anche portare il dipolo fuori risonanza con conseguente variazione dell'impedenza e del diagramma di irradiazione.

La I_2'' , finchè presente, non permette una corretta lettura del R.O.S.. Lungo la linea si leggeranno valori sempre diversi.

Si deve sempre agire sulla lunghezza del dipolo e mai su quella del cavo per ridurre il rapporto di onde stazionarie.



Comportamento della corrente in un sistema di alimentazione direttamente collegata al dipolo.

Con il balun, la corrente I_2 si dirige verso il secondo braccio del dipolo in tutta la sua intensità, ed il lobo d'irradiazione dell'antenna diventa simmetrico.

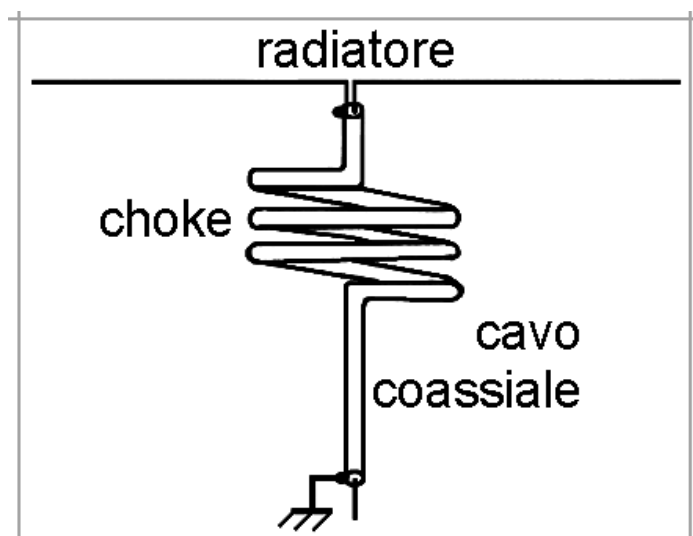
Il balun non è un adattatore d'impedenza, quindi il suo impiego è previsto nei casi in cui l'impedenza del dipolo è uguale a quello della linea di alimentazione (trasformazione 1:1).

In presenza di onde stazionarie, esse sarebbero assorbite dal balun e ci troveremmo in presenza di un caso anomalo di funzionamento, con conseguente rottura del dispositivo.

E' anche possibile che il balun venga calcolato ed impiegato sia come adattatore di impedenza che come simmetrizzatore, come per esempio nel caso del balun detto a trombone, il quale serve anche a trasformare l'impedenza di un dipolo ripiegato da 200Ω a 50Ω .

Balun a choke

Sistema molto utilizzato perché si realizza con la stessa linea di trasmissione, avvolgendo a bobina l'ultimo tratto di cavo prima dell'ingresso all'antenna.



Balun a choke. Si realizza avvolgendo l'ultimo tratto della linea di trasmissione.

La lunghezza ed il numero di spire dipende dalla frequenza:

FREQUENZA	LUNG. RG213 e RG8	LUNG. RG58	A LARGA BANDA
3,5 MHz =	metri 6,70 8 giri	metri 6,10 7 giri	3,5-10 MHz L mt. 5,50 - 9,5 giri
7,0 MHz =	metri 6,70 10 giri	metri 4,57 6 giri	14-30 MHz L mt. 2,44 - 6,5 giri
10 MHz =	metri 3,66 10 giri	metri 3,05 7 giri	3,5-30 MHz L mt. 3,05 - 7 giri
14 MHz =	metri 3,05 4 giri	metri 2,44 8 giri	
21 MHz =	metri 2,44 7 giri	metri 1,83 8 giri	
28 MHz =	metri 1,83 7 giri	metri 1,22 7 giri	

I diametri delle spire sono automaticamente definiti dal rapporto tra la lunghezza ed il numero di spire.

Altro sistema è quello di utilizzare l'ultimo tratto di cavo coassiale senza guaina, sufficiente a supportare una certa quantità di anelli in ferrite ad impermeabilità molto alta, in modo da aumentare la reattanza e la resistenza del conduttore stesso.

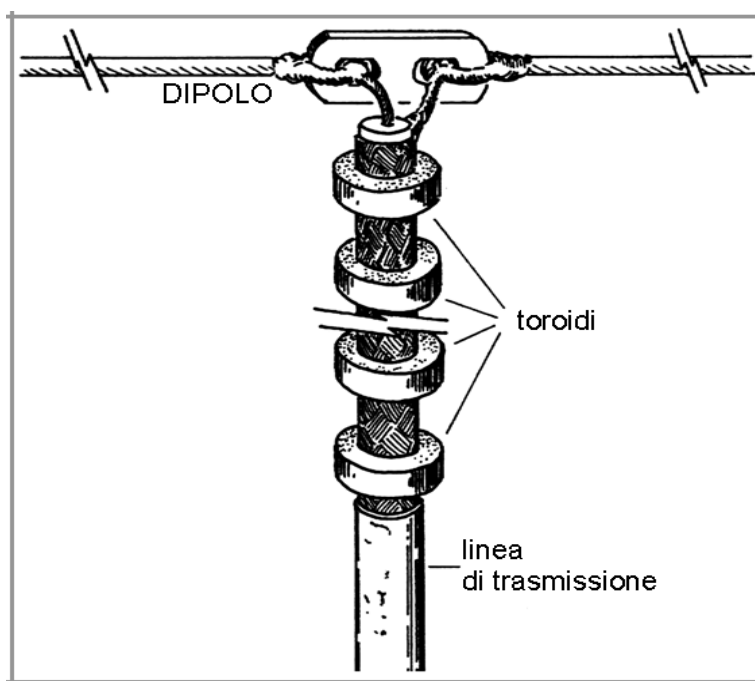
La resistenza dello schermo aumenta in proporzione al numero degli anelli impiegati.

Con 52 anelli tipo T80.2 e tratto impiegato di circa 35 cm. di cavo, si ottiene un trasformatore 1:1 per una banda tra

1,8 e 30 MHz.

Non è consigliabile utilizzare il choke per frequenze oltre i 30 MHz, a causa della capacità esistente tra le spire che lo compongono.

Per quelle frequenze è senz'altro conveniente il tratto di cavo attorniato da anelli in ferrite, 26 toroidi Amidon T44.2 risolvono il problema.



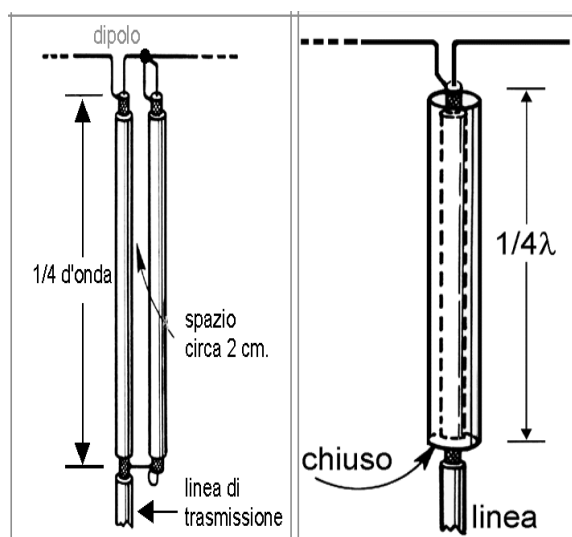
Balun con impiego di toroidi.

Gli anelli ed il cavo vanno scelti a seconda della potenza RF.

Naturalmente non sempre i modelli di toroidi segnalati rimangono in produzione. Essi possono variare la sigla, quindi sarà bene chiedere al vostro negoziante l'aggiornamento di nuovi prodotti e scegliere quelli che si ritengono idonei all'uso.

Balun a bazooka

E' lungo un quarto d'onda, e si pone in parallelo alla linea di trasmissione. Ad un estremo il conduttore centrale e lo schermo sono connessi insieme al conduttore centrale della linea.

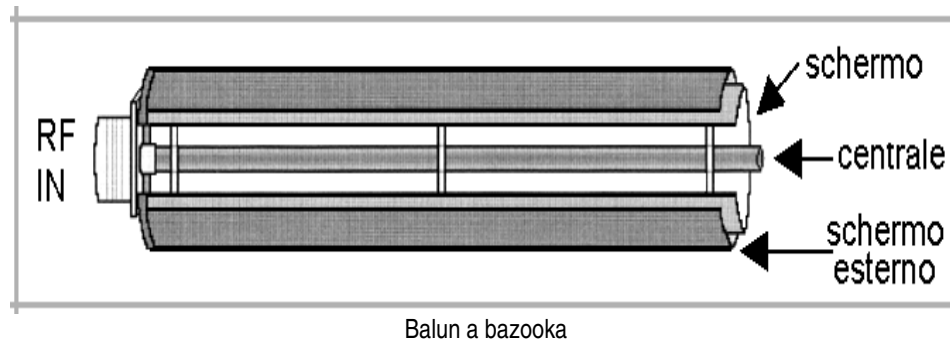


Due versioni del balun a bazooka.

All'altro estremo sono connessi allo schermo della linea, nel punto ad un quarto d'onda della stessa.

La distanza "S", in figura, è di 2,5 cm., ed è calcolata come per la determinazione delle impedenze nelle linee bifilari.

La versione di destra nella figura può essere realizzata avvolgendo intorno all'ultimo tratto di cavo, per un quarto d'onda, della carta stagnola del tipo casalingo.



Accoppiatore di antenne

A cavo.

Per accoppiare due o più antenne, può essere impiegato un trasformatore d'impedenza realizzato con tratti di linea di trasmissione di adeguato valore, oppure con un tratto di linea realizzata in aria, di impedenza calcolata a seconda la necessità.

Per determinare il valore dell'accoppiatore si divide l'impedenza di una sola antenna per il numero di antenne da collegare insieme, poi si utilizza la formula:

$$Z_{tr} = \sqrt{Z_{lt} \cdot Z_o}$$

dove Z_{tr} è l'impedenza del trasformatore

Z_{lt} è l'impedenza totale delle antenne

Z_o è l'impedenza della linea di trasmissione

Esempio di accoppiatore a cavo:

avendo due antenne, risonanti a 145 MHz e di impedenza singolarmente di Z_l 50 Ω .

$$Z_{lt} = \frac{Z_l}{2} = \frac{50}{2} = 25\Omega$$

$$Z_{tr} = \sqrt{Z_{lt} \cdot Z_o} = \sqrt{50 \cdot 25} = 35 \text{ ohm}$$

Impiegheremo due linee, una per ogni antenna, utilizzando due tratti che abbiano ognuna impedenza doppia, ovvero 70,7 Ω .

In pratica, nel punto di giunzione, l'ingresso della linea di trasmissione deve essere presente una impedenza pari al doppio dell'impedenza di chiusura, in modo che il loro parallelo dia luogo all'impedenza voluta, ovvero, essendo il carico 50 ohm, ciascuna linea deve presentare alla porta d'ingresso un'impedenza di 100 ohm, quindi i tratti di linea saranno:

$$Z_c = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_l}$$

$$= \sqrt{100 \cdot 50} = 70,71 \text{ ohm}$$

dove Z_c è il valore d'impedenza del tratto di linea da impiegare

Z_{in} è il valore d'impedenza d'ingresso della porta e Z_L è l'impedenza del carico

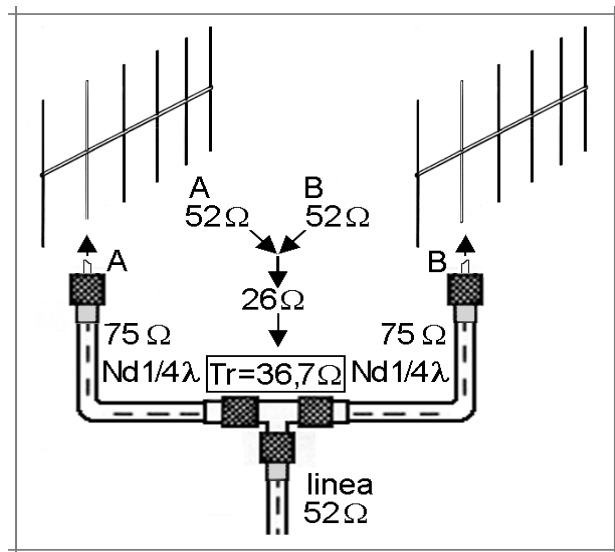
La lunghezza dei due tratti è data da :

$$\frac{C}{F} \div 4 \cdot K =$$

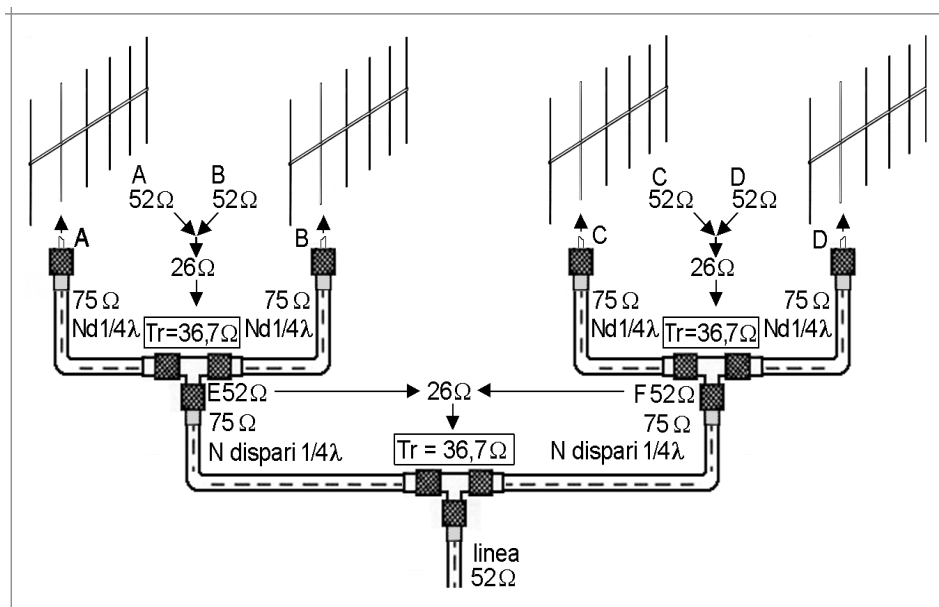
$299.793 : 145 : 4 \times 0.66$ (K è per RG11, e varia a seconda il tipo di linea) = 34 cm.

A seconda della distanza tra e due antenne, il tratto 34 cm. di linea sarà moltiplicato per un suo multiplo dispari (Nd, che dipende dalla distanza tra le antenne).

Un cavo adatto a questo scopo, con impedenza 70,7 ohm non si trova in commercio, ma il R.O.S. sarà trascurabile se si impiega un cavo coassiale di 72-75 ohm.



Accoppiatore a cavo per due antenne.



Accoppiatore a cavo per quattro antenne.

Una variazione prevede che le antenne siano collegate in un punto comune mediante due tratti di linea di lunghezza $\frac{1}{2}$ lambda fisica o multipli, e uno stub $\frac{1}{4}$ d'onda in serie alla linea di trasmissione.

L'impedenza complessiva del sistema è dato da:

$$Z_{lt} = \frac{Zl}{n}$$

dove Z_{lt} è il valore d'impedenza totale

Zl è il valore d'impedenza di una sola antenna

n è il numero delle antenne

Avendo due antenne di impedenza 50Ω ognuna, il valore risultante sarà:

$$Z_{lt} = \frac{Zl}{n} = \frac{50}{2} = 25\Omega$$

Per il trasformatore lambda $\frac{1}{4}$:

$$Z_{tr} \sqrt{Z_{lt} \cdot Z_0} = \sqrt{25 \cdot 50} = 35 \text{ ohm}$$

Due tratti di linea aventi impedenza 75 ohm , in parallelo, daranno l'impedenza richiesta.

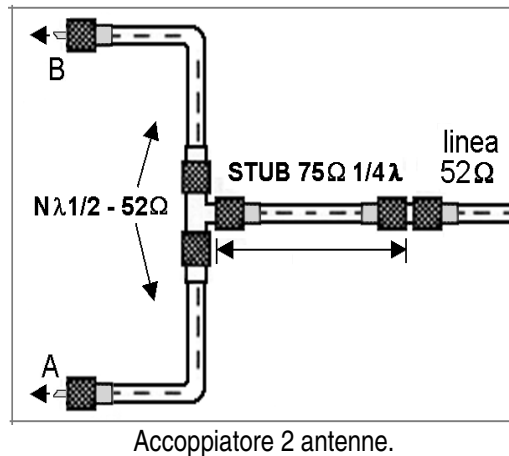
La lunghezza sarà data da:

$$C : F : 4 \times K =$$

$$299.793 : 145 = 2,06 \text{ m.}$$

$$2.6 : 4 = 0,51 \text{ m.}$$

$$0,51 \times 0,66 = 34 \text{ cm.}, \text{ se impieghiamo cavo con coefficiente } K \text{ } 0,66.$$



Trasformatore a $\frac{1}{4}$ d'onda – “solido”

È un tipo di trasformatore composto da due tubi concentrici calcolati in misura di $\frac{1}{4}$ d'onda della frequenza di lavoro, utilizzato dalle VHF in poi.

Se un'antenna ha Z_{in} un'impedenza di 19Ω , ed una linea di trasmissione di impedenza 50Ω risonante a 145 MHz , il calcolo per determinare l'impedenza del trasformatore è il seguente:

$$\sqrt{50 \cdot 19} = 30,8\Omega.$$

La linea in aria avente impedenza $30,8 \Omega$ si calcola con:

$$Z_{tr} = 138 (\log D - \log d)$$

dove "D" è il diametro interno dello schermo e "d" quello del conduttore.

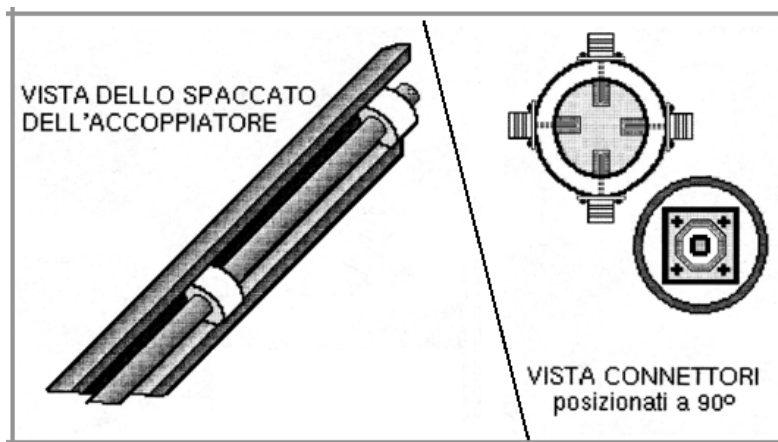
Assumendo, per il tubo esterno, un diametro interno di 30 mm. e proviamo un diametro esterno di 18 mm. per il tubo interno:

$$Z_{tr} = 138 \times (\log 30 - \log 18) = 30.6 \Omega$$

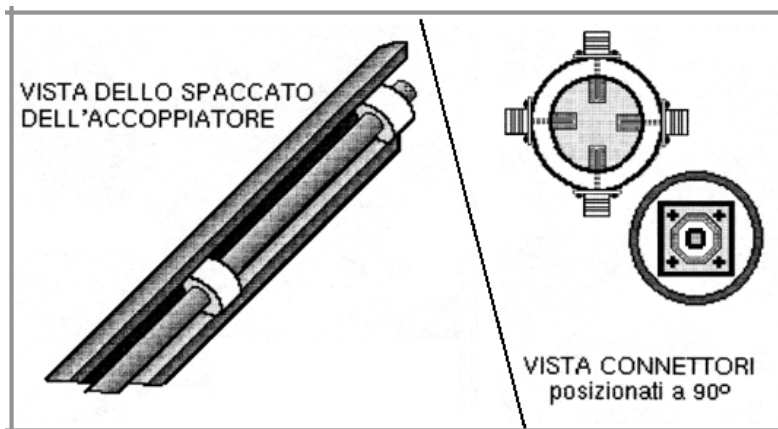
Per la lunghezza del tratto di linea in aria la formula è:

$$\frac{74,9}{F} = \frac{74,9}{145.0} = 51,7 \text{ cm. } (\lambda \frac{1}{4}).$$

Ad una estremità del trasformatore saldiamo un connettore femmina per la connessione al cavo di linea, all'altra i connettori d'uscita (due o quattro), del tipo "N".



In figura, spaccato dell'accoppiatore solido. A destra i connettori d'uscita e d'ingresso.



Accoppiatore solido. I connettori devono essere di tipo N femmine per UHF