

Progettazione, costruzione e collaudo di balun 1:1 e 2:1 per le HF

Rossano Pardini, IZ5TEK

rossano.pardini (at) bcc.tin.it

E' noto che per alimentare un'antenna bilanciata come un dipolo classico lungo $\lambda/2$ con un cavo coassiale senza avere correnti di dispersione lungo la calza è necessario interporre fra l'antenna ed il cavo un dispositivo chiamato balun (contrazione di *balanced-unbalanced*).

Nel seguito è descritto il progetto e la realizzazione di:

- un balun 1:1, pensato per alimentare un dipolo asimmetrico e caricato per la banda degli 80m;
- un balun 2:1, pensato per alimentare un dipolo OCFD (Offset-Center Fed Dipole), impropriamente "Windom", per i 40, 20, 15 e 10m. Dalle simulazioni effettuate con 4NECX sembra che per una lunghezza del braccio più corto dell'antenna di circa 4m ed una lunghezza di quello più lungo di circa 17m, con un balun 2:1 il ROS massimo si abbia per i 10m e valga 2,16:1.

1. Definizione schema elettrico dei due balun

Il testo preso a riferimento per la teoria sui balun è quello del Sevick [1].

In questo testo sono presentati due tipi di balun, quello di Guanella e quello di Ruthroff, realizzati entrambi mediante circuiti avvolti. Per le applicazioni di nostro interesse è stata scelta come cella base il balun 1:1 di Guanella [2], il cui schema elettrico è rappresentato in **Fig.1**.

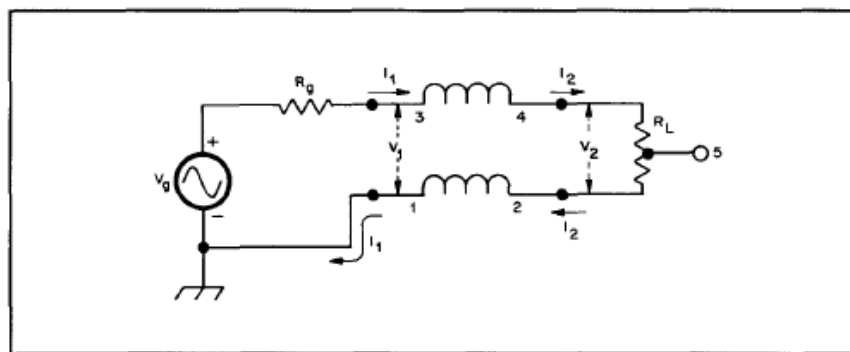


Fig.1 – Schema del balun 1:1 di Guanella (a sinistra il lato sbilanciato a destra quello bilanciato).

Dal punto di vista costruttivo si tratta di un trasformatore ottenuto avvolgendo su un nucleo di ferrite (generalmente toroidale) una linea bifilare ad impedenza caratteristica controllata, come lo sono le linee di trasmissione.

Rispetto ai trasformatori tradizionali che si studiano in elettrotecnica, quelli realizzati mediante linee di trasmissione consentono una maggiore efficienza e una banda più estesa verso le alte frequenze. Affinché un balun 1:1 abbia un buon comportamento fino a 30-50MHz l'impedenza caratteristica Z_0 della linea bifilare deve essere uguale alle impedenze di chiusura dello stesso balun. Quindi nell'ipotesi che alla risonanza un dipolo bilanciato presenti ai suoi morsetti una impedenza di 50Ω , uguale all'impedenza del cavo coassiale di alimentazione, perché in balun di Guanella

abbia un buon comportamento fino a 30-50MHz occorre che l'impedenza caratteristica Z_0 dell'avvolgimento bifilare sia uguale a 50Ω .

Quello di **Fig.1** è anche lo schema elettrico del balun 1:1 pensato per alimentare il dipolo asimmetrico e caricato per la banda degli 80m.

Per lo schema elettrico del balun 2:1 prendiamo in considerazione quello proposto al Cap. 9 di [1] e rappresentato in **Fig.2**.

La resistenza R_L rappresenta l'antenna ed è posta dal lato bilanciato. Il cavo coassiale deve essere collegato fra il terminale B e massa.

Il balun di **Fig.2** è composto da due sezioni, la prima, quella a destra dove è collegata R_L e quindi l'antenna, è un balun 4:1 per cui, a fronte di una $R_L=100\Omega$, la resistenza presentata dal balun al trasformatore a sinistra vale 25Ω .

Affinché la resistenza presentata al cavo coassiale sia uguale a 50Ω occorre che il trasformatore a sinistra abbia un rapporto di trasformazione (in termini di impedenza) pari a 2:1 e ciò si ottiene collegando il centrale del coassiale al punto B, leggermente spostato rispetto al punto terminale A dell'avvolgimento 3-4, questo perché nel punto A il rapporto di trasformazione (in termini di impedenza) risulta 2,22:1 a cui corrisponde, con 25Ω di chiusura, una resistenza di $55,5\Omega$.

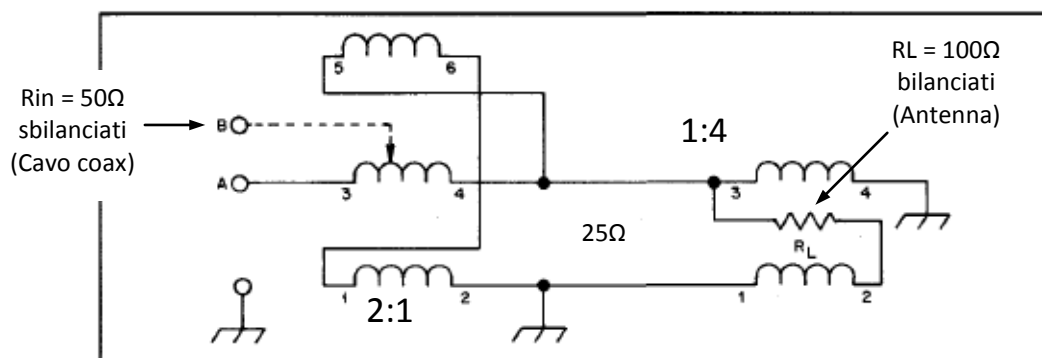


Fig.2 – Schema del balun 2:1 proposto in [1] al Cap. 9(Fig.9-23).

Il trasformatore a sinistra opera in modo sbilanciato sia in ingresso che in uscita e per questo è detto “unun”, contrazione di “*unbalanced-unbalanced*”.

Un modo diverso per realizzare un balun 2:1 è quello di far seguire un balun 1:1 da un unun 1:2. Come balun 1:1 possiamo usare il balun di Guanella di **Fig.1** e come unun 1:2 quello di **Fig.2** invertendo l'ingresso con l'uscita.

Così facendo perveniamo allo schema di **Fig.3**. Per una resistenza presentata dall'antenna uguale a 100Ω , anche quella presentata all'unun sarà 100Ω e quella presentata al cavo coassiale, scegliendo opportunamente la presa intermedia di collegamento all'avvolgimento 3-4, sarà 50Ω .

Per realizzare un balun come quello di **Fig.3** sono necessari due toroidi, uno per il balun 1:1 e l'altro per l'unun 1:2. In questo caso per estendere il funzionamento del balun 1:1 alle frequenze HF più alte l'impedenza caratteristica della linea bifilare dovrà essere uguale a 100Ω .

Quello di **Fig.3** è lo schema elettrico considerato per il balun 2:1 pensato per alimentare l'antenna OCFD.

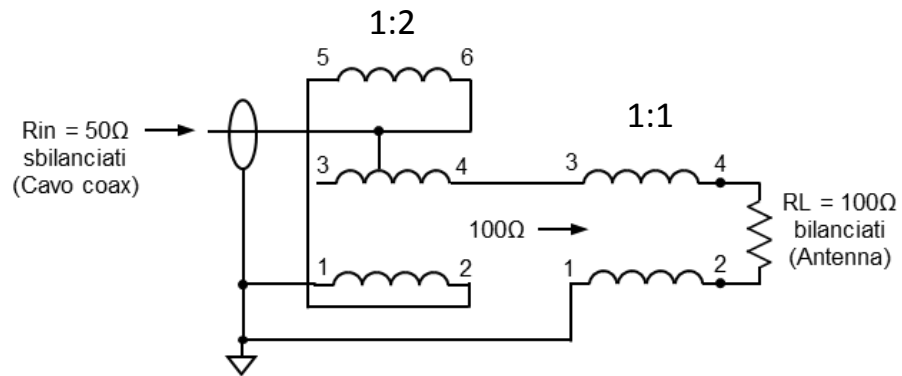


Fig.3 – Schema del balun 2:1 ottenuto impiegando un balun di Guanella e l'unun 2:1 di **Fig.2** con ingresso e uscita invertiti.

2. Scelta del nucleo toroidale

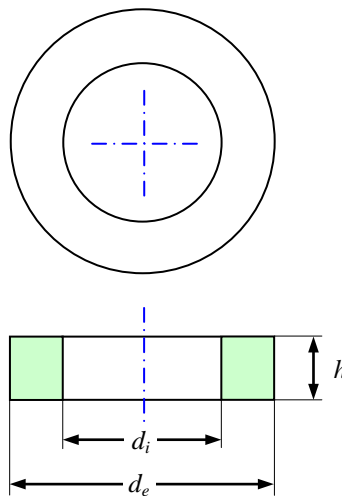
Per la realizzazione dei due balun è stato scelto il nucleo toroidale **FT140-61** della Amidon che ha le seguenti caratteristiche:

- diametro esterno $d_e = 35,6$ mm
- diametro interno $d_i = 22,9$ mm
- altezza $h = 12,7$ mm
- permeabilità magnetica $\mu_r = 125$

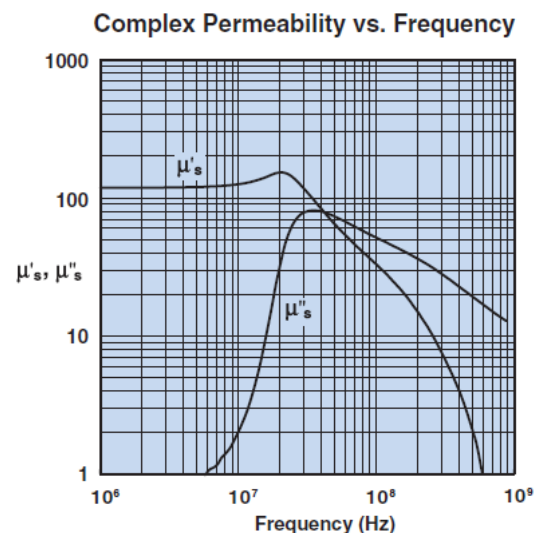
Nel catalogo la permeabilità magnetica relativa μ_r del materiale **61** viene dichiarata uguale a 125, per una induzione minore di 10 gauss ($1\text{gauss} = 0,0001 \text{ Wb/m}^2$).

Un valore alto della permeabilità magnetica consente di ottenere, con un numero limitato di spire, delle buone prestazioni anche alle frequenze più basse.

Per il buon funzionamento dei balun e del trasformatore sbilanciato (unun) è necessario che la reattanza di magnetizzazione X_M del nucleo toroidale (proporzionale al prodotto del numero delle spire al quadrato per la permeabilità magnetica) sia maggiore delle impedenze del generatore e del carico. $N=10$ spire dovrebbero essere sufficienti.



Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ $B < 10$ gauss		μ_i	125
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	2350 15
Residual Flux Density	gauss	B_r	1200
Coercive Force	oersted	H_c	1.8
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	30 1.0
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.10
Curie Temperature	°C	T_c	>350
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^8



*Fig.4 – Caratteristiche dimensionali ed elettriche del toroide FT140-61 della Amidon
(1 Oersted = $10^3 / 4\pi$ A/m) [3].*

3. Definizione delle linee bifilari

Per definire come devono essere realizzate le linee bifilari dei balun 1:1 degli schemi di *Fig.1* e *Fig.3* occorre:

- a) stabilire la loro impedenza caratteristica ed il metodo di misura della stessa;
- b) scegliere il tipo conduttore;
- c) costruire un certo numero di linee bifilari con configurazioni diverse e selezionare attraverso la misura quelle che hanno una impedenza caratteristica che approssimi quanto più possibile i valori cercati.

Per le impedenze caratteristiche delle linee bifilari consideriamo come valore di riferimento 50Ω per il balun 1:1 di *Fig.1*, da collegare al dipolo asimmetrico e caricato degli 80m e 100Ω per il balun 1:1 di *Fig.3*, che fa parte del balun 2:1 da collegare al dipolo OCFD.

Come indicato sopra, per stabilire come dovrà essere realizzata la linea bifilare occorre procedere in modo sperimentale, misurando l'impedenza caratteristica di un certo numero di configurazioni scelte in modo da approssimare i valori di impedenza caratteristica cercati, compatibilmente con soluzioni costruttive facilmente realizzabili con i mezzi disponibili.

Il metodo di misura della impedenza caratteristica di una linea di trasmissione che presenta meno incertezze sembra essere quello della variazione della resistenza di carico.

Questo metodo consiste nel variare la resistenza di chiusura della linea di trasmissione fintanto l'impedenza misurata al suo ingresso non risulta resistiva e costante al variare della frequenza. In queste condizioni il valore della impedenza caratteristica della linea coincide con quello della resistenza di chiusura.

La validità del metodo si spiega facilmente ricordando che una linea di trasmissione ideale, priva di perdite, chiusa su una resistenza avente lo stesso valore della sua impedenza caratteristica presenta in ingresso una resistenza che ha lo stesso valore della resistenza di chiusura. Se la linea invece è chiusa su una resistenza di valore diverso dalla sua impedenza caratteristica l'impedenza misurata al suo ingresso presenterà una componente reattiva variabile, nel valore, al variare della frequenza.

Per ridurre gli errori di misura, condizione necessaria è usare una resistenza di chiusura variabile che, alle frequenze di interesse, abbia un comportamento quanto più resistivo possibile, con componenti reattive trascurabili. Nel nostro caso è sufficiente disporre di un carico R_L variabile da 0 a 200Ω e che mantenga le caratteristiche resistive almeno fino alla frequenza di 30MHz, la più alta di nostro interesse.

Le misure effettuate con l'MFJ-269 sul trimmer di commercio di *Fig.5*, per frequenze comprese fra 2 e 160MHz e per un valore di resistenza in DC (misurata con un multimetro) pari a 100 Ω hanno fornito i valori di impedenza equivalente serie $Z_s = R_s + jX_s$ riportati in *Tab.1*.

La componente reattiva della resistenza Z_s risulta nulla fino a 50MHz, per cui il resistore variabile scelto può essere utilizzato per le misure che dobbiamo fare.

Per la scelta del tipo di conduttore occorre tener presente che dovrà avere un diametro sufficientemente grande per non limitare la potenza che il balun dovrà essere in grado far transitare, ma adeguato per poter realizzare senza difficoltà sul toroide FT140-61 un avvolgimento di 10 spire.

Tenendo conto di queste considerazioni la scelta è caduta sul conduttore di rame smaltato, taglia AWG-15 a cui corrisponde un diametro (del conduttore) di 1,4mm.

Per le linee bifilari da sottoporre alla misura dell'impedenza caratteristica sono state considerate tre configurazioni:

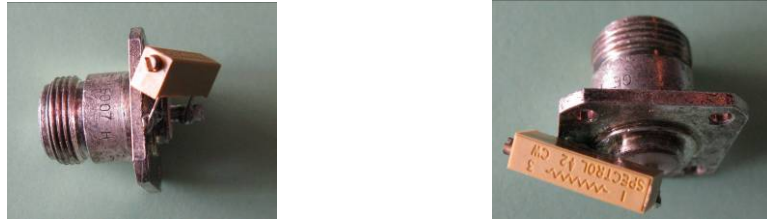


Fig.5 – Trimmer di commercio saldato ad un connettore N per essere caratterizzato con l'MFJ-269 come resistenza di chiusura variabile per effettuare le misure di impedenza caratteristica delle linee bifilari da usare per la costruzione dei balun.

f(MHz)	Rs (Ω)	Xs (Ω)
2	100	0
2,5	100	0
3,2	100	0
4,0	100	0
5,0	100	0
6,3	100	0
7,9	100	0
10	100	0
13	100	0
16	101	0

f(MHz)	Rs (Ω)	Xs (Ω)
20	100	0
25	99	0
32	99	0
40	99	0
50	98	0
63	97	7
79	94	14
100	90	23
130	84	29
160	79	31

Tab.1 – Misure per frequenze comprese fra 2 e 160MHz della impedenza del resistore variabile di Fig.5, regolato per una resistenza in DC uguale a 100Ω. (Le frequenze sono state scelte in modo da essere su scala logaritmica equidistanti.)

1. due conduttori $\phi=1,4$ mm di rame smaltato direttamente accostati ed isolati solo dallo smalto presente sulla superficie dello stesso;
2. stessi conduttori del punto precedente tenuti a distanza da una serie di tubetti di teflon posti a distanza regolare su un solo conduttore;

3. stessi conduttori del punto 1. tenuti a distanza da due serie di tubetti di teflon posti a distanza regolare su entrambi i conduttori e in posizione tale da trovarsi a contatto uno con l'altro.

Lo schema del banco è rappresentato in **Fig.6**.

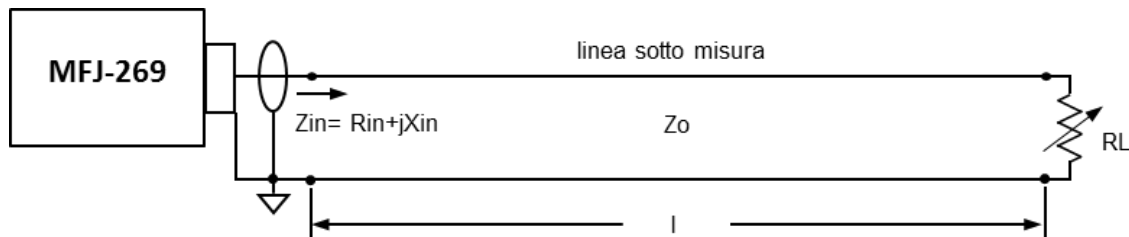


Fig.6 – Schema del banco usato per la misura dell'impedenza caratteristica della linee bifilari.

Le misure sono state effettuate per una lunghezza l delle linee pari a 80cm.

Per facilitare l'esecuzione delle misure, le linee sono state fissate ad un asse di legno, come è indicato in **Fig.7**, in modo da sostenere il connettore N da collegare allo strumento di misura, la resistenza di chiusura e da tenere la linea ben distesa e disposta secondo una linea retta.



Fig.7 – Una delle linee bifilari fissata all'asse di legno che fa da supporto per facilitare l'esecuzione della misura di impedenza caratteristica. A sinistra il connettore di collegamento all'MFJ-269, a destra la resistenza di carico variabile.

I due spezzoni di filo di rame sono tenuti accostati da dei tratti di termo-restringente (di color giallo) posti ad un passo costante lungo la linea stessa in modo da far cadere due termo-restringenti per ogni spira della linea lungo il toroide. Nei casi 2 e 3 di linea con distanziali, i distanziali sono posizionati sotto i termo-restringenti.

Rispetto ai valori dell'impedenza caratteristica della stessa linea avvolta sul toroide, che quella che interessa, le misure effettuate in questo modo sono da considerare di prima approssimazione perché

non tengono conto che la linea sarà avvolta a spirale e su un supporto ferromagnetico. Nonostante questo, anche se di prima approssimazione, queste misure si ritengono sufficientemente approssimate per indicare quale configurazione convenga considerare.

1. Linea in filo di rame smaltato. Conduttori direttamente accostati.

In **Fig.8** è mostrata la sezione della linea, con indicato il diametro del conduttore; non è stato indicato lo smalto che ricopre il filo ritenuto di spessore trascurabile per cui la distanza fra i punti centrali dei due conduttori può considerarsi uguale a 1,4mm.

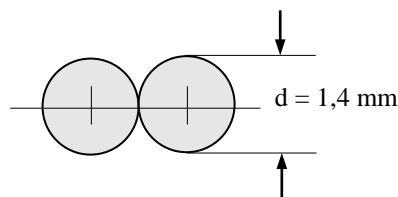


Fig.8 – Sezione della linea bifilare con conduttore in rame smaltato, diametro del conduttore 1,4mm.

I valori misurati della impedenza $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ all'ingresso della linea chiusa su $R_L=100\Omega$ sono riportati in **Tab.2**. Già per frequenze maggiori di 5MHz la parte reattiva dell'impedenza vista dall'ingresso della linea chiusa su $R_L= 100\Omega$ risulta significativa.

A partire dalla frequenza di 5MHz per tutte le frequenze fino a 50MHz è stata variata la resistenza di carico R_L in modo da annullare o minimizzare la componente reattiva X_{in} di Z_{in} .

Dalla media dei valori trovati per R_{in} è stato possibile stimare per l'impedenza caratteristica Z_0 della linea un valore di 47Ω .

f(MHz)	Rin (Ω)	Xin (Ω)
2	100	0
2,5	100	0
3,2	99	0
4,0	98	0
5,0	97	7
6,3	94	17
7,9	89	24
10	82	29

f(MHz)	Rin (Ω)	Xin (Ω)
13	76	25
16	69	29
20	58	35
25	45	36
32	34	30
40	26	22
50	22	9

Tab.2 – Valori misurati della impedenza di ingresso Z_{in} della linea bifilare realizzata mediante filo smaltato da 1,4 mm a cui corrisponde il diametro di **Fig.8**, chiusa su una resistenza $R_L=100\Omega$.

2. Linea in filo di rame smaltato da 1,4 mm con singolo distanziale.

La sezione della linea in corrispondenza di ciascun tubetto si presenta come in **Fig.9**. In questo caso la distanza fra i centri delle sezioni dei due conduttori risulta 1,6mm.

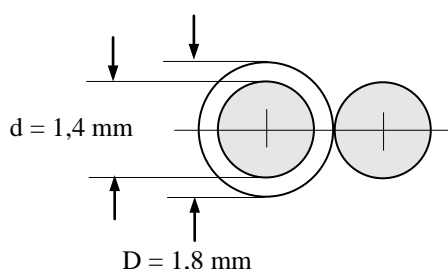


Fig.9 – Sezione della linea bifilare realizzata con filo in rame smaltato da 1,4 mm in corrispondenza del tubetto di teflon usato come distanziale inserito per aumentare l'isolamento fra i due conduttori della linea.

I valori misurati della impedenza $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ all'ingresso della linea chiusa su $R_L=100\Omega$ sono riportati in **Tab.3**.

f(MHz)	R _{in} (Ω)	X _{in} (Ω)	f(MHz)	R _{in} (Ω)	X _{in} (Ω)
2	101	0	13	95	0
2,5	101	0	16	94	0
3,2	101	0	20	90	10
4,0	101	0	25	82	25
5,0	100	0	32	72	28
6,3	100	0	40	64	28
7,9	99	0	50	56	24
10	97	0			

Tab.3 – Valori misurati della impedenza di ingresso Z_{in} della linea bifilare realizzata mediante filo smaltato da 1,4 mm con un singolo distanziale di **Fig. 9**, chiusa su una $R_L=100\Omega$.

Variando R_L in modo da annullare i valori di X_{in} per frequenze $\geq 20\text{MHz}$, dalla media dei valori R_{in} corrispondenti un valore stimato per Z_0 risulta 75Ω .

3. Linea in filo di rame smaltato da 1,4 mm con doppio distanziale.

Un modo per ottenere una impedenza caratteristica Z_0 della linea più elevata è allontanare ulteriormente i due conduttori che la compongono. Per questo, un secondo distanziale, identico e posto in corrispondenza del primo, è stato inserito lungo l'altro conduttore.

Come nel caso precedente, in corrispondenza dei due distanziali i due fili sono stati serrati uno contro l'altro con del termo-restringente, il resto della linea è lasciata in aria.

La sezione della linea in corrispondenza dei tubetti di teflon si presenta come in **Fig.10**. In questo caso la distanza fra i centri delle sezioni dei due conduttori risulta 1,8mm.

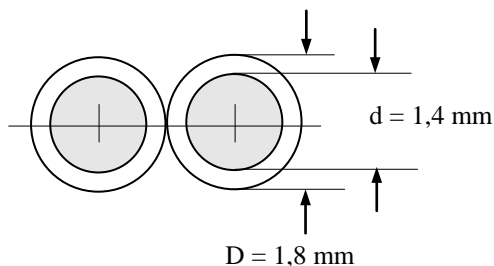


Fig.10 – Sezione della linea bifilare realizzata con filo $\phi=1,4$ mm in rame smaltato in corrispondenza dei tubetti di teflon usati come distanziali inseriti per aumentare l'impedenza caratteristica della linea.

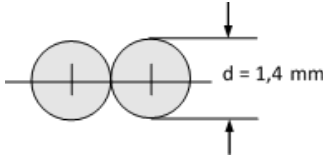
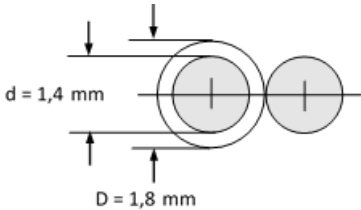
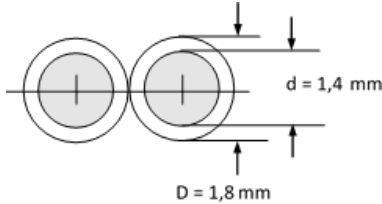
I valori misurati della impedenza $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ all'ingresso della linea chiusa su $R_L=100\Omega$ sono riportati in **Tab.4**.

f(MHz)	Rin (Ω)	Xin (Ω)	f(MHz)	Rin (Ω)	Xin (Ω)
2	101	0	13	99	0
2,5	101	0	16	99	0
3,2	101	0	20	97	0
4,0	101	0	25	94	5
5,0	101	0	32	86	20
6,3	101	0	40	85	21
7,9	100	0	50	80	21
10	99	0			

Tab.4 – Valori misurati della impedenza di ingresso Z_{in} della linea bifilare realizzata mediante filo smaltato $\phi=1,4$ mm con i due conduttori distanziati mediante tubetti di teflon per aumentare l'impedenza caratteristica della linea.

Variando R_L in modo da annullare i valori di X_{in} per frequenze ≥ 25 MHz, dalla media dei valori R_{in} corrispondenti un valore stimato per Z_0 risulta 90Ω .

In **Tab.5** sono state riassunte le misure di impedenza caratteristica descritte sopra.

Caso	Descrizione	Dimensioni e distanza conduttori	Z_0
1	Filo $\phi=1,4$ mm, rame smaltato.		47Ω
2	Filo $\phi=1,4$ mm, rame smaltato, singolo distanziale teflon.		75Ω
3	Filo $\phi=1,4$ mm, rame smaltato, doppio distanziale teflon.		90Ω

Tab.5 – Tabella riassuntiva delle misure di impedenza caratteristica descritte sopra.

Dalle misure fatte sembra che le due linee da prendere in considerazione per realizzare i balun 1:1 di nostro interesse siano la prima e la terza visto che le loro impedenze caratteristiche sono le più prossime ai valori desiderati, rispettivamente di 50 e 100Ω .

4. Costruzione e caratterizzazione dei due balun 1:1 di Fig.1 e Fig.3

Come già detto, i due balun 1:1 sono stati realizzati avvolgendo su un toroide Amidon FT140-61 dieci spire equidistanti della prima e della terza linea bifilare caratterizzate nel paragrafo precedente.

1. Balun realizzato con linea bifilare in filo $\phi=1,4$ mm senza distanziali, destinato al dipolo asimmetrico e caricato per gli 80m.

In **Fig.11** è rappresentato il balun saldato nel test-jig di misura.



Fig.11 – Balun ottenuto avvolgendo la linea bifilare in filo $\phi=1,4$ mm, senza distanziali, su un toroide FT140-61 saldato sul test-jig di misura. (Le resistenze A.B. da 1/8W visibili a sinistra, con un terminale saldato a massa, sono state utilizzate per verificare il comportamento del balun in condizioni di sbilanciamento.)

Il balun è stato caratterizzato misurando l'impedenza $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ al suo ingresso con l'uscita chiusa sulla resistenza di carico R_L realizzata mediante lo stesso resistore variabile usato per caratterizzare le linee di trasmissione.

Nel grafico di **Fig.12** sono riportati gli andamenti di R_{in} misurati per $R_L=25$ (traccia rossa), 50 (traccia fucsia) e 100Ω (traccia viola), al variare della frequenza.

Nel grafico non è riportato l'andamento di X_{in} che in corrispondenza delle frequenze più alte e delle variazioni di R_{in} assume valori significativi.

Dall'andamento in frequenza di R_{in} è possibile capire se l'impedenza caratteristica della linea è minore o maggiore della resistenza di carico R_L con la quale sono state fatte le misure.

Se alle frequenze più alte R_{in} decresce come avviene per $R_L= 100\Omega$ significa che l'impedenza caratteristica R_0 della linea è minore di R_L . Viceversa se alle frequenze più alte R_{in} cresce come avviene per $R_L= 25\Omega$ significa che l'impedenza caratteristica R_0 della linea è maggiore di R_L .

Così, dall'andamento in frequenza di R_{in} per $R_L= 50\Omega$ si evince che l'impedenza caratteristica della linea bifilare realizzata con conduttore $\phi=1,4$ mm accostato e avvolta sul toroide FT140-61 è maggiore di 50Ω .

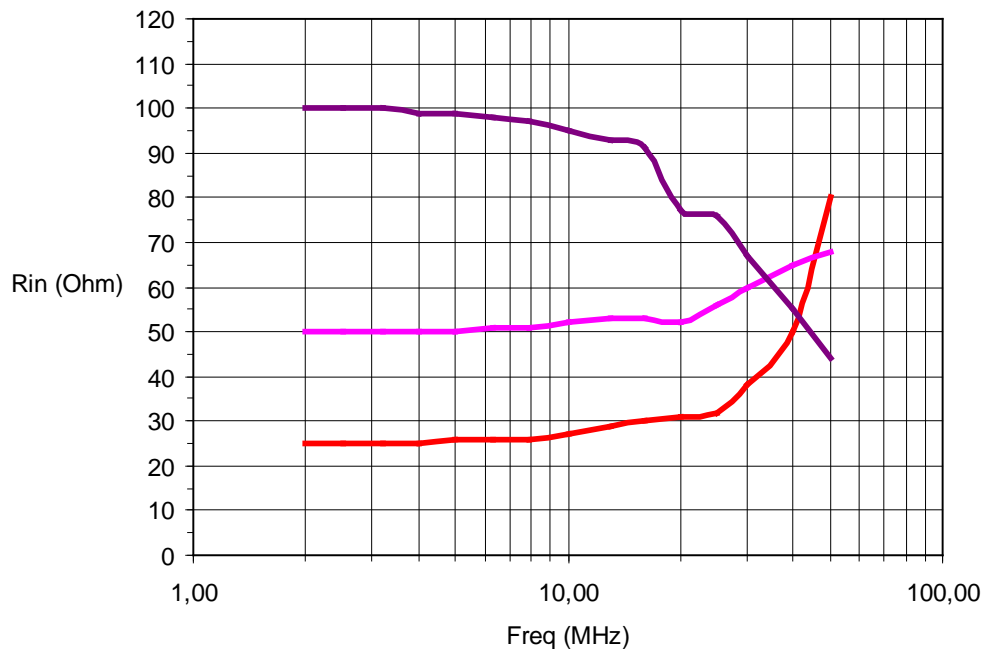


Fig.12 – Andamenti di R_{in} al variare della frequenza per $R_L=25\Omega$ (traccia rossa), 50Ω (traccia fucsia) e 100Ω (traccia rossa) per il balun di **Fig.11**.

Nei grafici di **Fig.13** sono riportate le misure per $R_L= 60$ (traccia rossa) e 65Ω (traccia fucsia). Sembra che i due valori costituiscano una buona approssimazione dell'impedenza Z_0 .

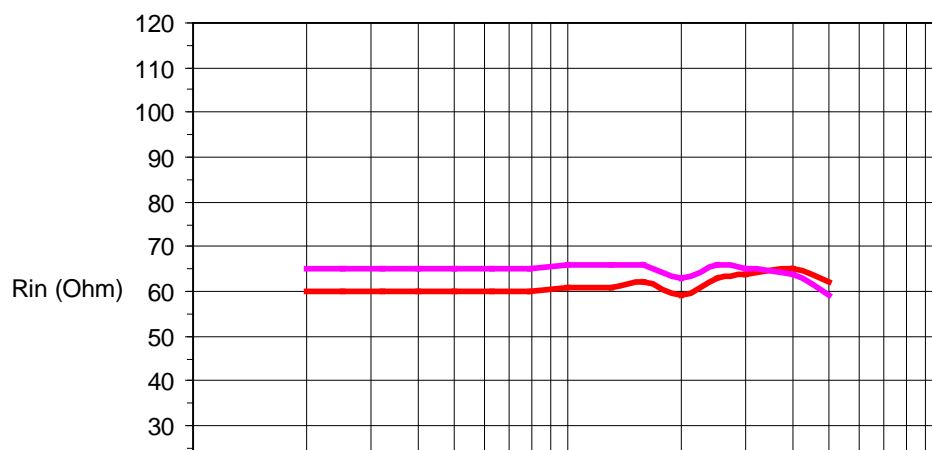


Fig.13 – Andamenti di R_{in} al variare della frequenza per $R_L=60\Omega$ (traccia rossa) e 65Ω (traccia fucsia) per il balun di **Fig.11**.

È stato verificato anche il comportamento del balun in presenza di carichi sbilanciati. Per questo sono state fatte misure chiudendo uno alla volta i terminali della resistenza di carico lato bilanciato, rappresentata dal trimmer, su una resistenza da 100Ω collegata a massa.

In **Fig.14** sono confrontati i valori di R_{in} misurati sbilanciando il balun dalla parte del conduttore dell'avvolgimento bifilare collegato dal lato sbilanciato a massa e da quella del conduttore dell'avvolgimento bifilare collegato dal lato sbilanciato al polo caldo, con i valori misurati con il balun chiuso sulla sola resistenza $R_L=65\Omega$.

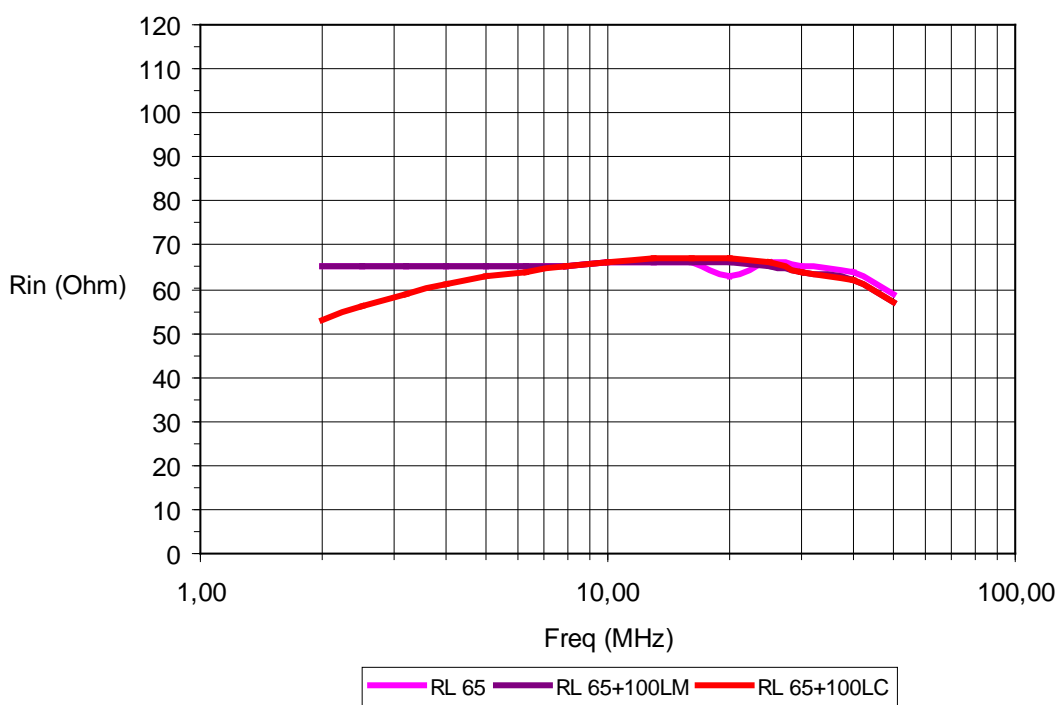


Fig.14 – Andamenti di R_{in} al variare della frequenza per $R_L=65\Omega$ (traccia fucsia), con uno sbilanciamento di 100Ω lato massa (traccia viola) e con uno sbilanciamento di 100Ω lato caldo (traccia rossa), per il balun di **Fig.11**.

Come si evince dai grafici e come era facile prevedere, il balun è più sensibile a sbilanciamenti che riguardino il lato caldo.

2. Balun realizzato con linea bifilare Filo $\phi=1,4$ mm con doppio distanziale destinato all'antenna OCFD.

In **Fig.15** è rappresentato il balun saldato nel test-jig di misura.



Fig.15 – Balun ottenuto avvolgendo la linea bifilare in conduttore $\phi=1,4$ mm, con doppio distanziale, su un toroide FT140-61 saldato sul test-jig di misura. (Come per il caso precedente, le resistenze A.B. da 1/8W visibili a sinistra, con un terminale saldato a massa, sono state utilizzate per verificare il comportamento del balun in condizioni di sbilanciamento.)

In questo caso, con il metodo della variazione di carico si trova che l'impedenza caratteristica Z_0 della linea bifilare risulta uguale a 80Ω , come è mostrato dal grafico di **Fig.16**, traccia fucsia. Chiudendo invece il lato bilanciato su 100Ω l'andamento di R_{in} al variare della frequenza è come mostrato nella stessa figura, traccia viola.

Un modo per aumentare Z_0 è quello di allontanare i due conduttori della linea bifilare nei tratti in aria. Procedendo per tentativi è stata trovata una condizione ottimale che sembra soddisfare le nostre esigenze di aumentare Z_0 al valore di 100Ω , traccia rossa sempre di **Fig.16**.

Anche in questo caso sono state fatte le stesse misure in condizioni di sbilanciamento del balun precedente. I risultati sono riassunti nei grafici di **Fig.17**.

Come nel precedente, il balun è più sensibile agli sbilanciamenti del lato caldo, non è sensibile agli sbilanciamenti verso il lato massa.

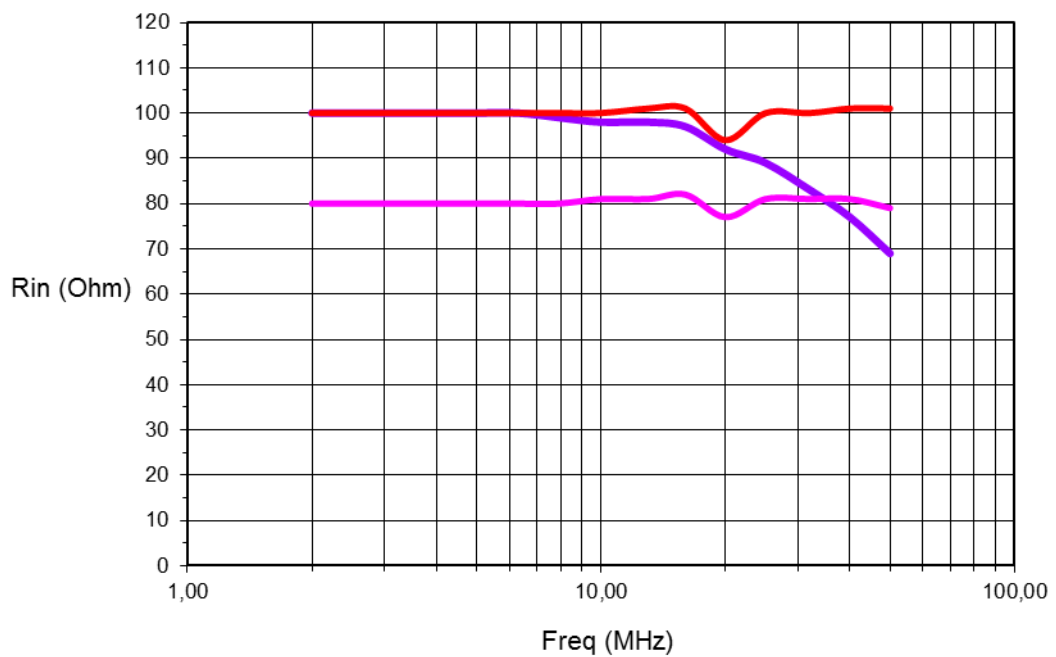


Fig.16 – Andamento di R_{in} al variare della frequenza per $R_L=80\Omega$ (traccia fucsia), $R_L=100\Omega$ (traccia viola) ed $R_L=100\Omega$ dopo aver allontanato i due conduttori della linea nei tratti in aria (traccia rossa), per il balun di **Fig. 15**.

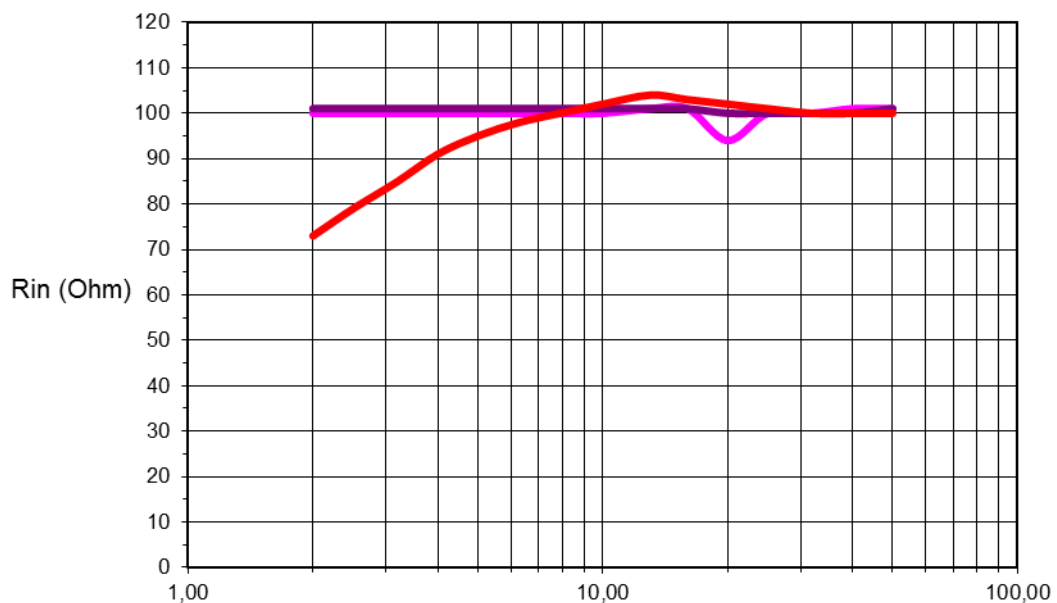


Fig.17 – Andamenti di R_{in} al variare della frequenza per $R_L=100\Omega$ (traccia fucsia), con uno sbilanciamento di 100Ω lato massa (traccia viola) e con uno sbilanciamento di 100Ω lato caldo (traccia rossa), per il balun di **Fig.15**, dopo aver allontanato i due conduttori della linea nei tratti in aria per ottenere una impedenza caratteristica Z_0 uguale a 100Ω .

5. Costruzione e caratterizzazione del trasformatore sbilanciato (unun) 1:2

Il trasformatore sbilanciato (unun) 1:2 è stato costruito secondo le indicazioni trovate nel testo del Sevvick [1]. In particolare il trasformatore è stato realizzato secondo lo schema seguente avvolgendo 6 spire equidistanti, formate da tre conduttori accostati, su di un toroide Amidon FT140-61 come quello usato per realizzare i balun.

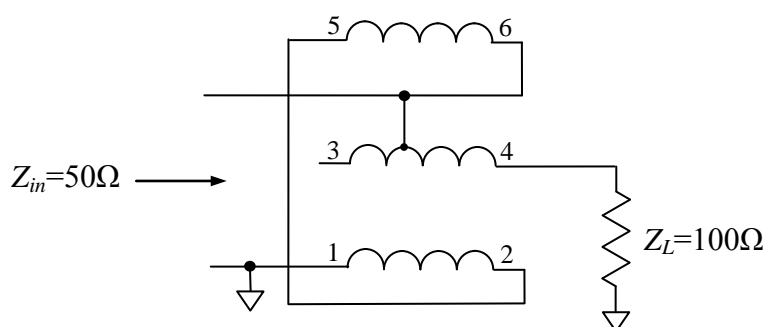


Fig.18 – Schema elettrico del trasformatore sbilanciato (unun) 1:2 per il balun da usare con il dipolo OCFD.

In **Fig.19** è rappresentato il trasformatore saldato al test-jig di misura.

L'avvolgimento 3-4 è stato realizzato con lo stesso conduttore $\phi=1,4$ mm smaltato usato per i balun, gli avvolgimenti 1-2 e 5-6 sono stati realizzati con un conduttore $\phi=1,3$ mm ricoperto di teflon.

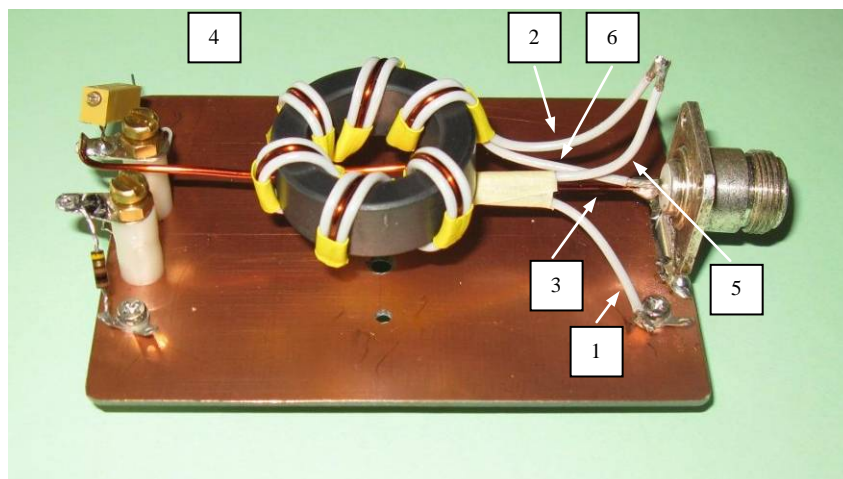


Fig.19 – Trasformatore sbilanciato (unun) 1:2 saldato al test-jig di misura.

Il trasformatore è stato caratterizzato misurando l'impedenza $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ al suo ingresso con il terminale 4 dell'avvolgimento 3-4 chiuso su una resistenza di carico $R_L = 100\Omega$.

In **Fig.20** è rappresentato l'andamento di R_{in} al variare della frequenza per il caso dell'avvolgimento 3-4 di 6 spire, traccia fucsia e dell'avvolgimento 3-4 accorciato di una spira, traccia viola.

Con l'avvolgimento 3-4 di 6 spire il rapporto di trasformazione in-out per le impedenze risulta 1:2,3, invece di 1:2, come desiderato. Per ottenere un rapporto 1:2 è necessario, come previsto, accorciare lo stesso avvolgimento di una spira.

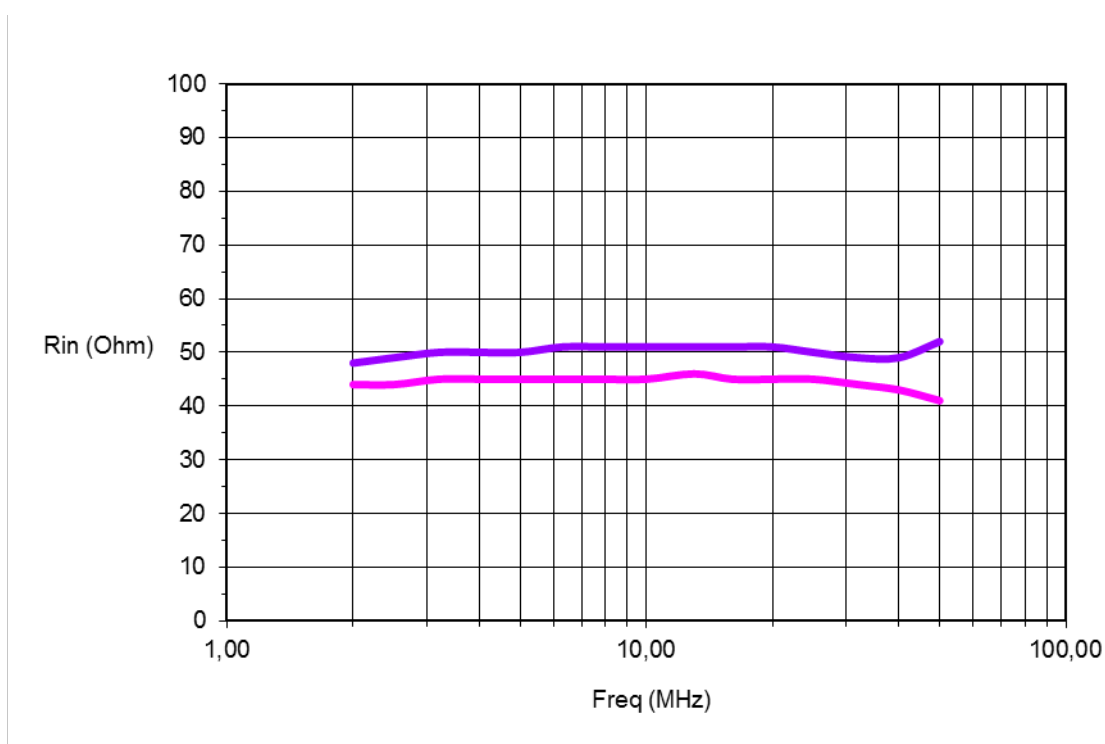


Fig.20 – Andamento di R_{in} all'ingresso del trasformatore, chiuso su $R_L = 100\Omega$ con l'avvolgimento 3-4 di 6 spire, come gli altri avvolgimenti (traccia fucsia) a cui corrisponde un rapporto di trasformazione in-out per le impedenze di 1:2,3 e con l'avvolgimento 3-4 accorciato di 1 spira (traccia viola) per ottenere un rapporto di trasformazione in-out per le impedenze di 1:2.

6. Caratterizzazione della cascata unun 1:2 – balun 1:1 per ottenere il balun 2:1

In **Fig.21** è rappresentato l'unun 1:2 ed il balun 1:1 per il dipolo OCFD posti in cascata e saldati al test-jig di misura.



Fig.21 – Trasformatore sbilanciato (unun) 1:2 saldato al test-jig di misura.

Per quanto riguarda il trasformatore si nota l'accorciamento di 1 spira dell'avvolgimento 3-4 necessario per ottenere un rapporto di trasformazione di 1:2. Invece per il balun 1:1 si nota, rispetto al balun di **Fig.15**, l'allontanamento dei conduttori della linea di trasmissione, che ne costituisce l'avvolgimento, nei tratti in aria, necessario per ottenere una impedenza caratteristica Z_0 di 100 Ω .

I risultati finali della caratterizzazione dell'unun + balun nei termini della resistenza R_{in} misurata dall'ingresso sbilanciato con l'uscita bilanciata chiusa su una resistenza $R_L = 100\Omega$ sono riassunti nel grafico di **Fig.22**.

Il risultato ottenuto può essere giudicato soddisfacente.

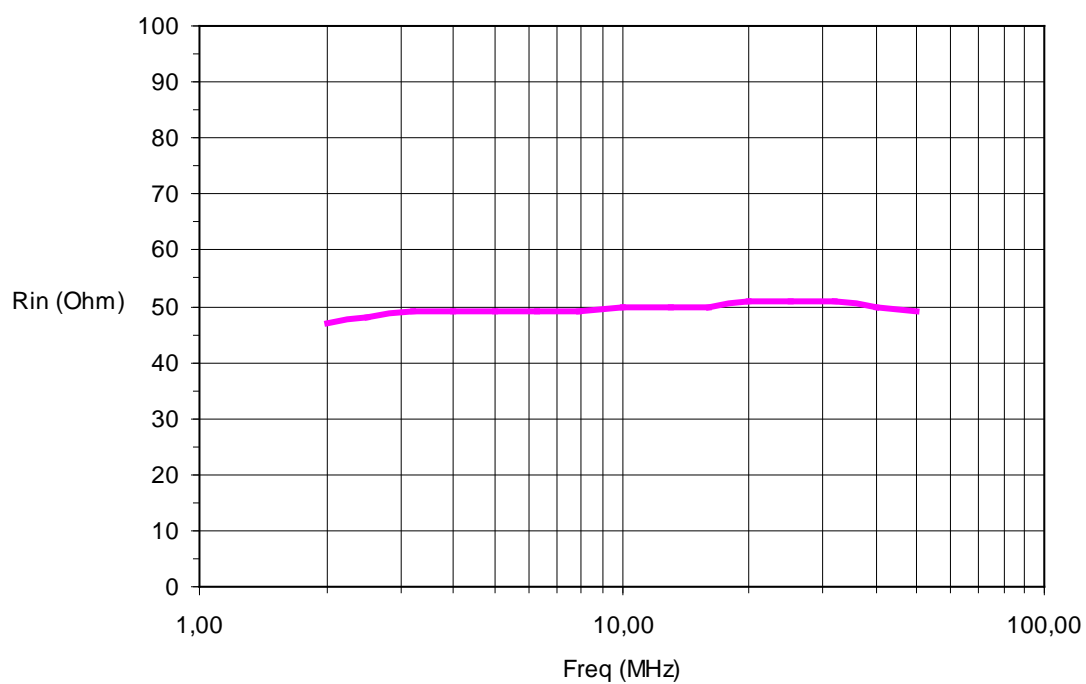


Fig.22 – Resistenza R_{in} misurata all'ingresso sbilanciato del balun 2:1 di **Fig.21** con il lato bilanciato chiuso su una resistenza $R_L = 100\Omega$.

7. Considerazioni conclusive

Nei paragrafi precedenti è stato descritto il procedimento seguito per il progetto e la realizzazione di due balun con rapporto di impedenze di 1:1 e 2:1, rispettivamente, per le HF.

Come tipologia è stata scelta quella di Guanella (dal nome dell'ideatore, [3]), descritta nel testo [1] preso a riferimento.

Nello schema di Guanella, il balun 1:1 risulta formato da una linea di trasmissione bifilare con impedenza caratteristica di 50Ω avvolta su un nucleo toroidale.

Il balun 2:1 è composto dalla cascata di un balun 1:1 e di un trasformatore sbilanciato (ununo) 2:1 entrambi avvolti su nucleo toroidale. In questo caso l'impedenza caratteristica della linea di trasmissione del balun deve essere uguale a 100Ω .

Per le sue limitate dimensioni e per il valore della sua permeabilità magnetica ($\mu_r = 125$), che consente di limitare il numero di spire della linea bifilare avvolta, come nucleo toroidale è stato scelto l' FT140-61 della Amidon.

Per definire le due linee bifilari, sono state caratterizzate tre linee formate da due conduttori di $\phi=1,4$ mm smaltati: direttamente accostati ed isolati dal solo smalto, per la prima, posti ad una distanza di 0,2mm, per la seconda e ad una distanza di 0,4mm, per la terza. Delle linee, distese su un asse di legno per avere uno sviluppo rettilineo e per comodità di misura, è stata stimata l'impedenza caratteristica con il metodo della variazione del carico. Sono stati trovati i seguenti valori 47Ω , per la prima, 75Ω , per la seconda e 90Ω per la terza (la caratterizzazione sperimentale è stata necessaria perché non è immediato trovare in letteratura formule per il calcolo della impedenza caratteristica di linee bifilari con conduttori ad una distanza pari a frazioni del loro diametro).

Per realizzare i due balun a cui siamo interessati sono stati scelte la prima e la terza linea.

Il passo successivo è stato quello di ripetere le misure di impedenza caratteristica con le linee selezionate avvolte sui nuclei toroidali. È stato trovato un aumento di impedenza da 47 a $60\div 65\Omega$ per la prima linea ed una diminuzione da 90 a 80Ω per la terza.

Sulla linea destinata al balun 1:1 chiuso su impedenze di 50Ω non sono stati fatti interventi per ridurre la sua impedenza caratteristica da $60\div 65\Omega$ a 50Ω , perché questo balun è destinato al dipolo per la banda degli 80m a cui corrispondono frequenze basse rispetto a quelle dove il comportamento del balun è sensibile alla impedenza caratteristica della linea bifilare. Dalla curva per $R_L = 50\Omega$ di **Fig. 11** risulta che il comportamento del balun inizia ad essere sensibile alla impedenza caratteristica della linea bifilare per frequenze maggiori di 8MHz, ma la sensibilità si mantiene modesta fino a frequenze di 20MHz.

Invece, per la linea destinata al balun 1:1 chiuso su impedenze di 100Ω sono stati allontanati i conduttori in corrispondenza dei tratti in aria, come è evidente dal confronto di **Fig.15** e **Fig.21**, con per aumentare la sua impedenza caratteristica da 80 a 100Ω .

Sui due balun sono state fatte anche misure della resistenza di ingresso con l'uscita chiusa su carico bilanciato in condizioni di sbilanciamento provocato dalla chiusura verso massa di uno per volta dei terminali del carico lato bilanciato con una resistenza da 100Ω (**Fig.14** e **17**).

Come prevedibile i balun hanno dimostrato più sensibilità per uno sbilanciamento che interessi il morsetto della resistenza di carico collegato mediante la linea bifilare al polo caldo del connettore coassiale lato sbilanciato.

Dopo aver messo a punto i due balun, è stato realizzato, messo a punto e caratterizzato il trasformatore 2:1. La caratterizzazione è stata fatta misurando la resistenza vista dal lato bassa impedenza con il lato alta impedenza chiuso su $R_L = 50\Omega$ (**Fig.20**).

Infine sono state fatte misure sul balun 2:1 completo nella banda da 1 a 50MHz i cui risultati sono riassunti nel grafico di **Fig.22**.

8. Riferimenti

[1] J.Sevick (W2FMI), *Transmission Line Transformers*, Fourth Edition, Noble Publishing Corporation, Atlanta GA

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Gustav_Guanella

[3] Datasheet del toroide FT-140-61_01 in formato pdf da <https://www.rf-microwave.com/it/amidon/ft-140-61/toroide-amidon-per-banda-larga-filtri/ft-140-61/>

(IZ5TEK, 29-01-2019)