

## Confronto fra trasformatori di impedenza

Marco Cadeddu, IK1HSS ik1hss@arri.net

Tanto per trastullarsi in una domenica pomeriggio freschina, e per ammortizzare gli investimenti fatti nel realizzare il VNA di N2PK, stimolato anche dal fatto che diversi amici hanno incominciato ad usare antenne per HF che richiedono l'uso di un trasformatore di impedenza ho deciso di vedere come si comportavano alcuni tipi di trasformatori con la condizione di utilizzare la stessa quantità di filo.

Prima di fuorviare alcuni tra i pochi lettori, credo che sia necessaria una premessa: la verifica è stata condotta con un carico resistivo caratterizzato nel campo di frequenze considerato e non su una antenna. Alcune antenne più o meno a larga banda o con risonanze multiple come la Windom o la verticale descritta sul suo sito da IK1QLD utilizzano trasformatori 1:4 o 1:6 ma ciò non significa che tali antenne presentino impedenza costante su tutte le bande su cui sono impiegate e molto spesso il fatidico basso valore di SWR che si misura al termine della linea è dovuto ad una concomitanza di fattori che esulano dagli scopi di questo articolo. Lo scopo è piuttosto quello di verificare il comportamento di alcuni trasformatori analizzando il rapporto di trasformazione misurato al variare della frequenza: il migliore trasformatore sarà quello che mantiene costante il rapporto di trasformazione nel campo di frequenze considerate e che esegua l'operazione con la maggior efficienza (o meglio, con le minori perdite...). Se poi qualche sventurato dovesse decidere di sostituire il trasformatore della sua antenna e si trovasse peggio, non mi stramaledica ma semplicemente ritorni al vecchio trasformatore!

### Il carico

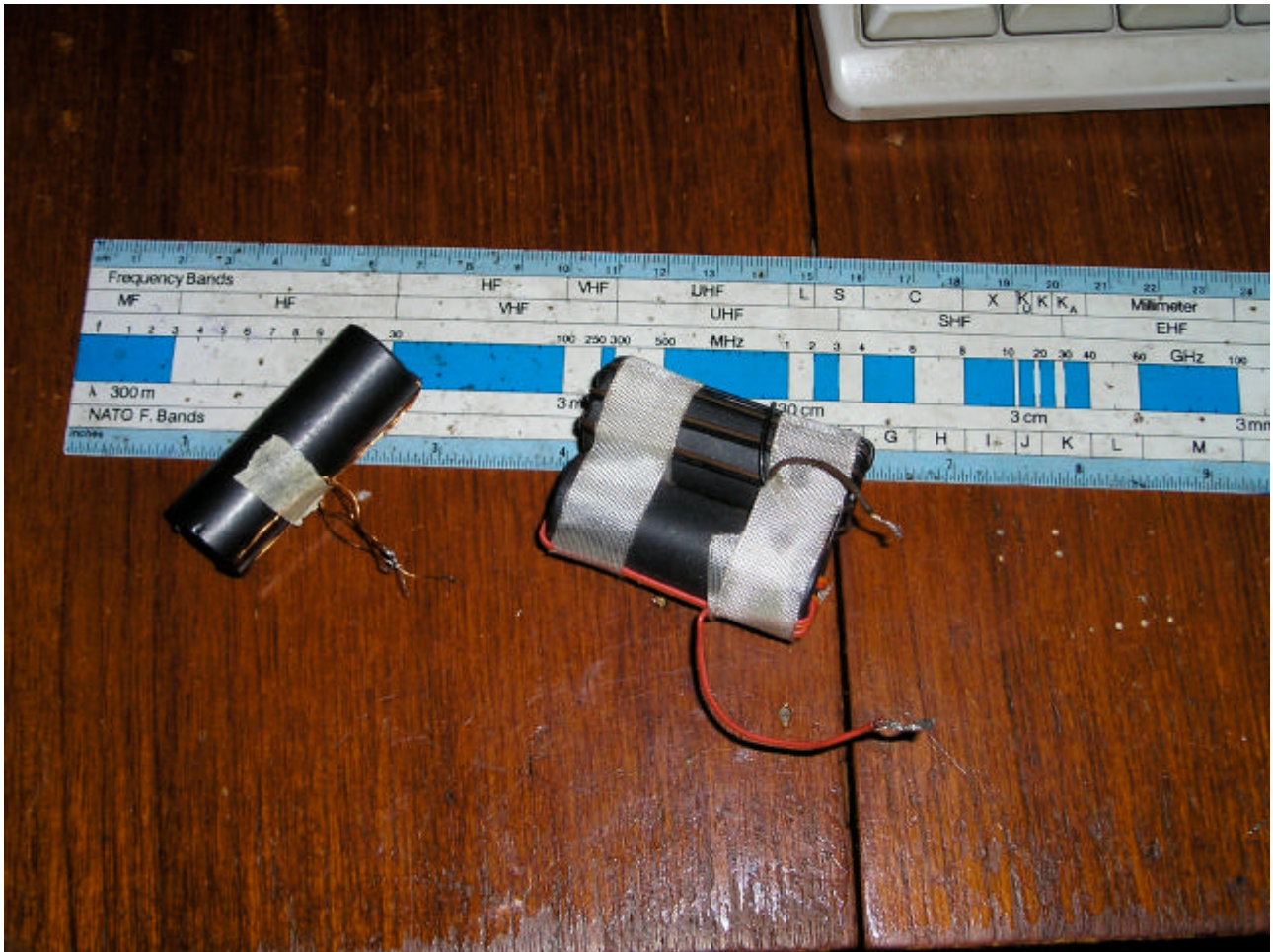
Cercando nei cassettei, la resistenza che più si avvicinava al valore di  $200\ \Omega$  (cioè il quadruplo dei nostri cari 50) era una resistenza da  $200\ \Omega\ 1/8\ W$  quindi abbastanza piccola da avere una piccola reattanza. Al fine di non prendere fischi per fiaschi la resistenza è stata caratterizzata tra 50 kHz e 60 MHz.

### Procedimento

Il bello dei vari software di simulazione, quali ad esempio Puff o Rfsim è che oltre a simulare dei componenti teorici, ideali, permettono di visualizzare in forma numerica e grafica anche dei componenti reali a patto che se ne conoscano i parametri di scattering (S parameters) ed il buon VNA ci regala appunto questi valori! Quindi il gioco è fatto! Basta ricavare un po' di numeri, confrontare le curve ottenute con quelle di un trasformatore ideale et voilà...

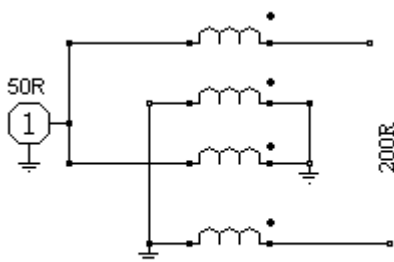
### Trasformatori confrontati

La pietra di paragone è il mio solito trasformatore secondo Caron, si tratta di un trasformatore avvolto su un nucleo "a binocolo" realizzato unendo due manicotti di ferrite da due soldi (i soliti usati per sopprimere le interferenze che si trovano nei mercatini)



[Fig. 1]

Consiste di 4 avvolgimenti di 5 spire realizzati con la piattina multifilo e multicolore con conduttori da 0,5 mm di diametro (ricordo che ogni volta che il filo passa nel foro del nucleo conta per 1 spira!). In Fig. 2 viene riportato lo schema di riferimento.



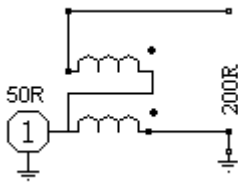
[Fig. 2]

Partendo da questo riferimento, sono stati costruiti e provati diversi trasformatori varando la configurazione, il numero di spire e avvolgendo i conduttori paralleli o attorcigliati (.. twistati) come indicato in tabella. Si è anche verificato cosa succede ad impiegare due nuclei o un singolo nucleo a parità di configurazione. Ricordando che abbiamo deciso di confrontarli a parità di filo, in alcuni casi il numero delle spire cambia a seconda che si impieghino 1 o 2 nuclei come si vede in Fig. 3: stesso circuito, stessa lunghezza di filo, ma solo 2 spire con un nucleo e 4 spire con 2 nuclei!



[Fig. 3]

Il secondo trasformatore di riferimento è quello “classico” riportato su tutti gli handbook visibile in Fig. 4



[Fig.4]

N°	Tipo	N° Spire	N° Nuclei
1	Fig. 2	2 x 5 spire + 2 x 5 spire parallele	2
2	Fig. 2	2 x 2 spire + 2 x 2 spire parallele	2
3	Fig. 2	2 x 2 spire + 2 x 2 spire twistate	1
4	Fig. 2	2 x 2 spire + 2 x 2 spire twistate	2
5	Fig. 3	2 x 2 spire parallele	1
6	Fig. 3	2 x 4 spire twist	2
7	Fig. 3	2 x 2 twistate	1
8	Fig. 3	2 x 4 spire parallele	2
9	Fig. 3	2 x 5 spire parallele	2
10	Fig. 3	2 x 6 spire parallele	2

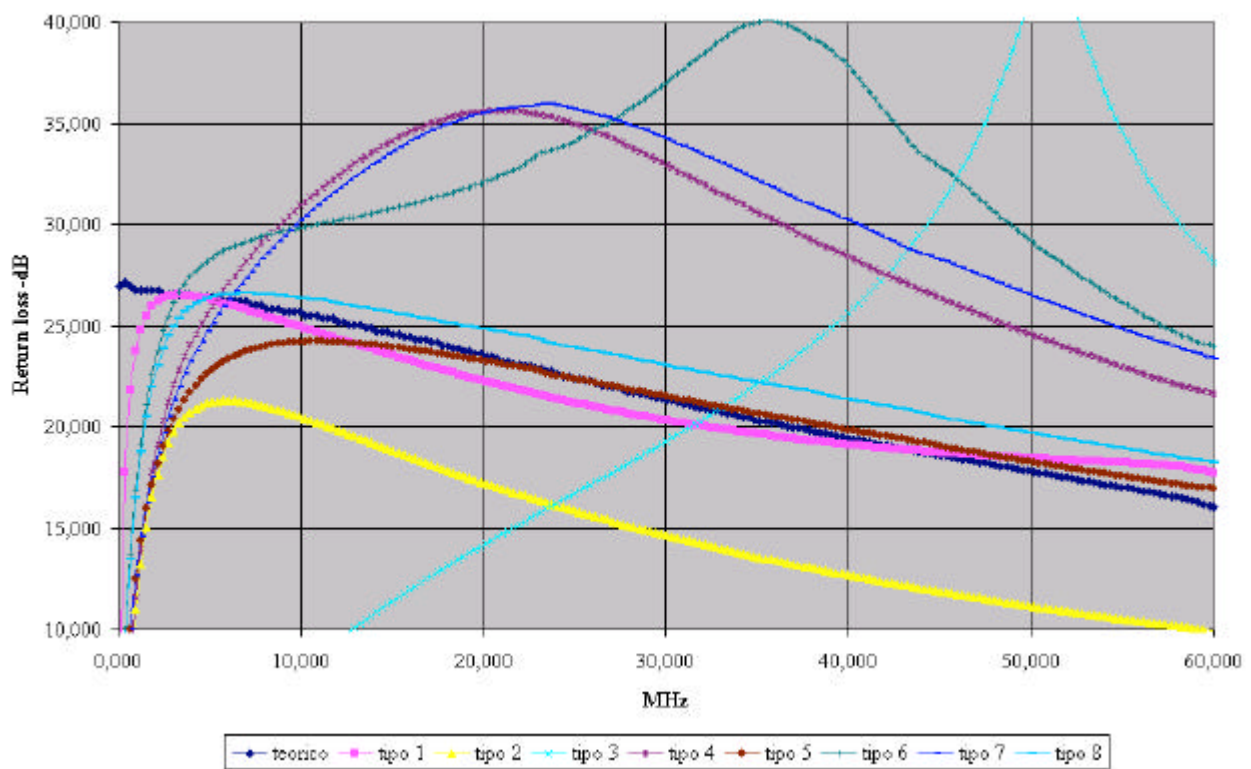


Fig. 5: Confronto tra le prestazioni dei trasformatori provati.

Nella Figura 5 sono collezionate le curve relative a tutti i trasformatori provati, si tratta di un grafico un po' affollato ma serve a dare un colpo d'occhio complessivo e si vedrà poi in dettaglio come differiscono tra loro. L'aspetto più importante che bisogna notare è che solo tre curve si avvicinano al comportamento ideale (quasi linea retta centrale di colore blu). Nella figura 6 è possibile vedere meglio queste tre curve riferite al tipo 1, 5 e 8: sebbene per buona parte del campo di frequenze considerate tutti e tre i trasformatori mostrino comportamenti simili, nel campo delle basse frequenze (MF e HF) il comportamento è piuttosto differenziato.

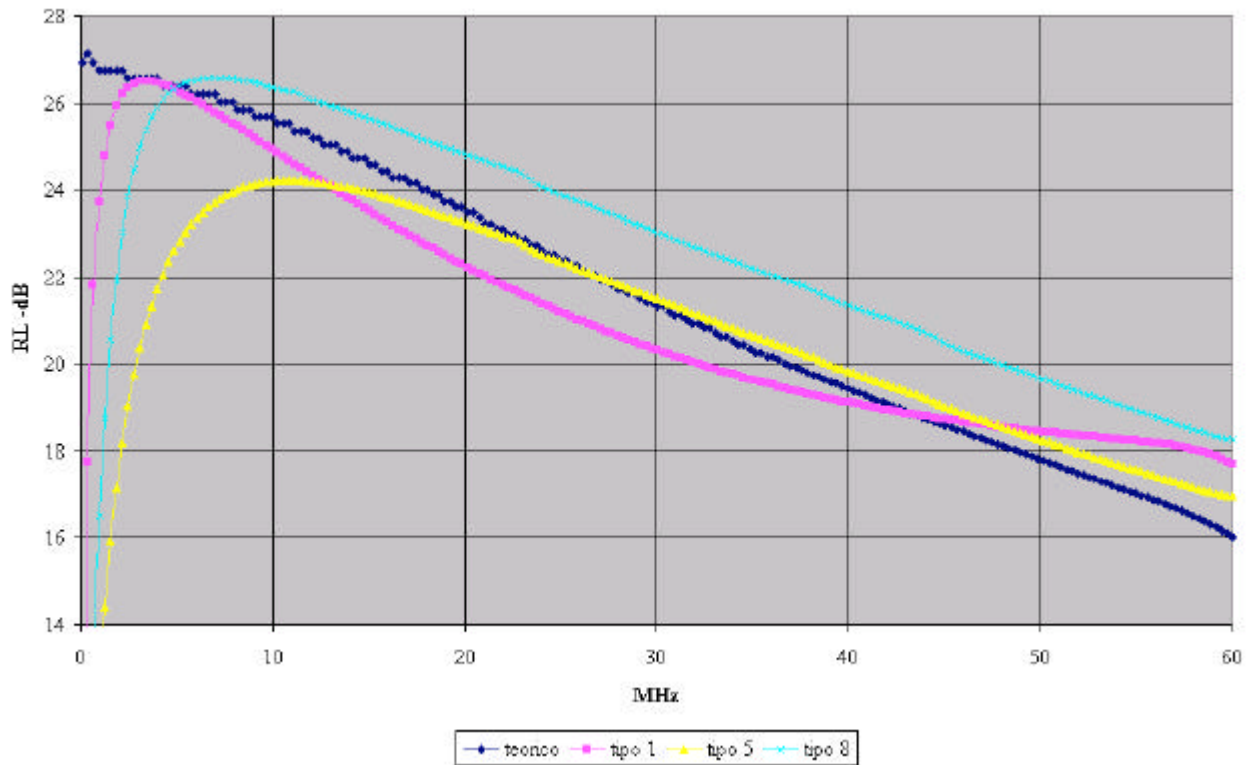


Fig. 6: confronto tra teorico (blu), 1 (viola), 5 (giallo), 8 (azzurro)

Il trasformatore 1 ha comportamento quasi ideale a partire da quasi 1,5 MHz, mentre quello di tipo 5 inizia a comportarsi bene da circa 10 MHz e il tipo 8 da circa 3 MHz. Attenzione.. trascurando il fatto che la maggior parte dei rosometri presenti in stazione difficilmente riescono a distinguere valori di ROS corrispondenti a RL superiori a  $-20$  dB, se dovessimo adattare al meglio una antenna con comportamento analogo alla nostra resistenza in prova, avremmo ampia possibilità di scelta a seconda della frequenza operativa ed altri trasformatori quali il 4, il 6 o l'8 a patto che si debba operare a frequenza superiore a 6 MHz.

Ritorniamo un attimo alla figura 6 ed alla tabella: i migliori trasformatori sono risultati quelli avvolti su due nuclei. L'altra considerazione è riferita invece all'influenza del numero delle spire sulla risposta in frequenza: al crescere delle spire migliora il comportamento in basso. Anche qui non c'è nulla di nuovo: l'avvolgimento da 5 spire presenta una induttanza di  $120\mu\text{H}$ , quello da 4 spire ne dà 30 e quello da 2 spire ne totalizza 15.

Una cosa curiosa riguarda il modo di avvolgere le spire ovvero utilizzando due fili paralleli o intrecciati. Generalmente gli avvolgimenti intrecciati dovrebbero presentare una minore capacità permettendo così di estendere il funzionamento (regolare) ad alte frequenze poiché si aumenta la frequenza di autorisonanza dell'avvolgimento stesso. Nella figura 7 sono rappresentati i grafici riferiti alle coppie 5-7 (blu – giallo) e 6-8 (viola – azzurro).

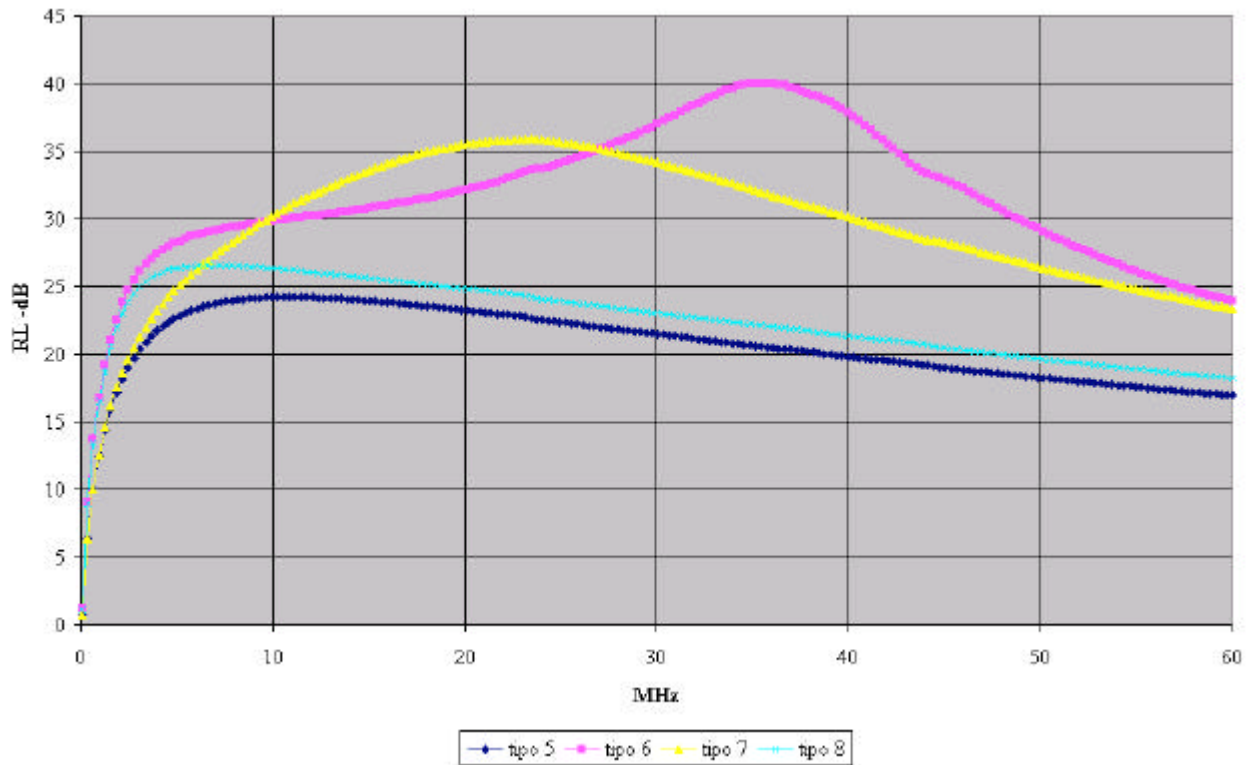


Fig. 7: influenza del tipo di avvolgimento

Le curve 5 e 8 relative a trasformatori realizzati con avvolgimenti paralleli risulterebbero più regolari, ovvero più a banda larga e più simili alla previsione della simulazione rispetto agli analoghi realizzati con avvolgimenti intrecciati. Una possibile spiegazione potrebbe essere trovata nella diversa impedenza esibita dalle coppie di conduttori che costituiscono gli avvolgimenti e che si comportano come linee di trasmissione. In effetti l'ottimizzazione di questo parametro può portare a miglioramenti del comportamento di un trasformatore a larga banda.

[nota aggiunta 03.12.2005 – fili paralleli  $Z=170 \Omega$ ; twistati  $Z=80 \Omega$ ]

#### Efficienza

Un ultimo parametro da non dimenticare quando si realizzino delle trasformazioni di impedenza, sia mediante trasformatori che con reti di adattamento, è rappresentato dall'efficienza con cui si trasferisce la potenza. Un modo abbastanza semplice è quello di misurare l'attenuazione esibita da due trasformatori uguali in cascata (eseguendo quindi una trasformazione  $50 \Omega$  a  $200 \Omega$  seguita da una da  $200 \Omega$  a  $50 \Omega$ ) ed attribuire a ciascuno la metà dell'attenuazione complessiva. In seguito alle considerazioni precedentemente espresse, verranno esaminati solo i trasformatori di tipo 1, 5 e 8.

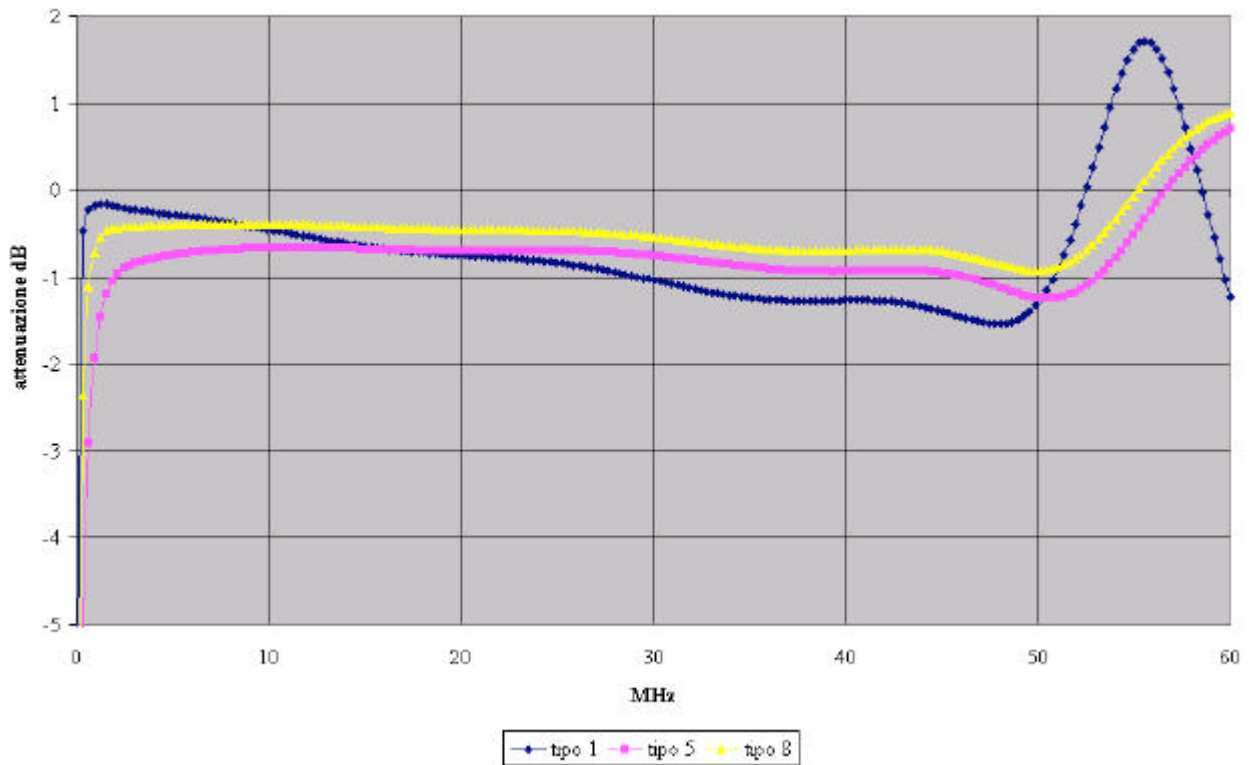


Fig. 8: attenuazione esibita dai diversi trasformatori (N.B. i valori mostrati si riferiscono a due trasformatori in cascata)

Come si vede tutti e tre i modelli esaminati hanno perdite di inserzione contenute con valori che variano da un minimo di 0,2 dB per arrivare al massimo di 0,7 dB. Nella zona sopra a 50 MHz sono evidenti delle risonanze ... anche perché un trasformatore che guadagni è una roba come minimo da Nobel! Nuovamente si nota che il trasformatore di tipo 1 ha perdite di inserzione bassissime alle basse frequenze (poco più di 0,2 dB a 350 kHz) comprese tra 0,2 e 0,5 dB nel campo da 0,5 a 30 MHz e tra 0,5 e 0,7 dB tra 30 e 50 MHz. Il tipo 8 ha una risposta molto piatta compresa tra circa 0,2 dB e 0,5 dB da 1,5 a 50 MHz mentre il tipo 5 perda da 0,4 a 0,5 dB nel campo di frequenze comprese tra 3 e 45 MHz.

Vedendo questi risultati, e considerato che l'uso di questi trasformatori dovrebbe essere limitato a 30 MHz, si è deciso di provare ancora un trasformatore di tipo 8 con un po' di filo in più e vedere quindi con 5 spire (N°9) e 6 spire (N°10) cosa capitava.

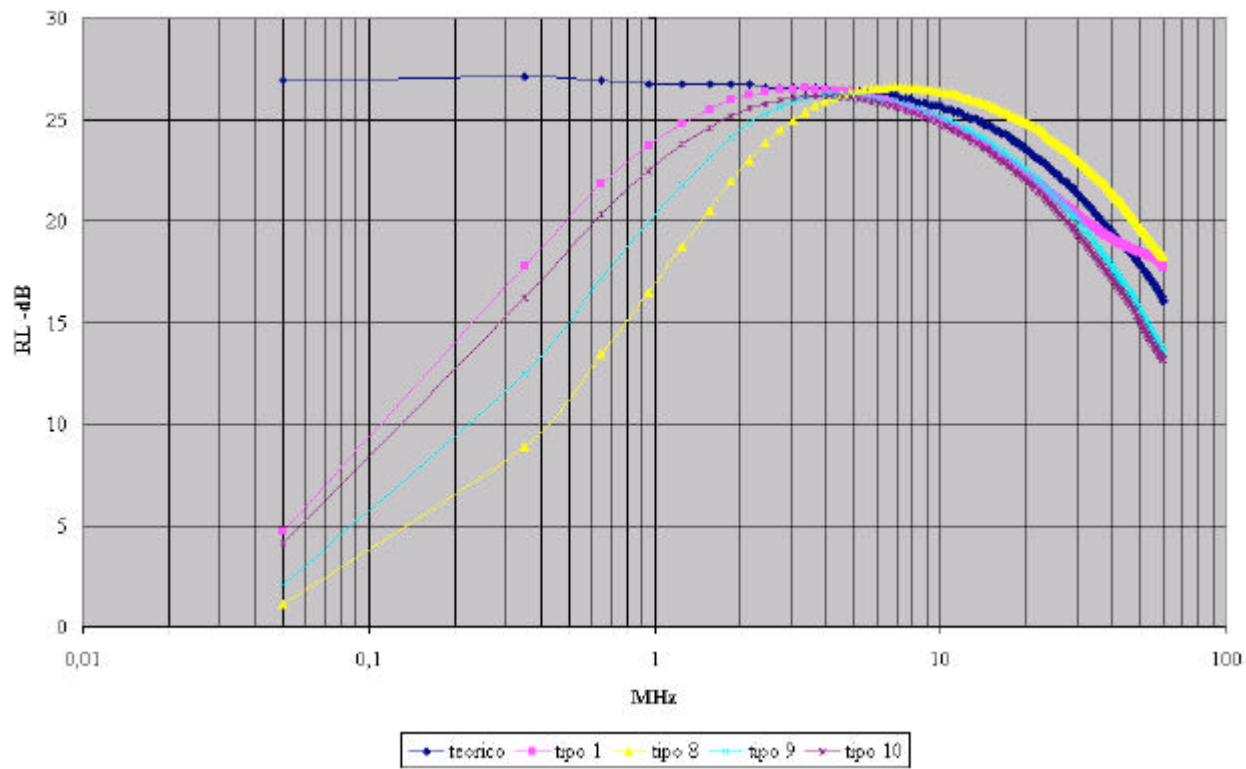


Fig. 9: linearità di trasformazione (in scala logaritmica)

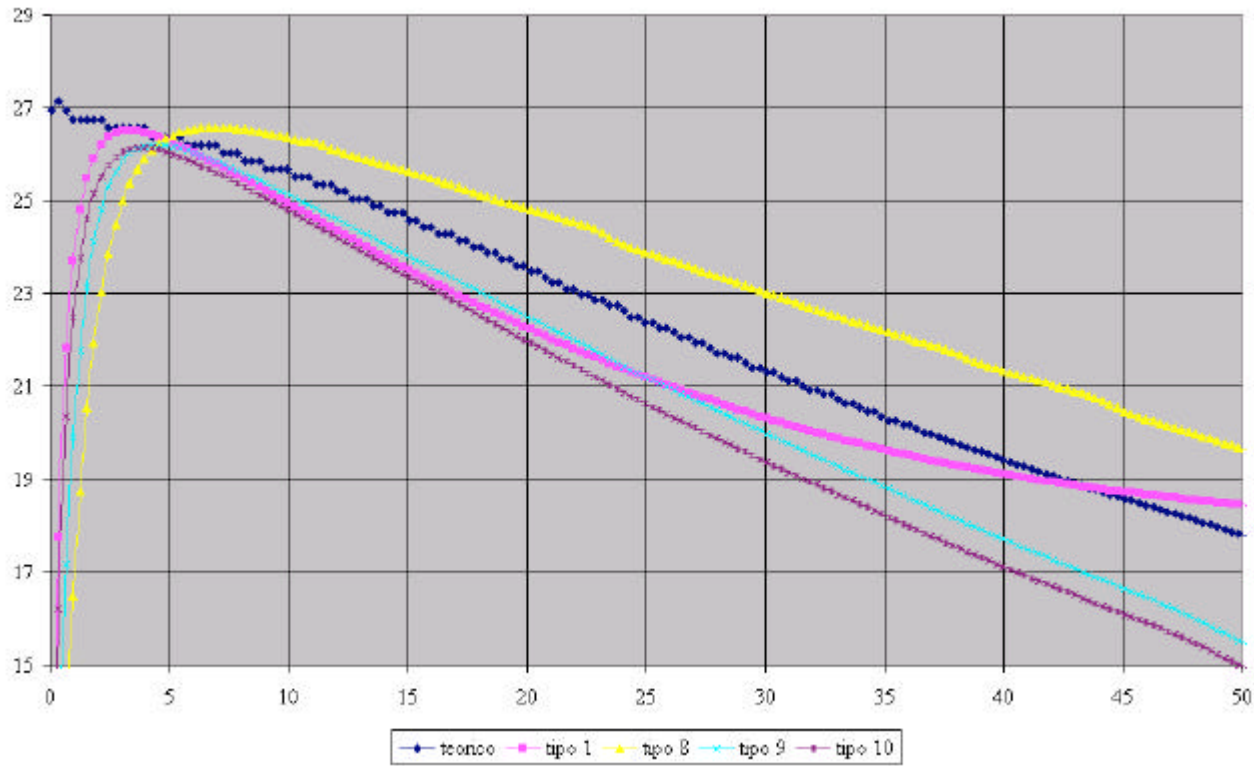


Fig. 9a: linearità di trasformazione (in scala lineare)



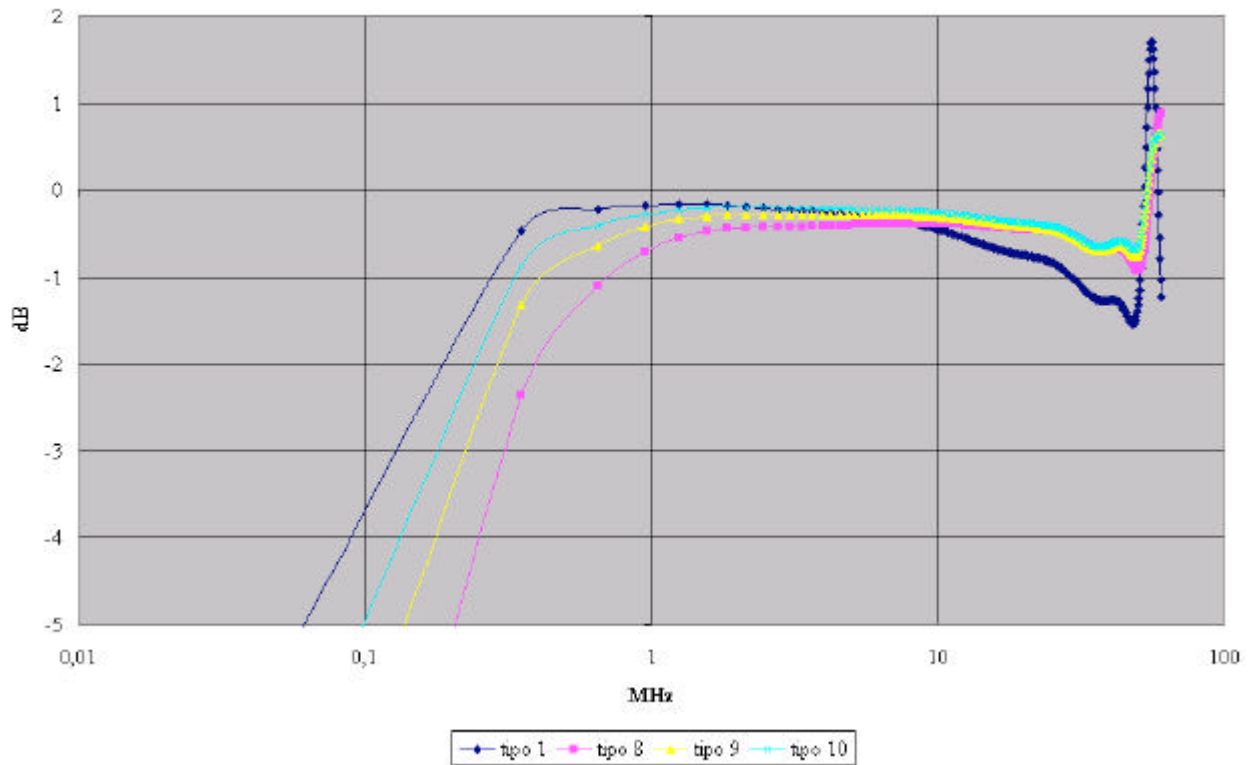


Fig. 10: perdite di inserzione

I due grafici di Fig. 9 e Fig.9a riproducono in scala lineare e logaritmica gli stessi dati in modo da consentire di valutarli sia nella zona a bassa frequenza che in quella di alta frequenza. L'aumento di spire migliora la risposta alle basse frequenze anche se non si riesce ad eguagliare le prestazioni del trasformatore di tipo 1. In compenso, si fa per dire..., la risposta a frequenze maggiori peggiora ed il trasformatore di tipo 8 risulta migliore del 9 o del 10!

### Conclusioni

In definitiva, il miglior compromesso risulta essere il trasformatore di tipo 1 mentre quello di tipo 8, di esecuzione più semplice, è comunque adeguato se non si vuole operare sotto alla banda degli 80 m. Due trasformatori del tipo 1 sono stati provati anche con segnali di livello superiore inserendoli tra l'uscita dell'amplificatore HF ed il carico fittizio: dopo 15 minuti con 500 W applicati, dal carico fittizio emanava un certo odore di friggitoria mentre l'alimentatore del TRX incominciava ad avere una temperatura tropicale, i due trasformatori invece, nonostante i conduttori di sezione piccina mostravano un incremento di temperatura di pochi gradi rispetto all'ambiente, quindi ritengo che come dimensionamento siano sicuramente adatti a livelli di potenza di 100 W ma anche superiori posto che non si voglia giocare alla broadcasting!