

Serata tecnica sulle linee d'antenna



Seconda delle tre serate programmate, presso la sede di A.R.I. Pordenone APS.
Argomenti trattati in questa serata:

- I cavi coassiali e l'accordatore tra RTX e antenna
- I trasformatori, i choke, i balun e l' Un-Un
- Il concetto di "Bilanciato" e "Sbilanciato"
- Gli RF - Choke e il loro utilizzo, la reiezione del "modo comune"

Relatore della serata: **Adolfo Melilli, IV3BYA**

Pordenone, 13 marzo 2025

Trasformatori, Choke, Balun, Un-Un

C'è un po' di confusione perché a vederli si assomigliano

A cosa serve un trasformatore?

- **Lo dice il termine stesso, senza dissipare o disperdere potenza elettrica, ne trasforma le sue caratteristiche, in termini di tensione, corrente, impedenza.**
- **Nel nostro caso serve ad adattare un'antenna alla nostra linea di trasmissione ed al nostro trasmettitore, nel caso essa avesse impedenza diversa da 50 ohm.**

A cosa serve un Choke?

- Ad evitare che la corrente alternata a radiofrequenza crei problemi passando su conduttori in cui non dovrebbe (ad esempio la parte esterna della calza del cavo coassiale)
- A fare in modo che il cavo coassiale non diventi esso stesso un “pezzo” dell’antenna, alterandone così le caratteristiche progettuali...

A cosa serve un BALUN

- A collegare due dispositivi, uno bilanciato ed uno sbilanciato (tipicamente una linea ed un’antenna)

Parliamo di trasformatori

- Il Trasformatore, se ben fatto, disperde o dissipa potenza in maniera trascurabile; il trasformatore ideale modifica le caratteristiche di tensione e corrente viste dall'avvolgimento primario rispetto al secondario, ma la potenza viene conservata, **quindi, il prodotto $V \times I$ rimane costante.**
- Nel Trasformatore propriamente detto i due avvolgimenti sono accoppiati induttivamente, ma non c'è collegamento galvanico tra l'uno e l'altro; nel caso ci fosse, si dovrebbe parlare di **autotrasformatore.**

- Il numero delle spire di un avvolgimento influisce sulla tensione in modo **direttamente proporzionale**, e sulla corrente in modo **inversamente proporzionale**.
- questo significa che se abbiamo un trasformatore in cui il secondario ha il doppio delle spire del primario, sul secondario ci sarà il doppio della tensione, ma la corrente che potrà circolare sarà la metà... questo in virtù del principio della conservazione della potenza nei trasformatori....

E le antenne cosa c'entrano?

Il fatto è che sono poche le antenne che “nascono” a 50 Ohm

Nella serata precedente abbiamo visto che non è sufficiente che un'antenna sia accordata su una certa frequenza o banda per non avere energia riflessa,. Anche in regime di risonanza, la sua impedenza si può discostare molto dai 50 ohm, dobbiamo quindi ricorrere ad un trasformatore usato come **adattatore di impedenza**.

Supponiamo di avere una antenna filare accordata, ma con una impedenza attorno ai 200 Ohm, il nostro trasmettitore ha 100 watt.

Se il trasmettitore lavorasse su un carico di 50 ohm, potremmo calcolare la corrente, infatti $W=I^2R$.. $100=I^2 \times 50$.. $I^2=100/50$.. $I^2=2$.. $I=\sqrt{2} = \mathbf{1.414 \text{ ampere}}$.

La nostra antenna però ha 200 Ω , quindi

$W=I^2R$.. $100=I^2 \times 200$.. $I^2=100/200$.. $I^2=0.5$.. $I=\sqrt{0.5} = \mathbf{0.707}$ ampere.

Ma **0.707** è esattamente la metà di quel **1.414** che avevamo visto prima!

La metà della corrente, a parità di potenza, significa il doppio delle spire,

Quindi ATTENZIONE

**Per adattare una antenna con impedenza di 200 Ω ad una linea di 50 Ω .
Serve un trasformatore che abbia al secondario il doppio delle spire del primario, **NON** il quadruplo, attenzione quando si parla di rapporti di trasformazione 4:1, 9:1 eccetera, il rapporto di trasformazione non è lo stesso del rapporto tra le due impedenze**

Questo era un esempio dimostrativo

Per praticità ripeschiamo la sacra relazione che lega il rapporto tra le spire del primario e secondario di un trasformatore alle due impedenze I_s ed I_p

Inverso del rapporto spire = radice di (I_s diviso I_p) = radice di (200 / 50) = radice (4) = 2

Il rapporto spire (o il suo inverso) però è solo il primo di una serie di parametri da considerare.. Gli avvolgimenti, più' spire hanno più si portano dietro delle **capacità parassite**, che potrebbero introdurre delle risonanze indesiderate, **un trasformatore non deve avere risonanze** e le capacità in gioco dovrebbero essere ridotte al minimo. Quindi mantenersi su poche spire è la soluzione più conveniente.

Due necessità contrastanti

Se da un lato abbiamo visto che non possiamo eccedere con le spire negli avvolgimenti dei trasformatori a radiofrequenza per evitare gli effetti delle capacità parassite, dall'altro dobbiamo evitare che la reattanza induttiva degli avvolgimenti si abbassi troppo...

In base alla frequenza più bassa sulla quale si opera, l'ideale sarebbe se gli avvolgimenti avessero una reattanza di almeno **5 volte l'impedenza in gioco...**

Queste due necessità debbono trovare un compromesso, e lo trovano nell'uso dei **nuclei ad alta permeabilità... che aumentano molto la reattanza di un avvolgimento, anche di poche spire, rispetto a quella che avrebbe in aria...**

Reattanza induttiva $X_L = 2 * \pi * F * L$

Dunque, il primario del nostro trasformatore, che “vede” una impedenza di 50 ohm, dovrebbe avere una reattanza di almeno 250 ohm! La reattanza dipende dalla frequenza, ma a noi, per determinare le caratteristiche degli avvolgimenti,

serve sapere le induttanze! $L = X_L / (2 * \pi * F)$

Ad esempio, per i 40 metri, l'induttanza del primario viene:

$250 / (2 * \pi * 7 \times 10^6)$ cioè 5.684 microhenry

Il secondario, che nel nostro esempio vedeva 250 Ohm, dovrà avere una

reattanza di 1000 Ohm .. **$1000 / (2 * \pi * 7 \times 10^6)$ fa 22.736 microhenry..**

Per ottenere induttanze così alte con poche spire occorre scegliere bene le caratteristiche del nucleo

- Inserendo un nucleo di ferrite sotto gli avvolgimenti si aumenta, anche di molto, l'induttanza a parità di spire
- I nuclei di ferrite sono prodotti da molte aziende, hanno varie forme e varie caratteristiche ogni nucleo è contraddistinto da un codice che ne descrive forma, dimensioni e la miscela di cui è fatto
- Ad esempio, usando il nucleo **FT 240-43**, prodotto da Amidon, Toroide tipo 43, diametro 2.40 pollici, bastano 4 o 5 spire per la nostra induttanza di 27 microhenry

Occorre però fare i conti con la potenza applicabile

- I nuclei di ferrite, sollecitati da un flusso magnetico eccessivo, vanno soggetti a **saturazione** , ed anche a **surriscaldamento** che ne pregiudica il funzionamento e potrebbe addirittura **causarne la rottura** .
- Occorre quindi non stressare il nucleo con un flusso eccessivo, per le ferriti esiste questa relazione tra frequenza di lavoro e il flusso massimo:

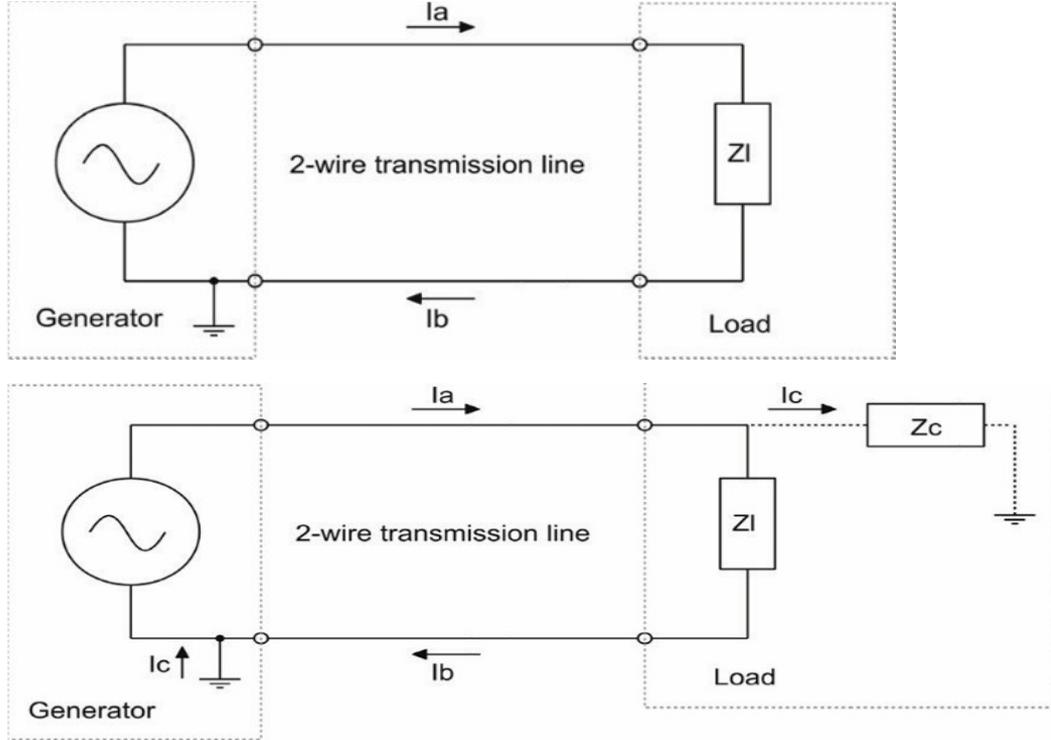
Frequenza (MHz)	0,1	1	7	14	21	28
Densità di flusso (gauss)	500	150	57	42	36	30

Per calcolare la densità di flusso, si usa la relazione:

$$\beta_{\max} = \frac{E_{pk} * 10^2}{4,44 * A_e * N * f}$$

Su cui non scenderemo nel dettaglio visto che per scegliere i nuclei esistono tabelle belle e pronte che vedremo fra poco...

Correnti differenziali ed a modo comune



- Schema di principio di una linea in cui ci sono solo correnti differenziali (ovvero la corrente è la stessa che va e torna dall'altro lato, sfasata di 180 gradi)
- Schema di principio di una linea in cui, la componente a modo comune, crea un percorso alternativo verso massa...

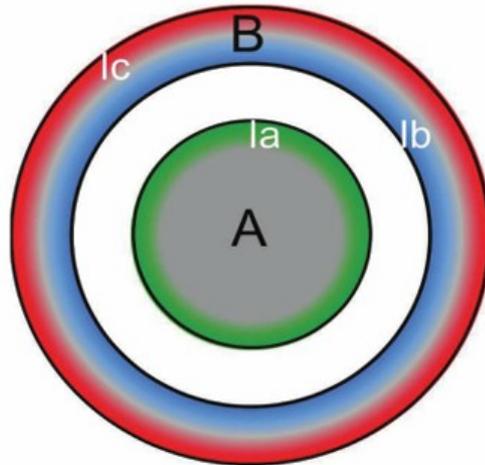
Il modo comune nei cavi coassiali

- Un cavo coassiale, come sappiamo è composto da due conduttori, uno centrale ed uno esterno chiamato comunemente “calza”
Durante l’utilizzo con la radio, nei conduttori si verifica il famoso “**effetto pelle**” per cui la corrente ha potenzialmente 3 percorsi su cui passare

Il conduttore centrale

La parete interna della calza

La parete esterna della calza



Le correnti che passano all’esterno ed all’interno della calza, possono avere direzioni opposte, intensità e velocità di propagazione differenti, senza interferirsi..

FIGURE 3: Skin Effect makes coax behave as a THREE-conductor transmission line.

Tra il conduttore centrale e la parte interna della calza circolano correnti uguali e contrarie, (sempre che la linea sia adattata), il campo generato da una viene annullato dal campo generato dall'altra.. Non c'è irradiazione.. Queste correnti vengono definite **“correnti differenziali”**

Sulla parte esterna della calza, in teoria non ci dovrebbero essere correnti, ma spesso non è così, la parte esterna della calza finisce con diventare parte dell'antenna stessa, il “ritorno” attraverso cui il carico di antenna si chiude..si parla in questo caso di **‘correnti a modo comune’, la calza del cavo si mette a irradiare con tutta una serie di conseguenze negative, anche potenzialmente gravi, per le apparecchiature presenti in casa (computer in primis)**

Oltretutto, visto che la calza diventa parte del sistema di antenna, la **“geometria” dell'antenna stessa non è più quella che si vorrebbe che fosse**, e questo non può che pregiudicarne il funzionamento, alterando il lobo di radiazione e creando un disadattamento.

Questo problema si risolve disponendo una induttanza in serie alla calza

- In altre parole si fa in modo che una parte del cavo diventi una “bobina”, possibilmente avvolta su un nucleo di ferrite in modo da aumentarne l’induttanza, si costruisce così un “**CHOKE**” (**strozzatore**) di RF.
- Le correnti differenziali, che scorrono all’interno del cavo, non saranno influenzate da questo accorgimento, mentre le correnti a modo comune che scorrono all’esterno verranno bloccate.
- Anche in questo caso non si può esagerare con le spire, per evitare che le capacità parassite diventino significative e possano contrastare la componente induttiva. A questo scopo si scelgono **nuclei ad alta permeabilità** adatti alle frequenze su cui si intende lavorare, in modo da avere valori di induttanza elevati con **poche spire e ben distanziate tra di loro**.

Tutto bene però... attenzione

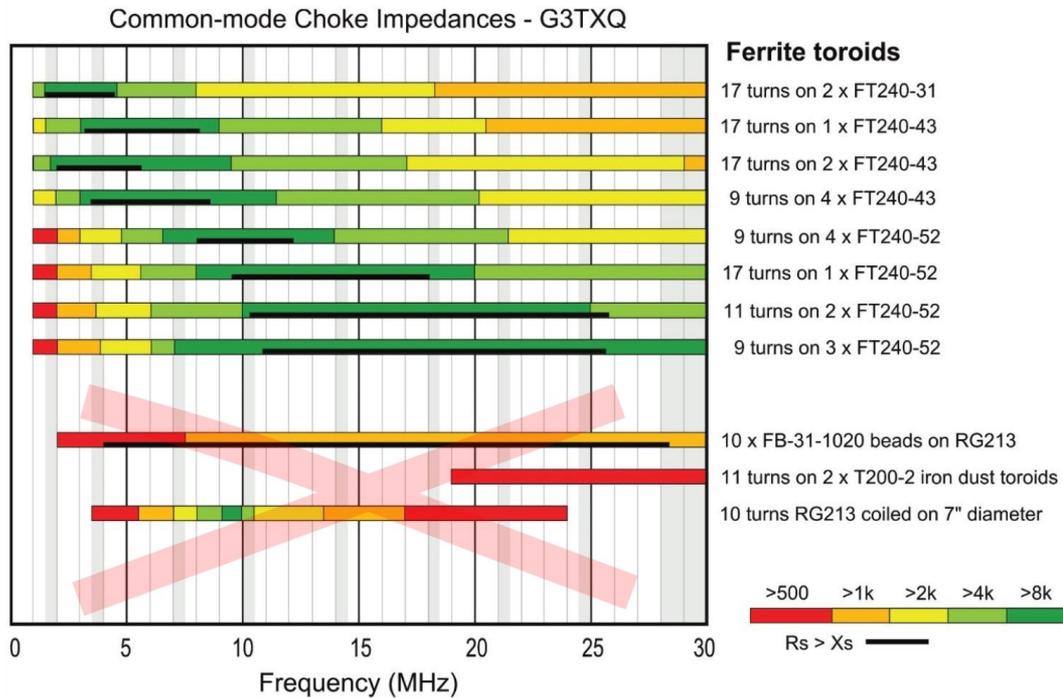
- **Dove va posizionato il Choke?** Solitamente va messo vicino al punto di alimentazione dell'antenna, se c'è un Balun. Va messo sotto il Balun, questo protegge il cavo per tutta la sua lunghezza.
- **E' sempre opportuno usarlo?** No, le antenne che non prevedono un vero contrappeso, tipo le "canne da pesca", se non possono più neanche affidarsi allo "pseudo-contrappeso" offerto dal cavo coassiale, **non funzionano più correttamente.**
- **Le caratteristiche del nucleo di ferrite sono importanti?** Sì, sono decisive, il choke deve lavorare su una banda di quasi 30 megahertz, si debbono poter creare **reattanze induttive elevate e reattanze capacitive ridotte** a tutte le frequenze, inoltre anche in questo caso occorre stare attenti a non saturare o surriscaldare il nucleo.

Le Ferriti: tipi, forme, materiali, nomenclatura.

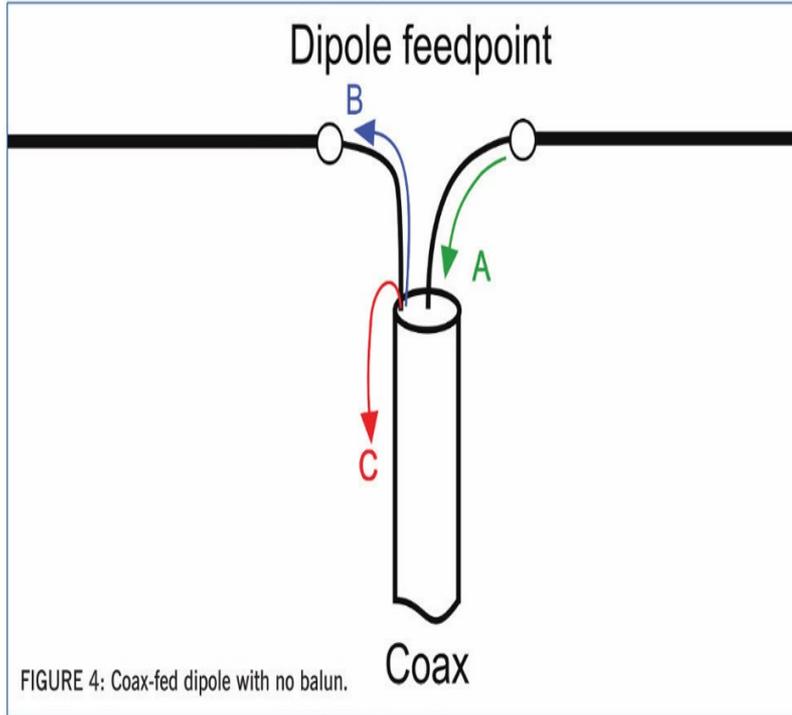


- Possono avere varie forme, quelle più importanti per noi sono **quelle ad anello (Toroidi)**.
- Possono essere fatte di vari materiali, quelle a polvere di ferro sono le meno adatte, le migliori sono al **Nickel-Zinco..**
- Hanno un codice che ne descrive la forma, le dimensioni ed il tipo di “mescola”, Ad esempio **FT 240-43** significa Toroide, 2.40 pollici di diametro, materiale di tipo 43 (una delle tante leghe Nickel-Zinco)

Questa figura, prodotta dal compianto **G3TXQ**, evita di dover fare complessi calcoli per determinare dimensioni, numero di spire e tipo di toroidi a seconda delle varie bande. L'obiettivo è ottenere la maggior impedenza possibile; in basso ci sono le frequenze, tanto più si va verso il verde scuro tanto più è efficace il choke, i toroidi possono anche essere più di uno, sovrapposti...



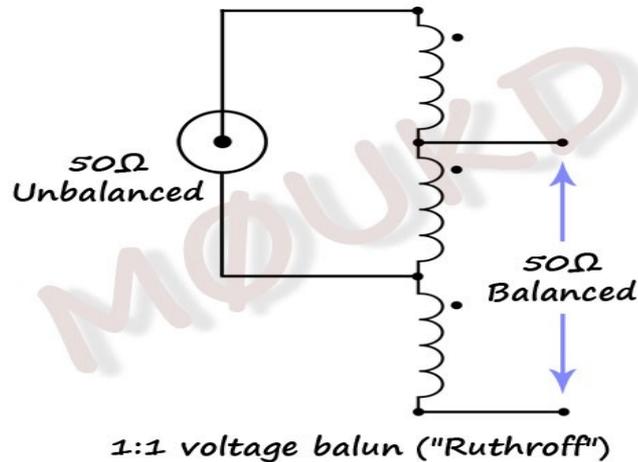
Dipolo alimentato direttamente dal cavo coassiale



- Ecco cosa succede, vedete le correnti differenziali A e B, uguali ed opposte, ma oltre a quelle c'è la **corrente C che passa lungo la calza**.
- Questa situazione richiede un Choke per “**isolare**” entrambi i bracci del dipolo dalla linea, in questo modo **avremo adattato un carico bilanciato ad una linea sbilanciata**
- Quindi, il choke, può svolgere anche la funzione di **BAL-UN** (balanced-unbalanced), se non ci sono anche impedenze da adattare...

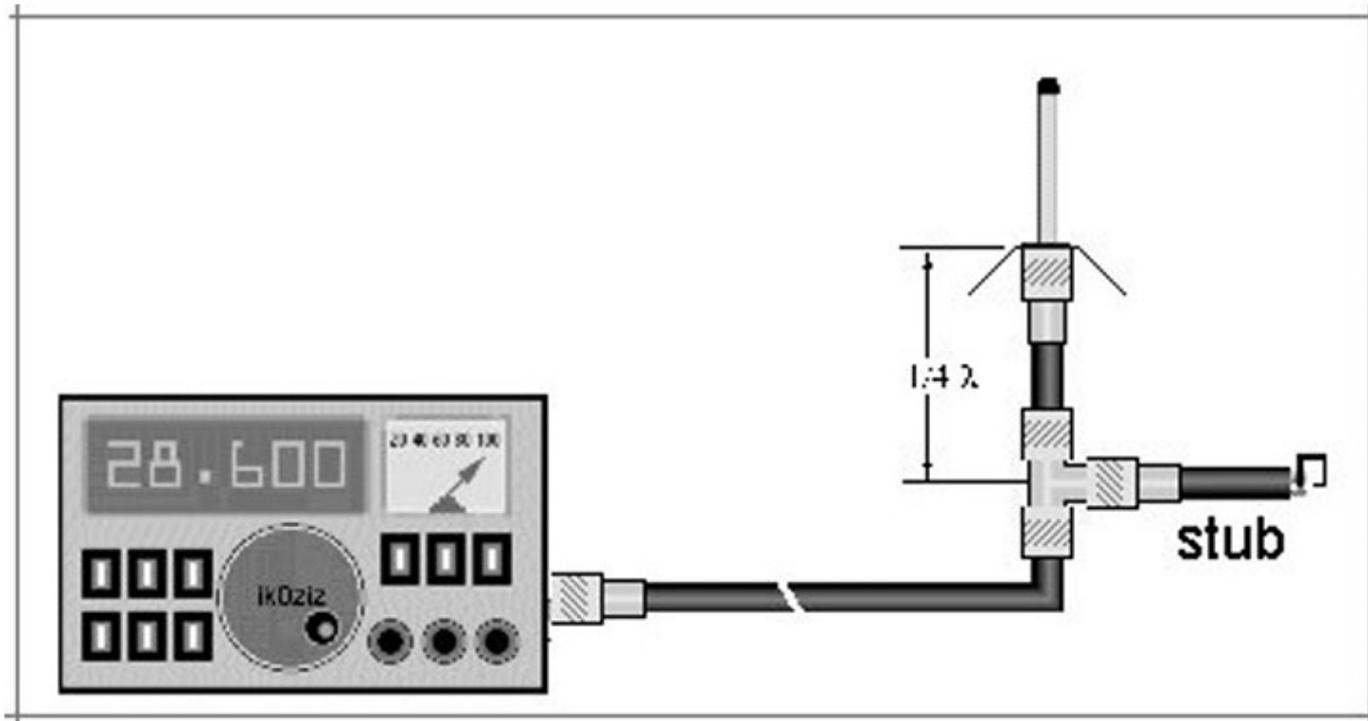
Balun in corrente e Balun in tensione

Quindi abbiamo visto che **un choke** può essere inteso anche come un **BALUN IN CORRENTE 1:1**, in quanto ostacola il fluire della corrente di modo comune lasciando passare solo correnti differenziali, uguali ed in direzione contraria e “Scollega” virtualmente la calza del cavo dall’antenna.



Il Balun in tensione invece serve a far sì che le tensioni sui due morsetti della linea siano uguali, questo non implica che siano uguali anche le correnti, perché non è detto che i due morsetti della linea bilanciata abbiano la stessa impedenza rispetto da una massa di riferimento; **quindi l'uso del balun in tensione (vedi figura) deve essere valutato bene, in genere si preferisce usare i choke o gli adattatori di impedenza.** (trasformatori ed autotrasformatori)

Esistono però alternative ai dispositivi “avvolti”: quelli in cui si usa il **cavo coassiale**,



Questa configurazione, più che adattare la componente resistiva di un'antenna viene usata per neutralizzare la componente induttiva o capacitiva

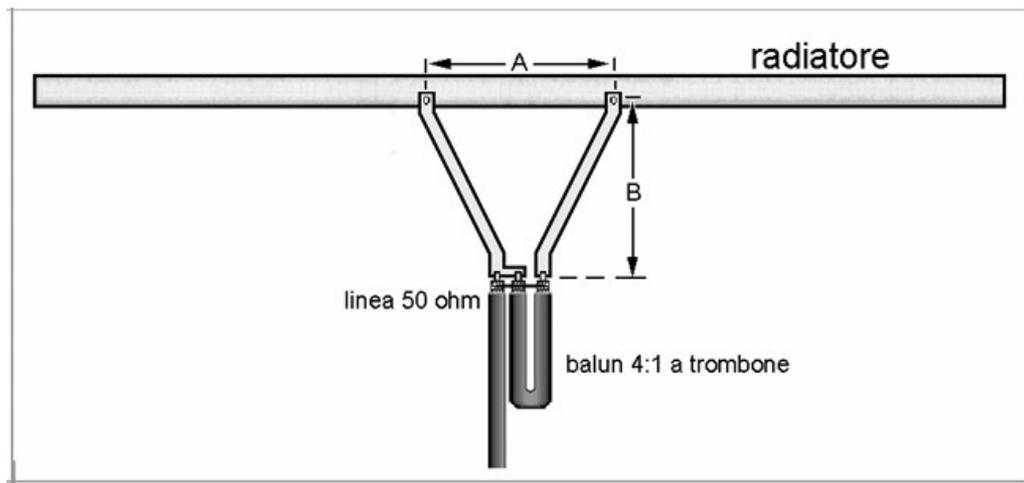
Stub chiuso per annullare la componente reattiva dell'impedenza d'ingresso.

Il BALUN a trombone



Questo è un **vero BALUN**, **4:1** nel senso che bilancia il carico e contrasta le correnti di modo comune sulla calza. La lunghezza del cavo a “U” è di mezza onda (elettrica) e la sua impedenza è di un quarto del carico che si vuole adattare. Se il dipolo fosse stato da 300 ohm, la “U” avrebbe dovuto essere fatta con cavo da $300/4$, ovvero 75 ohm.

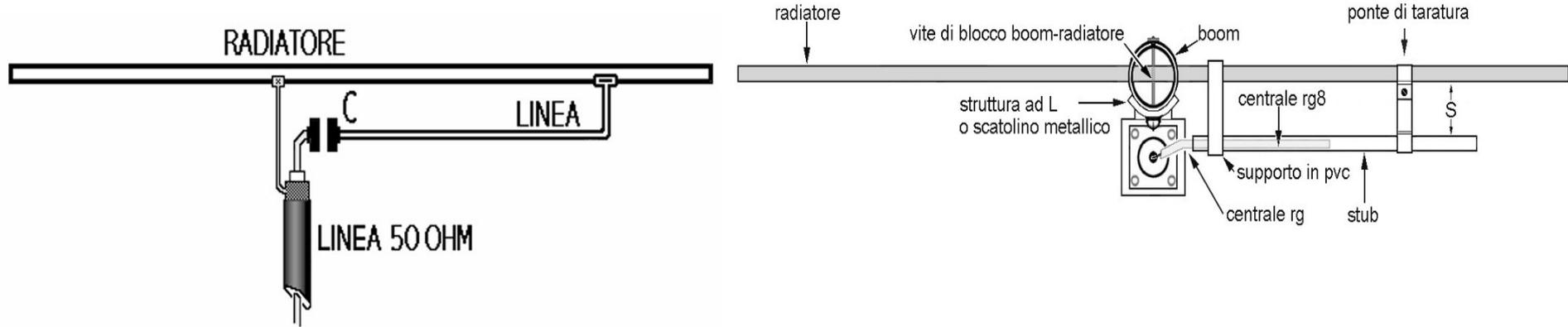
Adattamento a Delta con Balun a trombone



Adattamento a "delta" con balun a trombone per la trasformazione 4 : 1

Serve per adattare l'impedenza di un dipolo a mezza onda a bracci non separati, ed a simmetrizzarlo... la distanza tra i punti di alimentazione va regolata sperimentalmente fino a raggiungere i 200 ohm di impedenza, che poi il balun a trombone ridurrà' a 50 ohm

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) $299,793 : (F) 28,000 \text{ MHz} = 10,70 \text{ m}$. (λ) $10,70 \times 0,045 = 0,48 \text{ cm}$. 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

E gli UN-UN?

Gli UN-UN (unbalanced-unbalanced) **sono autotrasformatori**, usati per adattare l'impedenza di un'antenna ad una linea, qualora queste fossero diverse...

Gli UN-UN hanno senso solo se le impedenze in gioco sono diverse, funzionano meglio dei trasformatori con avvolgimenti separati galvanicamente, perché richiedono meno materiale magnetico, fili più sottili ed hanno meno perdite.

Ovviamente gli UN-UN, contrariamente ai choke, **non possono risolvere da soli il problema delle correnti di modo comune...**

Concludendo:

Fondamentalmente esistono **due tipi di dispositivi** passivi atti a collegare una linea di trasmissione ad una antenna:

1. **I Choke**, che bloccano le correnti di modo comune...
2. **I Trasformatori / Autotrasformatori**, che servono ad adattare impedenze...

I concetti di **BAL-UN** e di **UN-UN**, (simmetrizzatori) più che a dei dispositivi, si riferiscono a delle **configurazioni**, o meglio a delle **applicazioni dei due tipi di dispositivi suddetti...**