

Il progetto dell'antenna ed i fenomeni atmosferici di natura elettrica.

PARTE SECONDA: i dispositivi di protezione.

Ing. Francesco Zaccarini

I fenomeni atmosferici di natura elettrica ed i loro effetti spesso devastanti non interessano soltanto il settore delle radiocomunicazioni.

Esistono normative e procedure volte sia ad identificare le protezioni da adottare nei confronti di persone, strutture ed impianti, sia ad effettuare una corretta valutazione dei rischi al fine della sicurezza di cose e persone.

Prendendo sempre in esame le antenne ed il loro progetto, presentiamo quindi un breve focus sull'argomento, suddiviso in due parti.

PARTE PRIMA:

Quali sono i fenomeni elettrici di natura atmosferica che possono provocare danni ai sistemi di telecomunicazioni?

PARTE SECONDA:

Quali sono i dispositivi di protezione adottabili, nell'impianto d'antenna e/o nell'antenna stessa?



3. I dispositivi di protezione esterni all'antenna.

Sebbene in questa sede ci si focalizzi soltanto sulle antenne, possiamo dire che il primo dispositivo di protezione dell'antenna è rappresentato dalla struttura sulla quale essa è montata, ovvero dal modo in cui essa è efficacemente protetta da questi eventi atmosferici.

Per quanto riguarda l'antenna vera e propria, una *protezione di tipo esterno* è rappresentata da quei dispositivi che, installati sulla linea di trasmissione in prossimità dell'antenna od in altri punti lungo la linea stessa, eliminano l'accumulo di carica e/o introducono un percorso preferenziale (a bassa induttanza) verso terra.

Tali dispositivi sono:

- Scaricatori (*lightning arrestors*);
- *Stub* in corto circuito od elementi reattivi;
- Resistenze di scarica (*bleeding resistors*).



Figura 3.1

Scaricatore in aria posto alla base di una torre isolata (monopolo).

3.1. Scaricatori (*lightning arrestors*).

Gli scaricatori sono dei dispositivi che utilizzano due elettrodi opportunamente dimensionati, in aria od inseriti in una capsula riempita di gas inerte, che permettono il formarsi di un arco voltaico quando tra i due conduttori la differenza di potenziale eccede un limite prefissato.

Tale dispositivo è sempre installato in un punto dell'antenna non soggetto a tensioni RF elevate, quale ad esempio il punto di alimentazione dove l'impedenza nominale è di solito standardizzata sui 50 Ω.

La **Figura 3.1** mostra un esempio di *scaricatore in aria*, costituito da due sfere metalliche alla base di un traliccio radiante per onda media.

La distanza tra le sfere è la minima che consente di operare normalmente con l'antenna al livello potenza stabilito.

Nel caso di impianti d'antenna a frequenza più elevata si utilizzano degli scaricatori coassiali simili a quello mostrato in **Figura 3.2**, che sfrutta il principio della scarica di gas. Sul mercato sono disponibili diversi modelli, sia con diverse



Figura 3.2

Scaricatore coassiale con connettori N-f, che incorpora un tubo a scarica di gas (modello SSC_N230 Huber & Shuner).

connettorizzazioni sia con pastiglie a scarica di gas sostituibili e caratterizzate da differenti parametri d'intervento.

Rispetto agli scaricatori in aria, quelli facenti uso di pastiglie a scarica di gas (GDT - *Gas Discharge Tube*) hanno parametri elettrici più stabili e sfruttano la ionizzazione del gas all'interno della pastiglia per passare da una condizione di elevata impedenza ad uno stato di conduzione del gas ionizzato, caratterizzato da una resistenza dell'ordine di una quindicina di ohm.

3.2. Stub in corto circuito od elementi reattivi.

Sfruttando le proprietà delle linee di trasmissione od un componente discreto (induttanza), è possibile realizzare un corto circuito per la corrente continua che nello stesso tempo presenti un'elevata impedenza per le correnti RF presenti nella linea di trasmissione connessa all'antenna.

Se una linea di trasmissione di lunghezza x ed impedenza caratteristica Z_0 è connessa ad un carico con impedenza Z_L , l'impedenza d'ingresso Z_{IN} alla linea in corrispondenza della sezione opposta al carico è data da:

$$Z_{IN}(x) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} x\right)}{Z_0 + jZ_L \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} x\right)}$$

dove $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$ è la lunghezza d'onda nella linea. Se al posto del carico c'è un corto circuito ($Z_L=0$), l'equazione precedente diventa:

$$Z_{IN}(x) = jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} x\right)$$

Espressione che diverge ad infinito (in pratica a un valore molto elevato dipendente dalle perdite nella linea) in corrispondenza di:

$$x = \frac{\lambda_g}{4}.$$

Utilizzando quindi un tratto di linea (o *stub*) in corto circuito di questa lunghezza connesso in parallelo al connettore d'antenna (od in un altro punto della linea di discesa opportunamente scelto) è possibile realizzare un dispositivo per collegare a terra l'elemento radiante senza pregiudicarne l'adattamento.

La **Figura 3.3** mostra l'andamento in frequenza del $|S_{11}|$ [dB] (ovvero, a meno del segno, del *return*

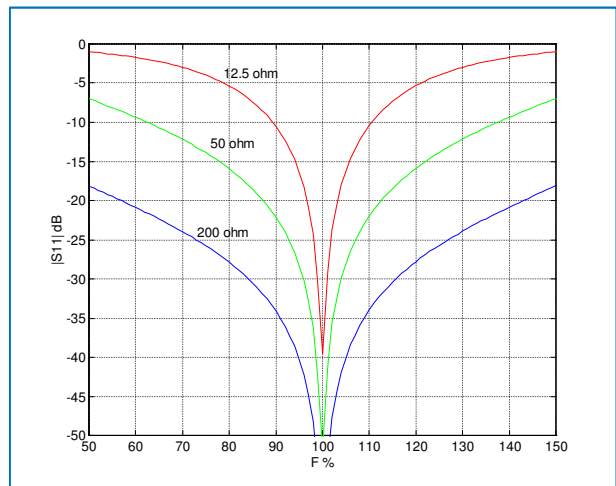


Figura 3.3

$|S_{11}|$ [dB] di un carico $Z_L=50\Omega$ al quale è stato collegato in parallelo uno stub in quarto d'onda, rispettivamente con tre diversi valori di impedenza caratteristica Z_0 .

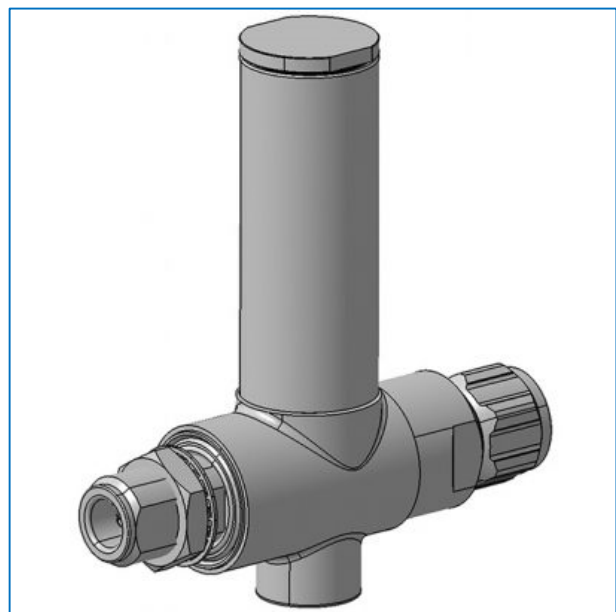


Figura 3.4

Esempio di scaricatore, connettorizzato N-m/N-f, con stub in quarto d'onda in parallelo.

loss) di un carico di valore $Z_L=50\Omega$ al quale è collegato in parallelo uno stub $\lambda/4$ cortocircuitato all'estremità opposta. Le tre curve si riferiscono ai tre diversi valori di impedenza caratteristica della linea con cui è realizzato lo stub: $12.5\Omega (Z_L/4)$, $50\Omega (Z_L)$ e $200\Omega (4\cdot Z_L)$.

Come si evince dalla figura, per ottenere una maggiore larghezza di banda utile è necessario realizzare lo stub con un'impedenza caratteristica maggiore rispetto a quella nominale della linea ed antenna a cui viene collegato, in genere 50Ω . Da un punto di vista pratico però vi sono dei limiti fisici di realizzabilità di una linea coassiale di impedenza troppo elevata, dovendo costruire un conduttore centrale molto sottile. La **Figura 3.4** riporta un esempio di scaricatore coassiale con uno stub $\lambda/4$ in parallelo alla linea, anch'esso connettorizzato N.

Nel caso in cui la realizzazione di uno stub in quarto d'onda risulti poco pratica, ad esempio nelle bande HF o a frequenza inferiore, quest'ultimo può essere sostituito con un induttore di valore opportuno (*RF choke*), posto in parallelo alla linea od al connettore d'ingresso dell'antenna.

Se confrontato con lo stub in corto circuito, un induttore presenta comunque una reattanza elevata non solo per la corrente RF all'antenna ma anche rispetto a qualsiasi transitorio con un andamento rapidamente variabile nel tempo. Per tale motivo viene di solito utilizzato in sostituzione della resistenza di scarica per evitare l'accumulo di carica elettrostatica sui conduttori d'antenna.

3.3. Resistenze di scarica (*bleeding resistors*).

Nel caso in cui non si utilizzi uno stub od un'induttore, l'*electrostatic charge buildup* descritto nel precedente paragrafo viene eliminato inserendo un resistore di valore R molto maggiore rispetto all'impedenza della linea o dell'antenna.

L'insieme di antenna, linea e resistore diventa in questo caso un circuito RC , con il valore di R tale per cui la velocità di scarica sia maggiore del tasso di accumulo della carica elettrostatica sui conduttori d'antenna.

Nei sistemi d'antenna di grandi dimensioni, in genere questo dispositivo viene accoppiato ad uno scaricatore ad arco simile a quello di **Figura 3.1**.

4. I dispositivi di protezione integrati nell'antenna.

Se con un multimetro si misura la resistenza tra i due contatti del connettore d'ingresso di un'antenna di commercio, quasi sempre si legge un valore prossimo a 0Ω . Per la corrente continua quindi ai morsetti d'antenna c'è un vero e proprio corto circuito, e questo permette di proteggere gli apparati radioelettrici ad essa collegati per la maggior parte degli eventi atmosferici sopra descritti.

Rispetto a quanto esposto nel paragrafo 3, i dispositivi che implementano questa protezione e che sono integrati nell'antenna presentano due caratteristiche peculiari, tali da non renderli trasparenti al corretto funzionamento dell'antenna stessa. Per questi dispositivi si può infatti affermare che:

- fanno parte dell'elemento radiante o della rete di ripartizione/adattamento;
- hanno anche altre funzioni, come ad esempio quella di supporto meccanico.

E' possibile quindi distinguere i seguenti casi.

Elemento radiante in corto circuito.

Numerose tipologie di elementi radianti sono fisicamente in corto circuito, essendo questa una caratteristica propria dell'elemento stesso. Inoltre essendo queste antenne ad onda stazionaria, in alcuni casi vi è un punto sul conduttore caratterizzato da una tensione RF nulla che può quindi essere messo direttamente a massa sulla struttura di supporto dell'antenna.

È questo il caso del dipolo ripiegato di **Figura 3.5**, che non solo è intrinsecamente in corto circuito dal momento che consiste in una spira schiacciata con perimetro pari a λ , ma può essere collegato elettricamente a massa nel punto opposto all'alimentazione, dove esiste un nodo di tensione.

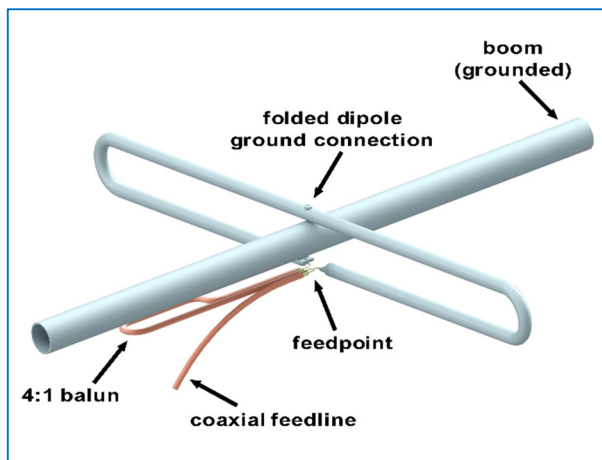


Figura 3.5

Dipolo ripiegato alimentato mediante balun 4:1 in cavo coassiale.

In questo caso il balun 4:1 in cavo coassiale, mostrato in figura, da un punto di vista della protezione alle scariche elettrostatiche non sarebbe affatto necessario.

Un'attenta analisi della distribuzione di corrente (e di tensione RF) su di una determinata struttura radiante, permette in sede di progetto di scegliere dei punti che possono essere opportunamente messi a terra senza interferire con le caratteristiche di radiazione ed adattamento dell'antenna.

Diversamente dal classico dipolo ripiegato che bene o male tutti conoscono, non sempre la distribuzione di tensione su di un radiatore ha un andamento intuitivo, ed è perciò necessario far uso di appropriati software di simulazione elettromagnetica per determinare la corretta collocazione del punto di massa.

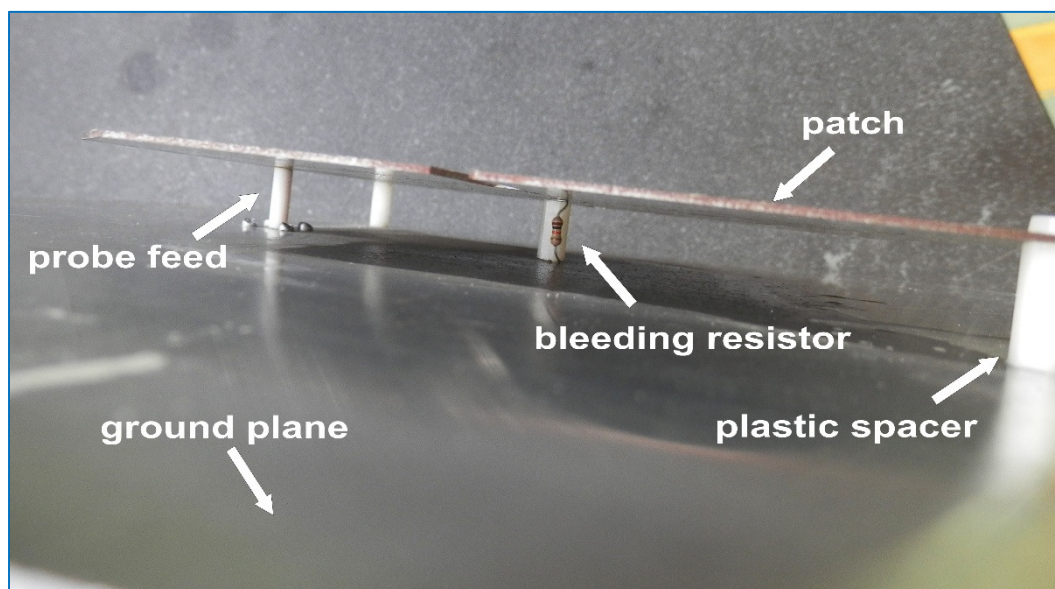


Figura 3.6

Elemento patch per applicazioni RFID in banda 900 MHz (visto di profilo), con resistenza di scarica posta nel centro.

Nell'esempio di **Figura 3.6**, dove si vede di profilo un elemento patch posto su di un piano di massa in alluminio, al centro dell'elemento è posta una resistenza di scarica verso massa, di fianco ad una colonnina isolante.

In questo caso la teoria afferma che il punto centrale del patch è a potenziale RF zero, per cui si potrebbe eliminare la resistenza e porre direttamente una colonnina metallica di corto circuito.

Da un punto di vista operativo però, siccome si tratta di un patch asimmetrico, ovvero progettato per la polarizzazione circolare, è comunque necessario verificare che un'eventuale corto circuito al centro non modifichi apprezzabilmente le caratteristiche di polarizzazione dell'antenna.

Elemento radiante con balun in corto circuito.

Spesso nell'antenna e/o negli elementi radianti che la compongono vi sono degli elementi circuitali che implementano un corto circuito per la corrente continua e che, allo stesso tempo, hanno anche una funzione diversa, necessaria al funzionamento dell'antenna.

Un esempio banale è l'array logaritmico nella **Figura 3.7**, dove la linea bifilare di alimentazione e supporto meccanico dei semi elementi dell'antenna termina, dal lato dell'elemento più lungo, con uno stub, con il corto circuito posto in corrispondenza della staffa di montaggio a palo dell'antenna.

Da un punto di vista elettromagnetico la lunghezza di questo stub, che agisce anche da balun, è fondamentale per ottimizzare la curva di guadagno e le eventuali risonanze del boom nella banda operativa. Inoltre rappresenta un ottimo esempio di messa a terra di tutti gli elementi dell'array mediante un collegamento a bassa impedenza.

La **Figura 3.8** mostra infine un altro esempio, ovvero un elemento radiante (dipolo semplice) che viene montato in un pannello, ad una determinata distanza da un riflettore metallico.

In questo elemento lo stub in corto circuito, che implementa anche il balun, funge da supporto meccanico del dipolo stesso sul riflettore metallico, dove è fissato mediante rivetti.

Da un punto di vista circuitale, in questo esempio lo stub ha una lunghezza inferiore a $\lambda/4$ e quindi

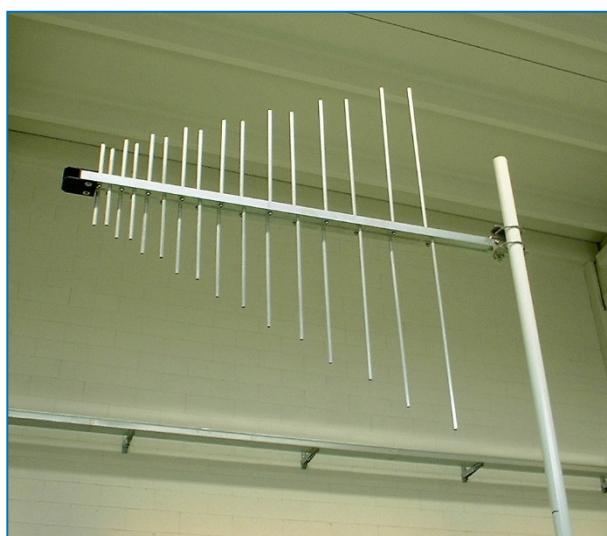


Figura 3.7

Antenna logaritmica con il boom a massa in corrispondenza del palo di supporto.



Figura 3.8

Dipolo di un pannello settoriale a 2.4 GHz con supporto meccanico che funge anche da balun.

produce una reattanza induttiva in parallelo al punto di alimentazione del dipolo (in cavo coassiale). Tale reattanza induttiva viene compensata con una capacità in parallelo, ottenuta mediante la metallizzazione di una piastrina di PCB posta sopra al dipolo stesso, la quale funge anche da distanziale.

Questa configurazione permette sia di regolare la distanza tra dipolo e piano riflettore per ottenere le caratteristiche di radiazione desiderate, sia consente una compensazione in banda delle componenti reattive del dipolo stesso, migliorando notevolmente l'adattamento.

Anche in questo caso quindi il dispositivo di corto circuito è parte integrante dell'antenna.

Stub di cortocircuito (od RF choke) integrati nell'antenna.

Vi sono alcuni casi in cui l'antenna o gli elementi radianti utilizzati per la schiera non sono stati pensati per essere già in corto circuito, quindi è necessario inserire nell'antenna dei componenti distribuiti (*stub in $\lambda/4$*) o discreti (*RF choke*).

Nel caso di stub $\lambda/4$ in corto circuito, in genere si tiene conto di una delle sue proprietà fondamentali, consistente nel fatto che, se tagliato per la frequenza f_0 di centro banda, esso introduce una reattanza di tipo induttivo per $f < f_0$ e viceversa una reattanza capacitiva per $f > f_0$.

Ne segue che, in funzione della curva di impedenza che l'antenna presenta, grazie a questo sistema si può introdurre una compensazione in banda delle componenti reattive dell'elemento stesso.

In questo caso però non è possibile giocare sull'impedenza caratteristica dello stub (tanto più bassa è maggiore sarà la compensazione in banda), dal momento che in genere si utilizza del cavo coassiale standard od al più, per evidenti limiti realizzativi, una microstriscia da $25 \div 75 \Omega$.

Un esempio è quello di **Figura 3.9**, dove uno stub in cavo coassiale è saldato in parallelo al punto di alimentazione di un elemento radiante su PCB.

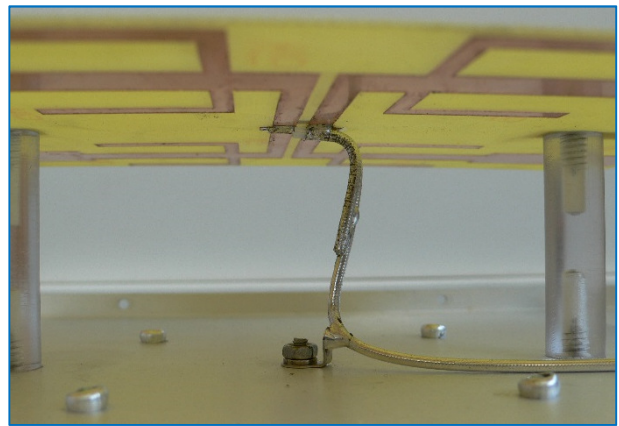


Figura 3.9

Stub in cavo coassiale saldato in parallelo al punto di alimentazione di un elemento radiante a circuito stampato.

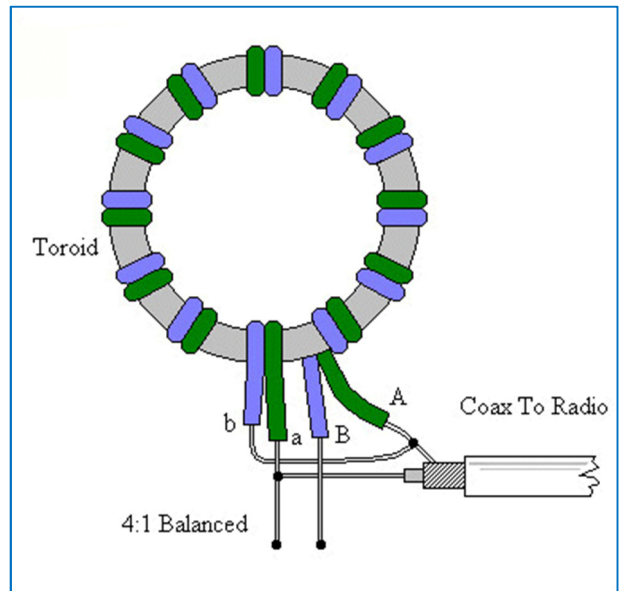


Figura 3.10

Esempio di balun 4:1 che realizza una trasformazione di impedenza tra la porta bilanciata (200Ω) e quella sbilanciata (50Ω del cavo coassiale), e nello stesso tempo cortocircuita la linea per la corrente continua.

Balun e trasformatori di impedenza a costanti concentrate.

Come già accennato, le antenne utilizzate su frequenze più basse delle VHF sono generalmente costituite da conduttori filiformi, isolati rispetto al

suolo e di dimensioni tali da poter essere caricati a differenze di potenziale ragguardevoli.

In questi casi, nel punto di alimentazione si fa uso di un *balun* a trasformatore, realizzato mediante un doppio avvolgimento su di un nucleo in materiale ferromagnetico, di solito di forma toroidale.

Questi dispositivi, che generalmente implementano sia una funzione di simmetrizzazione delle correnti d'antenna che di trasformazione d'impedenza tra l'elemento radiante e la linea di alimentazione, possono essere realizzati con uno schema che mette in corto circuito i due conduttori del cavo coassiale ad esso collegato.

Un esempio di balun 4:1 è rappresentato in **Figura 3.10**.

In accordo con questo schema, due conduttori della linea coassiale vengono messi in corto circuito attraverso un'induttanza avvolta su di un nucleo toroidale.

Questo dispositivo quindi, oltre ad essere necessario al funzionamento dell'antenna, implementa una protezione dalle scariche elettrostatiche e risulta efficace per evitare l'*electrostatic charge buildup*.

Per quanto riguarda la protezione dai transitori (*LEMP*), l'induttanza dell'avvolgimento può presentare comunque un'alta impedenza e quindi una protezione aggiuntiva costituita da uno scaricatore coassiale è consigliabile.

Infine nella **Figura 3.11** viene mostrato un esempio di realizzazione pratica di un trasformatore di questo tipo, avvolto su un nucleo toroidale: in questo caso si tratta di un *unun* (con ingressi ed uscita entrambi sbilanciati) progettato per accoppiare due antenne nella banda di frequenza da 3 a 30 MHz.

Sebbene in questo ultimo caso si tratti di un dispositivo applicato esternamente alle singole antenne che deve alimentare, esso diventa parte integrante dell'array di due elementi radianti che in questo modo si viene a realizzare.

5. Conclusioni.

Dopo aver passato in rassegna, nella *prima parte* dell'articolo, i vari tipi di eventi atmosferici potenzialmente pericolosi per gli impianti di telecomunicazioni, in questa *seconda parte* sono stati presi in esame i principali dispositivi di protezione che possono essere sia installati in prossimità delle antenne sia integrati in esse.

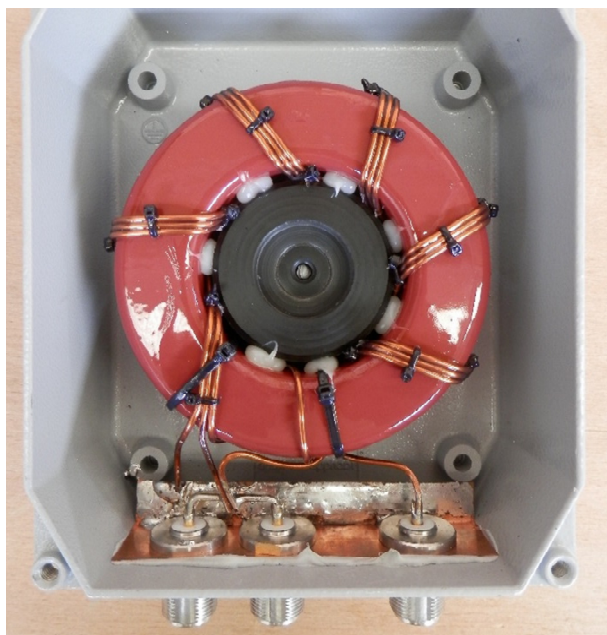


Figura 3.11

Esempio di unun 2:1 che realizza una trasformazione di impedenza tra due porte sbilanciate da $25\ \Omega$ a $50\ \Omega$.

A meno che non si faccia riferimento ad antenne di enormi dimensioni, già realizzate per gestire in ingresso livelli di potenza considerevoli (ad esempio nel *broadcasting* in onde corte e medie), i dispositivi di protezione integrati nelle antenne non forniscono una protezione certa da eventi di fulminazione diretta, che scaricano forti correnti verso terra con esiti distruttivi.

Nel progetto di un'antenna *custom*, qualora richiesto, viene integrato un dispositivo di protezione che neutralizzi l'accumulo di cariche elettrostatiche e metta a terra gli elementi radianti senza compromettere le caratteristiche elettriche dell'antenna stessa.

Tali dispositivi si rivelano sufficienti per la maggior parte delle applicazioni, specie nel caso in cui vengano adottati unitamente ad altri sistemi di protezione della struttura sulla quale l'antenna è montata, cosicché quest'ultima non diventi il percorso preferenziale della corrente di fulminazione.

Nel caso in cui gli elementi radianti di un'antenna non siano fisicamente a massa, è importante valutare caso per caso l'opportunità di predisporre un cortocircuito per la corrente continua integrato nell'antenna stessa. Vi possono essere infatti alcune applicazioni particolari che devono necessariamente avere o non avere l'antenna "in corto".

A tal proposito si considerino i due esempi reali che seguono.

- *Antenna in corto circuito per la corrente continua.*

Necessario nel caso di applicazioni in particolari ambienti operativi, soggetti a scariche elettriche che non necessariamente possono essere attribuibili ad eventi atmosferici, come un'antenna TETRA per applicazioni ferroviarie, che deve essere installata sul tetto di un vagone o locomotore ferroviario in prossimità del pantografo che prende la corrente dalla linea elettrica soprastante.

- *Antenna in circuito aperto per la corrente continua.*

Antenna connessa ad uno stadio amplificatore/preamplificatore la cui porta d'uscita non è disaccoppiata dall'alimentazione mediante un condensatore serie. Ciò può essere essenzialmente dovuto a tre motivi:

- necessità di inserire un'alimentazione *phantom* nel cavo d'antenna con conseguente rischio di corto circuito;
- particolare scelta, diciamo pure poco ortodossa, di progetto dell'apparato;
- presenza di altre parti, estese e fisicamente a massa, nell'antenna che non rendono necessario inserire un corto circuito nella linea di alimentazione, non direttamente connessa all'elemento radiante.

Questi ultimi casi meriterebbero un approfondimento maggiore, dato che l'argomento sconfinava nei criteri di progetto di un'antenna in funzione della sua particolare applicazione.

In questa sede ci si limiterà a dire che anche questo aspetto può essere rilevante e meritevole di una approfondita disamina nel momento in cui ci si accinge a sviluppare un'antenna *su misura*.

Se hai bisogno di un supporto tecnico specializzato per la scelta, misura o progettazione della tua nuova antenna, scrivi a:

info@elettromagneticservices.com

*oppure telefona al **338 16.66.122***

Grazie per il tempo che hai dedicato alla lettura di questo articolo. Se vuoi leggerne altri, trovi l'elenco completo qui:

<https://www.elettromagneticservices.com/news>

***Elettro** **Services**
SRL*
Trasmetti la tua eccellenza!