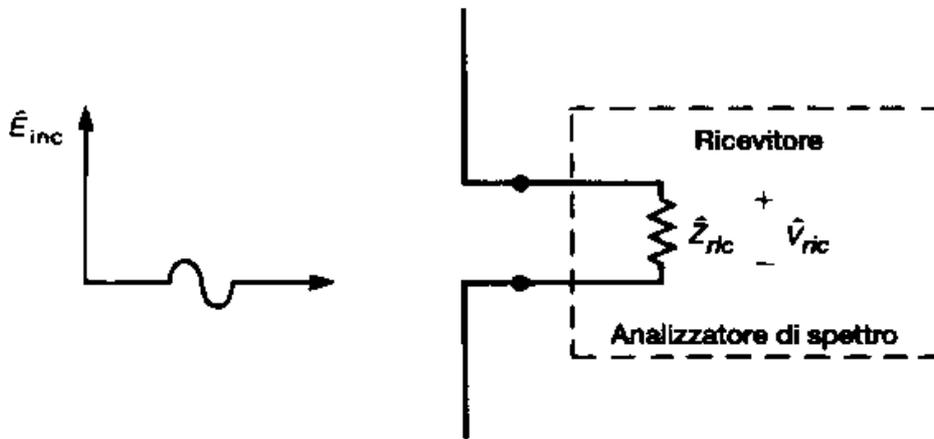


# Appunti di Compatibilità Elettromagnetica

## FATTORE D'ANTENNA

Quando si considerano applicazioni nel campo della compatibilità elettromagnetica e simili, il parametro più usato, per caratterizzare una antenna in ricezione, è il cosiddetto *fattore d'antenna*.

Consideriamo una **antenna a dipolo** usata per misurare il campo elettrico di un'onda incidente che sia piana, uniforme e polarizzata linearmente, come schematizzato nella figura seguente:



Immaginiamo inoltre che un **ricevitore**, ad esempio un analizzatore di spettro, sia collegato ai capi di questa antenna di misura. La tensione misurata da tale strumento (visualizzata sull'apposito schermo o display) è indicata con  $\underline{V}_{ric}$  (sottolineiamo che si tratta di un fasore, dotato perciò di modulo e fase).

Vogliamo mettere in relazione la tensione misurata dallo strumento con il campo elettrico incidente sull'antenna ed è possibile far ciò tramite il **fattore d'antenna**, definito proprio come *il rapporto tra il modulo del campo elettrico incidente sulla superficie dell'antenna di misura e il modulo della tensione misurata ai morsetti dell'antenna stessa*:

$$AF = \frac{\text{V/m dell'onda incidente}}{\text{V ricevuti}} = \frac{|\underline{E}_{inc}|}{|\underline{V}_{ric}|} \left[ \frac{1}{\text{m}} \right]$$

Come si vede, si tratta di una grandezza che si misura in **metri<sup>-1</sup>**. Talvolta si ragiona anche in dB, scrivendo perciò che

$$AF_{dB} = |E_{inc}|_{dB\mu V/m} - |V_{ric}|_{dB\mu V}$$

Il genere, *il fattore d'antenna viene fornito direttamente dal costruttore, mediante misure effettuate a diverse frequenze all'interno dell'intervallo di misura*. I dati vengono talvolta forniti mediante

tabella (in cui si riporta AF in corrispondenza delle varie frequenze) o direttamente in forma grafica (tramite diagrammi cartesiani con AF in ordinate e le frequenze di misura in ascisse).

Il reciproco del fattore di antenna, che si misura evidentemente in metri, prende il nome di **altezza efficace dell'antenna**:

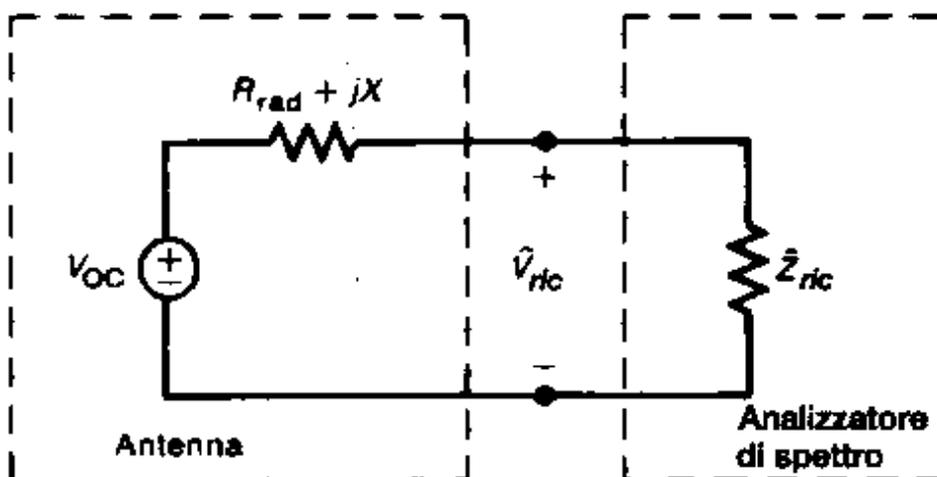
$$h_e = \frac{1}{AF} = \frac{V \text{ ricevuti}}{V/m \text{ dell'onda incidente}} = \frac{|V_{ric}|}{|E_{inc}|} \quad [m]$$

E' necessario sottolineare, a questo punto, che la misura del fattore d'antenna fa riferimento ad una serie di importanti ipotesi; se una o più di queste ipotesi non fosse verificata nel momento in cui l'antenna viene effettivamente usata per compiere una misura, allora i dati rilevati con tale misura sarebbero errati.

Le due ipotesi più importanti sono le seguenti:

- il campo incidente deve essere polarizzato in modo da ottenere il massimo segnale ai morsetti dell'antenna: ad esempio, nel caso di un dipolo o, più in generale, di una *antenna a filo*, questa ipotesi è verificata quando il campo incidente risulta parallelo all'asse dell'antenna, come nell'ultima figura; inoltre, questa ipotesi è in pieno accordo con gli obiettivi della misura: sappiamo infatti che le antenne vengono usate per misurare i massimi di valori di campo, al fine di stabilire se tali valori rientrano o meno nei limiti imposti dalle norme sulle emissioni radiate;
- l'impedenza di ingresso del ricevitore usato per la misura vera e propria deve essere uguale a quella del ricevitore usato per la taratura. Il valore tipico è di **50 Ω**, pari all'impedenza di ingresso della maggior parte degli analizzatori di ingresso. Ad ogni modo, non ci si affida a semplici convezioni: è il costruttore stesso a dire esplicitamente il valore dell'impedenza di ingresso usata in fase di **calibrazione** dell'antenna. E' importante notare che non è necessario che ci sia adattamento tra ricevitore ed antenna, cosa che infatti non avviene quasi mai: è solo importante che l'impedenza di carico dell'antenna sia la stessa durante la misura e durante la taratura.

Adesso supponiamo di voler calcolare il fattore d'antenna di una antenna ideale (ad esempio un dipolo), ipotizzando di conoscere le equazioni del campo e ogni tipo di parametro caratteristico dell'antenna. Dato che l'impedenza di ingresso del ricevitore è **Z<sub>ric</sub>=50Ω**, è chiaro che non c'è alcun adattamento tra antenna e ricevitore. Di conseguenza, per andare a calcolare la tensione misurata dallo strumento dobbiamo necessariamente rifarci al seguente circuito equivalente:



Rispetto alla figura precedente, abbiamo in pratica disegnato il **circuito equivalente di misura**: infatti, lasciando inalterata l'impedenza di ingresso del ricevitore e indicando ancora con  $V_{ric}$  la tensione misurata ai suoi morsetti, abbiamo considerato il circuito equivalente dell'antenna, rappresentato dalla tensione a vuoto  $V_{OC}$  e dall'impedenza dell'antenna stessa, costituita dalla resistenza di radiazione  $R_{rad}$  (che caratterizza l'antenna in trasmissione) e da una parte reattiva  $X$ .

Il circuito mette in evidenza la mancanza di adattamento: infatti, l'impedenza di carico è  $Z_{ric}=50+j0$ , per cui, anche nell'ipotesi che  $R_{rad}=50\Omega$ , le due parti immaginarie non sono assolutamente uguali e di segno opposto.

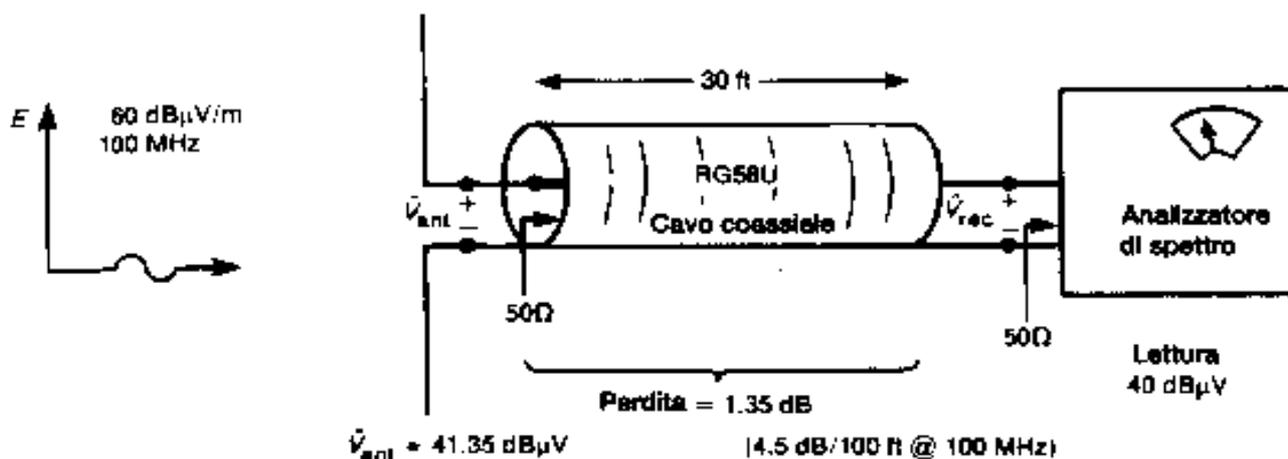
Per calcolare  $V_{ric}$  tramite il circuito di poco fa, l'unico parametro che non conosciamo è la  $V_{OC}$ , che quindi va determinata. Lo possiamo fare nel modo seguente (peraltro noto):

- in primo luogo, calcoliamo  $V_{ric,adattato}$ , ossia la tensione ai capi dello strumento nell'ipotesi di carico adattato, ossia nell'ipotesi che  $Z_{ric}=R_{rad}-jX$ ;
- in secondo luogo, si utilizza questo risultato per calcolare la tensione a vuoto, che sarà  $V_{OC}=2 V_{ric,adattato}$ .

A questo punto, tutti gli elementi del circuito equivalente prima disegnato sono noti, per cui si può calcolare la tensione effettivamente ricevuta tramite un banale partitore di tensione. Fatto questo, avendo supposto noto il campo elettrico incidente, si può calcolare il fattore di antenna.

## Esempio

Facciamo adesso un esempio concreto di calcolo del fattore di antenna, a partire da un certo numero di dati noti. Consideriamo perciò la taratura dell'antenna mostrata nella figura seguente:



Un'onda piana uniforme polarizzata linearmente incide sull'antenna ed il campo elettrico misurato in corrispondenza dell'antenna ed in assenza di quest'ultima vale  $60 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ .

Un cavo coassiale **RG-58U**, lungo  $30 \text{ ft}$ , collega l'antenna ad un analizzatore di spettro con impedenza di ingresso di  $50 \Omega$ . In questa situazione, l'analizzatore di spettro misura una tensione di  $40 \text{ dB}\mu\text{V}$ .

Sulla base di questi dati, per determinare il fattore di antenna dobbiamo conoscere, in base alla definizione, sia l'entità del campo elettrico incidente sia la tensione ai morsetti dell'antenna. Dato che conosciamo la tensione ai morsetti dell'analizzatore di spettro, dobbiamo allora trovare una relazione tra la lettura dell'analizzatore di spettro e la tensione ai morsetti dell'antenna. Questa relazione è data evidentemente dall'**attenuazione** introdotta dal cavo: alla frequenza dell'onda

incidente (supposta di **100 MHz**) le perdite nel cavo coassiale considerato risultano essere di **4.5 dB/100 ft**. Essendo il cavo lungo 30 ft, l'attenuazione da esso introdotta è circa 1/3 (=30ft/100ft) di questo valore, per cui vale **1.35 dB**.

Allora, sommando questa attenuazione con la lettura dell'analizzatore di spettro, otteniamo la tensione ai capi dell'antenna (ovviamente in dB), che quindi è

$$(V_{ant})_{dB\mu V} = (V_{ric})_{dB\mu V} + (perdite)_{dB\mu V} = 40dB\mu V + 1.35dB = 41.35dB\mu V$$

L'ulteriore passaggio è quello di rapportare questo valore con quello del campo misurato in corrispondenza dell'antenna: dovendo fare un rapporto tra il valore del campo e quello della tensione misurata, in dB avremo la differenza tra i due, per cui abbiamo che il fattore di antenna in dB è

$$AF_{dB} = (E_{inc})_{dB\mu V/m} - (V_{ant})_{dB\mu V} = 60dB\mu V/m - 41.35dB\mu V = 18.65dB$$

Questi passaggi suggeriscono evidentemente una formula generale per convertire le letture (in dB $\mu$ V) compiute sull'analizzatore di spettro direttamente in valori del campo incidente (in dB $\mu$ V/m): è evidente, infatti, che, mettendo insieme le ultime due relazioni, si abbia

$$\boxed{(E_{inc})_{dB\mu V/m} = AF_{dB} + (V_{analizz})_{dB\mu V} + (perdite)_{dB\mu V}}$$

E' importante notare che le perdite dovute al cavo di interconnessione devono essere sommate e non sottratte, dato che il fattore di antenna è riferito ai morsetti dell'antenna e non include alcuna perdita dovuta ai cavi di collegamento (a meno che il costruttore non indichi esplicitamente il contrario).

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**  
e-mail: [sandry@iol.it](mailto:sandry@iol.it)  
sito personale: <http://users.iol.it/sandry>  
succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>