

Antenne

OMNIDIREZIONALI:

DIMENSIONI MECCANICHE

E

GUADAGNO

Ing. Francesco Zaccarini



Dopo aver accennato alle principali specifiche elettriche di un'antenna normalmente presenti nelle schede tecniche di prodotto rilasciate dal costruttore, si ritiene cosa utile addentrarsi più nello specifico trattando di una particolare questione:

come è possibile stimare, per un'antenna omnidirezionale, il suo reale guadagno in base alle sue dimensioni meccaniche?

Ecco qualche spunto su cui riflettere per potersi tutelare da antenne un po' troppo "corte" rispetto ai valori di guadagno dichiarati.

1. Antenne omnidirezionali semplici.

In generale, un'antenna si definisce *omnidirezionale* quando irradia in modo uniforme in tutte le direzioni nel piano orizzontale. In questo caso il corrispondente diagramma di radiazione risulta pressoché costante al variare dell'angolo ϕ (azimut), ovvero lo scarto tra le due direzioni di massimo e di minimo è inferiore a 3 dB (tipicamente minore di 1 dB).

Nella maggioranza delle antenne omnidirezionali si impiegano degli elementi radianti caratterizzati da una simmetria rotazionale attorno all'asse verticale (asse z). Inoltre tali strutture vengono alimentate in modo da garantire una distribuzione di corrente il più possibile uniforme in ogni sezione dell'elemento perpendicolare all'asse z .

Ciò può non risultare così semplice da implementare, come si può intuire dalla **Figura 1**, che mostra un dipolo coassiale ad onda intera operante a 5.6 GHz.

Nel caso in cui la sezione trasversale del conduttore sia molto più piccola della sua lunghezza, quest'ultimo può essere considerato un'**antenna filiforme** e come tale descritto da un punto di vista elettromagnetico, ovvero considerando una corrente $I=I(z)$, funzione della sola coordinata assiale z , che lo percorre in regime stazionario e ne causa la radiazione.

Nelle **antenne omnidirezionali semplici**, ovvero costituite da un singolo elemento radiante, la distribuzione di corrente si mantiene in fase su tutta la lunghezza del conduttore stesso, che quindi assume dimensioni comprese tra 0.5λ e 1λ .

Per queste due lunghezze risonanti i valori di guadagno teorici sono noti in letteratura, essendo rispettivamente:

$$G_{\frac{\lambda}{2}} = 1.64 \Rightarrow 2.15 \text{ dBi} \quad [1]$$

$$G_{\lambda} = 2.41 \Rightarrow 3.82 \text{ dBi} \quad [2]$$

Quindi, nel caso di un'antenna semplice, con dimensioni massime pari ad una lunghezza d'onda λ , i valori di guadagno reali sono facilmente stimabili.

2. Antenne omnidirezionali collineari.

Per ottenere guadagno maggiore, le antenne omnidirezionali vengono costruite sovrapponendo degli elementi radianti semplici (tipicamente dipoli in $\lambda/2$ o λ) in modo da formare una *schiera* (o *array*) monodimensionale, ovvero un'antenna composita la cui dimensione totale può estendersi anche per più lunghezze d'onda. Si parla quindi di **omnidirezionali di tipo collineare**, costituite da un numero N di sorgenti elementari, di solito dei dipoli, alimentate in fase (**Figura 2**).



Figura 1
Dipolo coassiale ad onda intera.

L'aumento di guadagno si ottiene restringendo il diagramma di radiazione, ovvero il lobo principale, nel piano verticale. In questo stesso piano il diagramma di radiazione dell'antenna composta $f(\theta)$ è perciò dato dal prodotto del diagramma di radiazione del singolo dipolo $f_{el}(\theta)$ moltiplicato per il cosiddetto *fattore di gruppo* (o di array) $f_g(\theta)$:

$$f(\theta) = f_{el}(\theta) \cdot f_g(\theta) \quad [3]$$

In questa sede è sufficiente dire che nelle antenne collineari alimentate uniformemente ed in fase, il fattore di gruppo dipende esclusivamente dalla mutua posizione dei singoli dipoli, ovvero dalla loro spaziatura S , nonché naturalmente dal loro numero N . Inoltre $f_g(\theta)$ pone un vincolo sul massimo valore di S , che risulta essere compreso tra 0.5λ e λ : infatti, essendo il fattore di gruppo una funzione periodica, per valori di spaziatura maggiori di λ si ha un rapido aumento dei lobi laterali (e conseguente diminuzione del guadagno dell'array) dovuto alla sempre maggior influenza dei cosiddetti *lobi di grigliatura* (*grating lobes*).

3. Massimo guadagno ottenibile.

Senza addentrarci nella teoria degli array, seguiamo un approccio più semplice con lo scopo di stimare il guadagno teorico di una schiera di N dipoli con spaziatura S come quella rappresentata in [Figura 2](#).

Le dimensioni della schiera L_a sono date da:

$$L_a = (N - 1) \cdot S + L_{el} \quad [4]$$

mentre il guadagno G è dato dalla relazione:

$$G = G_{el} + 10 \cdot \log_{10} N \quad [5]$$

nella quale però si suppone che i singoli dipoli siano totalmente disaccoppiati tra loro, quindi la distanza S tra i dipoli dev'essere sufficientemente grande da poter applicare la [5].

Una stima del valore minimo di S può essere presto condotta considerando una schiera di due dipoli a mezz'onda ($L_{el}=\lambda/2$): per tale schiera ($N=2$), la [5] fornisce un guadagno massimo teorico pari a 5.16 dBi che, guarda caso, è un valore di guadagno riportato in molti datasheet di antenne omnidirezionali nelle bande VHF ed UHF.

Utilizzando il metodo più semplice, ovvero mediante un software di calcolo elettromagnetico, il valore teorico di guadagno dell'antenna collineare di due dipoli $\lambda/2$ viene calcolato in funzione di S , che varia tra 0.5λ e 1.5λ . I risultati sono riportati nella [Figura 3](#).

Da questa figura si evince che il massimo valore di guadagno, dato dalla [5], si ottiene per spaziature dell'ordine di $0.9\lambda \div 1\lambda$ anche se nella pratica si utilizzano valori di S inferiori.

Come dato di riferimento, con $S \approx 0.75\lambda$ si raggiunge un valore teorico di guadagno entro 0.5 dB dal valore massimo ottenibile. Di conseguenza, affinché la [5] sia valida entro una tolleranza di circa 0.5 dB, l'intervallo di spaziatura S dei singoli dipoli della schiera deve essere compreso tra

$$0.75\lambda \leq S \leq \lambda \quad [6]$$

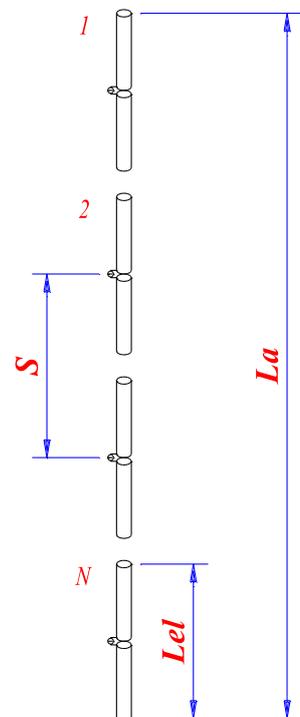


Figura 2
Schiera di N dipoli.

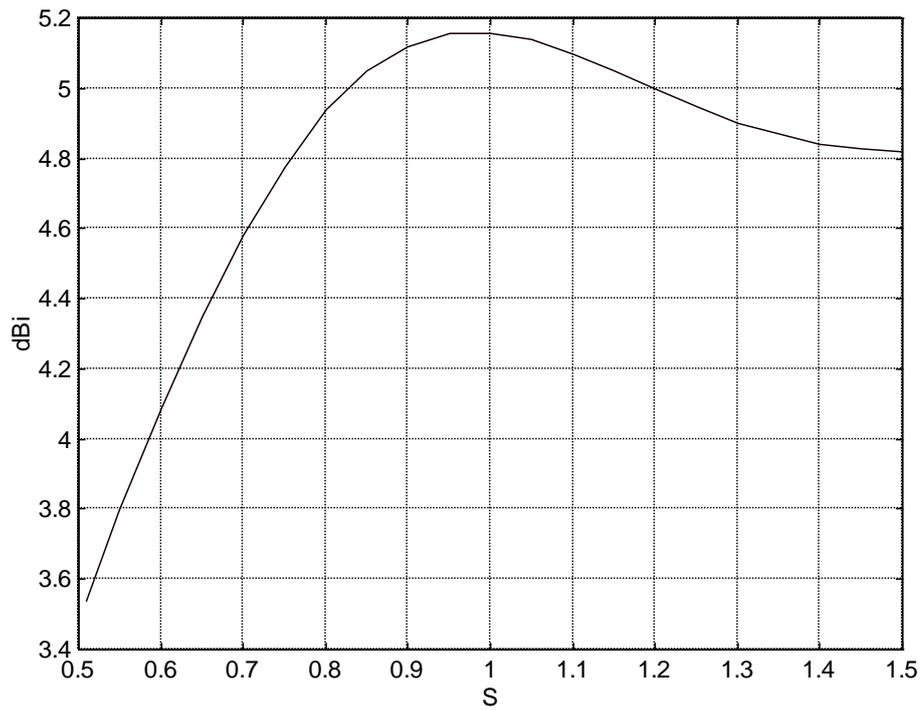


Figura 3

Guadagno di una schiera di due dipoli $\lambda/2$ in funzione della loro spaziatura S/λ .

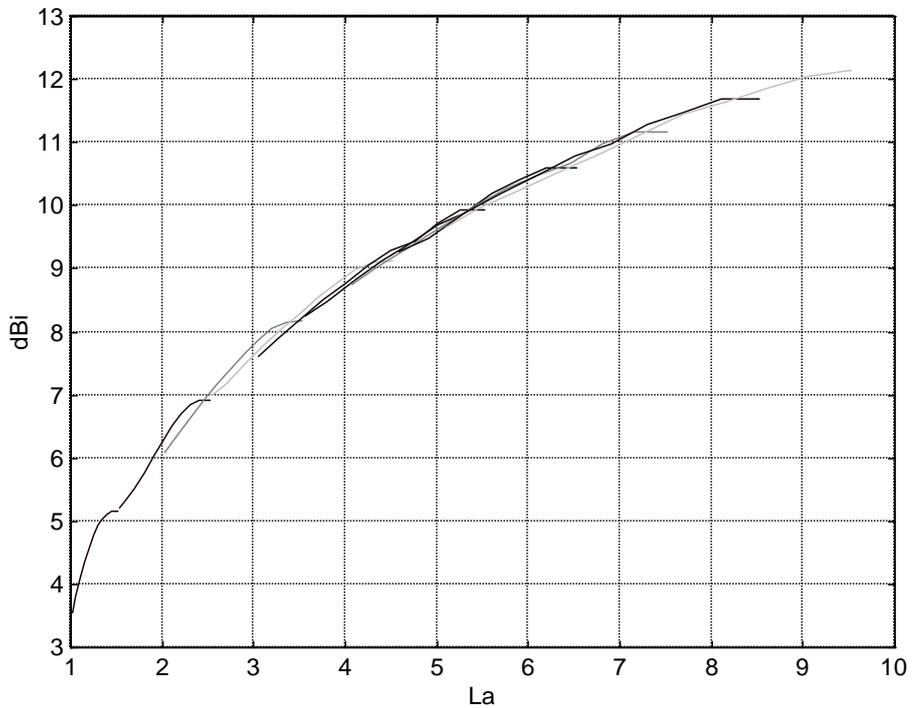


Figura 4

Guadagno di una schiera di N dipoli $\lambda/2$ rispetto alla lunghezza totale dell'array L_a/λ , a sua volta dipendente dalla spaziatura S compresa tra 0.5λ e λ , per i diversi valori di N compresi tra 2 e 10: $N=2$, $N=3$, $N=4$, $N=5$, $N=6$, $N=7$, $N=8$, $N=9$, $N=10$.

Supponiamo ora di ripetere lo stesso calcolo della [Figura 3](#) per antenne collineari di dimensioni maggiori, ovvero con valori di N compresi tra 2 e 10. Si considerino solo valori di spaziatura utilizzabili nella pratica ($0.5\lambda < S \leq \lambda$) e, anziché riportare nel grafico il valore di S , si ponga in ascissa la lunghezza totale dell'array L_a , espresso in lunghezze d'onda λ .

Dalla figura appare chiaro che, per un dato valore di N , il corrispondente guadagno dell'antenna collineare aumenta con l'aumentare della spaziatura S dal valore minimo ($\approx 0.5\lambda$) al corrispondente valore massimo (λ). Le varie curve, con l'aumentare di N , si sovrappongono parzialmente in modo sempre più marcato. Si è così trovata, in modo empirico, una importante proprietà della schiera che possiamo riassumere come segue.

Il massimo guadagno ottenibile da un'antenna collineare non dipende dal numero di elementi radianti utilizzati (ad esempio dipoli a mezz'onda), ma dalla lunghezza totale dell'array L_a . Naturalmente tale principio è valido a patto che la spaziatura S dei singoli dipoli non sia maggiore di λ .

4. Il metodo per la stima del guadagno.

La [Figura 4](#) rappresenta già un riferimento per il calcolo del massimo guadagno ottenibile da un'antenna collineare di lunghezza L_a .

Una buona approssimazione delle curve riportate nella [Figura 4](#) è data dalla seguente equazione, ricavata dalle [4] e [5] ponendo: $L_a\lambda = L_a/\lambda$ e $S\lambda = S/\lambda = 1$:

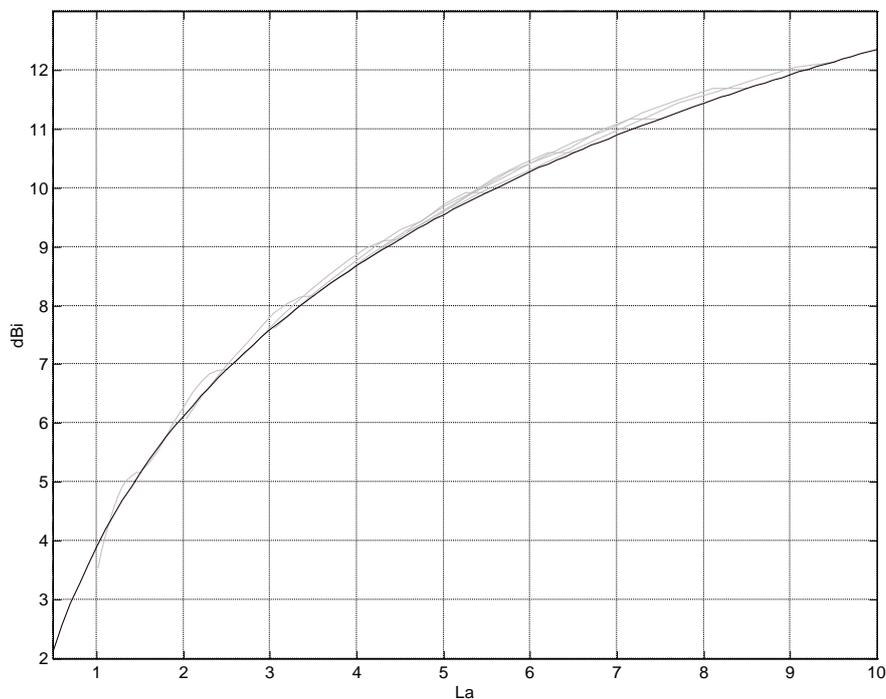


Figura 5

Andamento del guadagno di un'antenna collineare rispetto alla sua lunghezza L_a , qui normalizzata rispetto a λ . In rosso l'equazione [7], in verde i risultati delle simulazioni già riportati nella [Figura 4](#).

$$G = 2.15 + 10 \cdot \log_{10}(L_{a\lambda} + 0.5) \quad [\text{dBi}] \quad [7]$$

Mediante la [7], peraltro di facile utilizzo, è possibile eseguire una stima agevole del guadagno di un'antenna collineare omnidirezionale, riuscendo così a stabilire la correttezza di una specifica.

La *Figura 5* riporta in forma grafica la suddetta equazione, indicando i valori di guadagno G (in dBi) rispetto alla dimensione della parte radiante normalizzata $L_{a\lambda}$.

Per chiarezza, nella stessa figura sono stati aggiunti (in colore verde) i risultati delle simulazioni già mostrate in *Figura 4*.

Supponiamo ora di applicare questo ragionamento a dei casi reali, nei quali si renda necessario fare una valutazione preliminare circa la attendibilità della specifica di guadagno rispetto alla lunghezza dell'antenna, entrambi valori riportati nei datasheet.

Con una breve ricerca in internet è stato facile imbattersi in tre schede tecniche di antenne omnidirezionali, molto significative per gli esempi che seguono.

• Esempio 1.

Nella scheda tecnica di un'antenna omnidirezionale di marca XXXX si trova riportato: banda 165÷174 MHz, guadagno 7.4 dBi, lunghezza totale 228 in (pari a 5.791 m).

Prendiamo a riferimento la frequenza di centro banda $f_0=169.5$ MHz, alla quale corrisponde una lunghezza d'onda pari a:

$$\lambda = \frac{300}{169.5 \text{ MHz}} \cong 1.770 \quad [\text{m}] \quad [8]$$

Se si tiene conto della porzione alla base antenna occupata dalla staffa di fissaggio a palo, che presumibilmente non irradia, si ha una lunghezza L_a pari a circa 5.2 m. Questo dato lo si può desumere direttamente dal disegno meccanico oppure dalla fotografia del prodotto, mediante una semplice proporzione. Siccome tali dati sono stati ricavati da un datasheet reale, preso come esempio, per ovvi motivi non si riporta nessuna immagine dell'antenna.

Applicando l'equazione [7] con:

$$L_{a\lambda} = \frac{5.2 \text{ m}}{1.770 \text{ m}} \cong 2.94 \quad [9]$$

Si ottiene un valore stimato di guadagno G pari a 7.51 dBi, che in questo caso possiamo dire essere coerente con quanto dichiarato dal costruttore, ovvero 7.4 dBi.

• Esempio 2.

Dalla scheda tecnica di un'antenna omnidirezionale costruita dall'azienda YYYY si ricava: banda 430÷440 MHz, guadagno 11.5 dBi, lunghezza totale 5.15 m.

In questo caso la frequenza di centro banda è $f_0=435$ MHz, alla quale corrisponde perciò una lunghezza d'onda pari a:

$$\lambda = \frac{300}{435 \text{ MHz}} \cong 0.69 \quad [\text{m}] \quad [10]$$

Dal momento che l'antenna presenta dei radiali alla base, consideriamo come lunghezza L_a l'intera quota dichiarata dal costruttore, ovvero 5.15 m.

Anche in questo caso non ci è possibile fornire un'immagine del prodotto.

Sempre dall'equazione [7] con:

$$L_{a\lambda} = \frac{5.15 \text{ m}}{0.69 \text{ m}} \cong 7.46 \quad [11]$$

Si ottiene un valore stimato di guadagno G pari a circa 11.1 dBi, che in questo caso possiamo dire essere un po' meno coerente con quanto dichiarato dal costruttore, dato che il valore di 11.5 dBi è comunque superiore a quanto trovato. Su questo punto si tornerà nel paragrafo seguente.

- **Esempio 3.**

Nella scheda tecnica di un'antenna omnidirezionale, prodotta da ZZZZ, si legge: banda 163÷173 MHz, guadagno 5 dBi, lunghezza totale 1.550 m, diametro del radome 20 mm.

Da una prima osservazione della scheda prodotto tralasciamo il fatto che l'antenna è fornita a corredo con una certa lunghezza di cavo coassiale, di tipo non specificato, che entra direttamente alla base dell'antenna mediante un pressacavo. Non consideriamo quindi le perdite introdotte da quest'ultimo, che non può essere rimosso o sostituito con dell'altro cavo a bassa perdita.

Prendendo a riferimento il diametro del radome, dalla foto dell'antenna si determina una lunghezza della staffa inferiore di circa 80 mm.

Ne segue che la dimensione della parte radiante L_a è di circa 1.470 m.

A centro banda, $f_0=168$ MHz, la lunghezza d'onda è ora pari a:

$$\lambda = \frac{300}{168 \text{ MHz}} \cong 1.786 \text{ [m]} \quad [12]$$

da cui si ricava un valore normalizzato di L_a :

$$L_{a\lambda} = \frac{1.470 \text{ m}}{1.786 \text{ m}} \cong 0.823 \quad [13]$$

Già dalla [13] è interessante notare come la lunghezza elettrica dell'antenna sia inferiore a λ quindi, senza fare particolari conti, è subito possibile affermare che il guadagno sarà inferiore al valore notevole G_λ dato dalla [2], ovvero a 3.8 dBi.

Applicando sempre la [7], si stima un valore di guadagno G di 3.36 dBi, che non corrisponde affatto ai 5 dBi dichiarati dal costruttore.

Dalla [Figura 5](#) infatti, per avere un datasheet che sia almeno coerente con quanto sin qui esposto, la parte radiante dell'antenna dovrebbe avere una lunghezza minima di circa 1.5λ , e quindi la lunghezza totale (staffa inclusa) dovrebbe essere di almeno 2.75 m, quindi si sta parlando di un'antenna che dovrebbe essere di almeno un metro più lunga.

5. Antenne omnidirezionali reali.

L'equazione [7] fornisce una stima di guadagno che si basa sulle seguenti approssimazioni, che non si trovano mai in un'antenna reale:

- Illuminazione uniforme: tutti i dipoli sono alimentati in fase e con una ripartizione uniforme della potenza d'ingresso;
- Assenza totale di perdite, tutta la potenza in ingresso al connettore d'antenna viene irradiata;
- Perfetta simmetria delle correnti circolanti su ciascun dipolo della schiera, la cui funzione di direttività non risulta per nulla distorta.

In un'antenna reale, il valore di guadagno effettivamente misurato può discostarsi anche apprezzabilmente da quanto stimato.

Senza addentrarci nei dettagli progettuali e costruttivi di un'antenna collineare, la **Figura 6** riporta le due tipologie principali di questo tipo di antenne: la schiera costituita da dipoli alimentati in parallelo, mediante tratti di linea e ripartitori (**a**); la schiera costituita da dipoli alimentati in serie mediante elementi di rifasamento (**b**).

Nel caso (**a**), al guadagno stimato con la [7] andrebbe quantomeno tolta la perdita α [dB/m] dovuta alla rete di alimentazione (in prima approssimazione di lunghezza L_a).

In questo caso la [7] andrebbe riscritta come segue (qui in funzione di L_a [m]):

$$G = 2.15 + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{L_a}{\lambda} + 0.5 \right) - \alpha \cdot L_a \quad [\text{dBi}] \quad [14]$$

Un esempio di applicazione della [14] è mostrato nella **Figura 7**.

Nel caso (**b**), caratterizzato da un punto di alimentazione asimmetrica (non al centro ma alla base), le correnti su ogni dipolo non sono in realtà uguali ma tendono a diminuire man mano che ci si allontana dalla base dell'array. Inoltre ogni errore di fase, che è pari a zero solo in corrispondenza della frequenza di centro banda f_0 per la quale vengono dimensionati gli elementi di rifasamento in serie ai dipoli, si somma man mano che ci si allontana dal punto di alimentazione dell'antenna e cresce con N .

In entrambi i casi (**a**) e (**b**), con l'aumentare della dimensione dell'array L_a , l'incremento effettivo di guadagno diventa sempre più esiguo e tale da non giustificare l'ulteriore aumento di dimensioni dell'antenna, anche se sulla carta quest'ultima può raggiungere valori di direttività notevoli.

Un ulteriore commento può essere fatto circa il restringimento eccessivo del fascio nel diagramma di radiazione verticale, anche se qui si aprirebbe un discorso molto lungo e complesso che esce dall'argomento qui trattato.

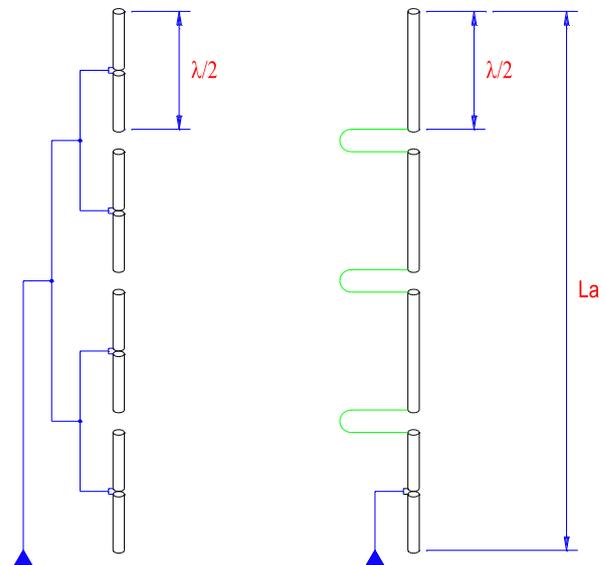


Figura 6

Tipologie principali di antenne collineari: (a) dipoli alimentati in parallelo, (b) dipoli alimentati in serie mediante elementi di rifasamento di 180° (di colore verde nella figura).

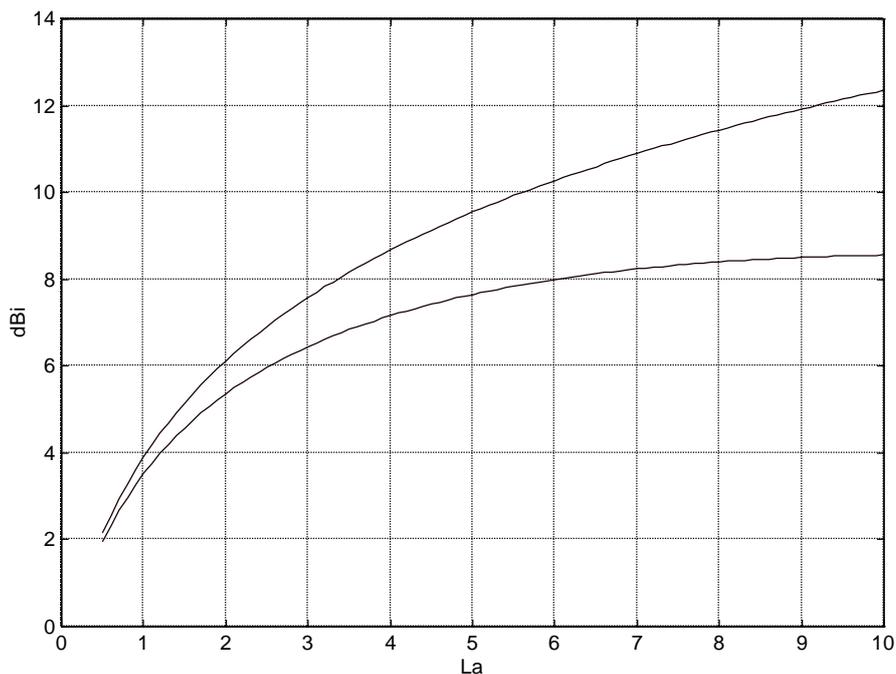


Figura 7

In blu, guadagno stimato di un'antenna collineare, di tipo (a) in Figura 6, operante a 300 MHz ($\lambda=1$ m), con dipoli alimentati in parallelo mediante una rete in cavo coassiale conformabile 86 ($\alpha=0.38$ dB/m a 300 MHz). In rosso la curva di guadagno senza perdite nelle linee.

6. Conclusioni.

Nella speranza di aver dato a quanto scritto un taglio il più possibile pratico, poter effettuare rapidamente una stima del valore di guadagno di un'antenna omnidirezionale diventa importante ogniqualvolta ci si trova a dover valutare un determinato prodotto-antenna dalle specifiche riportate nella rispettiva scheda tecnica fornita dal costruttore.

Gli esempi riportati nel paragrafo 4 sono tutti stati ricavati da schede tecniche di antenne reali, facilmente reperibili in rete.

A proposito dell'esempio 3, è capitato che l'ufficio acquisti di una grossa azienda utilizzi il datasheet di un'antenna di questo tipo, con un guadagno dichiarato di 5 dBi per una lunghezza di circa un metro e mezzo a 168 MHz, come riferimento tecnico interno su cui basarsi per richiedere proposte e quotazioni ai fornitori.

Dal punto di vista di un costruttore di antenne, appare chiaro come sia tecnicamente impossibile esaudire una tale richiesta, dovendo proporre un'antenna da 5 dBi di almeno un metro più lunga, oppure un'omnidirezionale da un metro e mezzo con un guadagno più basso di circa 2 dB. Fermo restando che, in molte applicazioni nella banda ISM dei 169 MHz, l'antenna di marca "ZZZZ" da un metro e mezzo può dare comunque prestazioni soddisfacenti nelle prove sul campo, è fondamentale che le specifiche tecniche assunte come riferimento siano corrette.

Solo in questo modo è infatti possibile parlare lo stesso linguaggio con tutti i potenziali fornitori, nonché sapere cosa si sta effettivamente acquistando ed utilizzando per i propri prodotti, sistemi od installazioni. Questo a vantaggio di tutti.

Per qualsiasi esigenza e/o necessità siamo a tua disposizione all'indirizzo:

sales@elettromagneticservices.com

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>

ElettroMagnetic Services
SRL
Trasmetti la tua eccellenza!