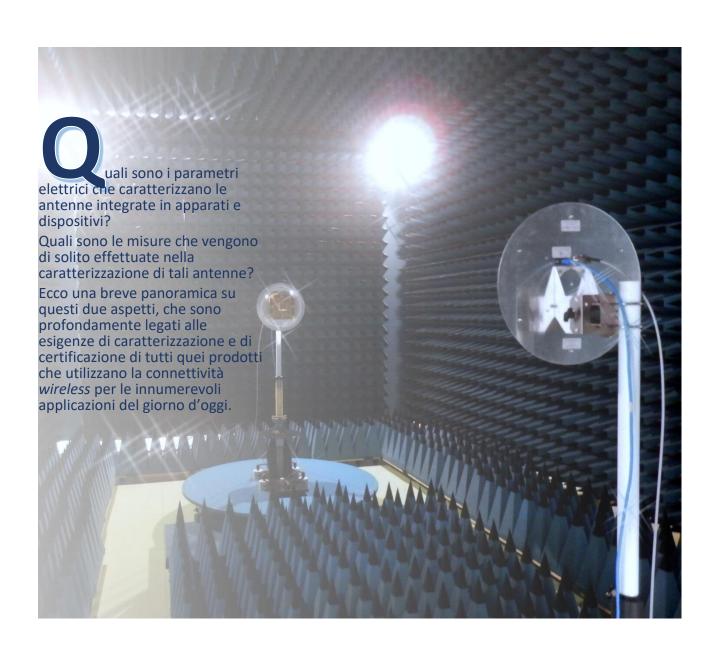
4

Antenne integrate: le specifiche elettriche sui datasheet e la loro misura.

Ing. Francesco Zaccarini





1. Introduzione.

Un'antenna si definisce *integrata* quando viene inserita in un dispositivo od apparato ed è pertanto ottimizzata in modo tale da poter funzionare in tali condizioni.

L'apparato che la contiene, che potremmo definire *apparato ospite*, viene naturalmente progettato e dimensionato per far fronte ad un particolare utilizzo: se pensiamo ad uno *smartphone*, ad un dispositivo di *telelettura* installato su di un contatore del gas oppure ad un localizzatore *GPS* da occultare in un veicolo, ci appare evidente come le applicazioni, e di conseguenza le modalità di integrazione dell'antenna, possano essere molto diverse tra loro.

Quello che appare chiaro, osservando la questa miriade di dispositivi wireless che già troviamo nella vita di ogni giorno, è che un'antenna integrata non può essere considerata come un elemento a sé stante, al pari cioè di un'antenna cosiddetta "normale", come ad esempio quella della televisione. Come tale va perciò sviluppata e caratterizzata.

2. Antenne "normali" ed antenne integrate.

Già sappiamo dalla teoria la definizione di antenna, ovvero un trasduttore di energia elettromagnetica da una forma convogliata ad una forma irradiata e viceversa.

Se per semplicità consideriamo l'antenna come trasmittente, è possibile riferirsi alle definizioni che seguono.

- a) Definire una sezione di riferimento, in pratica un connettore od una flangia, attraverso la quale l'energia elettromagnetica entra nell'antenna in forma guidata, ovvero vincolata in una certa regione di spazio delimitata da precise condizioni al contorno. Vengono quindi presi in esame tutti i parametri elettrici legati alla definizione di porta, ovvero l'impedenza caratteristica, il coefficiente di riflessione, il ROS, il Return Loss, ecc.
- **b)** Definire un criterio di osservazione univoco del campo irradiato, ovvero che non dipende dal tipo di antenna che sto esaminando. Questo lo si può fare ponendoci nella *regione di campo lontano*, ovvero rispettando i vincoli sulla distanza **R** dalla sorgente:

$$R > \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} \qquad [m]$$

$$R >> \lambda \qquad [m]$$

dove D è la dimensione dell'antenna e λ la lunghezza d'onda. Sotto questa condizione è possibile quindi definire tutti quei parametri elettrici che caratterizzano la radiazione dell'antenna (guadagno, diagrammi di radiazione, polarizzazione, ecc.).

Naturalmente anche le *antenne integrate* rientrano nella definizione generale appena fornita, definizione che si può trovare scritta in varie salse su ogni manuale di teoria. Però, nel caso specifico delle antenne integrate, è importante fare le seguenti osservazioni, legate all'aspetto pratico della definizione.

Non è sempre agevole identificare la sezione di riferimento, per due motivi principali.

 Nella maggior parte dei casi si ha un collegamento diretto tra elemento radiante e linea di alimentazione (microstriscia) senza un vero e proprio connettore. Inoltre spesso è



necessario includere una rete di adattamento e quindi definire la sezione d'ingresso includendo quest'ultima.

La sezione di riferimento, individuata nella pratica dai due conduttori di una linea TEM
(ad esempio una microstriscia con il suo piano di massa sottostante), non è disaccoppiata
dal sistema radiante. Si introduce così una criticità nelle misure, dovuta alla corrente
vagante sul conduttore esterno del cavetto coassiale che collega l'antenna
all'analizzatore di reti.

Non è sempre agevole identificare la dimensione d'antenna D, con cui applicare le equazioni [1] ovvero definire che cosa di fatto contribuisce alla radiazione nel complesso "antenna più apparato". Nel caso di un'antenna integrata è infatti importante distinguere tra elemento radiante e sistema radiante, quest'ultimo costituito dall'elemento radiante e da tutte le parti ad esso limitrofe che possiamo immaginare siano con esso coinvolte nella radiazione in quanto percorse da correnti RF. Non di rado quindi il sistema radiante è costituito dall'intero apparato.

Questo è infatti un punto importante nella comprensione, anche intuitiva, del funzionamento di un'antenna integrata. Vi possono essere degli *elementi radianti* di piccole, piccolissime dimensioni ma affinché questi possano fornire delle prestazioni soddisfacenti devono sempre essere integrati in una struttura ad hoc, di dimensioni ben maggiori dei soli elementi, così da costituire un *sistema radiante* ottimizzato per il particolare dispositivo od apparato.

Non basta quindi il solo elemento radiante a realizzare un'antenna integrata che funzioni a dovere.

3. Caratteristiche elettriche dell'antenna integrata.

I parametri elettrici, di adattamento e di radiazione, che in generale caratterizzano le antenne sono naturalmente applicabili a quelle integrate, anche se in questo caso la loro valutazione e/o misura non può svincolarsi dal considerare l'intero sistema "antenna più apparato".

Dunque, in prima approssimazione, un'antenna integrata è da considerarsi un'antenna corta di solito installata in prossimità di altri oggetti metallici, dielettrici e dissipativi che ne influenzano il funzionamento, spesso anche in maniera rilevante.

Passiamo quindi in rassegna le principali voci che, in questo particolare caso, possono rappresentare delle specifiche.

Adattamento ed impedenza d'ingresso.

La specifica di adattamento dipende dalle caratteristiche del modulo radio connesso all'antenna: il costruttore del *chip* indica un valore massimo di ROS (in genere ≤ 2) per il quale vengono garantiti l'erogazione di un dato valore di potenza al carico ed un massimo assorbimento di corrente di l'alimentazione. Negli apparati che funzionano a batterie (ad esempio sensori o dispositivi di *telemetering*), un ROS eccessivo in antenna può sia limitare l'autonomia operativa del prodotto sia diminuire la potenza RF effettivamente erogata dal modulo radio. Se, nel caso di sistemi radio a banda stretta (433 MHz, 868 MHz, ecc.), l'adattamento in generale non rappresenta un problema, un requisito di maggior larghezza di banda (ad esempio 850 ÷960 MHz) può risultare difficile da ottenere, anche in funzione degli altri parametri elettrici che devono essere garantiti nella porzione di spettro richiesto. Molto spesso le antenne integrate vengono di fatto dimensionate per un valore di ROS in banda più elevato (da 2.5 a 3), garantendo comunque un funzionamento soddisfacente.



ede legale e operativa: via S. Pertini, 6 - 26019 VAILATE (CR) ITALY - tel. +39 0363 840

Come nelle antenne corte, l'impedenza d'ingresso dell'elemento radiante assume di solito valori più bassi di 50Ω ; inoltre possono aggiungersi delle componenti reattive dovute alla particolare disposizione dell'antenna rispetto agli altri componenti presenti nell'apparato (parti metalliche, cablaggi, ecc.): ciò provoca un restringimento della banda per un dato valore di adattamento.

Vi possono essere altresì dei casi in cui la prossimità di elementi dissipativi, quali le batterie o la presenza di dielettrici dissipativi utilizzati in ambienti esplosivi (normative ATEX), portano ad un abbassamento del Q dell'antenna che, pur beneficiandone l'adattamento, porta ad un degrado del guadagno anche rilevante.

Isolamento.

Nel caso di più antenne integrate, operanti su differenti bande di frequenza, può essere richiesto un parametro di isolamento, ovvero dell'attenuazione ($|S_{ij}|$) che esiste tra i differenti ingressi (i e j) delle antenne nelle rispettive bande di frequenza. Il problema elettromagnetico di ottenere un isolamento minimo tra diverse antenne poste in mutua vicinanza non è affatto banale, e può anche venire risolto con la forza bruta, ovvero inserendo dei filtri SAW nei tratti di microstriscia che collegano le antenne ai rispettivi *chip* RF.

Rendimento, direttività e guadagno.

Com'è noto, il rendimento η di un'antenna è dato dalla relazione:

$$\eta = \frac{P_r}{P_{tot}} = \frac{P_r}{P_r + P_p} = \frac{R_r}{R_r + R_p}$$
 [2]

nella quale P_r è la potenza irradiata e P_{tot} è la potenza totale entrante attraverso la sezione di riferimento dell'antenna, a sua volta somma della potenza irradiata e della frazione di potenza P_p dissipata a causa delle perdite presenti nei conduttori e nei dielettrici con i quali l'antenna stessa è costruita e presenti nella regione di campo vicino della stessa. L'efficienza può anche essere calcolata in termini di resistenza di radiazione e resistenza di perdita dei materiali, rispettivamente R_r ed R_p .

Nel caso delle antenne integrate, ai fattori di perdita propri dell'elemento radiante stesso si aggiungono quelli dovuti alla presenza di elementi dissipativi, vincolanti in quanto necessari al funzionamento e/o all'omologazione e dell'apparato.

Un altro fattore che limita l'efficienza delle antenne integrate è la dimensione del piano di massa, spesso limitata nelle dimensioni e nella forma da precisi canoni estetici o vincoli applicativi del prodotto finale.

La stima dell'efficienza di un'antenna non è un'operazione agevole e non viene condotta applicando la [2] bensì calcolando il rapporto tra direttività **D** e guadagno **G**:

$$\eta = \frac{G}{D} \tag{3}$$

Se la misura del guadagno può essere agevole, il valore di **D** lo si ricava dalla seguente l'equazione:

$$D = \frac{4\pi}{\iint_{\Omega} f(\theta, \phi) d\Omega} \quad [dBi]$$
 [4]

cosa non molto facile dato che l'integrale della funzione di direttività $f(\theta, \phi)$, esteso a tutte le direzioni dell'angolo solido Ω , viene approssimato mediante una doppia sommatoria. Su questo punto si tornerà più avanti, parlando delle misure sulle antenne integrate.



Da un punto di vista operativo, la misura più importante che comprende anche un'informazione sull'efficienza d'antenna è data dal guadagno G.

Diagrammi di radiazione.

Una stima della funzione di direttività viene data dai diagrammi di radiazione, che rappresentano l'intersezione della $f(\theta,\phi)$ con i piani principali, ovvero in questo caso i piani assunti come riferimento del sistema "antenna + apparato". Questi piani possono banalmente essere il piano orizzontale (azimutale) e verticale (zenitale) oppure, nel caso in cui non vi sia una precisa posizione di installazione del prodotto (ad esempio una semplice PCB od un telefonino), si utilizzano i piani xy, xz ed yz di un sistema cartesiano solidale con l'apparato stesso.

In un'antenna integrata i gradi di libertà nel progetto non sono di solito sufficienti a permettere una vera ottimizzazione dei diagrammi, sia per quanto riguarda la forma che la direzione di massima radiazione. In generale, essendo soddisfatta la condizione [1] di antenna corta, non si ottengono diagrammi particolarmente direttivi, a meno di non installare l'intero sistema a ridosso di muri od altri elementi che ne precludano la radiazione verso alcune regioni di spazio.

Ad esempio, nel caso di un'antenna integrata in un dispositivo di telelettura delle calorie che viene installato su di un termosifone, è la massa metallica di quest'ultimo ad essere determinante agli effetti della radiazione, agendo di fatto come un vero e proprio riflettore di un'antenna a pannello.

Anche il layout dei componenti e cablaggi all'interno dell'apparato ospite può essere sede di correnti, indotte dall'elemento radiante vero e proprio, che contribuiscono alla radiazione, così come la presenza di eventuali masse metalliche, con dimensioni e forma arbitrarie, presenti all'interno del contenitore.

4. Misure sulle antenne integrate.

Sia nel corso dello sviluppo dell'antenna integrata che durante la sua successiva caratterizzazione e validazione, è necessario riprodurre il più fedelmente possibile le condizioni operative reali dell'intero sistema "antenna+apparato".

Viene quindi definita una configurazione di riferimento, che potremmo anche chiamare "installazione tipica", sulla quale effettuare tutte le misure elettriche necessarie. Un esempio è riportato nella Figura 1 e nella Figura 2.

In un apparato wireless contenente un'antenna integrata, le misure elettriche sono di due tipi, come di seguito specificato.

a) Misure sull'antenna integrata.

L'antenna, anche se integrata nell'apparato, viene misurata definendo una porta d'ingresso, o sezione di riferimento, con un'impedenza normalizzata a 50Ω .

In genere la porta viene identificata con il *pad* d'ingresso del modulo radio, includendo il tratto di microstriscia che lo collega all'elemento radiante e l'eventuale rete di adattamento in componenti SMD.



In questo punto viene connesso un cavetto RF, realizzato in modo da non perturbare il sistema, che permette di connettere l'antenna allo strumento di misura, tipicamente un analizzatore di reti (VNA).

b) Misure sull'intero apparato.

L'intero apparato contenente l'elettronica, il modulo radio e l'antenna integrata, vengono caratterizzati come un unico oggetto, sia per quanto riguarda la parte trasmittente che quella ricevente. In questo caso si utilizzano rispettivamente un analizzatore di spettro oppure un generatore di segnale, entrambi connessi ad un'antenna calibrata.

Iniziamo quindi col descrivere le principali misure che si effettuano sulle antenne integrate.

4.1. Misure sulle antenne integrate.

- Misure di adattamento ed impedenza d'ingresso.

Il ROS o il return loss e l'impedenza d'ingresso vengono acquisiti mediante un setup di misura simile a quello rappresentato in Figura 1. Benché si tratti di misure piuttosto semplici, nelle antenne integrate è necessario porre la massima attenzione nel modo in cui ci si interfaccia con la microstriscia, ovvero con la sezione di riferimento dell'antenna, dato che è facile introdurre dei disadattamenti che possono facilmente provocare errori nelle misure.

Lo stesso cavetto di connessione al *VNA*, se non adeguatamente isolato, può essere sede di correnti circolanti sul suo schermo esterno che si traducono in una reattanza in parallelo al carico dipendente dalla posizione del cavo stesso.

- Misure di isolamento.

Questo tipo di misure dipende dalla configurazione di riferimento, che deve quindi essere scelta in modo da essere rappresentativa di quella che sarà l'installazione finale del prodotto.

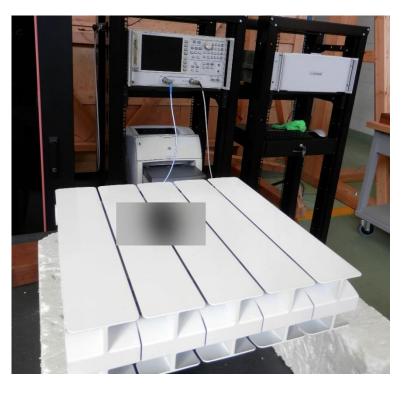


Figura 1

Misura di ROS ed impedenza mediante un VNA.

Il dispositivo sotto misura, dotato di antenna integrata, si trova nella configurazione di riferimento, ovvero in questo caso montato su di un termosifone. Per accordi di riservatezza con il Cliente, nella foto l'apparato è stato mascherato.

Vengono condotte con una disposizione simile a quella di *Figura 1*, collegando entrambe le porte del *VNA* al dispositivo sotto misura ed acquisendo le curve del $|S_{12}|$ o $|S_{21}|$ nelle rispettive bande



di funzionamento delle antenne. La misura di isolamento dipende anche dai valori di adattamento delle antenne.

- Misure in camera anecoica.

Le misure di guadagno e dei diagrammi di radiazione delle antenne integrate vengono condotte in camera anecoica, avendo cura anche in questo caso di schermare opportunamente il cavo di collegamento alla strumentazione, eventualmente con l'interposizione di ferriti, così da renderlo inerte alla radiazione.

Dato che questo tipo di antenne non presenta di solito una polarizzazione caratteristica ben definita, le misure di radiazione vengono condotte acquisendo i dati su entrambe le lineari polarizzazioni ortogonali orizzontale e verticale (rispettivamente indicate con i versori $\vec{\phi}$ e $\vec{\theta}$) utilizzando un'opportuna antenna di riferimento, come quella mostrata nella Figura 3 che è stata realizzata ad hoc per questo tipo di caratterizzazioni nella banda 750 ÷1050 MHz.

Non avendo ben chiaro a priori, per questo tipo di antenne, quale sia la direzione di massima radiazione, si preferisce determinare il *guadagno direttivo* nei due piani principali, ovvero il prodotto tra il *guadagno G* e la *funzione di direttività f(0, f)*:

$$\begin{split} G(\theta,\phi) &= G \cdot f(\theta,\phi) = \\ &= G_\theta \cdot f_\theta(\theta,\phi) \, + \, G_\phi \cdot f_\phi(\theta,\phi) \quad \text{[4]} \\ \text{qui indicato in unità lineari.} \end{split}$$

Il guadagno direttivo totale $G(\theta,\phi)$ viene dunque calcolato come somma delle due componenti associate alle due polarizzazioni lineari ortogonali,

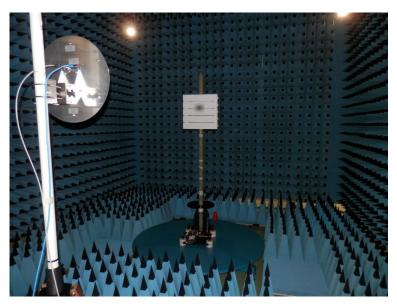


Figura 2

Misure di guadagno e diagrammi di radiazione in camera anecoica.

Il dispositivo sotto misura, dotato di antenna integrata, si trova nella configurazione di riferimento, ovvero montato su di un termosifone.

Per accordi di riservatezza, nella foto l'apparato è stato mascherato.

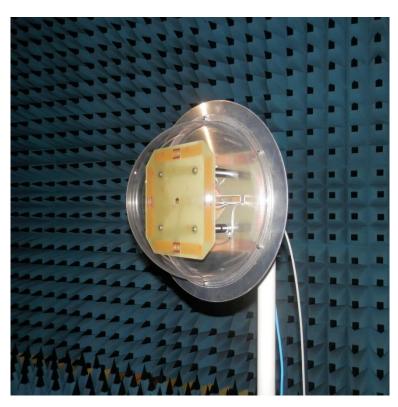


Figura 3

Antenna di riferimento a doppia polarizzazione H e V, commutabile, calibrata per misure nella banda da 750 a 1050 MHz.

ottenendo un risultato simile a quello di *Figura 4*, dal quale si evince anche il valore di guadagno (indicato come G_{max} nella figura).

Sempre a titolo di esempio, nella *Figura 5* vengono invece riportati i corrispondenti diagrammi di radiazione delle tre componenti $\vec{\phi}$ e $\vec{\theta}$ e totale.

4.2. Misure sull'intero apparato.

Accenniamo ora alle misure elettriche che vengono condotte sull'intero apparato, ovvero con l'antenna in condizioni operative, direttamente connessa modulo radio. Queste misure, coinvolgono anche la parte controllo/alimentazione della parte radio dell'apparato, riguardano sia la parte trasmittente che ricevente dell'intero sistema radio.

- Misure di EIRP ed EIS.

La misura di EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) consiste nella verifica della potenza trasmessa dal dispositivo sotto misura o DUT (Device Under Test) acquisita mediante un sistema ricevente calibrato, in genere costituito un'antenna di riferimento collegata ad un analizzatore di spettro mediante un cavo di attenuazione nota. L'EIRP, espresso in dBm, rappresenta il livello di potenza che, irradiato da un teorico radiatore isotropo, risulta uguale al livello di segnale realmente misurato dal sistema ricevente.

Viceversa la misura di *EIS* (*Effective Isotropic Sensitivity*) che caratterizza l'intera parte ricevente del sistema, rappresenta il livello di sensibilità del *DUT*. Espresso anch'esso in *dBm* (ma con segno

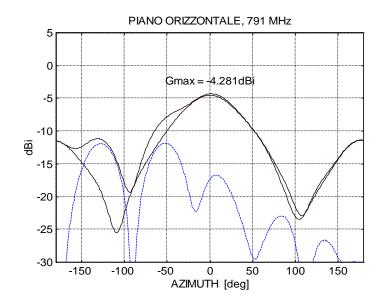


Figura 4
Esempio di curve di guadagno direttivo di un'antenna integrata: componente verticale (in blu continuo), componente orizzontale (in blu tratteggiato), guadagno direttivo totale (in rosso).

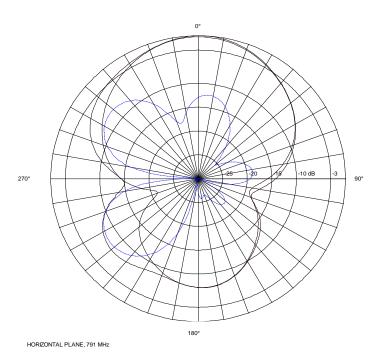


Figura 5
Corrispondenti diagrammi di radiazione polari delle componenti verticale (blu), orizzontale (blu tratteggiato) e totale (rosso).

negativo essendo quantità più piccole di 1 mW), più basso è il valore migliore è la sensibilità. L'EIS rappresenta dunque la sensibilità di un teorico ricevitore isotropico quando viene illuminato da un'onda piana trasmessa da un generatore di riferimento, la cui potenza viene gradatamente abbassata fino ad un certo valore di soglia di BER (Bit Error Rate), rilevato all'uscita dati del DUT.



Sia i valori *EIRP* che di *EIS* vengono acquisiti per le due polarizzazioni lineari ortogonali $\vec{\phi}$ e $\vec{\theta}$ e poi combinati, in unità lineari, secondo le seguenti relazioni:

$$EIRP_{tot}(\theta, \phi) = EIRP_{\theta}(\theta, \phi) + EIRP_{\phi}(\theta, \phi)$$
 [mW] [5]

$$EIS_{tot}(\theta, \phi) = \frac{1}{\frac{1}{EIS_{\theta}(\theta, \phi)} + \frac{1}{EIS_{\phi}(\theta, \phi)}}$$
 [mW]

Nella [6] i contributi di EIS sono inversi, dal momento che i valori migliori di sensibilità sono quelli più piccoli.

Dalla misura dell' $EIRP(\theta, \phi)$ e dell' $EIS(\theta, \phi)$ in tutte le direzioni è possibile determinare il massimo EIRP ed il minimo EIS, ovvero i valori migliori.

- Misure di TRP e TIS.

Dato che entrambe le misure dipendono dalla direzione (θ, ϕ) , entrambe queste grandezze vengono sommate acquisendo una serie di dati in corrispondenza di un certo numero di direzioni, campionate uniformemente su tutto l'angolo solido giro. Si ottengono così rispettivamente i valori di TRP ($Total\ Radiated\ Power$) e di TRS ($Total\ Radiated\ Sensitivity$).

Supponendo perciò di prendere **N** punti di misura in elevazione ($0^{\circ} \le \theta_n \le 180^{\circ}$) e **M** punti in azimuth ($0^{\circ} \le \phi_m \le 360^{\circ}$), mediante la seguente doppia sommatoria

$$Y = \frac{\pi}{2NM} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} X(\theta_n, \phi_m) \cdot \sin \theta_n$$
 [7]

si ottengono i valori di *TRP* o di *EIS*, indicati con *Y* nella [7]), dove con con $X(\theta_n, \phi_m)$ si intendono i corrispondenti valori totali acquisiti, ricavati rispettivamente dalla [5] e dalla [6], per ognuno degli *NM* punti di misura (θ_n, ϕ_m) .

Attraverso questi due parametri è possibile tener conto sia dell'efficienza globale dell'antenna sia delle caratteristiche in trasmissione e ricezione del modulo radio, sia per quanto riguarda la potenza d'uscita (con l'eventuale *power foldback* in presenza di eccessivo *ROS* e/o variazioni nella tensione di alimentazione) che per la sensibilità della parte ricevente.

5. Conclusioni.

Senza avere nessuna pretesa di aver esaurito il vasto argomento delle misure d'antenna, nel presente articolo abbiamo cercato di dare un'idea di quelli che sono i parametri elettrici più importanti per le antenne integrate in apparati e dispositivi wireless. Allo stesso modo sono stati fatti dei cenni sulle misure che su tali apparati possono essere eseguite, sia per la caratterizzazione delle loro antenne sia per la valutazione delle loro prestazioni radio a livello globale.

Per tutti coloro che nella loro attività professionale possono imbattersi in dispositivi con antenne integrate e/o prevedono di sviluppare un prodotto che ne faccia uso, rimane comunque importante acquisire una certa sensibilità al problema in modo da non incorrere in errori o sottovalutazioni inerenti l'aspetto elettromagnetico di ogni progetto di questo tipo.

Infatti, anche se l'antenna integrata rimane sicuramente "nascosta" all'interno dell'apparato, non si deve mai dimenticare che la sua importanza rimane sempre e comunque evidente.

E possiamo sicuramente affermare che, per questo genere di progetti, il proverbio "occhio non vede, cuore non duole" non è certo veritiero.



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



