

IL CONCETTO DI

SIMMETRIA

nella progettazione di antenne custom

Ing. Francesco Zaccarini

Speso nei nostri *Technical E-Paper* affrontiamo il tema "antenne" partendo da spunti molto particolari.

Anche in questo caso partiremo da un principio storicamente molto importante nella progettazione delle antenne, che è quello di *simmetria*.

Infatti la *simmetria* di un elemento radiante, rispetto ad un piano o rispetto ad un asse, rappresenta quasi sempre il presupposto fondamentale per ottenere delle caratteristiche elettriche ottimali da un'antenna, oppure è una buona pratica per ridurre potenziali criticità o problemi di un dato progetto.

L'avvento di avanzati tool di simulazione elettromagnetica nonché di vincoli sempre più stringenti su dispositivi con antenne integrate, ha fatto perdere di vista questo particolare aspetto nello sviluppo di tali antenne. In questi casi non è raro che il prodotto finale sia, da un punto di vista elettromagnetico, simile all'opera di Picasso, non a caso riportata nell'immagine di copertina.

Come sempre, anche in questa sede facciamo una breve panoramica su questo aspetto, sperando che possa essere spunto di riflessione nelle fasi preliminari di un qualsiasi progetto wireless, sia di tipo convenzionale che *embedded*.



1. Introduzione.

La simmetria come elemento costruttivo.

Il concetto di elemento radiante di forma simmetrica, di solito rispetto ad un asse o ad un piano verticale, risale agli albori della radio.

Fino alla metà degli anni '20 del secolo scorso, tale bisogno era principalmente dettato da esigenze realizzative: a quei tempi le trasmissioni radiotelegrafiche avvenivano per mezzo di onde lunghe diverse centinaia di metri, e di conseguenza gli "aerei" erano costituiti perlopiù da enormi torri o pennoni che sostenevano dei fili metallici. Queste enormi antenne erano caratterizzate da una simmetria rotazionale attorno ad un asse verticale (**Figura 1.1**) o al più da dei conduttori orizzontali simmetrici rispetto ad un piano verticale (**Figura 1.2**).

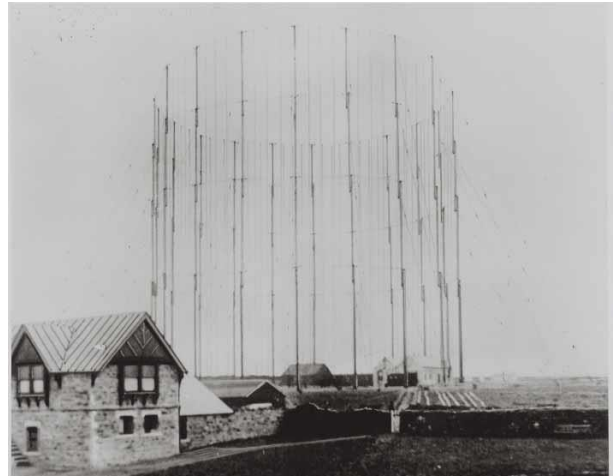


Figura 1.1

Stazione trasmittente di Poldhu, costruita da Guglielmo Marconi nel 1901.

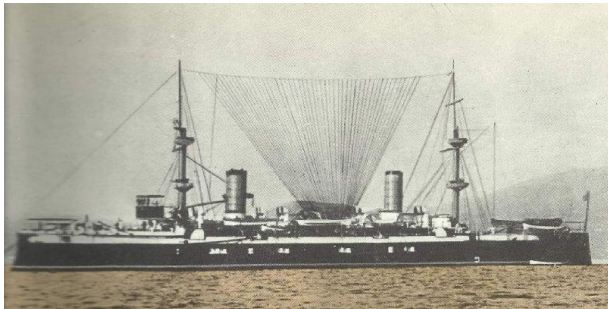


Figura 1.2

Antenna montata sull'incrociatore Carlo Alberto (1902).

La simmetria come elemento elettrico.

Dal 1923 in poi, anno in cui i radioamatori *Schnell* e *Deloy* realizzano con successo il primo radiocollegamento tra il continente americano e l'Europa utilizzando delle lunghezze d'onda fino a quel momento ritenute inefficienti nei collegamenti a grande distanza, si apre l'era delle *onde corte*.

Si realizzano così delle stazioni a fascio, i cui elementi radianti hanno forme e configurazioni nuove e più moderne, e si introduce il concetto di *diagramma di radiazione* (**Figura 1.3**). Di conseguenza la simmetria del sistema radiante, ad esempio rispetto ad un riflettore costituito da una griglia metallica di forma piana o parabolica, inizia ad essere un criterio di base per sintetizzare le caratteristiche di radiazione volute.

Non essendoci calcolatori elettronici che permettessero di risolvere numericamente le equazioni di Maxwell applicate a strutture complesse, in quest'era pionieristica risultava quindi difficile approntare dei

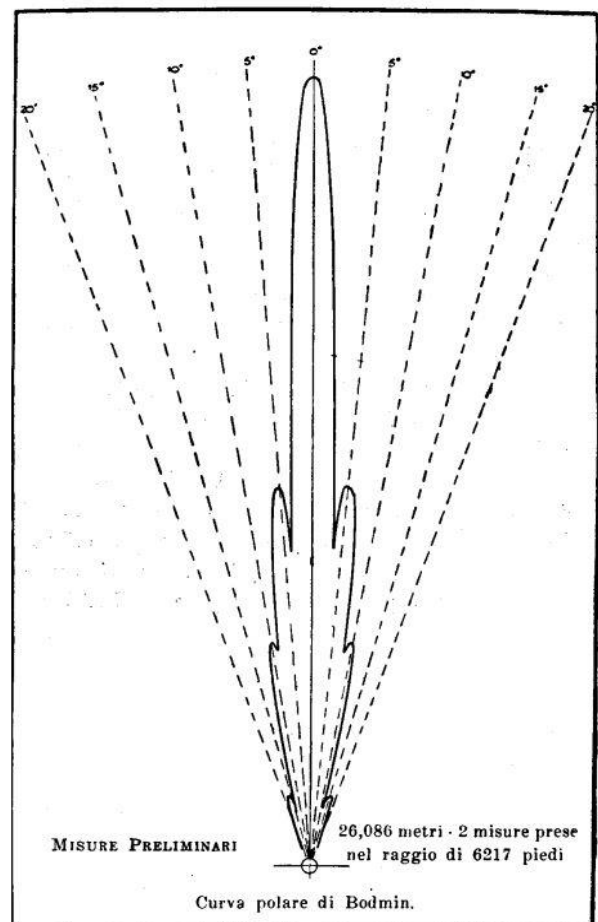


Figura 1.3

Un primo esempio di diagramma di radiazione misurato [Le Radiocomunicazioni a Fascio, Scritti di Guglielmo Marconi, Reale Accademia d'Italia, 1941]



Figura 1.4

Evoluzione del telefono cellulare... e delle relative antenne.

modelli elettromagnetici. Di conseguenza gli elementi radianti simmetrici, quali ad esempio i dipoli filiformi, permettevano di essere calcolati utilizzando formule chiuse o quantomeno utilizzando procedure empiriche.

La simmetria semplifica l'analisi elettromagnetica.

Fino agli anni '90 del secolo scorso la simmetria diventa un presupposto fondamentale per facilitare la progettazione delle antenne. Se consideriamo i due telefoni cellulari di **Figura 1.4**, in alto nell'immagine, risulta evidente come le loro antenne siano riconducibili a strutture filiformi "notevoli" (ovvero dipoli coassiali o monopoli), per le quali non è necessario portare a termine un'analisi elettromagnetica complessa.

La simmetria... è ancora necessaria?

Se via via ci avviciniamo ai nostri giorni e scendiamo verso il basso dell'immagine, con l'integrazione delle antenne il concetto di simmetria si perde, fino ad arrivare allo smartphone nel quale le numerose antenne si integrano nel dispositivo in modo del tutto asimmetrico. Risulta chiaro che, al di là di una complessità maggiore dovuta alle numerose bande di frequenza coperte dal dispositivo, le strutture radianti in esso integrate non sono più simili ad antenne "tradizionali" e solo dei sofisticati tool elettromagnetici possono simulare efficacemente una tale configurazione, permettendo così ad uno smartphone di esistere e di funzionare.

Ma, a seguito di questa breve introduzione storica, è interessante farsi due domande:

- Come influisce il concetto di simmetria sulle caratteristiche elettriche di un'antenna e nella sua progettazione?
- È importante o no tener conto della simmetria nella progettazione delle antenne integrate?

Sempre con l'intento di sensibilizzare il lettore sulla "buona pratica" di progetto di antenne professionali custom, vediamo di approfondire il concetto di simmetria e come questo possa influire nella progettazione delle antenne, specialmente di quelle *su misura*.

2. Simmetria geometrica e simmetria elettrica.

Dopo i cenni storici del paragrafo introduttivo, è importante spiegare cosa si intende per *simmetria di un elemento radiante*.

Se consideriamo un generico conduttore con dimensioni non trascurabili rispetto alla lunghezza d'onda, il campo lontano da esso irradiato è dato dalla trasformata di Fourier della distribuzione di corrente sul conduttore stesso.

Considerando il caso notevole di un elemento filiforme rettilineo di lunghezza $2l$ che si estende sull'asse Z da $-l$ a $+l$ (**Figura 2.1**), quindi caratterizzato da una simmetria rispetto al piano (x,y), la distribuzione di corrente $I(z)$ (definita fisicamente dalle condizioni al contorno) è la grandezza che determina il campo lontano $E(l,x,y,z)$

in un qualsiasi punto dello spazio $P(x,y,z)$ sufficientemente distante. Il legame tra queste due grandezze I ed E è sostanzialmente dato dalla trasformata di Fourier. Senza addentrarci in calcoli complessi, possiamo affermare che se la distribuzione di corrente sul conduttore è simmetrica rispetto al piano (x,y) , anche il campo irradiato risulterà simmetrico, rispetto al medesimo piano.

Quindi, considerato un certo riferimento, come ad esempio il piano (x,y) , affinché tale distribuzione di corrente sia simmetrica, è necessario siano soddisfatte queste due condizioni:

1. Il conduttore deve avere una forma simmetrica (**simmetria geometrica**);
2. Il conduttore deve essere percorso da correnti simmetriche (**simmetria elettrica**);

Notiamo come la prima condizione sia soltanto necessaria, dal momento che la distribuzione di corrente sull'elemento radiante dipende anche dalle condizioni al contorno e dal modo in cui tale conduttore viene alimentato.

Tralasciando i metodi con cui un'antenna può venire alimentata, e di conseguenza tutti i discorsi riguardanti la transizione tra linea sbilanciata e bilanciata, balun, ecc. che esulano dall'argomento di questo articolo, consideriamo ad esempio un dipolo a mezz'onda. Se per questa antenna la simmetria geometrica è soddisfatta, non necessariamente lo è la simmetria elettrica, essendo quest'ultima dipendente dal criterio con cui il dipolo stesso viene alimentato.

La **Figura 2.2** mostra il modello elettromagnetico dello stesso dipolo, a sinistra con un'alimentazione di tipo simmetrico, a destra alimentato mediante un gamma match. Quest'ultimo metodo, molto utilizzato nelle antenne Yagi, è di per sé asimmetrico. Le curve color marrone sui conduttori mostrano la distribuzione di corrente.

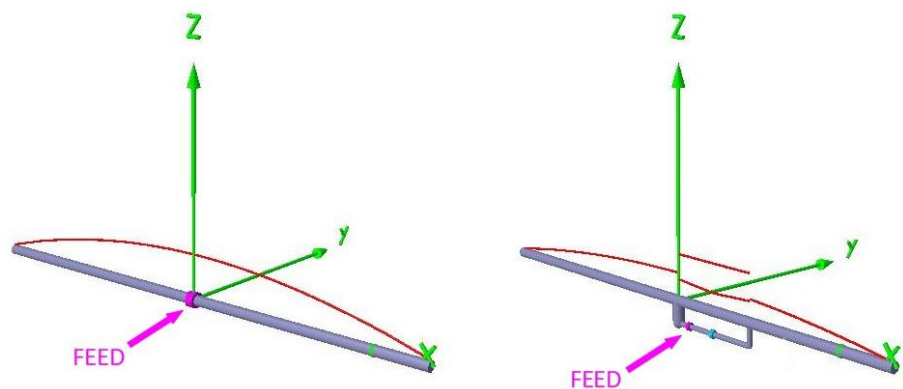


Figura 2.2

Dipolo con alimentazione ideale al centro (a sinistra) e dipolo alimentato mediante gamma match (a destra).

La **Figura 2.3** riporta i rispettivi diagrammi di radiazione nel piano E: l'asimmetria del dipolo alimentato con il gamma match è visibile nel diagramma di radiazione. In questo esempio, in cui il modello elettromagnetico del gamma match può considerarsi "ideale" rispetto ad una realizzazione pratica che utilizza conduttori non filiformi, il livello di asimmetria rimane comunque piuttosto contenuto, con un angolo di asimmetria del fascio di soli 2 gradi.

Viceversa, nella misura dei diagrammi di radiazione nel piano E di antenne Yagi, non di rado si riscontrano asimmetrie anche di 5° o 6°, dovute al modo con cui viene in realtà costruito il gamma match.

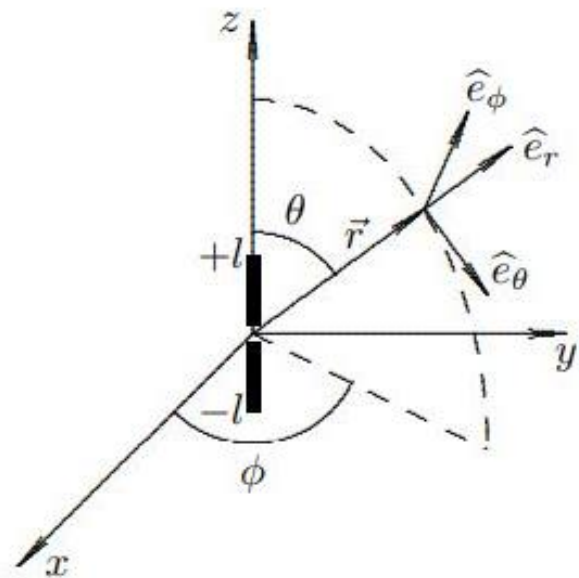


Figura 2.1

Elemento filiforme simmetrico rispetto al piano (x,y) .

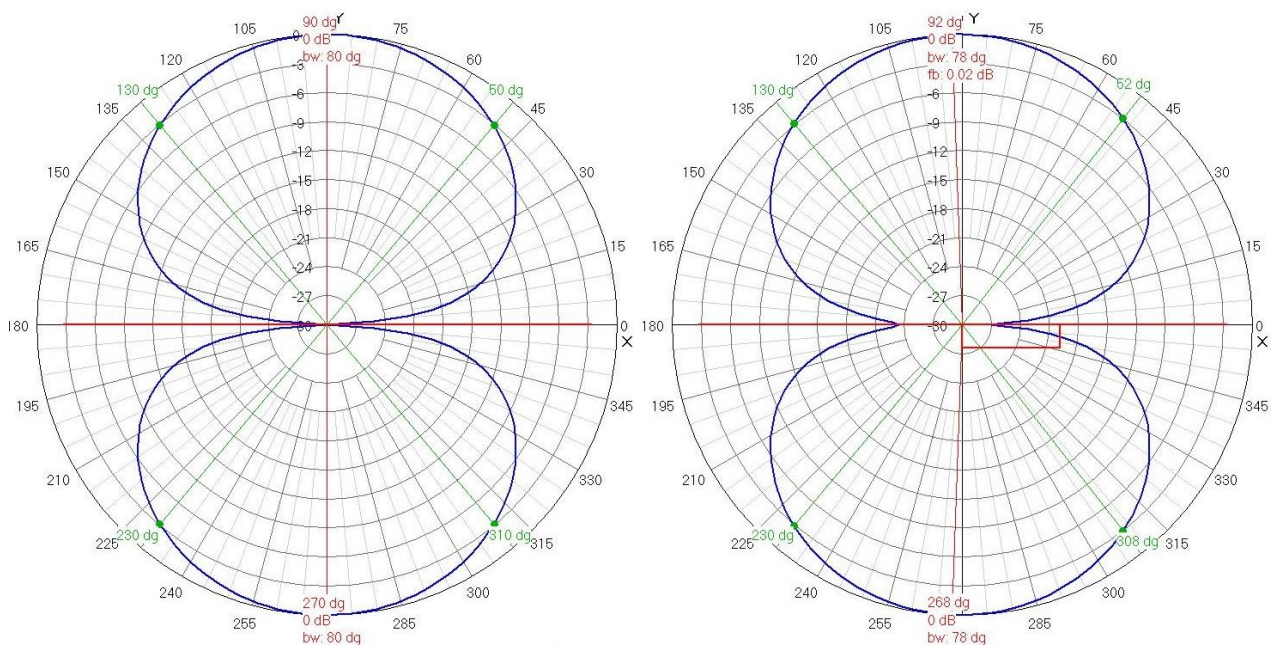
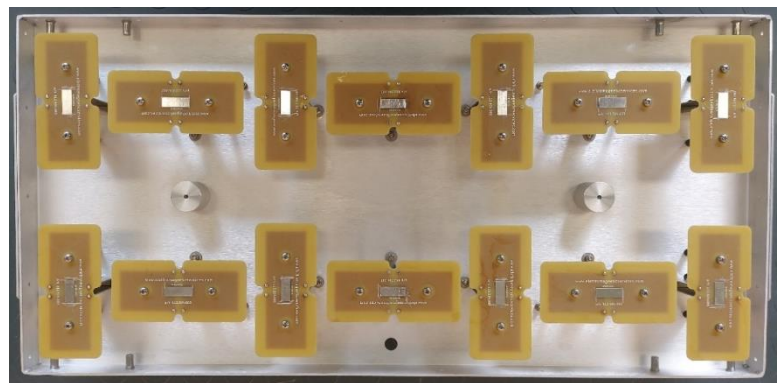

Figura 2.3

Diagramma di radiazione nel piano E del dipolo con alimentazione ideale al centro (a sinistra) e del dipolo alimentato mediante gamma match (a destra).

3. La ricerca della simmetria nella progettazione delle antenne.

Nelle antenne che devono soddisfare requisiti particolari, come ad esempio in applicazioni radar, di misura o di ricerca scientifica, la scelta di elementi radianti e tecniche di alimentazione degli stessi di tipo simmetrico diventa un criterio determinante nella progettazione.

È il caso, ad esempio, dell'antenna in banda L per applicazioni scientifiche di **Figura 3.1**, costituita da due distinti array interlacciati caratterizzati da due polarizzazioni ortogonali H e V con caratteristiche di radiazione uguali.


Figura 3.1

Antenna SAR in banda L a doppia polarizzazione.

In questo caso la simmetria, geometrica ed elettrica, non solo serve ad ottenere dei diagrammi di radiazione perfettamente *broadside*, ma anche a garantire un elevato isolamento (circa 40 dB) tra le due schiere ortogonali.

La simmetria gioca un ruolo fondamentale anche nelle antenne per radiomobile in doppia polarizzazione, dove si utilizzano schiere di elementi radianti eccitati nei due modi ortogonali, come ad esempio patch quadrati o circolari. In questo caso, per ogni polarizzazione lineare, l'elemento patch viene alimentato in due punti simmetrici rispetto al centro dello stesso, mutuamente sfasati di 180°, in modo da forzare una distribuzione di corrente perfettamente simmetrica. Così facendo è possibile incrementare l'isolamento di almeno 10 o 15 dB, rispetto ad un patch alimentato in un singolo punto, superando agevolmente i 30 dB.

4. La simmetria nelle antenne integrate.

Nelle antenne integrate, ovvero inserite all'interno di un apparato più complesso, il criterio di simmetria viene spesso trascurato. Questo per tre motivi:

- Gli elementi radianti hanno di solito configurazioni asimmetriche, come ad esempio l'*Inverted F Antenna* (IFA), e vengono montate in posizioni non centrali rispetto sia alla PCB che le ospita sia rispetto al contenitore dell'apparato stesso;
- I moderni tool di simulazione sono in grado di analizzare il comportamento elettromagnetico di strutture complesse e di conseguenza non è più necessario, in fase di progetto, partire da elementi radianti classici;
- Spesso i meccanismi di propagazione presenti nell'ambiente operativo dell'apparato wireless (riflessioni e *multipath*) non necessitano di irradiare e ricevere il segnale da una direzione ben precisa.

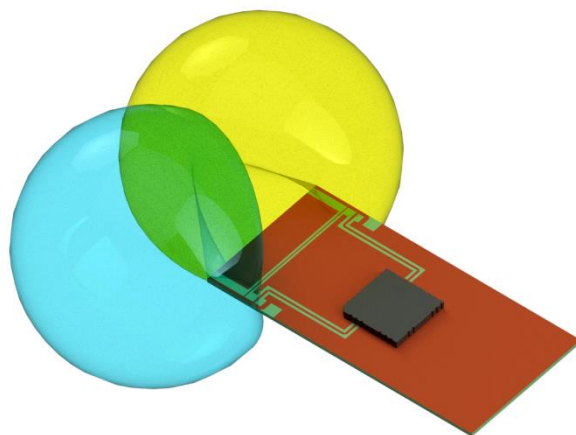


Figura 4.1

Diagrammi di radiazione complementari di due antenne MIMO.

In particolare negli apparati MIMO (Figura 4.1, vedi nostro [TEP n.21 – Introduzione alla progettazione di antenne MIMO](#)), si utilizzano volutamente simmetrie od asimmetrie per permettere alle antenne di essere tra loro scorrelate ed illuminare regioni complementari di spazio.

Anche in questo settore vi sono comunque dei casi (come ad esempio i contatori connessi dello *Smart Metering*) in cui poter prevedere un'antenna simmetrica può essere di grande aiuto per ottimizzare la connettività dell'apparato alla rete wireless, specialmente tenendo conto del suo ambiente operativo.

5. Conclusioni.

La simmetria rappresenta al giorno d'oggi un criterio poco noto nella definizione, collocazione ed utilizzo delle antenne. Pur essendo ben chiaro ai progettisti che operano in settori dove sono richieste specifiche stringenti, in molte applicazioni professionali questo principio risulta poco noto e spesso trascurato.

Il Cliente che intende acquistare un'antenna standard, o farsi realizzare ad hoc un'antenna professionale, può valutare il prodotto od il progetto anche basandosi sulla semplice considerazione che spesso l'impiego di un'antenna simmetrica si traduce in una migliore performance nella radiazione.

Nel caso delle antenne integrate, quasi sempre nella fase iniziale del progetto è possibile definire la loro posizione all'interno dell'apparato tenendo conto di quanto qui suggerito: poter inserire l'antenna in una configurazione simmetrica rispetto alla scheda elettronica e/o il contenitore dell'apparato, permette di ottimizzare le caratteristiche di radiazione di tutto "l'oggetto wireless", migliorandone apprezzabilmente le prestazioni.

Tutto questo nella speranza di aver fornito un ulteriore spunto di riflessione sul mondo del wireless, e su come l'attenzione verso determinati aspetti della progettazione riduca il rischio di potenziali criticità e/o problemi, rendendo possibile la realizzazione di antenne in grado di garantire prestazioni migliori rispetto ai normali prodotti standard.

Tutte le informazioni e le esperienze riportate in questo articolo sono frutto dell'attività di progettazione, sviluppo e realizzazione di antenne custom professionali svolta da ElettroMagnetic Services Srl con il metodo AntennaSuMisura.

Per domande, chiarimenti o approfondimenti in merito a questo o ad altri argomenti riguardanti le antenne professionali scrivi a bollini@elettromagneticservices.com

Grazie per il tempo che hai dedicato alla lettura di questo articolo.

Trovi l'elenco completo delle nostre pubblicazioni tecniche cliccando qui:

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

AntennaSuMisura

by

ElettroMagnetic Services
SRL

Trasmettiamo la tua eccellenza!