

Antenne direttive

BIDIREZIONALI



per applicazioni *WiFi, IoT e Smart Road.*

Ing. Francesco Zaccarini

Nell'era della connettività wireless più esasperata e capillare, le antenne bidirezionali sono in grado di risolvere od ottimizzare la copertura di certe particolari aree.

Sebbene sia possibile implementare un sistema d'antenna bidirezionale installando due antenne direttive in configurazione *back-to-back*, talvolta questa soluzione non fornisce le prestazioni ottimali rispetto ad una singola antenna realizzata ad hoc.

In questo approfondimento tecnico viene presentata una panoramica su questi sistemi d'antenna: come vengono realizzati e quali prestazioni sono in grado di fornire.



1. Introduzione.

Per *antenna bidirezionale* si intende un sistema radiante, di tipo direttivo, la cui radiazione avviene attraverso due lobi o fasci principali, orientati in direzioni antiparallele.

Antenne di questo tipo sono indicate ogni volta che vi è la necessità di coprire un'area la cui estensione è prevalente in una dimensione (longitudinale) rispetto all'altra (trasversale). Nella pratica è possibile trovare numerose situazioni di questo tipo, quali ad esempio:

- Tratti stradali ed autostradali, anche su viadotti e gallerie;
- Corridoi di alberghi ed edifici pubblici;
- Aree di transito e collegamento nei terminal degli aeroporti;
- Settori di magazzini e logistiche percorsi da muletti o carrelli a guida autonoma.

La soluzione più intuitiva per implementare un sistema d'antenna che irradi verso due direzioni opposte è quella mostrata nella figura di copertina, nella quale sono raffigurate due antenne direttive (tipo *Yagi-Uda*) con radome, montate su di un palo in configurazione *back-to-back* ed alimentate con un unico cavo coassiale attraverso un ripartitore di potenza a -3dB.

Sebbene tale soluzione venga adottata nella maggior parte delle installazioni, come si vedrà in seguito non sempre rappresenta la configurazione ottimale, sia in termini di prestazioni elettriche che di ingombri meccanici.

Infatti, nel caso in cui siano richieste esigenze di copertura molto spinte e/o su frequenze piuttosto elevate, come ad esempio nelle applicazioni di connettività autostradale *WiFi* (applicazioni *Smart Road*), l'impiego di un sistema d'antenna bidirezionale integrato rappresenta la soluzione ottimale, sia dal punto di vista prestazionale che economico.

2. Tipologie di antenne bidirezionali.

Da un punto di vista progettuale, un'antenna bidirezionale può essere concepita e realizzata secondo tre tipologie differenti:

- a) Due antenne distinte, installate in configurazione back-to-back ed alimentate mediante un ripartitore esterno;*
- b) Due elementi radianti integrati, ovvero montati in configurazione back-to-back con alcune parti in comune ed un singolo punto di alimentazione;*
- c) Un singolo elemento radiante caratterizzato da un diagramma di radiazione bidirezionale.*

Per meglio chiarire queste tre configurazioni si considerino i rispettivi esempi che seguono, nei quali è stato utilizzato un semplice elemento radiante (consistente in una coppia di dipoli paralleli) che viene declinato nei tre diversi casi.

2.1. Caso α : due antenne distinte.

In questa configurazione (**Figura 2.1**) vi sono due antenne identiche, ciascuna rappresentata da una coppia di dipoli paralleli, mutuamente spaziate di $\lambda/2$, posti ad una distanza di 0.2λ da un riflettore metallico con dimensioni pari a λ .

Ognuna di queste antenne, se presa da sola, rappresenta un tipico pannello con un guadagno di 10 dBi ed una larghezza di fascio di 60° nel piano H (**Figura 2.2**).

I pannelli sono quindi installati in configurazione *back-to-back* ed alimentati mediante due tratti di cavo coassiale di uguale lunghezza, facenti capo ad un ripartitore.

Come già mostrato nell'immagine di copertina, un'installazione pratica di questo tipo si avvale di un supporto meccanico e delle staffe di fissaggio a palo per ogni antenna: di conseguenza la distanza **D** tra le antenne diventa una variabile non definita a priori e che può raggiungere dimensioni rilevanti rispetto a λ , specie se si considerano le bande di frequenza più elevate (3.6 GHz ed 5.8 GHz).

Dato che, di fatto, anche due elementi radianti montati in configurazione *back-to-back* diventano un'antenna composita, le caratteristiche di radiazione del sistema d'antenna che si ottiene dipendono dalla distanza **D**.

La **Figura 2.3** mostra questa caratteristica, riportando una serie di diagrammi di radiazione nel piano H, corrispondenti a diverse distanze **D** tra le antenne.

Anche se non si riscontrano grandi variazioni nella larghezza di fascio dei due lobi principali, tale parametro influenza in modo sensibile la radiazione verso le altre direzioni, che sono altrettanto importanti in molte installazioni per garantire una buona copertura, come ad esempio nel caso di un tratto di autostrada che si estende da ambo i lati rispetto al punto (centrale) in cui è collocata l'antenna.

Sebbene i risultati di **Figura 2.3** siano riferiti ad un ben definito elemento radiante e le differenze

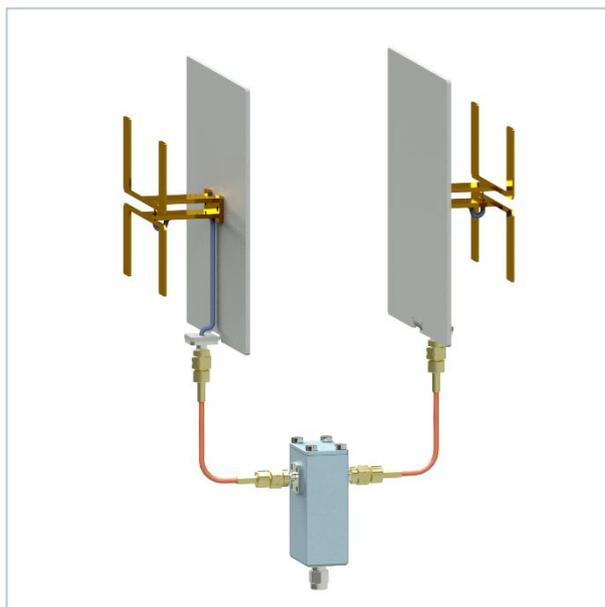


Figura 2.1

Caso α : due antenne distinte in *back-to-back*.

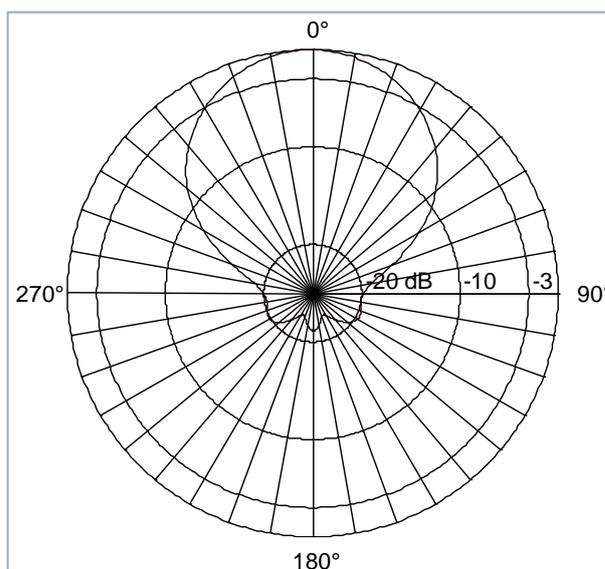


Figura 2.2

Diagramma di radiazione nel piano H di una singola antenna direttiva di **Figura 2.1**.

riscontrate al variare di D tendano ad attenuarsi utilizzando una coppia di antenne direttive di maggior guadagno, è indubbio che non è possibile caratterizzare con precisione un sistema d'antenna bidirezionale nella configurazione di **Figura 2.1** dal momento che, in generale, la distanza D varia assecondando la particolare installazione.

Inoltre, nel computo del guadagno (i valori della *direttività* sono riportati in calce ai diagrammi di **Figura 2.3**) non sono state prese in considerazione le perdite introdotte dalla rete di ripartizione esterna.

Eventuali tolleranze nella lunghezza dei cavi di collegamento tra il ripartitore e le singole antenne possono inoltre introdurre differenze di fase e/o di adattamento che hanno l'effetto di modificare i diagrammi di **Figura 2.3**, specie nelle bande di frequenza più elevate, come ad esempio i 5.8 GHz.

Se in molti casi pratici l'impiego di due antenne direttive distinte, installate in *back-to-back* ed alimentate mediante un ripartitore esterno, si rivela soddisfacente, in applicazioni nelle quali è necessario assicurare una copertura ottimale è consigliabile optare per un sistema ottimizzato, già progettato per essere bidirezionale e dalle caratteristiche di radiazione definite con precisione, come si vedrà più avanti nel "caso b" e nel "caso c".

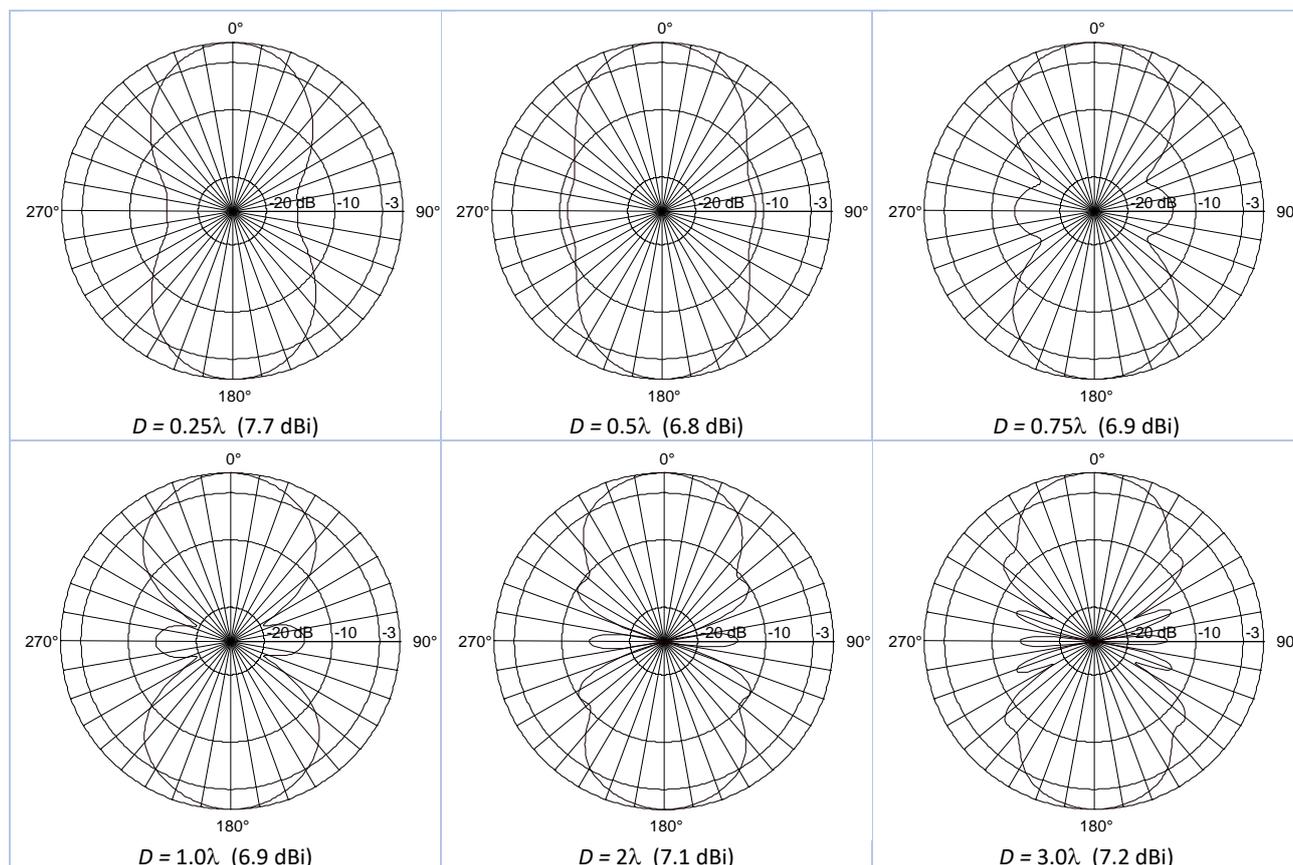


Figura 2.3

Diagrammi di radiazione nel piano H calcolati a diversi valori di distanza D tra le due singole antenne di **Figura 2.1**.

2.2. Caso b: elementi radianti integrati.

La seconda tipologia di antenna bidirezionale (**Figura 2.4**) prevede l'integrazione dei due elementi radianti sulle facce opposte di un singolo riflettore, ovvero di una lastra metallica con dimensioni pari a λ . Rispetto al caso precedente, si hanno due principali vantaggi:

- l'antenna bidirezionale presenta dei diagrammi di radiazione caratterizzati con precisione, ovvero riscontrabili anche in posizione operativa, dal momento che non esiste più il grado di libertà rappresentato dalla distanza D , che dipende dalla particolare installazione;
- si possono progettare gli elementi radianti in modo da prevedere un singolo punto di alimentazione e con un'impedenza d'ingresso opportuna, come schematizzato nella figura, evitando l'impiego di ripartitore e cablaggi esterni.

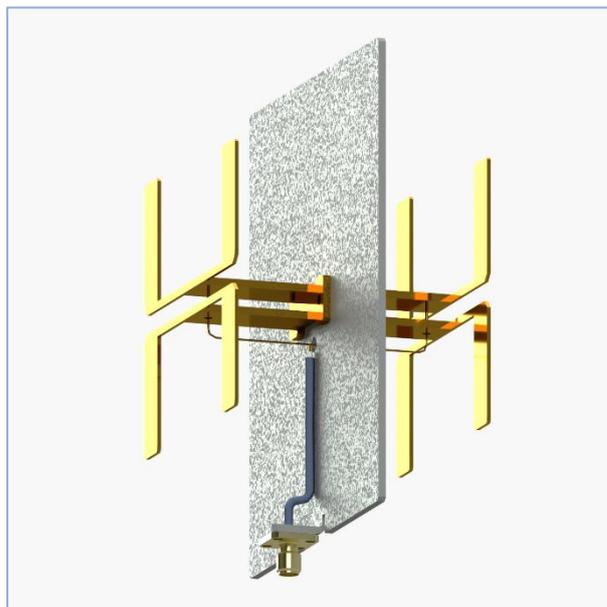


Figura 2.4

Caso b: due elementi radianti integrati.

La **Figura 2.5** riporta il diagramma di radiazione, nel piano H, calcolato per il sistema bidirezionale integrato di **Figura 2.4**: in questa particolare configurazione si ottiene una direttività di 7.0 dBi, sempre riferita ad entrambi i fasci.

Da un punto di vista pratico un'antenna di questo tipo viene incasellata in un involucro (*radome*) molto più compatto rispetto al caso precedente, e si utilizza un montaggio denominato "a bandiera", che può essere convenientemente fatto sia a palo (ad esempio a lato strada) che a parete (ad esempio a metà di un corridoio o di una galleria, **Figura 2.6**).

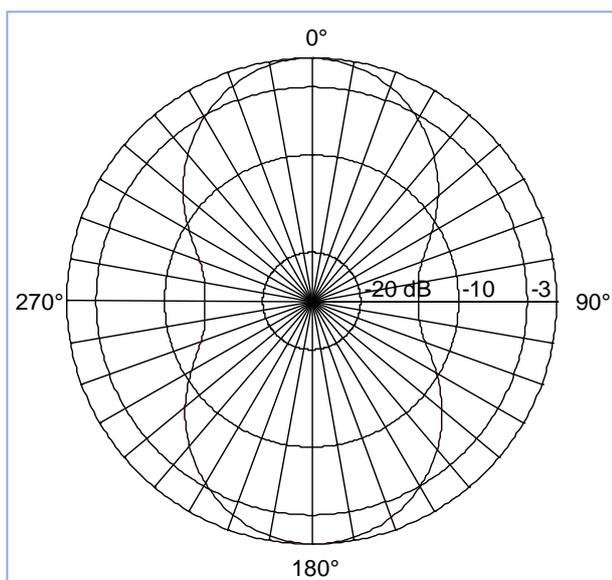


Figura 2.5

Diagramma di radiazione nel piano H dell'antenna bidirezionale di **Figura 2.4**.



Figura 2.6

Antenna bidirezionale a 5.6 GHz con montaggio a parete (mod. BP6VWM, ElettroMagnetic Services)

2.3. Caso c: singolo elemento radiante bidirezionale.

La terza ed ultima tipologia di antenna bidirezionale, schematizzata in **Figura 2.7**, consiste in un elemento radiante singolo che implementa da solo le caratteristiche di radiazione desiderate.

In questo esempio si fa riferimento ad un'antenna su circuito stampato (PCB), costituita dai due dipoli paralleli visti in precedenza, spaziatosi $\lambda/2$ ed alimentati in fase, che irradiano nelle due direzioni *broadside* antiparallele, ovvero perpendicolari al piano della PCB.

Questa configurazione presenta, nel piano H, il diagramma di radiazione mostrato in **Figura 2.8**: la simulazione fornisce in questo caso una direttività di 5.8 dBi.

Non vi è dubbio che, da un punto di vista costruttivo e meccanico, un'antenna di questo tipo presenta notevoli vantaggi sia in termini di spessore che di semplicità costruttiva, dato che non vi sono sostanzialmente parti da assemblare ad eccezione del connettore di alimentazione, che in questo esempio è un SMA-f con montaggio diretto a saldare sulla PCB, in corrispondenza del punto di alimentazione in microstriscia.

Confrontando le caratteristiche di radiazione di questa antenna con il sistema bidirezionale precedentemente descritto (**Figura 2.4**), in questo caso si ottiene una direttività inferiore (5.8 dBi rispetto a 7.0 dBi). Senza addentrarsi sul perché di questa differenza, dovuta alla presenza del riflettore (piano immagine) nell'antenna del "caso b", in questa sede è sufficiente tener presente che, a parità di guadagno, la dimensione della PCB ("caso c") è maggiore rispetto alla dimensione del riflettore metallico nel caso precedente ("caso b").

Infine, come per il progetto di una qualsiasi altra antenna, è necessario valutare bene le perdite introdotte dalla linea di alimentazione (e dalla rete di ripartizione), che nel "caso b" e nel "caso c" è singola anziché doppia (infatti nel "caso a", ovviamente, sono presenti due reti di alimentazione/adattamento, una per ogni antenna).

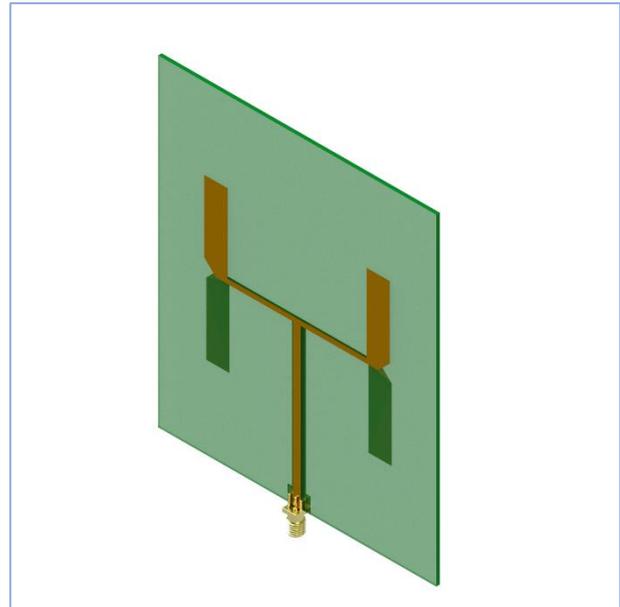


Figura 2.7

Caso c: singolo elemento radiante bidirezionale.

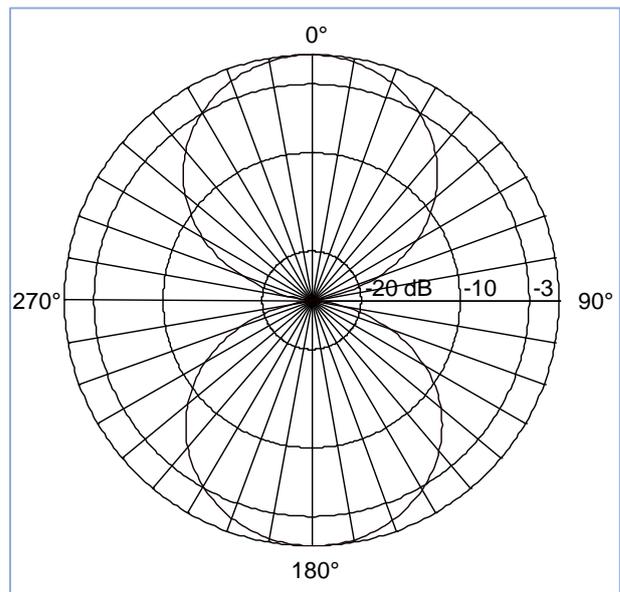


Figura 2.8

Diagramma di radiazione nel piano H dell'antenna bidirezionale di **Figura 2.7**.

3. Array bidirezionali.

Nel paragrafo precedente sono state descritte le tre tipologie fondamentali di antenne bidirezionali, prendendo ad esempio un elemento radiante di piccole dimensioni (rispetto a λ) e con un guadagno contenuto.

Qualora si presenti l'esigenza di aumentare il guadagno del sistema d'antenna, oppure di sintetizzare dei diagrammi di radiazione con caratteristiche particolari, è possibile realizzare delle antenne bidirezionali composite (*array bidirezionali*) utilizzando più elementi radianti semplici, opportunamente disposti ed alimentati.

Se nel "caso a" ciò equivale ad utilizzare due array direttivi distinti, ad esempio due pannelli od una coppia di *Yagi*, nelle configurazioni di cui al "caso b" ed al "caso c" si progettano e realizzano veri e proprie schiere di elementi radianti bidirezionali.

Così facendo, è possibile implementare nell'antenna delle caratteristiche di radiazione ben precise nonché rigorosamente uguali per entrambi i fasci, quali ad esempio l'inclinazione degli stessi verso il basso (*downtilt*), oppure la loro inclinazione verso una determinata direzione nel piano orizzontale (*squint*), oltre alla compensazione degli zeri nei diagrammi di radiazione nel piano verticale e/o orizzontale.

Esempi di array bidirezionali per la banda dei 2.4 GHz sono mostrati in **Figura 3.1**, dove le due antenne nella foto (rispettivamente per le polarizzazioni verticale ed orizzontale) appartengono alla tipologia descritta nel "caso b", ovvero con elementi radianti (qui dei *patch circolari*) integrati su entrambi i lati di un singolo piano di massa. Quest'ultimo è stato realizzato metallizzando un laminato dielettrico a bassa perdita, sul quale è stata pure integrata la rete di alimentazione ed adattamento in microstriscia. Tale rete implementa anche un *downtilt* ed uno *squint*, rispettivamente in azimuth ed in elevazione.

Con questi array di 2x3 patch circolari su ogni lato, connessi alla rete di ripartizione attraverso un



Figura 3.1

Array bidirezionali, rispettivamente in polarizzazione V ed H, per la banda dei 2.4 GHz (ElettroMagnetic Services).

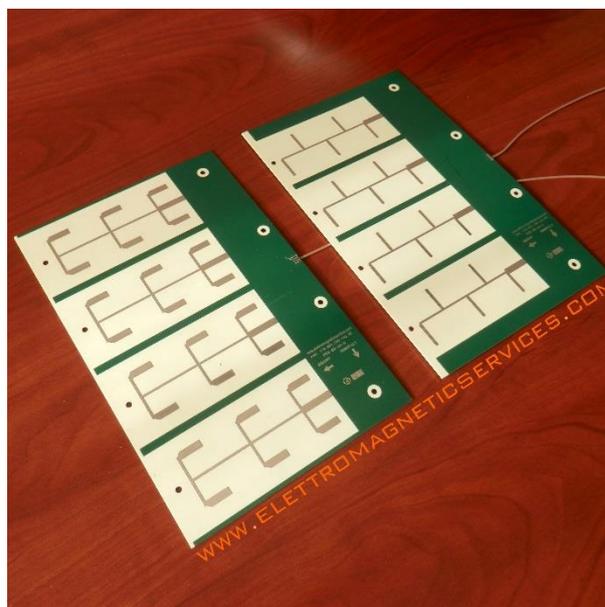
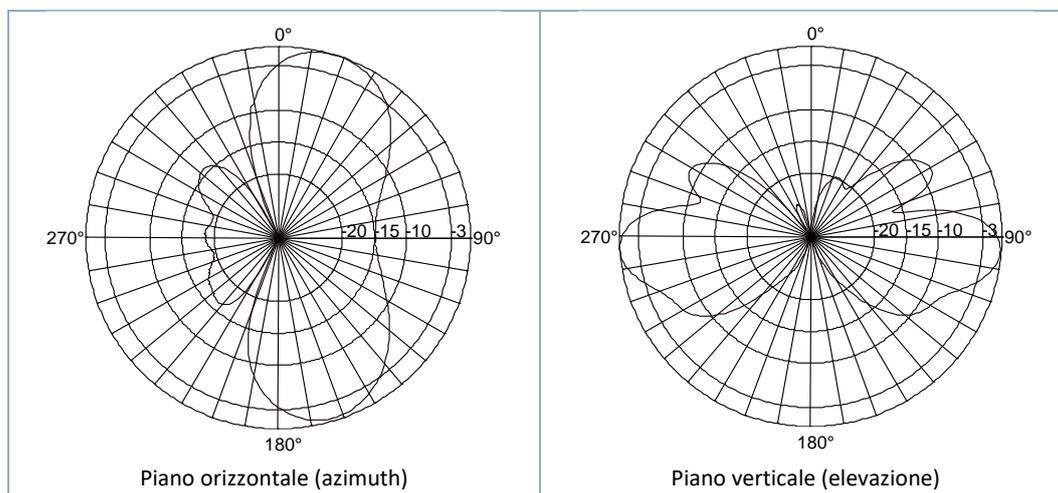


Figura 3.2

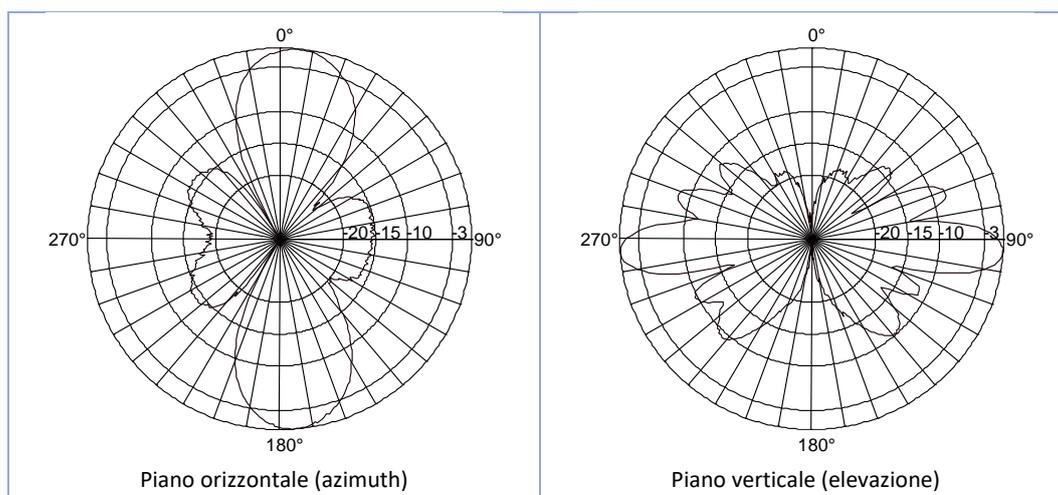
Array bidirezionali, rispettivamente in polarizzazione V ed H, per la banda dei 5.8 GHz (ElettroMagnetic Services).

singolo punto di alimentazione (direttamente a 50Ω di impedenza d'ingresso), si ottengono dei valori di guadagno di circa 11 dBi su ciascun fascio, nonché ben precise caratteristiche dei lobi di radiazione, consistenti in uno *squint* di 15° nel piano orizzontale ed un *downtilt* di 4° ±5° nel piano verticale. Non ultimo il requisito che riguarda la compensazione degli zeri del diagramma di radiazione nel piano zenitale. Sempre a titolo di esempio, i diagrammi di radiazione corrispondenti relativi all'antenna in polarizzazione verticale sono riportati nella **Figura 3.3**.


Figura 3.3

Diagrammi di radiazione dell'antenna a 2.4 GHz in polarizzazione verticale in **Figura 3.1**, misurati nei due piani principali.

Un secondo esempio di array bidirezionali, questa volta con una configurazione a dipoli complanari ovvero appartenente alla tipologia descritta nel "caso c" del precedente paragrafo, è riportato nella **Figura 3.2**, dove sono fotografate le due antenne per le rispettive polarizzazioni H e V. In questo caso si è ottenuto un guadagno di circa 13 dBi, introducendo sempre uno *squint* ed un *downtilt* nei corrispondenti diagrammi di radiazione (**Figura 3.4**), caratterizzanti anch'essi da una compensazione degli zeri nel piano verticale.


Figura 3.4

Diagrammi di radiazione dell'antenna a 5.8 GHz in polarizzazione verticale in **Figura 3.2**, misurati nei due piani principali.

4. Applicazioni delle antenne bidirezionali.

Come si è già accennato all'inizio, le antenne direttive bidirezionali trovano larga applicazione nei settori del *WiFi* e dell'*IoT*, dove è sempre più sentita l'esigenza di portare a termine installazioni in luoghi od ambienti particolari in modo efficiente, discreto ed economico.

Se nel *WiFi* risulta vantaggioso poter coprire una determinata area utilizzando il minor numero di *access point*, nel mondo dell'*IOT* dove i dispositivi *client* con le relative antenne integrate sono sempre più miniaturizzati è necessario migliorare la copertura ottimizzando le antenne dal lato dei *concentratori*.

Si sentirà pertanto sempre più l'esigenza di poter disporre di antenne studiate per la particolare applicazione, limitando l'impiego dei modelli standard ad installazioni meno critiche e più convenzionali.

Questo è il caso, ad esempio, della connettività *WiFi* che dev'essere garantita nelle autostrade del prossimo futuro, ovvero l'applicazione *Smart Road*, dove delle antenne bidirezionali progettate ad hoc giocano un ruolo fondamentale nell'ottimizzare l'efficienza della rete.

A tal proposito un esempio è mostrato nella **Figura 4.1** e **Figura 4.2**, dove si riporta la distribuzione della densità di potenza, in dBm/m^2 , su di un tratto di sede autostradale, visto in pianta.

In entrambi i casi l'antenna (o le antenne) si trovano in basso a sinistra, in corrispondenza delle coordinate (0,-5 metri) sul grafico e ad un'altezza di 6 metri dal piano stradale. La copertura si riferisce ad un tratto di 500 metri di carreggiata autostradale, e nel grafico ne vengono mostrati solo la metà di destra, dato che ovviamente la metà di sinistra è speculare rispetto a $X=0$.

Nella **Figura 4.1** sono impiegate due antenne distinte in configurazione *back-to-back*, e si evidenziano delle zone d'ombra (in blu), che non sono facilmente definibili a priori in quanto dipendono da come le due antenne direttive sono state montate (vedi *paragrafo 2.1*).

Il valore più basso di densità di potenza che si ottiene, nell'area raffigurata, è di circa $-105 \text{ dBm}/\text{m}^2$.

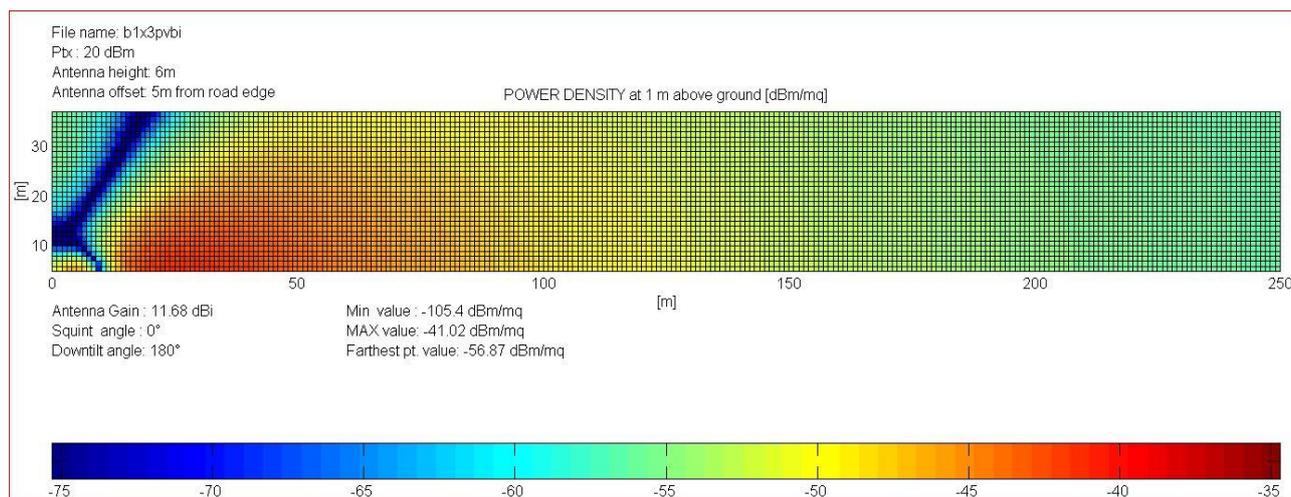


Figura 4.1

Esempio di copertura (densità di potenza irradiata) di un tratto autostradale utilizzando due antenne distinte, cablate in configurazione *back-to-back* mediante un ripartitore.

Nella **Figura 4.2**, a parità di condizioni, viene mostrata la stessa area, questa volta coperta con un'antenna bidirezionale realizzata ad hoc, ovvero con un diagramma di radiazione studiato in modo da non avere buchi o minimi profondi. Ciò è possibile potendo progettare l'antenna bidirezionale come un singolo sistema radiante integrato (vedi *paragrafi 2.2 e 2.3*).

Con questa soluzione ottimizzata, il valore peggiore di densità di potenza che viene calcolato è di circa -62 dBm/m^2 , e questo senza dover ricorrere ad una configurazione di elementi radianti molto complessa.

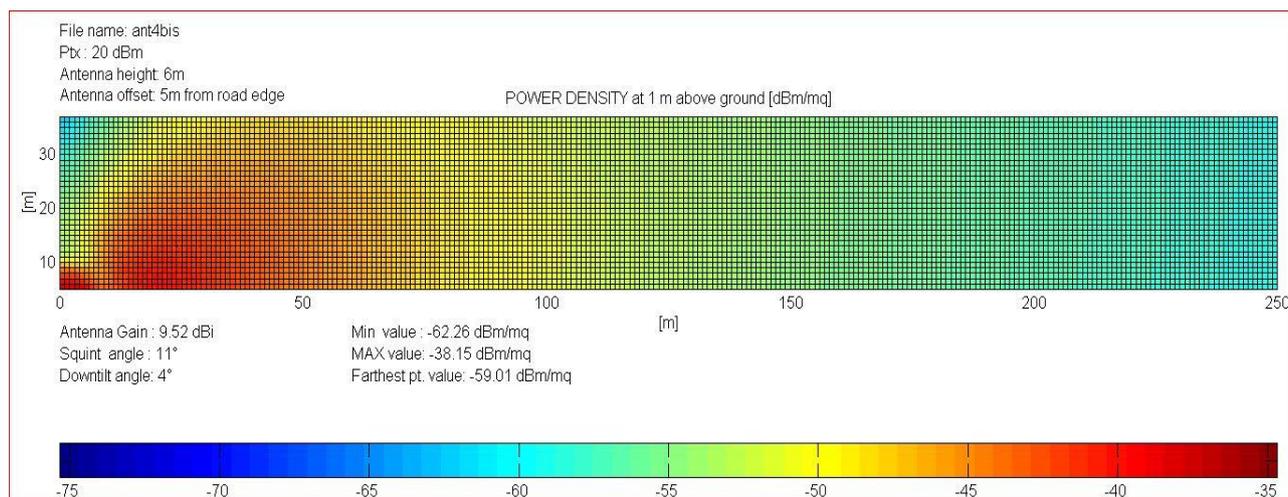


Figura 4.2

Esempio di copertura (densità di potenza irradiata) di un tratto autostradale mediante un'antenna bidirezionale realizzata ad hoc.

Anche in applicazioni *indoor*, all'interno di strutture pubbliche quali terminal aeroportuali, alberghi o stazioni ferroviarie, le antenne bidirezionali possono essere vantaggiosamente impiegate in quanto permettono di essere occultate più facilmente, ad esempio all'interno della segnaletica o dei cartelli pubblicitari, risultando così più discrete e meno soggette ad atti vandalici.

Come mostrato nelle **Figure 4.1 e 4.2**, anche nei magazzini o piazzali delle aziende che si occupano di logistica, i vantaggi che l'impiego di antenne bidirezionali può portare risultano essere sicuramente di natura più tecnica che estetica, dato che è possibile minimizzare od eliminare le zone d'ombra.

Infatti queste reti wireless vengono di solito definite ed installate utilizzando antenne convenzionali (ad esempio omnidirezionali o settoriali), spesso montate in condizioni tutt'altro che ottimali (ad esempio a ridosso di una parete di cemento armato) per le quali non è possibile fare alcuna previsione circa il comportamento radiativo che andranno ad avere in condizioni operative.

5. Conclusioni.

In questo approfondimento tecnico si è cercato fare una panoramica sulle antenne direttive di tipo *bidirezionale*, specificando il fatto che è possibile realizzare ad hoc dei sistemi d'antenna per applicazioni che richiedono una buona copertura di aree specifiche.

Infatti, sebbene in linea di principio si possa ottenere un'antenna bidirezionale accoppiando due antenne direttive tradizionali in configurazione *back-to-back*, l'impiego di sistemi d'antenna integrati permette di realizzare antenne ottimizzate per il tipo di installazione e di copertura richiesti.

In questo approfondimento sono state descritte le tre tipologie di antenne integrate che si possono progettare e costruire, cercando di far vedere in maniera semplificata le differenze e le particolarità di ognuna.

Inoltre, sono stati riportati degli esempi di antenne bidirezionali nelle bande 2.4 GHz e 5.8 GHz che sono state sviluppate e realizzate proprio per soddisfare delle esigenze di copertura stringenti e particolari.

Nelle applicazioni *WiFi*, *IoT* e *Smart Road*, le antenne bidirezionali troveranno sempre più applicazione, anche in sistemi integrati e compatti che conterranno sia gli apparati, sia un certo numero di antenne operanti su più bande di frequenza con tecnologia *MIMO* in diversità di spazio e/o di polarizzazione.

Per sottoporci la tua domanda oppure per qualsiasi chiarimento o informazione, scrivi a 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!