

# Antenne Professionali in polarizzazione circolare

Ing. Francesco Zaccarini

**S**ia che si tratti di una sofisticata installazione in campo militare od aerospaziale, sia che si consideri un più comune utilizzo per GPS o IoT, le antenne in polarizzazione circolare sono indispensabili per molte applicazioni specifiche.

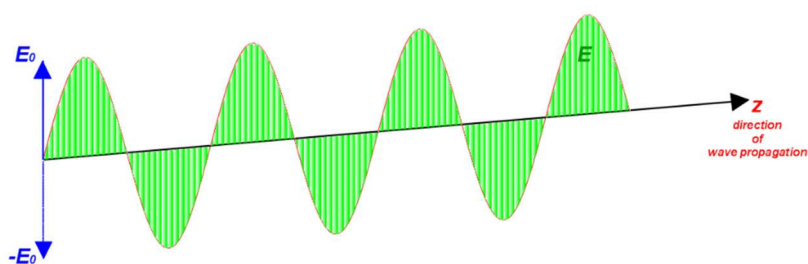
Quali sono le tipologie di antenne in polarizzazione circolare e le loro caratteristiche specifiche?

In questo breve articolo diamo una panoramica di questo genere di prodotti, così da identificare pregi e limiti di certe tipologie di antenna che possono essere ottimali per alcuni tipi di applicazioni e risultare scadenti per altre.

## 1. La polarizzazione circolare: cosa è e perché si utilizza.

Se consideriamo un'antenna trasmittente, essa genera un campo elettromagnetico  $(\vec{E}, \vec{H})$  secondo una determinata *polarizzazione caratteristica*, che per convenzione è definita dall'orientamento nello spazio della componente elettrica  $\vec{E}$  del campo  $(\vec{E}, \vec{H})$ . A grande distanza dall'antenna, il campo elettromagnetico assume le caratteristiche di un'onda piana, con le componenti elettrica  $\vec{E}$  e magnetica  $\vec{H}$  ortogonali sia tra loro che rispetto alla direzione di propagazione.

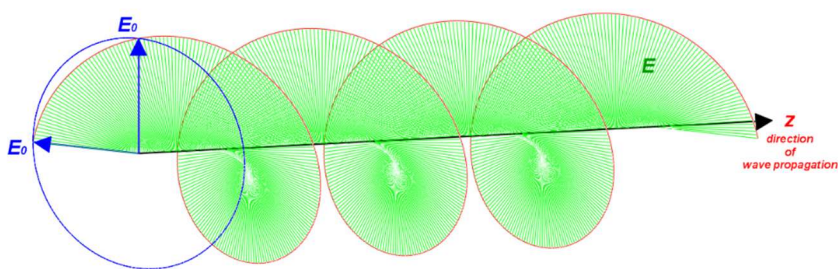
Nel caso di *polarizzazione lineare*, come ad esempio quella di un semplice dipolo, il vettore  $\vec{E}$  giace in un piano, individuato dallo stesso campo elettrico e dalla direzione di propagazione (**Figura 1.1**).



**Figura 1.1**

Rappresentazione di un'onda in *polarizzazione lineare*.

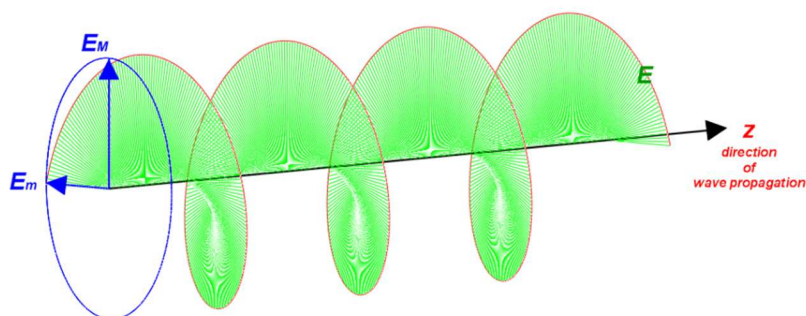
Nel caso di *polarizzazione circolare*, il vettore campo elettrico ruota in senso orario (polarizzazione circolare destrorsa, **Figura 1.2**) od antiorario (polarizzazione circolare sinistrorsa) man mano che si allontana dalla sorgente, descrivendo un'elica il cui passo è pari alla lunghezza d'onda  $\lambda$ . Con riferimento alla **Figura 1.2**, la proiezione di  $\vec{E}$  sul piano (x,y) descrive una circonferenza di raggio costante  $E_0$ .



**Figura 1.2**

Rappresentazione di un'onda in *polarizzazione circolare* (destrorsa).

Una polarizzazione circolare perfetta come in **Figura 1.2** rappresenta ovviamente un caso ideale, ed in genere si ha a che fare con una *polarizzazione ellittica*, come in **Figura 1.3** (anche in questo esempio destrorsa). Come si può vedere dalla figura, la proiezione del vettore campo elettrico su di un piano normale alla direzione di propagazione genera un'ellisse il cui *rapporto assiale* è ricavato dai valori, massimo e minimo,  $E_M$  ed  $E_m$ .


**Figura 1.3**

Rappresentazione di un'onda in *polarizzazione ellittica* (destrorsa).

La polarizzazione caratteristica dipende da com'è costruita l'antenna e quest'ultima, se utilizzata come ricevente, è sensibile solamente alla medesima polarizzazione dell'onda incidente su di essa: ne segue che, per massimizzare il margine di un determinato radiocollegamento, è necessario ridurre al minimo il *polarization mismatch*, ovvero il disadattamento dovuto alla differenza di polarizzazione.

Nella maggior parte dei radiocollegamenti in visibilità, il disadattamento dovuto alla diversità di polarizzazione viene minimizzato utilizzando due antenne con la medesima polarizzazione caratteristica.

Vi sono però molti casi in cui ciò non è possibile, per due motivi principali:

- a)** le condizioni di propagazione modificano in modo casuale la polarizzazione dell'onda elettromagnetica che arriva all'antenna ricevente;
- b)** il mutuo orientamento di una od entrambe le antenne del radiocollegamento può variare, anch'esso in modo casuale.

Nel caso **a)** è possibile pensare ad un collegamento satellitare, dove l'onda elettromagnetica subisce una rotazione nel passaggio attraverso l'atmosfera (*rotazione di Faraday*); oppure un radiocollegamento in cui il segnale ricevuto ha subito delle riflessioni, dovute sia alla presenza di ostacoli (naturali od artificiali) sia a particolari caratteristiche fisiche della troposfera (*multipath*).

Nel caso **b)** è possibile fare riferimento ad un radiocollegamento tra una stazione radio base ed un dispositivo Client, come ad esempio potrebbe essere un *dispositivo IoT* od anche uno *smartphone*, la cui posizione nello spazio può variare significativamente nel tempo, in modo non definibile a priori.

Come vedremo in seguito, in un radiocollegamento l'utilizzo della polarizzazione circolare permette di minimizzare gli effetti di attenuazione dovuti ai meccanismi propagativi suindicati.

## 2. Parametri elettrici della polarizzazione circolare.

Una qualsiasi antenna reale, pur se progettata per ottenere una polarizzazione circolare, in realtà sarà caratterizzata da una polarizzazione ellittica. Quanto questa polarizzazione ellittica si avvicini ad una polarizzazione circolare ideale, viene definito dal *rapporto assiale* o *axial ratio* (vedi **Figura 2.1**):

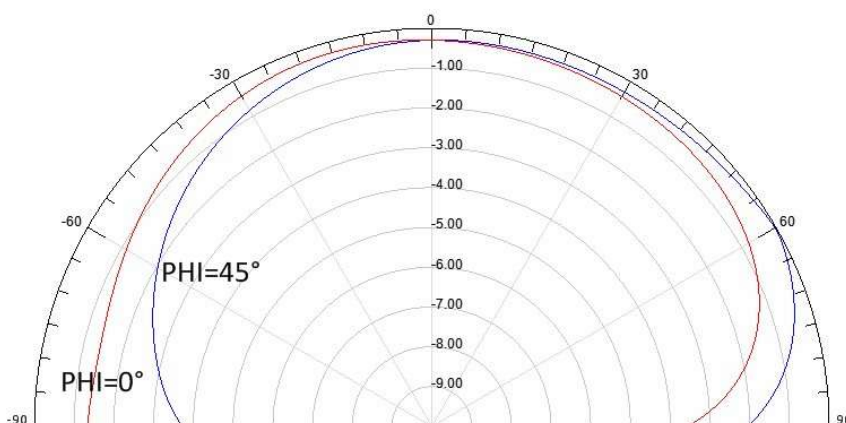
$$AR = \frac{E_M}{E_m}$$

generalmente espresso in dB e non in unità naturali.

Tale parametro è dipendente sia dalla frequenza che dalla direzione. Nel primo caso si calcola a centro banda, oppure si specifica un valore limite da non superare in tutta la banda operativa; nel secondo caso si definisce un settore angolare, solitamente simmetrico attorno alla direzione di massima radiazione, all'interno del quale l'*axial ratio* si mantiene entro un certo valore, di solito fissato a 3 dB (**Figura 2.1**).

Ad esempio, nel caso di antenne direttive, si hanno valori di *AR* anche inferiori al dB in corrispondenza della direzione di massima radiazione, mentre per antenne con un diagramma di radiazione emisferico si cerca di mantenere un rapporto assiale relativamente basso all'interno di tutto il lobo principale.

Si ricorda che il guadagno di un'antenna in polarizzazione circolare deve essere espresso in *dBic*, ovvero in dB riferiti al *radiatore isotropo in polarizzazione circolare*, un dettaglio spesso trascurato nei datasheet.



**Figura 2.1**

Andamento del rapporto assiale [dB], a centro banda, di un'antenna a patch per applicazioni satellitari, in funzione dell'angolo rispetto alla direzione di massima radiazione ( $\theta=0^\circ$ ). Le due curve indicano i rispettivi piani  $\varphi=0^\circ$  e  $\varphi=45^\circ$ .

### 3. Il *polarization mismatch*.

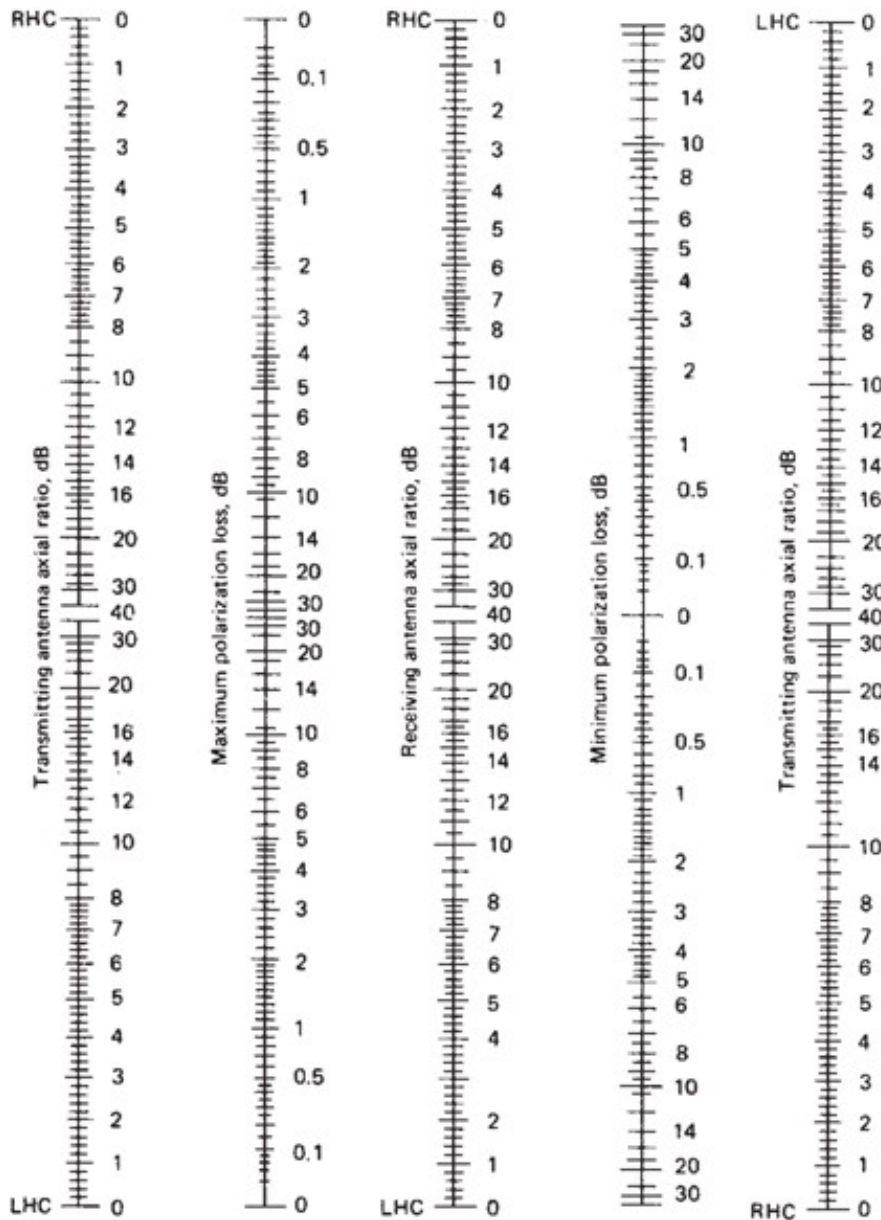
Il disadattamento di polarizzazione (*polarization mismatch*) è un fenomeno che causa una perdita addizionale tra le antenne trasmittente e ricevente di un radiocollegamento, perdita che si somma all'attenuazione di spazio libero se le antenne non hanno la stessa polarizzazione caratteristica nella direzione di puntamento.

Questo meccanismo fisico può causare notevoli affievolimenti del segnale (*fading*) fino al caso limite in cui la polarizzazione dell'onda incidente sull'antenna ricevente risulta essere *ortogonale* alla polarizzazione caratteristica di quest'ultima. In questo caso si ha un'attenuazione teoricamente infinita, dato che due polarizzazioni ortogonali sono totalmente disaccoppiate fra loro.

Nel già accennato caso di un collegamento terra-satellite, dove l'onda elettromagnetica che attraversa la ionosfera è interessata da un fenomeno propagativo detto *rotazione di Faraday*, l'utilizzo di entrambe le antenne (a bordo del satellite e nella stazione di terra) in polarizzazione circolare permette di escludere questo problema, essendo la polarizzazione circolare insensibile a questo fenomeno.

Nel caso di un radiomicrofono da palco, che opera con un'antenna in polarizzazione lineare che, durante l'utilizzo, assume un orientamento casuale, l'impiego di un'antenna ricevente in polarizzazione circolare permette di ridurre notevolmente i fenomeni di fading mantenendo una perdita teorica costante di 3dB sul margine del collegamento. Questo in quanto una polarizzazione circolare può essere sempre vista come la composizione di due polarizzazioni lineari ortogonali in quadratura, ovvero mutuamente sfasate di  $90^\circ$ .

Nel caso di due antenne in polarizzazione lineare, oppure di un'antenna in polarizzazione circolare e l'altra antenna in polarizzazione lineare, il calcolo del polarization mismatch è immediato. Diverso è il caso di due polarizzazioni ellittiche con determinati valori di *axial ratio*: in questo caso è più comodo basarsi su di un normografo come quello riportato in **Figura 3.1**, dal quale è possibile ricavare la minima e massima perdita, corrispondente al fatto che le ellissi di polarizzazione dell'antenna trasmittente e ricevente hanno gli assi mutuamente allineati oppure ortogonali.



**Figura 3.1**

Normografo per calcolare le perdite (massima e minima) dovute al disadattamento di polarizzazione (fonte John Wiley & Sons, Ltd).

Nell'impiego di questo normografo, è necessario tener presente che un rapporto assiale di 0dB corrisponde ad una polarizzazione circolare ideale, mentre un rapporto assiale di 30 o 40 dB corrisponde in pratica ad una polarizzazione lineare: tracciando una linea tra il punto RHC (polarizzazione circolare destrorsa) 0dB (prima colonna a sinistra) ed il punto RHC (colonna centrale) 40dB (polarizzazione lineare), sulla seconda colonna si intercetta un punto con una perdita di polarizzazione di 3 dB. Lo stesso si può fare con la terza e la quinta colonna da sinistra.

#### 4. Tipologie di antenne in polarizzazione circolare.

Un'antenna in polarizzazione circolare può essere sviluppata in vari modi, in funzione delle caratteristiche elettriche che si vogliono ottenere.

Oltre alle consuete specifiche su adattamento, diagramma di radiazione e guadagno, per la polarizzazione circolare è necessario tener conto del *verso della polarizzazione* (destrorso o sinistrorso) e del *rapporto assiale*, quest'ultimo riferito o alla direzione di massima radiazione oppure ad un dato angolo solido, di solito coincidente con il lobo principale.

Le antenne in polarizzazione circolare possono essere classificate come segue.

- A. Con un elemento radiante "intrinsecamente" in polarizzazione circolare.
- B. Con una o più coppie di elementi radianti in polarizzazione lineare ortogonale alimentati in quadratura, mediante una opportuna rete di ripartizione e sfasamento;
- C. Con un singolo elemento radiante che supporta due polarizzazioni lineari ortogonali, la cui geometria permette di ottenere una quadratura di fase tra le stesse, pur utilizzando un singolo punto di alimentazione.

Diamo quindi alcuni esempi di queste tipologie di antenne.

##### 4.1. Antenne intrinsecamente in polarizzazione circolare.

Vi sono degli elementi radianti la cui forma permette di ottenere una polarizzazione circolare caratteristica, senza dover ricorrere a delle configurazioni più complesse.

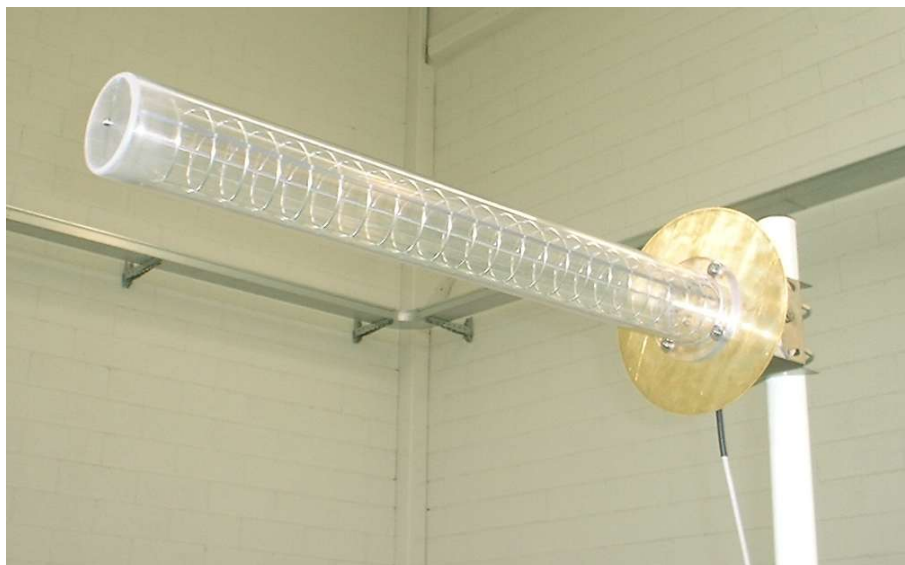
Un esempio notevole è dato dall'antenna ad elica operante in modo assiale (*axial mode helical antenna*), mostrata sia nell'immagine di copertina che nella **Figura 4.1**.

Quest'antenna è costituita da un conduttore filiforme avvolto ad elica ed alimentato in modo sbilanciato rispetto ad un riflettore metallico con dimensioni pari a circa  $\lambda$ . Se la circonferenza dell'elica è circa pari alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , l'antenna irradia in direzione *endfire* una polarizzazione circolare, il cui rapporto assiale migliora con l'aumentare del numero delle spire. La direzione di avvolgimento dell'elica determina il verso della polarizzazione circolare.

In pratica il conduttore opera come un elemento radiante ad onda progressiva: l'intera elica può quindi essere immaginata come costituita da una spezzata di tanti piccoli elementi di corrente contigui, la cui fase dipende dalla distanza del singolo elemento dal punto di alimentazione dell'antenna. Senza addentrarci nella spiegazione rigorosa del meccanismo di radiazione, sono la forma e le dimensioni dell'elica che permettono di ottenere una polarizzazione circolare da questa struttura.

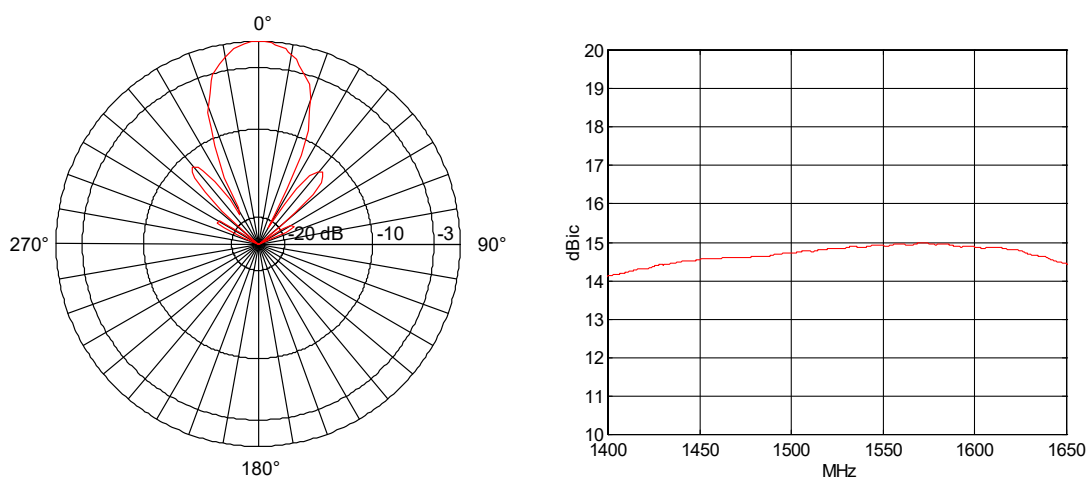
Naturalmente con l'aumentare del numero di spire aumenta anche la direttività dell'antenna, che può facilmente raggiungere valori di guadagno superiori ai 10÷12 dBic. Come accade per le antenne ad onda progressiva, un aumento indefinito della lunghezza del conduttore non porta, oltre un certo limite, ad un

corrispondente incremento di guadagno, dato che la corrente che scorre nell'elemento tende ad esaurirsi, a causa della radiazione, man mano che ci si allontana dal punto di alimentazione dell'antenna.



**Figura 4.1**

*Axial mode helical antenna per la banda 1400÷1650 MHz.*



**Figura 4.2**

Diagramma di radiazione e curva di guadagno dell'antenna di Figura 4.1.

Vi sono altre tipologie di antenna che permettono di ottenere la polarizzazione circolare attraverso un singolo elemento radiante, opportunamente dimensionato e sagomato, e che utilizzano essenzialmente delle configurazioni a spirale.

#### 4.2. Antenne costituite da elementi radianti con polarizzazioni lineari ortogonali, alimentati in quadratura mediante una rete di ripartizione e sfasamento dedicata.

Sicuramente in questa categoria rientrano moltissime antenne in polarizzazione circolare, come ad esempio le Yagi incrociate (vedi immagine di copertina) o l'antenna *turnstile*, costituita da una coppia di dipoli ortogonali, alimentati in quadratura mediante un ripartitore ed una linea di ritardo, posti sopra un piano metallico.

Un esempio di *turnstile* è mostrato nella **Figura 4.3**, dove le due coppie di dipoli ortogonali sono in realtà quattro elementi radianti distinti, in configurazione *half-sloper*, alimentati separatamente con una rete di ripartizione a quattro uscite a -6 dB, rispettivamente con fasi relative pari a  $0^\circ$ ,  $-90^\circ$ ,  $-180^\circ$  e  $-270^\circ$ .



**Figura 4.3**

Esempio di antenna *turnstile* su riflettore circolare (sopra) e relativa rete di ripartizione e sfasamento (sotto).

La **Figura 4.4** mostra invece un pannello in banda  $2.0\div 2.3$  GHz, costituito da un array bidimensionale di  $3\times 3$  elementi radianti composti in polarizzazione circolare. Ciascun elemento radiante è costituito da due coppie di dipoli in polarizzazione lineare ortogonale, alimentati attraverso un ripartitore e delle linee di ritardo che implementano uno sfasamento di  $90^\circ$  tra le due direzioni  $+45^\circ$  e  $-45^\circ$ .

Ciascuno di questi elementi radianti composti viene poi alimentato in fase mediante un ripartitore centrale, posto in prossimità del connettore di ingresso all'antenna.



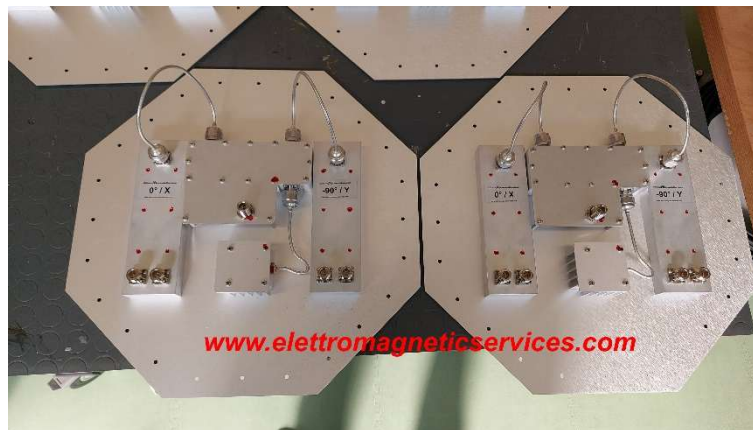
**Figura 4.4**  
Pannello in polarizzazione circolare LP13C.

Nel caso in cui si debba realizzare un'antenna a larga banda e/o con stringenti requisiti sull'*axial ratio*, è necessario progettare una rete di ripartizione e sfasamento ad hoc che permetta di fornire, agli ingressi dei singoli elementi radianti in polarizzazione lineare, precisi valori sia di ampiezza che di fase, pressoché costanti su tutta la banda operativa.

Un esempio è mostrato nella **Figura 4.5**, dove si possono vedere due reti di alimentazione appositamente realizzate per antenne *UHF-Satcom*: questo disegno utilizza un accoppiatore ibrido a  $-3\text{dB}$  e  $90^\circ$  che permette di mantenere la quadratura entro  $\pm 1^\circ$  su tutta la banda operativa dell'antenna, da 240 a 320 MHz, con uno sbilanciamento tra le uscite di 0.5 dB.

È ovvio che una scelta progettuale di questo tipo viene fatta solo per particolari applicazioni, dove è richiesto un *axial ratio* basso e costante su tutta la banda operativa.

In molti casi è possibile semplificare la realizzazione dell'antenna, utilizzando degli accorgimenti che permettono di eliminare la rete di ripartizione e sfasamento, come vedremo nel prossimo paragrafo.

**Figura 4.5**

Rete di ripartizione e sfasamento che impiega due ripartitori e un accoppiatore ibrido a -3dB, in banda UHF- Satcom.

**4.3. Antenne con un singolo elemento radiante che supporta due polarizzazioni lineari ortogonali, la cui geometria permette di ottenere una quadratura di fase tra le stesse pur utilizzando un singolo punto di alimentazione.**

Vi sono delle applicazioni per le quali non sono richiesti valori stringenti di *axial ratio*, e ci si può per così dire accontentare di una polarizzazione ellittica o comunque circolare all'interno di una banda piuttosto stretta.

In questo caso è possibile semplificare molto la costruzione dell'antenna, eliminando la rete di ripartizione/sfasamento mediante degli accorgimenti che permettono di eccitare entrambe le polarizzazioni ortogonali ed in quadratura su di un singolo elemento radiante.

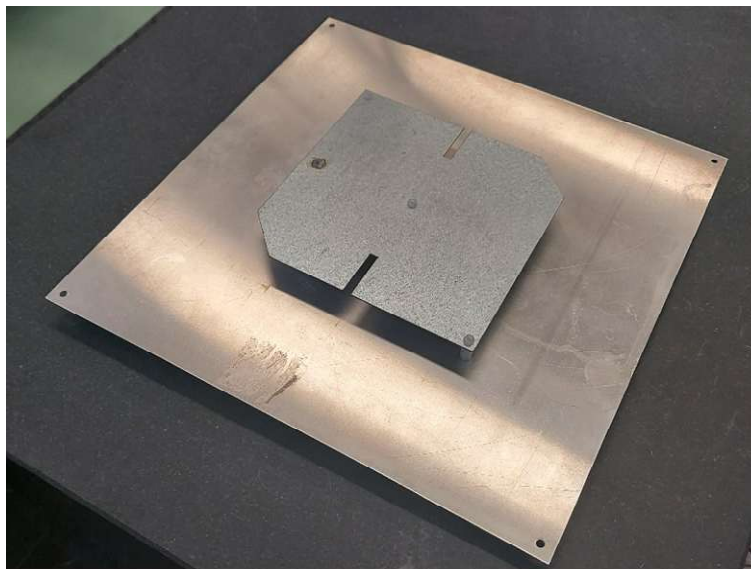
**Figura 4.6**

Patch su substrato ceramico per GPS.

Un esempio è rappresentato dall'elemento patch quadrato, su substrato ceramico, mostrato in **Figura 4.6**: un'antenna per il GPS molto comune.

Oppure un secondo esempio è riportato nella **Figura 4.7**, dove è fotografato un elemento patch in aria per applicazioni RFID, operante a circa 900 MHz.

Anziché adottare due alimentazioni indipendenti, poste lungo gli assi di simmetria ortogonali dell'antenna, per far funzionare il patch nei due rispettivi modi di risonanza, in questi casi si utilizza un solo punto di alimentazione, asimmetrico, e si praticano smussi, tagli o slot sull'elemento radiante, così da generare due distribuzioni di correnti ortogonali e, più o meno, in quadratura.



**Figura 4.7**

Patch in polarizzazione circolare per applicazioni RFID.

Questa semplificazione costruttiva dell'antenna può essere praticata anche su differenti tipologie di elementi radianti, come l'antenna *turnstile* per GPS di **Figura 4.8**, dove la coppia di dipoli ortogonali (qui in configurazione *a V invertita*) viene alimentata in parallelo attraverso un singolo *balun*, che serve anche da supporto meccanico degli elementi stessi.

In questo caso lo sfasamento di  $90^\circ$  è introdotto modificando le lunghezze del dipolo X e del dipolo Y (orientati secondo un sistema di assi cartesiani X,Y,Z) rispetto alla dimensione risonante, in modo da modificare le due singole impedenze d'ingresso in questo modo:

$Z_X = R - jX$ , facendo il dipolo più corto rispetto alla dimensione risonante;

$Z_Y = R + jX$ , facendo il dipolo più lungo rispetto alla dimensione risonante;

e dimensionando l'intero elemento radiante per ottenere  $R = X \cong 50 \Omega$ .

Con questo stratagemma, dal parallelo di  $Z_X$  e  $Z_Y$  si ottiene un'impedenza d'ingresso pari ad  $R$  ed uno sfasamento di  $90^\circ$  tra il dipolo X ed il dipolo Y che, con queste convenzioni, portano ad una polarizzazione circolare destra (Y in ritardo di  $90^\circ$  rispetto ad X).



**Figura 4.8**

Antenna GPS realizzata con una coppia di dipoli ortogonali, configurati a V invertita per allargare il fascio, alimentati in parallelo mediante un singolo balun e cavo coassiale.

## 5. Conclusioni.

Come da sempre facciamo nei nostri articoli riguardanti il mondo delle *antenne professionali custom*, anche questa volta lo scopo è stato quello di fornire una panoramica su questo specifico argomento a tutti coloro che, direttamente od indirettamente, possono aver bisogno di utilizzare un'antenna in polarizzazione circolare.

Ovviamente in questa sede, parlando delle diverse tipologie di antenne, è stato fatto un discorso più generale possibile, mantenendo gli esempi ad un livello di tipo tradizionale ed omettendo volutamente antenne più particolari, come ad esempio quelle a basso profilo. Su questo punto si tornerà eventualmente in una prossima pubblicazione più mirata.

Comunque sia, è importante sottolineare che vi possono essere numerose applicazioni particolari per le quali, un'attenta disamina delle esigenze del Cliente, può portare a proporre un'antenna custom polarizzata circolarmente, così da migliorare notevolmente il margine del canale radio, minimizzando i tempi di fuori servizio.

Anche per il progetto di un'antenna di questo tipo è indispensabile procedere alla scelta della configurazione più adatta, sia per quanto riguarda la tipologia di elemento radiante che la struttura della rete di alimentazione eventualmente presente, in modo da realizzare un prodotto tecnicamente ad hoc e comunque a costi contenuti.

Nel commissionare un'antenna su misura per i propri prodotti od installazioni, la cosa importante rimane sempre e comunque quella di saper scegliere dei professionisti con competenza ed esperienza in questo particolare settore, cercando quindi di raccogliere gli strumenti giusti per poter scegliere senza sorprese il partner giusto per ogni collaborazione futura.

*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](mailto: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

**Trasmetti la tua eccellenza!**