

## La polarizzazione circolare nel traffico via satellite

### 1ª Parte

#### Premessa

Per ottenere le massime prestazioni nel traffico via satellite occorre l'uso di antenne a polarizzazione circolare sia a bordo del satellite sia nella stazione terrena anche se come vedremo si possono ottenere buoni risultati usando la combinazione mista di antenne a polarizzazione lineare sul satellite e circolare sulla stazione terrena o viceversa.

In questa serie di tre articoli verranno discussi i vantaggi e gli svantaggi di usare la polarizzazione circolare o lineare per ricevere sia i segnali polarizzati linearmente che quelli polarizzati circolarmente trasmessi da un satellite verso la terra o viceversa trasmessi da terra verso un satellite.

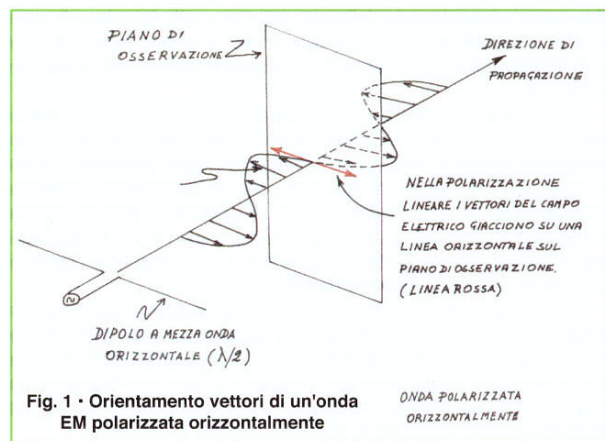
Saranno trattati e discussi schematicamente i vari tipi di antenne a polarizzazione circolare ed il loro comportamento nei confronti della radiazione nello spazio verso le antenne lineari o circolari destinate al Servizio di Amatore via Satellite.

#### Introduzione

Prima di tutto cominciamo col definire cosa è la polarizzazione circolare e come viene generata e inoltre da cosa differisce dalla polarizzazione lineare, orizzontale o verticale.

Tutti sappiamo in cosa consiste la differenza fra polarizzazione orizzontale e verticale perché i termini orizzontale e verticale sono usati per riferire il piano di polarizzazione dell'onda elettromagnetica rispetto alla superficie terrestre.

Come mostrato in Fig. 1 la polarizzazione di un'onda elettromagnetica è raffigurata sul piano di osservazione nello spazio in cui giacciono i vettori del campo elettrico che lo attraversano durante il tempo minimo di un ciclo intero della corrente RF che circola nell'antenna per cui se l'antenna è montata orizzontalmente, i vettori del campo elettrico saranno allineati e giaceranno orizzontali sul piano di osservazione e quindi l'onda elettromagnetica irradiata è detta polarizzata orizzontalmente.



Analogamente un'onda elettromagnetica irradiata da un'antenna montata verticale rispetto alla superficie terrestre sarà polarizzata verticalmente come mostrato in Fig. 2.

In ciascuno dei due casi i vettori del campo elettrico sono allineati orizzontalmente o verticalmente sul piano di osservazione rispetto alla superficie terrestre e quindi l'onda elettromagnetica risultante sarà detta polarizzata linearmente orizzontale oppure verticale.

La polarizzazione lineare può essere inclinata di qualunque angolo rispetto all'orizzonte terrestre e si può definire lineare purché i vettori del campo elettrico traccino una linea retta sul piano di osservazione che viene attraversato e non un cerchio oppure un'ellisse e quindi le polarizzazioni orizzontali e verticali sono due casi speciali della generica polarizzazione lineare.

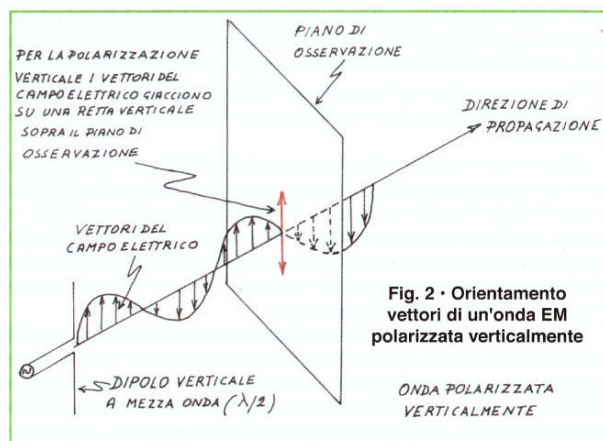
Al contrario, un'onda polarizzata circolarmente non ha i vettori del campo elettrico che giacciono sempre nella stessa direzione ma che invece ruotano di  $360^\circ$   $\Omega$  una volta per ogni ciclo della frequenza trasmessa o ricevuta.

Ciò è mostrato in Fig. 3 dove i vettori del campo elettrico ruotano in senso orario sul piano di osservazione attraversato così come vengono visti ponendosi alla sinistra del disegno sul lato dell'antenna trasmittente e in questo caso l'onda trasmessa viene chiamata polarizzata circolare destra o RHCP acronimo di (Right Hand Circular Polarization).

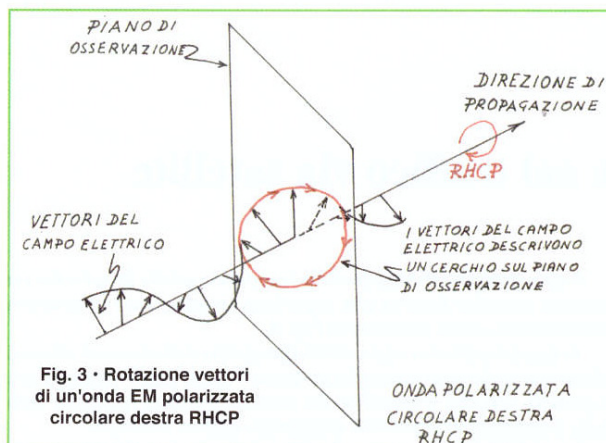
Similmente, come mostrato in Fig. 4, è possibile generare un'onda polarizzata circolare sinistra detta LHCP acronimo di (Left Hand Circular Polarization) nella quale i vettori del campo elettrico ruotano in senso opposto antiorario sul piano di osservazione attraversato quando l'osservatore si pone alla sinistra del disegno.

Nel definire il senso della polarizzazione circolare destra e sinistra è necessario specificare se la rotazione è oraria oppure antioraria rispetto all'antenna trasmittente o ricevente perché senza questo riferimento si incorre in errore e perciò lo (IEEE) Institute of Electrical and Electronic Engineers ha standardizzato che il punto di riferimento per definire il senso di rotazione è quello di porsi dietro l'antenna trasmittente.

In altri termini un'onda elettromagnetica polarizzata circolare destra (RHCP) è definita come un'onda che ruota in senso orario







quando viene vista propagarsi nello spazio dal lato trasmettitore.

La stessa onda apparirà ruotare in senso antiorario quando viene vista avvicinarsi guardandola ponendosi dietro l'antenna ricevente per cui onde evitare ambiguità la (IEEE) ha ritenuto indispensabile specificare che l'antenna trasmittente debba essere usata come punto di riferimento.

Si può anche dimostrare matematicamente che un'onda polarizzata circolarmente è la risultante di due onde componenti, una orizzontale e l'altra verticale, alimentate o spaziate in modo che fra le due esista una differenza di fase di  $90^\circ$ .

Tuttavia onde elettromagnetiche che siano puramente lineari o puramente circolari esistono solo in teoria infatti in pratica è impossibile generare un'onda polarizzata orizzontalmente senza che questa abbia delle componenti verticali e viceversa generare un'onda polarizzata verticalmente senza che questa abbia componenti orizzontali.

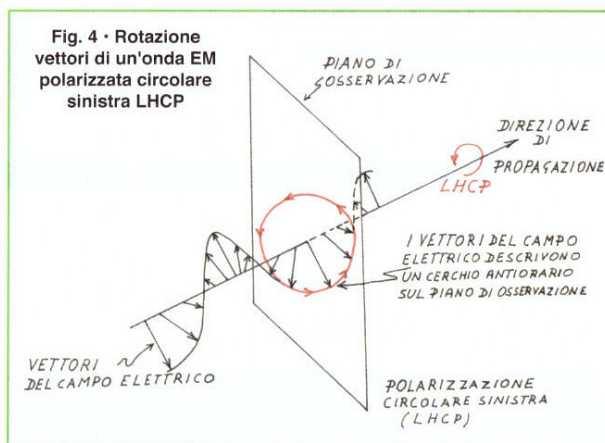
Per la storia, la standardizzazione della (IEEE) ebbe luogo dopo il disservizio occorso nel 1965 durante la prima trasmissione televisiva via satellite effettuata dal satellite Early Bird in orbita geosincrona lanciato per collegare il Nord America con l'Europa durante il breve transito del satellite sull'Atlantico e infatti a causa delle intese imprecise fra la stazione in USA e quella in Europa la polarizzazione circolare degli illuminatori delle parabole era contraria per cui durante la prima orbita non fu possibile ricevere alcun segnale ma, compresa la causa, i tecnici delle due stazioni ebbero il tempo di invertire subito la polarizzazione errata e ottenere eccellenti immagini Tv all'orbita successiva.

#### I vantaggi della polarizzazione circolare

Il vantaggio principale di un'antenna polarizzata circolarmente nella ricezione dei segnali trasmessi da un satellite è la riduzione del forte QSB (fading) che si riscontra ricevendo segnali polarizzati linearmente in VHF come 144 MHz e UHF come 435 MHz perché il QSB si genera durante il passaggio dell'onda durante l'attraversamento della ionosfera e questo fenomeno viene chiamato rotazione di Faraday.

Quando un segnale radioelettrico polarizzato linearmente passa attraverso la ionosfera sia dalla terra verso il satellite sia dal satellite verso la terra l'angolo della sua polarizzazione ruota e cambia e questo cambiamento chiamato shift diminuisce con l'aumentare del quadrato della frequenza e può essere di valore intorno ai  $150^\circ$  a 450 MHz e ruotare molte volte di  $360^\circ$  a 144 MHz e 29 MHz e il numero di rotazioni varia durante l'intera orbita.

Questa proprietà è il motivo per cui la polarizzazione dei satelliti geostazionari per Tv è trasmessa lineare orizzontale o verticale e giacché a frequenze in banda X e Ku intorno ai 12,5 GHz la rotazione di Faraday in pratica non avviene anche gli LNB usati nelle parabole offset di ricezione hanno polarizzazione lineare e questa, dopo aver



regolato l'angolo dello LNB per il massimo segnale, può essere commutata soltanto da orizzontale a verticale.

Se al contrario usassimo un LNB a polarizzazione circolare per ricevere un segnale a polarizzazione lineare, orizzontale o verticale che sia, perderemmo 3 dB sull'intensità del segnale Tv ricevuto.

Anche se conosciamo l'esatto angolo di polarizzazione lineare al momento in cui il satellite ci appare all'orizzonte (AOS), acronimo di Acquisition of Signal, per ottenere il massimo livello del segnale ricevuto in VHF e UHF durante tutto il tempo di acquisizione del satellite, se l'antenna ricevente terrena è polarizzata linearmente si renderà necessario ruotare il suo boom o manualmente o mediante un rotore di antenna per cercare la coincidenza delle due polarizzazioni lineari, quella del satellite e quella terrena, e ciò durante tutto il tempo in cui il satellite è acquisibile e ciò in modo particolare lavorando i satelliti a bassa orbita LEO, acronimo di Low Eccentricity Orbit che rappresenta una notevole complicazione perché i satelliti LEO dal momento del sorgere (AOS) al momento di massimo avvicinamento (TCA) fino al momento del tramonto (LOS), hanno un tempo di acquisizione molto breve di pochi minuti.

Un'altra complicazione da considerare ricevendo e trasmettendo in VHF e UHF verso un satellite con antenne a polarizzazione lineare è che la rotazione di Faraday di un segnale che va da terra verso il satellite è opposta alla rotazione di un segnale che torna dal satellite verso la terra per cui l'angolo con cui le due polarizzazioni si vedono l'una con l'altra non è lo stesso per la trasmissione e la ricezione.

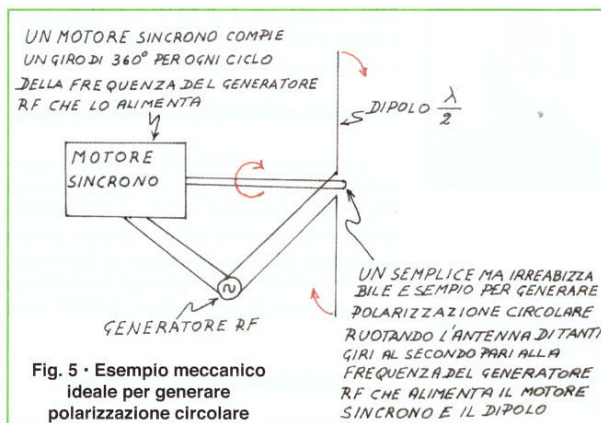
Se il satellite ha un'antenna a polarizzazione lineare, un parziale rimedio a tutti questi problemi è quello di usare un'antenna terrena a polarizzazione circolare in grado di ricevere dal satellite un segnale che abbia qualsiasi angolo di polarizzazione ed è anche desiderabile trasmettere verso il satellite con polarizzazione circolare un segnale che possa essere ricevuto dalla sua antenna a polarizzazione lineare perché il segnale si irradia da terra verso lo spazio attraversando la ionosfera con qualunque possibile angolo dovuto alla rotazione di Faraday.

Tutto ciò è desiderabile purché le perdite da pagare non siano troppo elevate e usando la polarizzazione circolare per trasmettere o ricevere un segnale emesso da un'antenna a polarizzazione lineare si perdono 3 dB ossia la metà della potenza trasmessa o ricevuta non viene utilizzata. Tuttavia usando un'antenna a polarizzazione circolare sia a terra sia sul satellite si recuperano i 3 dB che prima si erano perduti usando a terra un'antenna a polarizzazione circolare e l'altra sul satellite a polarizzazione lineare.

L'uso della polarizzazione circolare è vantaggioso specialmente nel caso peggiore in cui l'antenna del satellite abbia polarizzazione lineare e che anche l'antenna terrena abbia polarizzazione lineare e infatti qualora le due antenne si vedessero l'una con l'altra con un angolo di  $90^\circ$  la perdita del segnale potrebbe superare i 20 dB e il QSB dovuto alla rotazione di Faraday sarebbe intollerabile.



## — Teoria —



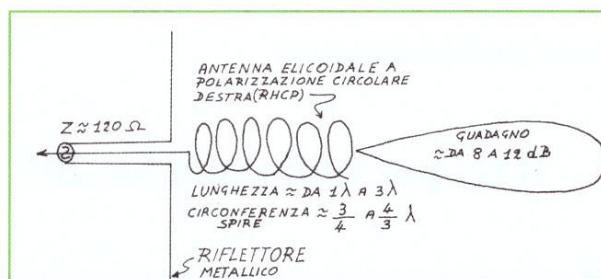
Una logica domanda che ci potremmo porre è la seguente: Come vengono generate le onde elettromagnetiche polarizzate circolarmente? Forse il modo più semplice per visualizzare le onde elettromagnetiche polarizzate circolarmente in modo intuitivo ma non realizzabile in pratica è mostrato in **Fig. 5** dove un dipolo lineare a mezz'onda viene fatto ruotare dall'albero di un motore sincrono. Il motore è alimentato dallo stesso generatore che alimenta l'antenna in modo tale che l'antenna compie un giro completo di 360° per ogni ciclo dell'energia irradiata. Il punto chiave qui è che l'antenna ruota esattamente allo stesso numero di giri della frequenza del segnale irradiato. Da un punto di vista elettromeccanico ciò è ovviamente impossibile da realizzare cosicché bisogna usare un modo diverso ed esclusivamente elettrico per ottenere lo stesso risultato.

Uno dei modi più semplici e pratici per generare onde elettromagnetiche polarizzate circolarmente è quello di realizzare un'antenna elicoidale. Questo tipo di antenna fu inventato sperimentalmente e poi teorizzato dal noto radioastronomo John Kraus, W8JK direttore del radiotelescopio BIG EAR della Ohio State University come descritto in Bibliografia (1) e (2).

La **Fig. 6** raffigura un'antenna elicoidale W8JK i cui parametri tipici sono la circonferenza che può variare da  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{4}{3}$  di lunghezza d'onda; la lunghezza che può variare da una a tre lunghezze d'onda; un'impedenza di circa 120  $\Omega$  nel punto di alimentazione e un guadagno che può variare da 8 a 12 dB.

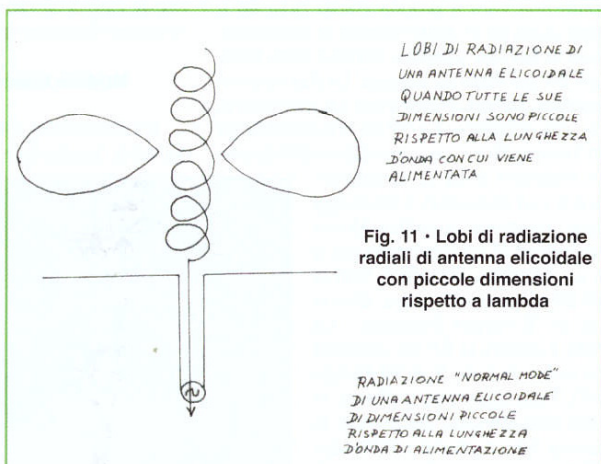
Un'antenna elicoidale con queste dimensioni irradia un lobo principale lungo l'asse di avvolgimento delle spire e in letteratura anglosassone è chiamato "axial mode of radiation" che funziona entro una banda relativamente larga di frequenze.

La rotazione del segnale irradiato da un'antenna elicoidale come visto in **Fig. 6** ponendoci dietro il riflettore metallico è la stessa del senso di avvolgimento delle spire.



**Fig. 6 • Antenna elicoidale W8JK con radiazione assiale RHCP**

LOBO DI RADIAZIONE DI ANTENNA ELICOIDALE IN MODO ASSIALE RHCP



**Fig. 11 • Lobi di radiazione radiali di antenna elicoidale con piccole dimensioni rispetto a lambda**

Il termine "Antenna Elicoidale" è usato anche per descrivere un tipo completamente diverso di antenna impiegata limitatamente su frequenze basse ma non fu inventata da W8JK. Se infatti le dimensioni dell'elica sono piccole rispetto alla lunghezza d'onda si ottiene un lobo di radiazione perpendicolare all'asse dell'elica che viene chiamato "normal mode of radiation" come raffigurato in **Fig. 11**. Questo tipo di antenna elicoidale lavora su una banda più stretta di frequenze e non trova applicazioni nel traffico via satellite.

Per approfondimenti storico/biografici relativi all'appassionante invenzione dell'antenna elicoidale da parte di John Kraus, W8JK si consiglia di leggere il volume BIG EAR in Bibliografia (6).

*1-continua*

### Bibliografia

- 1) John D. Kraus, Radio Astronomy, McGraw-Hill Book Company. ISBN 07-035392-1.
- 2) John D. Kraus, Antennas, McGraw-Hill Book Company, Catalog Number 35410.
- 3) Introduction to Radar Systems, by Merrill I. Skolnik McGraw-Hill Book Company Catalog Number 57905.
- 4) UHF/Microwave Experimenter's Manual, ISBN 0-87259-312-6 ARRL Order No 3126.
- 5) The Advantages of Circular Polarization for Amateur Satellite Ground Stations by John J. Nagle, K4KJ, 1975 ARRL Technical Symposium September 12, 1975: Sheraton Conference Center Reston Virginia.
- 6) BIG EAR by John Kraus, published by Cygnus-Quasar Books Powell, Ohio USA, Library of Congress Catalog Number 76-24396.



Mi piace!

Vi è piaciuto questo articolo?  
Se Si potete votarlo  
on-line visitando il nostro sito [www.ari.it](http://www.ari.it)



Domenico Marini • I8CVS

E-mail: domenico.i8cvs@tin.it

## La polarizzazione circolare nel traffico via satellite

### 2ª Parte

#### Introduzione

Nella (Parte 1ª) di questi articoli si è detto che uno dei modi più semplici e pratici per generare onde elettromagnetiche polarizzate circolarmente è quello di realizzare un'antenna elicoidale. Questo tipo di antenna in Bibliografia<sup>(2)</sup> fu inventato sperimentalmente e poi teorizzato dal noto radioastronomo John Kraus, W8JK direttore del radiotelescopio BIG EAR della Ohio State University.

#### I vari aspetti della polarizzazione circolare

Tuttavia l'antenna elicoidale non è l'unico modo per generare un'onda elettromagnetica a polarizzazione circolare perché il metodo più popolare fra i radioamatori è quello di usare due dipoli incrociati. Questa tecnica consiste nel montare due dipoli a mezz'onda ad angolo retto fra loro normalmente in configurazione del segno + ma anche del segno x ed alimentarli con uguali correnti a RF ma sfasate fra loro di 90° come mostrato in Fig. 12.

Se ci poniamo al lato sinistro del disegno di Fig. 12 e guardiamo verso destra è facile rendersi conto del come venga generata polarizzazione circolare destra RHCP o sinistra LHCP perché la metà di sinistra del dipolo orizzontale diventa positiva per prima e sarà seguita di polarità positiva dalla metà inferiore del dipolo verticale dopo 1/4 di periodo cosicché il vettore del campo elettrico viene visto ruotare in senso antiorario generando polarizzazione LHCP.

Rifacendo lo stesso ragionamento, se ci poniamo sul lato destro del disegno di Fig. 12 e guardiamo verso sinistra si vedrà che i vettori del campo elettrico, ruotano in senso orario generando polarizzazione circolare destra RHCP cosicché si deduce che due dipoli incrociati sullo stesso piano e alimentati con uno sfasamento di 90° generano polarizzazione RHCP in una direzione ed LHCP nella direzione opposta.

L'uso di antenne a dipoli incrociati è molto utile per commutare la polarizzazione da RHCP a LHCP e tutto quello che serve in Fig. 12 è invertire il punto di alimentazione del dipolo orizzontale con quello del dipolo verticale mediante un relay coassiale montato in antenna ed eccitato dalla stazione. Ciò rappresenta un notevole vantaggio

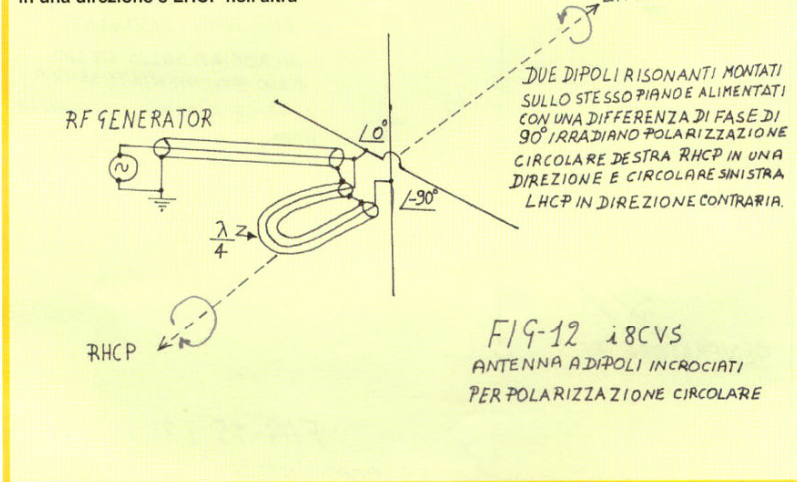
rispetto a un'antenna elicoidale in cui il senso di rotazione della polarizzazione circolare dipende dal senso in cui l'elica è avvolta e non può essere cambiato senza riavvolgere l'elica in senso contrario.

La facilità di commutare il senso di polarizzazione da RHCP ad LHCP a terra usando dipoli incrociati è particolarmente utile quando si ricevono i segnali di un satellite che trasmette anch'esso in polarizzazione circolare perché il senso di rotazione del segnale ricevuto a terra dipende da quale lato del satellite la sua antenna trasmittente a polarizzazione circolare è rivolta verso di noi in ogni dato istante.

Ad esempio, il noto satellite FO-29 con transponder lineare trasmette in banda 435 MHz e riceve in banda 145 MHz usando in trasmissione e ricezione antenne a polarizzazione circolare entrambe RHCP e i fenomeni sopra descritti in Fig. 12 spiegano perché FO-29 oppure VO-52 a causa della loro stabilizzazione sempre variabile nello spazio e nel tempo, trasmettano o ricevano RHCP quando orbitano sopra un emisfero terrestre ed LHCP quando orbitano sull'altro emisfero.

Da notare che in Fig. 12 il senso di polarizzazione può essere commutato da RHCP a LHCP anche invertendo il punto di alimentazione della linea di trasmissione su uno solo dei dipoli, per esempio collegando sul semidipolo superiore del dipolo verticale il cavo coassiale che ora è collegato sulla parte inferiore del semidipolo verticale mentre, invertendo anche il punto di alimentazione del semidipolo orizzontale spostandolo dal lato sinistro al lato destro, si ripristinano auto-

Fig. 12 - Due dipoli incrociati sullo stesso piano e sfasati di 90 gradi irradiano RHCP in una direzione e LHCP nell'altra



maticamente i sensi di rotazione RHCP ed LHCP originali.

Come mostrato in Fig. 14 un'altra tecnica per generare polarizzazione circolare usando dipoli incrociati fornisce risultati abbastanza diversi. Consideriamo due dipoli incrociati e distanziati di 1/4 d'onda nel libero spazio che vengono alimentati con due correnti uguali e in fase.

In questo caso se ci poniamo alla sinistra del disegno di Fig. 14 guardando verso destra, vedremo che il lato destro del semidipolo orizzontale e la metà inferiore del semidipolo verticale diventano positivi nello stesso istante. Tuttavia nel tempo necessario all'energia RF di irradiarsi dal dipolo verticale verso quello orizzontale questa tensione RF verticale rimarrà indietro di 90° rispetto alla tensione RF sull'elemento orizzontale dando luogo a una rotazione del campo elettrico in senso orario e quindi a una polarizzazione circolare destra RHCP.



Se ora ci poniamo alla destra del disegno di Fig. 14 guardando verso sinistra, vedremo che il lato sinistro del semidipolo orizzontale e la metà inferiore del semidipolo verticale, diventano positivi nello stesso istante. Tuttavia nel tempo necessario all'energia RF orizzontale di raggiungere il dipolo verticale, l'energia RF orizzontale rimane indietro di  $90^\circ$  rispetto all'energia RF verticale, dando luogo nuovamente a una rotazione oraria e quindi a polarizzazione RHCP, per cui due dipoli incrociati ad angolo retto e spazati di  $1/4$  d'onda, alimentati in fase, generano lo stesso tipo di polarizzazione circolare in entrambe le direzioni assiali. Lo stesso fenomeno si visualizza con più chiarezza osservando la Fig. 24 in cui due dipoli a mezz'onda sono distanziati di  $1/4$  d'onda nel libero spazio e sono alimentati in fase con la stessa ampiezza, ossia dallo stesso generatore RF con due linee coassiali di uguale lunghezza.

Osservando il disegno dall'alto verso il basso, ponendoci posteriormente sul simbolo grafico dell'occhio e guardando la sinusoide, si vede che al tempo-1 ad ore 12 il vettore della corrente raggiunge il valore massimo  $I_{max}$ , sia sul lato destro del dipolo orizzontale posteriore, sia sul lato superiore del dipolo verticale anteriore.

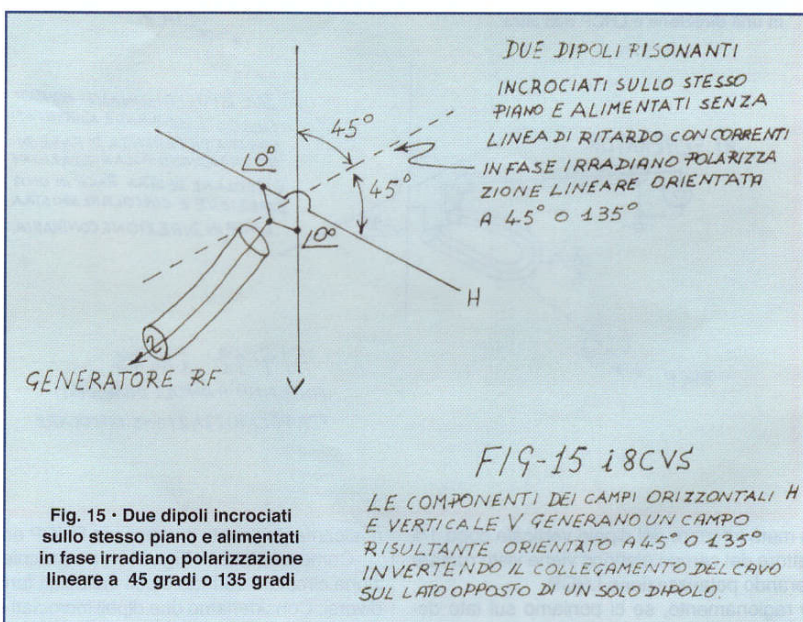
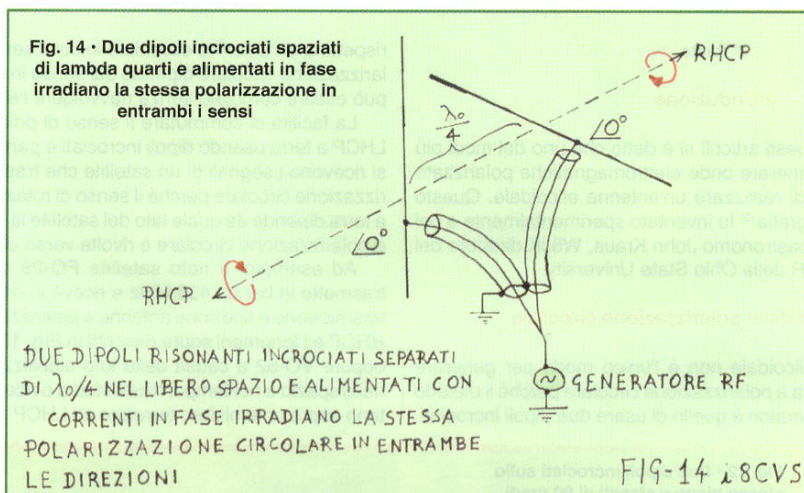
Al tempo-2 dopo  $90^\circ$ , la corrente a RF passa per lo zero della sinusoide per cui, nei due dipoli la corrente vale  $I = 0$  ma tuttavia e qui nasce il trucco, l'energia che al tempo-1 si era propagata dal dipolo orizzontale in avanti verso il dipolo verticale, dopo  $90^\circ$ , ossia dopo  $1/4$  d'onda nel libero spazio, avrà raggiunto il piano del dipolo verticale, ponendosi con il suo vettore orientato ad ore 3.

Al tempo-3 la corrente RF sarà passata al valore massimo nella semionda inferiore negativa della sinusoide, raggiungendo il valore negativo  $-I_{max}$  e nel contempo la corrente  $-I_{max}$  che scorre nel dipolo orizzontale posteriore cambia direzione, scorrendo verso sinistra mentre la corrente  $-I_{max}$  che scorre verso il basso nel dipolo verticale, avrà il suo vettore orientato ad ore 6.

In conclusione, si vede chiaramente che la risultante dei vettori componenti ruota in senso orario da ore 12 verso ore 3 e poi verso ore 6, ruotando in senso orario, come le lancette di un orologio e generando così polarizzazione circolare destra RHCP.

La Fig. 16 mostra un'antenna a polarizzazione circolare fatta con dipoli incrociati di lunghezza diversa come anche visibile fotografata in Bibliografia<sup>(7)</sup>. Quest'antenna viene normalmente usata come illuminatore per parabole in primo fuoco, perché consente di ottenere uno sfasamento di  $90^\circ$  fra le correnti circolanti nei due dipoli, senza bisogno di usare ingombranti linee di ritardo lunghe  $1/4 \lambda$ , sfruttando il seguente principio relativo alle leggi che governano le linee di trasmissione. Osservando la Fig. 16 si vede che il dipolo orizzontale D1 è più lungo di quello orizzontale D2 e inoltre i due dipoli non sono

tagliati di lunghezza tale da essere risonanti alla frequenza di lavoro dell'antenna e presentare così una impedenza puramente resistiva di  $Z = 50 + j0 \Omega$  ma al contrario, D1 è tagliato più lungo di quanto dovrebbe essere a risonanza, in modo tale che alla frequenza di lavoro dell'antenna, la sua reattanza sia induttiva e la sua impedenza sia  $Z1 = 50 + j50 \Omega$ . Viceversa, D2 è tagliato più corto di quanto dovrebbe essere a risonanza, in modo tale che, alla frequenza di lavoro dell'antenna, la sua reattanza sia capacitiva e la sua impedenza sia  $Z2 = 50 - j50 \Omega$ . Come si legge sul Terman in Bibliografia<sup>(8)</sup> quando in una impedenza complessa la parte resistiva è uguale alla parte reattiva, lo sfasamento fra corrente  $I$  e tensione  $V$ , è di  $45^\circ$  e siccome nel dipolo D1 l'impedenza  $Z1$  ha parte reattiva induttiva pari a  $+j50 \Omega$  ne deriva che la corrente  $I$  è in ritardo di  $45^\circ$  sulla tensione  $V$ , mentre nel dipolo D2, l'impedenza  $Z2$ , ha parte reattiva capacitiva

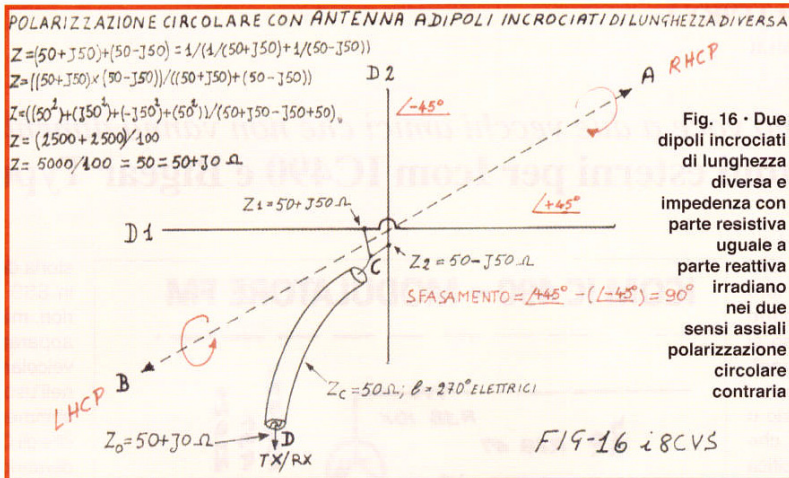


pari a  $-j50 \Omega$  per cui la corrente  $I$  è in anticipo di  $45^\circ$  sulla tensione  $V$ . Come si vede in Fig. 16, i due dipoli D1 e D2 sono alimentati in fase dalla stessa linea coassiale, per cui i due sfasamenti di  $45^\circ$  si sommano vettorialmente, generando uno sfasamento complessivo di  $90^\circ$  fra le correnti circolanti in D1 e D2, dando luogo a polarizzazione circolare RHCP in un senso ed LHCP in senso contrario.

Se sommiamo le due impedenze  $Z1 + Z2$  otterremo che  $(50 + j50) + (50 - j50) = 50 + j0 \Omega$  puramente resistivi nel punto di alimentazione dell'antenna come dimostrato dal calcolo riportato in Fig. 16 che cancella le due reattanze fra loro, lasciando invariata la parte resistiva dell'impedenza. Se ora montiamo D1+D2 nel fuoco di una parabola



la, in modo tale che il lato sinistro di Fig. 16 irradiante LHCP sia rivolto verso il disco parabolico, ne deriva che la parabola si comporta come uno specchio ed inverte il senso di rotazione, irradiando verso il libero spazio, una polarizzazione RHCP come ben sanno tutti coloro che hanno lavorato i satelliti OSCAR-13 e AO40 nel Modo-S a 2401 MHz, usando parabole in primo fuoco. Guardando il fenomeno alla rovescia, se il satellite trasmette in RHCP verso la parabola della stazione terrena, ne deriva che la densità di potenza raccolta dal disco, verrà rovesciata di senso ed inviata LHCP verso l'illuminatore D1+D2, come volevamo che avvenisse e se il discorso non è chiaro, bisogna pensarci fin quando chiaro lo divenga. Fino ad ora abbiamo trattato antenne lineari come i dipoli a  $1/2 \lambda$  montati incrociati sul piano orizzontale e verticale ma ciò non è assolutamente obbligatorio perché questi dipoli possono essere ruotati sul loro boom e orientati con qualunque angolo purché siano sempre incrociati fra loro e purché le correnti che li alimentano, siano sfasate di  $90^\circ$ . Per quanto detto, si è visto che un'onda elettromagnetica polarizzata circolarmente, si può considerare come la risultante di due componenti lineari ortogonali che abbiano fra loro una differenza di fase di  $90^\circ$  e in cui la metà esatta dell'energia RF che alimenta l'antenna, sia circolante in ciascuna



delle due componenti lineari.

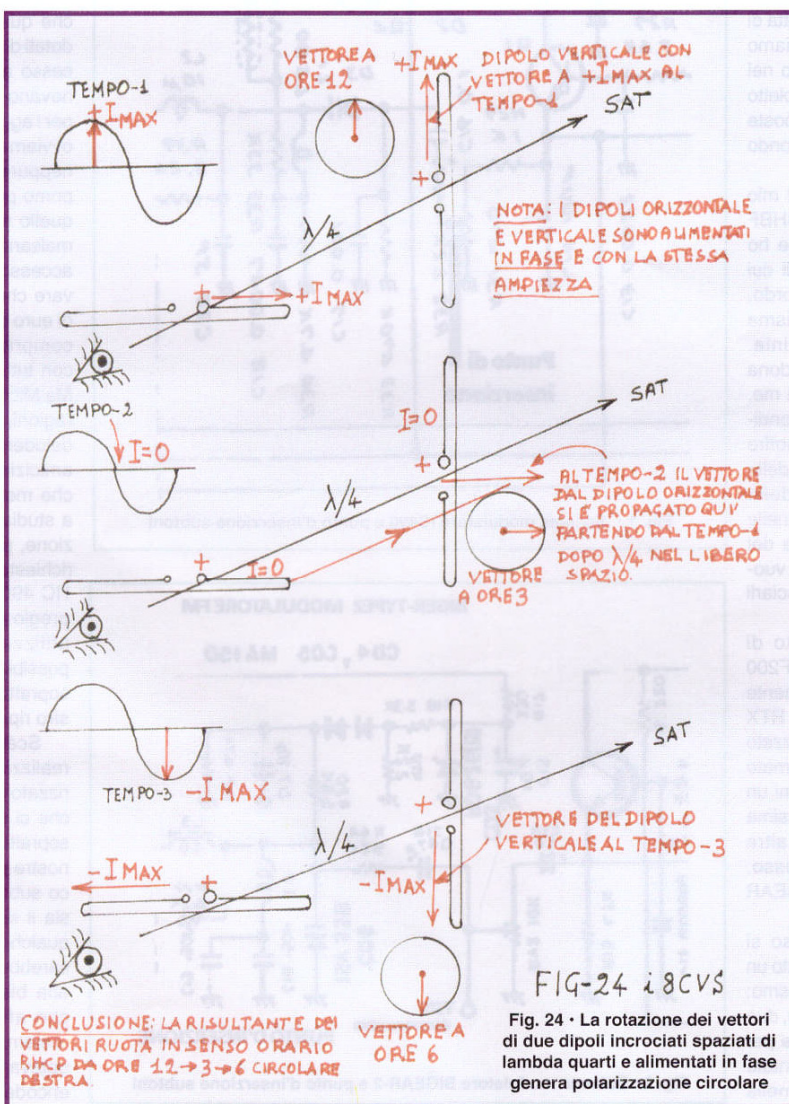
Non ha alcuna importanza quale modo venga scelto fra quelli trattati, per ottenere lo sfasamento di  $90^\circ$ , purché lo sfasamento ottenuto sia di tale valore angolare, ossia di  $90^\circ$  pari ad  $1/4 \lambda$  in quanto, come mostra la Fig. 15, alimentando due dipoli incrociati sullo stesso piano senza introdurre tale sfasamento, si otterrebbe soltanto un campo risultante ancora lineare ma orientato a  $45^\circ$  rispetto ai dipoli, oppure orientato a  $135^\circ$ , invertendo soltanto il collegamento della linea di alimentazione sul lato opposto di uno dei dipoli.

2-continua

(La 1ª parte è stata pubblicata su RadioRivista di Ottobre 2014)

## Bibliografia

- 1) John D. Kraus, Radio Astronomy, McGraw-Hill Book Company. ISBN 07-035392-1.
- 2) John D. Kraus, Antennas, McGraw-Hill Book Company, Catalog Number 35410.
- 3) Introduction to Radar Systems, by Merrill I. Skolnik McGraw-Hill Book Company - Catalog Number 57905.
- 4) UHF/Microwave Experimenter's Manual, ISBN 0-87259-312-6 ARRL Order No 3126.
- 5) The Advantages of Circular Polarization for Amateur Satellite Ground Stations by John J. Nagle, K4KJ, 1975 ARRL Technical Symposium September 12, 1975: Sheraton Conference Center Reston Virginia.
- 6) BIG EAR by John Kraus, published by Cygnus-Quasar Books Powell, Ohio USA, Library of Congress Catalog Number 76-24396.
- 7) Reflections, Transmission Lines and Antennas by M. Walter Maxwell, W2DU, ARRL Order No 2995 - ISBN 0-87259-299-5 Chapter 22, page 22-18.
- 8) Radio Engineering, by Frederick Emmons Terman, Sc. D, McGraw-Hill Book Company, Inc.





Domenico Marini • I8CVS

E-mail: domenico.i8cvs@tin.it

## La polarizzazione circolare nel traffico via satellite

### 3ª Parte

#### Introduzione

Nel presente articolo finale (Parte 3ª) discuteremo sul guadagno e sulle caratteristiche dei lobi di radiazione di un'antenna a polarizzazione circolare e sugli effetti del guadagno nel ricevere un segnale polarizzato linearmente usando antenne a polarizzazione circolare e viceversa.

#### Le varie interazioni fra antenne a polarizzazione circolare e lineare

Quando si misura il guadagno di un'antenna lineare orizzontale è tacitamente inteso che il segnale usato per fare questa misura sia polarizzato altrettanto orizzontalmente. Infatti non avrebbe senso misurare il guadagno di un'antenna a polarizzazione orizzontale usando per riferimento un segnale polarizzato verticalmente perché il segnale captato dall'antenna orizzontale e quindi il suo guadagno apparente sarebbe teoricamente zero.

Analogamente per misurare il guadagno di un'antenna a polarizzazione circolare è necessario ricevere un segnale trasmesso da un'antenna a polarizzazione circolare che abbia lo stesso senso di rotazione come per esempio RHCP con RHCP e non viceversa RHCP con LHCP, perché in tal caso, la risposta dell'antenna sotto misura dovendo ricevere un segnale di senso contrario, sarebbe estremamente basso se non teoricamente zero.

Vediamo ora cosa succede quando un'antenna a polarizzazione circolare viene usata per ricevere un segnale polarizzato linearmente e viceversa. In questo caso ci possiamo porre due domande. La prima è, quale è l'effetto misurabile sul guadagno e la seconda quale è l'effetto sull'angolo di polarizzazione del segnale ricevuto e polarizzato linearmente il che, in altri termini, vale a dire: "Ricevendo un segnale polarizzato linearmente con un'antenna a polarizzazione circolare, quale sarà l'angolo con il quale il segnale polarizzato linearmente entra nel lobo di radiazione dell'antenna polarizzata circolarmente?"

Abbiamo visto, nelle puntate precedenti, che un'onda elettromagnetica polarizzata circolarmente ha il 50% della potenza contenuta in ciascuna delle due onde componenti lineari, perpendicolari fra loro, e che l'angolo con cui le due componenti lineari è orientato, rispetto all'antenna polarizzata circolarmente, non ha alcuna importanza

purché le due componenti lineari siano perpendicolari fra loro e quindi siano a 90°

Siccome un segnale lineare eccita soltanto una delle due componenti polarizzate linearmente, ne deriva che la potenza disponibile ai morsetti di un'antenna ricevente a polarizzazione circolare che riceve un segnale polarizzato linearmente, è 3 dB più debole, o meglio, è solo la metà di quello che sarebbe ricevibile se l'antenna trasmettente anziché lineare fosse anch'essa polarizzata circolarmente con lo stesso senso di polarizzazione RHCP oppure LHCP.

E' vero anche l'inverso, perché il guadagno di un'antenna polarizzata linearmente è 3 dB inferiore quando riceve un segnale polarizzato circolarmente, per cui è evidente che per captare la massima energia da un'onda elettromagnetica, è necessario adattare fra loro anche le polarizzazioni similmente a come è necessario fare adattando le impedenze per trasferire il massimo di potenza.

Nel caso in cui il satellite trasmetta con polarizzazione lineare ed

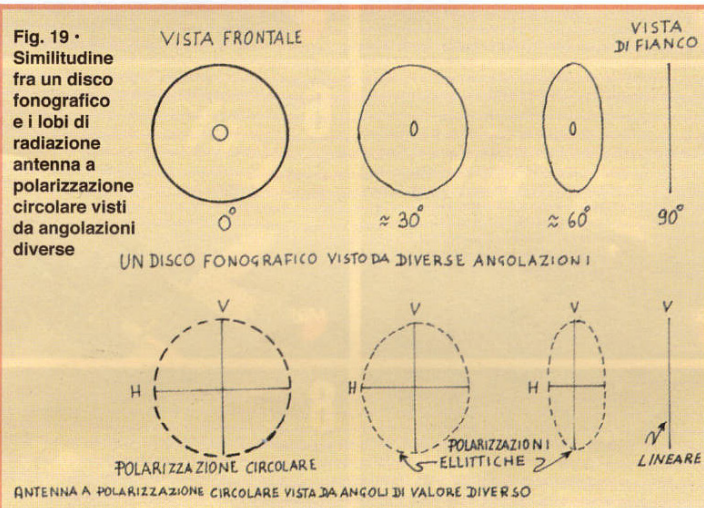
anche la stazione terrena sia dotata di antenna a polarizzazione lineare e 3 dB di perdita non siano tollerabili, allora l'antenna lineare terrena deve essere dotata di un polarizzatore che è semplicemente un rotatore che serve a ruotare l'antenna terrena di 360° intorno al proprio asse.

In pratica, il rotatore, viene fatto girare fino a quando si raggiunge il massimo segnale ricevuto e siccome il satellite orbita nello spazio e cambia continuamente il suo assetto, è necessario cercare il picco massimo del segnale ricevuto durante l'orbita, ma ciò rappresenta una grossa complicazione operativa,

per cui in tale caso, è preferibile usare a terra un'antenna ricevente a polarizzazione circolare.

Analizziamo ora gli effetti che si hanno ruotando assialmente il boom delle antenne. Se per ricevere un segnale polarizzato linearmente usiamo un'antenna a polarizzazione circolare e se le due antenne sono affacciate l'una contro l'altra, il fatto che il segnale polarizzato linearmente arrivi all'antenna in polarizzazione circolare con un angolo qualunque, non ha alcuna importanza, perché qualunque sia l'angolo, l'antenna ricevente a polarizzazione circolare avrà una componente che capta la polarizzazione lineare con un guadagno inferiore di 3 dB rispetto a quello che riceverebbe se anche l'onda in arrivo avesse polarizzazione circolare dello stesso senso.

La situazione è simile se un'antenna lineare viene usata per ricevere un'onda polarizzata circolarmente perché, qualunque angolo abbia l'antenna lineare in ricezione, l'onda polarizzata circolarmente, avrà sempre una componente che viene interamente captata su quell'angolo.





Quindi riassumendo: i vantaggi di usare in ricezione un'antenna a polarizzazione lineare, si possono sintetizzare così:

1) Quando un'antenna a polarizzazione circolare viene usata per ricevere un segnale trasmesso da un'antenna polarizzata circolarmente che abbia lo stesso senso di rotazione, purché le due antenne si vedano affacciate l'una con l'altra, non esiste alcun effetto che penalizzi la ricezione a causa dell'angolo con cui le antenne si vedono affacciate e quindi si ottiene il massimo guadagno delle antenne e questo è, ovviamente, il caso migliore.

2) Quando un'antenna a polarizzazione circolare viene usata per ricevere un segnale trasmesso da un'antenna polarizzata linearmente, purché le due antenne si vedano affacciate l'una con l'altra, il livello del segnale ricevuto, sarà lo stesso a prescindere dall'angolo di polarizzazione con cui arriva il segnale trasmesso linearmente. Ciò rappresenta un vantaggio notevole perché l'angolo di polarizzazione in arrivo è sconosciuto o variabile o, entrambi gli angoli, variano insieme, ma la penalità da pagare per questo vantaggio, è ovviamente la perdita di 3 dB sul segnale ricevuto.

### La polarizzazione circolare vista sotto angoli diversi di osservazione

Prima di considerare cosa aspettarci usando un'antenna a polarizzazione circolare per ricevere i segnali di un satellite, è opportuno visualizzare gli effetti degli angoli sotto i quali ci appare, irradiato un segnale polarizzato circolarmente.

Negli esempi precedenti abbiamo assunto che le antenne trasmettenti e riceventi si vedessero affacciate in modo coassiale l'una con l'altra e quando ciò accade l'antenna ricevente si vedrà arrivare un segnale polarizzato perfettamente circolare come un disco.

Se invece le due antenne non sono perfettamente affacciate l'una con l'altra, l'onda polarizzata circolarmente sarà vista arrivare ellittica anziché perfettamente circolare. Questo effetto è facilmente visualizzabile guardando la Fig. 19 che, nella parte superiore, raffigura un disco fonografico. Se guardiamo il disco stando direttamente davanti alla superficie piana, il disco ci apparirà perfettamente rotondo. Se però ruotiamo il disco in modo da vederlo sempre più piccolo, questo ci apparirà sempre più ellittico, fino a quando guardando direttamente il disco ruotato di  $90^\circ$ , questo ci apparirà come una retta verticale.

Riferendo questo effetto visivo ad un'antenna polarizzata circolarmente, si vedrà nella parte inferiore di Fig. 19 che, guardando direttamente affacciati verso un'antenna a polarizzazione circolare, le componenti orizzontali e verticali restano uguali ed hanno la stessa lunghezza, dando luogo a un cerchio polarizzato circolarmente. Se

invece, ci spostiamo rispetto all'asse dell'antenna, le componenti verticali restano della stessa ampiezza, mentre le componenti orizzontali, si accorciano man mano, fino a raggiungere lo zero.

Per quanto visto in Fig. 19, supponiamo ora che un satellite trasmetta in polarizzazione circolare verso la Terra. Ne consegue che, un'antenna ricevente terrena posta sotto il satellite e rivolta verso l'alto, si vedrà arrivare dal satellite un'onda elettromagnetica polarizzata, perfettamente circolare, ma quando il satellite si muove orbitando spostandosi verso l'orizzonte, la Fig. 19 ci mostra che l'onda in arrivo diventa sempre più ellittica.

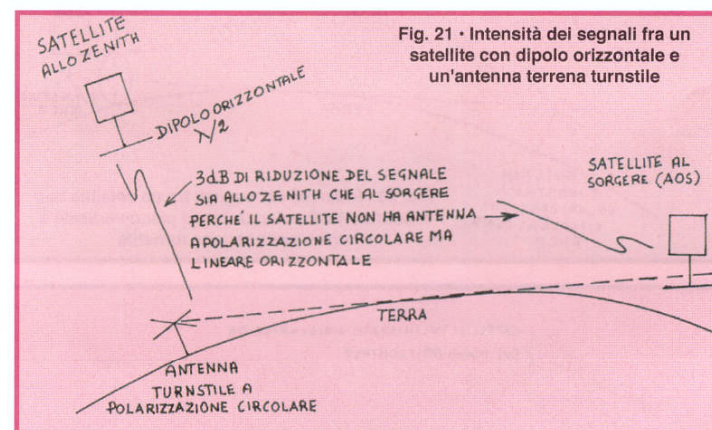
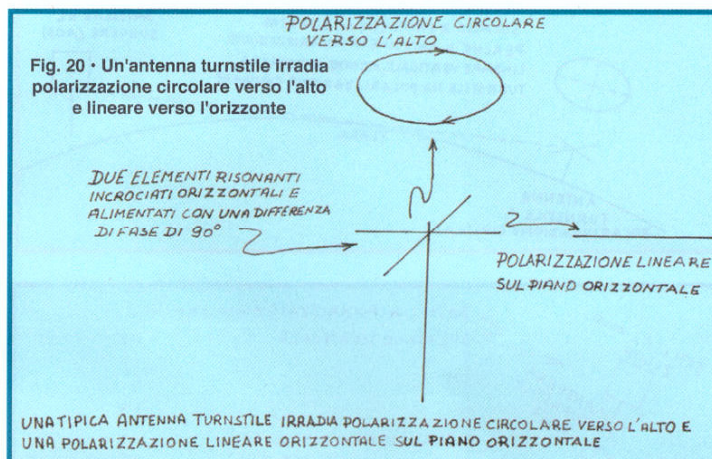
La Fig. 19, ci indica che la componente lineare dell'onda polarizzata circolarmente che si trova ad angolo retto con la linea diretta che congiunge il satellite e l'antenna terrena, rimane della stessa lunghezza e, quindi, della stessa ampiezza, ma al contrario, la componente parallela con la linea congiungente satellite e antenna terrena, diminuirà di apparente lunghezza, in modo proporzionale al coseno dell'angolo sotto cui l'antenna del satellite e quella terrena si vedono.

Nel caso limite, questo fenomeno, ha un'interessante applicazione in Fig. 20 che raffigura una ben nota antenna a dipoli incrociati, alimentata con due correnti sfasate di  $90^\circ$  ossia un'antenna turnstile, usata in modo particolare dalle stazioni trasmettenti FM e TV.

Come visto in precedenza in Fig. 12, (Parte 2<sup>a</sup>) quest'antenna turnstile con due soli elementi incrociati, genera polarizzazione circolare RHCP e LHCP in direzione verticale verso l'alto e l'altra verso il basso, ma genera anche

una polarizzazione lineare omnidirezionale su tutti i  $360^\circ$  del piano orizzontale e quindi non è direzionale né sul piano verticale, né sul piano orizzontale, per cui un'antenna turnstile fissa come quella di Fig. 20, è ideale per ricevere i segnali dei satelliti meteorologici in banda 136 -138 MHz e quelli amatoriali in Bibliografia (9) specialmente per ricevere il Modo-A del vecchio ma glorioso OSCAR-7, ancora ricevibile in 10 metri da 29,400 a 29,500 MHz.

Osserviamo la Fig. 21 e analizziamo brevemente cosa accade quando un'antenna turnstile con elementi orizzontali del tipo (single bay (cioè senza riflettore e senza direttori viene usata come antenna di ricezione in una stazione terrena per traffico via satellite. Se come in Fig-21 l'antenna del satellite è orizzontale e polarizzata linearmente come può essere un dipolo a  $1/2 \lambda$  riceveremo un segnale con una perdita minima di 3 dB per disadattamento di polarizzazione sia quando il satellite sorge all'orizzonte (AOS) acronimo di "Acquisition of Signal" sia quando il satellite ci passa in testa allo zenith (TCA) acronimo di "Time of Closest Approach" e ciò perché soltanto una delle due componenti dell'antenna ricevente turnstile a polarizzazione





circolare viene eccitata. Analizziamo ora la Fig. 22 che mostra il satellite dotato di un'antenna trasmittente polarizzata verticalmente, e a terra, la solita turnstile ricevente, polarizzata circolarmente. In questo caso, in linea teorica, nessun segnale potrebbe essere ricevuto perché le due antenne hanno le polarizzazioni che non si vedono fra loro in quanto sono incrociate a  $90^\circ$  ma, tuttavia, la rotazione di Faraday può cambiare le carte in tavola e permettere la ricezione dei segnali, in funzione di come, a causa della rotazione di Faraday, i fronti d'onda si vedono angularmente fra di loro in modo casuale o random, che dir si voglia.

Osserviamo ora attentamente la Fig. 23 dove l'antenna turnstile RHCP a bordo del satellite, è polarizzata circolarmente in modo verticale e quindi la dobbiamo visualizzare come puntata verticalmente sul foglio del disegno o, se vogliamo, con i suoi elementi incrociati perpendicolari alla Terra. Sulla Terra abbiamo, invece, la solita antenna turnstile polarizzata circolarmente RHCP, ma con gli elementi paralleli alla Terra.

In questo caso, la minima perdita teorica sul segnale ricevuto a terra è di 6 dB, di cui 3 dB di perdita sono dovuti al fatto che allo zenith (TCA) solo metà dell'energia RF irradiata dal satellite, è contenuta nella componente orizzontale captata dalla turnstile a terra e gli altri 3 dB di perdita, sono dovuti al fatto che l'antenna turnstile terrena al sorgere del satellite (AOS) viene eccitata soltanto dalla sua componente orizzontale. Siccome allo zenith e al sorgere del satellite, l'antenna turnstile terrena viene eccitata dalla sola componente orizzontale dell'antenna satellitare, ne risulta che, in questo caso, i sensi di polarizzazione delle due antenne, RHCP o LHCP che siano, non ha importanza.

Analizziamo ora la Fig. 25, dove l'antenna turnstile a bordo del satellite, è polarizzata circolarmente in modo orizzontale e quindi la dobbiamo visualizzare con i suoi elementi incrociati paralleli alla

Terra mentre sulla Terra, abbiamo la solita antenna turnstile polarizzata circolarmente con gli elementi anch'essi paralleli alla Terra. Ne consegue che, in queste condizioni, quando il satellite è allo zenith, si riceverà il massimo livello

di segnale se le due antenne, quella del satellite e quella terrena, hanno lo stesso senso di polarizzazione come, ad esempio, entrambe RHCP oppure entrambe LHCP, ma, se al contrario, una sola delle due antenne avesse senso di polarizzazione contrario, allora non si riceverebbe alcun segnale.

Sempre osservando la Fig. 25, si vede che al sorgere o al tramontare del satellite all'orizzonte, l'antenna turnstile del satellite, ecciterà l'antenna turnstile di ricezione terrena, soltanto con la componente lineare orizzontale, con la conseguente perdita di 3 dB sull'intensità del segnale ricevuto.

3-fine

(La 1ª e la 2ª parte sono state pubblicate su RadioRivista di Ottobre e di Novembre 2014)

#### Bibliografia

- 1) John D. Kraus, Radio Astronomy, McGraw-Hill Book Company. ISBN 07-035392-1.
- 2) John D. Kraus, Antennas, McGraw-Hill Book Company, Catalog Number 35410.
- 3) Introduction to Radar Systems, by Merrill I. Skolnik McGraw-Hill Book Company Catalog Number 57905.
- 4) UHF/Microwave Experimenter's Manual, ISBN 0-87259-312-6 ARRL Order No 3126.
- 5) The Advantages of Circular Polarization for Amateur Satellite Ground Stations by John J. Nagle, K4KJ, 1975 ARRL Technical Symposium September 12, 1975: Sheraton Conference Center Reston Virginia.
- 6) BIG EAR by John Kraus, published by Cygnus-Quasar Books Powell, Ohio USA, Library of Congress Catalog Number 76-24396.
- 7) Reflections, Transmission Lines and Antennas by M. Walter Maxwell, W2DU, ARRL Order No 2995 ISBN 0-87259-299-5 Chapter 22, page 22-18.
- 8) Radio Engineering, by Frederick Emmons Terman, Sc.D, McGraw-Hill Book Company, Inc
- 9) Turnstile per 10 metri Modo-A di Domenico Marini I8CVS RadioRivista 2/1983.

