

# I preamplificatori d'antenna

a cura di Domenico Marini - I8CVS

parte quarta

Nella terza parte abbiamo visto che un ricevitore HF può essere preceduto da uno o più convertitori VHF. Utilizzando le dovute precauzioni è possibile ricevere il Downlink di OSCAR 10 con modica spesa.

Ora resta da risolvere il problema della trasmissione in Uplink da 435,025 a 435,175 MHz.

Abbiamo fatto l'ipotesi che l'OM sia in possesso di un solo RX e di un solo TX per HF e con ciò si troverà sprovvisto di ogni mezzo per trasmettere in 70 cm.

In questo caso il compromesso più soddisfacente è rappresentato dall'uso di un transverter. Cos'è un transverter? È un apparecchio che riunisce in uno la funzione di ricevitore e di trasmettitore. Come funziona? È dotato di un solo oscillatore locale a quarzo la cui uscita viene inviata contemporaneamente a due mixer, quello di ricezione e quello di trasmissione.

Il nostro scopo è quello di convertire i segnali del TX da 28-30 MHz in segnali UHF da 432 a 438 MHz. Questa banda comprende infatti il segmento Uplink di OSCAR 10 che va 435,025 a 435,175 MHz.

Il transverter oltre a farci trasmettere, ci permette anche di ricevere i segnali in banda 432 - 438 MHz ed inviarli al ricevitore HF. Il fatto di poter ricevere anche i 70 cm con lo stesso apparecchio, costituisce un vantaggio notevole che sfrutteremo in futuro con il secondo transponder di OSCAR 10, il modo-L.

Per renderci conto del funzionamento di un transverter osserviamo la figura 1 che rappresenta lo schema a blocchi semplificato per 70 cm.

L'oscillatore locale è dotato di tre quarzi commutabili. Essi sono 101,0 MHz, 101,5 MHz, 102,0 MHz i cui segnali vengono quadruplicati in frequenza. Se inseriamo il quarzo a 101 MHz, la sua quarta armonica a 404 MHz è inviata contemporaneamente al mixer di trasmissione e a quello di ricezione.

Sintonizziamo il TX su 28 MHz, mettiamolo in trasmissione e alimentiamo il punto A della fi-

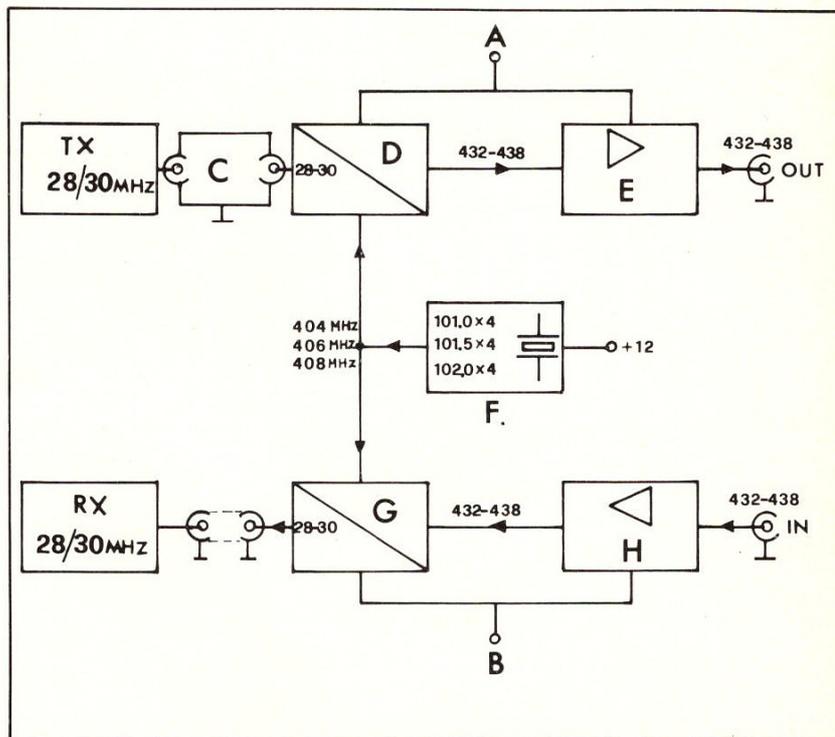


Fig. 1 - Schema a blocchi semplificato di un transverter per 70 cm.

- C - Attenuatore del segnale di ingresso a 28/30 MHz
- B - Mixer trasmettitore
- E - Amplificatore potenza 432/438
- F - Oscillatore locale a quarzo e moltiplicatore per quattro
- G - mixer ricevitore
- H - preamplificat. RF 432/438 MHz

Sono indicati anche il ricevitore HF ed il RX HF.

gura 1. Il segnale a 404 MHz e quello a 28 MHz batteranno insieme dando luogo a due segnali:  $404 + 28 = 432$  MHz e  $404 - 28 = 376$  MHz. Il segnale a 432 è quello desiderato, l'amplificatore che viene dopo il mixer ha i suoi circuiti LC accordati su questa frequenza e così il segnale immagine a 376 MHz verrà abbondantemente soppresso.

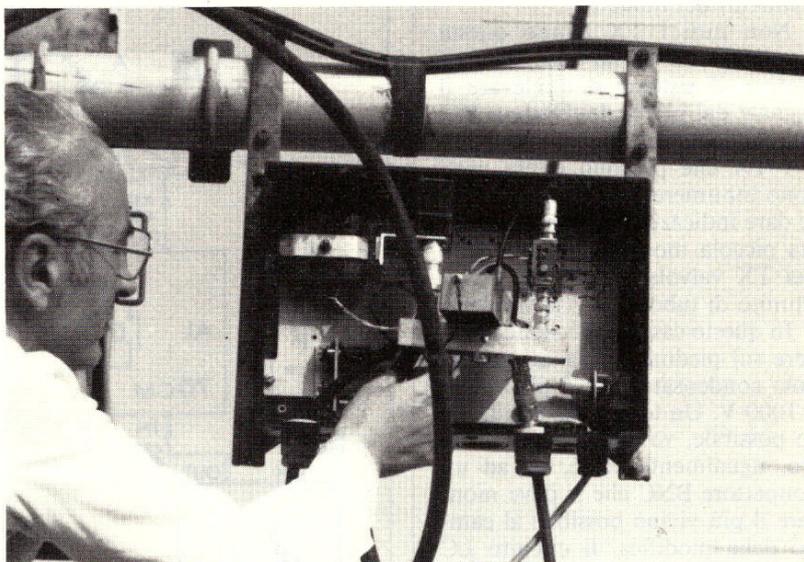
Uguualmente, se sintonizziamo il ricevitore su 28 MHz e alimentiamo a 12 V il punto B, il segnale a 432 MHz, dopo la preamplificazione, sarà applicato all'ingresso del mixer di ricezione. Nel mixer l'oscillatore a 404 MHz batterà con il segnale in arrivo a 432 MHz, dunque:  $432 - 404 = 28$  MHz. Questo segnale verrà finalmente applicato all'ingresso del ricevitore HF.

Ripetiamo lo stesso ragionamento facendo battere la stessa banda 28 - 30 MHz anche con l'oscillatore a 406 MHz e con quello a 408 MHz. Come risultato otterremo la copertura completa della banda da 432 a 438 MHz in ricezione e in trasmissione.

Tutti i transverter che esistono in commercio funzionano con questo semplice criterio circuitale anche se talvolta le conversioni sono doppie e le complessità dei circuiti sono notevoli. I transverter richiedono un ingresso a 28 - 30 MHz che deve essere fornito dal TX a un livello di potenza non superiore a 500 mW. La potenza di uscita in 70 cm è standardizzata a 10 W RF ma generalmente quella effettivamente erogata è circa 8 W, quanta ne dà normalmente un transceiver fatto apposta per i 70 cm.

Dal punto di vista ricezione, chi usa il transverter non ha più bisogno di un converter per ricevere i 70 cm in quanto il converter è già incorporato nel transverter.

Le caratteristiche più importanti da considerare sono una cifra di rumore abbastanza bassa, intorno a 3 dB ed un guadagno di circa 30 dB.



Preamplificatori per i 70 cm, filtro di banda K3PGP e relé coassiali montati in cassetta stagna sulla culla dell'antenna. L'alimentazione a 12 V proviene dalla stazione. In primo piano, I8CVS sostituisce il preamplificatore per i 70 centimetri con il MGF 1400.

I transverter commerciali sono alimentati a 12,5 V, hanno impedenza di 50 ohm sulle entrate e sulle uscite che rende agevole l'accoppiamento degli stessi con TX, RX ed antenne.

Alcuni transverter hanno caratteristiche di flessibilità molto interessanti, come ad esempio la connessione dell'antenna ad un unico connettore BNC perchè la commutazione RX - TX avviene internamente a mezzo diodi Pin.

Se questa soluzione non è desiderabile e si vogliono separare l'ingresso dall'uscita, basta fare un ponticello sul circuito stampato e utilizzare i due connettori BNC già predisposti sul transverter.

Questa modifica risulta necessaria quando si adoperano preamplificatori all'esterno e amplificatori lineari che richiedono una commutazione dell'antenna a mezzo relé coassiali.

Alcuni transverter hanno la commutazione RX - TX che può avvenire a mezzo VOX; questa funzione è molto importante perchè consente di passare in trasmis-

sione automaticamente, quando all'ingresso 28 - 30 MHz il livello di RF supera un dato valore di soglia. La funzione VOX permette di installare il trasverter nella soffitta o proprio sull'antenna senza bisogno di posare cavi per la commutazione RX-TX.

Non tutti i transverter commerciali coprono l'intera banda 432 - 438 MHz, generalmente la copertura si ferma a 436 MHz. Per aggiungere altri due MHz di banda (436 - 438), è sufficiente aggiungere un quarzo a 102 MHz ed un interruttore a levetta come descritto su RR.

Per pilotare un transverter ci vuole una potenza da 5 a 500 mW che deve essere ricavata dal TX HF in banda 28 - 30 MHz.

Alcuni TX HF sono già predisposti per essere accoppiati ad un transverter e sono dotati di un connettore BNC da cui prelevare questo livello di potenza. L'operazione si completa sfilando uno zoccolo fissato sul retro del TX. Lo zoccolo è munito di ponticelli o jumper che, disinseriti dal circuito,

staccano l'anodica e spengono i filamenti del finale RF.

Non tutti i TX hanno questa possibilità ed in tal caso bisogna trovare il sistema di prelevare il segnale dal pilota del finale a RF, staccando quest'ultimo.

I TX che possono essere usati sono innumerevoli ed è impossibile dare indicazioni precise per questa piccola modifica. Buona parte dei TX valvolari usano un driver munito di tubo 12BY7 o similare.

In questo caso è sufficiente collegare sul piedino di placca un piccolo condensatore da 5 pF isolato a 1000 V. Un terminale, il più corto possibile, va alla placca e l'altro, ugualmente corto, va ad un connettore BNC che si deve montare il più vicino possibile al campo della modifica. Il circuito LC del pilota è accordato a 28 - 30 MHz e risulta poco caricato, ma generalmente richiede un piccolo riaccordo in 10 metri, mentre le altre bande non vanno riaccordate. Per completare la modifica, bisogna aggiungere un interruttore per interrompere i filamenti delle valvole finali e bisogna ricordarsi che sulle placche c'è sempre tensione anodica anche se i filamenti sono spenti.

In tutti gli altri casi, specialmente con TX transistorizzati, mai aperti o scacciaviti, oppure tenuti lì come mostri sacri, ognuno deve risolvere il problema da sé col sistema meno indolore.

Generalmente l'OM è poco incline a fare un buco su un transceiver da due milioni perchè risulta difficile rivenderlo. L'esperienza insegna che spesso iniziative e progetti naufragano di fronte a problemi di questo tipo e soprattutto di ordine circuitale ausiliario. Spesso molte difficoltà di assemblaggio fra varie apparecchiature possono risolversi con qualche filo tirato fuori dai contenitori, qualche relè e commutatore che serviranno a rendere la stazione funzionale.

Ritornando al transverter, la potenza di uscita di 10 W in 70 cm è marginale. Se si usa in 70 cm un'antenna che abbia un qua-

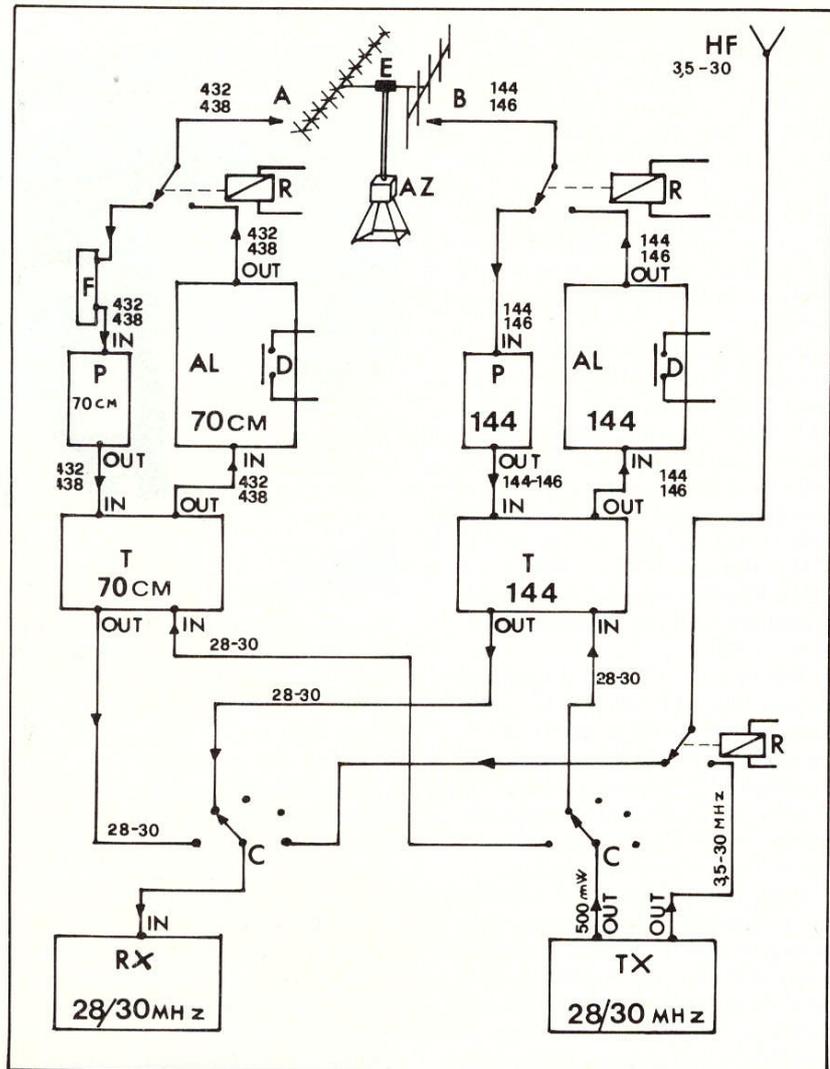


Fig. 2 - Tipico assemblaggio di apparecchiature in una stazione per traffico via satellite, attrezzata in Up-link e Down-link per 2 metri e 70 centimetri.

- A - antenna per 70 cm
  - B - antenna per 2 m
  - R - relè coassiali per commutazione antenne RX-TX
  - HF - antenna per bande decametriche
  - E - motore di elevazione
  - AZ - motore per il movimento azimutale
  - F - filtro passa-banda per 70 cm (K3PGP)
  - P - preamplificatore a basso rumore Ga As Fet
  - AL - amplificatore lineare
  - T - transverter
  - C - commutatori coassiali manuali situati in stazione
  - RX - ricevitore per le bande decametriche
  - TX - trasmettitore per le bande decametriche con uscita a basso livello (0,5W) per transverter
  - D - contatti a chiusura ritardata che azionano il lineare quando il relè coassiale ha già effettuato la commutazione dell'antenna, sia sul lineare che sul preamplificatore; servono per proteggere il preamplificatore e per evitare la bruciatura dei contatti relè.
- I cavi dai transverter al TX ed al RX sono RG58/CU; i rimanenti sono funzione della distanza fra TX ed antenna e della soluzione dell'impianto scelta.

## SPAZIO NUOVA FRONTIERA

dagno di 15/16 dB, i QSO, specie in CW, si fanno discretamente. Per fare QSO sempre, con comodità, senza sovraccaricare il transponder di OSCAR 10, bisogna alimentare l' antenna con almeno 30/50 W di RF.

La scelta dell' amplificatore lineare per 70 cm rappresenta un altro problema da discutere.

Qui bisogna fare delle scelte in funzione di fattori contingenti che limitano la libertà di impianto. Se un OM abita al primo piano di un palazzo che ne ha sei, avrà problemi tecnici ed economici completamente diversi da un altro che invece risiede all' ultimo piano. L' OM del primo piano deve chiedersi se può installare un cavo di qualità, costo e diametro che gli facciano perdere poca potenza in 70 cm fra TX ed antenna.

Se sì, l' amplificatore avrà una data potenza. Se no, dovrà fare due scelte. La prima è quella di installare transverter e amplificatore sul tetto. La seconda è quella di usare un cavo più economico, di diametro inferiore, acquistando o realizzando un amplificatore di potenza maggiore per compensare le maggiori perdite del cavo e alimentare l' antenna con almeno 30 W di RF.

In tutti gli altri casi in cui la situazione è meno drammatica e comunque il cavo non supera i 25 metri di lunghezza esistono cavi ottimi ed economici che permettono comode soluzioni di impianto.

Facciamo alcuni esempi. Decidiamo di usare in Uplink un' antenna long yagi a 21 elementi con un guadagno di 16 dB sul dipolo (ciò significa che il guadagno in potenza sul dipolo è 40 volte). In altri termini, se alimentiamo i morsetti di quest' antenna con 1 W di RF, sul lobo dell' antenna otterremo la stessa intensità di campo prodotta da un lobo di un semplice dipolo alimentato da 40 W.

Il transponder modo-B di OSCAR 10 richiede che il segnale in Uplink gli sia inviato con una potenza effettivamente irradiata

(ERP) di 800 - 1000 W. Se l' antenna guadagna 40 volte in potenza e se ai morsetti gli arrivano 20 W, la potenza irradiata nella direzione dell' asse del fascio sarà di  $40 \times 20 = 800$  W erp. In pratica non conviene tenersi al limite inferiore della potenza erp e ci proponiamo che alla nostra 21 elementi giungano almeno 30 W di RF. In tale caso la erp (Effective Radiated Power) sarà di  $40 \times 30 = 1200$  W.

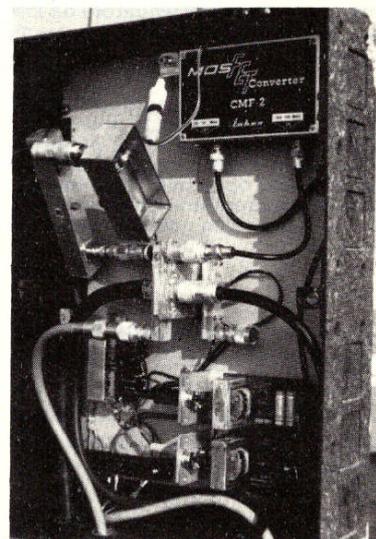
Vediamo cosa succede quando tra TX ed antenna c' è di mezzo il cavo. L' OM del primo piano per arrivare da TX ad antenna avrà bisogno di circa 40 metri di cavo. Consideriamo che non abbia problemi di condominio e possa montare i cavi che vuole. Decide di fare una spesa per sempre e sceglie un cavo a bassa attenuazione, un Cellflex da mezzo pollice che presenta un' attenuazione di 6 dB per 100 metri di lunghezza a 435 MHz. Con 40 metri di cavo, connettori compresi, l' attenuazione totale sarà di circa 3 dB o due volte in potenza, il che significa consumare metà potenza per riscaldare il cavo.

Se vogliamo che all' antenna arrivino 30 W, il TX ne deve fornire almeno 60. Il cavo Cellflex ed i connettori costano un patrimonio e facciamo il caso che lo stesso OM non voglia spendere questi soldi.

La scelta cade allora sul più economico ed ottimo cavo Inflex da tre ottavi di pollice che presenta un' attenuazione di circa 10 dB/100 metri a 435 MHz ed offre il vantaggio di usare normali connettori tipo N. L' attenuazione della linea sarà perciò 5 dB o circa tre volte in potenza. Per arrivare all' antenna con 30 W bisogna partire con circa 100 W.

Quando la potenza del lineare in 70 cm sfiora i 100 W output, il costo del lineare aumenta notevolmente e siamo al limite massimo dei prodotti commerciali a stato solido. Oltre i 100 W bisogna ricorrere al 4CX 250 e problemi tecnici e costi aumentano ancora.

Il caso di questo OM si potrebbe



Installazione all'esterno di preamplificatori, convertitori, relé coassiali ed alimentatori. Gli apparecchi sono montati in una cassetta di plastica, a tenuta stagna, Klocner Mueller, dotata di coperchio trasparente. La cassetta è fissata sul mast dell' antenna in ambiente marino da oltre otto anni.

risolvere in modo più economico montando sia il transverter che un amplificatore lineare da 30 W in prossimità dell' antenna.

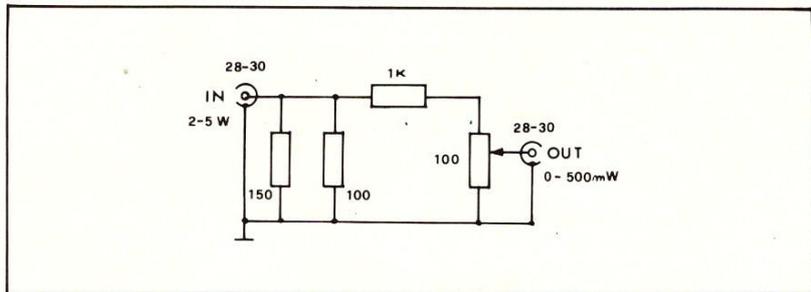
La fig.2 illustra lo schema a blocchi semplificato dell' installazione. Le due discese sono realizzate addirittura in cavo RG 58/CU che offrono il vantaggio di essere piccoli ed economici. Un cavo porta in su il segnale a 28 - 30 MHz dal TX al transverter e l' altro porta in giù il segnale a 28 - 30 MHz dal transverter al ricevitore. Questa soluzione comporta che l' OM abbia la possibilità di alloggiare le apparecchiature sul tetto e di tenerle riparate dalla pioggia o dalla curiosità di estranei.

Un altro problema molto sentito quando si trasmette in Uplink di OSCAR 10 è quello di regolare la potenza di uscita del TX da zero al massimo. Ci sono dei momenti

## SPAZIO NUOVA FRONTIERA

Fig. 3 - Semplice attenuatore da inserire fra uscita a basso livello del TX per HF e l'ingresso del transverter.

Le resistenze sono antiinduttive da 1 W, Allen Bradley; il potenziometro deve essere a grafite, di piccole dimensioni e manovrabile dall'esterno al posto operativo; l'attenuatore può essere montato in una scatoletta TECO con due connettori BNC.



in cui per essere traslati basta meno potenza di quella che abbiamo considerato. A volte bastano meno di 10 W, a volte ce ne vorrebbero più di 100. Questo dipende dalla posizione del satellite sulla sua orbita.

All'apogeo le antenne di OSCAR 10 sono dirette verso la terra e la potenza richiesta è bassa. In vicinanza del perigeo le antenne di OSCAR 10 sono dirette verso lo spazio o meglio l'asse del lobo principale è verso lo spazio, mentre alcuni lobi secondari e quello principale attenuato di molti dB sono rivolti alla terra.

In questo momento occorre parecchia potenza e talvolta non si riesce a passare. Alcuni OM hanno TX in cui il livello di potenza non è regolabile da zero al massimo. La situazione più comune che si

riscontra in chi usa transceiver per 70 cm è il livello da 1 W e quello da 10 W. Alcuni OM già attrezzati con amplificatori lineari E 4CX 250 fanno il pilotaggio con 1 W o 10 W. Il risultato sarà quello di avere una potenza di uscita da 30 a 200 W. Spesso, quando 30 W non bastano, si passa a 200 W e non è raro sentire il richiamo in CW che fa «QRP-QRP-QRP». Chi usa il transverter, pilota con un TX HF, in cui generalmente la potenza è variabile linearmente da zero al massimo e in ogni caso, qualora non fosse, è sempre molto facile inserire un piccolo attenuatore per abbassare il livello di 500 mW a 28 - 30 MHz.

Ciò può essere realizzato con un semplice potenziometro da 100 ohm e alcune resistenze, come illustrato in figura 3.

Con questa parte si conclude il capitolo dedicato agli OM che, sprovvisti di ogni apparecchiatura VHF e UHF, desideravano entrare nel mondo di OSCAR 10.

Non si ha la pretesa di aver detto tutto in modo chiaro, anzi quando bisogna trattare argomenti complessi semplificando al massimo le cose, si rischia di sbagliare. L'imprecisione e l'inesattezza sono lo scotto che si deve pagare per la divulgazione e certo gli OM più preparati saranno disposti a scusare se alcuni argomenti ben noti sono stati rimessi in discussione.

In ogni caso, la speranza che OM legati alle HF possano riflettere ed entrare nel nostro gruppo ci serve di conforto.

La quinta parte sarà dedicata alle antenne che occorre usare per il traffico via satellite.

**nuova**  
**MAGNUM ELECTRONIC**

by I4FDX di FRIGNANI DANIELE Via Bellonci, 4 - FORLÌ - Tel. 0543-724635

**nuovo!**

### Caratteristiche tecniche

Campo di frequenza: da 1,5 MHz a 2,2 MHz (160 m); da 3,5 MHz a 4 MHz (80 m); da 7 MHz a 7,5 MHz (40 m); da 10 MHz a 10,5 MHz (30 m); da 14 MHz a 14,5 MHz (20 m); da 18 MHz a 18,5 MHz (17 m); da 21 MHz a 21,5 MHz (15 m); da 24,5 MHz a 25 MHz (12 m); da 26,5 MHz a 28 MHz (11 m); da 28 MHz a 30 MHz (10 m).  
Impedenza d'ingresso: 50 ohm resistivi.  
Impedenza d'uscita: 50 ohm con VSWR max 5:1.  
Potenza nominale: 4000 W PeP 2000 W DC (10 + 30); 2000 W PeP 1000 W DC (30 - 80 m); 1500 W PeP 750 W DC (160 m).  
Precisione del Wattmetro: ± 5%.  
Perdite d'inserzione: 0,5 dB o meno, dopo l'adattamento a VSWR 1:1.  
Dimensioni: 320 x 360 x 180 mm.  
Peso: Kg 13,5.



MT 3000 DX

**MT 3000/B** - Accordatore antenna per decametriche 2000 W, 4000 W PeP.

**MT 3000/DX** - Accordatore antenna come MT 300/B con BANDE WARC.

**MT 1000/DX** - Accordatore antenna per decametriche 1000 W con nuove Bande Warc.

**MT 500/DX** (prossima produzione) - Accordatore antenna per decametriche 500 W con bande Warc.

**ME 800/B** - Amplificatore lineare per 27 MHz - AM 300 W out SSB 800 W PeP.

**ME 800/DX** (prossima produzione) - Amplificatore lineare per 6-7,5 MHz - AM 300 W out SSB 800 W PeP - 10 W input.

**MW 2000/N** - Wattmetro direzionale - 2 kW - 1-30 MHz.

**MW 1000/VHF** - Wattmetro direzionale 140 ± 150 MHz - 1 kW.

**MW 1000/VHF - FM** - Wattmetro direz. 88-108 MHz (per emittenti private) - 1 kW.

**MPX 500** Preamplificatore 144 da palo - 500 W PeP.

**ME 5003/VHF** - Amplificatore lineare FM-SSB-RTTY 144-146 MHz 500 W PeP.

**MCX** - Commutatore d'antenna 1-4 kW da 3 a 12 pos.

## I satelliti dei radioamatori

# Le antenne

parte quinta

La quarta parte della rubrica dedicata a chi comincia ha fornito le indicazioni di massima per allestire una stazione terrena per traffico via Oscar-10. Abbiamo preso in esame il caso di un OM privo di qualunque apparecchiatura VHF e UHF, ora è necessario parlare delle antenne che gli occorrono sia per accedere Oscar-10 in uplink 70 cm, sia per ricevere i segnali downlink in 2 metri.

Com'è noto, l'antenna rappresenta l'elemento più importante di ogni sistema radioelettrico e a maggior ragione lo è sui satelliti, dove i segnali da ricevere sono sempre molto deboli. Ma cos'è un'antenna? Un'antenna è semplicemente la regione di transizione fra la corrente a R.F. proveniente dal trasmettitore e l'onda elettromagnetica che si forma nel libero spazio.

Quali sono le antenne che si usano nel traffico via satellite? Prima di dare una risposta seppur sommaria a questo interrogativo è necessario analizzare alcuni fenomeni che si associano alla propagazione dei segnali nella tratta terra-spazio e viceversa. Oltre a questi bisogna considerare che i satelliti, essendo corpi orbitanti, non sempre presentano le antenne dirette verso la terra e ciò complica la situazione.

Noi diciamo comunemente che un'antenna montata con gli elementi orizzontali trasmette in polarizzazione orizzontale e sappiamo anche che occorre un'antenna montata orizzontalmente per ricevere il massimo segnale. La stessa cosa succede fra due antenne montate verticalmente.

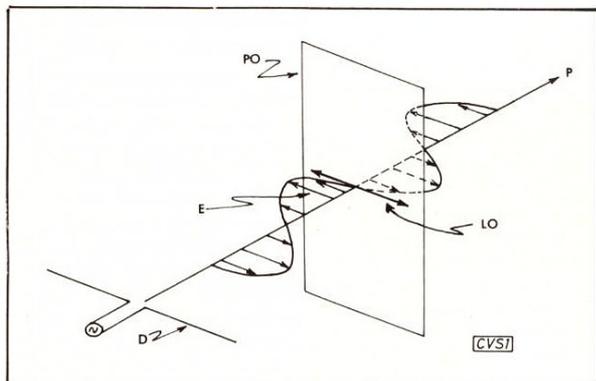


Fig. 1 - PO: piano di osservazione; D: dipolo a mezz'onda montato orizzontale; E: vettori del campo elettrico; P: direzione di propagazione; LO: l'onda è polarizzata orizzontalmente perché i vettori del campo elettrico giacciono su una componente orizzontale disposta sul piano di osservazione.

Questi termini orizzontali e verticali vengono usati per riferire il piano di polarizzazione dell'onda elettromagnetica rispetto al nostro orizzonte geografico sulla terra.

La polarizzazione di un'onda elettromagnetica è definita dal piano in cui giace il vettore del campo elettrico durante il passaggio di un ciclo completo di R.F. alimentante l'antenna. Se l'antenna è orizzontale, il vettore del campo elettrico giace sul piano orizzontale (figura 1). In modo analogo, l'onda elettromagnetica irradiata da un'antenna verticale ha il vettore del campo elettrico disposto verticalmente (figura 2). In ciascuno dei due casi, siccome il vettore del campo elettrico giace su un piano, si parla di polarizzazione lineare.

Il piano su cui giace il vettore del campo elettrico può essere disposto con qualsiasi angolo rispetto al piano del nostro orizzonte. In questo caso la polarizzazione non sarà né orizzontale né verticale, ma comunque sarà sempre lineare.

Com'è facile intuire, fra il piano orizzontale e quello verticale esistono infiniti piani e quindi la polarizzazione orizzontale e quella verticale rappresentano soltanto due possibili casi di polarizzazione lineare, ossia quelli più usati perché facilmente riferibili al nostro orizzonte.

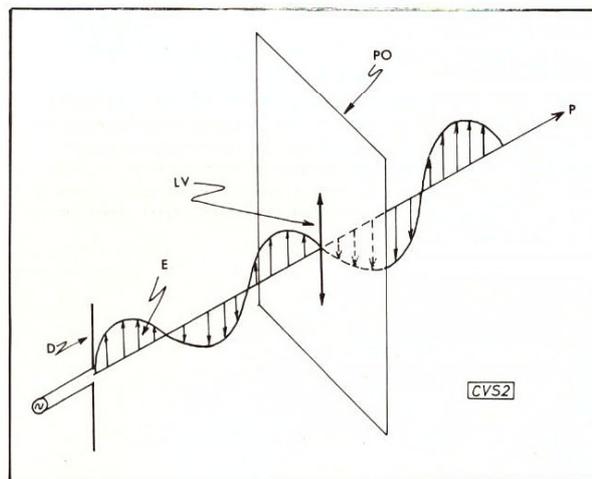
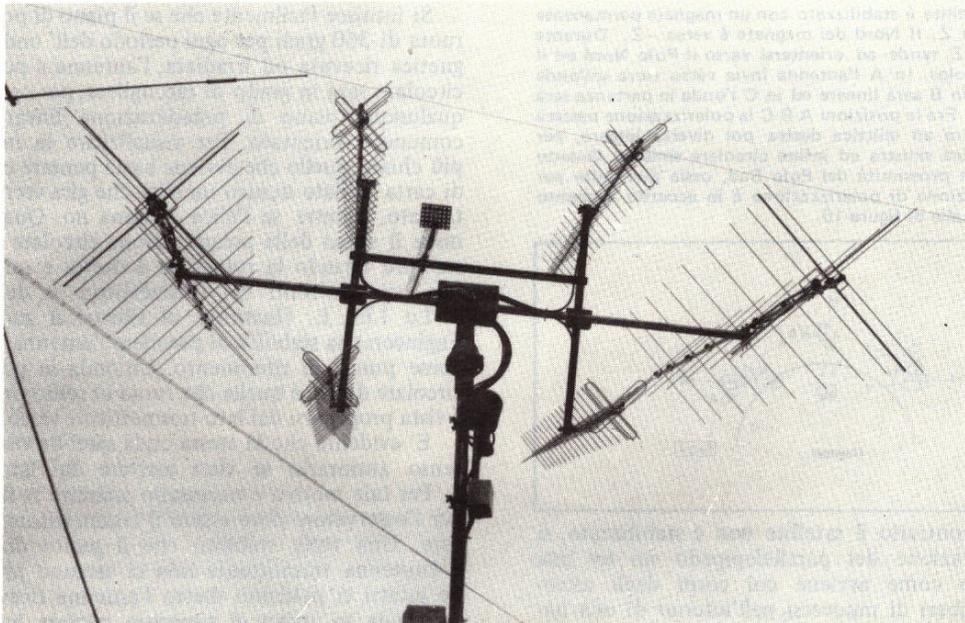


Fig. 2 - Polarizzazione lineare verticale. PO: piano di osservazione; D: dipolo a mezz'onda montato verticale; E: vettori del campo elettrico; P: direzione di propagazione; LV: l'onda è polarizzata verticalmente perché i vettori del campo elettrico giacciono verticalmente sul piano di osservazione.



L'ultima versione dell'impianto di antenne per satelliti di IV3TKJ  
Due 10 più 10 per i 2 metri. Quattro 20 più 20 per i 70 centimetri. Una 28 Loop per i 23 centimetri

Nel traffico via satellite, e in misura diversa nella propagazione troposferica, il piano di polarizzazione non conserva mai il suo orientamento iniziale. Man mano che l'onda elettromagnetica si propaga nel libero spazio, il piano di polarizzazione cambia orientamento. Questo fenomeno, denominato rotazione di Faraday, si manifesta quando l'onda elettromagnetica attraversa gli strati ionizzati per raggiungere il satellite e viceversa quando li riattraversa per raggiungere la stazione terrena. Potremmo visualizzare il fenomeno immaginando il piano di polarizzazione dell'onda elettromagnetica come un foglio di carta che si attorciglia mentre si allunga durante l'attraversamento degli strati nel viaggio terra-spazio e viceversa (figura 3).

La conseguenza immediata della rotazione di Faraday è che un'onda elettromagnetica irradiata dalla terra con polarizzazione orizzontale potrà raggiungere l'antenna del satellite con qualunque angolo di polarizzazione. Il piano di polarizzazione in arrivo potrebbe essere coincidente come essere spostato di parecchi gradi rispetto a quello dell'antenna del satellite.

Se vogliamo simulare le conseguenze della rotazione di Faraday basta fare la prova ricevendo un segnale non troppo forte in banda 2 metri o 70 cm. Se il segnale viene trasmesso da una yagi a polarizzazione orizzontale proviamo a riceverlo con un'altra yagi ruotando il boom sul suo asse di 360 gradi. Il passaggio del piano della antenna ricevente attraverso gli infiniti piani di polarizzazione rispetto a quello orizzontale in arrivo provocherà QSB.

Per quanto riguarda il satellite, bisogna considerare che un corpo orbitante nello spazio non mantiene il

suo assetto costante nel tempo; ciò vale maggiormente per quei satelliti il cui sistema di stabilizzazione rispetto alla terra è di limitate prestazioni. Oscar-10, pur avendo un sistema di stabilizzazione sofisticatissimo, non può mantenere le antenne orientate verso la terra per tutta la sua orbita.

Solo all'apogeo le antenne saranno dirette verso la terra mentre in tutte le altre posizioni orbitali il lobo irradianza parzialmente verso la terra e lo spazio. A causa del tipo di orbita ellittica e di stabilizzazione, quando Oscar-10 è al perigeo le sue antenne sono rivolte verso lo spazio.

In generale, se un satellite è formato da un parallelepipedo (figura 4), è attraversato da tre assi denominati X-Y-Z.

Se il satellite è stabilizzato, la rotazione sui tre assi è minima e viene corretta, cosicché le antenne mantengono quasi costante il loro orientamento verso il sub-

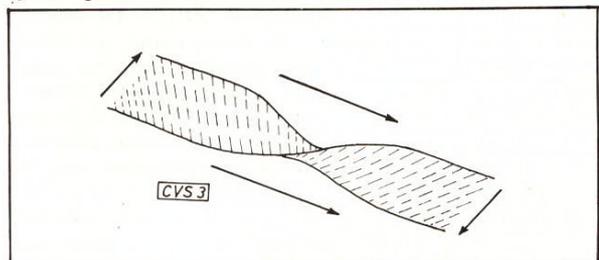
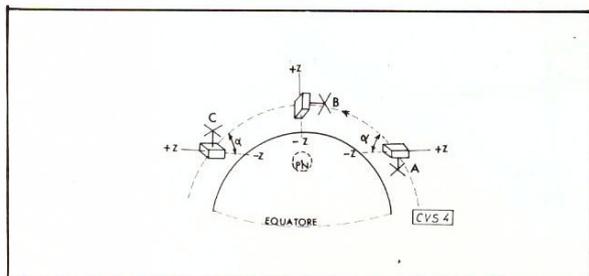


Fig. 3 Rotazione di Faraday: durante l'attraversamento degli strati ionizzati il piano di polarizzazione subisce una rotazione la cui entità è inversamente proporzionale al quadrato della frequenza.

Fig. 4 - Il satellite è stabilizzato con un magnete permanente parallelo all'asse Z. Il Nord del magnete è verso -Z. Durante l'orbita, l'asse -Z tende ad orientarsi verso il Polo Nord ed il satellite si capovolge. In A l'antenna invia verso terra un'onda circolare destra; in B sarà lineare ed in C l'onda in partenza sarà circolare sinistra. Fra le posizioni A-B-C la polarizzazione passerà da circolare destra ad ellittica destra poi diverrà lineare, per tornare ad ellittica sinistra ed infine circolare sinistra. Quanto sopra si ripete in prossimità del Polo Sud, ossia due volte per orbita. La variazione di polarizzazione è in accordo a quanto detto nelle didascalie di figura 10.



point. Se al contrario il satellite non è stabilizzato, si verifica la rotazione del parallelepipedo sui tre assi X-Y-Z proprio come avviene coi corpi degli astronauti lasciati liberi di muoversi nell'interno di una navicella spaziale.

Da quanto detto appare evidente che è molto difficile mettere in relazione il piano di polarizzazione lineare di un'onda elettromagnetica terra-spazio con la posizione e l'orientamento dell'antenna a bordo del satellite.

Se infatti l'antenna ricevente del satellite fosse un dipolo, il suo piano di polarizzazione rispetto alla terra varierebbe in continuazione con la rotazione del satellite sui tre assi. Oltre a ciò il piano di polarizzazione dell'onda elettromagnetica in arrivo dalla terra varierebbe in continuazione per effetto della rotazione di Faraday provocando il QSB.

Il risultato di queste considerazioni è che per limitare il problema del QSB bisognerebbe essere in grado di ricevere un segnale che arriva dal satellite con qualunque piano di polarizzazione. Nel contempo, per migliorare ancora la situazione, bisognerebbe trasmettere verso il satellite un segnale che venga ricevuto sempre, nonostante tutte le possibili posizioni che l'antenna del satellite assume nello spazio con il tempo.

Tutto ciò non si può ottenere in modo completo, ma il problema si risolve in maniera soddisfacente con una onda elettromagnetica polarizzata circolarmente.

Nella polarizzazione circolare il vettore del campo elettrico non giace sempre sullo stesso piano, ma ruota di 360 gradi facendo un giro completo per ogni ciclo della frequenza trasmessa o ricevuta. Siccome il vettore del campo elettrico giace su un piano, la rotazione del vettore farà ruotare il piano nello stesso modo determinando la rotazione del piano di polarizzazione ossia la polarizzazione circolare.

Ciò è illustrato in figura 5 dove il vettore, visto dal lato trasmettitore, ruota in senso orario generando una onda elettromagnetica con polarizzazione circolare destra. In modo analogo è possibile generare un'onda elettromagnetica con polarizzazione circolare sinistra (figura 6).

Si intuisce facilmente che se il piano di polarizzazione ruota di 360 gradi per ogni periodo dell'onda elettromagnetica ricevuta od irradiata, l'antenna a polarizzazione circolare sarà in grado di raccogliere, per ogni 360 gradi, qualunque piano di polarizzazione lineare in arrivo comunque orientato. Per visualizzare in modo ancora più chiaro quello che avviene basta pensare che un foglio di carta infilato dentro un'elica che gira verrà comunque tagliato, mentre se l'elica è ferma no. Quando si definisce il senso della polarizzazione circolare è necessario stabilire quando la rotazione è destra e quando è sinistra nei confronti del trasmettitore o del ricevitore.

Lo I.E.E.E. (Institute of Electrical and Electronic Engineers) ha stabilito di prendere l'antenna trasmettente come punto di riferimento. Un'onda in polarizzazione circolare destra è quella che ruota in senso orario quando è vista propagarsi dal lato trasmettitore verso il ricevitore.

È evidente che la stessa onda sarebbe vista ruotare in senso antiorario se vista arrivare dal lato ricevitore.

Per tale motivo è necessario stabilire se il riferimento per l'osservatore deve essere il trasmettitore od il ricevitore. Una volta stabilito che il punto di riferimento è l'antenna trasmettente non ci saranno più equivoci. Se infatti ci poniamo dietro l'antenna ricevente, anche se l'onda in arrivo ci apparisse ruotare in senso antiorario, noi sappiamo che si tratta di un'onda partita in polarizzazione circolare destra. È molto interessante fare dei ragionamenti immaginando di visualizzare l'onda materialmente ponendosi dietro l'antenna trasmettente e poi dietro quella ricevente.

Si può dimostrare matematicamente che un'onda in polarizzazione circolare viene generata dalla combinazione di due onde in polarizzazione lineare che siano

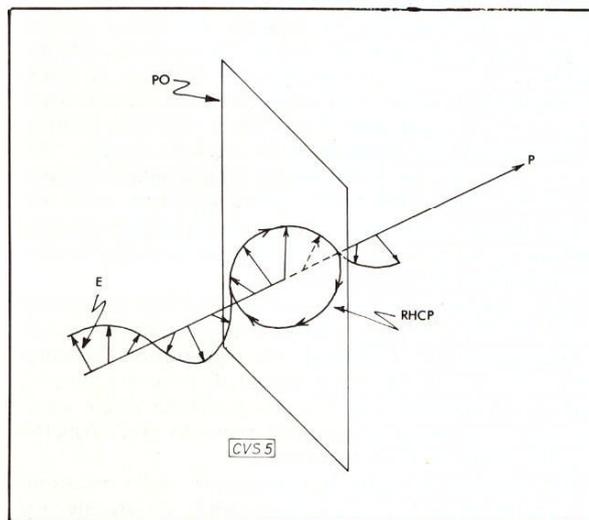
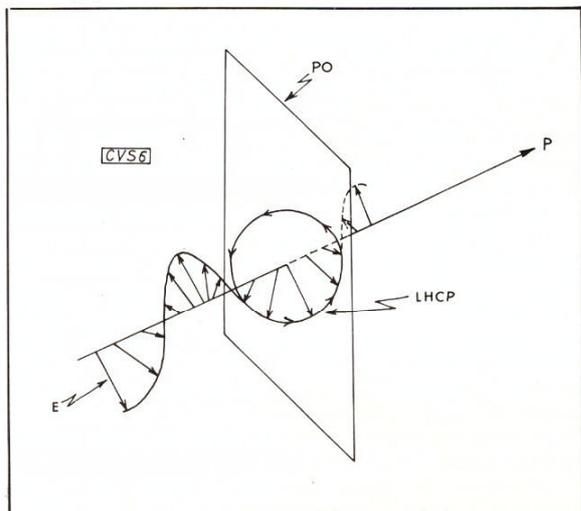


Fig. 5 - Polarizzazione circolare destra. PO: piano di osservazione; E: vettori del campo elettrico; P: direzione di propagazione; RHCP: i vettori del campo elettrico descrivono un cerchio sul piano di osservazione e compiono 360 gradi per ogni ciclo della frequenza trasmessa o ricevuta. Un "avvitamento" completo si compie ad ogni ciclo, ossia quando l'onda elettromagnetica ha percorso la distanza di una lunghezza d'onda nel libero spazio. Siccome il vettore ruota in senso orario visto dal lato trasmettitore la polarizzazione è circolare destra. RHCP sta per Right Hand Circular Polarization.

Fig. 6 - Polarizzazione circolare sinistra. PO - piano di osservazione; E - vettori del campo elettrico; LHCP - i vettori del campo elettrico ruotano in senso antiorario quando sono visti dal lato trasmettitore e descrivono un cerchio sul piano di osservazione. L'onda elettromagnetica si dirige verso P ed i vettori ruotano di 360 gradi per ogni ciclo della frequenza trasmessa o ricevuta. LHCP sta per Left Hand Circular Polarisation (o polarizzazione circolare sinistra).



su piani a 90 gradi uno dall'altro e fra cui esista una differenza di fase di un quarto di periodo. In ogni caso è opportuno precisare che onde elettromagnetiche essenzialmente lineari o circolari esistono solo in teoria. In pratica è impossibile generare un'onda elettromagnetica polarizzata orizzontalmente senza che abbia componenti verticali e lo stesso vale per un'onda polarizzata verticalmente senza componenti orizzontali.

Quali sono i vantaggi della polarizzazione circolare? E' sempre conveniente usarla? Se ne può fare a meno?

Il vantaggio principale di un'antenna a polarizzazione circolare è la riduzione del QSB che può accompagnare la ricezione di un segnale che abbia attraversato la ionosfera. Il suo uso è perciò limitato quasi essenzialmente al traffico via satellite. Quando il segnale attraversa la ionosfera nella tratta terra-spazio, e spazio-terra, il piano di polarizzazione ruota. La rotazione di Faraday varia in modo inversamente proporzionale al quadrato della frequenza. Se ad esempio a 435 MHz la rotazione del piano è stata di 180 gradi, in 2 metri ed in 10 metri sarà di diversi cicli completi. L'entità della rotazione cambia e non è costante nel tempo, per cui se abbiamo il giusto angolo di polarizzazione con il satellite all'orizzonte, questo si mantiene costante per tutto il tempo di acquisizione. Quando il satellite trasmette in down-link con polarizzazione lineare è molto importante ricevere i suoi segnali con un'antenna a polarizzazione circolare.

Molti ricorderanno che la ricezione del modo-J di OSCAR-8 era accettabile solo con antenne elicoidali in 70 cm. Lo stesso OSCAR-8 ed i satelliti russi della serie RS trasmettevano down-link modo-A sui 10 m con antenna lineare: ebbene, la ricezione del modo-A era affetta da QSB usando la classica tre elementi dei 28 MHz, mentre non lo era quasi con un'antenna turn-style che lavora in polarizzazione circolare.

E con OSCAR-10 come la mettiamo? Siccome il satellite trasmette e riceve in polarizzazione circolare destra, le antenne della stazione terrena, se sono anche loro in circolare destra torna bene, ma se sono lineari il QSB sarà comunque tollerabile. Parleremo di questo argomento con maggiori dettagli.

Come si fa a generare un'onda polarizzata circolarmente? Con ogni probabilità il modo più semplice per visualizzare la formazione della polarizzazione circolare è quello di farlo con un metodo irrealizzabile in pratica.

La figura 7 mostra un dipolo lineare a mezz'onda che viene fatto ruotare dall'albero di un motore sincrono. Questo viene alimentato dallo stesso generatore che alimenta il dipolo. In questo modo il dipolo ruota di un giro (o 360 gradi) per ogni ciclo della corrente fornita al motore, mentre il dipolo irradia un ciclo di onda elettromagnetica per ogni giro del motore.

Il fatto importante è che l'antenna deve ruotare allo stesso numero di giri per tanti cicli quanti sono contenuti nella frequenza dell'onda irradiata. Il risultato sarà quello di figura 8, dove il piano di polarizzazione dell'onda elettromagnetica ruota su se stesso di 360 gradi man mano che il campo si propaga nel libero spazio. E' evidente che un'avvitamento completo di 360 gradi si compie ad ogni ciclo dell'onda irradiata e tutti sappiamo che lo spazio percorso da un'onda elettromagnetica nel tempo di un ciclo si chiama lunghezza d'onda.

L'esempio fatto è puramente didattico, giacché nessun motore potrebbe ruotare a centinaia di milioni di giri al secondo; per realizzare la polarizzazione circolare bisognerà usare dei criteri adeguati.

Uno dei mezzi più semplici e pratici è rappresentato dall'antenna elicoidale scoperta dal ben noto John Kraus nel 1946, quando era giovane docente in telecomunicazioni alla Ohio State University. L'argomento è trattato in modo analitico nell'ormai classica opera "Antennas", mentre le fasi appassionanti della scoperta fatta nel laboratorio casalingo sono narrate con spirito di OM nel suo volume autobiografico "Big Ear" (vedasi bibliografia).

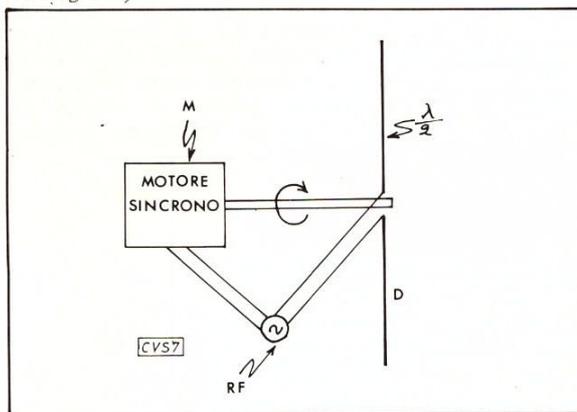
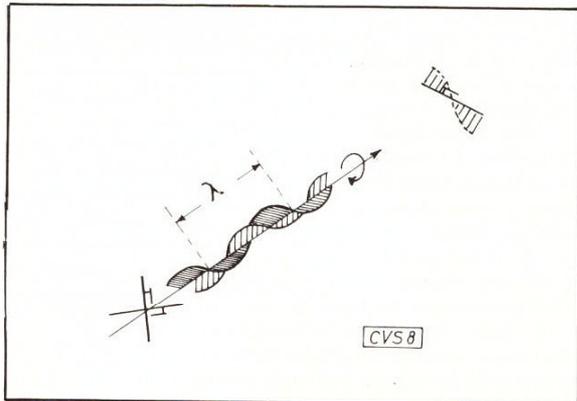


Fig. 7 - Un semplice sistema per visualizzare la formazione di un'onda polarizzata circolarmente (il sistema è solo didattico e impossibile da realizzare). M: motore sincrono che compie un giro per ogni ciclo della frequenza che lo alimenta e che viene applicata anche al dipolo. D: dipolo che ruota meccanicamente un numero di volte al secondo pari alla frequenza trasmessa.

Fig. 8 - Un'onda polarizzata circolarmente compie una rotazione di 360 gradi per ogni intervallo di spazio compreso in una lunghezza d'onda. In questa maniera un dipolo lineare comunemente orientato sullo stesso piano verrà eccitato dal campo elettromagnetico in arrivo. Lo stesso ragionamento ha valore se l'antenna riceve.



La figura 9 mostra il disegno di un'antenna ad elica. I parametri tipici sono una circonferenza compresa fra  $3/4$  e  $4/3$  di lunghezza d'onda; la lunghezza dell'elica varia da una a tre lunghezze d'onda, mentre l'impedenza caratteristica è attorno a 120 ohm. Il guadagno di un'antenna elicoidale di pratica realizzazione è compreso fra 8 e 12 dBdc. Il senso di rotazione del piano di polarizzazione dipende da come è avvolta l'elica. Se questa è avvolta in senso orario con avanzamento del passo, la polarizzazione è destra e, al contrario, è sinistra.

La bibliografia cita alcuni articoli che trattano questa antenna. La realizzazione di una elicoidale è abbastanza complessa solo da un punto di vista meccanico e perciò il metodo che incontra maggior favore in campo amatoriale è l'uso di yagi a dipoli incrociati. In questo caso la tecnica per generare la polarizzazione circolare consiste nel montare due dipoli ad angolo retto (generalmente uno orizzontale e l'altro verticale), alimentandoli con correnti a R.F. uguali, ma sfasate di 90 gradi.

Vediamo come funziona il sistema a due dipoli alimentati dal suo generatore a R.F. Se l'osservatore si pone al lato sinistro del disegno e guarda i dipoli verso destra, vedrà che la metà sinistra del dipolo orizzontale raggiunge il valore massimo positivo in anticipo di 90 gradi rispetto al lato inferiore del dipolo verticale.

Questo raggiungerà lo stesso valore massimo positivo dopo il tempo necessario affinché la corrente a R.F. percorra il pezzo di cavo lungo un quarto di lunghezza d'onda, ovvero la linea di ritardo. Se il vettore del campo elettrico del dipolo orizzontale si trova in anticipo (rispetto a quello verticale), significa che ha ruotato in senso antiorario e l'osservatore vede un'onda in polarizzazione circolare sinistra. Ma tutto è relativo. Se l'osservatore si trasferisce al lato destro del disegno e guarda verso i dipoli, vedrà lo stesso vettore del campo elettrico ruotare in senso orario e gli apparirà un'onda in polarizzazione circolare destra. Si deduce che i due dipoli incrociati, alimentati con uno sfasamento di 90 gradi, irradiano in polarizzazione circolare destra da un lato e sinistra dall'altro.

Per essere convinti di questo apparente paradosso basta considerare che il senso di radiazione del vettore va riferito per convenzione all'antenna trasmittente. Fermo restando il senso di rotazione del vettore, poniamo un riflettore a sinistra dei dipoli incrociati, in modo che irradiano soltanto verso destra di figura 10. Se ci poniamo dietro il riflettore, vedremo l'onda ruotare in senso antiorario. Spostiamo il riflettore a destra dei dipoli in modo che irradiano soltanto verso sinistra. Se ci poniamo dietro il riflettore vedremo l'onda ruotare in senso orario.

Il sistema dei dipoli incrociati è molto adatto per cambiare il senso di polarizzazione da destro a sinistro. L'unica operazione da fare è commutare la linea di ritardo dal dipolo verticale a quello orizzontale. In tal modo il dipolo orizzontale raggiunge il valore massimo positivo  $1/4$  di periodo dopo il dipolo verticale. Il vettore verticale essendo in anticipo è come se avesse ruotato verso destra, perciò i sensi di rotazione di figura 10 si invertono. In pratica questa operazione si può fare invertendo i connettori sui dipoli, oppure mediante un relé coassiale comandato a distanza, o ancora portando due linee coassiali di lunghezza uguale e la linea di ritardo fino alla stazione.

L'esempio di figura 10 è valido ai fini della comprensione della polarizzazione circolare, ma non tiene conto degli adattamenti di impedenza che saranno trattati in futuro. Il sistema dei dipoli comporta un vantaggio rispetto all'antenna elicoidale, il cui senso di polarizzazione non si può cambiare, essendo stata avvolta a destra od a sinistra al momento della costruzione. Non ostante

Fig. 9 - Antenna elicoidale in polarizzazione circolare destra. A: elica, la cui circonferenza varia da  $3/4$  a  $4/3$  di lunghezza d'onda. La lunghezza dell'elica varia da 1 a 3 lunghezze d'onda. Circonferenza e numero di spire determinano il guadagno che è normalmente fra 8 e 12 dB per lunghezze da 1 a 3 lambda. L'antenna elicoidale fu scoperta da John Kraus W8JK, attualmente direttore del Big Ear, il radiotelescopio della Ohio State University di Columbus. Dal 1946 l'antenna trova impiego per scopi aeronautici e più tardi per quelli spaziali.

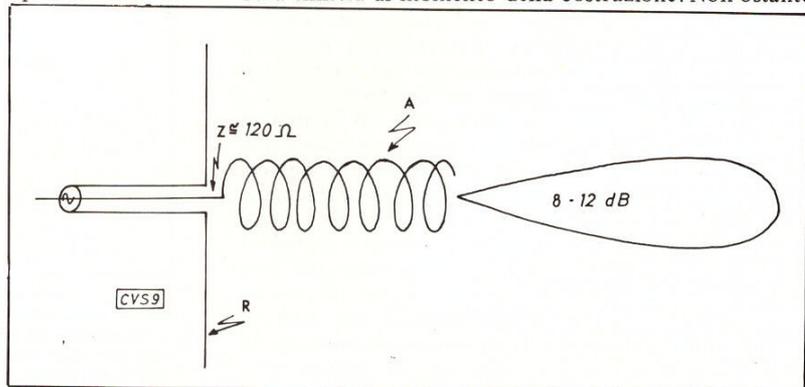
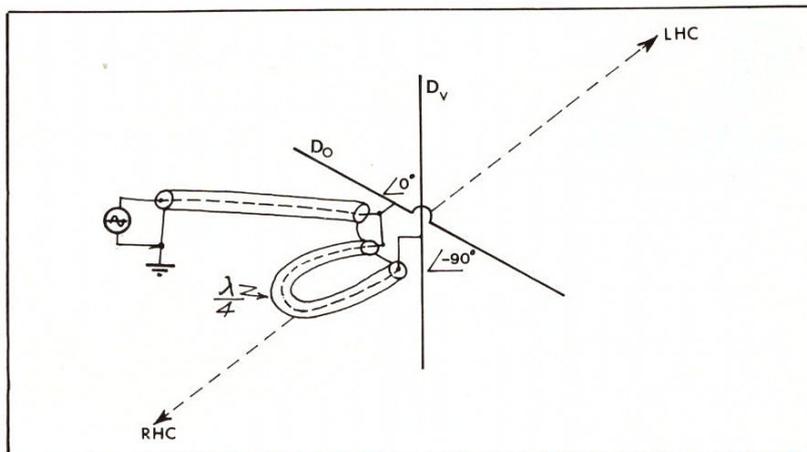


Fig. 10 - I dipoli sono incrociati, giacciono sullo stesso piano e sono a 90 gradi uno con l'altro. La corrente a RF raggiunge prima il dipolo orizzontale  $D_o$  e per raggiungere il dipolo  $D_v$  deve percorrere la linea di ritardo lunga un quarto d'onda. Le correnti risultano così sfasate di 90 gradi ed il vettore della corrente sul dipolo  $D_o$  è in anticipo su quello del dipolo verticale  $D_v$ . Si genera un campo elettromagnetico rotante che si propaga in due direzioni opposte al piano dei dipoli. Un osservatore a sinistra vede il vettore che ruota in senso antiorario. Un osservatore a destra vede il vettore che ruota in senso orario. Siccome il senso di rotazione si definisce a partire dall'antenna trasmittente, la polarizzazione sarà circolare destra verso RHC e circolare sinistra verso LHC.



ciò, esistono casi in cui un sistema è preferibile all'altro e viceversa.

Il fatto di poter invertire il senso di polarizzazione da terra è molto importante quando si ricevono i segnali da un satellite che trasmette in polarizzazione circolare. Anche qui è valido il ragionamento fatto su figura 10, in quanto la polarizzazione dei segnali in arrivo dipende da quale lato delle antenne del satellite è rivolto verso terra. Facciamo un esempio, ricordandoci OSCAR-7 operante in modo-B.

Il satellite riceveva in 70 centimetri e traslava in 2 metri con due antenne Canted-Turnstyle aventi lo stesso senso di polarizzazione. Il satellite era stabilizzato utilizzando alcuni magneti permanenti che interagivano con il campo magnetico terrestre. Secondo le leggi del magnetismo, quando un satellite orbita nell'emisfero settentrionale i magneti orientano il loro Nord verso il Nord geografico, che in realtà è il Sud magnetico. Viceversa avviene sull'emisfero meridionale, perché i Sud dei magneti si orientano verso il Sud geografico, che è il Nord Magnetico della Terra. La conseguenza della stabilizzazione di un solo asse con questo sistema determina il capovolgimento di un satellite in orbita polare durante il passaggio da un emisfero all'altro. Siccome il satellite rivolge verso la Terra prima una faccia di dipoli e poi l'altra, si spiega come in accordo ai ragionamenti di figura 10 la polarizzazione sia destra su un emisfero e sinistra sull'altro.

Una riflessione analoga con alcune varianti si può fare per OSCAR-10. Le antenne dei 2m, dei 70 cm e dei 23 cm sono tutte a polarizzazione circolare destra, ma sono direttive. Il satellite è stabilizzato in modo che l'asse Z resti il più possibile parallelo al semiasse maggiore dell'orbita ellittica.

Quando OSCAR-10 si avvicina al perigeo, il lobo principale dell'antenna irradia verso lo spazio e poco verso la Terra. Al perigeo il satellite rivolge i riflettori dell'antenna dei 2 metri verso la Terra, mentre i dipoli sono diretti verso lo spazio. Cosa vedrà l'antenna della stazione terrena durante l'orbita? All'apogeo vede un'onda che arriva a polarizzazione circolare destra. In prossimità di M.A. 60 e M.A. 180 (M.A. significa Main Anomaly, vedasi le puntate precedenti) vede una

onda in polarizzazione ellittica o lineare. In prossimità del perigeo, a M.A. 20 e M.A. 240 in accordo a figura 10 la polarizzazione sarà invertita ed arriverà sinistra. Ciò spiega in parte perché le antenne dei 2 metri in polarizzazione lineare funzionano meglio di quelle circolari destre con il satellite che si avvicina al perigeo o se ne allontana da una M.A. variabile entro i valori 180 - 256 - 60.

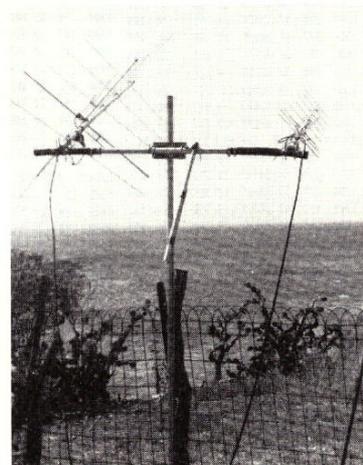
La polarizzazione circolare destra è invece vantaggiosa da M.A. 60 a M.A. 180. In ogni caso molti altri fenomeni intervengono a modificare questi concetti di base e noi li tratteremo in dettaglio nella prossima puntata.

Buona continuazione d'anno a tutti, via OSCAR-10.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) 1975 ARRL Technical Symposium: The advantages of circular polarization for amateur satellite ground stations. John J. Nagle - K4KJ.
- 2) "Antennas" - John D. Kraus, Ph.D. - Editore Mc Graw-Hill Book Company Electrical and Electronic Engineering series n. 35410.
- 3) "Big Ear" - John D. Kraus, Ph.D. Editore Cygnus-Quasar Books Powell, Ohio Library of Congress Catalog Card Number 76-24396.

Le antenne per Oscar-10 di W1BIH/PJ2, nel paradiso tropicale di Curaçao



## I satelliti dei radioamatori

### Le antenne

(parte sesta)

Nella quinta parte (v. RR 2/85) sono stati introdotti i concetti fondamentali della polarizzazione circolare. Ora esaminiamo i modi per ottenerla ed i risultati che si possono conseguire.

La figura 1 serve a determinare rapidamente il senso di rotazione del piano di polarizzazione circolare e si riferisce a due dipoli incrociati complanari, alimentati con due correnti a radio frequenza (RF) di uguale ampiezza, ma sfasate di un quarto di periodo.

Un'onda polarizzata circolarmente si può ottenere con un'altra tecnica che impiega sempre due dipoli incrociati separati fra loro di  $1/4$  d'onda nello spazio libero ed alimentati da due correnti a RF di uguale ampiezza, **ma in fase**. La concordanza di fase si ottiene tagliando le linee di trasmissione, fra generatore e dipoli, di lunghezze rigorosamente uguali. In questo circuito semplificato non si è considerato l'adattamento di impedenza, che non ci interessa al fine del nostro ragionamento

Se l'osservatore si pone al lato sinistro di fig.2 e guarda verso destra, vede che il lato destro del dipolo orizzontale e la metà inferiore del dipolo verticale, ad ogni dato istante, raggiungono insieme gli stessi valori di tensione. Il tempo necessario affinché l'energia a RF in partenza dall'elemento verticale raggiunga il piano su cui giace l'elemento orizzontale è esattamente  $1/4$  di periodo, ovvero  $1/4$  di lunghezza d'onda.

Quando l'energia a RF dell'elemento verticale raggiunge quello orizzontale, vi giunge in ritardo di 90 gradi sulla tensione dell'elemento orizzontale. La distanza fisica di  $1/4$  d'onda fra i due dipoli agisce così da linea di ritardo ed il campo è polarizzato circolare destro.

Se ora l'osservatore si sposta sul lato destro di fig. 2 e guarda verso sinistra, vede che il lato sinistro dell'elemento

orizzontale ed il lato inferiore di quello verticale raggiungono ad ogni istante i medesimi valori di tensione insieme. Quando l'energia a RF del dipolo orizzontale raggiunge il dipolo verticale sarà trascorso  $1/4$  di periodo e come risultato si produce nuovamente polarizzazione circolare destra. Il fatto importante è che due dipoli incrociati, disposti su piani paralleli distanti  $1/4$  d'onda ed alimentati **in fase**, generano un'onda polarizzata circolarmente che ha lo stesso senso di rotazione in entrambe le direzioni di propagazione.

Il comportamento di due dipoli incrociati complanari, rispetto a due dipoli incrociati su piani distanti  $1/4$  d'onda, è molto importante: se infatti i dipoli di figura 10 di R.R. 2/85 vengono associati ad un riflettore per formare un'antenna direttiva, la polarizzazione dell'antenna è circolare sinistra con il riflettore montato a sinistra dei dipoli ed è circolare destra con il riflettore montato a destra dei dipoli. In figura 2, al contrario, il verso di polarizzazione resta sempre lo stesso, sia che il riflettore venga montato da un lato dei dipoli che dall'altro.

In fig. 2 il senso di rotazione del piano di polarizzazione dipende unicamente dal punto in cui i dipoli sono alimentati uno rispetto all'altro. Si parlerà di questo argomento quando progetteremo le antenne. Fino a questo momento abbiamo considerato due dipoli incrociati, di cui uno orizzontale e l'altro verticale.

L'essere orizzontale o verticale è solo una comodità di riferimento nelle realizzazioni pratiche e nei rispettivi disegni. Ciò non è affatto necessario. I due dipoli incrociati possono essere orientati in qualunque modo facendo girare il boom che li tiene fissati. Questa rotazione porterà i dipoli ad essere orientati fra tutti i possibili angoli compresi fra la configurazione a **croce** e quella **ad X** (od a Cavallo di Frisia), ma purchè

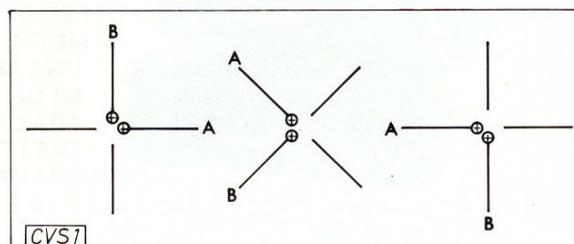
**Fig. 1 - Determinazione del senso di rotazione del piano di polarizzazione di antenne a dipoli incrociati complanari, alimentati con correnti della stessa ampiezza.**

I dipoli sono visti con l'osservatore che si trova dietro l'antenna, dalla parte dei riflettori. L'antenna ha i direttori dalla parte opposta all'osservatore ed irradia nel senso di attraversare il foglio. Il morsetto «più» su ogni dipolo aperto, oppure ripiegato, indica il punto in cui occorre collegare il conduttore interno del cavo coassiale di alimentazione. Se il dipolo è un elemento continuo, il segno «più» indica il lato del dipolo su cui è montato il braccio del gamma match cui va collegato il cavo. Il lato del dipolo non contrassegnato va alla calza del cavo se l'alimentazione è sbilanciata, mentre nei dipoli ripiegati va al morsetto libero del balun lungo mezza onda.

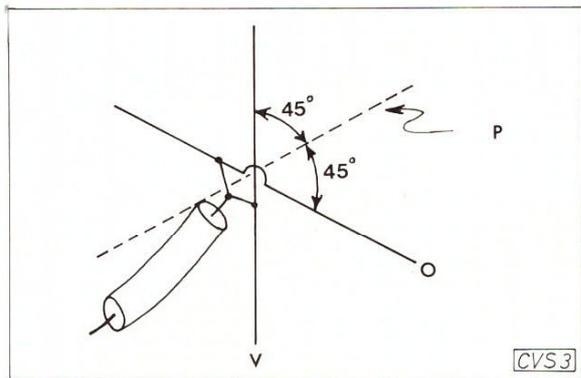
**Esempio 1** -Se la linea di ritardo lunga  $1/4$  d'onda è inserita sul dipolo A, il dipolo B diventa positivo per primo ed è in anticipo di 90 gradi. Affinchè il dipolo A si trovi nelle stesse condizioni del dipolo B deve trascorrere  $1/4$  di periodo. La stessa tensione di B, nell'istante considerato, si ritrova in A dopo una rotazione oraria di 90 gradi. La polarizzazione è circolare destra.

**Esempio 2** -Se la linea di ritardo lunga  $1/4$  d'onda è inserita sul dipolo B, il dipolo A diventa positivo per primo ed è in anticipo di 90 gradi. Affinchè il dipolo B si trovi nelle stesse condizioni del dipolo A deve trascorrere  $1/4$  di periodo. La stessa tensione di A, nell'istante considerato, si ritrova in B dopo una rotazione antioraria di 90 gradi. La polarizzazione è circolare sinistra.

Con lo stesso ragionamento è possibile determinare il senso di rotazione per qualunque altra posizione dei lati caldi «più» scelta sui dipoli e con la linea di ritardo in A oppure in B. Il senso di rotazione si può invertire scambiando il morsetto «più» su uno solo dei dipoli.



**Fig.2 - Due dipoli incrociati distanti fra loro 1/4 d'onda nello spazio libero ed alimentati in fase con correnti di uguale ampiezza irradiano un'onda polarizzata circolarmente con lo stesso senso di rotazione in entrambe le direzioni. I dipoli alimentati come in figura danno polarizzazione circolare destra (RHC -right hand circular). Questo sistema è conveniente quando occorre commutare i dipoli per ottenere polarizzazioni diverse**



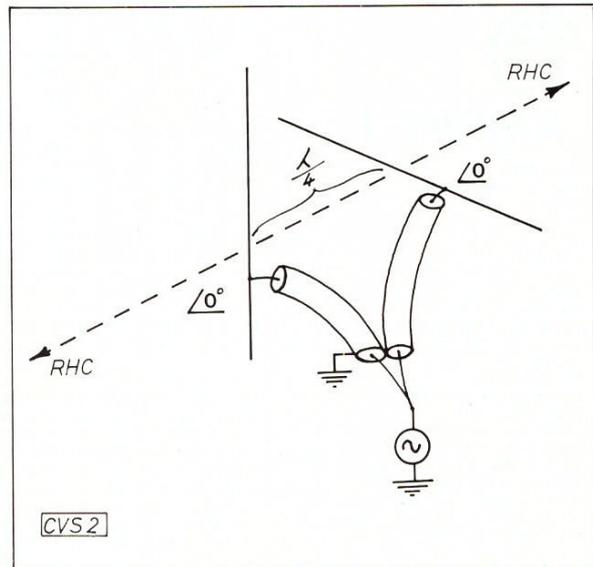
i dipoli siano effettivamente montati a 90 gradi uno rispetto all'altro ed esista fra loro una differenza di fase di 1/4 d'onda, la polarizzazione sarà circolare e la loro posizione nel libero spazio sarà solo una questione estetica. Da questa considerazione ne segue che se un'antenna è destinata a lavorare sempre in polarizzazione circolare, è inutile montare i dipoli secondo il segno X per evitare gli effetti nocivi del mast metallico: meglio montare un supporto isolante, infatti il vettore del campo elettrico ruota di 360 gradi ad ogni periodo della tensione a RF di alimentazione e qualunque intrusione metallica si troverebbe comunque immersa nel campo polarizzato circolarmente.

Da un punto di vista teorico, anche il criterio con cui lo sfasamento viene ottenuto è indifferente. Se lo sfasamento si provoca allungando di 1/4 d'onda elettrico la linea di trasmissione su un dipolo, oppure allontanando i dipoli fra loro di 1/4 d'onda nel libero spazio l'effetto non cambia e la polarizzazione è sempre circolare. Da un punto di vista pratico invece, se l'antenna deve essere usata per diversi tipi di polarizzazione risulta più comodo usare due dipoli incrociati complanari come in fig.1. Se al contrario la polarizzazione deve essere sempre circolare, con un senso solo, i dipoli di fig. 2 permettono di eliminare la linea di sfasamento in cavo coassiale e i relativi connettori.

Vediamo ora come si comportano due dipoli incrociati sullo stesso piano se vengono alimentati con due correnti a RF uguali ma in fase fra loro.

La figura 3 mostra i due dipoli alimentati senza la linea di ritardo lunga 1/4 d'onda elettrico e senza il ritardo provocato dalla distanza fisica fra i dipoli. Il lato sinistro del dipolo orizzontale e quello inferiore del dipolo verticale raggiungono in ogni istante gli stessi valori di tensione insieme. Siccome non esiste sfasamento fra i due vettori del campo elettrico, il piano di polarizzazione non ruota ma si ha la composizione dei vettori e la risultante è una polarizzazione lineare assiale col piano orientato a 45 gradi o 135 gradi rispetto ai dipoli. Questo piano è quello tratteggiato in fig. 3.

Siccome le impedenze dei dipoli sono uguali, metà energia del generatore alimenta il dipolo orizzontale e l'altra metà



**Fig. 3 - Due dipoli incrociati sullo stesso piano, alimentati in fase con correnti di uguale ampiezza (rapporto uguale ad uno) generano un'onda polarizzata linearmente P il cui piano è inclinato di 45 gradi rispetto a ciascuno dei dipoli. Se lo sfasamento fra le correnti di uguale ampiezza diventa più o meno 180 gradi il piano di polarizzazione P resta inclinato a 45 gradi, ma si sposta negli altri due quadranti. In queste condizioni di fase, variando le correnti nei dipoli nel rapporto compreso fra zero ed infinito, il piano di polarizzazione passa per tutti i possibili angoli di inclinazione fra zero gradi e 90 gradi e la polarizzazione varia da orizzontale a verticale.**

quello verticale. E' dunque evidente che il piano di polarizzazione lineare a 45 gradi contiene tutta l'energia che il generatore eroga verso l'antenna. Si sarebbe potuta ottenere la stessa intensità di campo usando un solo dipolo orientato a 45 gradi alimentato da tutta la potenza dello stesso generatore adattato.

Da quanto esposto risulta che usando due dipoli incrociati è possibile realizzare in pratica molte combinazioni di polarizzazione utilissime nel traffico via satellite. Queste sono:

- 1) Polarizzazione lineare orizzontale alimentando solo il dipolo orizzontale.
- 2) Polarizzazione lineare verticale alimentando solo il dipolo verticale.
- 3) Polarizzazione destra o sinistra alimentando i due dipoli e inserendo e commutando una linea di ritardo.
- 4) Polarizzazione lineare a 45 gradi alimentando i due dipoli in fase senza la linea di ritardo.
- 5) Polarizzazione lineare a 135 gradi inserendo su un dipolo una linea di ritardo lunga mezza onda per rovesciare la fase di 180 gradi.

Se ciò è facile a dirsi a parole, il sistema di comunicazioni a relè coassiali, anche se di pregio, si può realizzare con successo fino ai 145 MHz. Al contrario, in 70 cm gli errori di fase introducibili e le attenuazioni rendono l'impresa sconsigliabile.

## Le antenne

parte settima

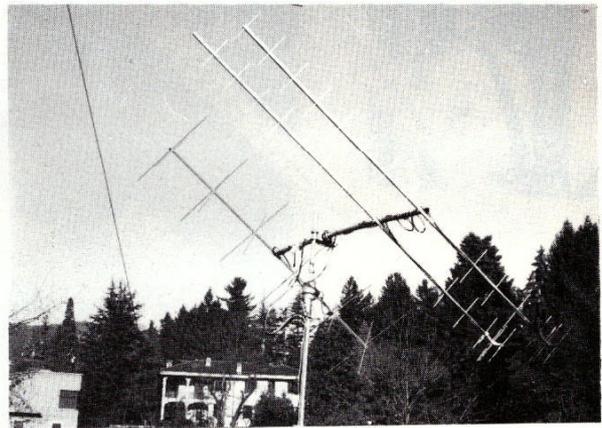
Parliamo ora del guadagno e delle caratteristiche del lobo di radiazione di un'antenna a polarizzazione circolare. La prima cosa da fare è analizzare il guadagno di quest'antenna quando riceve un segnale polarizzato linearmente e quando invece ne riceve uno polarizzato circolarmente con lo stesso senso di rotazione o contrario. Nello stabilire il guadagno di un'antenna a polarizzazione orizzontale si dà per scontato che il segnale di riferimento usato per stabilire questo parametro è anch'esso polarizzato orizzontalmente. Non sarebbe logico misurare il guadagno di un'antenna a polarizzazione orizzontale ricevendo un segnale polarizzato verticalmente perchè il segnale ai morsetti dell'antenna sarebbe zero in teoria e in pratica molto basso. Il guadagno misurato in questo modo sarebbe perciò incongruo e falso. In modo analogo usando un'antenna a polarizzazione circolare, l'unica condizione per stabilire il suo guadagno effettivo è fargli ricevere un'onda polarizzata circolarmente che abbia lo stesso senso di rotazione di quello proprio dell'antenna in prova. Ciò si può ottenere usando come riferimento il segnale irradiato da due dipoli incrociati alimentati con la giusta differenza di fase in modo che abbia rotazione concorde con l'antenna da misurare. Il criterio di stabilire un termine di riferimento è fondamentale, infatti il guadagno così definito non potrà mai dare luogo ad equivoci. Per l'antenna a polarizzazione circolare il guadagno si esprime in dBc, ossia dB circular, e ciò vuol dire che i valori del guadagno sono veri solo e soltanto se l'onda irradiata o ricevuta è circolare.

Parimenti il guadagno di un'antenna a polarizzazione lineare si stabilisce rispetto ad un dipolo orientato sullo stesso piano. Tale guadagno si esprime in decibel e si scrive dBd, ossia decibel sul dipolo e la lettera (d) serve appunto ad indicare che il riferimento è il dipolo. Occorre però considerare che il dipolo irradia l'energia a R.F. che lo alimenta su due lobi principali e che l'intensità del campo è massima in corrispondenza della perpendicolare al conduttore del dipolo. Il dipolo è perciò un riferimento che ha già di per sé un guadagno rispetto ad un'antenna ideale irradiante l'energia che la alimenta con intensità uniforme in tutte le direzioni dello spazio.

Quest'antenna ideale esiste solo in teoria e si chiama antenna isotropica nel senso che è visualizzata come un punto da cui l'energia a RF si irradia con intensità costante sulla superficie di una sfera di cui la sorgente sia il centro. Se noi riferiamo il guadagno di un'antenna alla sorgente isotropica anzichè al dipolo, lo dovremo esprimere in dBi, ossia in decibel sull'antenna isotropica. Ora i due riferimenti sono cambiati e i numeri che esprimono i guadagni non sono più comparabili direttamente fra loro perchè uno significa una cosa e uno un'altra. L'antenna isotropica ha guadagno 0 dB perchè la sua energia si irradia in

tutte le direzioni con la stessa intensità mentre il dipolo a mezz'onda presenta da solo un guadagno di 2,14 dB sulla sorgente isotropica. Se ora abbiamo un'antenna il cui guadagno è 10 dBi (sul dipolo) significa che la stessa antenna ha un guadagno di 12,14 dBi (sull'isotropia). Il caso che si incontra frequentemente è l'inverso. Un'antenna è data per 12 dBi ed è implicito che ha un guadagno di circa 10 dBd. Questo modo di dire la stessa cosa con un numero più grosso che esprime il guadagno può influenzare negativamente l'OM poco informato, che preferisce a torto un'antenna da 17 dBi anzichè un'altra da 15 dBd. Se poi il guadagno di un'antenna viene espresso solo in dB, allora è bene abbandonare l'idea perchè sarebbe come acquistare una automobile che può andare a 160 km senza sapere se all'ora o in mezza giornata.

Una volta stabiliti gli esatti riferimenti vediamo come interpretare i fatti e i numeri quando un'antenna a polarizzazione circolare viene usata per ricevere un segnale polarizzato linear-



*Le antenne per OSCAR-10 di I2EF, Ettore Gatelli.*

*Up-link:* 2 x 17 el. con gamma match, accoppiatore coassiale RAC discesa 25 m Celflex, preampl. GaAs Fet SSB Electronic. Potenza 90 W.

*Down-link:* 6 x 6 el. polar. circ. destra con sfasatore a quarto d'onda più preampl. GaAs Fet SSB Electronic, 25 m RG213; transceiver TS711 E. Le antenne sono state autocostruite secondo i dati dello NBS. L'indicatore di elevazione è costituito da un potenziometro a bassa coppia azionato dal pendolino sul mast collegato a display digitale.

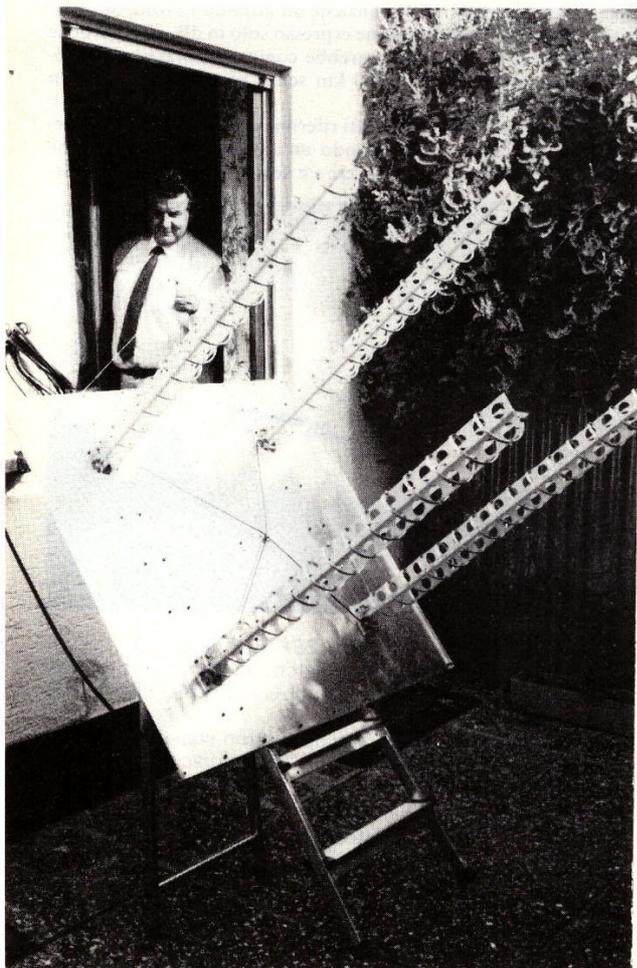
## SPAZIO NUOVA FRONTIERA

mente e al contrario quando un'antenna a polarizzazione lineare riceve un segnale polarizzato circolarmente.

Gli effetti da analizzare sono due, il primo è la variazione di guadagno che l'antenna a polarizzazione circolare presenta nei confronti di un'onda in arrivo polarizzata linearmente. Il secondo effetto è quanto possa influire l'angolo del piano di polarizzazione dell'onda in arrivo nei confronti del segnale utile ricavabile ai morsetti di un'antenna a polarizzazione circolare. In altri termini, che importanza ha se il piano di polarizzazione lineare in arrivo è verticale, orizzontale o ha un angolo qualunque compreso fra 0 e 360 gradi?

Abbiamo già visto che un'onda polarizzata circolarmente si può generare con due dipoli ognuno dei quali riceve la metà della potenza fornita dal generatore. La metà della potenza si può considerare distribuita in ciascuna delle due componenti lineari ortogonali che per effetto dello sfasamento ruotano di 360 gradi a ogni periodo della frequenza di alimentazione. Abbiamo anche visto che l'angolo in cui i dipoli si possono ruotare non ha alcun effetto sulla polarizzazione circolare, purchè i dipoli siano perpendicolari. Se dunque un segnale polarizzato linearmente raggiunge un'antenna a polarizzazione circolare riuscirà ad eccitare una sola delle componenti che nel tempo di un periodo ha ruota-

*L'antenna 4 per 15 spire, elicoidale, per i 1270 MHz, Modo-L di DJ5KR, Werner Haas, progettista e realizzatore del transponder Modo-L di OSCAR-10.*



to di 360 gradi. Il segnale che si può ricavare ai morsetti dell'antenna a polarizzazione circolare ha perciò solo metà potenza di quello che la medesima antenna avrebbe catturato se l'onda in arrivo fosse stata polarizzata circolarmente col senso di rotazione concorde. Ne consegue che il guadagno di un'antenna a polarizzazione circolare viene declassato di 3 dB (metà potenza), quando riceve un'onda polarizzata linearmente. Questo strano paradosso si piega non perchè sia variato fisicamente il guadagno in sé, ma perchè sono cambiati i termini a cui il guadagno era riferito. Un'antenna da 15 dBc ha un guadagno di 12 dBd e bisogna tenere conto di questo declassamento quando si intende utilizzare un'antenna a polarizzazione circolare per collegamenti via tropo. Un altro caso riguarda la ricezione dei segnali polarizzati circolarmente usando un'antenna a polarizzazione lineare, sia essa orizzontale o verticale. Il guadagno di quest'antenna è come se fosse 3 dB inferiore quando riceve un'onda polarizzata circolarmente. Anche qui il concetto è lo stesso, il guadagno dell'antenna resta quello che è quando è riferito a un'onda a polarizzazione lineare, ma l'antenna si comporta in modo diverso quando riceve un'onda a polarizzazione circolare e non utilizza che la metà dell'energia contenuta nel campo polarizzato circolarmente.

Con ciò si vede che al fine di ricavare la massima energia da un'onda elettromagnetica è necessario adattare le polarizzazioni così come è necessario adattare le impedenze per trasferire al carico la massima potenza.

Facciamo un esempio: quando un satellite trasmette in polarizzazione lineare noi potremmo ricavare il massimo segnale usando un'antenna a polarizzazione lineare, ma saremmo costretti a ruotare periodicamente il boom per orientare gli elementi sullo stesso piano del fronte d'onda che arriva con angoli sempre variabili. Questa manovra in più, al fine di trovare il massimo segnale durante l'orbita, non è facile nè pratica. Tuttavia questa manovra consentirebbe di utilizzare l'antenna alle prestazioni nominali di guadagno perchè il piano di polarizzazione del segnale ricevuto è proprio quello a cui il guadagno dell'antenna è riferito.

In pratica, se sostituiamo l'antenna a polarizzazione lineare con un'altra a polarizzazione circolare, possiamo evitare la manovra di cui sopra, ma l'antenna funziona a metà delle prestazioni e, siccome riceve un segnale a polarizzazione lineare, paghiamo questa comodità con una riduzione di 3 dB sul segnale ricevuto.

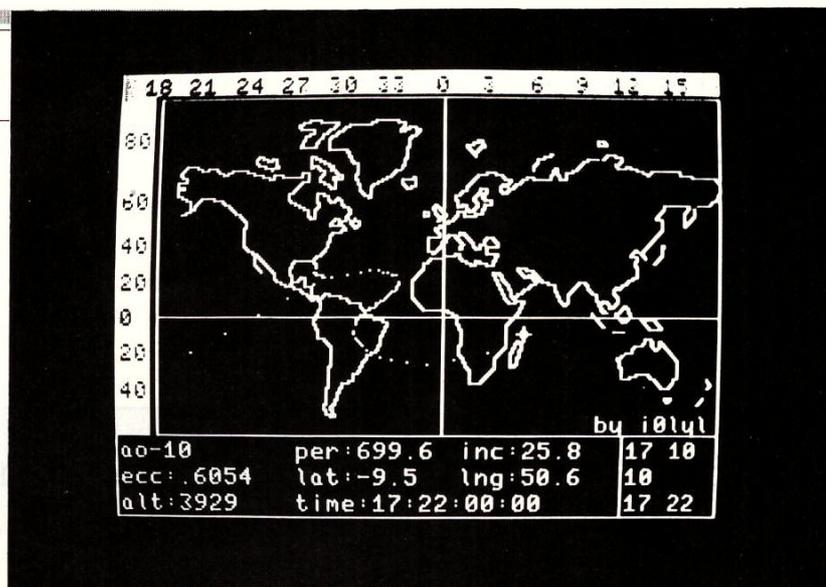
Una riduzione di 3 dB può essere compensata montando un'antenna con maggior guadagno o accoppiando in fase due antenne uguali fra loro, ma il vantaggio che ne deriva è sostanzialmente una drastica riduzione di QSB. Infatti, qualunque sia l'angolo con cui l'onda polarizzata linearmente arriva a terra, l'antenna a polarizzazione circolare ha una componente che a ogni istante passa per quell'angolo.

La situazione è analoga se utilizziamo un'antenna a polarizzazione lineare per ricevere un'onda polarizzata circolarmente. Noi possiamo montare gli elementi dell'antenna ricevente con qualunque angolo compreso fra 0 gradi e 360 gradi e il segnale ricevuto avrà sempre la stessa intensità perchè l'onda in arrivo polarizzata circolarmente ha una componente che ruotando passa per quell'angolo tante volte al secondo quant'è la frequenza in Hz dell'onda ricevuta.

Se poi usiamo un'antenna con polarizzazione circolare per ricevere un'onda polarizzata circolarmente come quella trasmessa da OSCAR-10, oltre a minimizzare il QSB si otterranno le massime prestazioni di guadagno espresse in dBc dal costruttore.

Ogni medaglia ha il suo rovescio. Se il segnale arriva con polarizzazione circolare di senso invertito rispetto a quello del-

Traiettoria di Oscar-10 visualizzata al computer di IOLYL. Giorno 17 gennaio 1985, orbita 1202. Argomento del perigeo 340.3 gradi. Un puntino corrispondente a 10 minuti primi. Da notare l'addensamento dei puntini all'apogeo e la rarefazione al perigeo causata dalla diversa velocità di Oscar-10.



l'antenna, l'attenuazione relativa potrà essere di molti dB e in questo caso sarebbe preferibile ricevere con antenna a polarizzazione lineare, che nella peggiore delle ipotesi perde solo 3 dB.

In conclusione i vantaggi dell'uso di un'antenna a polarizzazione circolare si possono riassumere nei seguenti punti:

1) Quando è usata per ricevere un'onda polarizzata circolarmente con lo stesso senso di rotazione l'antenna offre il massimo guadagno. Le antenne possono essere montate indifferentemente una di fronte all'altra con i dipoli orientati a qualunque angolo. Questa indifferenza minimizza in parte gli effetti negativi dovuti allo spin del satellite.

2) Quando è usata per ricevere un'onda polarizzata linearmente, il livello del segnale ricevuto si mantiene costante al variare dell'angolo di polarizzazione dell'onda lineare in arrivo. Ciò rappresenta un notevole vantaggio quando l'angolo di polarizzazione in arrivo è sconosciuto e contemporaneamente variabile. Questo vantaggio si paga con una perdita di segnale pari a 3 dB che in ogni caso è compensabile con mezzi tecnici.

Queste considerazioni sono basate sul presupposto che l'antenna trasmittente e quella ricevente siano allineate l'una con l'altra. In pratica questa condizione di allineamento fra l'antenna del satellite e l'antenna terrena non si verifica sempre e ciò influisce notevolmente sul come le due antenne «vedono» partire e arrivare i segnali a prescindere da come questi siano irradiati sull'asse del lobo principale. Questo argomento richiede una trattazione a parte nella prossima rubrica. Occorre avvertire che questi articoli sono destinati ai principianti e infatti si è cercato di illustrare i concetti senza l'uso delle formule. Semplificare è necessario, ma ci sono dei limiti e bisogna avvertire il lettore che per approfondire l'argomento è necessario consultare la bibliografia a cui ci si è ispirati.

Per concludere, vorrei far notare a chi ama l'elettrotecnica che il principio su cui funziona un'antenna a polarizzazione circolare è analogo a quello del campo magnetico rotante scoperto da Galileo Ferraris e su cui si basa il funzionamento dei motori sincroni e asincroni a corrente alternata. Galileo Ferraris trasse l'idea del campo magnetico rotante da studi ed esperimenti sulla luce, quindi da un'onda elettromagnetica. Leggiamo il suo racconto autografo.

*Alla sera del 17 agosto 1885, come al solito, ero uscito a passeggio. Camminavo fantasticando e la naturale successione dei miei pensieri mi riportò verso l'analogia dei fenomeni elettromagnetici con quelli ottici, di cui alcuni punti oscuri avevano in quei ultimi mesi eccitato la mia indagine. Ad un tratto un lampo attra-*

*verso la mia mente, facendomi balenare una possibilità che mi abbagliò per le sue conseguenze. Avevo pensato all'origine della luce polarizzata ellitticamente e circolarmente. Quale ragione impediva di ottenere lo stesso fenomeno elettromagneticamente, sostituendo alle oscillazioni luminose le variazioni dei due campi magnetici debitamente incrociati? In apparenza nessuna.*

*Ciò essendo, da due campi magnetici alternativi, di eguale frequenza, perpendicolari l'uno all'altro e presentanti una differenza di fase, si sarebbe dovuto ottenere nello spazio compreso un campo magnetico risultante che non si annullasse in alcun momento e la direzione del quale ruotasse, compiendo un giro in ogni periodo dei campi componenti.*

Queste parole semplici, ma rigorosamente scientifiche, indicano quanto possa giocare nel successo di una ricerca la conoscenza delle teorie appoggiate al metodo sperimentale.

Questo spirito è caratteristico del radioamatore che, senza essere scienziato, è però curioso ed irrequieto di natura e vuole sapere il perché delle cose. Nella ricerca e nell'intento che egli pone nel migliorare ciò che ama, la radio, egli inquadra poche cognizioni teoriche di base con soluzioni semplici e talvolta geniali che sono frutto del metodo sperimentale. Il radioamatore è colui che ama la radio ed in ciò risiede veramente l'energia necessaria che mette in relazione fra loro teoria e pratica, studio ed intuizione.

Lo spirito che anima il radioamatore diventa così l'anello di congiunzione, o se vogliamo, il mediatore fra due mondi quasi sempre isolati fra loro: quello della pura teoria e quello della sola esperienza. L'unione di questi aspetti isolati del pensare e dell'agire è quasi sempre affidata al caso, ma il radiantismo è uno dei fenomeni sociali che permette ai due livelli, teorico e pratico, di interagire fra loro e ciò interessa solo un aspetto dell'attività umana di cui quello della radio non è l'unico né il solo.

#### Bibliografia

Kraus, J.D. "Antennas" McGraw-Hill Book Company, Inc, New York, 1950 (paragrafi: 14-19; 15-11, 15-17).

1975 ARRL Technical Symposium, Sheraton Conference Center Reston Virginia Jonh J. Nagle, K4KJ "The Advantages of Circular Polarization for Amateur Satellite Ground Stations.

G. Nucciotti, I8KDB "Polarizzazione del campo elettrico irradiato dalle antenne" Notiziario Campano a cura della Sezione ARI di Napoli (maggio 1975; giugno 1975; luglio/1gosto 1975).