

RADIOASTRONOMIA AMATORIALE

È possibile la radioastronomia amatoriale? Dipende dal significato che si dà alle parole "amatore" e "radioastronomia". Se per amatore si intende chi si interessa di una scienza solo per hobby, senza un coinvolgimento profondo, che lavora isolato e a tempo perso, allora la risposta è "no". Se per radioastronomia si intende una ricerca scientifica di punta, che deve informarci sulle parti più inaccessibili dell'universo, la risposta è ancora "no". Se al contrario si intende per amatore un non professionista che tuttavia nutre un interesse profondo per la disciplina di cui si occupa e alla quale dedica una parte non trascurabile del suo tempo e delle sue energie; se egli non lavora isolato ma tende a raggrupparsi con altri appassionati di attività consimili; se non pretende di dare alla parola radioastronomia il significato più estensivo, ma si appaga nel constatare di persona gli effetti riscontrabili sulla Terra delle radiazioni invisibili provenienti da alcuni corpi celesti, allora la radioastronomia di amatore è possibile.

- Vale la pena?

Per effettuare un esperimento di radioastronomia è ovviamente necessario effettuare delle spese: i limiti per un amatore possono andare da poche centinaia di migliaia di lire a qualche milione. Non sono cifre molto diverse da quelle che spende di solito un radioamatore o un astrofilo o, nel caso della spesa massima, un club di radioamatori o di astrofili. La spesa è ovviamente legata alle minori o maggiori prestazioni che si pretendono dall'apparato che si vuole costruire: dipende anche da altri fattori come la fortuna nel reperire materiali di recupero e l'abilità nell'utilizzarli.

A queste spese vanno paragonati i risultati ottenibili: quali sono le radiosorgenti alla portata di un amatore radioastronomo più o meno attrezzato? Purtroppo la lista non è molto lunga:

- a. il Sole
- b. il centro galattico
- c. la Luna
- d. Cassiopea A
- e. Cygnus A

- f. Taurus A
- g. Virgo A

A queste si possono aggiungere, ma solo per chi sia molto ben attrezzato e già abbastanza esperto, M 31 (Andromeda), alcune pulsar, alcune quasars, alcune nebulose galattiche e Giove. L'ordine in cui ho elencato le sorgenti ricevibili inizia dalle più facili: tale ordine non sempre è rispettato perché dipende dalla lunghezza d'onda scelta.

- Onde lunghe o corte?

Mi riferisco ovviamente non alla vecchia distinzione tra onde lunghe e corte che appare sul quadrante dei radiorecettori degli anni '40. In ogni caso la radioastronomia usa onde ultracorte; si tratta qui di scegliere tra le onde metriche (VHF), decimetriche (UHF) o centimetriche (SHF). La scelta è legata da un lato agli oggetti che più si è interessati a ricevere, dall'altro lato ai materiali disponibili e alla conformazione del luogo in cui si vuole installare il sistema ricevente. Se si scelgono le VHF, si deve dimenticare che esiste la Luna, mentre il centro galattico sarà a portata di mano. Anche Cassiopea A e Cygnus A saranno sorgenti "facili", mentre Taurus A potrebbe essere al limite della portata. Al contrario con le SHF la Luna è la sorgente più facilmente ricevibile dopo il Sole, e Taurus A supera largamente Cygnus A. Tra le sorgenti della seconda lista le pulsar sono ricevibili solo in VHF. Ciò è dovuto al diverso spettro delle sorgenti: le sorgenti a spettro di corpo nero hanno un flusso che aumenta con il quadrato della frequenza, quelle che emettono radiazione di sincrotrone hanno un flusso che cade rapidamente all'aumentare della frequenza. Tra queste però Taurus A è la più "piatta".

Un altro fattore che può influenzare la scelta è il luogo disponibile per l'installazione. Un piccolo radiometro SHF può anche essere messo in funzione sul tetto di casa: è sempre preferibile lavorare in posti tranquilli e lontani dal traffico di automobili, ma qualche risultato si può ottenere anche in città. Invece un impianto VHF deve assolutamente essere lontano da fonti di rumore artificiale, come strade frequentate e industrie. Inoltre richiede una certa superficie libera, e si può pensare di costruirlo solo in campagna o in montagna.

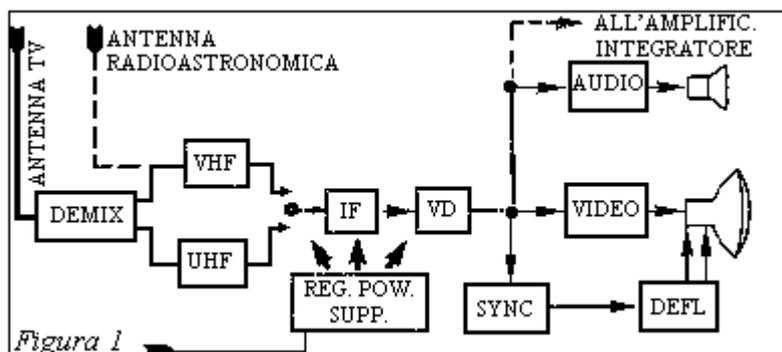
Abbiamo parlato di VHF e di SHF; perché non di UHF, cioè di onde tra un metro e 10 centimetri? Anche se può sembrare paradossale, dato che moltissimo lavoro di ricerca viene effettuato in UHF non è consigliabile l'uso delle UHF per un amatore di

radioastronomia. Nessuna delle principali sorgenti è particolarmente forte in questo campo di frequenze, la costruzione degli apparati elettronici e delle antenne richiede tecniche piuttosto raffinate. Invece in VHF la tecnica richiesta è molto più corrente, alla portata di chi ha qualche dimestichezza con le antenne per televisione o per radio amatori e con i corrispondenti circuiti elettronici. In SHF la tecnica delle antenne ha molte affinità con l'ottica dei telescopi: i circuiti elettronici sono piuttosto "esotici", ma fortunatamente sono alla portata di tutti grazie all'avvento della TV satellitare.

- Esempio: schiera di 64 dipoli a $l = 1,5 \text{ m}$

La banda tra 170 e 220 MHz (l compresa tra 1,76 m e 1,36 m) è utilizzata dalla televisione. In molti luoghi però è possibile che uno dei cinque canali (D,E,F,G,H secondo le norme italiane) non sia utilizzato. A queste frequenze è possibile costruire senza particolari difficoltà una antenna con una superficie di circa 50 m^2 . Tale antenna raccoglierebbe da Cassiopea A, un flusso di circa $10^{-22} \text{ W / Hz m}^2$, su una banda di 4 MHz una potenza dell'ordine di 10^{-14} W . Un buon radiorecettore radioastronomico può rivelare un segnale dell'ordine di 10^{-17} W , quindi anche un ricevitore mille volte più cattivo potrebbe rivelare Cassiopea A. Persino un comune televisore a transistor, la cui sensibilità si può stimare tra 10 e 100 volte peggiore di quella di un buon ricevitore radioastronomico può, con alcune modifiche, ricevere non solo Cassiopea A e Cygnus A, che ha un flusso di poco inferiore, ma anche Taurus A e Virgo A, circa dieci volte più deboli. A maggior ragione saranno ricevibili il sole e il centro galattico. Naturalmente non ci si deve aspettare di vedere le radiosorgenti sullo schermo del televisore!

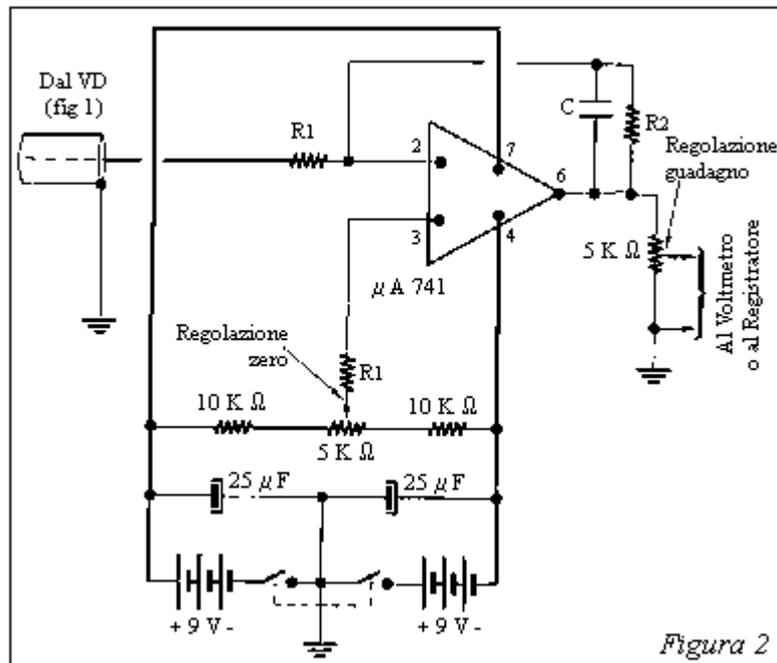
Del televisore verranno utilizzati solamente l'alimentatore stabilizzato, il sintonizzatore VHF, la catena amplificatrice a frequenza intermedia e il rivelatore video (figura 1). Le restanti parti potranno essere demolite o disattivate se si usa un televisore



di recupero, oppure potranno essere lasciate intatte se si vuole ancora utilizzare il televisore per il suo scopo originale. Una alternativa è quella di

usare un video registratore che ha problemi alle parti meccaniche, non dovrebbe essere difficile recuperarlo da qualche riparatore TV, il segnale in questo caso viene preso direttamente dall'uscita video del videoregistratore. L'unica modifica indispensabile consiste nell'aggiunta di un amplificatore operazionale integrato $\mu A 741$ (malgrado il nome pomposo costa meno di mille lire) e di pochi componenti passivi (figura 2).

Complemento non indispensabile ma utilissimo sarebbe un potenziometro su carta: questo è il solo componente costoso del sistema. Nuovo costa più di un milione e purtroppo è difficile trovarne di recupero. Se si deve rinunciare al registratore, si dovrà supplire con la

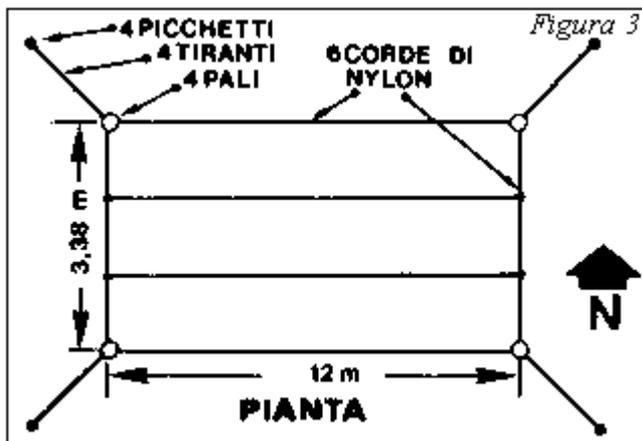


pazienza registrando a mano le indicazioni di un normale voltmetro a intervalli di tempo di qualche minuto. Naturalmente per chi ha altri hobby collaterali (radio-tele-type, computer, ecc.) sono possibili anche soluzioni basate sulla conversione analogico-digitale del segnale rivelato.

Il circuito aggiuntivo ha tre scopi: amplifica il segnale rivelato permette di spostare arbitrariamente lo zero del voltmetro o del registratore, introduce una "costante di tempo di integrazione" di alcuni secondi. Questi tre accorgimenti permettono di valutare variazioni dell'ordine dell'uno per mille del segnale rivelato: infatti anche le radiosorgenti più forti (escluso il Sole) possono variare leggermente il rumore di fondo del ricevitore; mai superarlo, perché sono troppo lontane. Se non si facesse la media del segnale ricevuto per alcuni secondi, non sarebbe possibile distinguere questa piccola variazione dalla fluttuazione statistica del rumore di fondo. Ricevere su una banda di 4 MHz e integrare per 4 secondi equivale a migliorare di 4000 volte la sensibilità del ricevitore ($4 \times 4 \times 10^3$). Non sempre questo miglioramento teorico può essere sfruttato interamente a causa della instabilità di guadagno del ricevitore. Per questa

ragione è le previsioni sulla sensibilità del sistema ricevente si possono fare solo come ordine di grandezza, ma il risultato finale va valutato caso per caso.

Ed ora vediamo come si può costruire l'antenna. Premetto che costruire una antenna di 50 m² mobile attorno a due assi è un'impresa troppo difficile e costosa per la maggioranza degli amatori. Dovremmo perciò accontentarci di uno strumento di transito, puntabile solo in declinazione. Il puntamento meccanico in declinazione può essere affrontato da chi disponga di sufficiente abilità e della adatta attrezzatura: qui però descrivo un sistema che non richiede alcun movimento per il puntamento e che è costituito meccanicamente solo da quattro pali, fili di ferro zincato, fili di rame, corde di nylon e di acciaio. Il puntamento verrà ottenuto "elettricamente" inserendo nei punti opportuni del sistema degli spezzoni di cavo coassiale di lunghezza precalcolata. Per facilitare la cosa daremo all'antenna una forma allungata in direzione est-ovest, in modo che il suo fascio risulti a forma di ventaglio in direzione nord-sud con una ampiezza di oltre 20°. Poiché le sorgenti più interessanti sono comprese tra le declinazioni +60° e -30°, basteranno sette direzioni di puntamento, spaziate di 15° per coprire tutta la zona utile.

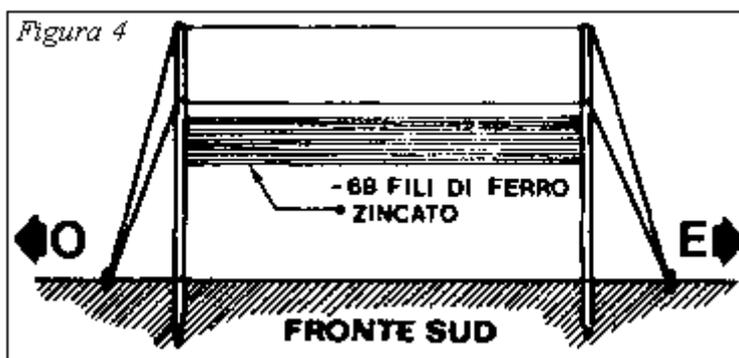


Stabiliamo che l'antenna sarà composta da 64 dipoli a mezz'onda, allineati in est-ovest su quattro file parallele di 16 dipoli. L'ampiezza del fascio in direzione est-ovest sarà di circa 8°, perciò una sorgente prossima all'equatore impiegherà circa mezz'ora ad attraversare il fascio. Cassiopea A impiegherà

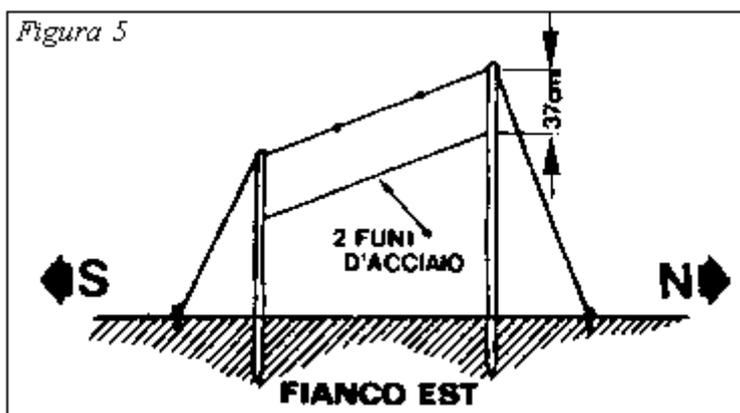
circa un'ora, poiché la durata del passaggio è inversamente proporzionale al coseno della declinazione d . La direzione preferenziale del fascio è perpendicolare al piano in cui giacciono i dipoli: converrà sceglierla a metà della fascia utile cioè a $d = +15^\circ$. Perciò per una latitudine di 45° N il piano dei dipoli dovrà essere inclinato rispetto al piano orizzontale di 30° verso sud. Ciò si può ottenere semplicemente infiggendo nel terreno quattro pali di lunghezza opportuna in modo che la sommità dei pali nord-est e nord-ovest superi la sommità dei pali sud-est e sud-ovest di 0,6 volte la loro distanza. I pali dovranno essere ancorati a picchetti con tiranti che permettano loro di sopportare il

tiro dei fili costituenti i dipoli e il riflettore che ora descriverò (*figura 3*). La lunghezza dei pali non ha molta importanza: se si vuole comodamente passare sotto l'antenna i più corti dovranno essere di circa due metri e mezzo; se il terreno è pianeggiante e se non è necessario che resti accessibile, può bastare un metro.

La distanza tra i pali sarà in direzione est-ovest di 8 l (12 metri) e in direzione nord-sud di 2,25 l (3,38 metri). Ad una distanza di 0,25 l (37 cm) dalla sommità dei pali, il palo



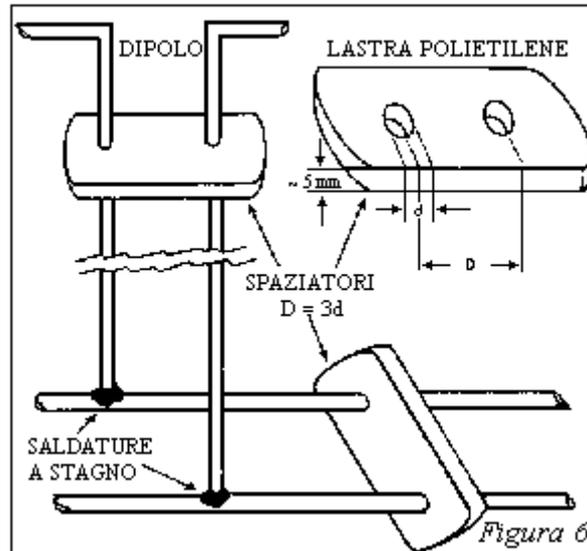
nord-est verrà collegato al palo sud-est con una robusta corda metallica, e lo stesso si farà tra il palo nord-ovest e il palo sud-ovest. Tra le due corde metalliche si tenderanno 68 fili metallici, uno ogni 5 cm circa (*figura 4*). Questi fili possono essere piuttosto sottili, ad esempio mezzo millimetro. Vanno tesi in modo che la freccia al centro non sia più di alcuni centimetri, ma non si deve esagerare, se no crolla tutto!



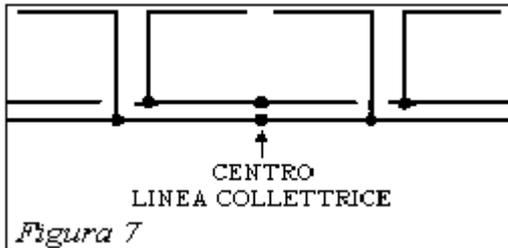
spaziatura di 0,75 l (1,13 m) da due corde ausiliarie collegate ai pali in direzione nord-sud (*figura 5*). Lungo queste quattro corde andranno sospesi i 64 dipoli costruiti in filo di rame. Poiché i dipoli a mezz'onda sono in realtà lunghi 0,47 l (71 cm) resteranno circa quattro centimetri di spaziatura tra le estremità dei dipoli adiacenti. Dal centro di ogni dipolo penderà un tratto di linea bifilare lunga 0,25 l (37 cm). Questa linea bifilare deve essere costruita in modo che il diametro dei fili sia circa un terzo della spaziatura tra gli assi dei fili. Per esempio usando filo da 1 mm, la spaziatura tra gli assi dovrà essere di 3 mm.

Tra i quattro pali, all'estremo superiore, si tenderanno ora quattro robuste corde di nylon, in direzione est-ovest, di cui due connesse direttamente ai pali, e due sostenute in posizione intermedia con

Per mantenere stabile questa spaziatura si potranno usare delle piastrine di plexiglas forate (figura 6). Tutti i dipoli di una fila dovranno essere collegati tra di loro, alla estremità inferiore della linea bifilare, da una linea bifilare collettrice, sempre con rapporto 1/3 tra diametro e spaziatura: è però qui preferibile usare filo da 2 mm con spaziatura di 6 mm. Poiché queste quattro linee di raccolta si troveranno nel



piano dei fili del riflettore, potrà essere necessario spostare (o anche sopprimere) alcuni dei fili del riflettore. Le estremità est e ovest delle quattro linee dovranno essere cortocircuitate. Ciò non provoca nessun inconveniente perché un cortocircuito su una linea di trasmissione si trasforma in un "circuitto aperto" a un quarto d'onda di distanza, che corrisponde al punto di attacco dei dipoli estremi.

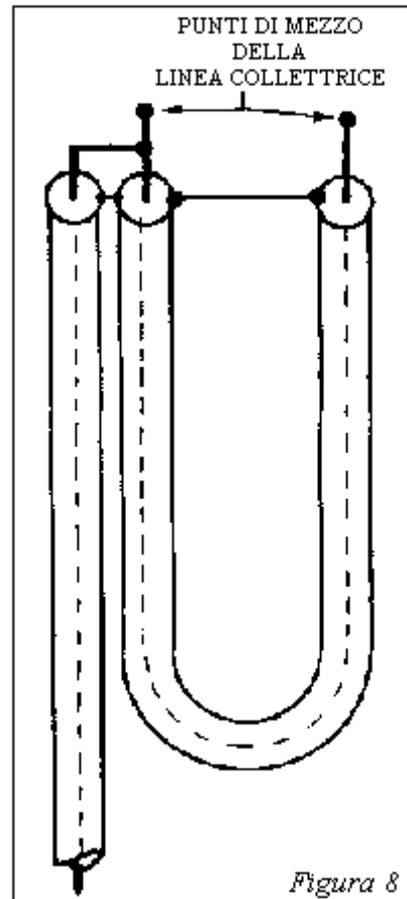


Piuttosto va fatta molta attenzione al modo di collegare le linee dei dipoli alle linee collettrici (figura 7). Partendo dal centro il primo dipolo verso est e il primo verso ovest vanno collegati nello stesso modo, cioè i semidipoli est vanno ad uno dei fili della linea e i semidipoli ovest all'altro. Il secondo dipolo est e il secondo ovest vanno collegati in modo opposto, e così via sino agli ultimi dipoli, scambiando la "polarità" ad ogni successivo dipolo. Attenzione: errori nel seguire questa regola pregiudicano il funzionamento dell'antenna.

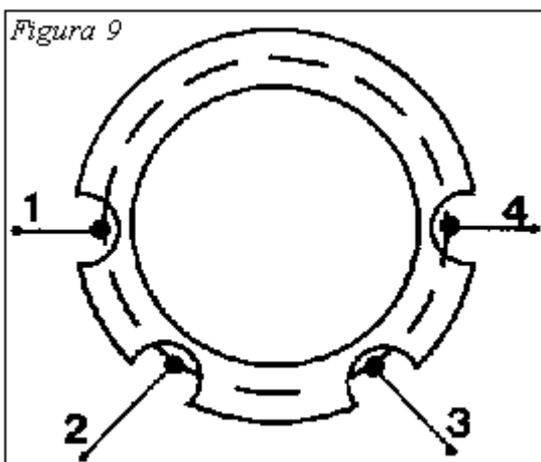
A questo punto si devono collegare tra di loro le quattro linee collettrici. Ma prima di farlo conviene passare dalla linea bifilare alla coassiale, mediante un "balun" (figura 8). Il tipo più efficiente e facile da fare è quello a mezz'onda costituito semplicemente da un tratto di cavo coassiale da 50 ohm, isolato in polietilene (RG 8 oppure RG 58) lungo in realtà 0,33 l (50 cm). Le due estremità del conduttore interno vanno rispettivamente ai punti di mezzo di una linea collettrice, mentre le due estremità del conduttore esterno sono connesse tra loro. Un tratto di alcuni metri dello stesso cavo, con il conduttore interno connesso ad uno dei punti di mezzo di cui si è detto e il conduttore esterno

connesso al conduttore esterno del balun, costituirà l'uscita di questa sezione dell'antenna. La stessa cosa si farà con le altre tre sezioni, badando che il cavo di uscita sia connesso al punto di mezzo corrispondente a semidipoli ugualmente orientati in tutte le file. Inoltre i quattro cavi di uscita devono essere di uguale lunghezza.

Se a questo punto si connettessero in parallelo i quattro cavi si otterrebbe un'antenna con un fascio puntato perpendicolarmente al piano dei dipoli; secondo la costruzione descritta questa direzione giace nel piano meridiano ad una distanza di 30° verso sud dallo zenit quindi, per latitudine di 45° N, a $d = + 15^\circ$. Va osservato però che connettendo in parallelo quattro cavi da 50 ohm si ottiene una impedenza di 12,5 ohm, che non si adatta all'ingresso



del ricevitore (50-75 ohm). Dovremo perciò usare dei trasformatori di impedenza: poiché inoltre dovremo sfasare le quattro file di dipoli tra di loro per variare il puntamento, ci converrà un particolare tipo di trasformatore, un po' complicato, ma con caratteristiche molto utili, che è noto come "anello ibrido" (figura 9). Un anello ibrido è costituito da un tratto di cavo coassiale lungo $1,5 l$, chiuso su se stesso. Usando cavo in polietilene, che ha indice di rifrazione uguale ad 1,5, la lunghezza del cavo deve essere in realtà uguale a l (1,5 m). Per essere inserito in un sistema di cavi da 50 ohm, l'anello ibrido dovrebbe essere costruito con cavo da 70 ohm. È perfettamente accettabile il cavo

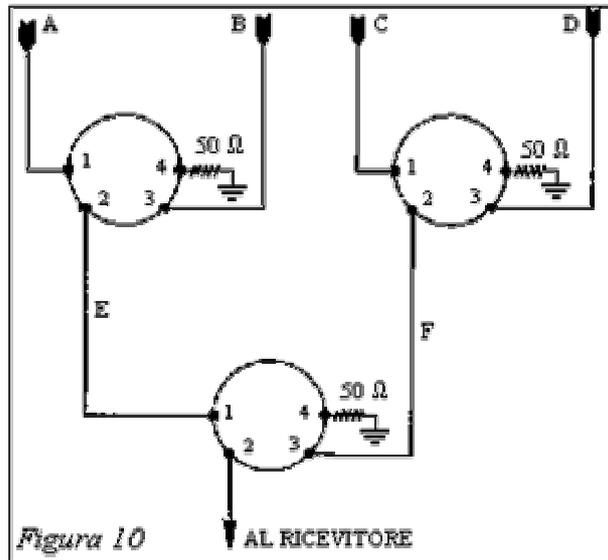


da 75 ohm nominali (RG 11 oppure RG 59). Sull'anello vengono praticate quattro prese, scoprendo parzialmente il conduttore interno, senza tuttavia interrompere quello esterno. La spaziatura tra le prese successive deve essere di un sesto della lunghezza totale (25 cm): risulta perciò che le prese 1 e 4 sono diametralmente opposte e che una metà dell'anello è senza prese. Le

prese pari sono "isolate" tra loro, e così pure le prese dispari. Invece la presa 2 "vede" le prese 1 e 3 in fase, mentre la presa 4 "vede" le prese 1 e 3 in opposizione di fase.

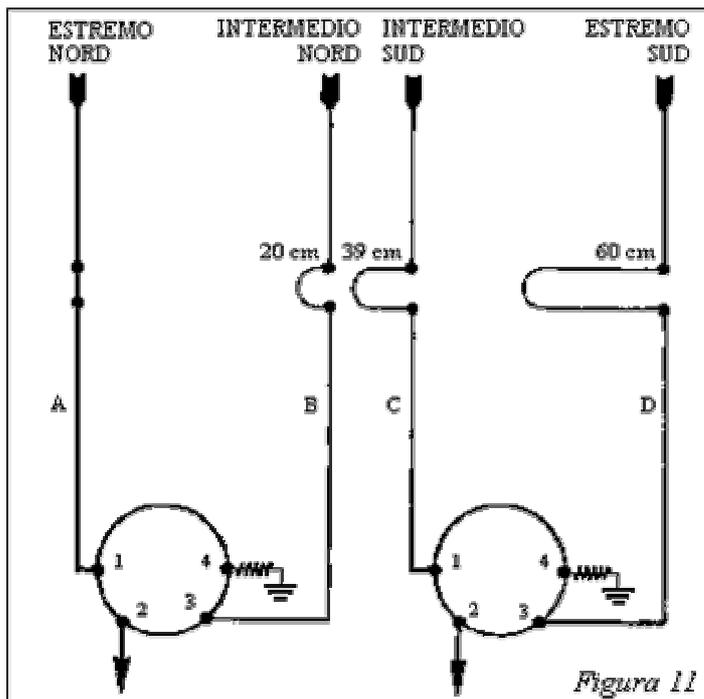
Si costruiscano tre anelli ibridi e si colleghino in questo modo (figura 10):

- presa 4 di tutti gli anelli ad altrettante resistenze da 50 ohm (possono andare bene anche da 47 ohm);
- presa 2 di un anello al ricevitore, e prese 1 e 3 dello stesso anello alle prese 2 degli altri anelli;
- prese 1 e 3 degli altri anelli ai quattro cavi provenienti dalle file di dipoli.



Si otterranno due risultati utili: si manterrà l'impedenza nominale di 50 ohm a tutto il sistema di cavi e si attenueranno gli effetti di eventuali errori di impedenza. Il primo risultato è analogo a quello che si otterrebbe con tratti in quarto d'onda di impedenza opportuna (sullo stesso principio dello strato antiriflettente delle ottiche "azzurrate"). Il

secondo risultato è proprio degli anelli ibridi: infatti parte dei segnali riflessi da eventuali disadattamenti viene assorbita dalle resistenze da 50 ohm, attenuandone gli effetti.



A questo punto l'antenna è veramente funzionante a $d = +15^\circ$ e può essere connessa al ricevitore. Per variare il puntamento basta inserire nei cavi delle quattro file (figura 11) degli spezzoni aventi le

lunghezze indicate in cm nella tabella qui in basso, calcolata sempre per $l = 1,5 \text{ m}$, $f = 200 \text{ MHz}$, cavo in polietilene da 50 ohm RG 8 o RG 58.

Data la simmetria della tabella ed alcune coincidenze, basterà preparare solo sette spezzoni di cavo di lunghezze opportune, ognuno dotato di connettore maschio a un estremo e femmina dall'altro, per effettuare tutti i puntamenti. Si consiglia l'uso di connettori tipo N, anche se l'uso di connettori BNC o di connettori UHF è possibile e più economico. Nella lunghezza dei cavi va calcolata anche la lunghezza equivalente della coppia di connettori, che per gli N è di circa 2 cm. Non ci si deve meravigliare se le lunghezze indicate sono apparentemente casuali: in realtà sarebbero multipli interi di un valore base, se non avessi tolto, quando possibile, una lunghezza d'onda dal valore calcolato, e se non avessi operato qualche arrotondamento.

Chi disponesse di un'adeguata strumentazione potrebbe procedere ad una accurata messa a punto del sistema, ottenendone le massime prestazioni possibili. Ritengo però che seguendo fedelmente le istruzioni nella costruzione si raggiungeranno risultati vicini a quelli teorici.

Puntamento	Fila			
	Estremo nord	Intermedio nord	Intermedio sud	Estremo sud
- 30°	0	53	7	60
- 15°	0	39	75	13
0°	0	20	39	60
+ 15°	0	0	0	0
+ 30°	60	39	20	0
+ 45°	13	75	39	0
+ 60°	60	7	53	0