I GRANDI RADIOTELESCOPI DI RECENTE COSTRUZIONE

G. SINIGAGLIA (*)

Si sente spesso parlare del « più grande radiotelescopio del mondo ». Messa da parte ogni considerazione nazionalistica, si deve ammettere che nessuno dei radiotelescopi oggi esistenti è in assoluto il più grande del mondo, perchè uno supera gli altri per superficie, un altro per estensione lineare, un altro per potere separatore, un altro per la sua versatilità. Vi sono almeno dieci radiotelescopi che possono concorrere a questo titolo, limitatamente ad una o alcune caratteristiche: essi verranno descritti in questo articolo, dopo un esame dei vari criteri che ne hanno guidato il progetto e la costruzione. Ogni grande radiotelescopio nasce infatti da un compromesso tra molti fattori di diversa natura, e la libertà di scelta è così grande da somigliare più a quella dell'artista che a quella del progettista tecnico.

Nel numero di gennaio 1961 di questa Rivista apparve un articolo [1] illustrante i principali radiotelescopi allora in funzione o in avanzata costruzione. Si trattava di radiotelescopi con antenna a paraboloide di notevoli dimensioni e orientabili intorno a due assi, il più grande e famoso dei quali è il radiotelescopio di Jodrell Bank. In questi quattro anni si è verificata una inversione di tendenza, nella costruzione dei grandi radiotelescopi: ciò ha permesso al radiotelescopio di Jodrell di rimanere, inaspettatamente, il più grande paraboloide interamente orientabile del mondo. Il progetto del radiotelescopio che doveva essere costruito a Sugar Grove è stato abbandonato quando è risultato chiaro che il costo sarebbe stato quattro volte superiore al preventivo di 50 miliardi di lire. Tuttavia la corsa ai grandi radiotelescopi è continuata, ma su altre strade che nel seguito descriveremo, mentre nel campo dei radiotelescopi a paraboloide di rotazione si è cercato di migliorare le prestazioni con una riduzione delle tolleranze meccaniche, anzichè con l'aumento delle dimensioni.

Due fattori hanno influenzato la citata inversione di tendenza: il costo eccessivo di strutture mobili intorno a due assi, quando le dimensioni richieste e le tolleranze consentite siano spinte troppo vicino ai limiti imposti dalla tecnica attuale; la considerazione dell'andamento del potere separatore e della efficienza di captazione di un riflettore circolare al variare del diametro.

Il primo fattore richiede pochi commenti; si può solo far rilevare come fosse troppo ottimistico ritenere il costo di un paraboloide proporzionale al cubo del diametro.

TABELLA. – *Caratteristiche principali di dieci grandi radiotelescopi.*

Località	Tipo e dimensione del riflettore principale	Tipo e limiti del movimento	Frequenza ottima MHz	Apertura del fascio a 3 dB
Jodrell Bank (Inghilterra)	Paraboloide 76 m	Altazimutale senza limiti	600	30′
Green Bank, W Va. (USA)	Paraboloide 92 m	Transito da $+90°$ a $-21°$ (δ); con inseguimento di 1° (in AR)	1400	10′
Parkes (Australia)	Paraboloide 64 m	Altazimutale limitato a $\pm 60°$ dallo Zenit	3000	7′
Arecibo (Porto Rico)	Calotta sferica 305 m	Illuminatore mobile limitato a $\pm 20°$ dallo Zenit	430	10′
Vermillon River, Ill. (U.S.A.)	Cilindro parabolico 120 × 180 m	Transito da $+70°$ a $+10°$	600	19′
Nançay (Francia)	Segmento sferico 300 × 35 m	Transito senza limiti con inseguimento di 15°	5000	2′ × 10′
Cambridge (Inghilterra)	Cilindro parabolico 440 × 20 m + cilindro parab. su rotaie 55 × 20 m	Transito limitato tra $-5°$ e $+90°$	178	13′ × 4° 25′ × 35′
Canberra (Australia)	Croce di cilindri parab. 1600 × 12 m	Transito limitato a $\pm 55°$ dallo Zenit, con fasci mult.	408	3′
Serpukhov (U.R.S.S.)	Croce di cilindri parab. 1000 × 40 m	Transito limitato a $\pm 60°$ dallo Zenit	100	10′
Medicina, Bo (Italia) (stato attuale)	Cilindro parabolico 560 × 35 m	Transito limitato a $\pm 75°$ dallo Zenit, con fasci mult.	408	4′ × 100′
Medicina, Bo (Italia) (progetto definitivo)	Cilindro parabolico 560 × 35 m + 128 cilindri parab. 47 × 8 m	Transito limitato a $\pm 45°$ dallo Zenit, con fasci mult.	408	3′

(*) Dott. Ing. GIANFRANCO SINIGAGLIA - Laboratorio Nazionale di Radio Astronomia - Ist. di Fisica dell'Università di Bologna.

Infatti il rapporto dei diametri tra il radiotelescopio di Sugar Grove e quello di Jodrell Bank è inferiore a tre, mentre il rapporto dei costi è risultato superiore a cento.

Il secondo fattore richiede maggiore attenzione, poichè ha influito in modo diverso sul progetto dei recenti grandi radiotelescopi. È noto che il potere separatore di un sistema ottico in generale, e di una antenna direttiva in particolare, è proporzionale al rapporto tra le dimensioni lineari e la lunghezza d'onda. A parità di tolleranze, e quindi di lunghezza d'onda utilizzabile, il potere separatore di un paraboloide aumenta linearmente col diametro. L'efficienza di captazione, a parità di rendimento della superficie riflettente, aumenta col quadrato del diametro. Ciò mostra che il rapporto tra sensibilità complessiva e potere separatore varia in proporzione al diametro. Se si considera però che il potere separatore *in angolo solido* varia col quadrato del potere separatore angolare, si ristabilisce l'equilibrio, in modo che il rapporto tra potere separatore in angolo solido e sensibilità risulta indipendente dal diametro. Si deve però tenere conto della distribuzione delle radiosorgenti nell'universo, quale risulta dai modelli cosmologici proposti, la verifica dei quali costituisce l'obbiettivo principale di alcuni tra i più grandi radiotelescopi esistenti e in progetto. I modelli cosmologici, confermati in modo approssimativo dalle indagini preliminari, prevedono che l'intensità apparente delle radiosorgenti diminuisca col quadrato della distanza (o un poco più rapidamente se si tiene conto dello spostamento verso il rosso), mentre il numero delle radiosorgenti deve aumentare, se la densità media della materia è uniforme, col cubo della distanza. Se si vuole perciò indagare l'universo a profondità sempre maggiori non serve aumentare indefinitamente la sensibilità dei radiotelescopi se non si aumenta ancora più rapidamente il potere separatore. In altre parole è vicino il giorno in cui le nostre conoscenze sulla struttura delle parti più remote dell'universo saranno limitate non dalla mancanza di informazioni, ma dalla *confusione* tra le troppe informazioni disponibili.

Il rischio che la limitazione data dal potere separatore prevalga sulla limitazione dovuta alla sensibilità ha spinto i progettisti di grandi radiotelescopi a battere tre strade diverse:

1) Rinunciare a dimensioni gigantesche dello specchio, concentrando gli sforzi sulla riduzione delle tolleranze: in questo modo si possono usare lunghezze d'onda minori, migliorando così il potere separatore a detrimento della sensibilità. La riduzione della sensibilità è dovuta non al ricevitore, che con le tecniche attuali può avere un ottimo fattore di rumore anche nel campo delle onde centimetriche, ma allo spettro delle radiosorgenti più grandi, la cui emissione diminuisce all'aumentare della frequenza. Va notato che per le radiosorgenti *termiche*, cioè il sole, i pianeti e le nuvole galattiche, vale l'inverso, cioè l'emissione aumenta con la frequenza. Ciò spiega perchè questa strada sia stata preferita da chi è interessato alla astronautica oltre che alla radioastronomia.

2) Abbandonare la forma rotondeggiante dello specchio, costruendo gruppi di antenne a forma di croce, di T o di L, in modo da svincolare le dimensioni lineari dall'area utile dell'antenna. Queste antenne sono dette generalmente *sintetiche*, e sono qualcosa di più di semplici allineamenti in quanto utilizzano accorgimenti elettronici particolari per simulare le prestazioni di una antenna rotonda di enormi dimensioni per quel che riguarda il potere separatore, senza condividerne la sensibilità inutilmente elevata e il costo ancora più elevato.

3) Rinunciare alla mobilità dello specchio principale, in modo da poter ottenere, a prezzo ragionevole, ridotte tolleranze e grandi dimensioni. Questa strada è un compromesso tra le precedenti e ha perciò dato luogo a realizzazioni alquanto diverse tra loro, essendo possibile ovviamente maggiore libertà di movimento in una zona di compromesso che in una zona di frontiera.

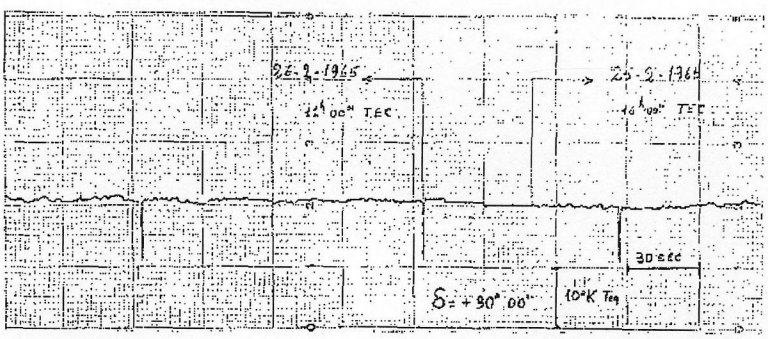


Fig. 1. — Prova di stabilità del sistema ricevente della Croce del Nord.

I RICEVITORI.

Nel campo dei ricevitori per radioastronomia si è notata in questi anni una crescente applicazione dei dispo-

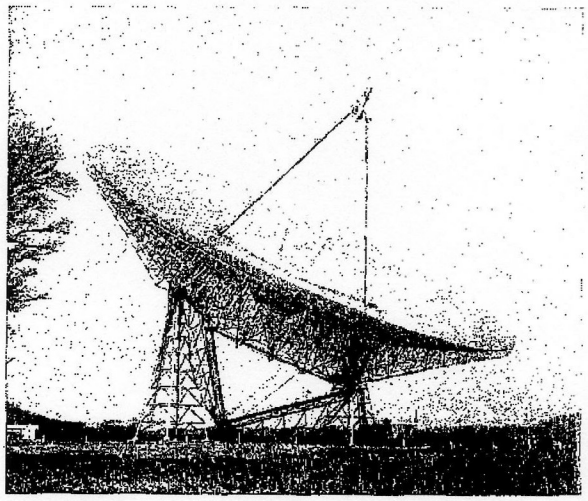
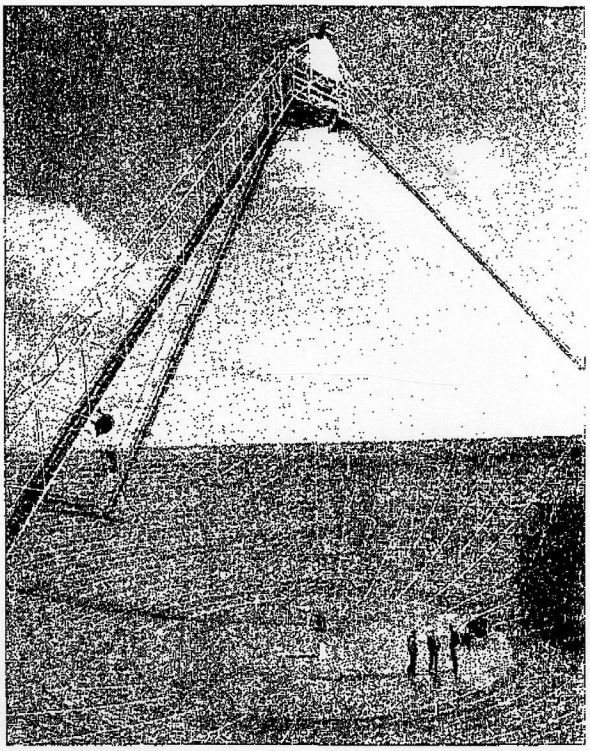


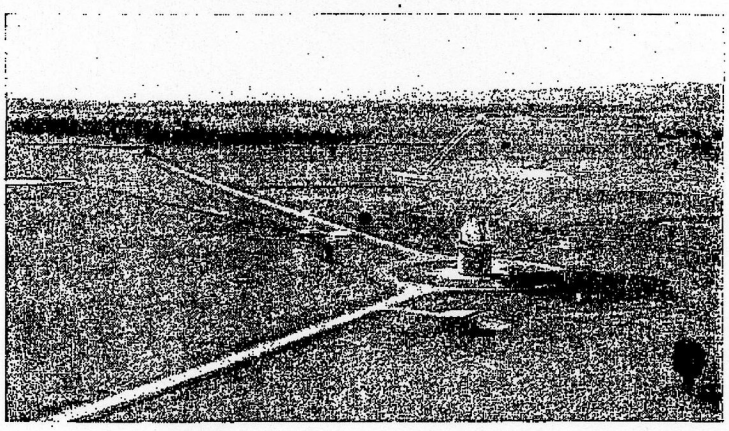
Fig. 2. — Paraboloide di transito da 300 piedi del N.R.A.O., Green Bank, W Va., U.S.A.

sitivi a basso rumore, maser e amplificatori parametrici, specialmente nei radiotelescopi a paraboloide usati al disopra dei 1 000 MHz. A frequenze intorno a 400 MHz sono frequentemente usati anche i tubi di Adler che, pur avendo un rumore più alto dei parametrici a diodi, hanno il vantaggio di una maggiore stabilità. Nei ricevitori per radiotelescopi ad antenna sintetica più che il basso rumore interessa una elevata stabilità di fase: infatti ad una antenna sintetica sono collegati due o più ricevitori, sul quale vengono osservate le piccole deviazioni dovute alle radiosorgenti, è sempre opportuno, ove possibile, stabilizzarlo mediante una delle tecniche di modulazione di ampiezza [2] o di fase [3], oppure mediante la correlazione istantanea [4, 5]. Tuttavia l'applicazione integrale dei transistori, accompagnata da accurata stabilizzazione della temperatura e delle tensioni permette in certi casi di ottenere una ottima stabilità anche senza artifici di stabilizzazione, i quali inevitabilmente peggiorano il rap-

a)



b)



c)

Fig. 3. — *a*) Paraboloide interamente orientabile di Parkes (Australia). - *b*) L'interno del paraboloide di Parkes. - *c*) Veduta generale dell'Osservatorio di Parkes.

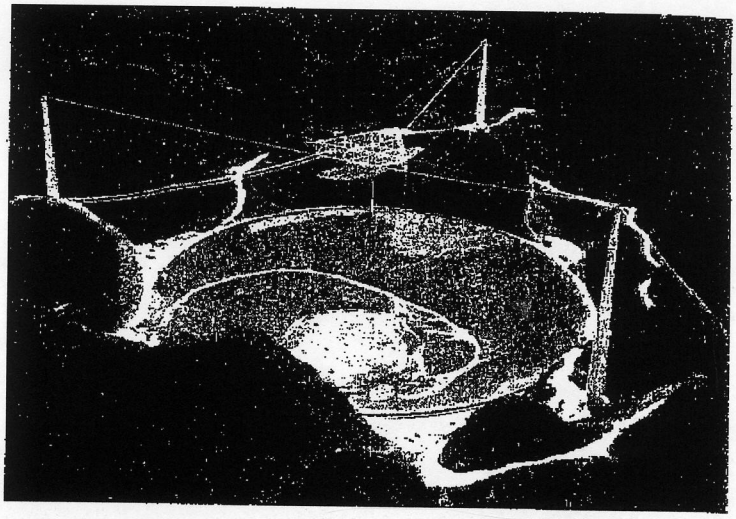
le relazioni di fase tra i quali determinano la forma e la posizione del fascio. In questo campo hanno dato ottimi risultati gli amplificatori di media frequenza a transistori, i quali permettono di ottenere stabilità di fase e di guadagno notevolmente superiori a quanto si otteneva con i tubi a vuoto.

Per quel che riguarda la stabilità del livello di fondo porto segnale-disturbo. La fig. 1 mostra un esempio di tracciato ottenuto col braccio *E-W* della Croce del Nord [6, 7], puntata sul polo Nord. La parte destra del tracciato è stata registrata alle ore 16 circa del 25-2-1965. Il registratore è stato poi spento e riacceso il giorno seguente alle ore 11 circa. Si può vedere che la deriva del fondo in 19 ore è di circa una divisione, corrispondente a

1 °K di temperatura equivalente di rumore all'ingresso del sistema ricevente. La stabilità relativa del guadagno che ne consegue è migliore dell'uno per mille. La fluttuazione quadratica media dovuta al rumore è mantenuta entro circa 0,5 °K mediante integrazione con costante di tempo di due secondi. Se si fosse introdotto uno dei correnti metodi di stabilizzazione la piccola deriva sarebbe stata eliminata, ma la fluttuazione dovuta al rumore sarebbe salita a 0,7÷1 °K.

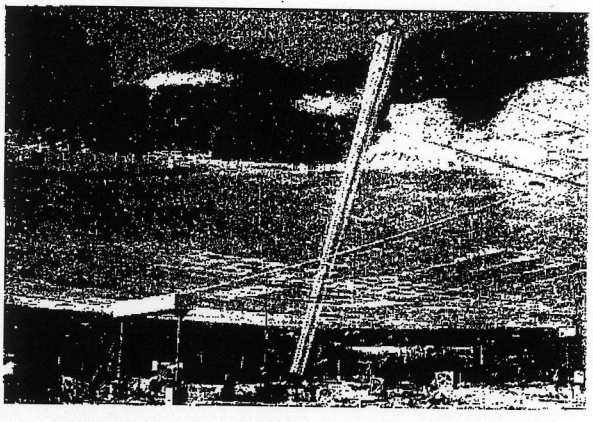
GRANDI PARABOLOIDI.

Negli ultimi anni sono stati costruiti due radiotelescopi con antenna a paraboloide di grandi dimensioni: il più grande di questi, l'unico che superi le dimensioni di quello di Jodrell Bank, ha però l'antenna mobile intorno a un solo asse. È stato costruito al National Radio Astronomy Observatory di Green Bank, W. Va, negli USA [8] (fig. 2). Il suo diametro è di 300 piedi (~92 m) e la sua



a)

b)



c)

Fig. 4. — *a*) Il radiotelescopio di Arecibo (Porto Rico). - *b*) La piattaforma sospesa del radiotelescopio di Arecibo. - *c*) L'illuminatore del radiotelescopio di Arecibo mentre viene sollevato dal fondo dello specchio per essere montato sotto la piattaforma sospesa.

lunghezza focale di 128,5 piedi (~ 39 m). È mobile intorno ad un asse orizzontale orientato in direzione E-W, ciò che permette di puntare il fascio in qualsiasi punto del cielo compreso tra le declinazioni +90° (polo Nord) e —21°, solo però nel piano meridiano. L'illuminatore è mobile in modo che sono possibili spostamenti trasversali (cioè in ascensione retta) con una ampiezza massima di 1°. Le tolleranze sono tali da assicurare un pieno rendimento a 21 cm (riga dell'idrogeno); a tale lunghezza d'onda il potere separatore è di 10′.

Un paraboloide un po' più piccolo, ma capace di migliori prestazioni, è stato costruito a Parkes, Australia [9] (fig. 3 *a*, *b*, *c*). È interamente mobile, grazie ad un montaggio altazimutale, che consente il puntamento in qualsiasi direzione che sia a più di 30° dall'orizzonte. Può funzionare a pieno rendimento sino a 10 cm, con potere separatore di 7′.

GRANDI ANTENNE CON RIFLETTORE FISSO.

La più grande antenna di questo tipo è stata costruita ad Arecibo, Porto Rico, su progetto della Cornell University [10] (fig. 4 *a*, *b*, *c*). Il riflettore è una calotta sferica, costruita in una cavità naturale, opportunamente adattata. Il diametro è di 305 m. La stazione ricetrasmittente si trova su una piattaforma sospesa nella zona focale. L'illuminatore è di tipo speciale, studiato in modo da correggere l'aberrazione sferica, e può muoversi in modo da permettere il puntamento in un punto qualsiasi del cielo entro 20° dallo zenit. La lunghezza d'onda impiegata è di 70 cm, con potere separatore di 10′. Questa antenna viene usata prevalentemente per studi sulla ionosfera e per ottenere echi radar dai pianeti. Si prevede che solo per il 10 % del tempo sarà usata per studi radioastronomici.

Un'altra grande antenna a riflettore fisso è stata costruita a Vermillon River, Illinois, USA [11] (fig. 5). È

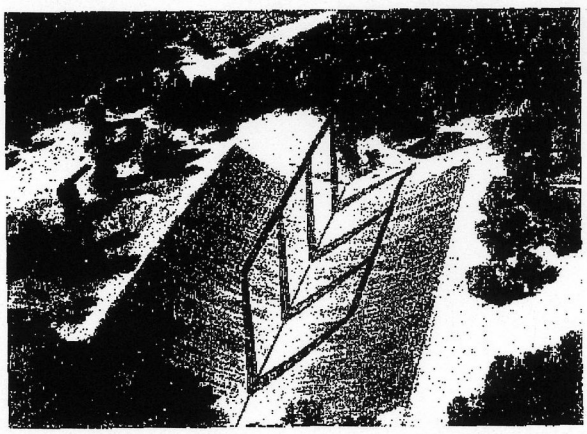
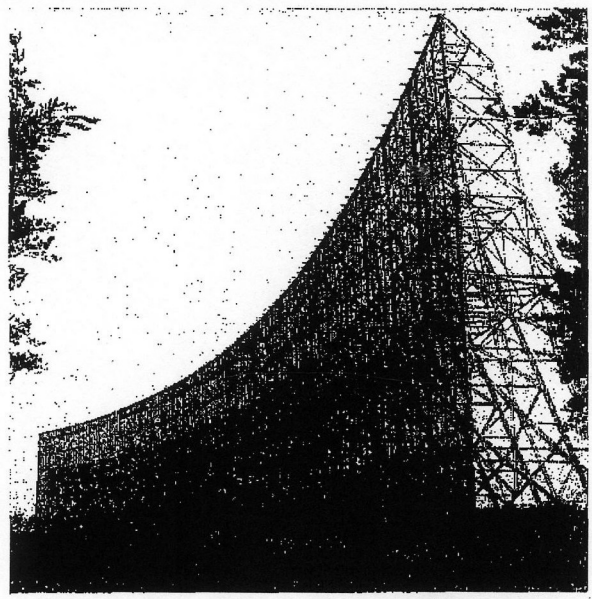


Fig. 5. — Radiotelescopio cilindro-parabolico dell'Illinois (U.S.A.).

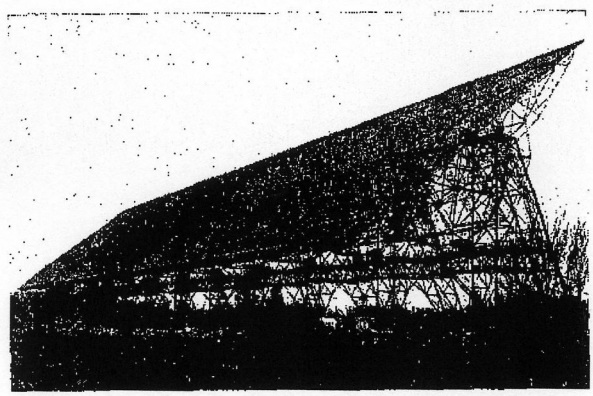
un cilindro parabolico, lungo 180 m e con 120 m di apertura, illuminato da un allineamento di eliche coniche poste nella linea focale.

Il riflettore è appoggiato al terreno, opportunamente sagomato a partire da una valle naturale. Non vi è alcuna parte mobile, ma il fascio può essere puntato nel piano meridiano tra +70° e +10° mediante sfasamento relativo delle eliche che costituiscono l'illuminatore. Non vi è alcuna possibilità di movimento in ascensione retta. Alla frequenza di funzionamento, fissa, di 611 MHz il potere seeparatore è di 19′.

Alla categoria delle antenne con riflettore fisso si può ascrivere il nuovo radiotelescopio di Nançay [12] (figura 6 *a*, *b*), pur avendo questo uno specchio mobile. Infatti il riflettore principale è un segmento di sfera, fisso a terra, sul quale vengono indirizzate le onde deviate da uno specchio quasi piano, mobile intorno ad un asse E-W. La sfera concentra le onde nella zona focale su un pic-



a)



b)

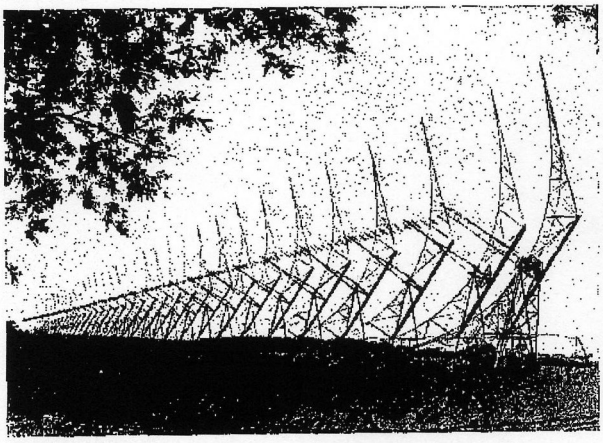
Fig. 6. — *a*) Specchio sferico fisso del radiotelescopio di Nançay (Francia). - *b*) Specchio piano mobile del radiotelescopio di Nançay.

colo paraboloide che le rimanda infine ad un illuminatore a tromba. L'aberrazione sferica è in parte corretta dallo specchio mobile, il quale si comporta come una lente correttrice di Schmidt. Il complesso paraboloide-illuminatore-ricevitore è montato su un carrello mobile su rotaie, ciò che permette uno spostamento del fascio di 15° in ascensione retta. Ciò permette l'inseguimento di una sorgente per circa un'ora. Non sono note ancora le prestazioni massime, ma si prevede un potere separatore di 2′ · 10′ a 6 cm, che è probabilmente la lunghezza minima a pieno rendimento. Le dimensioni dello specchio sferico sono 300 · 35 m e quelle dello specchio piano sono 200 · 40 metri. L'antenna è stata derivata, con notevoli modifiche

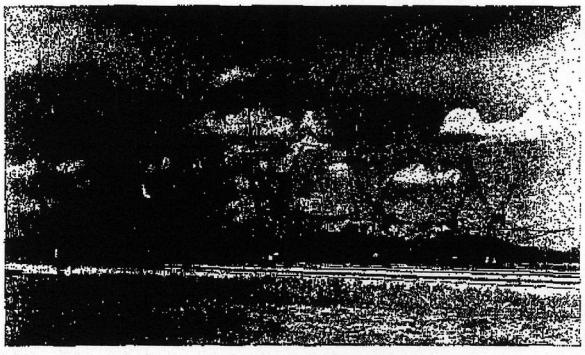
e perfezionamenti, da quella progettata da Kraus e costruita dalla Ohio State University [13].

ANTENNE SINTETICHE.

Le antenne sintetiche più grandi attualmente in funzione o in avanzata costruzione sono derivate dai prototipi sperimentati a Cambridge [14] e in Australia [15] nel decennio scorso. Nel primo caso si tratta di complessi formati da una antenna di grandi dimensioni, orientabile intorno ad un asse E-W, e da una antenna più piccola orientabile e spostabile. Una serie di osservazioni effettuate con lo stesso puntamento ma con diverse posizioni dell'antenna spostabile permette, mediante una complessa elaborazione effettuata con calcolatori elettronici, di simulare l'esistenza di una grande antenna, avente un diametro approssimativamente uguale alla massima distanza raggiungibile tra l'antenna piccola e l'estremo più lontano dell'antenna grande. Il più grande strumento di



a)

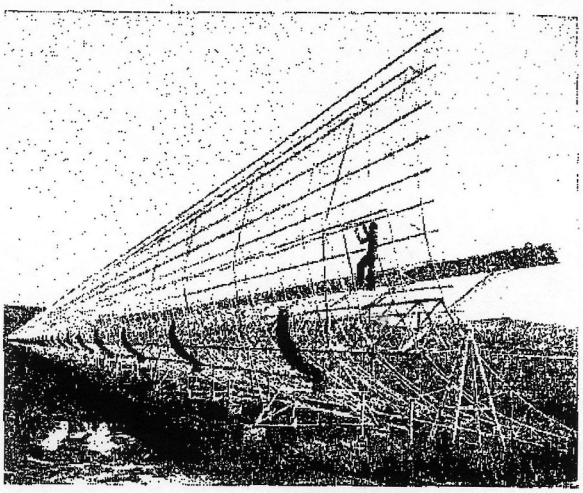


b)

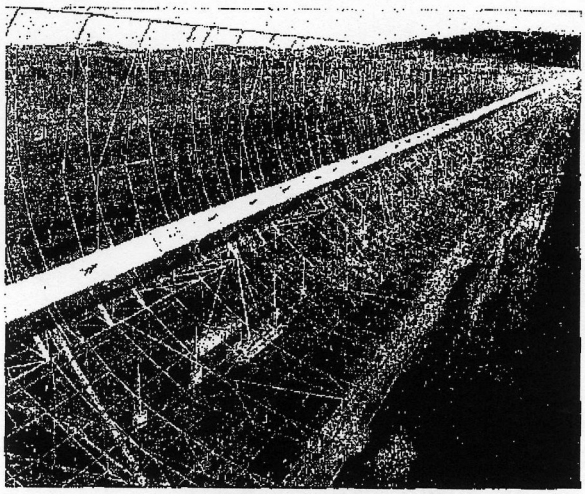
Fig. 7. — a) Il ramo Est-Ovest dell'interferometro di Cambridge (Inghilterra). - b) Il ramo mobile su rotaie in direzione N-S dell'interferometro di Cambridge.

questo tipo, funzionante a Cambridge, Inghilterra [16] (fig. 7 *a*, *b*), è costituito da un cilindro parabolico lungo 440 m con apertura di 20 m, orientabile intorno ad un asse E-W e da un secondo cilindro simile, lungo 55 m, mobile in direzione N-S su rotaie lunghe 300 m. I riflettori cilindrici sono illuminati da dipoli disposti nella linea focale. La lunghezza d'onda usata è di 1,7 m: il potere separatore del riflettore maggiore da solo è di 13,5′ · 4,5°, mentre il potere separatore del complesso usato come antenna sintetica è di 25′ · 35′.

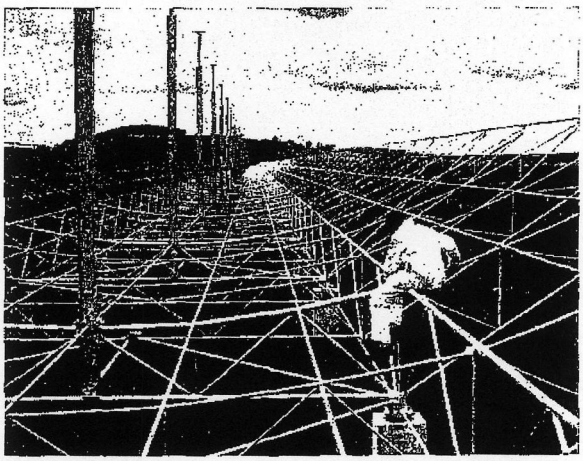
Un sistema diverso di simulare una grande antenna è stato impiegato da Mills, a Fleurs, Australia: due antenne lunghe e strette, poste in croce, collegate a ricevitori posti in « correlazione » mediante un sistema elettro-



a)



b)



c)

Fig. 8. — a) Il ramo Est-Ovest della Croce di Mills, vicino a Camberra (Australia). - b) Un'altra inquadratura del ramo Est-Ovest della Croce di Mills. - c) Il ramo Nord-Sud, in costruzione, della Croce di Mills.

nico a commutazione di fase, possono sostituire, agli effetti del potere separatore, una antenna rotonda avente un diametro approssimativamente uguale alla distanza tra due estremi consecutivi della croce. Una nuova versione di antenna a croce, di dimensioni e prestazioni superiori alla precedente, è ora pressochè ultimata vicino a Camberra, Australia [17] (fig. 8 *a, b, c*). È formata da due cilindri parabolici incrociati, lunghi ciascuno un miglio e larghi 12 m. Il cilindro E-W è mobile intorno al suo asse e può esplorare il cielo lungo il meridiano. Il cilindro N-S è fisso, ma il suo fascio può essere spostato, in accordo col fascio dell'altro cilindro, mediante una serie di sfasatori collegati a sezioni dell'illuminatore. Gli illuminatori sono formati da gruppi di dipoli allineati: ogni gruppo è collegato a un convertitore e una catena amplificatrice a media frequenza. Mediante opportune combinazioni tra i canali di media frequenza si possono ottenere undici fasci indipendenti e contemporanei, distribuiti entro alcune decine di primi intorno al fascio principale. Il potere separatore previsto è di 3′, alla lunghezza d'onda di 73 cm.

Una croce di caratteristiche analoghe, ma funzionante alla lunghezza d'onda minima di 2,5 m è stata costruita a Serpukhov, URSS [18] (fig. 9). Il braccio E-W, lungo 1 000 m e largo 40 m, è mobile intorno al suo asse. Un braccio N-S di uguali dimensioni, ma fisso, completerà la croce, portando la superficie complessiva a 80 000 m². Alla frequenza di 100 MHz il potere separatore sarà di 10′.

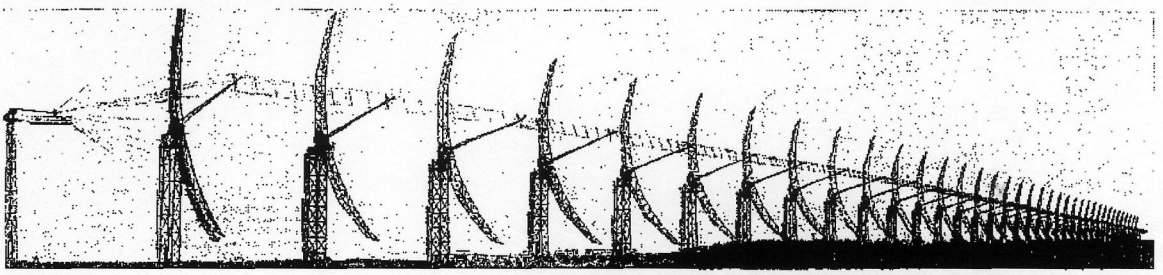
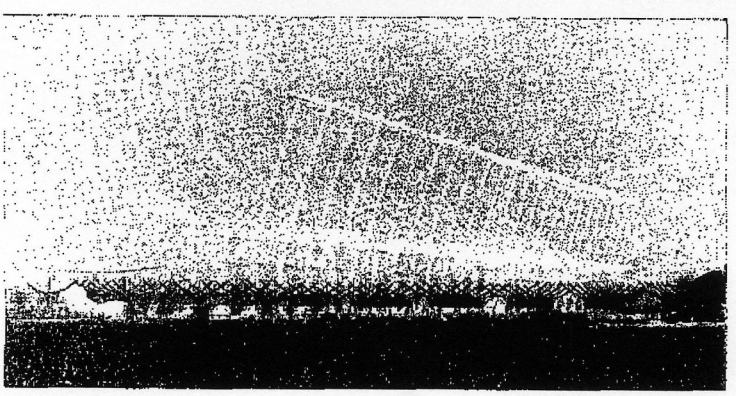


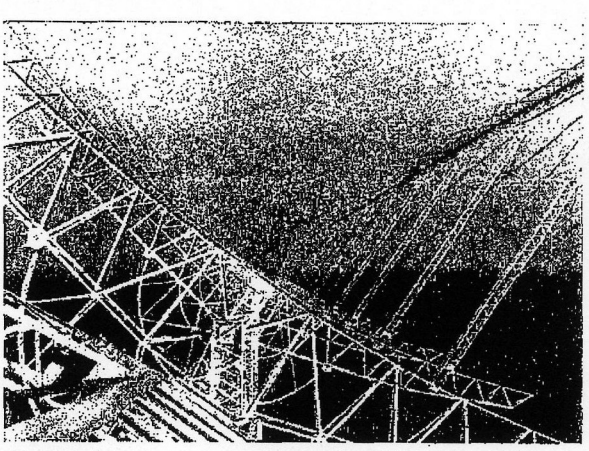
Fig. 9. — Il ramo Est-Ovest del radiotelescopio di Serpukhov (URSS).

La Croce del Nord.

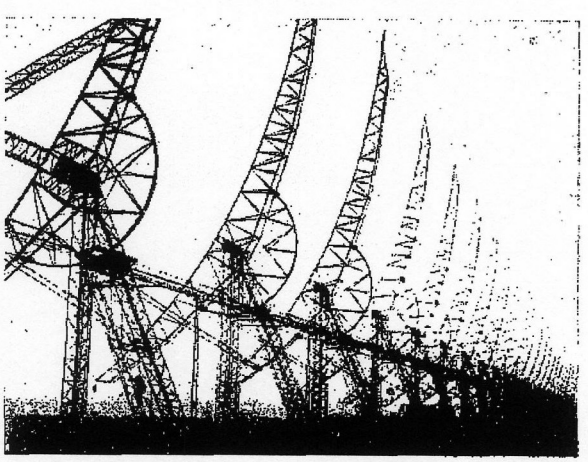
È stato completato l'anno scorso il braccio E-W della Croce del Nord (fig. 10 *a, b, c, d, e, f*), già descritta su questa Rivista [6, 7]. Mentre continuano i lavori per la costruzione del braccio N-S (fig. 10 *g*), il braccio E-W è già entrato regolarmente in funzione e fornisce presta-



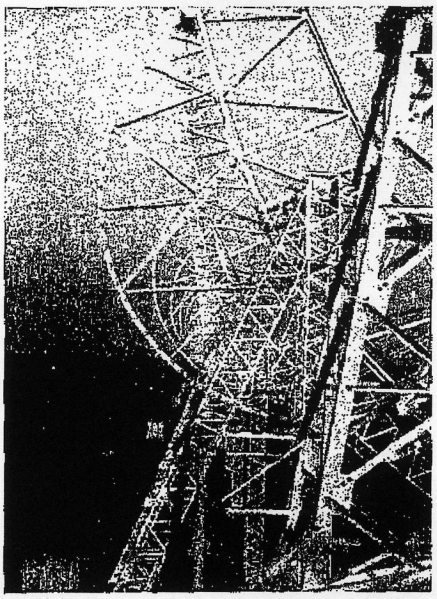
a)



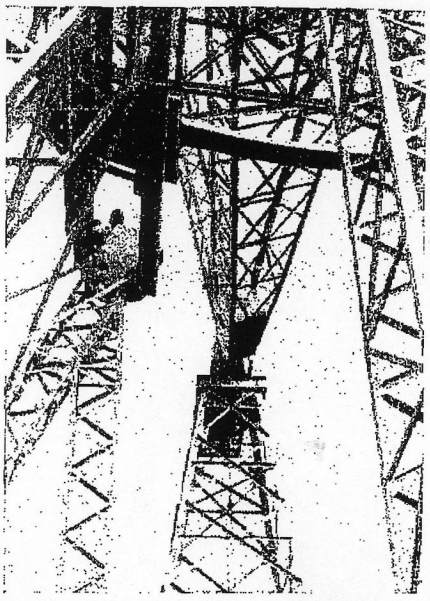
b)



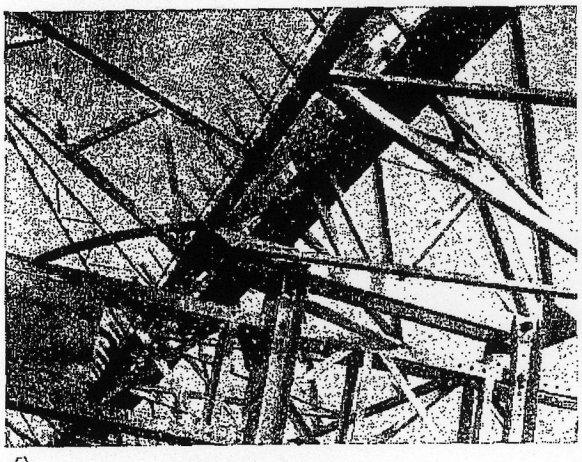
c)



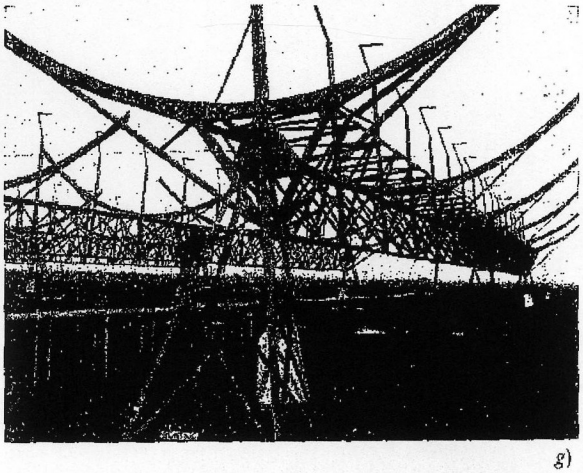
d)



e)



f)



g)

Fig. 10. — *a)* Il ramo Est-Ovest della Croce del Nord, Medicina (Bologna). In primo piano alcuni elementi del ramo Nord-Sud, in costruzione. - *b)* La superficie cilindroparabolica della Croce del Nord. — *c)* Un'altra inquadratura del ramo Est-Ovest della Croce del Nord. - *d)* Una infilata dei cerchi, muniti di catena, che assicurano il movimento della Croce del Nord. - *e)* Struttura del terminale mobile con contrappeso, che mantiene in tensione i fili costituenti lo specchio della Croce del Nord. - *f)* Particolare dell'illuminatore della Croce del Nord. Sono visibili alcuni dipoli e parte delle linee di trasmissione, in «strip» e coassiali, che li collegano. - *g)* Un elemento del ramo Nord-Sud della Croce del Nord. Mancano ancora i fili dello specchio e l'illuminatore.

zioni in tutto rispondenti alle previsioni. L'antenna, situata a Medicina, a circa 30 km da Bologna, è lunga 560 m e larga 35 m. Ha forma di cilindro parabolico, ma a differenza di tutte le antenne qui citate (esclusa quella di Nançay) ha la linea focale fuori dell'apertura utile. Ciò presenta il grande vantaggio di non provocare lobi secondari dovuti al bloccaggio dell'apertura. In una normale antenna il bloccaggio dell'apertura equivale ad una antenna negativa avente un diagramma meno direttivo di quella principale, che introduce estesi lobi secondari, particolarmente forti nel caso di una antenna di forma allungata. Era invece essenziale nel progetto della Croce del Nord che il cilindro E-W avesse bassi lobi secondari N-S, per eliminare le frange di interferenza provocate dalla particolare costituzione del ramo N-S. Infatti si è ritenuto conveniente adottare per il braccio N-S una costruzione diversa da quella ideata da Mills, per potere usare anche in tale braccio la costruzione del riflettore con fili tesi, anzichè con rete metallica. Inoltre si è ridotto in tal modo il numero e la complessità degli sfasatori, effettuando un compromesso tra il puntamento meccanico ed elettrico. In definitiva il braccio N-S sarà formato da 128 cilindri parabolici da 47 · 8 m, estendentesi per 1 280 m, spaziati cioè di 2 m tra loro, per consentire l'orientamento di $\pm 45°$ senza che i riflettori si facciano ombra reciprocamente. È proprio questa spaziatura la causa delle frange accennate. Queste saranno ridotte a limiti accettabili in quanto saranno moltiplicate coi lobi secondari in N-S estremamente deboli del cilindro E-W.

Nel primo periodo di funzionamento (inverno 1964-1965) il radiotelescopio costituito dal braccio E-W e dall'opportuno sistema ricevente ha fornito la posizione e l'intensità di migliaia di radiosorgenti, la maggior parte delle quali ancora sconosciute. La sensibilità e la stabilità dello strumento permettono di individuare sorgenti il cui flusso sia superiore a $3 \cdot 10^{-7}$ W/m^2 · Hz. Nelle ipotesi cosmologiche oggi più diffuse, ciò potrebbe corrispondere, almeno in alcuni casi, a distanze di circa 50 000 000 000 di anni luce.

La lunghezza d'onda impiegata è di 73 cm. Il potere

separatore attuale è di 4′ in ascensione retta e di 100′ circa in declinazione. La forte asimmetria del fascio rende più complessa l'elaborazione dei dati raccolti e introduce un limite alle capacità dello strumento per effetto della confusione tra le radiosorgenti, numerosissime a questi livelli di sensibilità. Presenta però il vantaggio di accelerare la scansione del cielo, rispetto ad altri strumenti aventi un uguale potere separatore in angolo solido (ad esempio il cilindro dell'Università dell'Illinois). A ciò va aggiunto che nell'attuale fase sono stati ottenuti tre fasci contemporanei indipendenti, spaziati di 5′ in ascensione retta: ciò permette di discriminare eventuali disturbi e piccole instabilità dalle sorgenti ricevute, evitando la necessità di ripetere più volte, per controllo, la stessa osservazione. Si può perciò prevedere che alla data in cui comparirà questo articolo sarà già stata completata l'esplorazione preliminare del cielo tra —30° e +60°, che servirà da traccia per l'esplorazione più dettagliata da compiersi con la croce completa.

È mostrato in fig. 11 un esempio di registrazione. Si

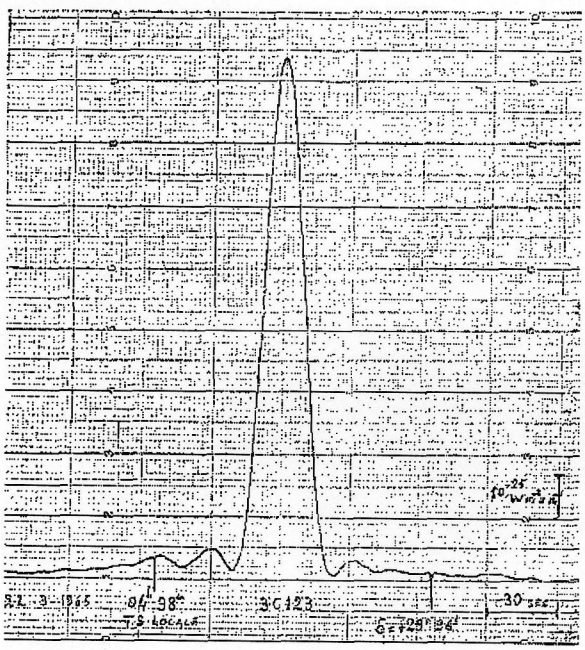


Fig. 11. — Diagramma di direttività della Croce del Nord ottenuto sperimentalmente mediante registrazione del passaggio della radiosorgente 3C123.

tratta di una sorgente di diametro angolare minore di 1′, da cui proviene un flusso, alla frequenza considerata, di circa 10^{-24} W/m² · Hz. Dato il piccolo diametro della sorgente, la registrazione si può considerare uguale alla forma del fascio in direzione E-W, a meno di piccole irregolarità del fondo. I lobi secondari sono abbastanza forti, circa —13 dB, in quanto si è preferito illuminare in modo uniforme il cilindro parabolico in direzione E-W per sfruttarne al massimo il potere separatore. La successiva elaborazione matematica dovrà però tenere conto delle risposte secondarie del fascio: ciò è facilitato dal fatto che i due fasci indipendenti ausiliari hanno risposte spurie diverse tra loro e rispetto al fascio centrale. I lobi secondari in direzione N-S sono invece mantenuti al di sotto dei —30 dB da una illuminazione graduale trasversale e dall'assenza di bloccaggio.

Quando lo strumento sarà completo del braccio N-S e dei dispositivi elettronici ad esso associati, potrà fornire 15 fasci contemporanei indipendenti aventi ciascuno una ampiezza angolare a metà potenza di circa 3′. Nel frattempo verrà attivato un sistema di campionatura, codifica e registrazione magnetica in codice IBM. Ciò permetterà la completa automatizzazione dei complicati processi di elaborazione matematica dei dati.

Progetti in corso.

Possiamo azzardare alcune previsioni sugli sviluppi della tecnica dei radiotelescopi basandoci su alcuni progetti allo studio o in corso di realizzazione.

Una delle direttrici di sviluppo è costituita dalla classica strada dei grandi paraboloidi orientabili. L'insuccesso del progetto di Sugar Grove non ha del tutto scoraggiato i costruttori americani, e progetti di paraboloidi con diametri tra i 100÷150 m sono tuttora allo studio [19].

Un'altra direttrice di sviluppo, che costituisce una estensione del principio della sintesi di apertura, è stata iniziata dall'Osservatorio di Cambridge e da altri. Tale tecnica fa ricorso ad un numero limitato di paraboloidi orientabili di medie dimensioni (tre paraboloidi da 20 m, a Cambridge) per sintetizzare enormi antenne, sfruttando contemporaneamente lo spostamento relativo dei paraboloidi, di cui uno è montato su rotaie, e la rotazione terrestre [20]. Tale tecnica verrà probabilmente usata anche nello strumento olandese il cui progetto ha sostituito quello, ormai abbandonato, della Benelux Cross (che avrebbe dovuto essere una specie di Croce di Mills con bracci di 5 km).

Un terzo metodo per ottenere elevato potere separatore è l'impiego delle occultazioni di radiosorgenti da parte della luna. Questo metodo è già stato sperimentato con successo in alcuni osservatori, e costituisce il punto di partenza del progetto di un grande radiotelescopio da costruirsi in India [21]. La struttura di questo radiotelescopio e le sue dimensioni sarebbero simili a quelle del braccio E-W della Croce del Nord (circa 500 m per 30 m), il suo asse però sarebbe orientato in direzione N-S e inclinato rispetto all'orizzontale di un angolo uguale alla latitudine del luogo (circa 11°). Ciò permetterebbe di seguire per otto ore al giorno la luna, rilevando le occultazioni di radiosorgenti. In altre parole il potere separatore in declinazione sarebbe fornito dalle direttività dell'antenna, mentre il potere separatore in ascensione retta sarebbe portato a livelli altrimenti irrealizzabili dalla luna agente come diaframma.

Infine un'ultima possibilità di sviluppo, su cui però non osiamo avanzare previsioni, potrà essere costituita da osservatori radioastronomici posti in orbita intorno alla Terra [22]. Questi permetterebbero di studiare anche emissioni a frequenza così bassa da essere intercettata dalla ionosfera.

Desideriamo ringraziare per le informazioni e le fotografie cortesemente fornite: prof. B. Y. Mills dell'Università di Sydney (Australia), prof. M. Ryle dell'Università di Cambridge (Inghilterra), prof. E. G. Bowen della C.S.I.R.O. (Australia), Australian News and Information Bureau (Australia), dr. C. E. Barringer dell'Arecibo Ionospheric Observatory (Cornell University - U.S.A.F. - U.S. D.D.), prof. V. V. Vitkevich e P. D. Kalachev dell'Istituto Lebedev (URSS), prof. J. W. Findlay del N.R.A.O. (USA), prof. G. W. Swenson dell'Università dell'Illinois (USA), dr. G. Swarup del Tata Institute, Bombay (India), prof. Denisse dell'Osservatorio di Meudon (Francia).

Manoscritto pervenuto il 23 giugno 1965.

BIBLIOGRAFIA

[1] G. De Vito: « Alta Frequenza », 1961, XXX, 1, pag. 6÷13.

[2] R. H. Dicke: « Review of Scientific Instruments », 1946, 17, pag. 268.

[3] M. Ryle: « Proceeding of the Roy. Soc. », 1952, 211A, pag. 351.

[4] E. J. Blum: « Annales Astrophisique », 1959, T22.

[5] A. Braccesi e G. Sinigaglia: « Alta Frequenza », 1962, XXXI, 6, pag. 324÷328.

[6] G. Gelato, C. Rosatelli, G. Sinigaglia: « Alta Frequenza », 1963, XXXII, 9, pag. 628÷634.

[7] G. Gelato, C. Rosatelli, G. Sinigaglia: « Alta Frequenza », 1964, XXXIII, 6, pag. 346÷351.

[8] J. W. Findlay: « Sky and Telescope », 1963, XXV, 2, pag. 68÷75.

[9] E. G. Bowen and H. C. Minnet: « Proc. IRE » (Australia), 1963, XXIV, 2, pag. 98÷105.

[10] C. A. Federer: « Sky and Telescope », 1964, XXVIII, 1 e 2.

[11] G. W. Swenson and Y. T. Lo: « IRE Trans. on Ant. and Prop. », 1961, AP, 9, pag. 9÷16.

[12] E. J. Blum, A. Boishot, J. Lequeux: « Proc. IRE » (Australia), 1963, XXIV, 2, pag. 208÷213.

[13] J. D. Kraus: « Sky and Telescope », 1963, XXVI, 7, pag. 12÷16.

[14] M. Ryle: « Proc. Roy. Soc. » (London), 1952, A, 211, 3, pag. 351÷375.

[15] B. Y. Mills: « Proc. IRE », 1958, XLVI, 1, pag. 67÷84.

[16] M. Ryle and A. Hewish: « Monthly Notices Roy. Astron. Soc. », 1960, 120, 3, pag. 220÷230.

[17] B. Y. Mills: « Proc. IRE » (Australia), 1963, XXIV, 2, pag. 156÷165.

[18] V. V. Vitkevic e P. D. Kalachev: « Pubbl. dell'Ist. di Fisica P. N. Lebedev », 1964, XXVIII.

[19] J. W. Findlay: « IEEE Trans. on Mil. Electronics », 1964, MIL 8, 3 e 4, pag. 187÷198.

[20] M. Ryle: « Nature », 1962, 194, 4838, pag. 517÷518.

[21] G. Swarup: comunicazione privata.

[22] F. G. Smith: « Monthly Notices of Roy. Astron. Soc. », 1961, 122, 6, pag. 527÷534.