

Mario Sandri, mario.sandri@gmail.com, www.mariosandri.it

Breve introduzione alla radioastronomia

IARA, SdR RadioAstronomia UAI, Astronomia Valli del Noce, Società Italiana di Fisica, IMO

“Nascosto dietro l’Universo visibile vi è un altro Universo, affascinante e strano. È quello che l’esplorazione del cielo nella banda radio ci ha permesso di scoprire. Se i nostri occhi potessero vedere le onde radio, le stelle non risulterebbero visibili; osserveremo i guizzi delle pulsar, alcune galassie sembrerebbero locomotive a vapore che emettono lunghi sbuffi dal nucleo, e la Via Lattea ci apparirebbe come uno splendido albero di Natale.”

Massimo Calvani

Il passato

Nel 1931 Karl Jansky, ingegnere dei Laboratori Bell Telephone, fu incaricato di studiare l’origine dei disturbi sulle linee telefoniche. Costruì un’antenna, dall’aspetto simile ad un biplano, per individuare l’origine. Trovò che i disturbi erano dovuti per lo più a fulmini durante temporali, ma scoprì anche un segnale proveniente dallo spazio. Dopo due anni di indagini, si convinse che esso proveniva dal centro della Via Lattea.

Questa scoperta causale segnò l’inizio della radioastronomia. La scoperta di Jansky non suscitò tuttavia un immediato interesse, soprattutto perché egli non era in grado di ottenere una immagine nitida della sorgente del disturbo: poteva solo dare un’indicazione generica che qualcosa in cielo emetteva onde radio.

I telescopi radio hanno infatti un basso potere risolutivo a causa della grande lunghezza d’onda a cui lavorano, da qualche centimetro a decine di metri. Quello che conta nel risolvere i dettagli di una sorgente è il rapporto tra il diametro del rivelatore e la lunghezza d’onda della radiazione rivelata. Sarebbe ad esempio necessario costruire un radiotelescopio di 5000 chilometri per ottenere le stesse prestazioni del telescopio da 200 pollici di Monte Palomar.

Fu un astrofilo e radioamatore Grote Reber, che continuò le osservazioni di Karl Jansky, costruendosi nel cortile della casa un radiotelescopio con un’antenna parabolica di circa 9 metri che gli permise di scoprire numerose sorgenti radio.

Lo sviluppo della tecnologia del radar nel corso della seconda guerra mondiale fornì le conoscenze necessarie agli astronomi per costruire strumenti più perfezionati ed adatti ad osservare il cielo radio. Il primo grande radiotelescopio fu costruito nel 1957 a Jodrell Bank in Inghilterra. Si trattava di un’antenna parabolica di 75 metri, presto però superata da quella di 305 metri di diametro che è situata in una cavità naturale ad Arecibo, in Puerto Rico.



Il presente

La radioastronomia iniziò a fare passi da gigante quando ci si rese conto che per realizzare un buon potere risolutivo non era necessario costruire radiotelescopi sempre più grandi, ma si poteva collegare elettronicamente tra loro più antenne piccole, purché situate a grande distanza l’una dall’altra. Si realizza in tal modo uno strumento noto come interferometro, il quale ha lo stesso potere risolutivo di una singola antenna di dimensioni pari alla separazione massima tra i suoi elementi.

Il 1° ottobre 1980 fu inaugurato il Very Large Array (VLA), un radiotelescopio costituito da 27 dischi parabolici di 25 metri ciascuno, situato a Socorro, nel Nuovo Messico. Questo interferometro usa una tecnica nota come sintesi di apertura per effettuare osservazioni che raggiungono una risoluzione di alcuni decimi di secondi d’arco, confrontabile con quella dei migliori telescopi ottici.

Per distanze maggiori di alcune decine di chilometri è praticamente impossibile collegare elettronicamente due antenne. Si ricorre allora all’uso di calcolatori che registrano su un nastro magnetico il segnale ricevuto da una singola antenna, assieme ad un precisissimo segnale temporale. Le registrazioni di varie antenne vengono poi sincronizzate e confrontate da un unico calcolatore. In tal modo si può simulare la risoluzione di una singola, enorme antenna usando parabole poste anche in continenti diversi. Questa tecnica, nota come Very Long Baseline Interferometry (VLBI, interferometria a base molto lunga), ci ha permesso di studiare in dettaglio il segreto dei quasar e dei nuclei galattici attivi.

Il futuro

La maggior parte dei radiotelescopi usati per il VLBI sono stati costruiti per altri scopi e di solito non sono situati nei luoghi più opportuni per fornire una copertura adatta ad ottenere immagini ottimali. È pertanto in costruzione un nuovo sistema dedicato, chiamato Very Long Baseline Array (VLBA), che sarà costituito da 10 antenne, dislocate su una base di 8000 chilometri in America. Esso permetterà di simulare un'antenna grande quanto la Terra, raggiungendo una risoluzione di 0.0001 secondi d'arco! Il VLBA è però limitato dalle dimensioni della Terra.

Ulteriori progressi sono possibili solo mettendo un'antenna in orbita, usando per interferometria con quelle terrestri. Vi sono già diversi progetti di questo tipo, proposti dalla NASA e dalle agenzie spaziali europea, russa e giapponese. Per un futuro più remoto, si pensa già alla possibilità di mettere in orbita intorno al Sole antenne giganti del diametro di alcuni chilometri. Si raggiungerebbe così una risoluzione di almeno un milionesimo di secondo d'arco, che aprirebbe certamente nuove frontiere per l'astronomia.

L'origine dell'emissione radio

Anche la porzione dello spettro elettromagnetico che la radioastronomia studia è limitato ed è rappresentato dalla banda rispetto alla quale l'atmosfera e la ionosfera terrestri risultano trasparenti; i limiti di questa banda in rapporto alle lunghezze d'onda più corte sono dati dall'assorbimento molecolare dell'atmosfera mentre quelli relativi alle lunghezze d'onda più grandi dalla riflessione da parte degli elettroni della ionosfera.

I principali meccanismi che generano l'emissione delle onde radio su tutto lo spettro recepitibile sono:

- la radiazione termica di corpo nero,
- l'emissione termica da parte di atomi di idrogeno ionizzati,
- la radiazione non termica di sincrotrone.

Un altro tipo di emissione radio dipende dalle oscillazioni che il baricentro delle cariche negative compie intorno al baricentro di quelle positive quando la neutralità viene alterata.

Il primo tipo di radiazione è caratteristico di tutti gli oggetti a temperatura sopra lo zero assoluto e la densità di flusso emesso (quantità di energia incidente in un secondo, a una data lunghezza d'onda, sopra un'area unitaria) obbedisce alla legge di Rayleigh-Jeans che è una approssimazione della legge di Planck sull'emissione del corpo nero, che si ottiene sviluppando in serie tale legge e trascurando i termini del primo ordine nella costante di Planck. La relazione per la distribuzione di energia del corpo nero diventa in tal caso

$$E(\nu, T) d\nu = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} K T d\nu$$

dove $E(\nu, T) d\nu$ è l'energia emessa dall'unità di superficie del corpo nero alla temperatura T con una frequenza compresa tra ν e $\nu + d\nu$ e K è la costante di Boltzmann. Tale legge è valida per valori

alti della temperatura assoluta T e della lunghezza d'onda $\lambda = c/\nu$ e perciò particolarmente sfruttata in radioastronomia.

L'idrogeno ionizzato dà una distribuzione continua di radiazione generata dalla variazione di energia cinetica e di direzione di moto che un elettrone subisce quando interagisce con un protone: l'andamento tipico della densità di flusso al crescere della lunghezza d'onda è di mantenersi inizialmente costante per poi diminuire con legge quadratica.

L'emissione di sincrotrone, che prende il nome dall'analogo effetto osservato nei sincrotroni, consiste di radioonde polarizzate generate da elettroni che si muovono con velocità prossime a quelle della luce, in campi magnetici deboli (dell'ordine di qualche microgauss): la densità di flusso aumenta con una potenza caratteristica all'aumentare della lunghezza d'onda.

Emissioni e assorbimenti a frequenze discrete sono presenti nello spettro radio come in quello ottico; sono dovute a transizioni fra livelli di energia di atomi o molecole. Particolare importanza rivestono le transizioni che producono la riga in emissione per l'atomo di idrogeno alla lunghezza d'onda di 21,2 cm e il doppietto di righe in assorbimento del radicale ossidrilico OH alla lunghezza d'onda di 18 cm.

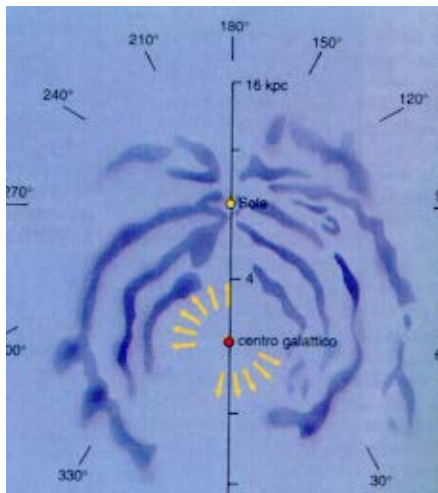
Cosa si osserva

Il Sole è stato ed è tuttora uno dei corpi celesti più studiati: l'andamento della densità del suo flusso alle frequenze radio si discosta da quello osservabile otticamente; in questo secondo caso il Sole si comporta come un corpo nero a 5.800 K, e la differenza è tanto più sensibile quanto più il Sole è disturbato, cioè presenta macchie. La radiazione in quest'ultimo caso consta di due differenti componenti: quella lentamente variabile che è rilevabile a lunghezze d'onda comprese fra 3 e 60 cm e che varia con periodi lunghi (di giorni o settimane); quella rapidamente variabile, caratterizzata da forti e brevi aumenti della densità di flusso a tutte le lunghezze d'onda, dallo spettro non termico, dall'enorme quantità di energia liberata.

La Luna e i pianeti presentano emissione ottica dovuta esclusivamente alla luce riflessa del Sole; nel campo radio, invece, la radiazione riflessa diventa trascurabile rispetto a quella termica di corpo nero a qualche centinaio di gradi Kelvin. Giove si discosta dagli altri pianeti per emissioni sporadiche, polarizzate e molto intense, che fanno pensare alla presenza di meccanismi non termici.

Osservazioni radio sistematiche al di fuori del sistema solare cominciarono quando si ebbero a disposizione grandi radiotelescopi e radiointerferometri di alto potere risolutivo. Tali osservazioni hanno portato a un notevole grado di conoscenza delle emissioni radio nello spazio e della loro dislocazione, dette tecnicamente "cielo radio". Fin dal 1945 fu giudicato molto importante lo studio delle zone con alta densità di idrogeno neutro della Galassia che permettesse di osservare la riga dell'idrogeno a 21,2 cm associata con le transizioni fra due livelli della struttura iperfina dell'atomo di idrogeno. Promotori delle ricerche furono

gli astronomi dell'osservatorio di Leida. La possibilità di rivelare tale riga fu a lungo discussa causa la lunghissima vita media del livello più alto (per ogni atomo si ha in media una transizione ogni 11 milioni d'anni) e la scarsa conoscenza della densità di idrogeno nella materia interstellare.



Tale riga solo nel 1951 fu osservata quasi contemporaneamente negli Stati Uniti, nei Paesi Bassi, in Australia. In seguito con osservazioni sistematiche fu dedotta la distribuzione di idrogeno neutro nella Galassia. Gli spostamenti, dovuti a effetto Doppler, della riga dal valore teorico della lunghezza d'onda dettero l'indicazione che lungo alcune direzioni il gas si muove verso la Terra, lungo altre se ne allontana. Fu così messa in evidenza e confermata per la prima volta la struttura a spirale della Galassia.

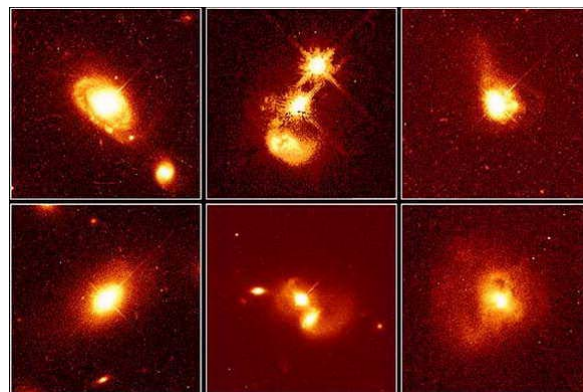
Altre sorgenti radio galattiche sono: le nubi di idrogeno ionizzato, come ad esempio la nebulosa di Orione, che presentano spettro termico prominente alle corte lunghezze d'onda; le stelle a flare, che mostrano improvvisi e brevi aumenti del flusso simili a quelli del Sole nella sua fase di forte attività; i resti di esplosioni di supernovae, come la nebulosa del Granchio che è stata la prima sorgente radio fuori dal sistema solare a essere identificata otticamente. Anche Cassiopea A che dà il più forte flusso radio dopo il Sole è un resto di supernova. Per entrambe il meccanismo di emissione è del tipo radiazione di sincrotrone.

Nella Galassia vi è inoltre una radiazione di fondo originata in prevalenza su tutto il piano galattico ma presente anche nell'alone: tale radiazione è dovuta alla materia interstellare diffusa e a elettroni che si muovono nel campo magnetico della Galassia secondo le leggi della relatività.

Le sorgenti radio extragalattiche sono galassie normali, radiogalassie, oggetti quasi stellari (quasar) e pulsar. Le galassie normali sono sorgenti deboli; le spirali, come Andromeda, presentano emissione concentrata nel disco e più debole nella zona dell'alone; le irregolari non hanno componenti di alone; le ellittiche sono raramente radiosorgenti.

Le radiogalassie sono molto più potenti: dalle loro distanze si può calcolare che l'emissione è spesso più di un milione di volte maggiore di quella di Andromeda.

Sono prevalentemente a struttura doppia o multipla con radioemissione da due o più componenti separate e non coincidenti con l'oggetto ottico. Altre radiogalassie hanno componenti radio di piccolissime dimensioni e risolvibili solo con i più moderni interferometri.



Anche le quasar, che otticamente sono oggetti di apparenza stellare, sono radiosorgenti molto compatte e potenti. I meccanismi di emissione per le radiogalassie e le quasar sono non termici. Per quanto riguarda le galassie esterne, oltre alla possibilità di osservarle a una distanza maggiore, la radioastronomia permette il confronto fra le galassie normali e le radiogalassie, e di ottenere informazioni utilissime dal momento che spesso le radiogalassie presentano notevoli peculiarità.

Importante è anche il contributo dato alla cosmologia: lo studio della radiazione fossile a 3 K ha rafforzato notevolmente il modello dell'universo in espansione nei confronti di quello stazionario. Tale radiazione infatti, caratteristica per l'isotropia e la temperatura, può aver avuto origine soltanto con una esplosione iniziale dell'universo.

Un gran numero di tali radiosorgenti è stato catalogato dai radioastronomi inglesi di Cambridge (sigle dei cataloghi: 3C e 4C), dal gruppo di Sydney, da quello del California Institute of Technology e più recentemente dal gruppo del Laboratorio nazionale di radioastronomia di Bologna.

Il radiotelescopio

Il tipo più semplice di radiotelescopio è composto da uno specchio, generalmente a rete metallica, a forma di paraboloide nel cui fuoco è situata un'antenna a dipolo che raccoglie la radiazione captata e rinviata dallo specchio. I segnali vengono inviati, attraverso linee di trasmissione, a un ricevitore- amplificatore e passano da qui a un registratore a carta oppure sono digitalizzati su schede o su nastro magnetico per l'elaborazione con i calcolatori elettronici. La banda di lunghezze d'onda che un tale strumento può ricevere è limitata dalla bontà della struttura metallica che costituisce lo specchio; questa deve essere tanto più vicina alla forma parabolica quanto più si lavora ad alte frequenze. Inoltre per evitare perdite di radiazione le maglie della rete devono essere più fitte quando lo strumento viene usato per le alte frequenze. Più precisamente detta λ la lunghezza d'onda a cui si vuole lavorare, le

irregolarità della superficie dello specchio non devono superare $\lambda/16$ e le maglie devono essere più fitte di $\lambda/8$. Il potere risolutivo però non è paragonabile a quello dei telescopi ottici perché dipende dalla lunghezza d'onda e dal diametro dello specchio. Infatti le lunghezze d'onda radio sono molto più grandi di quelle ottiche (da pochi millimetri a pochi decimetri rispetto a valori di meno di millesimi di millimetro) per cui a parità di diametro il potere risolutivo di un radiotelescopio a paraboloide è inferiore di parecchi ordini di grandezza a quello di un analogo strumento ottico. Per esempio un radiotelescopio a paraboloide che lavori su lunghezze d'onda di 50 cm dovrebbe avere un diametro di 5.000 km per uguagliare il potere risolutivo di 0", 02 del telescopio Hale di Monte Palomar.

Uno dei maggiori vantaggi di questo tipo di radiotelescopi è rappresentato di contro dalla possibilità di abbracciare una larga banda di frequenze con il semplice cambiamento dell'antenna posta nel fuoco del paraboloide. I maggiori radiotelescopi a paraboloide mobile sono quelli di Green Bank in Virginia con diametro di 92 m (1966), di Jodrell Bank in Gran Bretagna (1957) di 76 m di diametro, di Parkes in Australia (1961), di 64 m, di Effelsberg in Germania (1972) di 100 m, di Nobeyama in Giappone (1970) di 45 m, tutti completamente orientabili con montatura altazimutale.



Il radiotelescopio di Arecibo, a Portorico, ha uno specchio di 305 m, ma giace immobile, sostenuto da piloni in una conca del terreno, orientato verso lo zenit. Il grande radiotelescopio orientabile del Max Planck Institut di Bonn è dotato di uno specchio del diametro di 100 m; tale specchio ha la parte centrale a struttura piena e la parte periferica a rete metallica. Con una realizzazione di questo tipo, pur riducendo il peso e il costo totali, si riesce a contemperare l'esigenza di una grande superficie riflettente a lunghezze d'onda più grandi (alle quali si sfrutta tutta la superficie dello specchio) e quella di poter usare lo specchio anche a lunghezze d'onda molto brevi (alle quali si sfrutta solo la parte centrale dello specchio).

La struttura classica del radiotelescopio è stata variata poi sostituendo il singolo dipolo con antenne sensibili ai diversi stati di polarizzazione dell'onda elettromagnetica (ad es. due dipoli incrociati, antenne a elica, ecc.) e modificando il ricevitore, rendendolo cioè

capace di trattare separatamente le diverse informazioni; si è ottenuto in questo modo un radiopolarimetro.



Il radiospettrografo usa invece un'antenna a larga banda e un ricevitore in grado di separare le informazioni ottenute alle diverse frequenze. Da un'opportuna combinazione di questi ultimi due strumenti deriva lo spettroradiopolarimetro che, per la notevole complessità, è usato quasi esclusivamente per lo studio dell'emissione radio del Sole, mentre per ricerche radioastronomiche di altro tipo (galattiche, extragalattiche) vengono generalmente usati radiotelescopi di tipo classico.

Un miglioramento del potere risolutivo, senza ricorrere agli enormi diametri dei paraboloidei, viene ottenuto applicando il principio dell'interferometro stellare di Michelson usato nella misura dei diametri stellari. Sono stati realizzati radiointerferometri dei quali il tipo più semplice è quello a due antenne, poste a una determinata distanza d . Siano a_1 e a_2 le due antenne e d la distanza che le separa detta base. Il cammino dei fasci incidenti su di esse in un dato istante differisce di una quantità $s = d \sin \alpha$. Se si orienta la base in direzione E-O per effetto del movimento diurno di rotazione terrestre ogni radiosorgente si sposta apparentemente nella stessa direzione, quindi la differenza di cammino sui due fasci cambia continuamente. Se la radiosorgente ha dimensioni angolari inferiori a λ/α (λ lunghezza d'onda della radiazione) il registratore registra una serie di massimi e minimi che vanno attenuandosi fino a sparire del tutto quando si osservano sorgenti via via più estese. Lo studio perciò della forma del diagramma che si ottiene permette di calcolare il diametro di una radiosorgente se le dimensioni di questa superano il potere risolutivo del radiointerferometro, analogamente a quanto si verifica in un interferometro ottico.

L'estensione di questo principio ha portato alla costruzione di radiointerferometri a più antenne, utili soprattutto nel caso si abbiano due o più radiosorgenti vicine; questi sono l'equivalente nel campo radio dei reticoli di diffrazione in ottica. Il potere risolutivo è proporzionale alla distanza delle due antenne estreme, sempre nel caso di orientamento E-O, mentre resta uguale a quello di una sola antenna se l'orientamento è in direzione N-S.

Per aumentare il potere risolutivo anche in direzione N-S si ricorre alla cosiddetta croce di Mills (dal nome del suo primo realizzatore), cioè a un sistema formato da due gruppi ortogonali di antenne in forma di croce, allineati rispettivamente in direzione E-O e N-S. Il potere risolutivo di un tale strumento corrisponde a quello del paraboloide inscritto nell'area del quadrato di lati uguali ai bracci della croce di Mills, mentre la sensibilità è proporzionale all'area coperta dalla croce e quindi inferiore a quella del paraboloide corrispondente. L'inconveniente maggiore che si incontra con questo tipo di radiotelescopi è rappresentato dalle perdite che si verificano lungo le linee di trasmissione, oltre alla laboriosità della costruzione e del collegamento di un gran numero di antenne e dal puntamento di un dato oggetto sulla volta celeste.

Un altro tipo di radiotelescopio è quello che sfrutta il cosiddetto principio di sintesi di antenna o di apertura. È costituito da un radiointerferometro ad antenne mobili e facilmente orientabili: il potere risolutivo dello strumento equivale a quello di un radiotelescopio a paraboloide di area uguale a quella entro cui si possono muovere le singole antenne. Questo strumento consente un'osservazione abbastanza veloce, che necessita tuttavia dei calcolatori elettronici per l'elaborazione dei dati di osservazione ottenuti.

Per alimentare ulteriormente il potere risolutivo sono entrati in funzione dal 1965 radiointerferometri a lunga linea di base. Linee di base intercontinentali collegano gli Stati Uniti alla Svezia e all'Australia, il Canada a Portorico e Jodrell Bank a Portorico. In questi casi il segnale radio raccolto dall'antenna viene amplificato da un amplificatore parametrico o a maser; quest'ultimo è particolarmente adatto allo studio dei segnali deboli. I segnali amplificati vengono di solito registrati su disco o nastro magnetico ed elaborati con calcolatori elettronici, che possono fornire anche mappe (a falsi colori) degli oggetti celesti osservati.

I radiotelescopi italiani

Il Radiotelescopio Croce del Nord costruito a Medicina, in provincia di Bologna, è entrato in funzione nel 1965 ed è attualmente gestito dall'Istituto di Radioastronomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Quando l'impianto fu allestito, si trattava del quarto esemplare al mondo di un tipo particolare di strumento, non estremamente sensibile, ma capace di un alto potere risolutivo.

Il principio delle cosiddette croci di Mills, dal nome del loro progettista, è di unire due antenne allungate in direzioni perpendicolari e di connetterle ai ricevitori in modo che il loro fascio abbia la forma di un sottile pennello anziché, come quello di una sola delle due, a forma di ventaglio. Così a Medicina un'antenna è disposta nella direzione nord-sud e l'altra in quella est-ovest. I suoi bracci sono lunghi circa 600 metri e la lunghezza d'onda ricevuta è di 73 centimetri, come l'antenna quasi gemella costruita nel 1964 a Molonglo, in Australia.



La coppia di strumenti esplora ciascuno il suo emisfero celeste. La superficie delle antenne non è continua, ma formata da fili di acciaio e i dispone in un unico grande cilindro parabolico 560x36 metri est-ovest e di 64 cilindri più piccoli 24x7 metri allineati in direzione nord-sud. Lo strumento è tuttora il maggiore radiotelescopio italiano.

Sempre a Medicina, nell'ottobre del 1983, fu inaugurato un radiotelescopio a paraboloide. Esso è entrato subito a far parte della rete di strumenti europea e planetaria che sfrutta la tecnologia detta VLBI. Collegati assieme, questi strumenti vedono delle figure d'interferenza tra i fasci che giungono dalla medesima sorgente celeste e, ricostruendo da queste le immagini, è importante che siano situati alla massima distanza l'uno dall'altro.



Il paraboloide ha una superficie riflettente di 32 metri di diametro e, a differenza della Croce del Nord, può essere orientato in qualsiasi direzione grazie alla montatura altazimutale. Il moto di inseguimento avviene su due assi, verticale e orizzontale, ed è comandato da un calcolatore che effettua in tempo reale la conversione delle coordinate. I ricevitori dell'antenna sono posti al fuoco primario o al fuoco Cassegrain. Il paraboloide di Medicina si è subito inserito nella rete europea EVN, che va dalla Svezia all'Inghilterra, alla Francia e alla Germania, realizzando una base interferometrica di circa 2000 chilometri.

Ma alla fine del 1988 ad esso è stato affiancato un radiotelescopio praticamente identico installato a Noto, a sud-ovest di Siracusa. Con il suo gemello, la base si è allungata di altri mille chilometri in latitudine e il potere risolutivo della rete europea è quindi aumentato del 50%. Le bande usate per l'osservazione sono 1.6, 5, 10 e 23 GHz. Oltre all'impiego in astronomia, i due paraboloidei italiani forniscono dati di grande importanza geodinamica in quanto la distanza tra le basi può essere periodicamente misurata, per mezzo di sorgenti cosmiche, con la precisione del centimetro. Le variazioni di tali distanze indicano come si muovono le zolle tettoniche africana ed europea.

L'emissione radio proveniente dal Sole viene registrata in Italia dal radiotelescopio dell'Osservatorio Astronomico di Trieste, un paraboloide di 10 metri di diametro con montatura equatoriale posto nella sede distaccata di Basovizza, a 12 chilometri dalla città e a 400 metri di altezza. Attivo dal 1968, lo strumento sente il soffio del Sole alle frequenze tra 0.2 e 1 GHz e registra costantemente i segnali misurati 500 volte al secondo. Una volta elaborati, questi dati vengono diffusi su un apposito bollettino e consentono di seguire l'attività solare e coronale. Un secondo radiotelescopio in montatura altazimutale è in corso di completamento. Esso permetterà di estendere le osservazioni a una gamma di frequenze più alte, fino a 3 GHz, con un campionamento delle misure di 1000 volte al secondo.