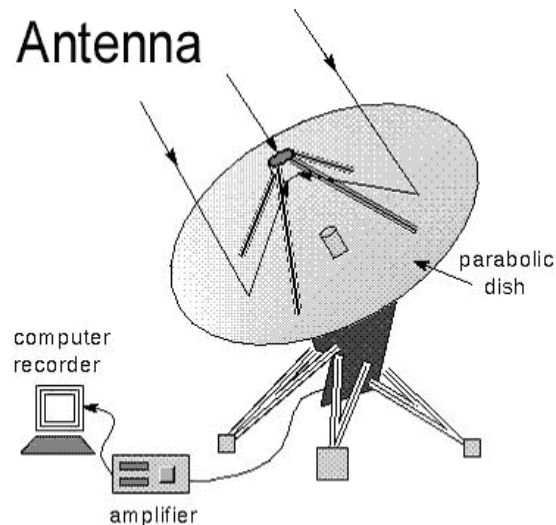


***Indispensabili operazioni di calibrazione e riduzione dati
per radiotelescopi dilettantistici funzionanti nella banda SHF.***

***Determinazione sperimentale del Power Pattern di un'antenna
radioastronomica***



A radio telescope reflects radio waves to a focus at the antenna.

La principale differenza fra una comune antenna radio (come quelle a stilo dei telefoni cellulari) ed un riflettore parabolico utilizzato per ricerche radioastronomiche é nel fatto che il disco di un paraboloide è caratterizzato da notevole direttività, con la capacità di focalizzare la radiazione elettromagnetica incidente in un particolare punto di ricezione, corrispondente con il feed (illuminatore). Un radiotelescopio presenta, comunque, sensibilità non nulla anche alla radiazione proveniente da direzioni indesiderate, differenti da quella privilegiata: un progetto accurato della superficie riflettente e dell'illuminatore è in grado di minimizzare tali contributi, anche se non potranno mai essere completamente eliminati. Il power pattern di un radiotelescopio (fig. 1) rappresenta quindi una misura della risposta in potenza dello strumento ad una sorgente puntiforme, in funzione della direzione di puntamento, ed é normalizzato rispetto alla direzione di massima sensibilità (che corrisponde, idealmente, all'asse fisico dell'antenna).

Il lobo più grande è chiamato fascio principale, mentre quelli più piccoli sono i lobi secondari. L'ampiezza a metà potenza del lobo principale (HPBW: half power beam width) definisce la risoluzione dello strumento. Dato che la risposta del sistema è (matematicamente) la convoluzione del fascio d'antenna con il segnale ricevuto, si può utilizzare una sorgente brillante e puntiforme per determinare sperimentalmente la forma del diagramma di ricezione. La misura è valida nell'ipotesi che tutto il flusso incidente sia raccolto dal lobo principale e che provenga esclusivamente dalla sorgente puntiforme di riferimento: ciò equivale ad effettuare l'operazione matematica di convoluzione fra una funzione delta (impulso ideale di Dirac) ed il fascio d'antenna. Quando la sorgente transita nella zona più sensibile del lobo principale il segnale misurato avrà la massima ampiezza, per decrescere in intensità quando l'oggetto si sposta dal centro del fascio. Registrando il

movimento di una sorgente puntiforme attraverso il fascio d'antenna è possibile tracciare l'andamento del lobo principale, quindi il diagramma di ricezione dello strumento. Un metodo semplice per eseguire la misura prevede il puntamento fisso dello strumento sul meridiano celeste, attendendo che un'adatta radiosorgente (come, ad esempio, Taurus A, brillante e compatto residuo di supernova) transiti attraverso esso.

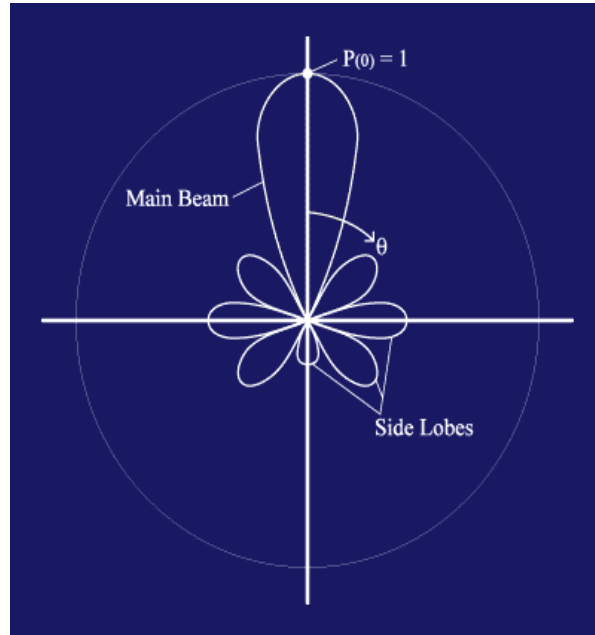


Fig. 1: Rappresentazione bidimensionale del tipico power pattern di un'antenna direttiva.

Dato che il corretto puntamento dello strumento non è operazione banale (sono sempre in agguato errori di posizionamento e di disassamento del feed), è difficile essere certi che il transito della radiosorgente si verifichi esattamente al centro del fascio. Questo fatto non influenzerà, tuttavia, la corretta determinazione del diagramma di ricezione dell'antenna, essendo l'andamento del fascio principale assimilabile ad una funzione gaussiana simmetrica: qualsiasi sezione di tale forma sarà caratterizzata dallo stesso parametro HPBW, come si può verificare esaminando la seguente funzione gaussiana:

$$G(\mathbf{r}) = A \cdot e^{-\alpha r^2}$$

dove \mathbf{r} è il vettore che indica la direzione della radiosorgente (con punto di applicazione sull'osservatore), A è l'ampiezza della curva ed il parametro α è collegato con la larghezza del lobo principale (HPBW). Riscrivendo la direzione \mathbf{r} in funzione delle componenti x ed y ed assegnando ad y un arbitrario valore c , si ha:

$$G(\mathbf{r}) = A \cdot e^{-\alpha(x^2+c^2)} = A \cdot e^{-\alpha c^2} \cdot e^{-\alpha x^2} = A' \cdot e^{-\alpha x^2}$$

che è l'equazione di una sezione di curva gaussiana bidimensionale. Mentre l'ampiezza di tale sezione è inferiore ad A , il parametro HPBW rimane invariato, dato che dipende solo dal valore di α .

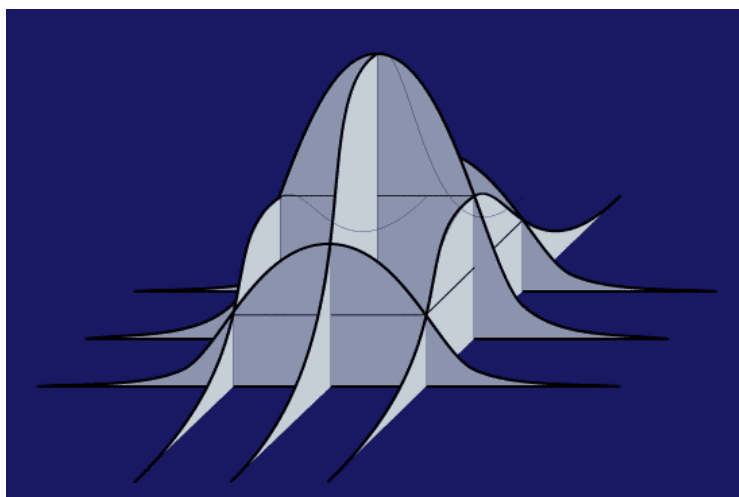


Fig. 2: Una funzione gaussiana a simmetria cilindrica: qualsiasi sezione verticale della curva sarà caratterizzata da un identico valore del parametro HPBW.

Il seguente grafico mostra la risposta di un buon radiotelescopio amatoriale (paraboloide di circa 2 m di diametro funzionante alla frequenza di 4 GHz) al transito della radiosorgente Taurus A attraverso il lobo principale dell'antenna. Per misurare correttamente l'ampiezza di tale profilo è necessario per prima cosa correggere la deriva della linea di base causata da variazioni di guadagno della catena ricevente per effetto della temperatura. L'operazione comporta la sottrazione della funzione lineare che rappresenta la deriva della linea di base (retta con traccia verde sul grafico di fig. 3, passante fra gli estremi laterali della curva a campana relativa alla radiosorgente) dal vettore contenente i dati registrati: dopo aver tracciato manualmente sul grafico la retta, si determina la sua equazione. I nuovi dati si otterranno dalla sottrazione, punto per punto, dei dati misurati con quelli relativi alla retta di deriva: si otterrà il grafico mostrato in fig. 4, dove si vede l'andamento della traccia lasciata dalla radiosorgente corretto dai fenomeni di deriva termica della linea di base.

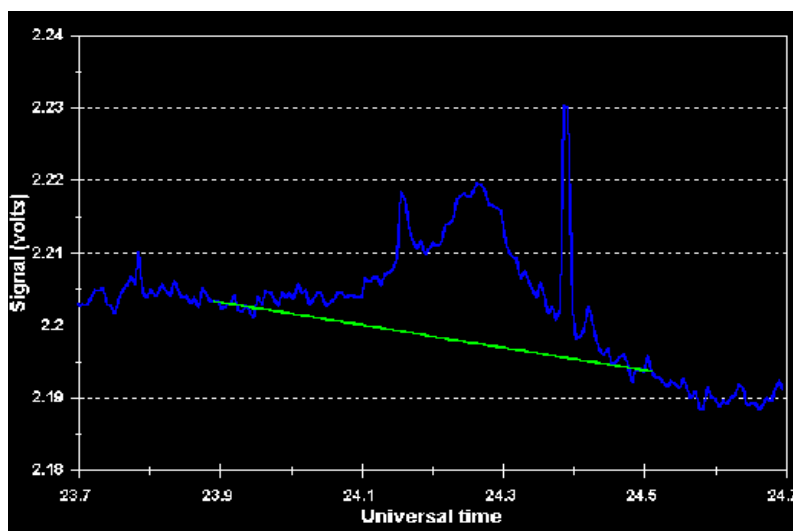


Fig. 3: Esempio di registrazione del transito della radiosorgente Taurus A.

Si potrà successivamente tentare di adattare un'opportuna curva gaussiana per ottenere il profilo risultante del fascio d'antenna, caratterizzato, come si vede dalle registrazioni, da un considerevole livello di rumore (oltre alla presenza di due picchi d'elevata intensità). Il picco a destra è stato attribuito ad un'interferenza locale, mentre quello a sinistra, presente in tutte le successive registrazioni della radiosorgente (ripetute per un miglior adattamento e confronto dei dati), è dovuto ad un lobo laterale dell'antenna. Si adatterà la funzione gaussiana solo alla parte principale del profilo registrato.

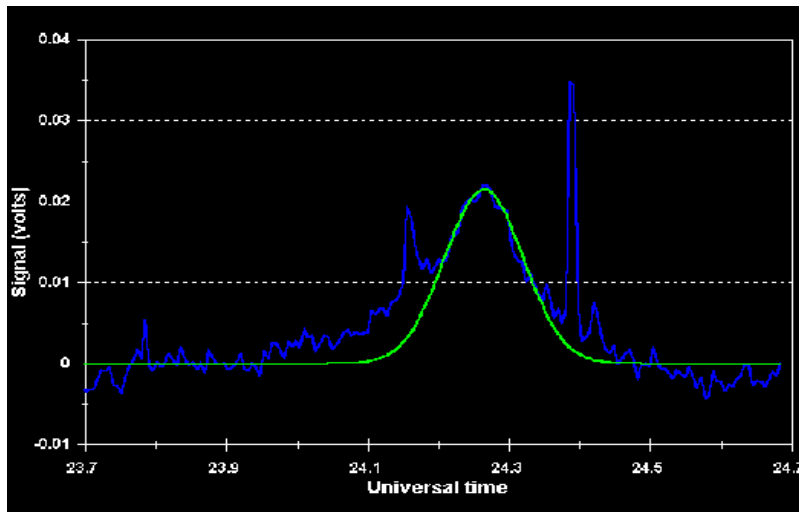


Fig. 4: Adattamento di una curva gaussiana al profilo registrato (corretto dall'influenza delle derive termiche sulla linea di base) relativo al transito della radiosorgente Taurus A sul fascio d'antenna di un radiotelescopio con antenna a paraboloide di 2 m di diametro (frequenza operativa di 4 GHz).

Il valore del parametro HPBW della curva gaussiana (traccia di colore verde nel grafico), rilevato direttamente dalla registrazione, è pari a 0.132 h, convertito in gradi utilizzando la formula:

$$\text{HPBW}(\text{°}) = \text{HPBW}(\text{hours}) \cdot \frac{15\text{°}}{\text{hour}} \cdot \cos(\text{declination})$$

che fornisce una larghezza del fascio di 1.85°. Questo valore è solo leggermente più grande del limite teorico dovuto alla diffrazione (corrispondente a 1.7°) per un radiotelescopio realizzato con un'apertura uniformemente illuminata:

$$\text{potere risolutivo} \approx 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Stima della temperatura equivalente di rumore d'antenna e calibrazione dei dati in uscita al ricevitore

Si forniranno utili e semplici indicazioni per stimare la temperatura equivalente di rumore d'antenna di un sistema ricevente SHF: sarà allora possibile convertire i livelli di tensione all'uscita del radiometro (segnale rivelato) in corrispondenti valori della temperatura equivalente di rumore d'antenna (calibrazione dei dati in uscita del sistema).

Il segnale proveniente da una radiosorgente astronomica può essere attenuato da fenomeni d'assorbimento dell'atmosfera terrestre. In funzione della frequenza, l'atmosfera si comporta come una sorgente molto estesa e può attenuare il segnale utile aggiungendo rumore. Il rumore totale sarà quindi la somma del contributo associato al ricevitore e di quello atmosferico

$$T_n = T_r + T_{atm}(1 - e^{-\tau})$$

dove τ è l'opacità dell'atmosfera. E' possibile che a certe frequenze il contributo di rumore dell'atmosfera sia maggiore di quello del ricevitore. Per calibrare correttamente i dati forniti da un radiometro SHF, è necessario misurare il rumore totale e determinare le perdite d'attenuazione dovute all'assorbimento dell'atmosfera terrestre. Per prima cosa si misura un carico a temperatura ambiente (puntando, ad esempio l'antenna sul terreno o coprendo il feed con materiale assorbente a temperatura ambiente) registrando la corrispondente tensione all'uscita del ricevitore:

$$v_1 = k(T_r + T_{amb})$$

dove k è una costante. Poi si misura il cielo "freddo" (in assenza di particolari oggetti emissivi) puntando l'antenna alla stessa elevazione della radiosorgente e si registra la corrispondente tensione:

$$v_2 = k[T_r + T_{atm}(1 - e^{-\tau})]$$

La temperatura di rumore del sistema è definita come:

$$T_s = \frac{T_{amb}}{y - 1} = \frac{T_{amb}}{\frac{v_1}{v_2} - 1}$$

dove $y = v_1/v_2$. Sostituendo v_1 e v_2 ed assumendo che T_{atm} sia approssimativamente uguale a T_{amb} , è possibile esprimere la temperatura di rumore di sistema come:

$$T_s = [T_r + T_{atm}(1 - e^{-\tau})] e^{-\tau}$$

espressione che vale $e^{-\tau}$ volte il rumore totale T_n , ed è quanto serve per calibrare i dati in uscita al ricevitore. Una volta misurata la temperatura di rumore di sistema, si possono registrare i valori di tensione del segnale rivelato in presenza (v_{on}) e in assenza (v_{off}) di radiosorgente sul fascio d'antenna, esprimendo la temperatura d'antenna (quindi il valore calibrato del segnale d'uscita) come:

$$T_{\text{ant}} = \frac{V_{\text{on}} - V_{\text{off}}}{V_{\text{off}}} \cdot T_s$$

La temperatura di rumore di sistema dipenderà dall'elevazione e deve essere misurata per ciascuna radiosorgente ogni volta che questa si sposta (modifica la sua elevazione) e ogni volta che variano le condizioni atmosferiche.

Riferimenti:

Questo documento è stato liberamente tradotto e “rielaborato” da Flavio Falcinelli utilizzando le informazioni originali reperibili in:

- <http://www.ras.ucalgary.ca/radiotel/>

(University of Calgary)