

BREVE NOTA PER LA REALIZZAZIONE DI UN "PICCOLO" RADIOTELESCOPIO AMATORIALE

Riccardo Gatti

Con questa nota è mia intenzione diffondere e condividere l'esperienza, vissuta in prima persona, della progettazione e costruzione di una antenna radioastronomica, ponendo particolare attenzione ai metodi ed alle tecniche adoperate nella sua realizzazione. Lo scrivente, un ragazzo di 19 anni studente all'Università di Bologna, ha iniziato il suo viaggio nel mondo della radioastronomia a circa 13 anni quando, grazie alle olimpiadi nazionali di astronomia, la selezione per partecipare ad uno stage estivo fra Loiano (BO) e Medicina (BO) l'ha portato per la prima volta a vedere un impianto radioastronomico. E' stato subito chiaro che la radioastronomia e' una scienza ancora estremamente giovane ed il desiderio di poter prendere parte a questo viaggio e' stato subito soddisfatto con lo studio dei fondamenti della tecnica radioastronomica al fine di avere le competenze necessarie per la realizzazione di una piccola antenna.

Di seguito verrà narrato questo viaggio diviso in capitoli nella stessa successione in cui sono nate le idee che hanno portato alla realizzazione dell'antenna.

SCELTE NECESSARIE PER PORRE LE BASI

Il primo problema che si pone davanti a chi voglia costruire una antenna radioastronomica e' dato dalla tipologia che si vuole realizzare: parabolica, iperbolica, sferica, cilindro-parabolica, filiforme, bipolare. Ogni configurazione consiste in vantaggi e svantaggi, ma per chi avesse buona capacita' tecniche e discreta possibilita' di attrezzature, la configurazione migliore e' sicuramente la cilindro-parabolica poiché permette il raggiungimento di dimensioni elevate e limitate difficoltà del punto di vista tecnico. Infatti, e' importante osservare che all'aumentare delle dimensioni di qualunque impianto aumentano anche le forze che vanno a deformare la struttura e questo causa inevitabilmente errate riflessioni del segnale o segnali spuri che non dovrebbero essere trasmessi o riflessi. Per figurarsi come possa essere la geometria di questo tipo di antenna, si immagini il profilo di una parabola e lo si trasli nello spazio. Grazie a queste configurazioni e' possibile ottenere una sezione parabolica con sviluppo spaziale grande a piacere. La larghezza del profilo, sara', poi deciso sulla base di quanto si vuole che l'antenna abbia area di raccolta elevata. Nel nostro caso la dimensioni sono 3m di lunghezza per 1,3m di profilo parabolico. A dispetto dell'apparenza la realizzazione di questa struttura e' abbastanza semplice. E' possibile costruire una antenna di questo tipo tagliando da fogli di acciaio di circa 5-6mm un certo numero di sezioni paraboliche che verranno poi fissate le une alle altre attraverso lunghi pali disposti perpendicolarmente ai profili in modo da costituire l'intelaiatura dell'antenna. Lungo il profilo parabolico verranno effettuati una serie di fori all'interno dei quali scorreranno i fili che permettono la riflessione del segnale. Giunti a questo punto la struttura si trova nel suo stato iniziale, pronta per essere completata con tutto ciò che rende tale una antenna.

DEFINIZIONE DELLA LUNGHEZZA D'ONDA DI LAVORO

Fondamentale per chi costruisce un radiotelescopio e' decidere a quale frequenza vuole che l'antenna operi. Inizialmente il progetto prevedeva che la frequenza di ricezione fosse 408MHz, tuttavia bisogna considerare che un aumento di frequenza provoca un miglioramento della risoluzione e questo ci ha indotto a spostare la frequenza di lavoro

verso valori più alti, ma con l'intento di mantenerli sempre gestibili con relativa facilità. Un frequenza di grande interesse per la radioastronomia e di grande gestibilità dal punto di vista della strumentazione richiesta per l'analisi è la frequenza dell'idrogeno neutro a 1,42GHz a cui è associata una lunghezza d'onda di circa 21cm: questa scelta ha comportato un netto miglioramento della capacità risolutiva dello strumento. È fondamentale sapere che una antenna come quella realizzata, per essere considerata tale deve poter concentrare la radiazione che la illumina in un singolo punto detto "fuoco della antenna". Ecco spiegato il motivo per cui la geometria scelta è parabolica e non circolare. Dalla geometria piana, infatti si può dimostrare che uno specchio parabolico illuminato da una sorgente idealmente posta all'infinito (che con buona approssimazione può essere considerata una stella) converge i raggi ricevuti in un punto chiamato fuoco, mentre per una sezione circolare i raggi vengono concentrati in una zona non ben definita che approssimativamente coincide con il centro del cerchio, ma questo non dà sufficiente sicurezza e considerando il già debole segnale riflesso è consigliabile realizzare uno strumento ottimizzato per ridurre al minimo le dispersioni. Nel caso di una cilindro-parabolica il segnale viene concentrato a formare una linea detta linea focale. Per poter fare ciò è fondamentale che la superficie dell'antenna sia fatta in modo da poter riflettere la radiazione con il minor errore possibile e se questo avviene il segnale sarà concentrato proprio lungo la linea focale dell'antenna. Il dilemma ora è fra il scegliere se realizzare una superficie continua (con maggiore superficie utile per la ricezione del segnale ma minore aerodinamicità ed il rischio che in caso di forte vento l'antenna possa collassare) oppure una superficie discontinua formata, per esempio da una struttura filiforme (con il vantaggio che l'aerodinamicità della struttura sia ridotta al minimo, ma la superficie utile sia leggermente minore a causa del fatto che si tratta di un susseguirsi di fili i quali, pur sempre molto vicini, non formano una superficie continua). Nel nostro caso l'antenna è stata realizzata con un susseguirsi di fili di nickel-cromo a distanza di 2cm l'uno dall'altro che sorreggono una maglia metallica con intreccio di 2mm. Poiché in radioastronomia vale all'incirca la legge empirica che lega la minima distanza fra le maglie alla minima lunghezza d'onda ricevibile ponendo il rapporto a circa 1/7, si è riusciti a portare la frequenza associata alla minima lunghezza d'onda osservabile a 21GHz, che considerando la frequenza di lavoro di 1,42GHz è ampiamente al di sotto della soglia di massimo permettendo così in un futuro di raggiungere anche frequenze più elevate.

METODO DI RICEZIONE DEL SEGNALE

Una volta realizzata l'antenna e determinata precisamente la posizione della linea focale è necessario sviluppare un metodo che permetta proficuamente la ricezione del segnale. Anche in questo caso vi è l'imbarazzo della scelta fra linee dipolari, illuminatori, riflettori e molti altri. Il metodo scelto nel nostro caso è quello di una linea dipolare, poiché questa tecnica favorisce la selettività della banda ricevente, infatti, grazie alla geometria stessa del dipolo ed ad alcune considerazioni matematiche si può dimostrare che per ricevere un segnale ad una determinata lunghezza d'onda è necessario realizzare due dipoli ciascuno di lunghezza pari ad un quarto di tale lunghezza ed affiancarli (senza che si tocchino) così da ottenere un doppio dipolo di lunghezza pari a mezza lunghezza d'onda. È ben intuibile che, essendo la nostra antenna pensata per ricevere la lunghezza d'onda di 21cm, ogni dipolo abbia una lunghezza di circa 5,3cm. Anche il collegamento fra i dipoli è fondamentale per permettere che il segnale ricevuto non vada disperso: considerando convenzionalmente il primo dipolo come positivo (+), il secondo come negativo (-), il terzo negativo, il quarto positivo e così via, in modo da ottenere la successione + - - + + - - + +... un corretto collegamento, senza scendere troppo nel dettaglio delle motivazioni del perché è consigliabile fare così, è l'unire il primo + con il secondo -, il secondo con il terzo e così

via e realizzare lo stesso collegamento con il -. All'uscita della linea dipolare si avranno quindi due fili: uno convenzionalmente considerato + (che unisce tutti i dipoli + secondo i criteri indicati prima) ed uno convenzionalmente considerato - (che unisce tutti i dipoli - come indicato prima). All'interno di questi due fili, se i collegamenti sono stati completati correttamente e se la superficie riflettente e' stata realizzata con la massima cura, viaggerà il segnale che si intende ricevere dalla costruzione dell'antenna (provare per credere tramite un'oscilloscopio che sia in grado di analizzare la frequenza d'interesse).

TIPOLOGIA DI MONTATURA

Questa fase e' più importante di quanto si possa credere poiché se si e' riusciti a realizzare una antenna che tramite linea dipolare ricevere correttamente il segnale per cui essa e' stata costruita, e' buona cosa fermarsi a riflettere come procedere circa la tipologia di montatura per sorreggere e puntare tale antenna. Anche in questo caso non mancano le alternative, ed il termini di facilita' di realizzazione, la configurazione altazimutale e' senza dubbio la migliore. Tuttavia questo tipo di montatura soffre dello svantaggio di essere slegata dal moto degli astri nella volta celeste e se si volesse inseguire un oggetto, sarebbe richiesto il movimento di entrambi gli assi. Per chi invece volesse cimentarsi in un lavoro di carpenteria metallica la montatura equatoriale e' senza dubbio la scelta migliore. Come suggerisce il nome, la montatura equatoriale e' costruita sulla base del sistema di coordinate equatoriali utilizzate in astronomia per esprimere la posizione di un oggetto. Gli astri, infatti, ruotano intorno ad un punto che approssimativamente si trova vicino alla stella polare e la montatura equatoriale sfrutta proprio quel punto come riferimento, quindi una volta puntato un oggetto, per seguirlo e' necessario ruotare solo un asse per compensare la rotazione della Terra. Montature equatoriali di grandi dimensioni si trovano già in commercio, ma per poter sostenere un peso, che nel nostro caso si aggira intorno a 80-100kg, una montatura di questo genere ha un costo di svariate decine di migliaia di euro. Per cui la soluzione e' realizzare con i mezzi a propria disposizione una robusta montatura. Nel nostro caso si sono realizzate le fondamenta di cemento con intelaiatura di ferro così da meglio ancorarle al terreno ed al suo interno sono state fissate quattro barre filettate da 3cm di diametro. Sulle barre e' stato fissato saldamente un basamento di ferro di 50cm di diametro con degli occhielli per agevolare il futuro allineamento polare. Prendendo ispirazione dalle montature equatoriali per i telescopi, sulla piastra e' stato saldato un tubo di ferro inclinato rispetto al terreno di un angolo pari alla latitudine del luogo (che equivale all'altezza angolare locale della polare) ed un altro tubo e' stato saldato sopra di esso perpendicolarmente. Al termine del tubo, un tondino pieno dello stesso diametro del diametro interno del tubo portante della montatura, e' stato equipaggiato con due cuscinetti conici così da permettere il movimento in ascensione retta dell'antenna. Per quanto riguarda la declinazione, il sistema e' relativamente più semplice poiché si tratta di inserire due cuscinetti lungo l'asse centrale dell'antenna e fissarli tramite due tondini di ferro alla testa rotante dell'asse di ascensione retta così da permettere il movimento in declinazione completamente separato dal moto sull'altro asse. Un'ulteriore sviluppo potrebbe essere l'equipaggiare entrambi gli assi con due corone dentate e tramite catene trasmettere il movimento da due motori. Nel nostro caso sono stati usati due stepper motor controllati da un microcontrollore programmabile (MCU) collegato a relè in modo da fornire la giusta alimentazione. Per puntamenti più precisi e' possibile dotarsi di motori brushless la cui velocità di rotazione sia controllata semplicemente dalla tensione di alimentazione, oppure da normalissimi motori DC il cui controllo e' appannaggio di un inverter.

ELABORAZIONE DEL SEGNALE

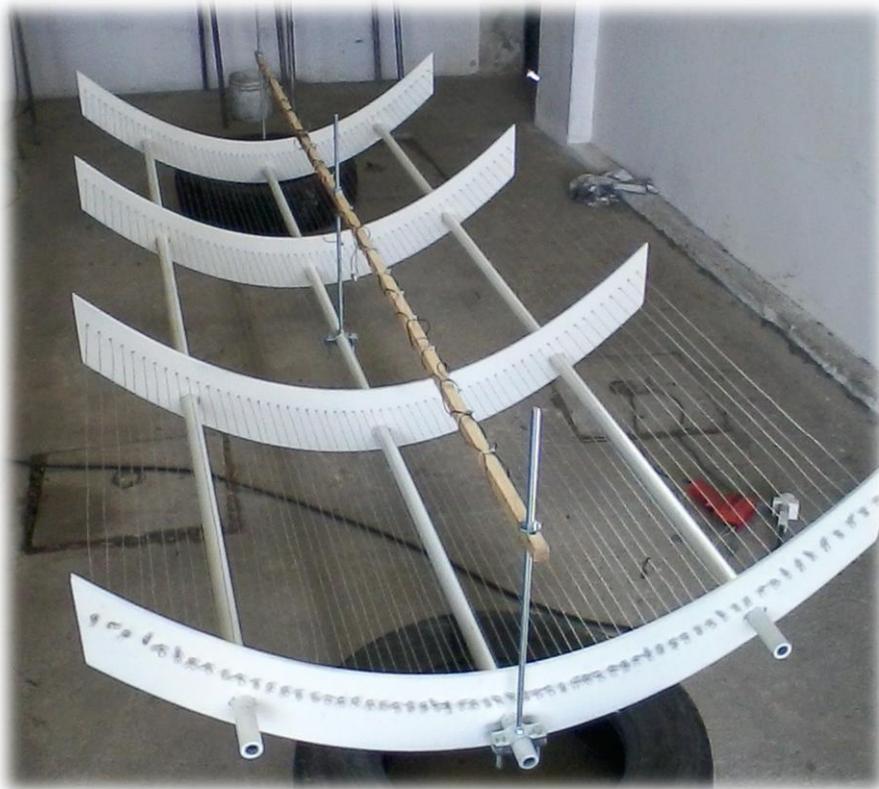
L'ultima e la più delicata fase e' proprio quella in cui avviene l'elaborazione del segnale, fase in cui e' fondamentale che nessun dato venga perso, pena l'apparente non funzionamento dell'antenna. Un apparato ricevente classico e' rintracciabile in qualunque sito che tratti di radioastronomia, tuttavia, a differenza della carpenteria adoperata nella costruzione dell'antenna e della montatura, non e' sempre facile riuscire a produrre un buon ricevitore. E' importante sapere che un buon segnale viene ricevuto solo se l'apparato che lo accoglie e' stabilizzato sull'alimentazione e schermato da ogni possibile interferenza. Il problema e' del tutto superato se si riesce a rintracciare in qualche modo un oscilloscopio che permetta di analizzare la frequenza che si sta ricevendo, altrimenti e' fondamentale realizzare qualcosa. Le alternative sono tante ed iniziare ad acquistare circuiti integrati da assemblare sperando che in un modo o nell'altro tutto funzioni spesso porta a risultati nulli o poco piu' (provare per credere). La prima cosa da fare non appena il segnale e' uscito dall'antenna e' amplificarlo con normali amplificatori di linea acquistabili in negozi di antenne, purché la frequenza di interesse sia contenuta fra le frequenze della banda passante. Una buona amplificazione si aggira intorno ai 100-200dB. Successivamente a questo bisogna, nell'analisi più semplice ed elementare, convertire il segnale ricevuto sotto forma di potenza per unita' di superficie per unita' di banda (in radioastronomia questa grandezza si chiama Jansky, abbreviato in Jy, in onore di Karl Jansky scopritore delle onde radio provenienti dalla via Lattea intorno al 1930) in un segnale di differenza di potenziale che un qualunque voltmetro possa misurare. Questa operazione e' possibile tramite opportuni circuiti integrati che, se correttamente alimentati e portati a ricevere il segnale in radiofrequenza (segnale RF), restituiscono una differenza di potenziale proporzionale al segnale RF ricevuto, e questo e' tranquillamente misurabile tramite un voltmetro in corrente continua. Un'ulteriore sviluppo potrebbe essere programmare la scheda in modo che restituisca il segnale al computer, il quale, fornito di programma, realizza un grafico potenziale-tempo osservando così le variazioni della radiazione ricevuta, indice del passaggio di una sorgente nel campo di osservazione dell'antenna. Per la nostra, la strada seguita e' proprio quella della realizzazione di un programma eseguibile dal computer e della programmazione di un MCU per il rilevamento del segnale. Metodi più semplici non ve ne sono, se non acquistare un apparato già costruito, che però inevitabilmente priva il radioastronomo di tutta quella parte di conoscenza che altrimenti avrebbe potuto accumulare per costruire in futuro strumenti più grandi e soddisfacenti e dare, perché no, personali contributi alla ricerca in questo campo.

CONCLUSIONI

Ora che l'antenna e' pronta non rimane che testare singolarmente i vari componenti e sincerarsi del loro corretto funzionamento, per poi iniziare a lavorare tutti insieme: i dipoli ricevono il segnale, tramite gli opportuni collegamenti questo lascia l'antenna per convogliarsi lungo la linea che dai dipoli porta all'apparato ricevente, gli amplificatori per primi operano sul segnale, i vari integrati convertono il segnale e l'MCU (o il voltmetro) riceve il segnale convertito mostrandone il valore e realizzando, eventualmente, un grafico di potenza. L'MCU può essere interfacciato anche per il movimento dei motori così che il medesimo programma che realizza il grafico possa permettere il movimento dell'antenna a discrezione dell'osservatore. Le prime prove si realizzano con più soddisfazione sulle sorgenti più intense: Sole, Luna, Giove, per poi spostarsi verso oggetti relativamente più difficili CygnusX1 o CassiopeaA, arrivare a sorgenti di più debole intensità 3C273 e M31 fino a scendere a oggetti che compongono il vero cuore della ricerca radioastronomica: quasar, pulsar e supernovae.

Come si e' visto non e' possibile realizzare una antenna senza che prima vi sia uno studio da parte del radioastronomo su cosa voler precisamente realizzare e, soprattutto, come realizzare ogni singolo componente, le competenze richieste non sono trascurabili ed il consiglio e' sempre quello di cercare di costruire un gruppo con il comune obiettivo di realizzare qualcosa di concreto e di sempre più grande: un meccanico, un elettronico, un informatico, oppure tanti semplici appassionati che nel corso degli anni hanno potuto imparare tutto quando richiesto per una simile realizzazione. Un altro consiglio e' quello di non farsi mai scoraggiare davanti a niente perché se si ha interesse a raggiungere un obiettivo, qualunque esso sia, verrà prima o poi raggiunto ed in questo "campo minato" si distingue subito chi veramente ha la passione per proseguire e chi si ferma a meta' strada perché per un motivo o per l'altro non ha avuto le immediate soddisfazioni che si aspettava.

ALCUNE IMMAGINI DELL'ANTENNA



L'antenna prima di essere collegata sulla montatura. E' possibile distinguere la rete di fili distanti 2cm gli uni dagli altri fissati agli estremi dei due profili parabolici esterni ed i dipoli in corrispondenza della linea focale.



La montatura in fase di allineamento verso il polo nord celeste. Si puo' distinguere la testa equatoriale (non ancora colorata) ed il basamento circolare inserito tramite gli occhielli fra le barre filettate per correggere ulteriormente l'allineamento polare. Dalle fondamenta si possono notare i tubi contenenti i fili per il trasporto dell'alimentazione e dei vari segnali che dall'antenna portano alla sala di controllo. Dietro alla montatura: l'antenna parzialmente sollevata poco prima di essere collegata alla testa equatoriale.

Per chiunque desiderasse altre informazioni, puo' contattare l'indirizzo mail: riccardo.gatti123@gmail.com, oppure visitare il sito: <http://www.radiosmap.altervista.org>.