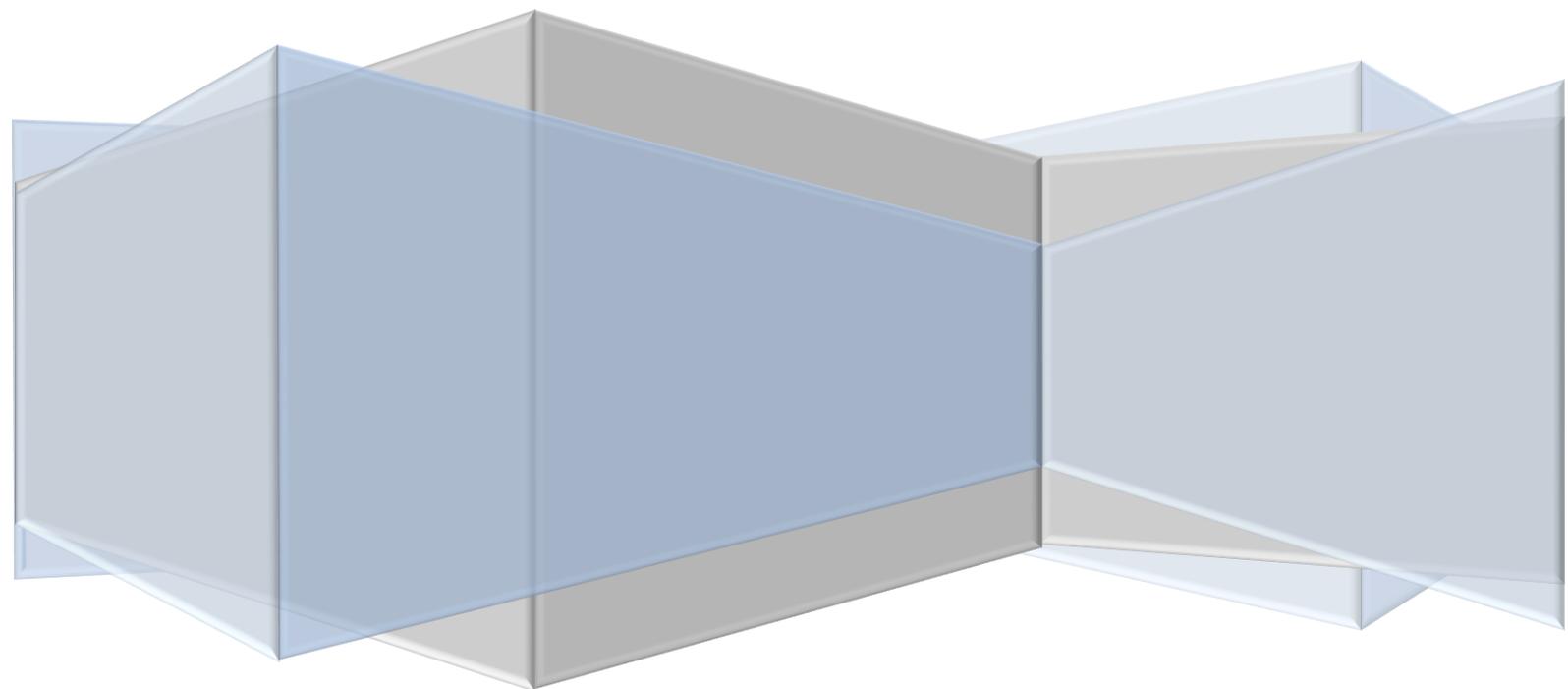


**Relazione dal 20/06/2016 al 1/07/2016**

# **Stage Stazione Radiostronomica**

**IRA – Medicina, CNR - Bologna**

**Matilde Vicini**



LUNEDI'20

## ■ INTRODUZIONE ALLA RADIO ASTRONOMIA

L'osservatorio di radioastronomia di Medicina comprende, come radiotelescopi:

- La CROCE DEL NORD



- La PARABOLA



L'astronomia in generale si occupa dell'osservazione dei corpi celesti. La luce "visibile" è stata a lungo, per l'uomo, l'unico osservabile diretto. Tuttavia essa occupa solo una piccola porzione di tutto lo spettro elettromagnetico, le onde di altre frequenze riescono a dare altre informazioni rispetto alla luce visibile. Le onde radio, in particolare, permettono di studiare la componente più fredda di gas nelle regioni di formazione stellare, nei resti di supernove, nei nuclei galattici attivi e nelle galassie in generale. I meccanismi di emissione delle onde radio possono essere:

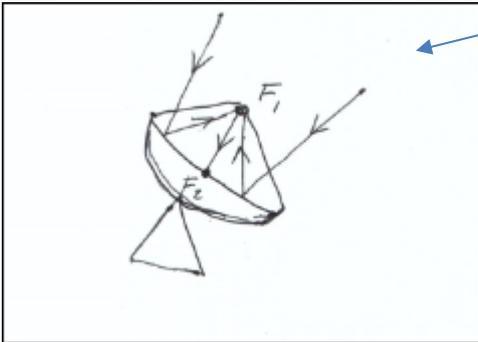
- Emissioni dei corpi neri
- Emissioni di sincrotrone
- Emissioni di riga

Tra esse si studia con particolare attenzione la riga di emissione dell'idrogeno: H nello stato eccitato ha l'elettrone e il protone con uguale spin, l'elettrone passa allo stato di più bassa energia invertendo il suo spin emettendo un fotone di lunghezza d'onda 21 cm. L'idrogeno ha tanta importanza perché è l'elemento più abbondante dell'intero universo.

## ■ Come funziona

La parte curva della croce del nord e della parabola riflette le onde radio in F(1), per la croce del nord i ricevitori si trovano già in F(1), e la croce del nord si occupava della catalogazione di radiosorgenti. Per la

parabola sono presenti una serie di ricevitori già in F(1) oppure le onde radio possono essere riflesse a loro volta in F(2) dove si trovano altri ricevitori.



Le antenne per la radioastronomia hanno in genere uno specchio a forma di paraboloide che raccoglie le onde radio. Nel fuoco si trova il dipolo che trasforma a radiazione in corrente elettrica.

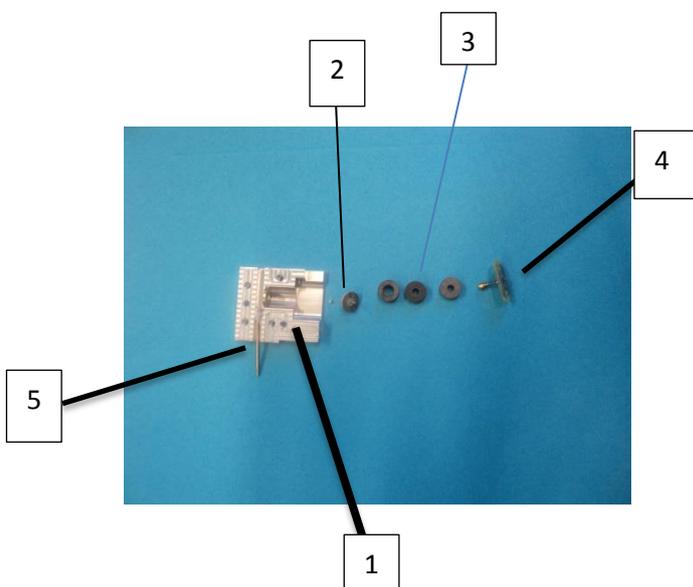
Ogni parabola ha un suo potere risolutivo, che aumenta con il diametro della parabola stessa come  $1.22(\lambda/D)$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda mentre D è il diametro. Per risoluzione si intende la capacità di distinguere due oggetti vicini o i dettagli di una sorgente osservata. La sensibilità dell'antenna, cioè la capacità di rivelare segnali deboli, e aumenta come  $D^2$ .

La parabola può essere utilizzata per il progetto di **Very-long-baseline interferometry** (VLBI), cioè in collaborazione con altre parabole in tutta Europa, ma anche per osservazioni specifiche e per studi di geodesia.

MARTEDI' 22 E MERCOLEDI' 23

■ Laboratorio: un generatore di rumore

Nel laboratorio del CNR, si è eseguita la costruzione di un generatore di rumore bianco, che in seguito sarà inserito nei ricevitori della parabola in Sardegna. Il generatore emette onde di tutto lo spettro di frequenza da 30 a 50 GHz, e serve come campione di riferimento per il rumore entrante nel ricevitore. I vari pezzi che lo compongono vanno assemblati insieme, quindi si sono avvitate le 2 conchiglie metalliche, inserita la rondella, il pin con il diodo, i 3 cilindri bucati di ferrite e la molla con il contatto elettrico collegata alla resistenza per eseguire il test. Nell'apertura inferiore infine si è inserito il pezzo di ottone (5), il quale riflette l'onda radio uscente. È necessario che l'onda riflessa generi interferenza costruttiva, per questo è fondamentale tararlo: manualmente si cerca di trovare la distanza fra il pin e la "barretta" di ottone che sia circa uguale a  $\frac{1}{4} \lambda$  ( $\lambda$  nel valore medio dello spettro a cui si è interessati è circa 7 mm).



## Test eseguito:

1. Si studia l'onda riflessa con l'obiettivo che i suoi livelli di potenza siano i minori possibili. Per testarla si usa il riflettometro e nello schermo del VNA (mostrato nelle immagini sottostanti) il grafico deve apparire come una linea il più piatta possibile (linea blu).
2. Si utilizza un ricevitore radio per determinare i livelli di potenza (si preferisce utilizzare i dB, in quanto scala logaritmica) emessi dal generatore radio (grafico linea rossa).

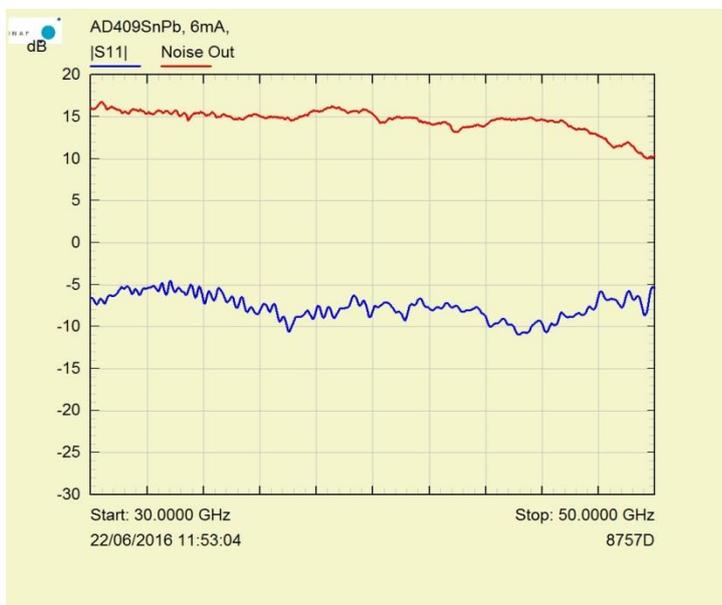
## Risultati:



In x è indicata la frequenza (da 30 GHz a 50 GHz), in y i livelli di potenza in dB.

La curva rossa è relativa al rumore emesso dal generatore. La curva blu è invece relativa all'onda riflessa del device elettronico.

I grafici dei generatori AD412 e AD409 sono considerati accettabili, ma ancora da calibrare accuratamente.

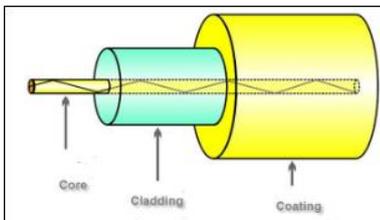


### ■ La trasmissione dei dati

I dati raccolti dai radio telescopi devono essere trasmessi al centro di elaborazione. Dal punto di partenza al punto di arrivo possono attraversare anche grandi distanze, per questo ci si affida alla fibra ottica.

Rispetto al cavo coassiale essa permette minori attenuazioni del segnale e quindi non sono necessari ripetitori lungo il percorso. Queste qualità rendono la fibra ottica la migliore soluzione per il progetto SKA (Square Kilometer Array), dove le 130 mila antenne copriranno, nella fase 1, la distanza di 65 km. Dalle antenne i segnali radio, tipicamente nelle frequenze dell'ordine dei MHz, vengono trasmessi nella fibra ottica da un laser con frequenza dell'ordine dei THz. Le radiofrequenze quindi attraverso il trasmettitore ottico, che permette di convertire i segnali radio in un segnale ottico, vengono trasmesse come modulazione dell'onda elettromagnetica dentro la fibra ottica. Il segnale ottico raggiunge quindi il ricevitore ottico e viene convertito in radiofrequenza, quindi arriva come segnale elettrico al centro di elaborazione dei dati.

### ■ Il cavo



Nei cavi SM (singolo modo), il raggio del *core* è 9 micrometri, del *cladding* è almeno 125 micrometri e il laser ha un solo modo possibile di propagarsi. Nei cavi MM (multi modo) il raggio del *core* è almeno 50 micrometri e ci sono più modi di propagazione.

I materiali dielettrici che compongono la fibra ottica (o di silicio o di un vetro particolare) non sono sensibili all'elettromagnetismo al contrario dei cavi tradizionali, per questo si spiegano le basse attenuazioni che si hanno per lo più nei punti dei connettori tra cavi diversi. Per la propagazione del laser si sfrutta il fenomeno della riflessione totale interna, possibile grazie ai diversi indici di rifrazione di *core* e *cladding*.

### ■ BAD – Bologna Array Demonstrator



Per verificare che questo metodo di trasmissione funzioni per SKA, è in corso questa verifica su 16 antenne presenti a Medicina.

Su di esse sono presenti 2 ricevitori radio, i segnali modulano 2 laser distinti ( $\lambda_1 = 1270 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 1330 \text{ nm}$ ) ma che appartengono alla stessa finestra ottica.

I due laser attraverso un *combiner* sono trasmessi come un'unica onda, solamente nel ricevitore ottico sono poi filtrati e distinti nei 2 diversi segnali elettrici di radiofrequenze.

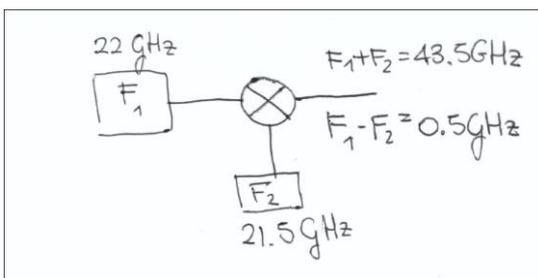
■ La recezione del segnale

Il segnale radio che arriva alla parabola o alla Croce del Nord è debole, ha una potenza molto bassa; per questo, in primo luogo, è amplificato. Nel *box* del *front end*, quindi, si trova l'amplificatore e, per ridurre al minimo il rumore elettronico, che potrebbe anche sovrastare il segnale, si abbassa la temperatura dei ricevitori a 3 K. Sono inoltre aggiunti particolari filtri per eliminare, per quanto possibile, le interferenze. Nel *box* stesso si può anche trovare un circuito per la messa a terra di scariche elettriche dovute a fulmini.

Il segnale elettrico è analogico e pertanto deve essere convertito in digitale. Le parti analogiche del circuito sono schermate da possibili interferenze dovute alle parti digitali attraverso una scatola di metallo.

La proprietà riflettente del metallo per le onde radio si può sfruttare per la rivelazione delle meteore da parte dei radiotelescopi con l'eco radar. Una meteora che attraversa l'atmosfera ionizza le sue molecole, così da creare uno strato di elettroni liberi (come nei metalli) che riflettono perfettamente le onde radio.

Il segnale in analogico viene quindi campionato per ottenere un'informazione in valori discreti e non continui, in codice binario. Il campionamento deve avvenire con una frequenza che sia, come minimo, doppia della frequenza del segnale stesso (teorema di Nyquist). Il numero di bit scelto per il codice binario determina i livelli di quantizzazione. All'aumentare del numero di bit aumenta la precisione del campionamento ma aumenta anche il tempo impiegato per registrarlo. Una frequenza di particolare interesse è 22 GHz (riga di emissione della molecola d'acqua), per quantizzare il suo segnale analogico bisognerebbe avere un convertitore analogico-digitale di frequenza minima 44 GHz, nella pratica troppo scomodo da utilizzare. Si utilizza pertanto un mixer: il segnale viene traslato su una frequenza più bassa (circa 10 MHz) e ora è possibile usare un convertitore di frequenza più bassa. Il **mixer** è una componente elettronica che, se utilizzata nella *down conversion*, dà all'uscita un segnale di frequenza che è uguale alla differenza delle due frequenze (la frequenza 21.5 GHz nella foto è arbitraria) in entrata.



■ L'oscilloscopio

L'oscilloscopio mostra come varia il segnale in funzione del tempo, quindi ampiezza, frequenza, tempo di salita e di discesa. L'analisi di spettro permette poi di cercare determinate frequenze fra il rumore e fare un'integrazione per eliminarlo definitivamente, tuttavia distinguere una frequenza "interessante" dal rumore risulta molto complicato a causa dell'effetto Doppler e delle deviazioni che la radiazione può subire lungo il suo percorso, si effettuano quindi più misure nella ricerca di un segnale che si ripeta nel tempo.

LUNEDI' 27

### ■ Le interferenze

Per la radioastronomia sono riservate solamente alcune bande di frequenze dello spettro elettromagnetico. L'organismo sovranazionale che le regola è l'ITU, il quale stabilisce l'assegnazione delle bande per le telecomunicazioni in genere. Per l'Italia in particolare le bande vengono stabilite dal Ministero dello Sviluppo Economico. Qualora si verificasse un'interferenza nella banda protetta per la radioastronomia, si ricerca da dove proviene e si segnala all'ispettorato. Esistono poi livelli di soglia stabiliti dall'ITU entro cui l'interferenza non danneggia le osservazioni radioastronomiche. Se si vuole intraprendere un'osservazione con le linee spettrali, si lavora quindi con emissioni di riga, che possono avere una potenza molto bassa, le soglie sono ancora più restrittive; al contrario, con l'interferometria, dove si hanno più antenne a distanze molto grandi, si ha più margine di interferenza. Molte possono essere le cause di interferenza, le più comuni:

- Le radiosonde meteorologiche che con i cambiamenti di temperatura dell'atmosfera (possono passare da 20°C a -40 °C) emettono un segnale radio che esce dalla banda assegnata
- Gli isolanti di nei fili elettrici nella cui superficie esterna si forma una pellicola di smog che conduce l'elettricità. Si verificano quindi micro scariche che emettono fotoni di frequenze in tutto lo spettro
- Le candele non schermate dei motori a scoppio

### ■ Individuare la sorgente dell'interferenza

Dall'Osservatorio di Medicina, non appena si rileva un'interferenza, si trova prima di tutto la direzione da cui proviene il segnale "colpevole". A questo punto si usa il furgone mobile, per eseguire una triangolazione. Il laboratorio mobile contiene un'antenna ricevente che può arrivare all'altezza di 11 m, su un palo telescopico pneumatico, che viene alzato con una camera d'aria. L'antenna viene usata con un angolo di 45° in modo da riuscire a ricevere il segnale radio trasmesso, e in modo orizzontale e verticale. Col furgone si raggiunge un punto elevato e da lì si traccia una seconda retta della direzione da cui proviene il segnale. È completata la triangolazione: un punto è la stazione di Medicina, l'altro è il furgoncino mobile e il terzo l'intersezione delle rette tracciate dai primi due seguendo la direzione. Da quest'ultimo punto si ottiene la zona da cui è originato il segnale di interferenza. Dentro la zona individuata si cerca l'origine precisa e, una volta individuata, si procede con una segnalazione all'ispettorato.

MARTEDI' 28

### ■ Cosa rilevano i radiotelescopi?

La radiazione radio passa indisturbata attraverso l'atmosfera, se non per, in parte, la troposfera, che contiene particelle cariche, e per la presenza di vapore acqueo, che assorbe la radiazione di lunghezza d'onda nell'ordine dei mm (per questo si ha scelto il luogo più secco della Terra, all'altitudine di 5005 m, per i radiotelescopi ALMA).

Se con la luce visibile da Terra si possono osservare pianeti, stelle e, al massimo, dall'emisfero sud, le nubi di Magellano, con le onde radio si possono rilevare galassie e quasars (quasi stellar object), cioè galassie in cui il centro è così attivo e brillante che non permette di "vedere" tutto ciò che illumina. Per queste ragioni si può affermare che il cielo radio è un cielo extragalattico. altri oggetti che emettono nella banda continua sono:

- le supernovae e i loro resti, quando una stella particolarmente massiva (almeno 8 masse solari) esaurisce l'energia per controbilanciare la forza di gravità, si verifica un'enorme esplosione di massa ed energia, che la rende estremamente luminosa.
- pulsar, derivano dalla parte centrale della supernova, che è implosa su se stessa. Hanno una massa estremamente concentrata e un periodo di rotazione brevissimo. Si rivelano con le onde radio perché ai poli si ha una costante emissione di radiazione. Come un faro, quando il polo punta la terra si registra un impulso di onde radio, che si ripete regolarmente nel tempo.
- galassie a spirale, come la nostra, o ellittiche, che hanno al loro interno un buco nero, in particolare si parla di radiogalassie perché nella regione attorno al buco nero si ha un'intensa emissione di onde elettromagnetiche.
- quasar, che per la prima volta furono rilevati proprio con onde radio.

Le emissioni di riga nella banda radio permettono poi di rilevare particolari atomi, primo fra tutti l'idrogeno neutro, o, nel caso di emissioni di riga molecolari, la presenza di molecole complesse (Si sono infatti rilevate molecole di glicina, zucchero e righe di altre molecole non ancora conosciute nelle regioni di formazione stellare. La stella giovane emette molta radiazione in ultravioletto che eccita le molecole circostanti). Le emissioni di riga sono dovute allo stato eccitato degli elettroni negli atomi o nelle molecole che fanno un salto quantico per ritornare al livello energetico più basso e, in questo modo, emettono fotoni.

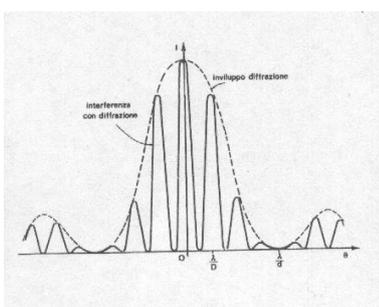
Una radiazione radio può anche risultare dall'emissione di sincrotrone, dovuta agli elettroni relativistici che spiraleggiano in un campo magnetico e, nella traiettoria curva, perdono energia sotto forma di radiazione.

### ■ Interferenza e diffrazione

Per aumentare la risoluzione di un radiotelescopio, si utilizza l'interferometria: si mettono in correlazione 2 o più radiotelescopi. Il parametro  $D$ , che influenza la risoluzione come già detto sopra, non è il diametro della singola antenna, ma la distanza fra le antenne stesse. La sensibilità invece rimane quella delle antenne originarie e può essere migliorata aumentando il tempo di osservazione e integrando i dati.

L'interferenza avviene per onde di frequenza uguale e COERENTI, cioè che mantengono una differenza di fase costante nel tempo, che si sovrappongono. È il caso dell'esperimento di Young, in cui si nota che si hanno zone di interferenza costruttiva, dove l'intensità dell'onda è maggiore delle singole intensità originarie, o distruttiva, quando le onde si annullano. La diffrazione si ha quando un'onda attraversa una fenditura di larghezza simile a  $\lambda$ .

Si possono infine ottenere figure di interferenza modulata dalla diffrazione, se si hanno 2 o più fenditure la cui larghezza sia di piccole dimensioni rispetto a  $\lambda$  ma non puntiforme (condizione per la diffrazione). Su di uno schermo si ottengono quindi frange chiare e scure di stessa lunghezza ma la cui intensità è modulata dalla diffrazione.



■ **Esperimento con interferometro didattico**

L'interferometro didattico è composto da due antenne separate da una distanza di 4 m. Le antenne Yagi sono composte da 35 dipoli, di cui l'ultimo è il dipolo R, riflettore, che scherma la radiazione dal terreno. Penultimo è il dipolo DP, collettore, che raccoglie la radiazione degli altri dipoli e la trasforma in differenza di potenziale, misurabile in V.

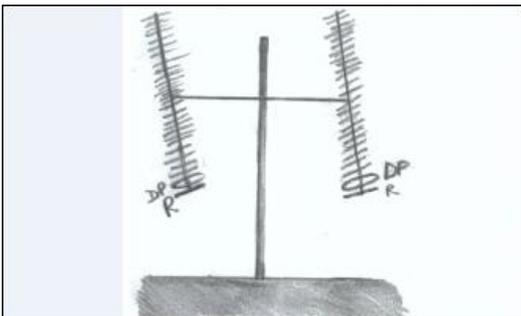
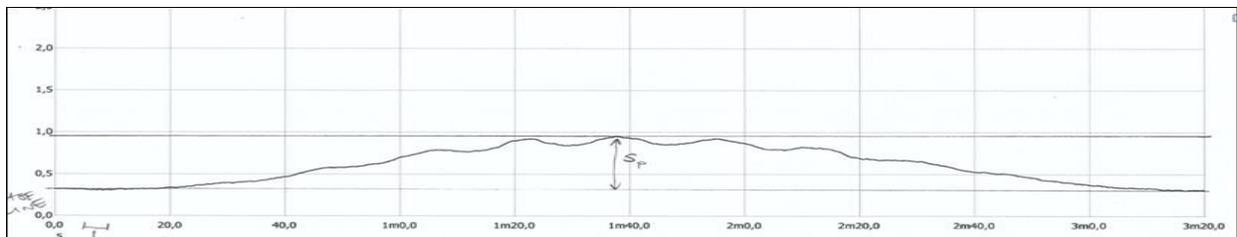


Figura 1 Schema dell'interferometro didattico

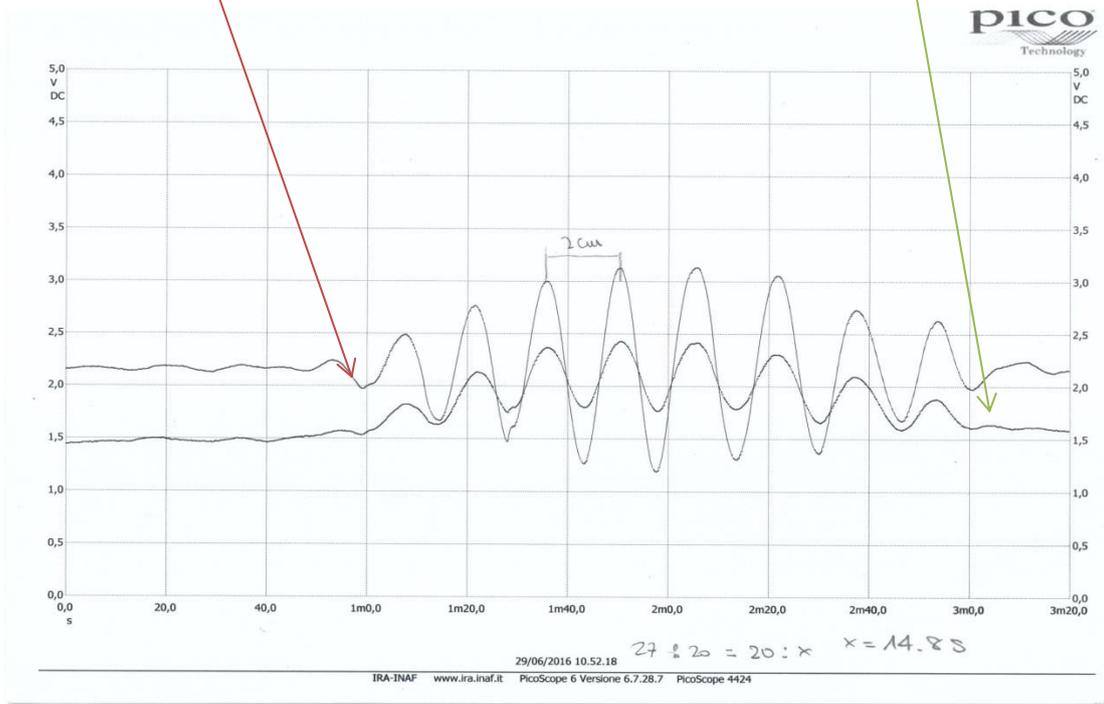
La corrente elettrica passa poi in un mixer, che ne abbassa la frequenza, e per un amplificatore, che rende più potente il segnale. Per l'esperimento si rivela il sole come radio sorgente.

1. Nella prima parte si utilizza solo un'antenna, in quanto si vuole ottenere un'acquisizione total power, dove quindi l'antenna gira di 100° in Azimuth transitando sul sole.



I dati acquisiti permettono di fare un calcolo del rumore (circa 3 mV) e una valutazione dell'intensità della sorgente e del rapporto segnale/rumore (S/N), circa 200. Per descrivere la densità di flusso, cioè l'energia ricevuta per unità di tempo, di area e di frequenza da una sorgente, si usa come unità di misura il Jansky (Jy). Si ricava quindi il fattore di conversione da Volt a Jansky, che è circa nel nostro caso  $1.2 \times 10^6$  Jy/V, da cui facilmente si ricava il rumore in Jy. Esso risulta circa 3465 Jy, lo strumento ha pertanto poca sensibilità: molte sorgenti radioastronomiche hanno densità di flusso ben più piccola di questo valore, non sarebbero quindi rilevate ma immerse nel rumore.

2. Si procede utilizzando entrambe le antenne, per un'osservazione interferometrica. Si esegue una nuova scansione orizzontale del sole e si ottengono due curve, una relativa all'interferometro di tipo **prodotto**, l'altra, più contenuta, relativa all'interferometro di tipo **somma**. Per il primo i segnali provenienti dalle antenne si sommano algebricamente, come nell'esperimento di Young, nel secondo si effettua il prodotto. Si preferisce quest'ultimo perché misura solamente il segnale coerente e non tutta la potenza del segnale disponibile (segnale e rumore), come accade nell'interferometro di tipo somma.



Dal grafico dell'interferometro di tipo prodotto si può ricavare il potere risolutore conoscendo la velocità di scansione ( $^{\circ}/s$ ) e il periodo ricavato dal grafico.

$$\theta = v \times t = 5^{\circ} = 0.089 \text{ rad}$$

La risoluzione risulta essere minore del valore reale. Infatti dalla formula  $\theta = \lambda/D$  si ha che  $D = 2.5 \text{ m}$  (nella realtà  $D = 3,5 \text{ m}$ ).

GIOVEDI' 30

### ■ Progetto SETI: ricerca di vita extraterrestre

È molto probabile che esista la vita nell'universo fuori dalla terra: nella nostra galassia sono stati trovati gli elementi chimici e i composti necessari per essa (C, N, O, H). È molto più improbabile incontrare le forme di vita ET, per via delle enormi distanze. Basti pensare che il sistema solare si trova nella periferia della via Lattea e raggiungere la periferia opposta vorrebbe dire percorrere 80000 anni luce.

Ci si può chiedere che tipo di segnale lancerebbe ET; sicuramente esso sarebbe della banda della luce visibile o della banda radio, perché queste onde elettromagnetiche possono attraversare liberamente l'atmosfera. Il progetto SETI esiste infatti in ottico, e si dedica alla ricerca di impulsi laser, e in radio, utilizzando i radiotelescopi, in quanto i ricevitori radio ad altissima sensibilità, possono ricevere un'onda radio monocromatica. Si presuppone dunque che ET sia in possesso di un'opportuna tecnologia e da molto tempo a causa, forse, delle grandi distanze che ci separano. Si ha scelto di cercare un segnale monocromatico, perché noi umani lo invieremmo così, dal momento che è facilmente riconoscibile e che in

natura non esiste. La frequenza scelta per il segnale è la riga di emissione dell'idrogeno neutro, cioè 1420 MHz, poiché si pensa sia nota a chiunque osservi in radioastronomia. Per individuare il segnale monocromatico si fa l'analisi di spettro. Tale segnale non deve avere modulazione, altrimenti non può essere rilevato. Ciò significa che non ha informazioni e solamente si intuisce che qualcuno lo sta inviando.

La probabilità di ricevere un segnale da ET è estremamente bassa, quindi non è plausibile usare il radiotelescopio unicamente per il SETI, a causa delle limitate possibilità economiche.

I dati che arrivano dal ricevitore all'acquisizione dati per la ricerca in corso vengono anche inviati a uno spettrometro che fa ricerca per il SETI e così si ha un tempo strumento illimitato e allo stesso tempo anche un archivio delle interferenze radio terrestri senza turbare le osservazioni in corso.

Quand'anche si trovasse un segnale di ET, non sarebbe possibile alcuna comunicazione: il linguaggio, già estremamente diverso tra le popolazioni terrestri, sarebbe impossibile da decifrare e, a causa delle enormi distanze, non si può pensare ad alcuna risposta immediata. L'obiettivo del SETI è solo quello di stabilire se siamo soli nell'universo.

VENERDI' 1

#### ■ Conclusioni: cosa ho imparato

Da vicino ho potuto osservare la costruzione effettiva, e materiale e teorica, della ricerca scientifica. I grandi radiotelescopi nascono dalla collaborazione di ingegneri e scienziati, i quali ogni giorno in questo osservatorio lavorano insieme per scoprire cos'è l'uomo nell'universo e come sia fatto il mondo attorno a noi. La ricerca, qui da me conosciuta in queste settimane, se pur come semplice osservatore esterno, non può che affascinare: è scoprire dove la sete di conoscenza può portarci.