

Le BASI della RADIO ASTRONOMIA

(a cura di Flavio Falcinelli)
Novembre 2019

INDICE

1. Introduzione	p. 3
2. Un po' di storia	p. 7
3. Cosa misura un radiotelescopio	p. 9
4. Lo schermo dell'atmosfera terrestre	p.11
5. Ha senso parlare di radioastronomia amatoriale?	p. 14
6. Come, cosa e dove guardare	p. 15
7. Quali espansioni future sono immaginabili con RAL10?	p. 21
8. Il radiotelescopio diventa uno strumento di misura	p. 25
9. Radiometro o radio spettrometro?	p. 26
10. Osservazione radio degli eventi meteorologici	p. 29
11. La frequenza "speciale" dell'idrogeno	p. 45
12. La banda "magica" 1400-1600 MHz e le ricerche SETI	p. 51

VISITATE IL NOSTRO BLOG

<http://blog.radioastrolab.com/>

PER ESSERE SEMPRE

AGGIORNATI!

1. Introduzione

GUARDIAMO IL CIELO CON OCCHI DIVERSI

Possiamo osservare il cielo in tanti modi: lo spettacolo offerto è sempre magnifico, affascinante ed entusiasmante. Si rimane stupiti contemplando le stelle in una limpida notte invernale e lontano dalle luci cittadine, la meraviglia aumenta osservando i particolari della luna con un binocolo o i pianeti con un telescopio.

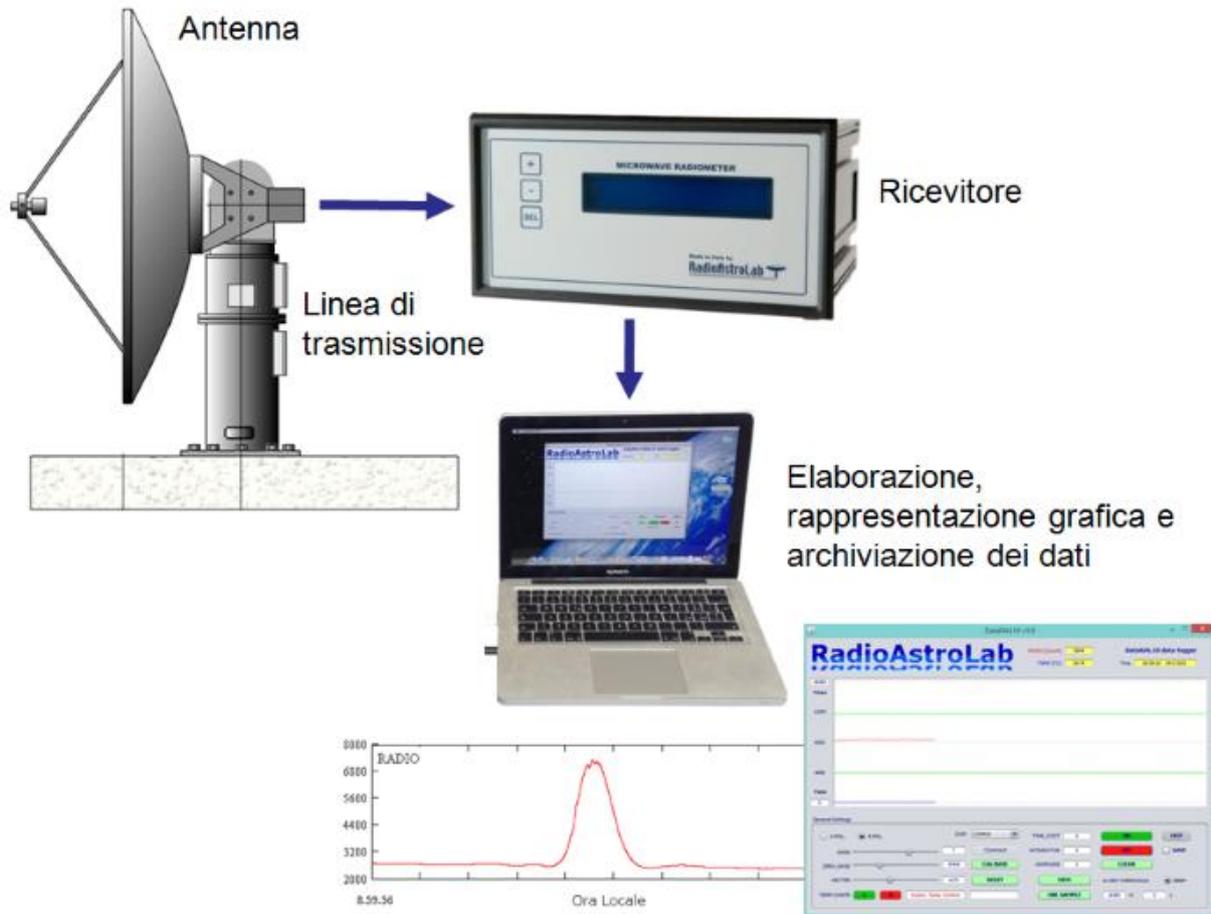
Questi strumenti, che amplificano le nostre possibilità visive, sono familiari: chi non ha mai avuto il piacere di avvicinarsi all'oculare di un telescopio durante una serata divulgativa offerta dal locale gruppo di astrofili? Tuttavia, non tutti sanno che esistono altri modi per guardare il cielo, non meno affascinanti di quello visuale.

Viviamo immersi in un mare di onde elettromagnetiche generate dalla tecnologia (telefoni cellulari, apparecchi wifi, ripetitori televisivi...) e dal mondo naturale, con radiazioni che provengono anche dallo spazio extra-terrestre. Ogni oggetto celeste, dai pianeti fino alle galassie più lontane, emette onde elettromagnetiche: dai raggi gamma, ai raggi X, alle radiazioni ultraviolette e visibili, fino alle emissioni infrarosse e radio. L'essere umano percepisce le emissioni nella banda del visibile perché madre natura ci ha equipaggiati con il senso della vista, indispensabile per la nostra sopravvivenza. Per "vedere" altre "finestre" dello spettro elettromagnetico servono differenti strumenti, ognuno specializzato per misurare la radiazione in una certa banda di frequenze.

La radioastronomia studia il cielo analizzando le onde radio naturali emesse dai corpi celesti: qualsiasi oggetto, non fosse altro che per la sua temperatura, irradia onde elettromagnetiche misurabili che, generalmente, manifestano le caratteristiche incoerenti di un rumore ad ampio spettro.

Con *radiosorgente* si indica qualsiasi emettitore naturale di onde radio: nell'uso comune il termine è diventato sinonimo di *sorgenti cosmiche* di onde radio.

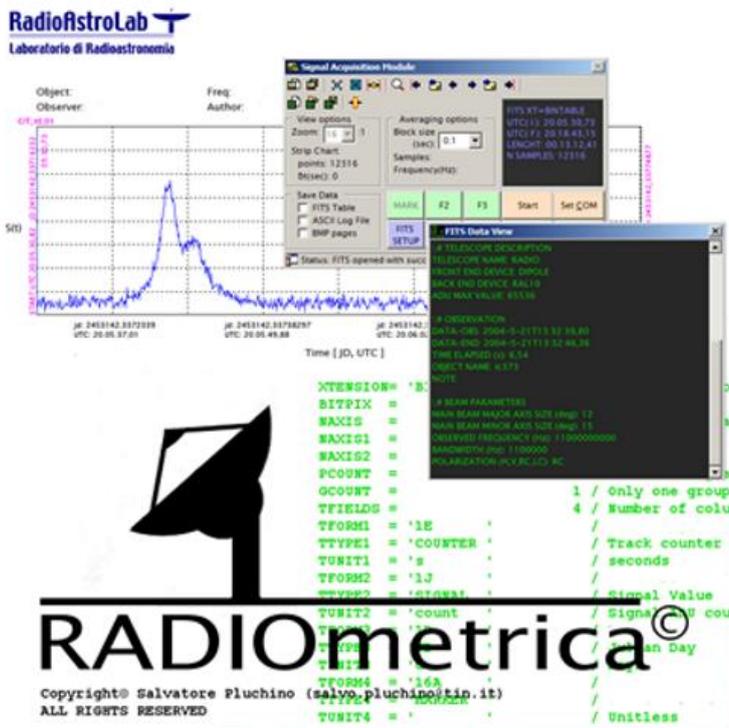
I *radiotelescopi*, strumenti che registrano il debole flusso radio proveniente dallo spazio extraterrestre, comprendono un sistema di antenna, linee di trasmissione e un ricevitore: l'elettronica amplifica il segnale captato dall'antenna fino a renderlo misurabile. Seguono dispositivi per l'elaborazione e la registrazione delle informazioni, oltre agli organi per il controllo dello strumento e per l'orientamento dell'antenna.



Indubbiamente non è cosa banale captare l'emissione radio di una galassia lontana: i segnali sono molto deboli, soffocati dalle interferenze artificiali e dal rumore di fondo. Per avere successo serve un minimo di apprendimento, di passione e di tenacia. Questo, non è forse vero per qualsiasi attività?

LA STORIA DELLA RADIOASTRONOMIA AMATORIALE: LA NOSTRA STORIA

Siamo stati la prima azienda italiana a proporre sul mercato, nel 2000, il ricevitore RAL10 (in foto il primo modello) insieme alle informazioni necessarie per costruire e utilizzare un radiotelescopio dilettantistico.



RAL10

10-12 GHz
 Total-Power
 Microwave Radiometer



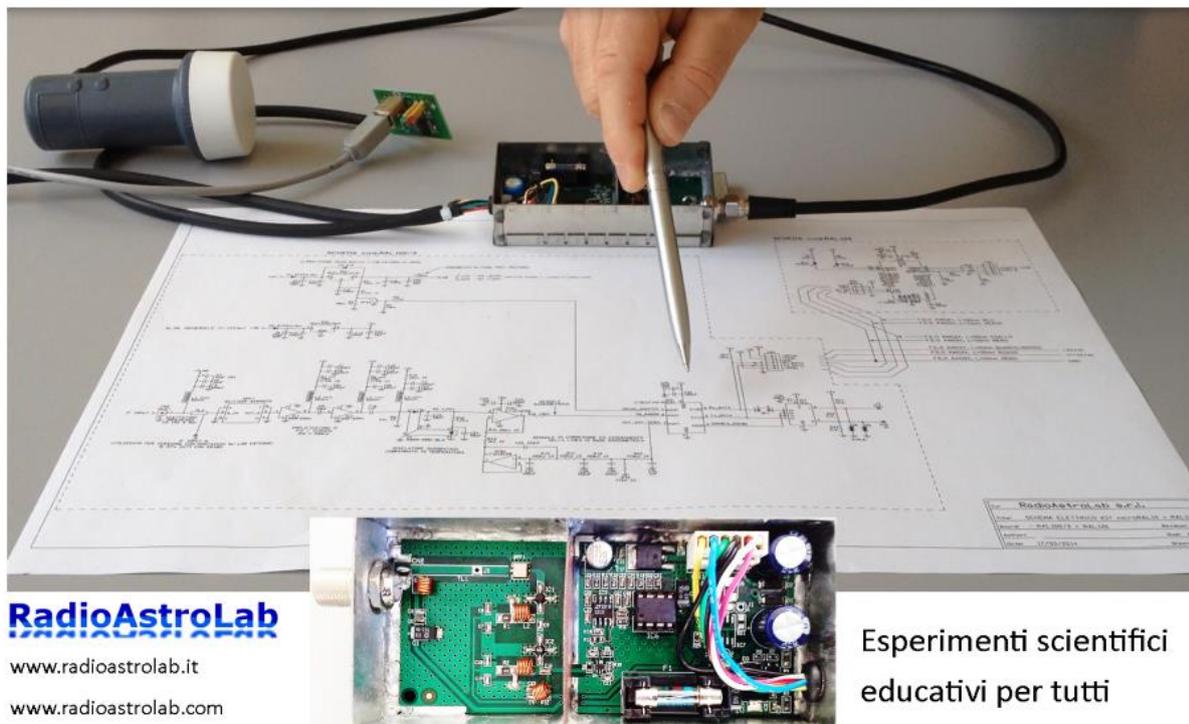
Economico e pensato per sfruttare moduli commerciali per la ricezione della TV satellitare, RAL10 ha iniziato molti appassionati alla radioastronomia. Studenti, astrofili, radioamatori, scuole e università, hanno costruito i loro piccoli radiotelescopi per iniziare ad esplorare il “radio-cielo”. Abbiamo ricevuto apprezzamenti e nuove richieste, fornito risposte e sostenuto gli appassionati organizzando eventi e conferenze in molte città. Siamo felici e orgogliosi se il nostro lavoro e la nostra passione hanno avvicinato le persone a questa affascinante disciplina, contribuendo allo sviluppo della radioastronomia amatoriale.

Si continua in questa direzione con rinnovato vigore: mantenendo l’obiettivo primario della divulgazione, dell’economia e della semplicità di utilizzo, RAL10 è diventato una famiglia completa di prodotti che soddisfa le esigenze dell’appassionato e consente a tutti, proprio a tutti, di conoscere la radioastronomia attraverso la costruzione, l’installazione e l’esercizio di un piccolo radiotelescopio.

Abbiamo sempre scelto la via dell'approccio sperimentale: l'esperienza ci ha insegnato che il modo migliore per avvicinarsi alla radioastronomia è proprio questo, registrare le onde radio provenienti dagli oggetti celesti con uno strumento "home made".

Certo, non possiamo attenderci le prestazioni dei grandi radiotelescopi della ricerca, incomparabilmente più grandi e complessi. Tuttavia, la realizzazione e la messa in opera di un radiotelescopio costruito con RAL10 e con le proprie mani offre molte soddisfazioni e un grande valore educativo.

Perché non provate a costruire un radiotelescopio con noi ?



RadioAstroLab
www.radioastrolab.it
www.radioastrolab.com

Esperimenti scientifici
educativi per tutti

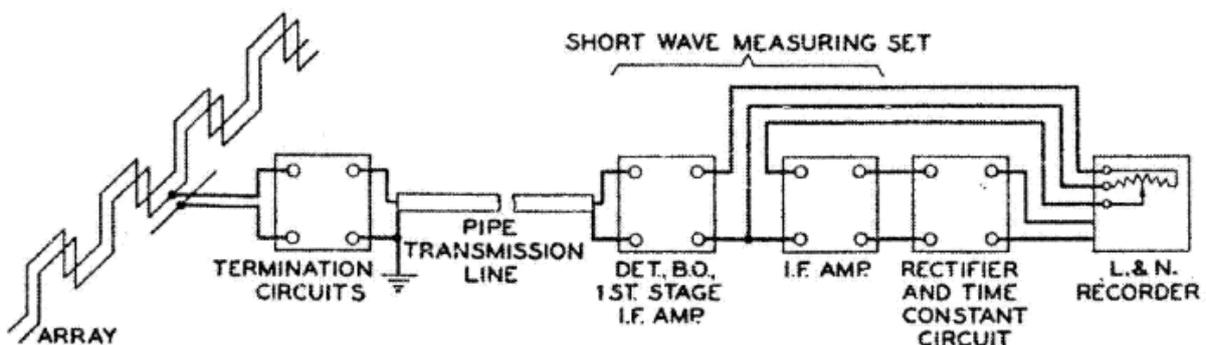
Se ci provate, vi promettiamo che:

- apprenderete le basi della radioastronomia e come funzionano i radiotelescopi;
- imparerete a "guardare" il cielo con occhi (e mente) diversi...
- sarete capaci di costruire e di utilizzare un radiotelescopio amatoriale;
- pianificherete entusiasmanti osservazioni radio, in parallelo a quelle ottiche;
- diventerete amico e sostenitore di RadioAstroLab!

Abbiamo moltissime novità in cantiere... continuate a seguirci!

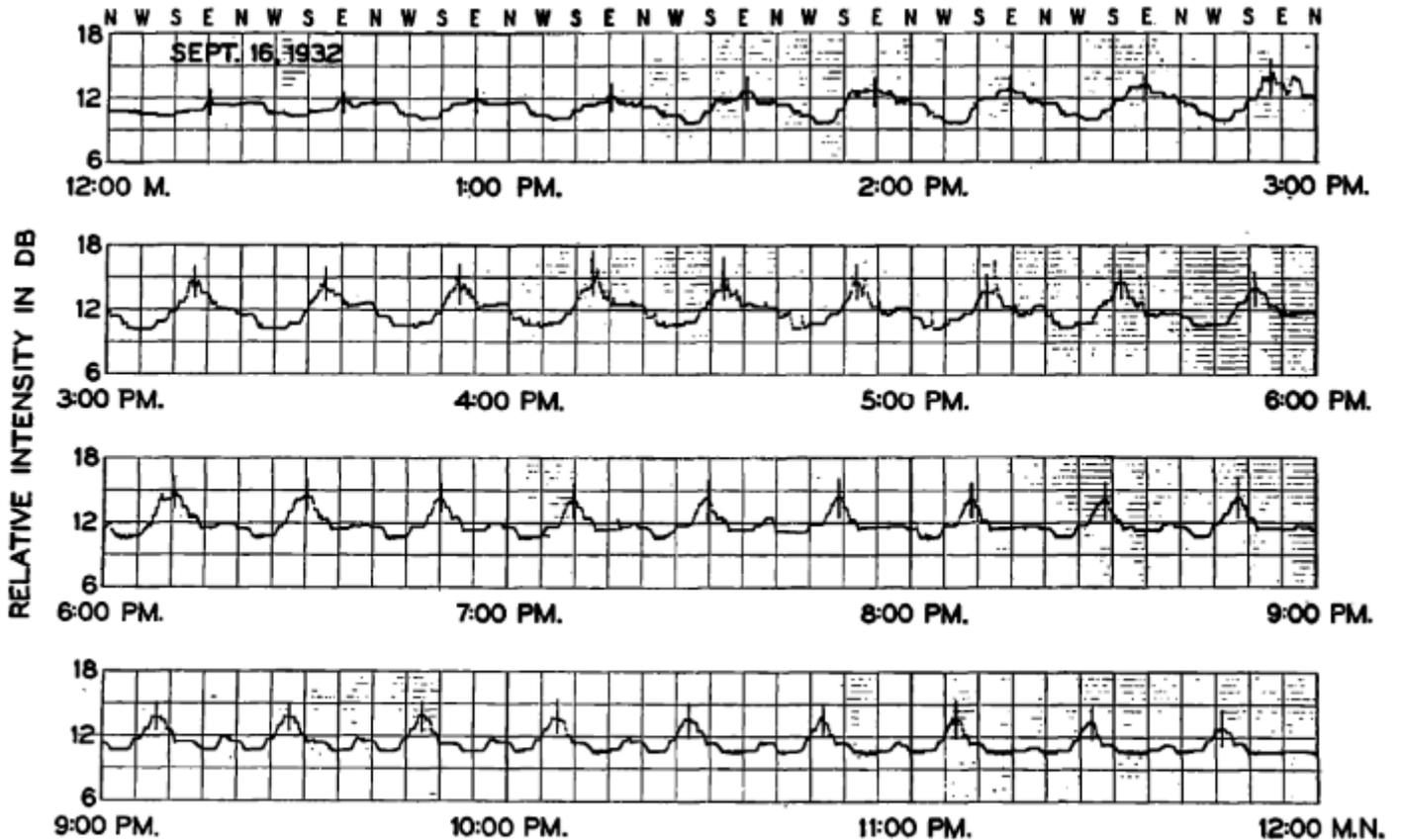
2. Un po' di storia

La storia della radioastronomia inizia casualmente nel dicembre del 1931: Karl Jansky, un ingegnere statunitense impegnato a studiare l'origine dei disturbi atmosferici che rendevano difficoltose le radiocomunicazioni a lunga distanza, utilizzando un'antenna (chiamata "giostra" per la sua caratteristica forma) e un ricevitore radio appositamente progettati, scoprì la radiazione a 20.5 MHz proveniente dal centro della nostra galassia come "sottoprodotto" del suo lavoro iniziale.



SCHEMATIC DIAGRAM OF SHORT WAVE STATIC RECORDING SYSTEM

Schema a blocchi del ricevitore di Jansky ("Directional Studies of Atmospherics at High Frequencies" – K. Jansky, 1932)

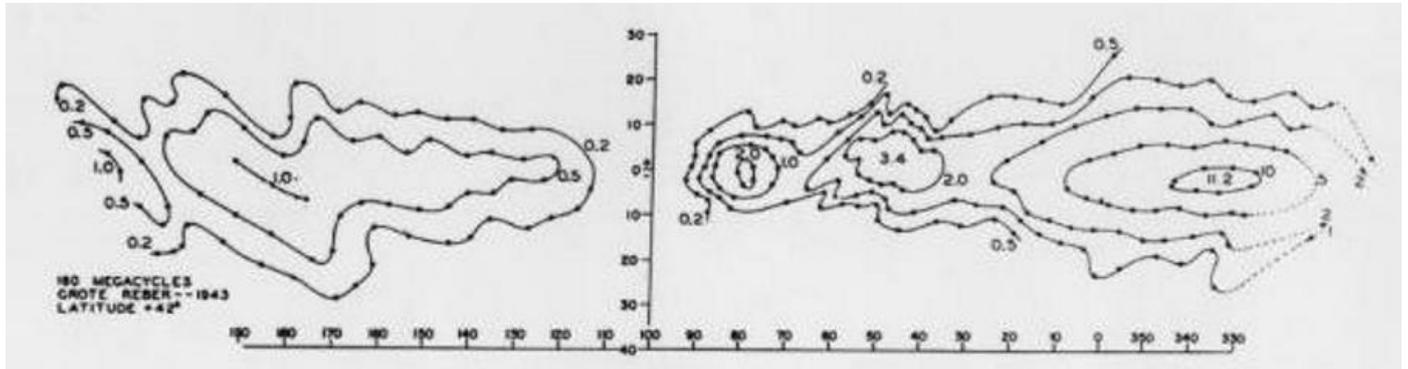


SAMPLE RECORD OF WAVES OF INTERSTELLAR ORIGIN.

La prima storica registrazione radioastronomica (“Electrical Phenomena that apparently are of Interstellar Origin” – K. Jansky, 1932).

Le immagini (riprese dagli articoli originali del 1932) mostrano la struttura dello strumento di Jansky e le sue registrazioni, dove si vede il ripetersi periodico dei massimi di emissione provenienti dalla regione celeste del Sagittario, al centro della nostra galassia. Questo è stato il primo segnale radio extraterrestre (naturale...) scoperto.

Il prototipo del moderno radiotelescopio, inteso come strumento costruito “ad hoc” per osservare il cielo, fu ideato pochi anni dopo da Grote Reber. Egli compilò una mappa della nostra galassia alla frequenza di 160 MHz: rappresentando graficamente le linee con identica potenza del segnale ricevuto in funzione dell’orientamento dell’antenna, realizzò così la prima “radio-immagine” del cielo.



La prima radio-mappa della galassia compilata da Reber.

3. Cosa misura un radiotelescopio?

In onore di Jansky è stata definita l'unità di misura della densità di flusso delle radiosorgenti

$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$$

Questa relazione ci aiuta a comprendere cosa misura un radiotelescopio: si tratta di una potenza radiante proveniente dal cielo, precisamente la potenza che incide sulla superficie di captazione dell'antenna (m^2), compresa nella banda passante del ricevitore (Hz).

Un modo alternativo, molto comodo per esprimere la potenza del segnale "raccolta" dall'antenna, è la cosiddetta *temperatura di brillantezza*: effettivamente un radiotelescopio misura la temperatura (equivalente) dello scenario "visto" dall'antenna. Il termine "equivalente" sarà chiarito più avanti. E' possibile dimostrare che, in radioastronomia, la temperatura di brillantezza di una radiosorgente è direttamente proporzionale alla sua potenza irradiata.

Se orientiamo l'antenna dello strumento in una data regione del cielo, in particolare verso una radiosorgente che "spicca" rispetto al fondo, misuriamo un incremento nell'intensità del segnale (per la precisione, una potenza) proporzionale alla *temperatura di brillantezza* di quell'oggetto, che coinciderà con la sua temperatura fisica solo se questo è un *corpo nero*, cioè un materiale (ideale) che assorbe perfettamente tutta la radiazione che lo investe, senza rifletterla. In natura non esistono corpi neri, ma si trovano oggetti che approssimano molto bene il loro comportamento, almeno entro una specificata banda di frequenze.

Se, come osservò Reber, consideriamo il radiotelescopio come un termometro, avremo che la temperatura misurata dall'antenna, cioè la *temperatura di brillantezza*, sarà proporzionale (non identica) alla temperatura fisica di quella regione tramite un coefficiente detto *emissività* di quella regione. Questo è il senso del termine "equivalente" utilizzato sopra. L'emissività è una misura della capacità di quel materiale di irradiare energia ed è una funzione complessa delle caratteristiche chimico-fisiche della radiosorgente e

della frequenza. Un corpo nero ha emissività uguale a 1, quindi una temperatura di brillantezza coincidente con la sua temperatura fisica, mentre un corpo materiale (corpo grigio) ha emissività compresa fra 0 e 1, quindi una temperatura di brillantezza inferiore alla sua temperatura fisica.

Come si è accennato, la tecnologia di un radiotelescopio non è sostanzialmente differente da quella di un apparecchio radio-ricevente casalingo (come, ad esempio, un televisore, un'autoradio o un telefono cellulare): ovviamente, alcune caratteristiche sono specializzate e le prestazioni ottimizzate per misurare i debolissimi segnali provenienti dallo spazio.

La questione cruciale è che in radioastronomia occorre evidenziare il rumore prodotto dalle radiosorgenti (segnale utile) rispetto al rumore generato dall'elettronica e dall'ambiente (segnale indesiderato): questi "fruscii" di fondo, identici a quelli che ascoltiamo quando non è sintonizzata alcuna stazione in una radio FM, hanno identica natura e sono, in linea di principio, indistinguibili.

Nei documenti di approfondimento illustreremo le tecniche utilizzate per risolvere questo problema.

4. Lo schermo dell'atmosfera terrestre

La classificazione ufficiale delle bande di frequenza dello spettro radio è riportata nella seguente tabella. L'atmosfera terrestre limita le frequenze utilizzabili per le osservazioni radioastronomiche da terra, dato che si comporta come una vera e propria barriera per la radiazione elettromagnetica proveniente dallo spazio. Infatti, la misura diretta della radiazione cosmica è limitata a due "finestre" dello spettro elettromagnetico, quella compresa tra circa 0.3 e 0.8 micrometri (*finestra visibile*, con ampiezza di circa un'ottava) e quella compresa tra circa 1 centimetro e 1 metro di lunghezza d'onda (*finestra radio*, con ampiezza superiore a 10 ottave).

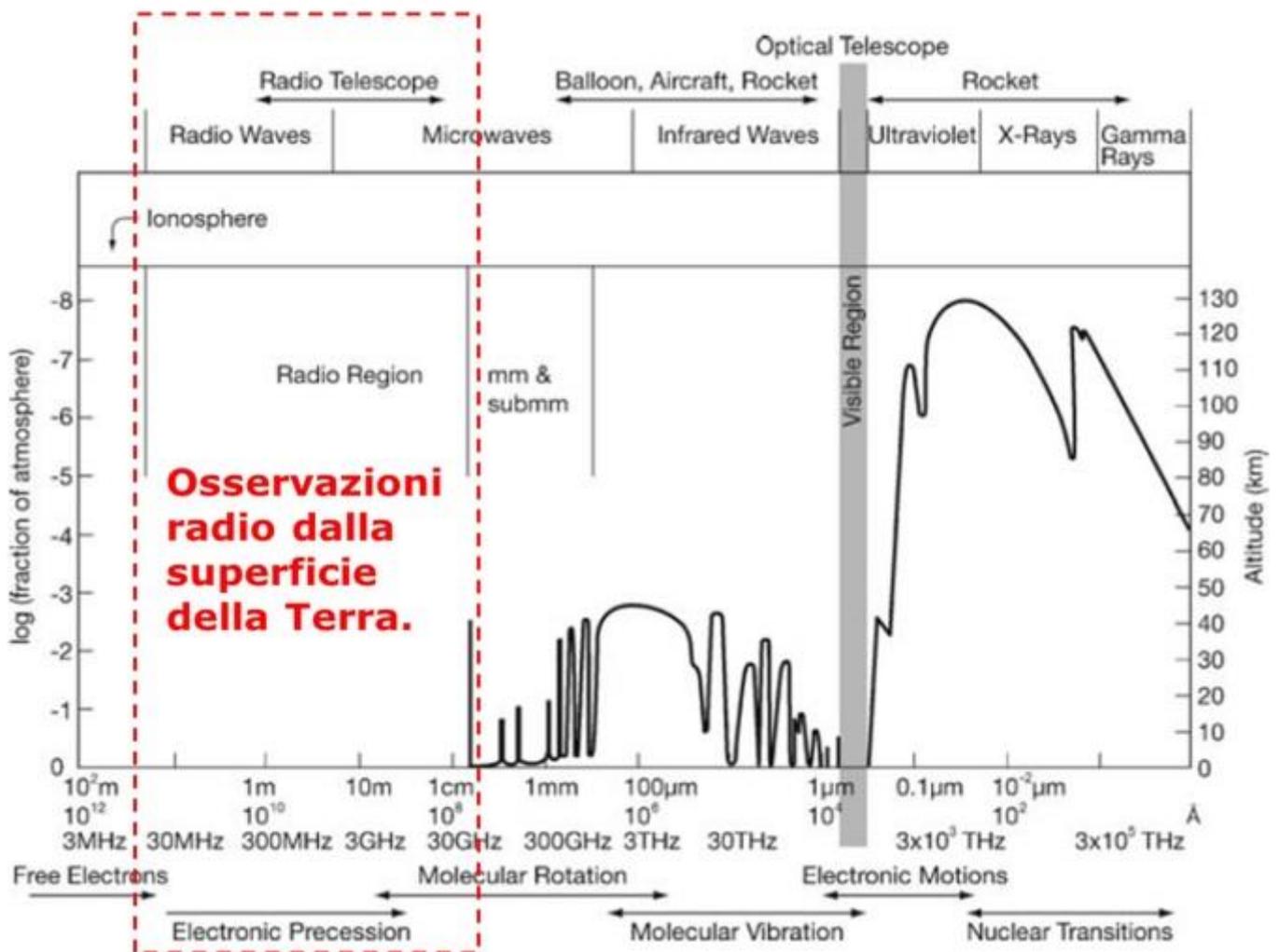
Designazione ITU

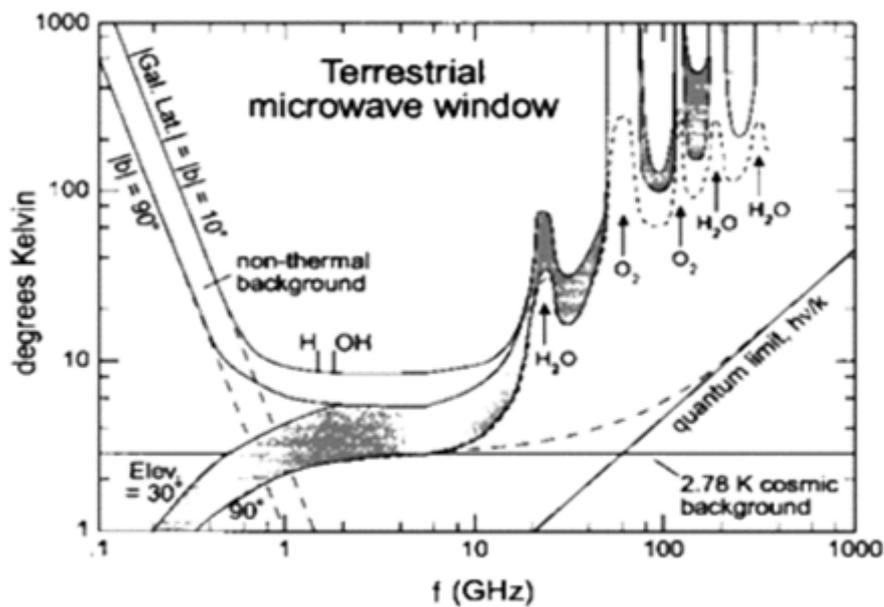
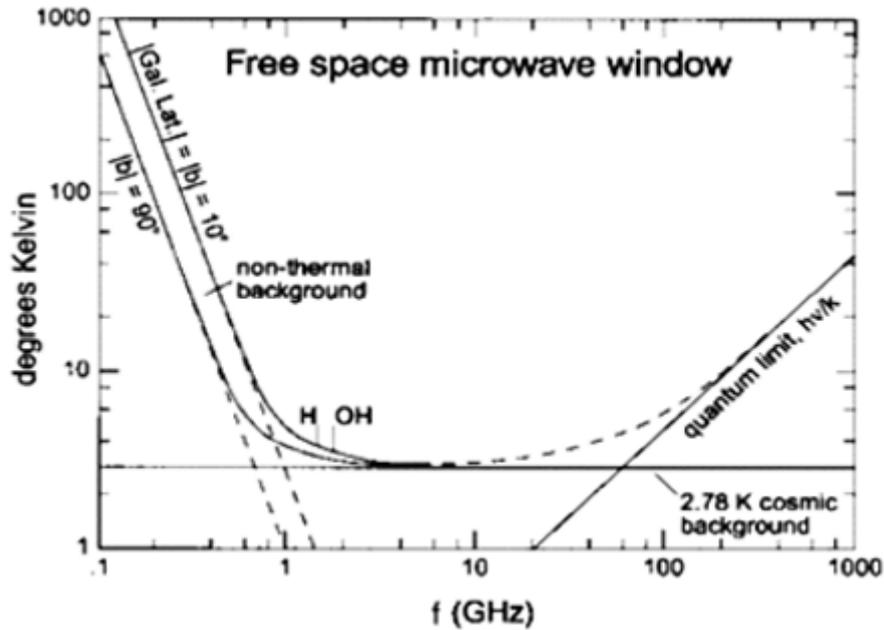
banda	frequenze	lunghezza d'onda
ELF	3 – 30 Hz	100 000 km – 10 000 km
SLF	30 – 300 Hz	10 000 km – 1000 km
ULF	300 – 3000 Hz	1000 km – 100 km
VLF	3 – 30 kHz	100 km – 10 km
LF	30 – 300 kHz	10 km – 1 km
MF	300 – 3000 kHz	1000 m – 100 m
HF	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
VHF	30 – 300 MHz	10 m – 1 m
UHF	300 – 3000 MHz	1000 mm – 100 mm
SHF	3 – 30 GHz	100 mm – 10 mm
EHF	30 – 300 GHz	10 mm – 1 mm
THF	300 – 3000 GHz	1 mm – 0.1 mm

Classificazione in bande di frequenza dello spettro radio.

La “finestra radio” è limitata inferiormente dagli effetti schermanti della ionosfera (particelle elettricamente cariche che agiscono come un riflettore per le onde radio), superiormente dai fenomeni di assorbimento molecolare dovuti al vapore acqueo e all’ossigeno.

Come si vede dalle immagini, l’intervallo delle frequenze radio utili per le osservazioni radioastronomiche da terra è compreso fra circa 20 MHz e 20 GHz.





Gli effetti dell'atmosfera terrestre sono ben visibili se si confrontano i grafici che rappresentano la "finestra" radio dello spettro elettromagnetico vista da terra (a sinistra) e vista da un radiotelescopio operante nello spazio.

5. Ha senso parlare di radioastronomia amatoriale?

Ammirando la tecnologia complessa e sofisticata, l'imponenza strutturale dei radiotelescopi professionali, per non parlare dei costi, ovviamente "astronomici", è legittimo domandarsi se abbia un senso parlare di radioastronomia amatoriale e, in caso affermativo, quali siano le sue reali possibilità di sperimentazione.

Questa disciplina non è molto conosciuta a livello amatoriale: riteniamo che, da parte nostra, sia importante presentare e descrivere progetti concreti, economici e facilmente realizzabili, con prestazioni "sicure" e ripetibili. Dobbiamo far comprendere, con molta onestà, i limiti raggiungibili con l'attività amatoriale, sottolineando, tuttavia, le numerose ed interessanti possibilità di sperimentazione aperte a tutti. In questa ottica, diventa per noi una missione supportare chiunque desideri iniziare seguendo le nostre proposte.

Da parte vostra, serve un pizzico di volontà nell'investire tempo e pazienza per un approccio graduale verso una disciplina che sembra meno immediata e "spettacolare" rispetto ad altre tecniche osservative del cielo come, ad esempio, l'astronomia ottica.

L'essere umano non è sensibile alle onde radio: in questo campo, la "visualizzazione" dello scenario cosmico e "l'estrazione" dell'informazione che ne deriva non è immediata. Servono strumenti (i radiotelescopi) in grado di rivelare i segnali radio e visualizzarli. Tali difficoltà contribuiscono a rendere la radioastronomia molto meno accessibile e "oscura" rispetto all'astronomia ottica.

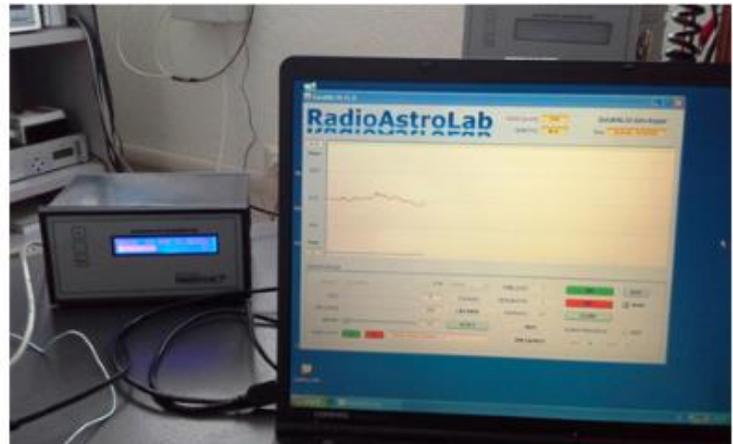
C'è poi il problema della strumentazione.

Bisogna essere esperti elettronici, così da realizzare tutto in casa?

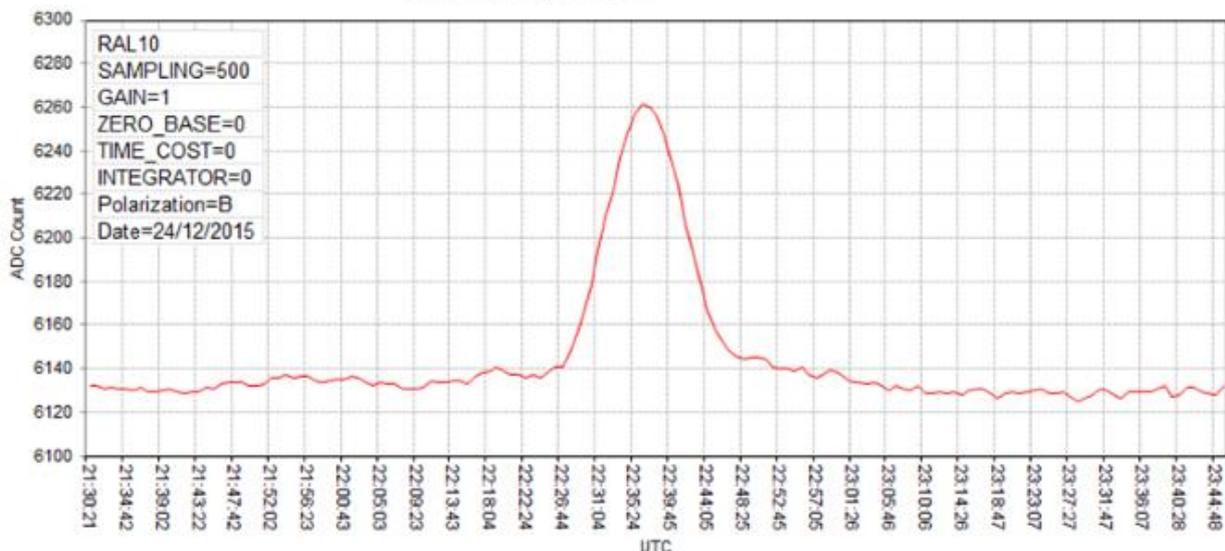
Non necessariamente. Chi ha conoscenze pratiche di elettronica è, ovviamente, facilitato: sul web si trovano eccellenti progetti sulla costruzione di piccoli radiotelescopi. Da parte nostra, proporremo moduli, kit e strumenti completi per far sì che la radioastronomia sia alla portata di tutti: ogni persona di buona volontà può diventare radioastronomo dilettante.

6. Come, cosa e dove guardare

L'osservazione radioastronomica "per eccellenza" (la più semplice) consiste nel determinare come varia l'intensità del segnale ricevuto durante il "passaggio" di una radiosorgente (ad esempio, il Sole o la Luna) nel "campo di vista" dell'antenna (la cosiddetta *registrazione al transito*). Si orienta il radiotelescopio nel punto celeste dove è previsto, nel suo moto apparente, il transito della radiosorgente e si attende la formazione della classica traccia "a campana" nel software di acquisizione.



RAL10: Moon @ 11.2 GHz



Osservazione del transito lunare con un radiotelescopio amatoriale basato sul nostro ricevitore RAL10. Il passo successivo, appena più complesso e laborioso, prevede la registrazione dell'intensità di segnale ricevuto dalle diverse direzioni di cielo. Collezionando con pazienza e metodo una serie di misure, si compila una "radio-mappa" della regione di cielo osservata. Ovviamente sono possibili osservazioni "ad

inseguimento” delle radiosorgenti come, ad esempio, quando si desidera monitorare l’attività solare. Questo richiede un’attrezzatura motorizzata e automatica per la gestione del sistema di orientamento dell’antenna.

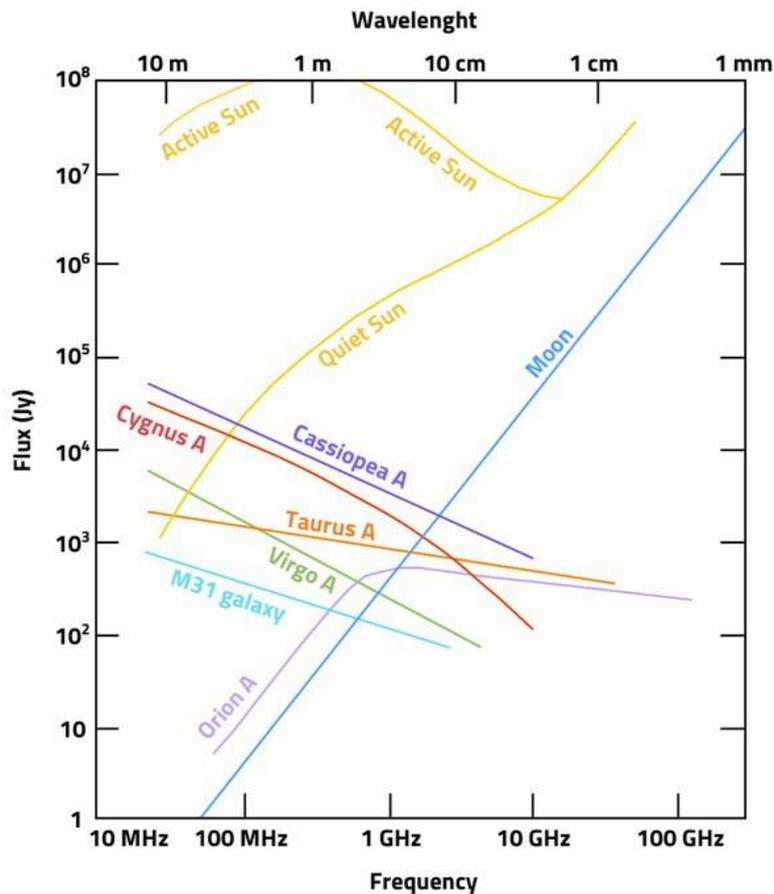
Generalmente, queste sono le prime domande che si pone ogni radioastronomo dilettante:

- in quale banda di frequenza è meglio lavorare?
- Quali radiosorgenti sono osservabili con un piccolo radiotelescopio?
- Esistono requisiti particolari nella scelta del sito di installazione dello strumento?

Non è possibile rispondere ad ogni quesito in modo indipendente dagli altri.

I meccanismi che spiegano le emissioni delle radiosorgenti sono complessi, legati alle loro caratteristiche chimico-fisiche. Come primo approccio è sufficiente catalogare gli oggetti radio più intensi del cielo e scoprire come varia la loro emissione al variare della frequenza (*spettro* della radiosorgente).

A livello amatoriale, tenendo conto dei limiti in sensibilità degli strumenti dovuti principalmente alla scarsa area efficace dell’antenna, una prima ragionevole scelta sembra privilegiare le frequenze dove sono più intense e numerose le radiosorgenti. Come si vede dal seguente grafico, Sole e Luna a parte che, grossomodo si comportano come corpi neri nella banda radio (almeno per quanto riguarda l’emissione del Sole quieto), le altre radiosorgenti irradiano con maggiore intensità per frequenze inferiori a 1 GHz, con un meccanismo (detto *non termico*) che incrementa l’intensità dell’emissione al diminuire della frequenza.



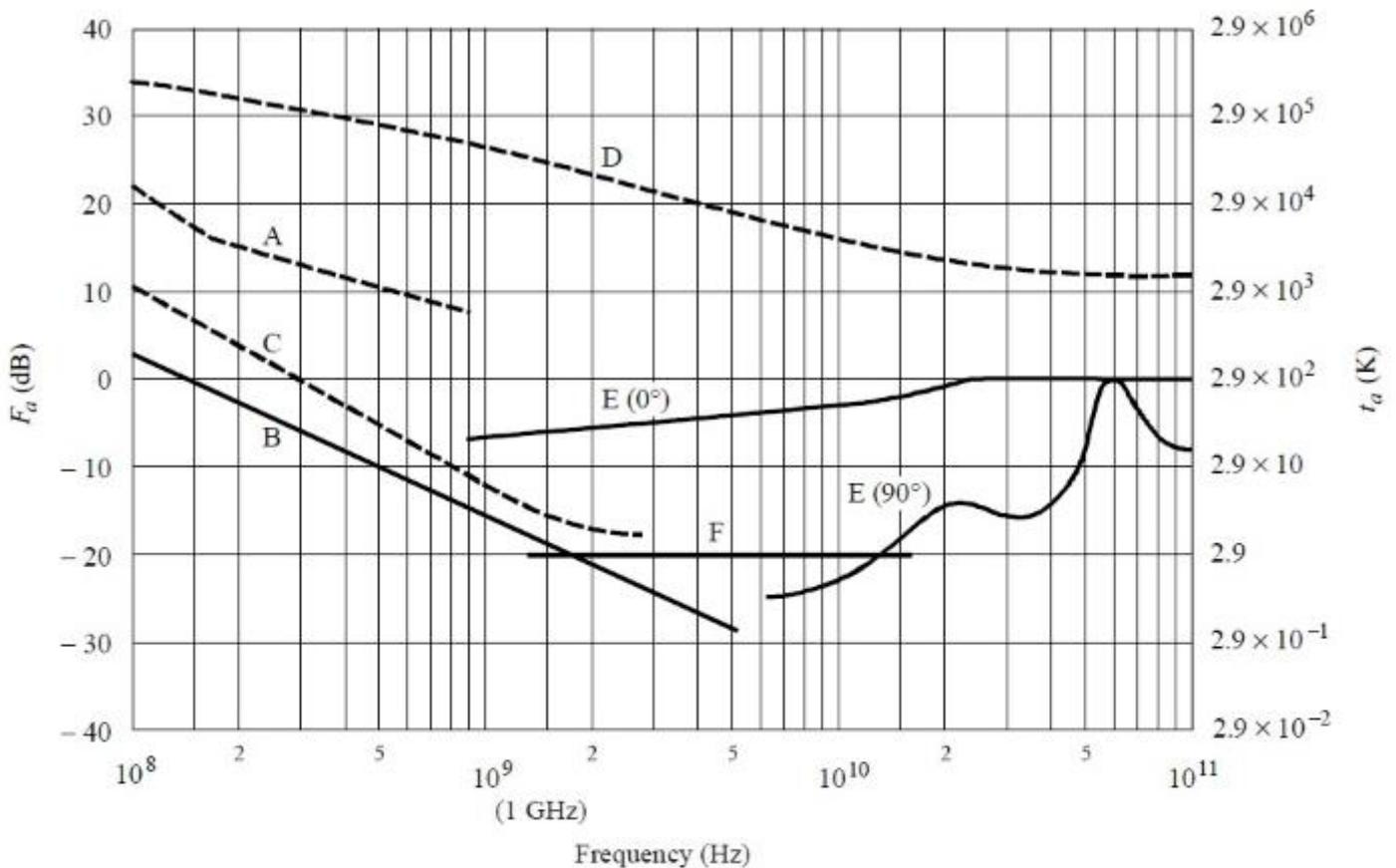
Il grafico visualizza come varia l'intensità di emissione delle principali radiosorgenti accessibili a livello amatoriale nella banda dello spettro radio da 10 MHz a 100 GHz.

Tuttavia, occorre considerare "l'affollamento" radio nella zona dove installeremo il radiotelescopio, dovuto alla presenza di varie interferenze. I disturbi artificiali, molto intensi nelle zone urbane e industrializzate, sono la vera "piaga" dell'osservazione radioastronomica: lo spettro radio è praticamente saturo di segnali ed emissioni spurie di varia natura.

Le più comuni sorgenti naturali di interferenza sono i fulmini, le scariche elettriche atmosferiche, le radioemissioni prodotte da particelle cariche nella parte superiore dell'atmosfera (disturbi ionosferici), le emissioni provenienti dai gas atmosferici e dalle idrometeore.

Le interferenze artificiali sono causate dai disturbi prodotti dalla distribuzione, dall'utilizzo e dalla trasformazione di potenza dell'energia elettrica, dalle trasmissioni radar per il controllo del traffico aereo militare e civile, dalle stazioni trasmettenti terrestri utilizzate per i servizi di diffusione radio e televisiva, dai trasmettitori e transponder sui satelliti artificiali (inclusi i sistemi *Global Positioning Satellites GPS*), dalla rete telefonica cellulare e dalle stazioni militari.

Come si vede dal seguente grafico, l'intensità dei disturbi artificiali e naturali diminuisce all'aumentare della frequenza: è ipotizzabile l'installazione di un radiotelescopio operante a 10-12 GHz nel "giardino di casa", in zona urbana, mentre è molto difficoltosa la ricezione alle frequenze più basse. In quest'ultimo caso, bisognerà scegliere una zona rurale, elettromagneticamente più "tranquilla".



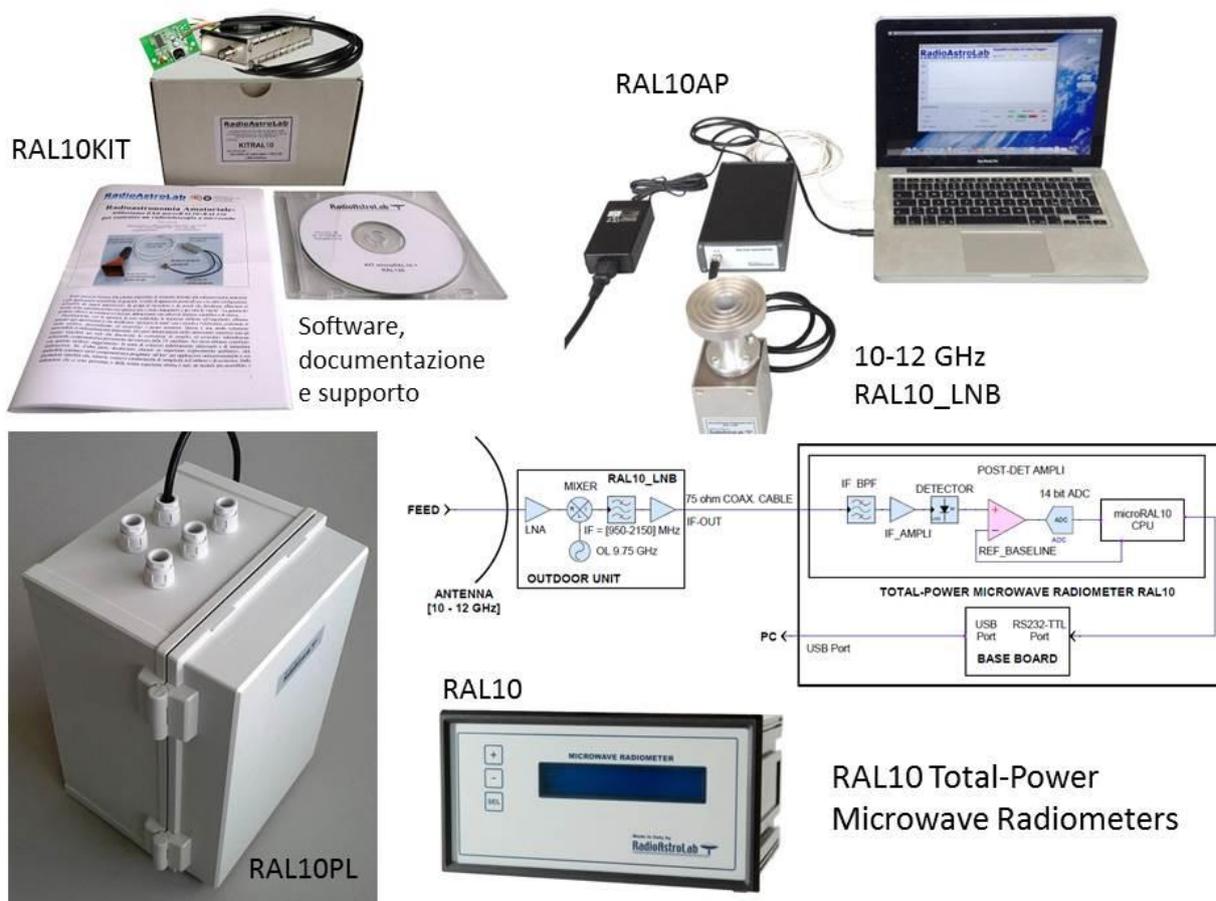
- A: estimated median business area man-made noise
 - B: galactic noise
 - C: galactic noise (toward galactic centre with infinitely narrow beamwidth)
 - D: quiet Sun ($\frac{1}{2}^\circ$ beamwidth directed at Sun)
 - E: sky noise due to oxygen and water vapour (very narrow beam antenna); upper curve, 0° elevation angle; lower curve, 90° elevation angle
 - F: black body (cosmic background), 2.7 K
- minimum noise level expected

Andamento della potenza di rumore naturale e artificiale in funzione della frequenza. Sono riportati i livelli stimati nell'intervallo da 100 MHz fino a 100 GHz (Recommendation ITU-R P.372-7 "Radio Noise").

Effettivamente, le scelte basate sull'analisi dello spettro delle radiosorgenti sono in contrasto con quelle derivanti dall'analisi dello spettro dei disturbi: siamo ad un livello di parità fra "pro" e "contro". Decisive saranno le considerazioni tecnologiche ed economiche.

Un radiotelescopio dilettantistico "per tutti" dovrebbe essere facilmente realizzabile, economico e di immediato funzionamento: il "cuore" dello strumento dovrebbe essere un modulo progettato "ad hoc" per la radioastronomia che integra le parti indispensabili di un ricevitore radioastronomico di base.

Intorno a questo nucleo, lo sperimentatore completa il radiotelescopio utilizzando parti e moduli commerciali economici e facilmente reperibili. Tutto ciò è possibile grazie alla diffusione della ricezione TV satellitare nella banda 10-12 GHz e alla reperibilità di antenne, amplificatori, cavi e un'infinità di accessori, nuovi e di recupero, adatti a costruire un perfetto radiotelescopio amatoriale.



RAL10: la famiglia di ricevitori Total-Power per radioastronomia amatoriale.

Si sa che le dimensioni dell'antenna influenzano molto il costo finale di un radiotelescopio. Anche la reperibilità commerciale di questo delicato componente gioca un ruolo fondamentale.

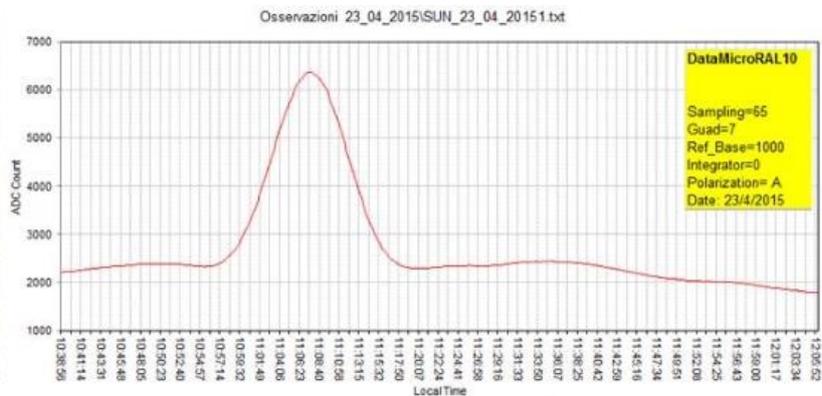
Se consideriamo che, a parità di guadagno dell'antenna (è una misura della sua attitudine a captare deboli segnali in determinate direzioni dello spazio), le sue dimensioni (quindi peso e ingombro) diminuiscono all'aumentare della frequenza, comprendiamo come sia possibile, oltre che semplice ed economico, costruire il nostro primo radiotelescopio utilizzando una comune antenna a riflettore parabolico da 1 metro di diametro per TV-SAT funzionante a 10-12 GHz.

L'unico svantaggio rimane il limitato numero di radiosorgenti misurabili: con antenne di piccolo diametro si "vedranno" solo il Sole e la Luna. Però, essendo molto intensa la loro radiazione, il loro studio rappresenta un'ottima "palestra" per iniziare a familiarizzare con gli strumenti e le tecniche della

radioastronomia, verificando il corretto funzionamento degli strumenti in vista di osservazioni più impegnative.

Per rivelare radiosorgenti più deboli, come Taurus, Cassiopea, Cygnus e Virgo, sono necessarie antenne di maggiori dimensioni, mantenendo invariato il resto del sistema.

Queste sono le ragioni che ci hanno guidato nello sviluppare la famiglia RAL10 di ricevitori Total-Power a microonde per radioastronomia amatoriale.



Tests of radio astronomy @ 11.2 GHz : the radio signals from the Sun with RAL10AP.

7. Quali espansioni future sono immaginabili con RAL10?

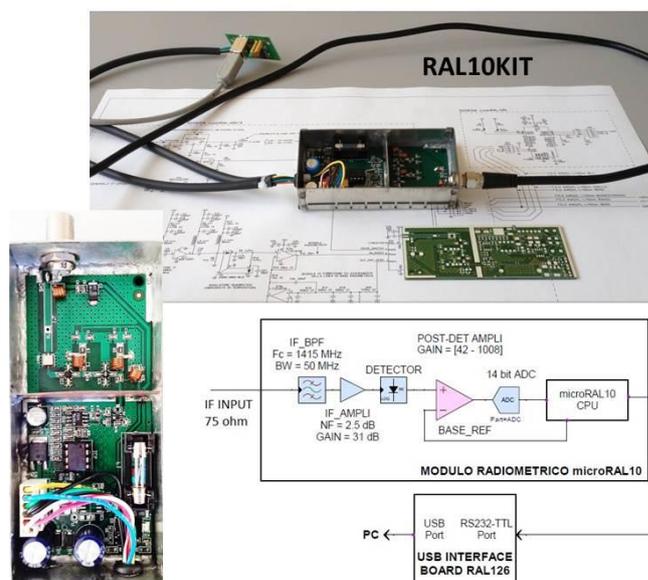
I ricevitori RAL10 sono versatili e offrono molte possibilità di utilizzo: la loro banda di ingresso, infatti, include le frequenze intermedie (IF) 900-2000 MHz, uno standard per i dispositivi *Low Noise Block Converter (LNB)* utilizzati per la ricezione della TV satellitare in banda Ku (10-12 GHz) o in banda C (3-4.5 GHz). L'effettiva frequenza di lavoro del radiotelescopio coinciderà con la frequenza di ingresso del blocco LNB scelto.

Ricordiamo che l'unità esterna LNB, spesso comprendente l'illuminatore per il riflettore parabolico, è quel dispositivo posizionato direttamente sul punto focale dell'antenna. Un cavo coassiale trasporterà al nostro ricevitore il segnale radioastronomico già convertito nella banda IF. Si tratta di un convertitore di frequenza (verso il basso) del segnale ricevuto.

Il *modulo radiometrico microRAL10*, comune a tutti i prodotti RAL10, è il "cuore" dei nostri ricevitori per radioastronomia e implementa le funzioni più importanti.

Si tratta di un radiometro gestito da un microprocessore che amplifica il segnale proveniente dal modulo LNB esterno, calcola la potenza del segnale ricevuto, "digitalizza" l'informazione e comunica con il PC della stazione attraverso una porta USB.

I parametri operativi sono programmabili e sono presenti tutte le funzioni importanti di un ricevitore radioastronomico. Il dispositivo è sensibile, stabile e caratterizzato da elevata risoluzione di misura.

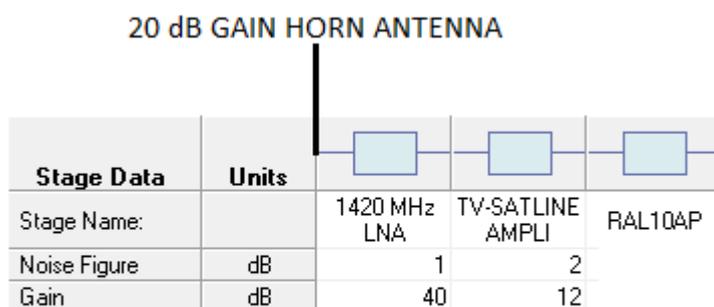


Modulo radiometrico microRAL10, l'unità centrale dei ricevitori radioastronomici a microonde della famiglia RAL10.

Se la frequenza operativa del nostro radiotelescopio non è troppo elevata, si può eliminare il blocco LNB amplificatore-convertitore esterno realizzando un amplificatore a conversione diretta. Il segnale raccolto dall'antenna sarà amplificato a basso rumore e filtrato per operare alla frequenza stabilita, con la desiderata banda passante.

In effetti, l'amplificatore di ingresso di *microRAL10* è a larga banda: non è difficile eliminare il filtro interno originale e inserire un gruppo esterno di amplificatori con un filtro passa-banda "tagliato" per la desiderata frequenza di lavoro. Ovviamente, con questa configurazione è difficile realizzare filtri passa-banda con finestra molto stretta: bisogna sempre verificare l'effettiva "pulizia" della porzione di spettro scelta.

Come esempio, le seguenti immagini mostrano un radiotelescopio sperimentale, funzionante alla frequenza "magica" di 1420 MHz, basato sul ricevitore [RAL10AP](#).



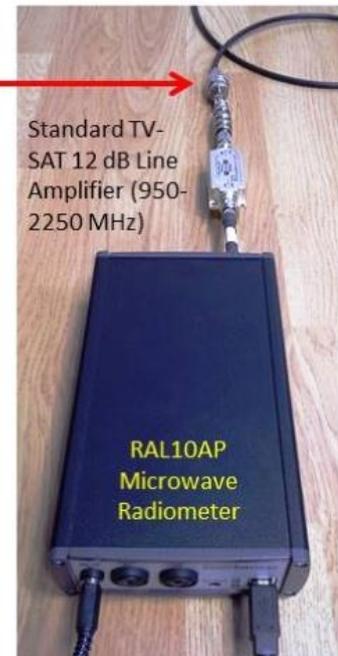
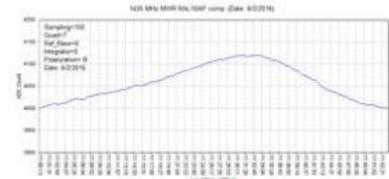
Experimental Radio Telescope used for the reception of Cygnus A to 1420 MHz

Un radiotelescopio misura l'intensità della radiazione proveniente dallo scenario osservato in unità arbitrarie [ADC count]. Queste unità rappresentano il valore numerico all'uscita del convertitore analogico-digitale (ADC), interno allo strumento, della grandezza analogica "digitalizzata" (segnale radio rivelato). Un calcolo trasforma la risposta dello strumento in unità assolute di temperatura [K] utilizzando la relazione di calibrazione del radiotelescopio.



1420 MHz – 20 dB
Horn Antenna

RadioAstroLab



How to use RAL10AP Microwave Radiometer for receiving radio emission of the Milky Way at 1420 MHz.

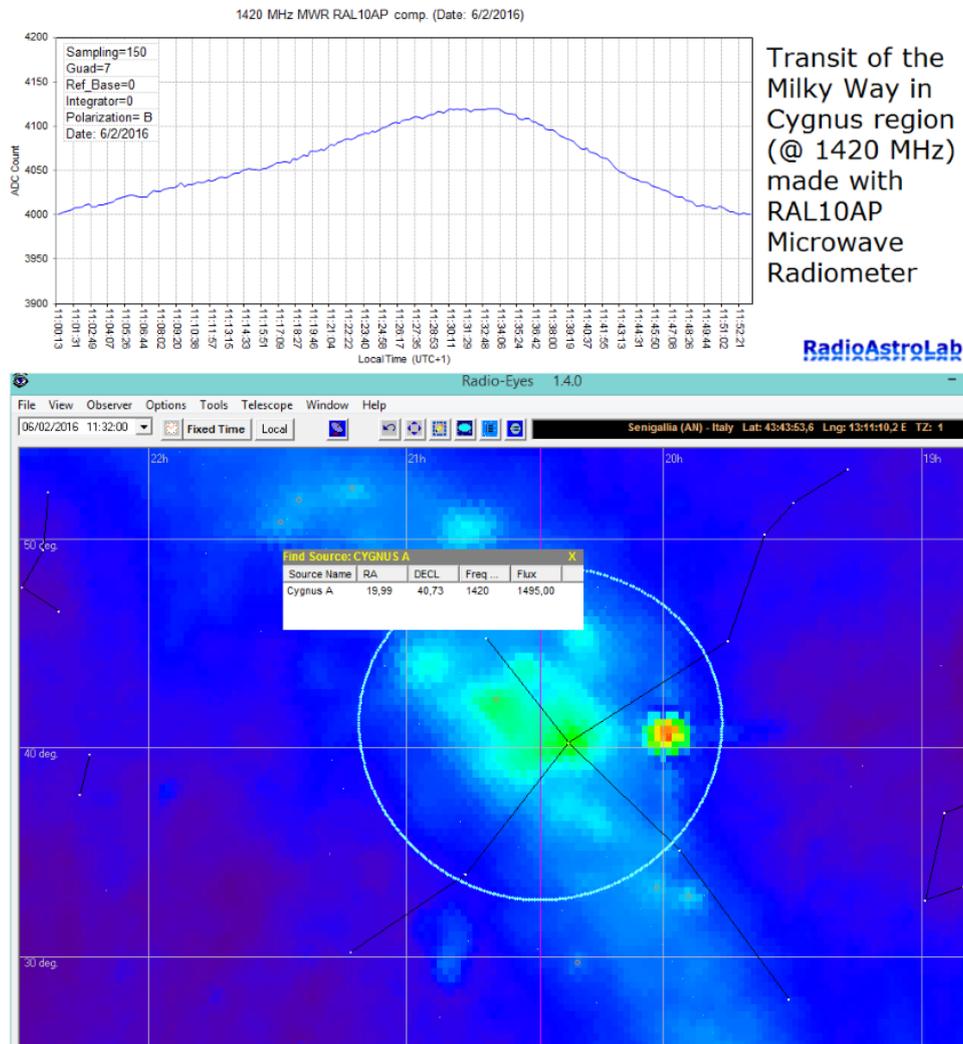
Esempio di ricevitore ad amplificazione diretta costruito “attorno” al radiometro RAL10AP. Si è utilizzata un’antenna horn (20 dB di guadagno), un amplificatore a basso rumore (LNA) con filtro passa-banda centrato sulla frequenza di 1420 MHz (collegato subito dopo l’antenna), 30 metri di cavo coassiale che trasporta il segnale all’interno della stazione. Prima di collegare il cavo al ricevitore RAL10AP si è inserito un amplificatore di linea commerciale per TV-SAT.

Noi proponiamo strumenti pensati e progettati “ad hoc” per il radioastronomo dilettante: semplici, modulari e pronti all’uso, che lasciano spazio alla fantasia costruttiva del singolo appassionato e offrono molte possibilità di espansione.

Se avrete la pazienza e il piacere di seguirci, troverete ampia documentazione sui nostri prodotti che cresce e si sviluppa nel tempo. Sarà sempre disponibile il software che controlla i nostri strumenti, gratuito e aggiornato, mentre le nostre pagine ospiteranno molti esempi di realizzazioni e di esperimenti basati sui ricevitori Total-Power RAL10, realizzati da noi o dai nostri amici desiderosi di condividere l’affascinante esperienza della ricerca radioastronomica amatoriale.

Spazio alla fantasia!

Utilizzando i nostri moduli base, l’ampia offerta di componenti e accessori provenienti dal mercato della TV Satellitare e il nostro supporto, non ci sono limiti alla personalizzazione del proprio strumento.



Transito della Via Lattea (regione del Cigno) effettuato con un radiotelescopio sperimentale basato sul ricevitore [RAL10AP](#). Il sistema rivela l'emissione radio della galassia a 1415 MHz (con una larghezza di banda teorica di 50 MHz). La radiazione comprende la componente continua e il contributo dell'idrogeno neutro a 1420.406 MHz, che rientra nella "finestra di ricezione" del radiotelescopio. Questa registrazione non mostra il profilo della riga dell'idrogeno neutro, ma l'emissione continua della Galassia e della radiosorgente Cygnus A non risolte a causa dell'ampio "campo di vista" dell'antenna (dell'ordine di 16°).

8. Il radiotelescopio diventa uno strumento di misura

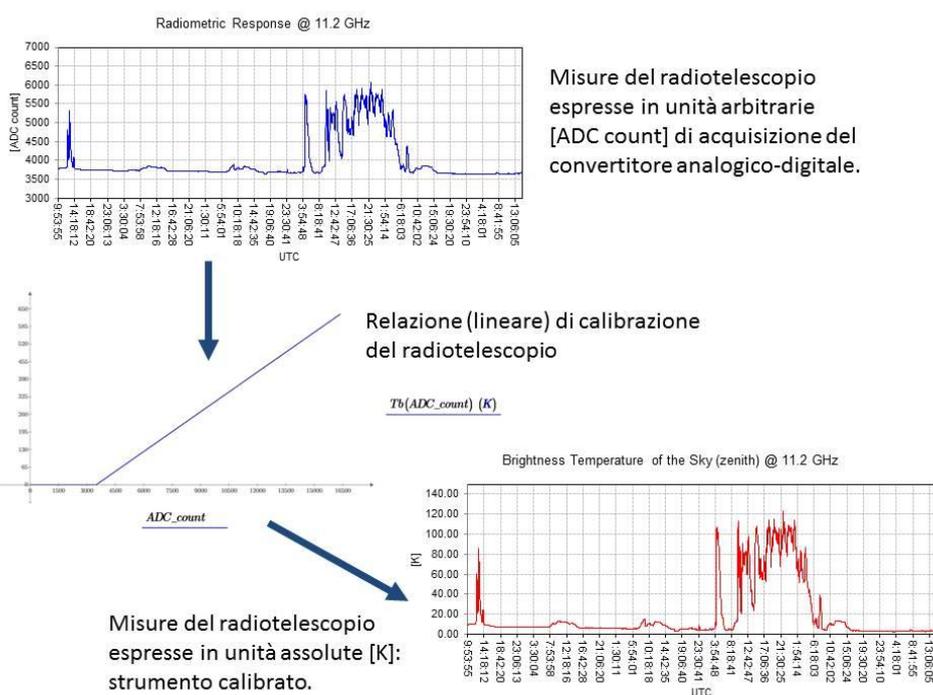
Ogni strumento analizza una grandezza secondo una scala di specificate unità di misura.

Questo è vero anche per un radiotelescopio: in effetti, una parte molto importante e delicata del suo funzionamento riguarda proprio la calibrazione. È necessario stabilire una procedura di taratura per ottenere all'uscita del radiotelescopio dati coerenti con una scala assoluta di temperature di brillantezza (o di unità di flusso).

Le tolleranze costruttive e le condizioni ambientali causano variazioni nei parametri operativi dei componenti del ricevitore, inoltre ogni strumento è unico nella sua risposta ed è difficile confrontare le misure eseguite da diversi radiotelescopi o quelle dello stesso impianto effettuate in tempi diversi.

Osservando ripetutamente una radiosorgente è possibile riscontrare cambiamenti nell'intensità del picco di emissione. È importante capire se tali fluttuazioni sono dovute a reali variazioni nel flusso della sorgente o a variazioni indesiderate nella risposta dello strumento: è quindi necessario utilizzare un sistema di misurazione universale.

La procedura di calibrazione di un radiotelescopio serve a stabilire una relazione fra la temperatura di brillantezza dello scenario osservato [K] e una data quantità in uscita dallo strumento [ADC count].



Un radiotelescopio misura l'intensità della radiazione proveniente dallo scenario osservato in unità arbitrarie [ADC count].

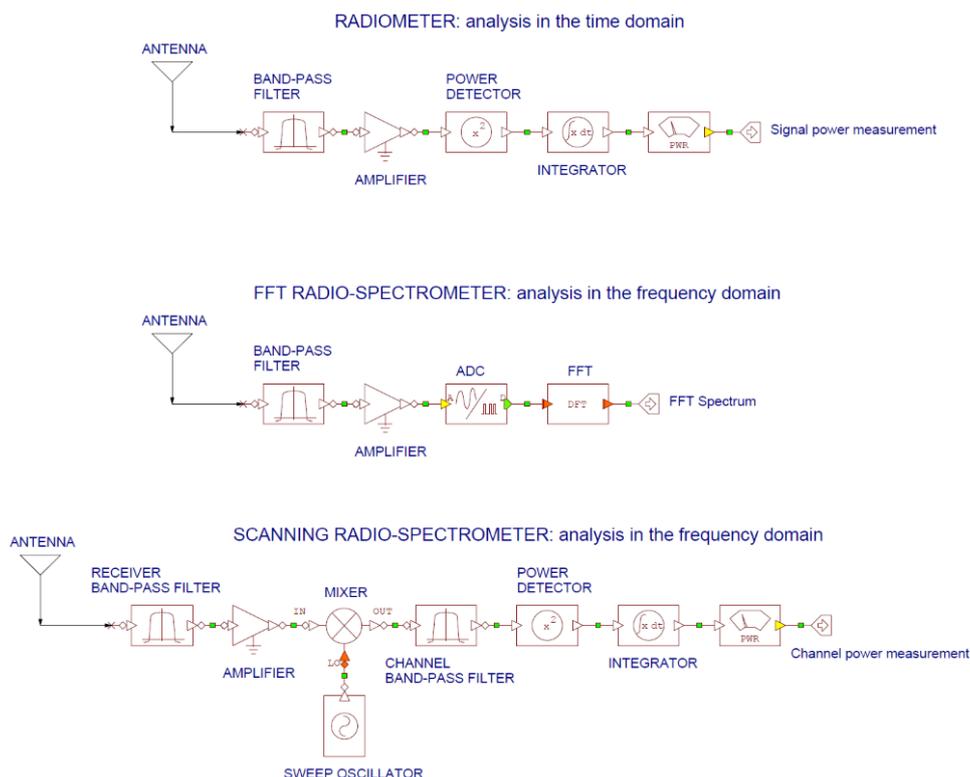
Queste unità rappresentano il valore numerico all'uscita del convertitore analogico-digitale (ADC), interno allo strumento, della grandezza analogica "digitalizzata" (segnale radio rivelato). Un calcolo trasforma la risposta dello strumento in unità assolute di temperatura [K] utilizzando la relazione di calibrazione del radiotelescopio.

9. Radiometro o radio spettrometro?

Il *radiometro* è un ricevitore che misura la potenza media della radiazione captata dall'antenna all'interno della sua "finestra" di ricezione, mostrando come varia nel tempo la potenza del segnale ricevuto. Come si vede dalla seguente figura, il processo di rivelazione quadratica e di successiva integrazione non conserva le caratteristiche spettrali del segnale: fornisce un singolo valore che rappresenta la sua potenza media entro la banda passante del ricevitore.

Se si utilizzano ricevitori a larga banda e stabili (il fattore di amplificazione del sistema e la caratteristica del rivelatore non dovrebbero variare durante la misura), si raggiungono sensibilità molto elevate, soprattutto grazie alla possibilità di integrare il segnale rivelato (operazione di media mobile utilizzando molti campioni di segnale) con lunghe costanti di tempo, ammesso che il fenomeno da studiare sia sufficientemente stazionario nel tempo.

Per studiare il segnale nel dominio della frequenza, evidenziando la sua "firma" spettrale e individuando le varie componenti di diversa frequenza distribuite all'interno della banda passante del ricevitore, è necessario adottare una differente struttura.



Architetture basilari di ricevitori utilizzati in radioastronomia: radiometri e radio-spettrometri.

Trascurando la complessa e costosa architettura del radio-spettrometro con banchi di filtri a banda stretta, obsoleta e di scarso interesse, le due tipologie utili sono il *radio-spettrometro a scansione di frequenza* e il *radio-spettrometro FFT*.

Il primo è un ricevitore a conversione di frequenza (principio dell'eterodina) dove è periodicamente scansionata la sua "finestra" di ricezione tramite un oscillatore locale a frequenza variabile che trasla, all'interno del canale a frequenza intermedia, una stretta porzione delle frequenze ricevute. Ad ogni passo di scansione è calcolata la potenza di segnale come in un radiometro. Terminata la scansione, avremo una rappresentazione completa dello spettro di potenza del segnale ricevuto.

Questa rappresentazione sarà tanto più accurata (e più lenta) quanto più stretta sarà la banda passante del filtro di canale a frequenza intermedia rispetto alla banda di ricezione. Inoltre, maggiore sarà la costante di integrazione che esegue la media della potenza di canale, minore sarà l'ampiezza di rumore visibile nella traccia e ancora più lenta sarà la scansione. Questi parametri si ottimizzano in funzione delle caratteristiche di stazionarietà nel tempo del segnale misurato e della sensibilità richiesta per il sistema ricevente.

Per ottenere anche l'informazione di fase delle varie componenti spettrali, come accade negli analizzatori vettoriali da laboratorio, sono necessari circuiti aggiuntivi.

Un radio-spettrometro a scansione di frequenza non analizza in tempo reale tutta la banda di ricezione: durante ogni periodo di scansione è misurata solo la piccola porzione di frequenze selezionata dall'oscillatore locale, ampia quanto la banda passante del filtro di canale a frequenza intermedia. Per catturare eventuali rapide variazioni spettrali è necessario prevedere una scansione sufficientemente "agile", a svantaggio della sensibilità legata all'integrazione del segnale rivelato.

Molti radiotelescopi dilettantistici che analizzano il profilo della riga dell'idrogeno a 1420 MHz, ad esempio, operano secondo questo principio, utilizzando ricevitori per radioamatori come analizzatori di spettro a scansione di frequenza.

Non sono richieste prestazioni particolarmente spinte nell'elaborazione dei dati: l'uscita contiene già l'informazione sull'intensità di ogni componente spettrale. Si tratta di "digitalizzare" il segnale rivelato ad ogni passo di scansione con un convertitore analogico-digitale (ADC) non particolarmente veloce, gestendo il processo di misura tramite software dedicato su PC.

Un radio-spettrometro efficiente utilizza tecniche numeriche per calcolare istantaneamente lo spettro del segnale presente all'interno della banda passante del ricevitore. Ciò è possibile grazie all'evoluzione dei moderni dispositivi elettronici e alla potenza di calcolo dei Personal Computer (PC).

Come si vede dallo schema a blocchi, la struttura del *radio-spettrometro FFT* è concettualmente molto semplice, anche se tecnologicamente avanzata: tutta la banda passante del ricevitore (direttamente o dopo una traslazione in frequenza) è acquisita tramite un convertitore analogico-digitale veloce e i relativi campioni nel dominio del tempo sono convertiti in campioni spettrali (nel dominio della frequenza) da un

processore (è quasi sempre un PC gestito da software dedicato) che utilizza l'algoritmo matematico DFT (*Discrete Fourier Transform*), una versione numerica della trasformata veloce di Fourier (FFT).

Si ottiene, così, lo spettro istantaneo dei segnali presenti all'interno della banda passante dello strumento. È ovvio che, nel caso sia presente uno stadio di conversione (eterodina) della frequenza di ricezione, l'oscillatore locale (fisso) debba essere caratterizzato da elevata purezza spettrale e stabilità per non degradare le prestazioni dello strumento.

L'evidente vantaggio di questo sistema è la possibilità di analizzare, in tempo reale (latenze di calcolo a parte), ampie larghezze di banda nel dominio della frequenza. Naturalmente, le effettive prestazioni del sistema sono funzioni della capacità tecnologica dei dispositivi utilizzati (ADC veloci) e della potenza di calcolo del processore che esegue la DFT.

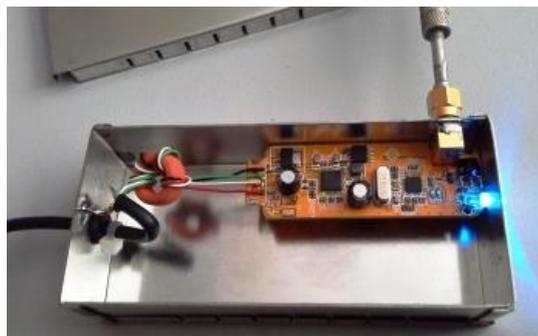
Lo strumento è molto utilizzato nel monitoraggio dei disturbi presenti nelle bande di frequenza di interesse radioastronomico, nel monitoraggio dei detriti spaziali e degli eventi meteorici (tecniche di tracciatura con radar bi-statico), nello studio delle righe molecolari, nelle ricerche SETI e in molte altre applicazioni.

Nei prossimi capitoli descriveremo un radio-spettrometro da noi realizzato (prototipo *RALSpectrum*) per lo studio della riga spettrale dell'idrogeno neutro a 21 centimetri e un analogo ricevitore costruito per esperimenti Meteor Scatter in banda VHF.

Grazie alla diffusione delle architetture SDR (*Software Defined Radio*), all'incremento nella potenza di calcolo dei PC e alla possibilità di reperire sul web ottimi programmi gratuiti per l'analisi spettrale, è oggi possibile realizzare economici radio-spettrometri utilizzabili in applicazioni di radioastronomia amatoriale.

Ancora una volta, navigando sul web si trovano numerosi esempi e fantasiose applicazioni, che spaziano dalla ricezione della radiazione sporadica di Giove e delle radio-tempeste solari nella banda di frequenze da 20 MHz fino ad oltre 40 MHz, alla ricezione dei radio-echi di meteore in banda VHF, fino allo studio della riga dell'idrogeno neutro a 1420 MHz e alle ricerche SETI.

Questo è un settore in continua e rapida evoluzione: anche nelle nostre pagine presenteremo progetti, esperimenti e prodotti dedicati allo studio nel dominio della frequenza di segnali radioastronomici.



Un esempio molto noto (e documentato sul web) di radio-spettrometro “minimale” ed economico utilizzabile per esperimenti di radioastronomia amatoriale: si tratta di una chiavetta USB originariamente prodotta come USB 2.0 DIGITAL TV TUNER RECEIVER, da noi modificata per migliorare la dissipazione termica e l’immunità ai disturbi esterni.

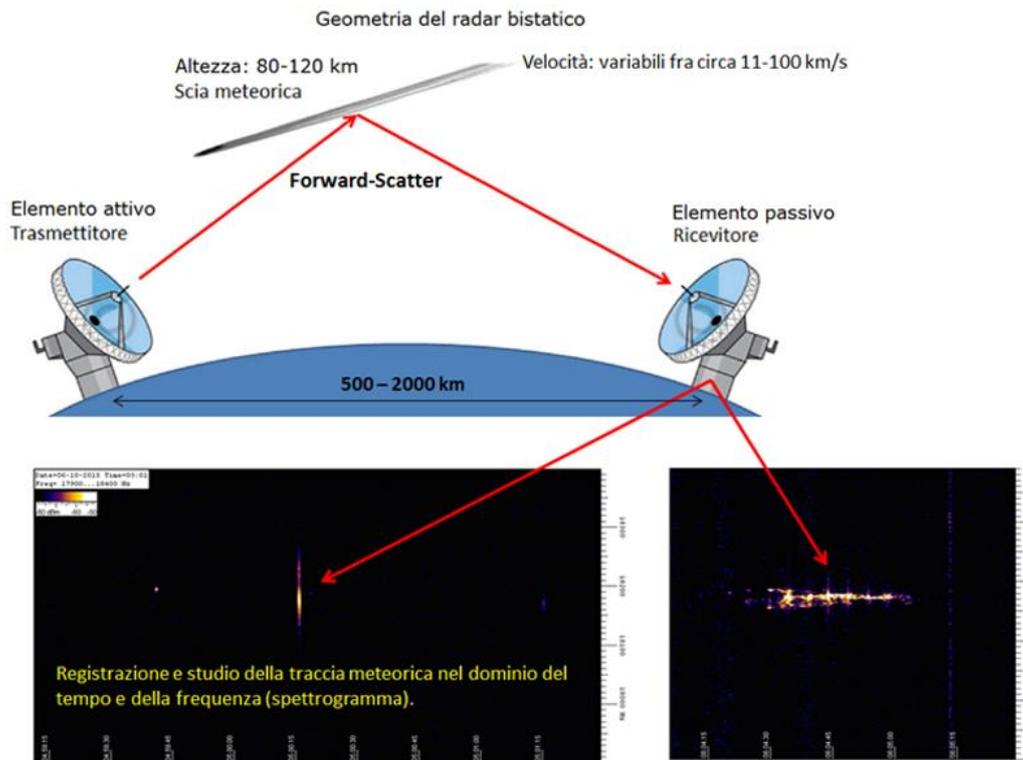
Abbinando a questo dispositivo antenne, amplificatori RF a basso rumore (LNA) ed, eventualmente, filtri di banda per migliorare la dinamica di ricezione e ottimizzare l’immunità alle interferenze esterne, si possono sintonizzare frequenze da circa 20 MHz fino a circa 1500 MHz con una banda passante istantanea fino a 10 MHz. Sono reperibili e scaricabili gratuitamente sul web driver e software per trasformare questi dispositivi in “radio-scanner”.

10. Osservazione radio degli eventi meteorologici

Un’attività molto interessante è l’osservazione radio di fenomeni astronomici che influenzano la ionosfera terrestre.

In questo caso, non si dovrebbe parlare di radioastronomia, se con questo termine indichiamo l’osservazione di sorgenti cosmiche, esterne all’atmosfera terrestre. Tuttavia, è consuetudine, a livello amatoriale, includere nel campo della radioastronomia anche l’analisi di fenomeni astronomici che producono effetti misurabili nello spettro radio, come le perturbazioni ionosferiche indotte dagli eventi meteorici o dall’attività del Sole.

È interessante illustrare la tecnica *Meteor Scatter* che utilizza una configurazione di radar bistatico per registrare le riflessioni radio prodotte dalle tracce ionizzate che si formano (a circa 100 km di quota) quando oggetti molto veloci, provenienti dallo spazio esterno, si consumano entrando nell’atmosfera terrestre.



L'immagine della geometria del radar bistatico è stata ripresa dal documento: "Sistema a uso didattico per la ricezione di echi radar meteorici" – G. Pupillo, C. Bortolotti, M. Roma – IRA 483/14. Gli spettrogrammi mostrati in basso sono registrazioni di echi meteorici effettuate dalla nostra stazione VHF sperimentale.

Si sintonizza il ricevitore (tipicamente nella banda VHF, da circa 30 MHz a 200 MHz) sulla frequenza di un potente trasmettitore radio, abbastanza distante da non essere normalmente ricevuto per onda diretta a causa della curvatura terrestre. Il trasmettitore "illumina" costantemente una vasta porzione di cielo. Solo quando la traccia meteorica riflette o diffonde obliquamente (*forward scattering*) le onde radio incidenti generate dal trasmettitore, queste possono raggiungere il ricevitore e produrre un eco radar.

Il fenomeno (con una durata tipica da frazioni di secondo a qualche secondo) si studia analizzando l'evoluzione nel tempo dello spettro associato alla riflessione radio della traccia meteorica ionizzata (spettrogramma), utilizzando software reperibili gratuitamente sul web. Misurando l'intensità del segnale ricevuto e il suo spostamento doppler in frequenza, si ricavano importanti informazioni sul movimento della sorgente.

Il sistema è concettualmente semplice ed economico, alla portata di tutti: è sufficiente avere un buon ricevitore VHF operante sulla stessa frequenza del trasmettitore, un'antenna (tipicamente una yagi) e un PC equipaggiato con il software adatto.

Si possono scegliere vari trasmettitori come "illuminatori" del cielo: stazioni emittenti FM commerciali operanti nell'intervallo 88-108 MHz (non è cosa sempre agevole, visto l'affollamento in banda), emittenti

TV analogiche (purtroppo ne sono rimaste poche, tutte nell'Europa dell'est), oppure trasmettitori dedicati come quello francese del radar GRAVES, operante a 143.050 MHz e utilizzato per controllare i detriti spaziali in orbita attorno alla Terra.

Per le nostre sperimentazioni abbiamo optato per questa scelta.

È molto importante che il trasmettitore garantisca un servizio continuo e si trovi a una distanza, dalla stazione ricevente, compresa fra 500 e 2000 km. È desiderabile che la potenza di segnale trasmessa sia stabile, ad onda continua non modulata (CW) e che il fascio dell'antenna trasmittente "illumini" sempre la stessa zona di cielo, senza variazioni spaziali.

Molta documentazione è reperibile sul web che illustra i principi e le tecniche di questa interessante attività di ricerca, particolarmente accessibile all'appassionato. Le seguenti immagini illustrano i nostri esperimenti.

RAL_MET Station - Senigallia (AN), Italy

The bi-static radar receiver section that uses the 143.050 MHz transmitter GRAVES (France) for the study of meteors with Meteor Scatter technique.

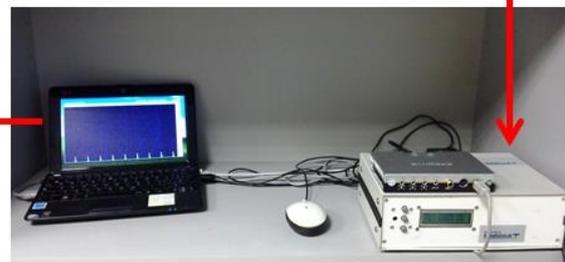
RadioAstroLab



Recording and periodic analysis of the spectrogram (Spectrum Lab software specially configured).



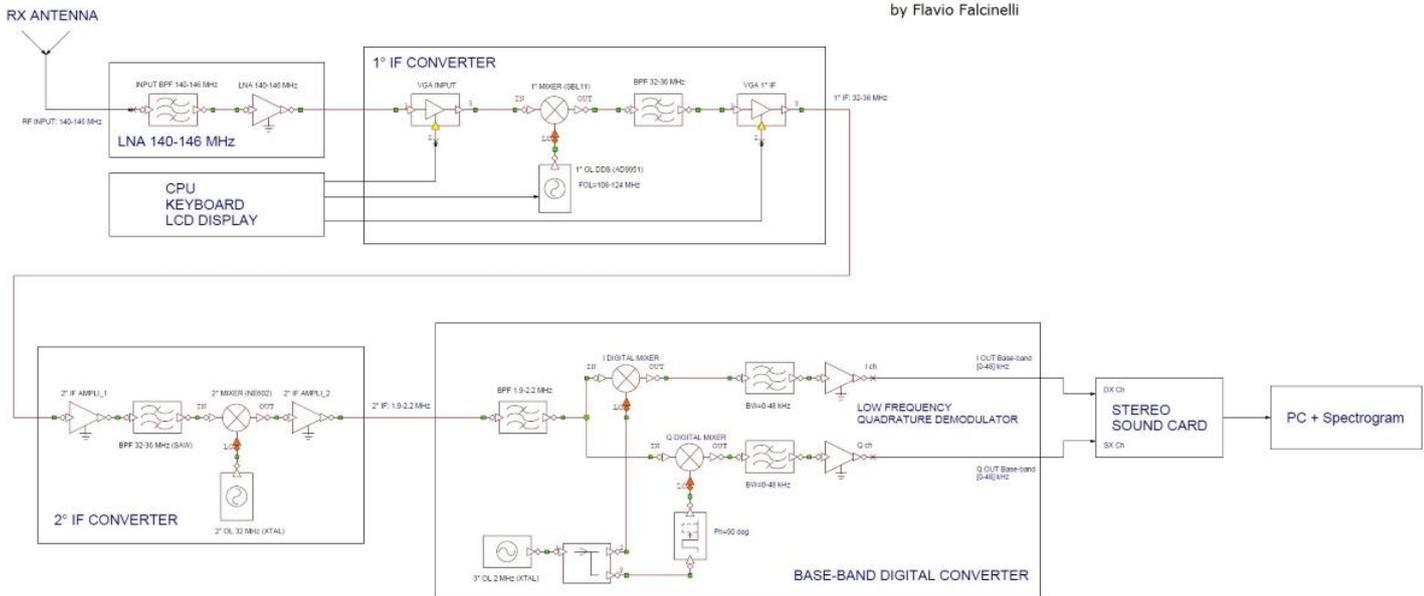
Antenna LNA with 143.050 MHz band-pass filter.



RAL_MET receiving station: working continuously 24 hours a day.

RALmet: RICEVITORE 140-146 MHz per METEOR SCATTER

by Flavio Falcinelli



Stazione RADAR Graves – France 143.050 MHz ELEMENTO ATTIVO del RADAR BI-STATICO



Stazione fissa Senigallia (AN) – Italy
 ELEMENTO PASSIVO del RADAR BI-STATICO

La nostra stazione Meteor Scatter sperimentale operante a 143.050 MHz, ottimizzata per la ricezione degli echi meteorici prodotti dal radar francese GRAVES. Il ricevitore e l'antenna sono stati costruiti "ad hoc". La stazione opera con continuità registrando, ad intervalli di tempo regolari, gli spettrogrammi ricevuti. Ogni giorno sono scaricati i dati dal PC di stazione e analizzati. Si eseguono conteggi di eventi, analisi statistiche e analisi spettrali.

Caratteristiche tecniche della stazione ricevente:

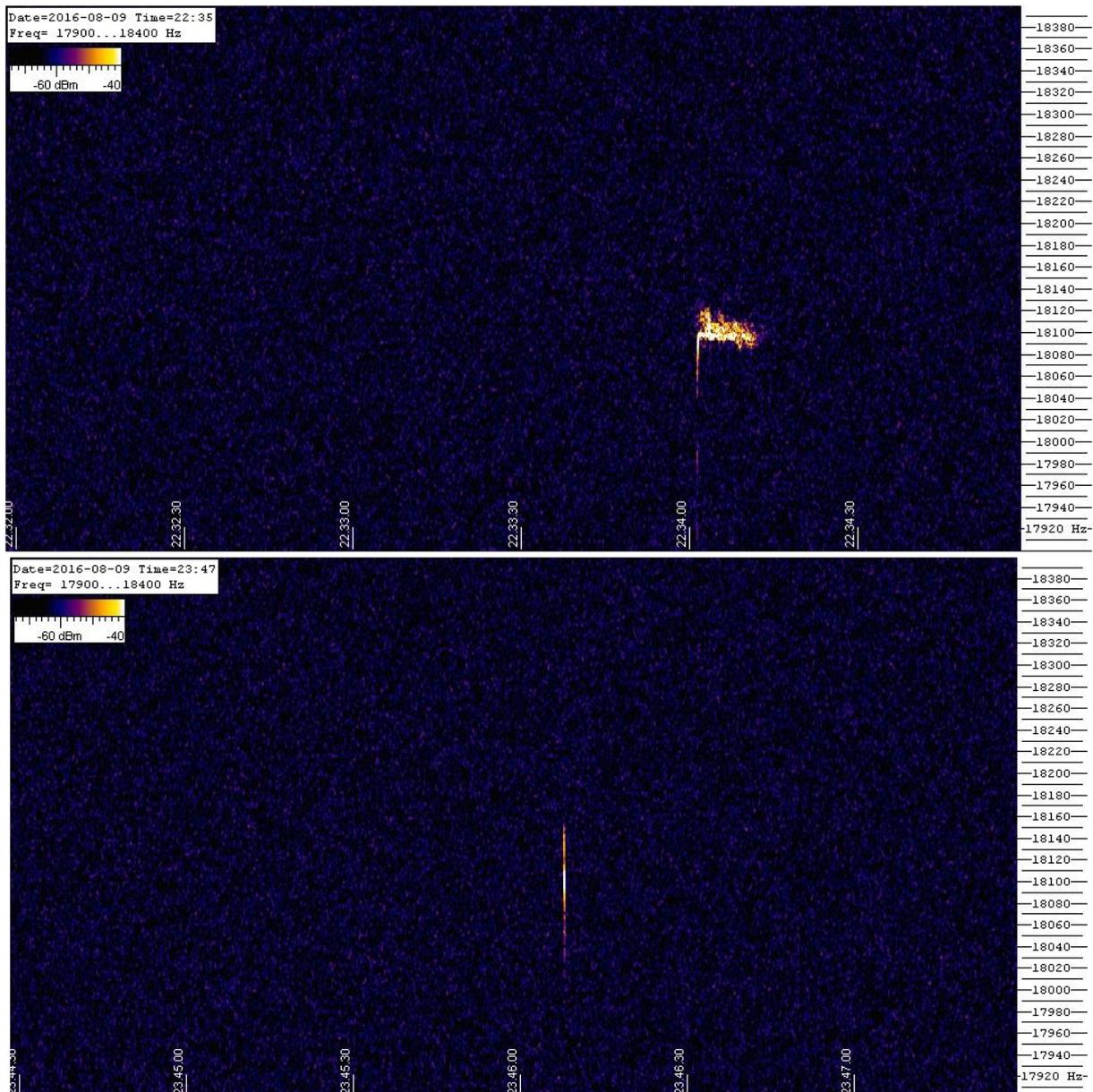
ANTENNA: dipolo rigido con balun;

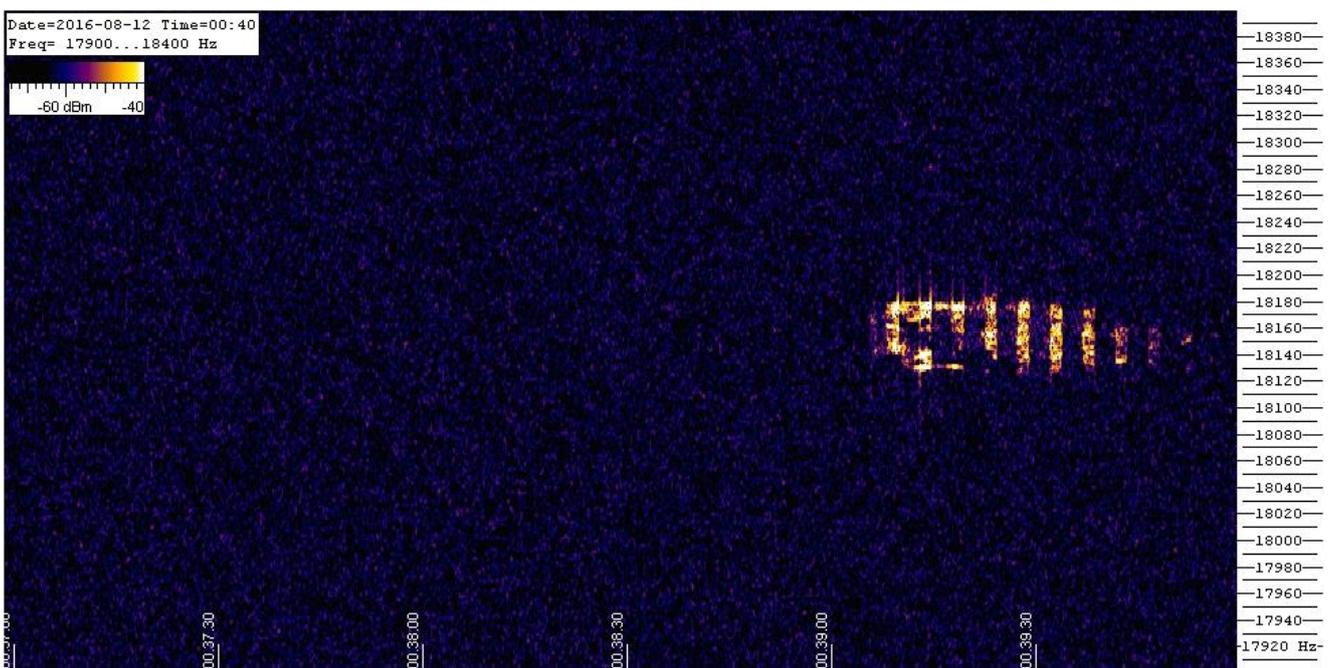
RICEVITORE: a tripla conversione di frequenza, con DDS come primo oscillatore locale;

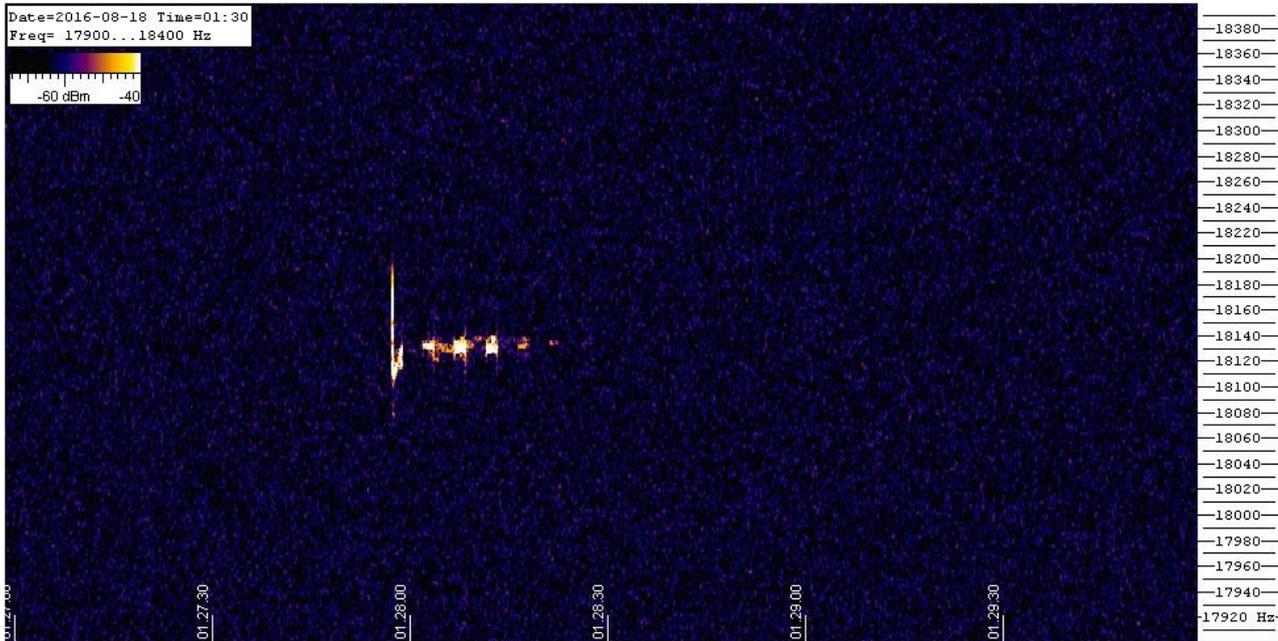
Uscita in banda-base audio [0-48 kHz], segnali in quadratura I & Q;

ACQUISIZIONE: scheda audio esterna 24 bit, 96 kHz sample rate;

SOFTWARE: Spectrum Lab (free by DL4YHF).

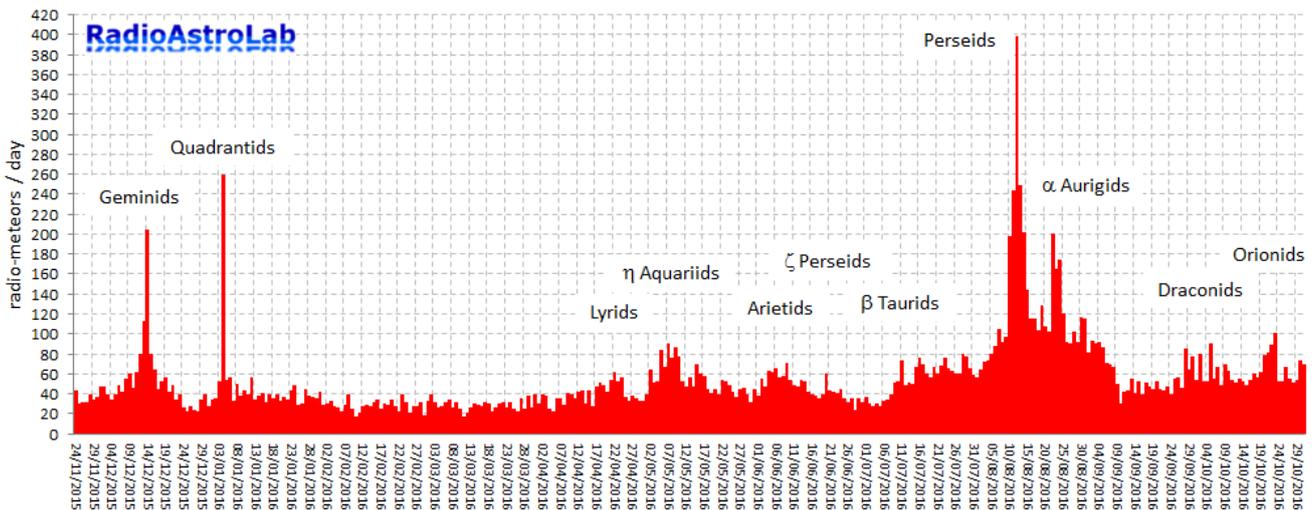






Esempio di spettrogrammi che documentano eventi meteorici notevoli catturati dalla nostra stazione sperimentale.

Radio Meteors @ 143.050 MHz GRAVES radar - By RadioAstroLab (2015 - 2016)



Il grafico mostra il conteggio aggiornato di eventi “radio-meteorici” registrati con continuità dalla nostra stazione fissa.

La ricerca evidenzia i principali sciami meteorici: durante i previsti giorni di massimo, il numero di eventi registrati aumenta rispetto al valore di fondo dovuto al flusso sporadico.

La sperimentazione, tuttora in corso, merita qualche considerazione tecnica.

Come si può verificare “passeggiando” sul web, molte ed eccellenti, oltre che diversificate, sono le sperimentazioni in questo settore, soprattutto condotte da radioamatori. Qui, evidenzieremo gli aspetti peculiari del nostro progetto, tenendo conto dell’esperienza guadagnata durante il lungo e paziente lavoro di analisi dei risultati.

Molta cura è stata dedicata alla costruzione di un ricevitore “ad hoc” (molto stabile, privo di qualsiasi automatismo nel controllo della frequenza e del guadagno), centrato sulla frequenza di 143.050 MHz del trasmettitore radar francese Graves (distante circa 725 km in linea d’aria dalla nostra stazione), che costituisce il polo emittente del radar bi-statico. L’antenna è un semplice dipolo appositamente costruito. Per compensare il suo scarso guadagno è stato inserito un pre-amplificatore ben filtrato.

L’ampio lobo di ricezione del dipolo è un grande vantaggio: se opportunamente orientato rispetto al trasmettitore e collocato ad una giusta altezza dal terreno, consente la ricezione degli echi meteorici senza eccessive restrizioni dal punto di vista dell’orientamento, in sicurezza rispetto agli eventi meteorologici più violenti. Quando un’antenna di questo tipo è abbinata a un ricevitore adatto, ottimizzato nella sua banda passante (solo quella che serve...), seguito da un software di acquisizione degli spettrogrammi opportunamente configurato come *Spectrum Lab* (eccellente lavoro di Wolfgang Büscher – DL4YHF), i risultati sono ottimi, almeno per gli obiettivi del nostro progetto.

Pur accettando una ridotta sensibilità di antenna, abbiamo potuto verificare come una discreta distanza dal trasmettitore (Graves nel nostro caso), così da impedire la ricezione diretta della sua portante (insieme a tutti i radio-echi spuri collegati anche con il passaggio degli aerei...), insieme ad un ottimo accoppiamento antenna-ricevitore, siano fondamentali per discriminare senza errori le tracce dovute agli eventi meteorici.

Per scelta, si è evitato qualsiasi sistema automatico per il conteggio degli eventi: dopo molte prove, è stato configurato *Spectrum Lab* per l’acquisizione di entrambi i canali in banda-base I & Q (diretto e in quadratura) del ricevitore (acquisiti da una scheda audio esterna al PC) con reiezione della frequenza immagine, esaltando la risoluzione in frequenza dello spettrogramma e impostando una registrazione automatica e periodica dei dati (uno spettrogramma ogni 3 minuti).

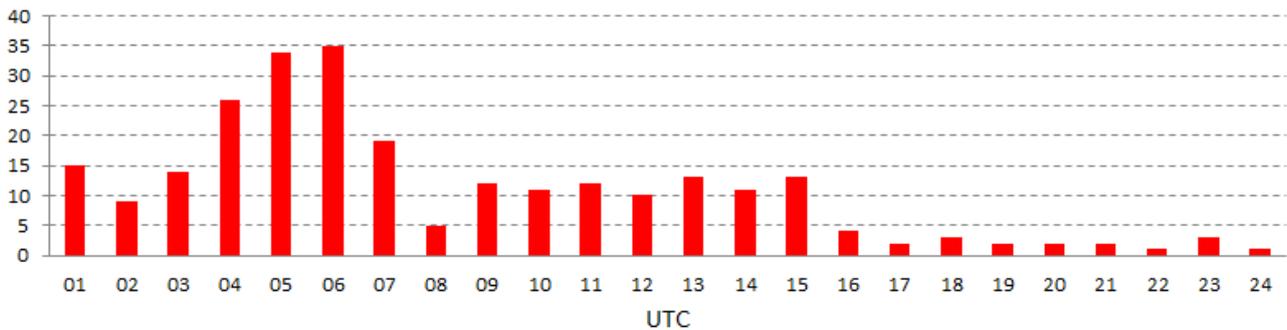
L’utilizzo del software *TeamViewer* consente il controllo remoto del PC di acquisizione, comodamente da casa, con la possibilità di scaricare ogni giorno gli spettrogrammi registrati.

La successiva analisi è visuale: si esaminano pazientemente le singole registrazioni per individuare le “firme”spettrali degli eventi meteorici. Questo modo di procedere, indubbiamente impegnativo rispetto al conteggio automatico, è molto preciso e affidabile (minimizza, soprattutto, il conteggio di “falsi” eventi), anche se richiede un periodo di “rodaggio” iniziale per guadagnare esperienza.

Molto altro ci sarebbe da dire....ne parleremo nei successivi aggiornamenti.

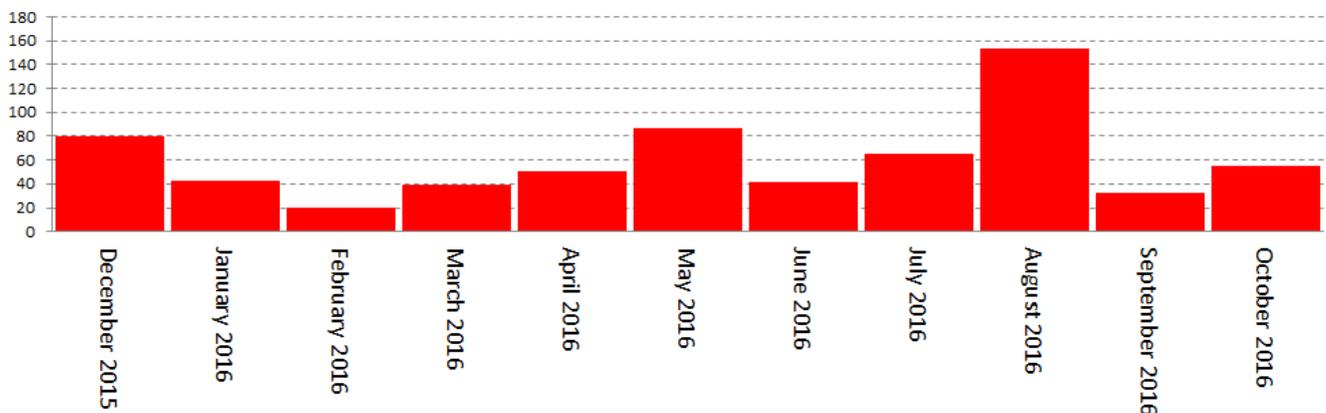
La sperimentazione continua.

N. Meteors/hour (04.01.2016) @ 143.050 MHz GRAVES Radar



Sono state conteggiate le radio-meteorite registrate ogni ora dalla nostra stazione, nell'arco di una giornata. Si vede come il massimo del flusso meteorico avvenga verso le prime ore del mattino, mentre il minimo verso le ore pomeridiane e serali: anche se il numero giornaliero di eventi radio-meteorici è caratterizzato da ampia variabilità diurna, mediamente il rapporto tra il picco del massimo e quello del minimo è dell'ordine di 5. Il numero di eventi osservati durante la giornata sarà massimo durante le prime ore del mattino, quando l'osservatore "impatta" frontalmente con il flusso meteorico a causa del moto di avanzamento della Terra nello spazio.

N. Fireballs per month @ 143.050 MHz GRAVES Radar



In questo grafico sono stati conteggiati gli echi meteorici più significativi (chiamati genericamente "radio-bolidi") registrati nell'arco di un mese. Il criterio di classificazione è empirico, basato sull'analisi visuale degli spettrogrammi registrati ogni giorno dalla nostra stazione fissa: tutti gli eventi sono stati conteggiati, mentre sono state salvate solo le immagini degli spettrogrammi che riportano le riflessioni radio più intense e di maggiore durata.

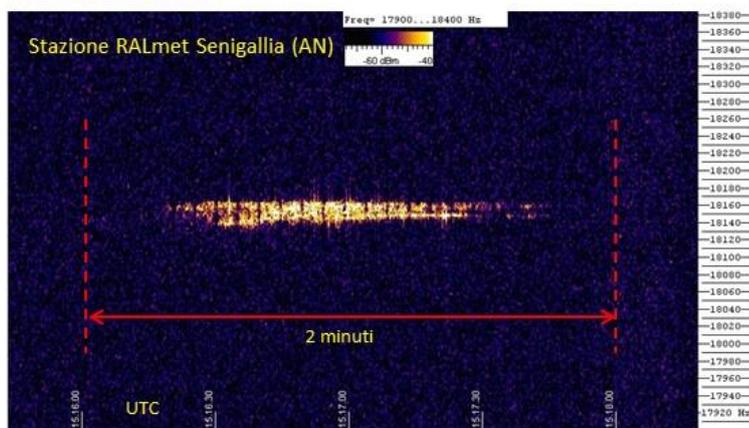
Eventi così interessanti meritano, indubbiamente, analisi ben più accurate e complete di quelle mostrate in questa pagina, che devono essere considerate come uno stimolo e un punto di partenza per sperimentare in questa affascinante attività.

Ci preme sottolineare come sia effettivamente semplice ed economico installare una stazione permanente dedicata allo studio degli eventi meteorici attraverso la tecnica Meteor Scatter in banda VHF, attività che

può essere coordinata con altri osservatori, sia nel visuale, sia in radio, così da verificare possibili correlazioni di eventi, soprattutto durante i più importanti sciami meteorici dell'anno.

Concludendo, riportiamo alcune animazioni che mostrano, in sequenza, gli eventi radio-meteorici mensili più importanti, come intensità, forma e durata. Queste registrazioni, che aggiorneremo periodicamente, sono molto importanti perché rappresentano le "firme spettrali" dei fenomeni osservati e sono la base per una loro classificazione e interpretazione.

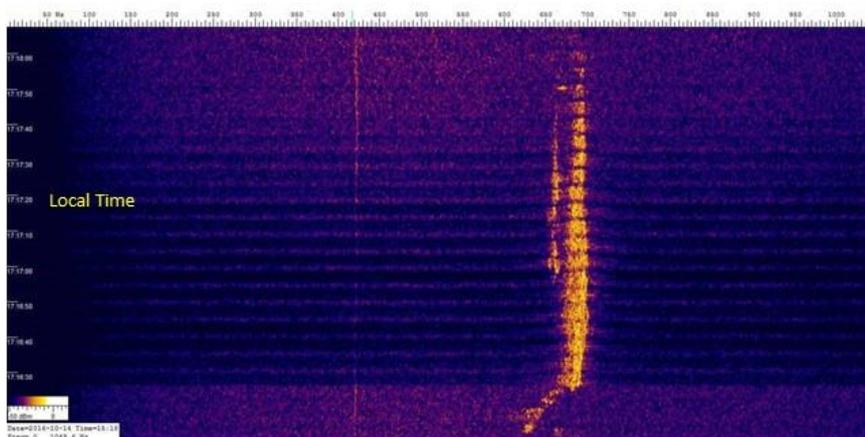
RadioAstroLab



Evento notevole registrato il
14 Ottobre 2016

Riflessione radio prodotta dal
transito di un grosso oggetto
(meteorico) nella regione di cielo
"vista" dall'antenna.

Si tratta dell'evento più
importante registrato dalla nostra
stazione dall'inizio dell'anno 2016.



Registrazione dello stesso
evento effettuata da Florenzio
Zannoni di Roma.
Nonostante le differenze
tecniche fra le stazioni radio,
la mancanza di
sincronizzazione fra gli orologi
dei PC e le differenti
impostazioni nella
visualizzazione degli
spetrogrammi, è evidente la
correlazione fra i due
fenomeni.

[Eventi radio-meteorici Dicembre 2015](#)

[Eventi radio-meteorici Gennaio 2016](#)

[Eventi radio-meteorici Febbraio 2016](#)

[Eventi radio-meteorici Marzo 2016](#)

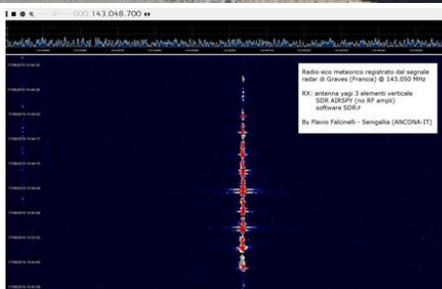
[Eventi radio-meteorici Aprile 2016](#)

[Eventi radio-meteorici Maggio 2016](#)

[Eventi radio-meteorici Giugno 2016](#)

[Eventi radio-meteorici Luglio 2016](#)

Oltre alla stazione fissa, è stata costruita un'altra stazione ricevente mobile, sintonizzata sempre sulla frequenza 143.050 MHz, utilizzata saltuariamente a scopo dimostrativo durante i periodi di ricorrenza dei principali sciami meteorici.



Registrazione radio-echi meteorici su spettrogramma



Antenna Yagi 3 elementi portatile

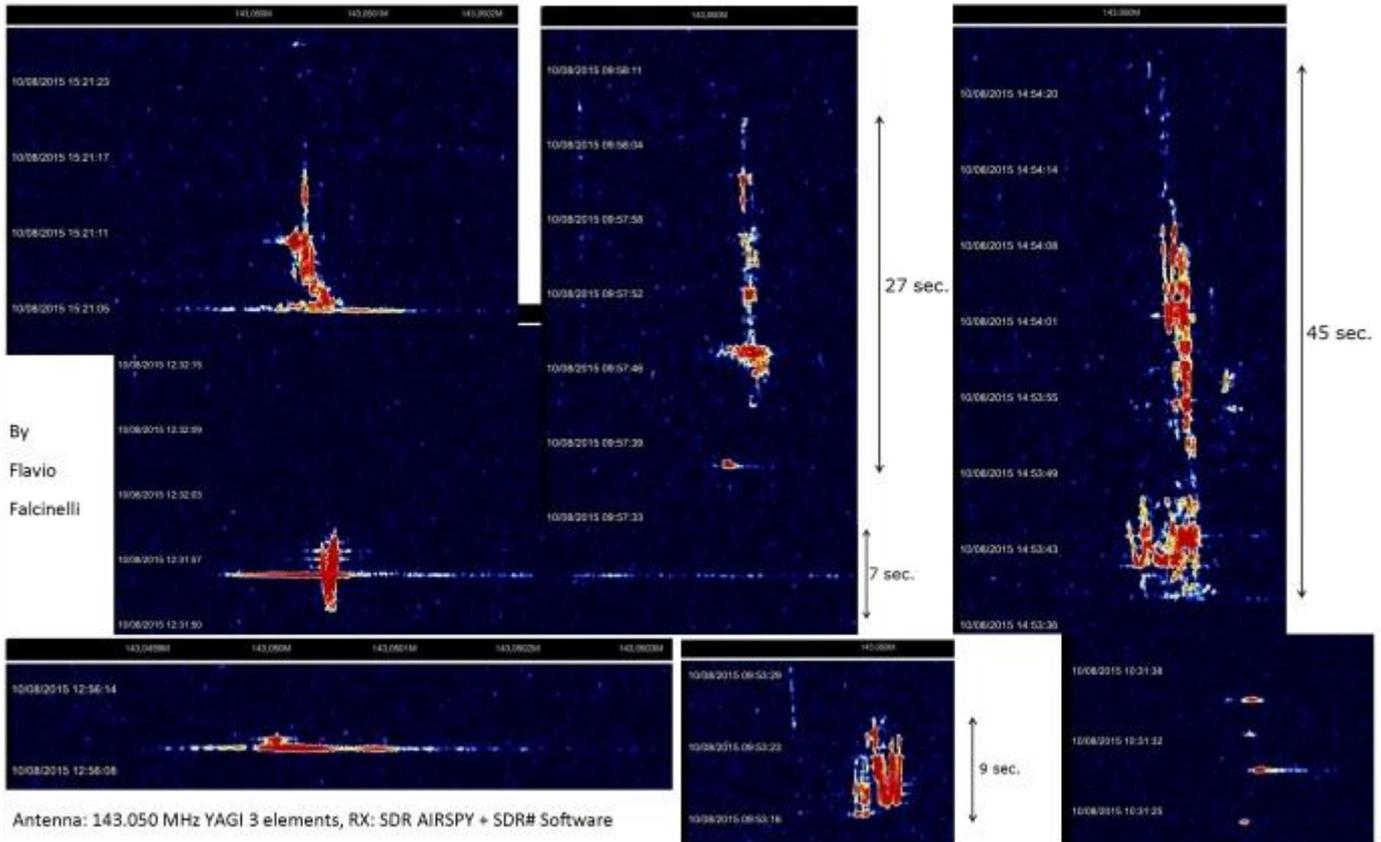


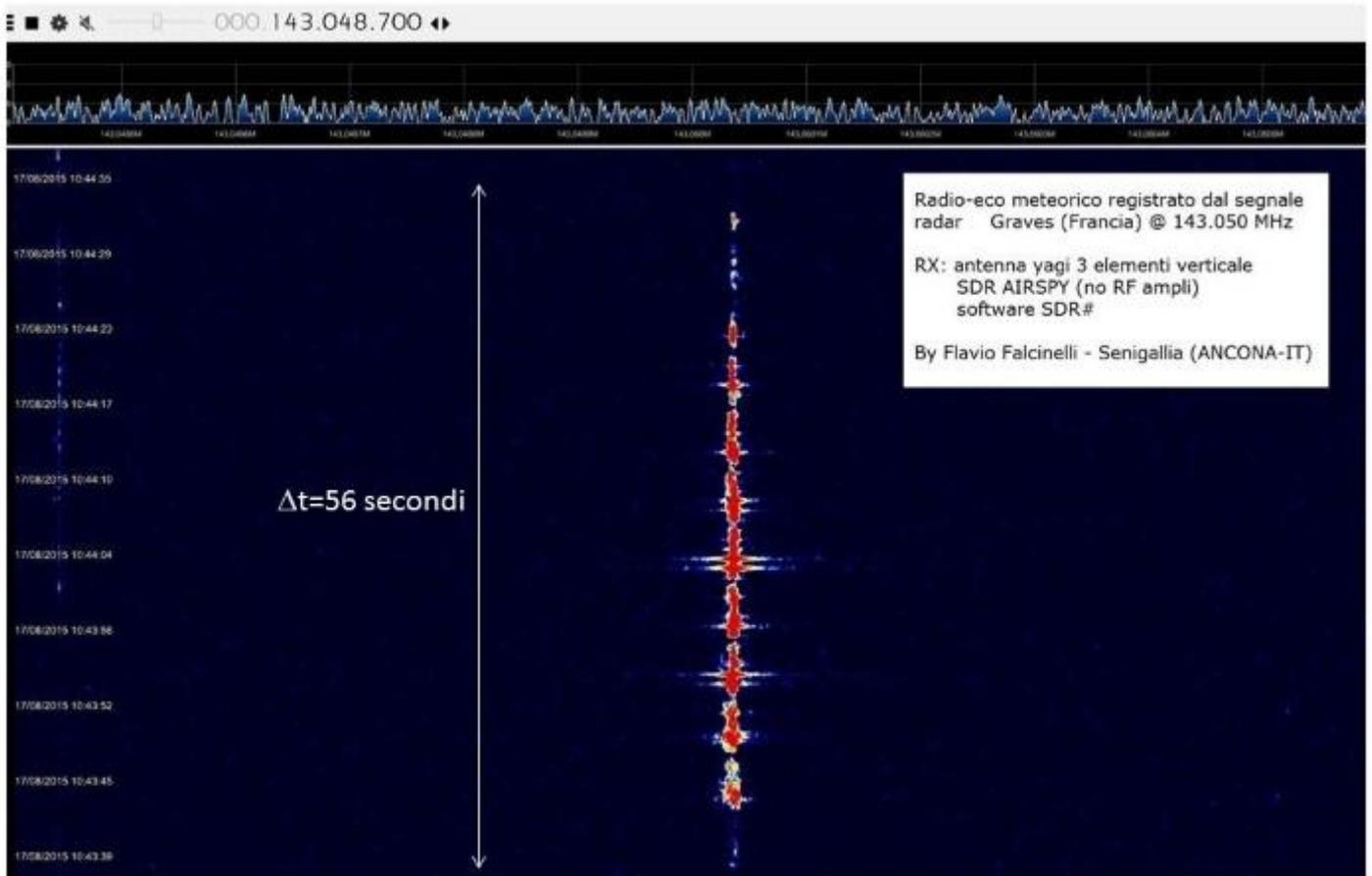
Ricevitore SDR commerciale

Elementi essenziali della stazione Meteor Scatter mobile (143.050 MHz con Graves TX).

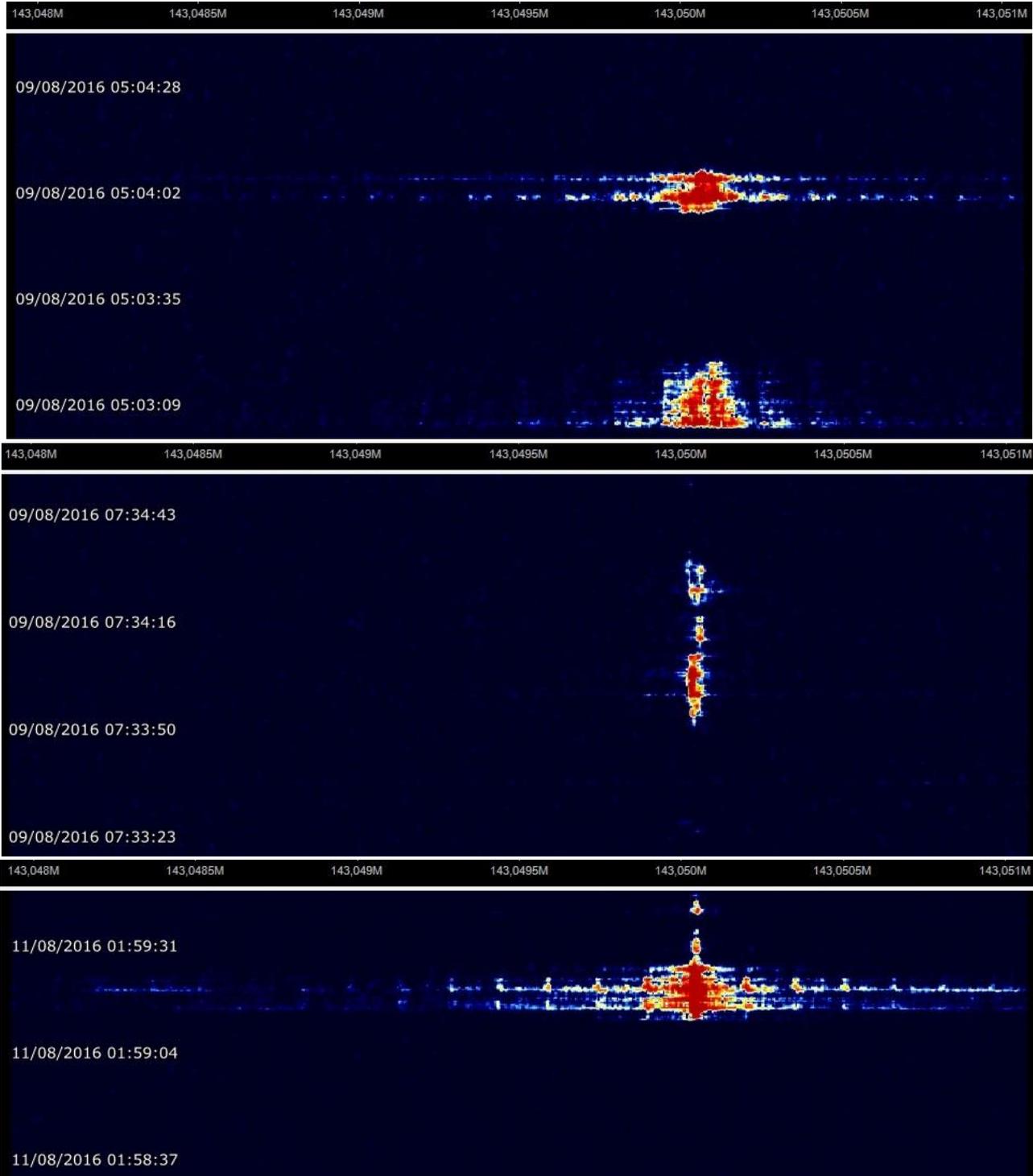
Registrazioni dei radio-echi meteorici @ 143.050 MHz (radar Graves—Francia) più significativi nella giornata 10.08.2015

Recordings of the most significant radio-echo meteors @ 143,050 MHz (radar Graves-France) in the day 08/10/2015





La stazione mobile comprende un'antenna yagi accordata sulla frequenza di 143.050 MHz e posizionata sul tetto di un'autovettura tramite un supporto orientabile. Il ricevitore è del tipo SDR che riceve la tensione di alimentazione direttamente dalla porta USB di un PC portatile utilizzato per l'acquisizione. L'impianto è molto semplice, pratico ed economico, adatto alle dimostrazioni "sul campo" quando ricorrono i più importanti sciami meteorici dell'anno: è interessante e didatticamente utile mostrare l'evoluzione del fenomeno meteorico nella banda radio in parallelo alle tradizionali osservazioni visuali.

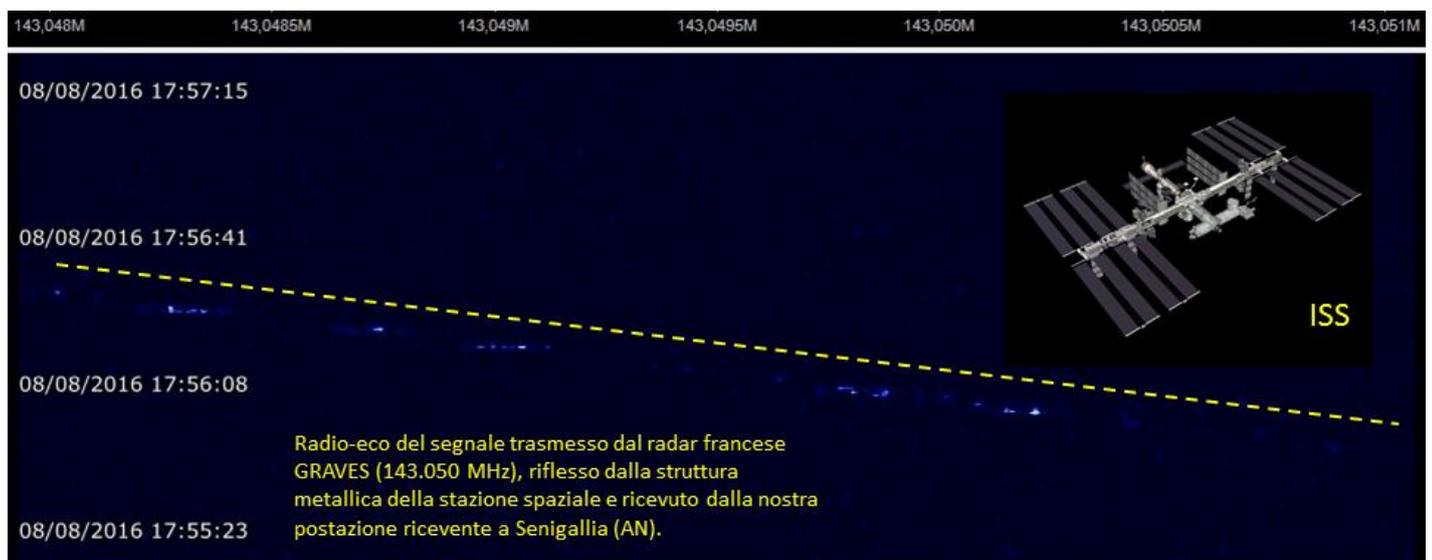


Registrazioni di echi meteorici notevoli acquisiti dalla nostra stazione mobile durante lo sciame delle Perseidi 2016.

Riportiamo in sequenza gli eventi radio-meteorici più importanti registrati dalla nostra stazione mobile nel mese di Agosto 2016 (Perseidi).

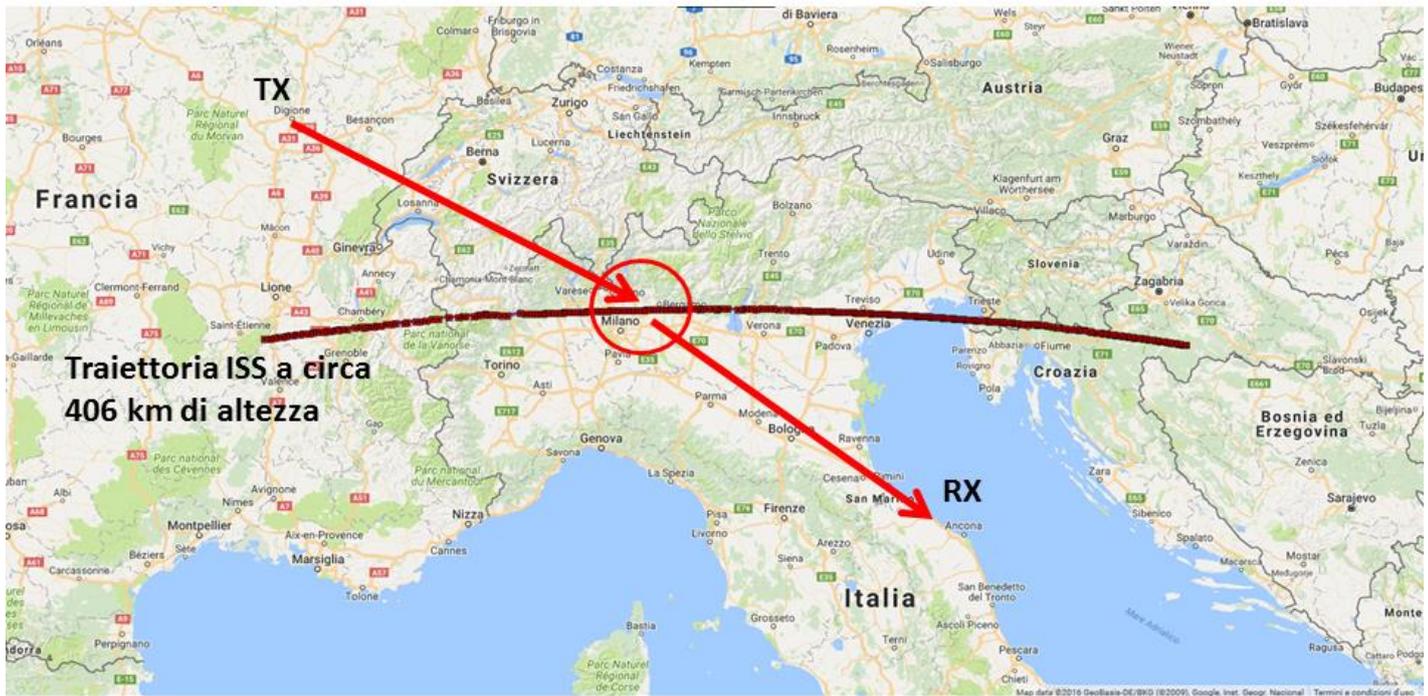
La struttura metallica della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) è in grado di riflettere il segnale radio trasmesso dal radar Graves.

Dalle immagini seguenti si vede la riflessione del segnale radio che testimonia il transito della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) sopra i cieli marchigiani che si affacciano sul mare Adriatico (Senigallia – Ancona). È chiaramente visibile lo spostamento Doppler in frequenza del segnale riflesso dovuto al movimento dell'oggetto. Poiché l'antenna dell'impianto ricevente (stazione mobile con Yagi a 3 elementi) è orientata verticalmente e collocata a poca distanza dal terreno e in un'area schermata da edifici, il sistema è sensibile solo agli oggetti metallici (o alla scia ionizzata di meteoridi) che transitano in prossimità dello zenit locale.

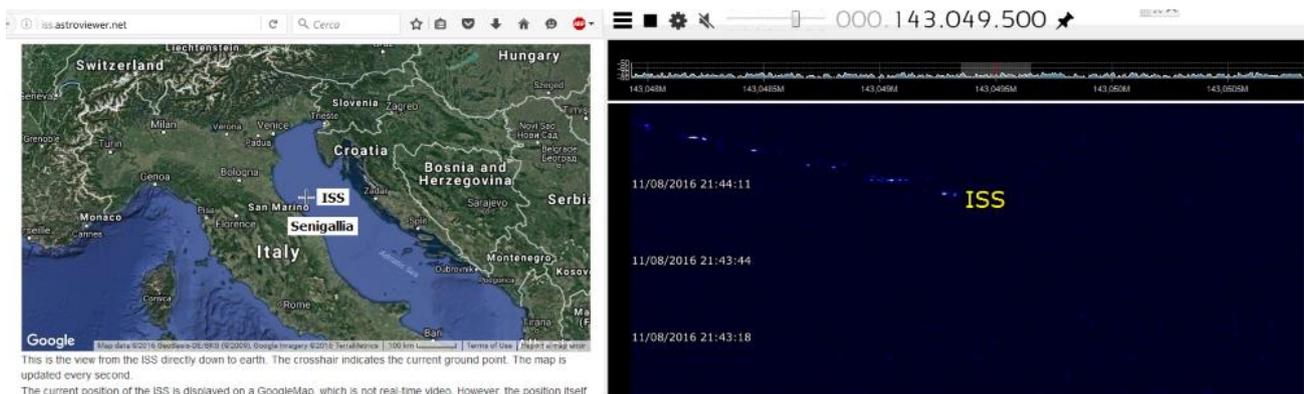


Transito della
 Stazione Spaziale
 Internazionale ISS
 sul nord Italia il
 08.08.2016.

Segnale radio
 trasmesso dal Radar
 GRAVES 143.050 MHz



Segnale radio riflesso dalla struttura metallica della Stazione Spaziale Internazionale ISS e ricevuto dalla stazione di Senigallia (AN).



Ground track



Transito della Stazione Spaziale Internazionale ISS sopra i cieli marchigiani che si affacciano sul mare Adriatico (Senigallia - ANCONA)

11. La frequenza “speciale” dell’idrogeno

La riga a 21 centimetri (1420.40575 MHz), dovuta all’emissione quasi monocromatica dell’idrogeno “freddo” che popola gli spazi interstellari (è l’elemento più diffuso nell’universo), è stata prevista teoricamente da Van De Hulst nel 1944 e scoperta da H. I. Ewen e E. M. Purcell nel 1951 mentre osservavano una regione della Via Lattea.

L’evento stimolò la ricerca di altre sostanze nel mezzo interstellare: ad oggi, sono state catalogate molte molecole complesse, anche organiche.

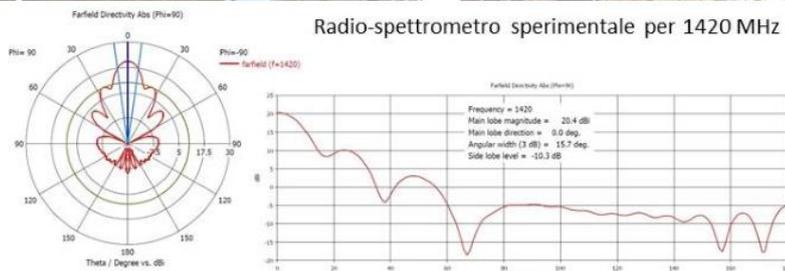
Lo studio della riga a 21 centimetri rappresenta, a buon titolo, il primo grande e autonomo successo della radioastronomia: grazie ai radiotelescopi è stato possibile “vedere” la struttura a spirale della Galassia, impossibile per gli strumenti ottici a causa dell’assorbimento delle nubi interstellari.

Utilizzando *radio-spettrometri* è possibile determinare con notevole precisione il profilo della riga in funzione della frequenza e, applicando tecniche doppler all’analisi dei dati, si ottengono importanti informazioni sulla dinamica degli spostamenti delle grandi masse gassose emittenti.

Lo studio “via radio” della struttura della Galassia è accessibile a livello amatoriale: è molto interessante e istruttivo definire la forma della nostra galassia indagando la distribuzione del gas e le caratteristiche del profilo della riga a 21 centimetri. La relativa trasparenza del disco galattico a questa frequenza consente “l’esplorazione” nel suo insieme, mentre con mezzi ottici le osservazioni sono limitate a una piccola regione prossima al Sistema Solare a causa del forte assorbimento dovuto al gas interstellare.



Ricevitore RALSpectrum
 (prototipo):
 Banda RX: 1240-1540 MHz.
 Singola conversione in banda-base
 [0-20 MHz] con uscite I & Q.
 Oscillatore Locale OCXO agganciato
 al GPS.



Le immagini mostrano il nostro primo radiotelescopio costruito per verificare questa possibilità di ricerca a livello amatoriale. Navigando in rete si trovano molti esempi ben documentati di progetti radioastronomici per lo studio della riga a 21 centimetri.

Il sistema è composto da un'antenna horn costruita con fogli di alluminio (ci siamo ispirati al progetto descritto in <http://www.setileague.org/articles/horn.htm>) e sostenuta con un supporto di legno, orientabile in elevazione, assemblato secondo una classica "filosofia" amatoriale che privilegia l'utilizzo di materiali economici e facilmente disponibili (finché è possibile...).

Il segnale raccolto dall'antenna è amplificato e filtrato (LNA) per limitare le interferenze locali, successivamente applicato al ricevitore (un prototipo) che analizza una porzione della banda passante del sistema, centrata sul valore nominale a riposo della riga dell'idrogeno (1420.40575 MHz)...

Le osservazioni evidenzieranno spostamenti doppler della frequenza a riposo della riga, indicativi del moto relativo delle masse gassose rispetto all'osservatore. Per una corretta valutazione della velocità di spostamento, è indispensabile che il ricevitore sia molto stabile in frequenza: un *radio-spettrometro* infatti, che analizza lo spettro dei segnali presenti all'interno della sua banda passante, deve minimizzare gli errori di misura causati dalle derive proprie del ricevitore e dell'oscillatore locale (se il ricevitore è a conversione di frequenza).



Questo è il prototipo dell'antenna da noi costruita per studiare il cielo alla frequenza 1420 MHz dell'idrogeno neutro. Si tratta di una tipica realizzazione amatoriale: l'antenna è realizzata con fogli di alluminio e installata su un supporto di legno orientabile manualmente in elevazione (orientamento

azimutale fisso verso sud). Il supporto è stato realizzato con una semplice struttura, riciclando materiale dai pallet normalmente utilizzati nel trasporto delle merci.



Amplificatore (LNA) inserito fra l'antenna e il ricevitore. Il dispositivo è stato costruito collegando in cascata un filtro passa-banda centrato su 1420 MHz, due amplificatori commerciali a larga banda (basso rumore ed elevata dinamica), ulteriore filtro passa-banda, identico al precedente, collegato all'uscita. L'immagine mostra la risposta in frequenza dell'amplificatore.

Nel nostro prototipo, chiamato *RALSpectrum*, abbiamo curato con attenzione tale requisito utilizzando un oscillatore locale di precisione e termostabilizzato (la struttura del ricevitore è a singola conversione di frequenza, con mixer in quadratura), agganciato al segnale di riferimento temporale della rete di satelliti GPS tramite un ricevitore ausiliario.

Il primo test consiste nell'orientare l'antenna sullo zenith e.... aspettare: se l'impianto funziona, dovrebbe essere ben visibile il profilo della riga dell'idrogeno. Il livello del segnale sarà minimo, dato che l'antenna "osserva" una regione del cielo lontana dalla Via Lattea dove è addensato il gas.

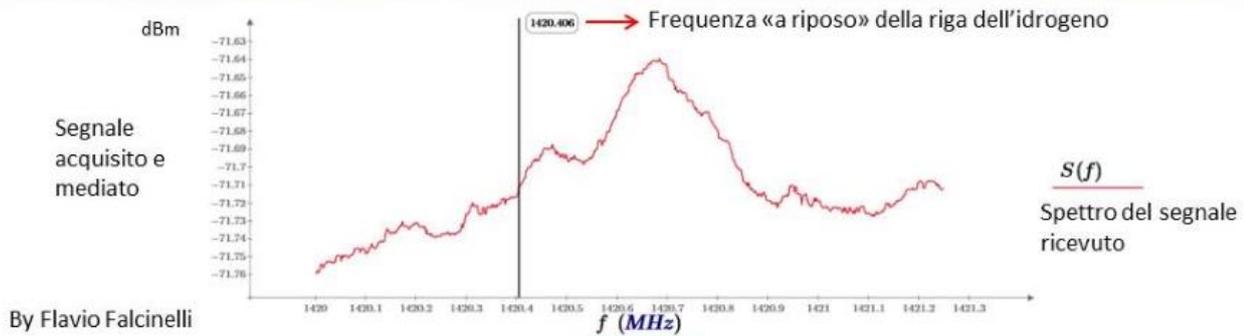
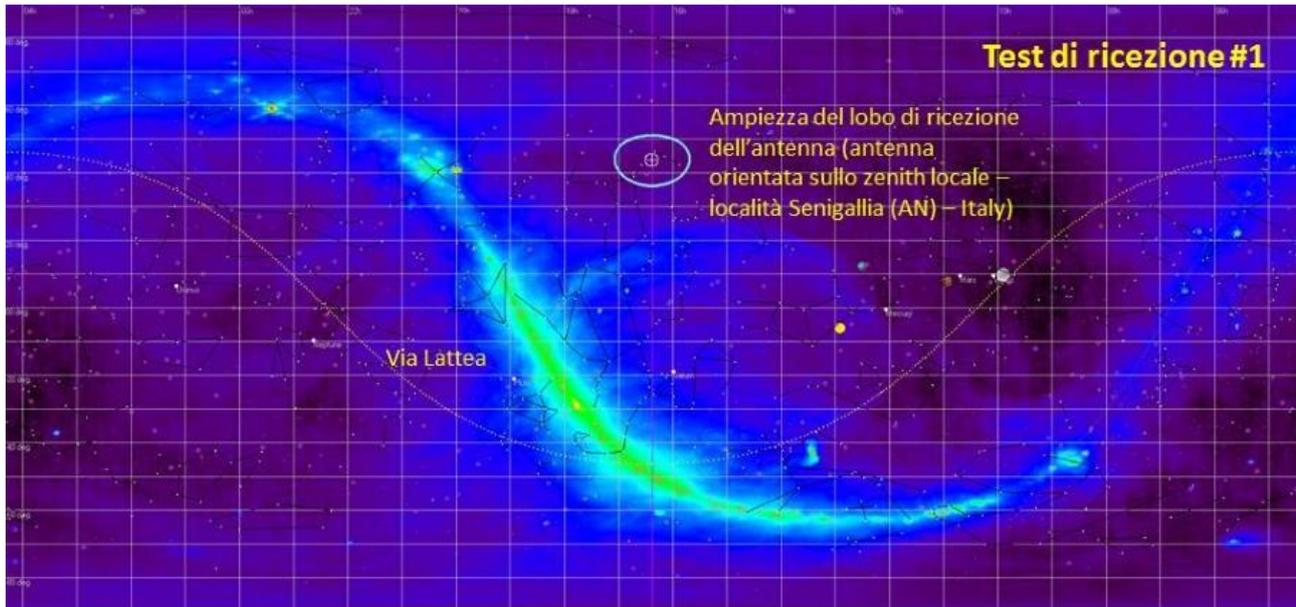
Le seguenti immagini mostrano alcune registrazioni di prova: ulteriori dettagli sulla struttura del radiotelescopio e sulle registrazioni si trovano nelle seguenti animazioni.

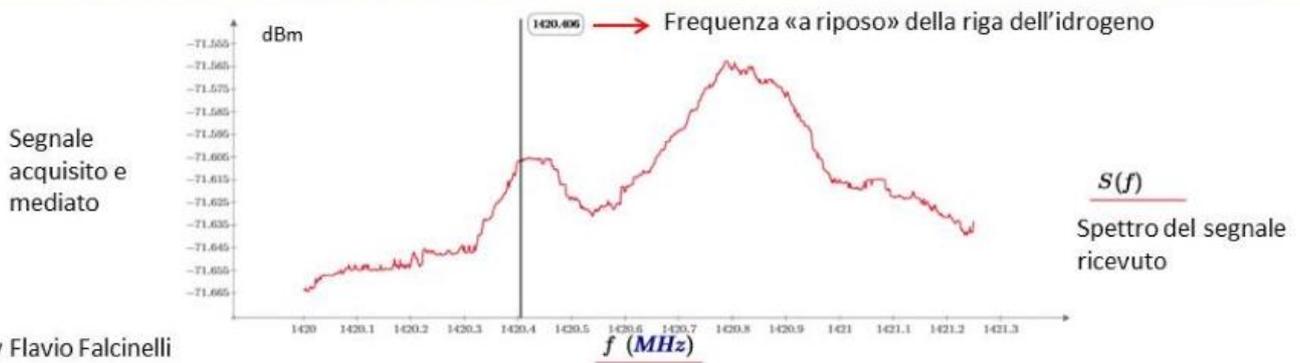
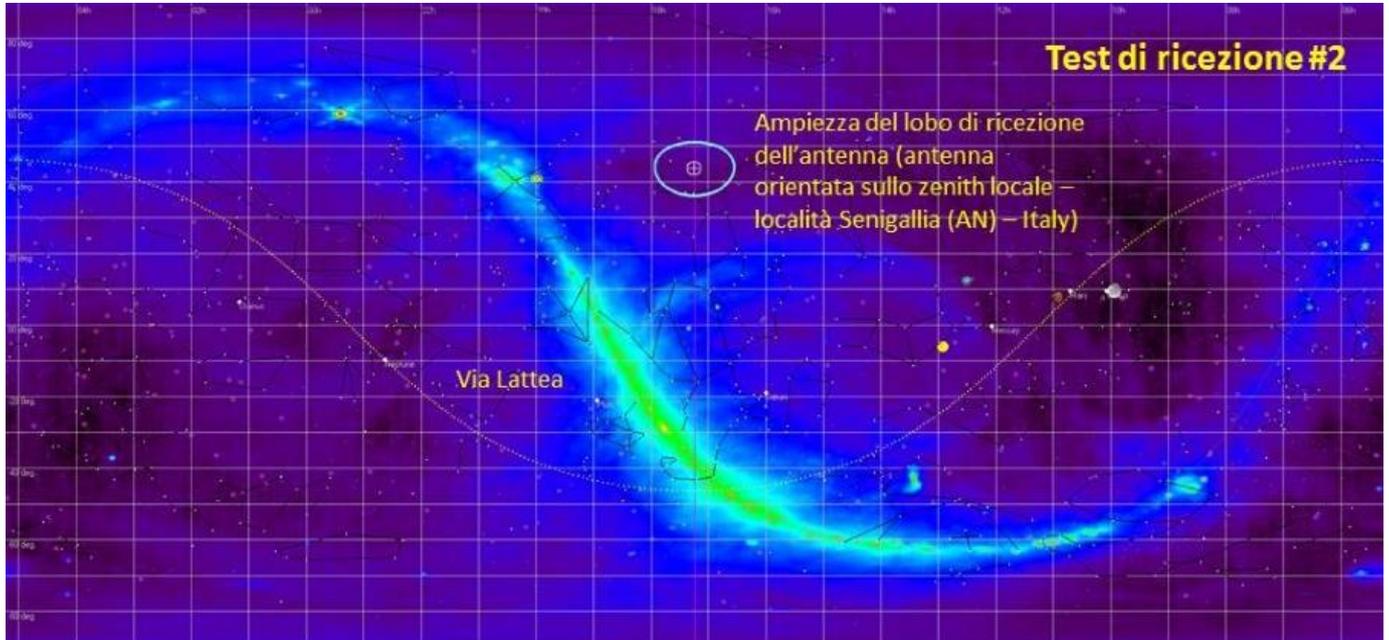
https://www.radioastrolab.com/video/Hydrogen_1.webm

Lo scopo del nostro esperimento è stato quello di verificare la funzionalità di un radiotelescopio amatoriale adatto allo studio del profilo della riga a 21 centimetri dell'idrogeno neutro: nelle nostre prove abbiamo utilizzato, e costruito per l'occasione, un'antenna horn in grado di fornire un guadagno sufficiente per lo scopo.

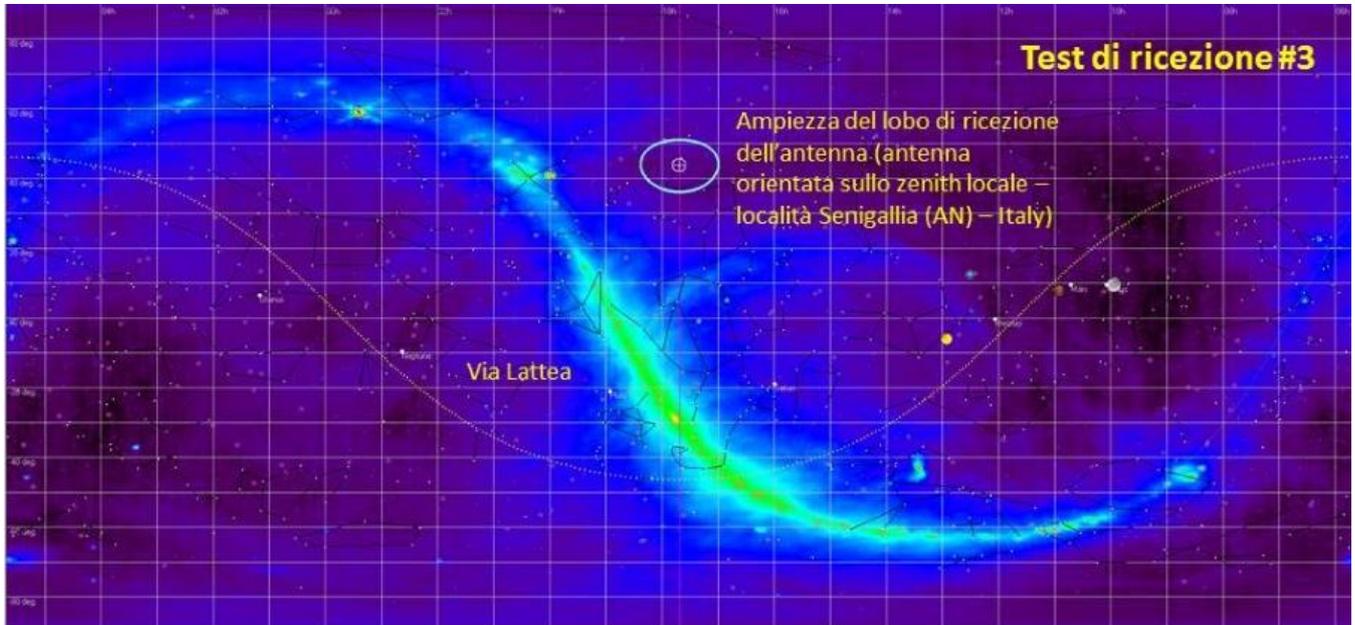
Ovviamente, questa non è l'unica o la migliore soluzione possibile: antenne di maggiori dimensioni come, ad esempio, riflettori parabolici con diametro attorno ai tre metri, consentono un'agevole ricezione dell'emissione "monocromatica" dell'idrogeno.

Particolare attenzione è stata posta nello sviluppo di un radio-spettrometro caratterizzato da elevata sensibilità e stabilità, come richiesto da queste applicazioni. Come vedremo, un ricevitore di questo tipo è utilizzabile per altri scopi come, ad esempio, nello sviluppo di un programma di ascolto SETI amatoriale.





By Flavio Falcinelli



By Flavio Falcinelli

12. La banda “magica” 1400-1600 MHz e le ricerche SETI

Gli appassionati di radioastronomia sanno bene che le frequenze attorno alla riga dell'idrogeno (1420 MHz), con i relativi apparati riceventi, sono utilizzate anche per ricerche S.E.T.I. (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*). Questi strumenti, infatti, sono perfetti per impostare un'attività SETI a livello amatoriale, pur di ottimizzare e specializzare il software di gestione e di analisi dei dati.

L'idea di valutare fino a che punto le onde radio emesse dalla Terra fossero ricevibili nello spazio interstellare fu di due fisici della Cornell University, Giuseppe Cocconi e Philip Morrison: essi hanno dimostrato, in un famoso e innovativo articolo del 1959, come le onde radio più adatte per propagare un'informazione nello spazio cosmico siano quelle prossime alla lunghezza d'onda dei 21 centimetri, la riga dell'idrogeno neutro. Questa frequenza sarebbe un tono “naturale” ben distinguibile dal rumore di fondo, noto ad ogni ipotetica civiltà extraterrestre. Esso rappresenta “un campione di frequenza unico ed oggettivo, conosciuto necessariamente da qualsiasi osservatore nell'universo”.

“...È inoltre ragionevole aspettarsi che ricevitori a questa frequenza siano costruiti sin dall'inizio dell'evolversi della radioastronomia...”.

Nella storia SETI, l'articolo di Cocconi e Morrison illustra le motivazioni scientifiche e rappresenta l'inizio della ricerca di segnali radio “intelligenti” extraterrestri.

Successivamente sono state proposte anche altre frequenze interessanti, corrispondenti a righe spettrali di molecole scoperte negli spazi interstellari, tutte valide per le comunicazioni interstellari, dato che hanno buona probabilità di essere casualmente rivelate da ipotetiche civiltà extraterrestri durante una scansione del cielo, se non altro per interesse astrofisico.

Fra gli addetti ai lavori è consuetudine identificare con il suggestivo nome di “waterhole” la banda da 1420 MHz a 1700 MHz, la “pozza d'acqua” attorno alla quale si radunano, come animali nella giungla, le civiltà galattiche. L'acqua, infatti, è formata dall'idrogeno (frequenza naturale 1420 MHz) e dalla molecola OH (frequenza 1665 MHz): se ha un ruolo essenziale per la vita e se si considerano i vantaggi tecnici offerti dalle comunicazioni interstellari in questa banda di frequenze (è minimo il rumore cosmico di fondo), è ragionevole iniziare proprio da queste frequenze la ricerca di possibili segnali radio extraterrestri.

Molta documentazione è reperibile sul web riguardo le varie filosofie e le strategie di ricerche SETI, sia a livello accademico che amatoriale. Esistono anche molti gruppi di radioastronomi dilettanti coinvolti in questo tipo di ricerca, a volte coordinati da radio-osservatori istituzionali.

La sfida è semplicemente questa (si fa per dire...): occorre attrezzarsi per ricevere segnali molto deboli in prossimità della riga dell'idrogeno neutro. Un'attività affascinante, anche se un po' “nebulosa” ... Le motivazioni che potrebbero stimolare un appassionato ad investire risorse e tempo in questo lavoro sono:

- Civiltà intelligenti extraterrestri distanti non più di 100 anni/luce, equipaggiate con radiotelescopi simili a quello di Arecibo (diametro dell'ordine di 500 metri), potrebbero trasmettere segnali radio sufficientemente intensi da essere rivelati sulla Terra con strumenti amatoriali, ad esempio utilizzando antenne paraboliche con diametro dell'ordine di 2-3 metri.
- Qualche radioastronomo dilettante potrebbe avere una fortuna sfacciata....
- Si documentano continue scoperte di nuovi pianeti (anche di tipo terrestre) esterni al nostro sistema solare.
- Nelle nubi interstellari sono state scoperte (grazie alla radioastronomia) molte molecole organiche complesse, come quelle necessarie alla chimica della (nostra) vita.
- L'attuale tecnologia fornisce gli strumenti (i radiotelescopi) e le strategie di analisi dei segnali necessarie per organizzare i primi tentativi di ricerca.