

*1° Convegno Nazionale
di Radioastronomia Amatoriale*

Trento, 2-3 Novembre 2002

***TECNICA RADIOASTRONOMICA
DILETTANTISTICA***

E' possibile la radioastronomia amatoriale?



RadioAstroLab

Laboratorio di Radioastronomia Amatoriale



Flavio Falcinelli

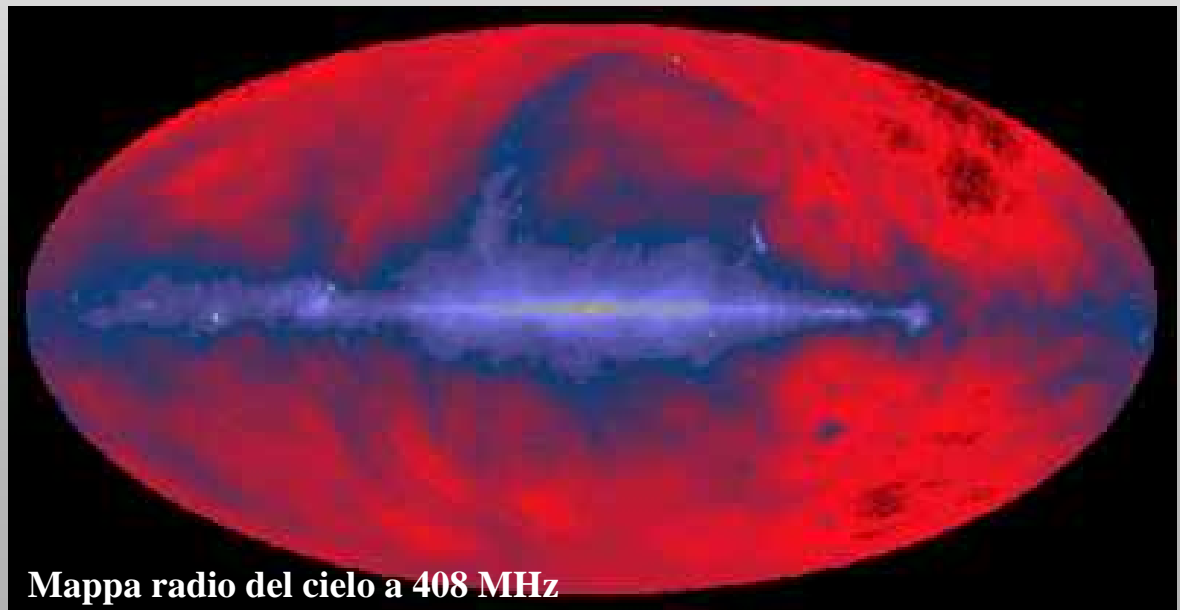
www.radioastrolab.it

Cos'è la Radioastronomia?

La radioastronomia studia i corpi celesti analizzando la radiazione elettromagnetica da questi emessa nell'intervallo spettrale delle radioonde grazie ai **radiotelescopi**.

Un radiotelescopio è un complesso strumento di misura che comprende un **sistema di antenna** collegato ad **apparati elettronici riceventi e di registrazione dei dati**.

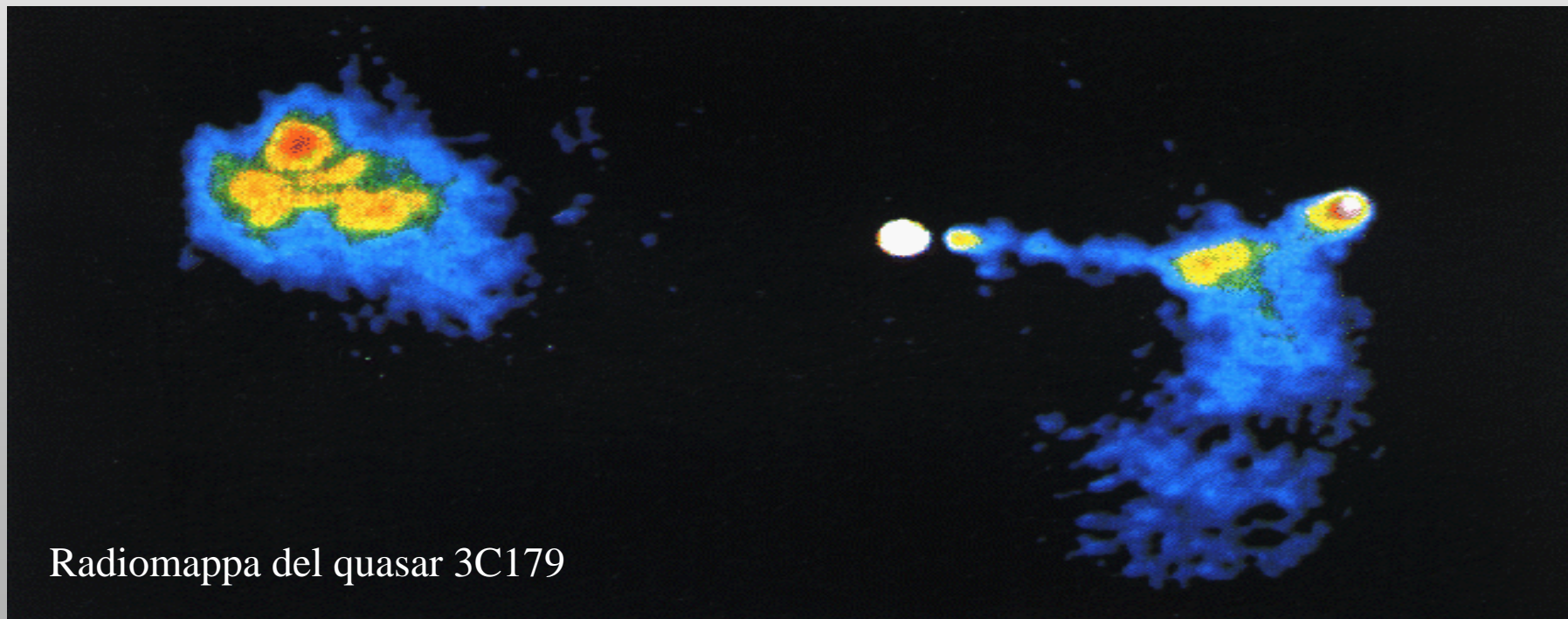
CNR-IRA Medicina
Stazione VLBI



Mapa radio del cielo a 408 MHz

L'analisi dei segnali ricevuti consiste nel determinare l'intensità delle radiazioni cosmiche captate dalle diverse direzioni dello spazio e per differenti lunghezze d'onda, oltre al loro grado di polarizzazione.

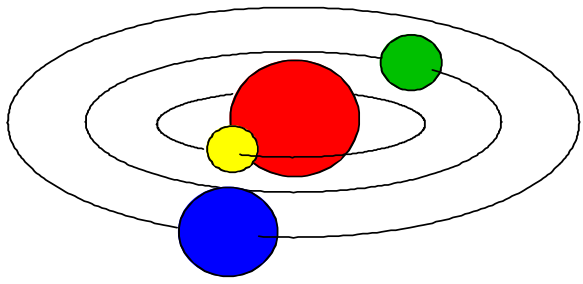
Ulteriore campo d'indagine consiste nell'analizzare le caratteristiche spettrali dei segnali ricevuti per ottenere importanti informazioni sugli oggetti radioemittenti.



**Radioastronomia =
tecniche radioelettriche
applicate allo studio del cielo**



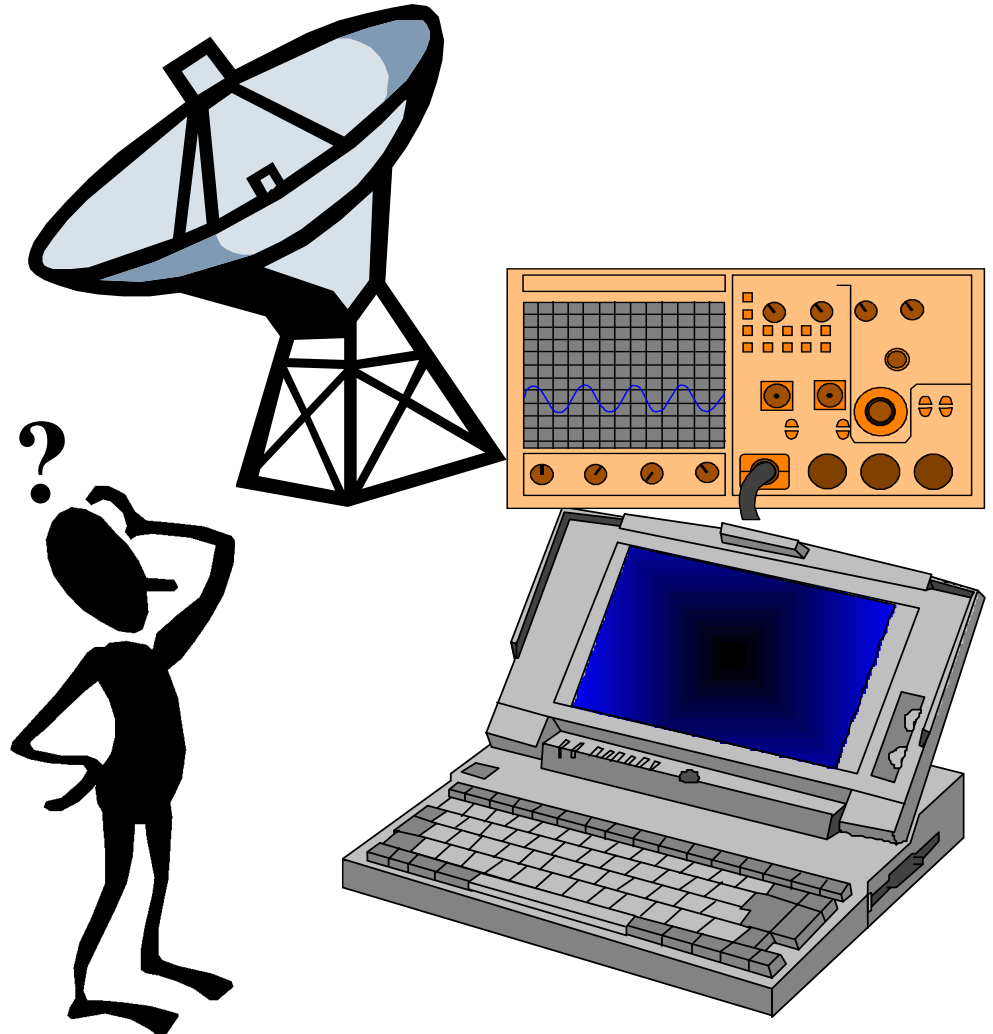
Il radiotelescopio più grande del mondo: VLA



RADIOASTRONOMIA AMATORIALE

**Ha senso parlare di
radioastronomia
amatoriale?**

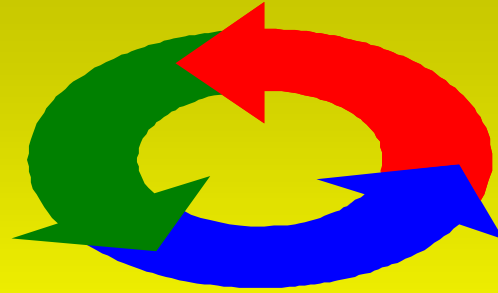
Sono ipotizzabili
esperienze interessanti
anche per il dilettante
in un settore complesso
come questo?



Radioastronomia amatoriale

- Presenta qualche ostacolo e difficoltà di natura tecnica.
- Non sono disponibili commercialmente gli strumenti, quindi occorre costruirsi tutto (o quasi) in proprio.
- E' una disciplina che richiede un minimo di conoscenze in settori paralleli quali:
 - **fisica ed astrofisica** (conoscenze teoriche di base)
 - **astronomia** (conoscenze teoriche di base)
 - **elettronica** (costruzione degli strumenti)
 - **meccanica** (costruzione degli strumenti)
 - **informatica** (acquisizione ed elaborazione dati).
- Per ottenere qualche risultato interessante è auspicabile impostare l'attività nello stile del lavoro di gruppo.

Ricerca radioastronomica ufficiale



Radioastronomia dilettantistica

Visitando le imponenti e complesse strutture della ricerca radioastronomica ufficiale appare evidente l'elevato livello di competenza e di specializzazione dei ricercatori, insieme ai costi "astronomici" delle strutture indispensabili per gareggiare con successo nella competizione scientifica. Ciò può facilmente scoraggiare i modesti progetti a carattere amatoriale **se non sono ben chiari i limiti raggiungibili e gli obiettivi del lavoro.**

Come ci si accosta alla radioastronomia:

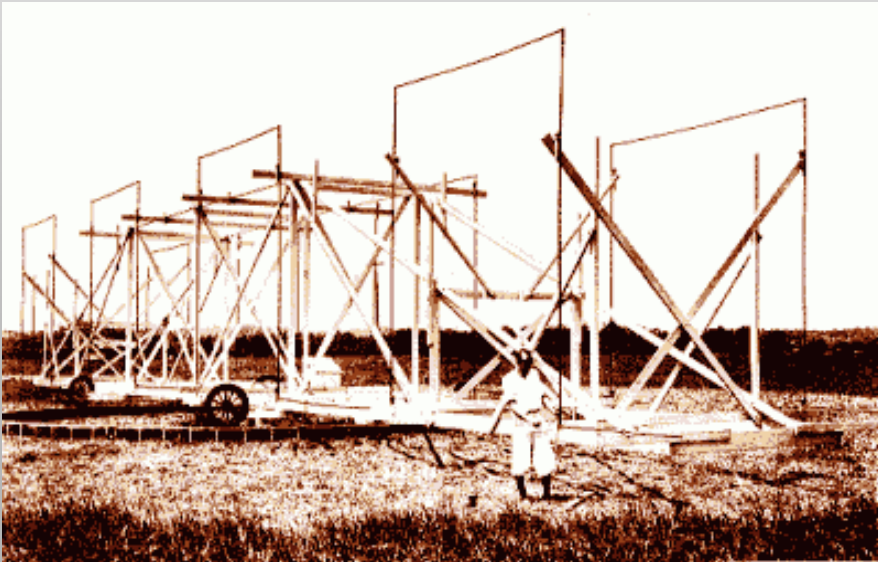
- **Conoscenza teorica dei principi di base**
- **Approccio corretto all'attività dilettantistica**
- **Conoscere bene gli strumenti e gli impianti**
- **Individuare le possibilità concrete di ricerca**



**Lavoro di gruppo
per ottenere i
migliori risultati**

Un po' di storia

La radioastronomia studia la radiazione elettromagnetica naturale proveniente dagli oggetti celesti nell'intervallo spettrale delle radioonde (tipicamente 20 MHz - 300 GHz). E' nata casualmente circa 60 anni fa per opera di K. Jansky, un radioingegnere (Bell & Teleph.) impegnato nello studio dei disturbi elettromagnetici artificiali e naturali.

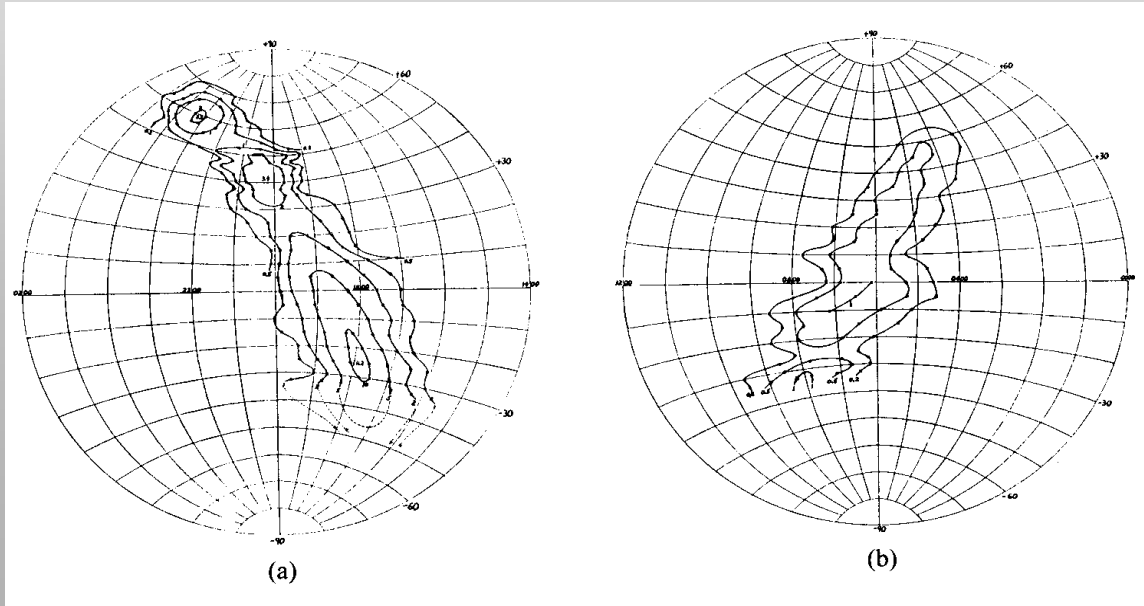


La prima antenna radioastronomica della storia (1931): si tratta della famosa “giostra di Jansky” funzionante alla frequenza di 20.5 MHz.

La struttura, in grado di ruotare di 360°, era organizzata come un array di loop quadrate collegato ad un ricevitore appositamente costruito.

- Primo segnale extraterrestre rivelato a 20.5 MHz: radioemissioni provenienti dal centro della Galassia.
- Primo impianto radioastronomico costruito “ad hoc”: paraboloide orientabile (9 metri di diametro) e ricevitore di G. Reber funzionanti a 160 MHz con il quale è stato possibile compilare la prima “radiomappa” della Galassia (1944).

Radiomappa di Reber a 160 MHz



- Inizio ufficiale della ricerca radioastronomica: subito dopo la 2° guerra mondiale, stimolata dagli sviluppi tecnologici delle radiocomunicazioni e delle tecniche radar.
- Costruzione dei primi grandi impianti radioastronomici.
- Compilazione dei primi cataloghi di radiosorgenti, scoperta delle PULSAR, delle QUASAR, della radiazione fossile del fondo a microonde a 3°K, delle righe di emissione di molecole complesse (molte delle quali organiche).
- Sviluppo della radiointerferometria, delle tecniche di ricezione a sintesi d'apertura, delle tecniche interferometriche a base continentale (VLBI) e della radioastronomia spaziale.

IL FUTURO DELLA RADIOASTRONOMIA:

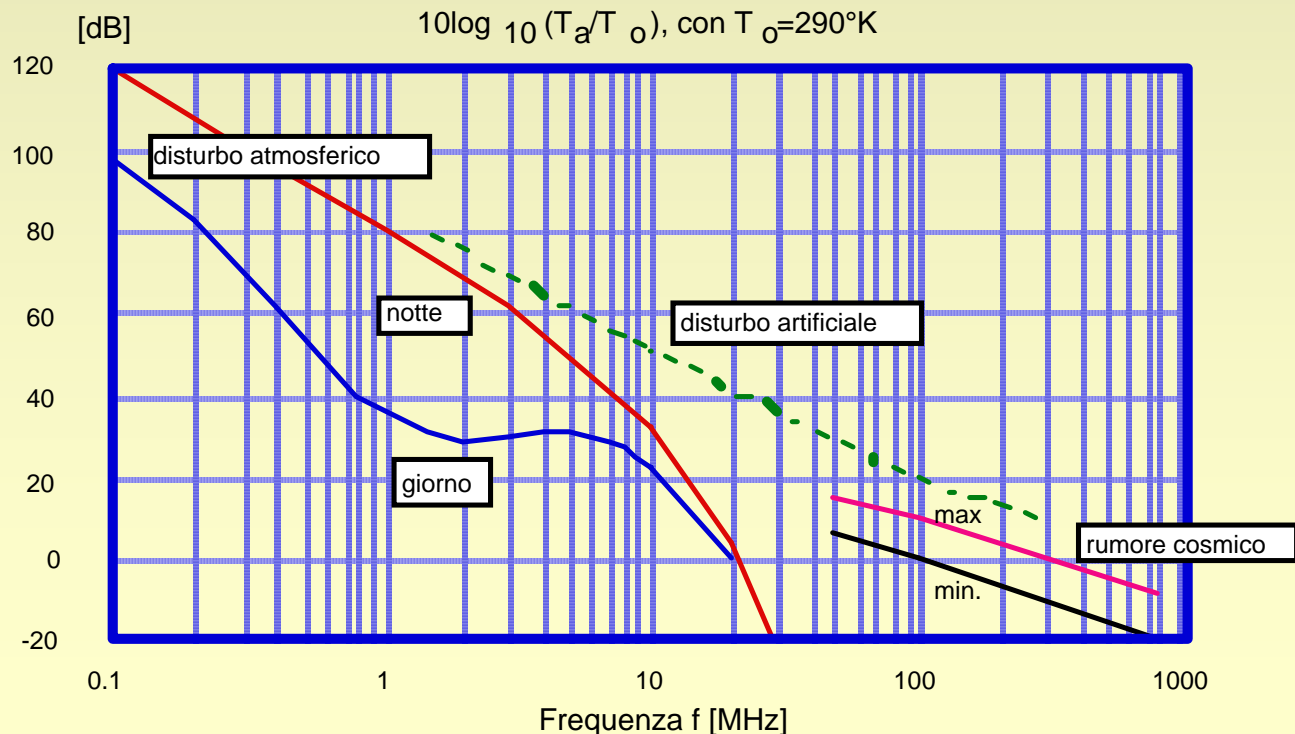
- perfezionamento delle tecniche radiointerferometriche ad elevatissima risoluzione;
- radiointerferometria VLBI fra strumenti a terra e strumenti a bordo di satelliti artificiali;
- installazione di radiotelescopi sulla faccia nascosta della Luna.
- sistemi SKA (Square Kilometer Array)



I NEMICI DELLA RICERCA RADIOASTRONOMICA

Sono l'inquinamento elettromagnetico artificiale, sempre più diffuso, e l'appropriazione indebita delle radiofrequenze riservate alla ricerca radioastronomica.

I disturbi atmosferici ed artificiali sono molto importanti alle basse frequenze, mentre diventano trascurabili nella banda delle microonde. E' per questi motivi che un radiometro SHF può anche essere installato "sotto casa".

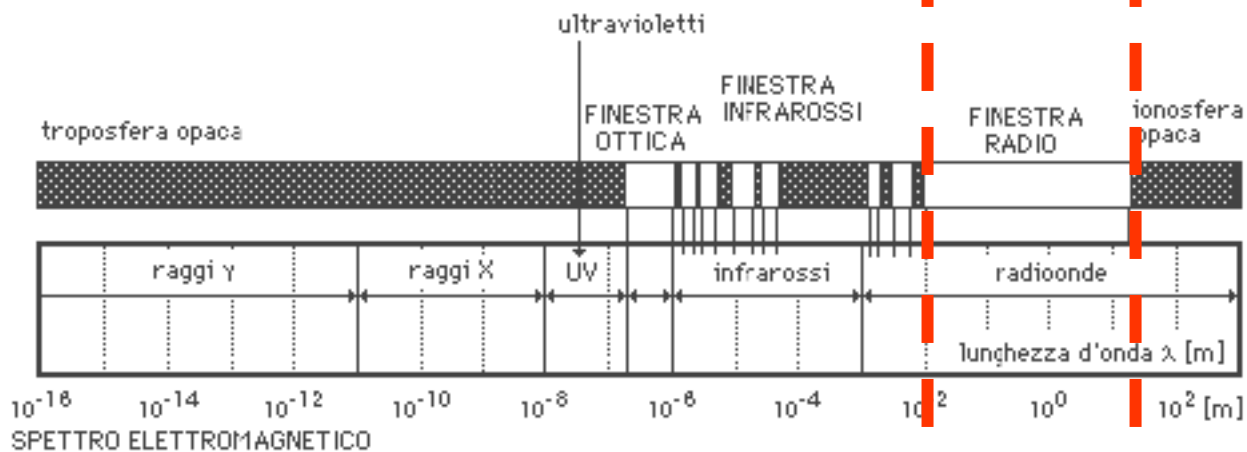
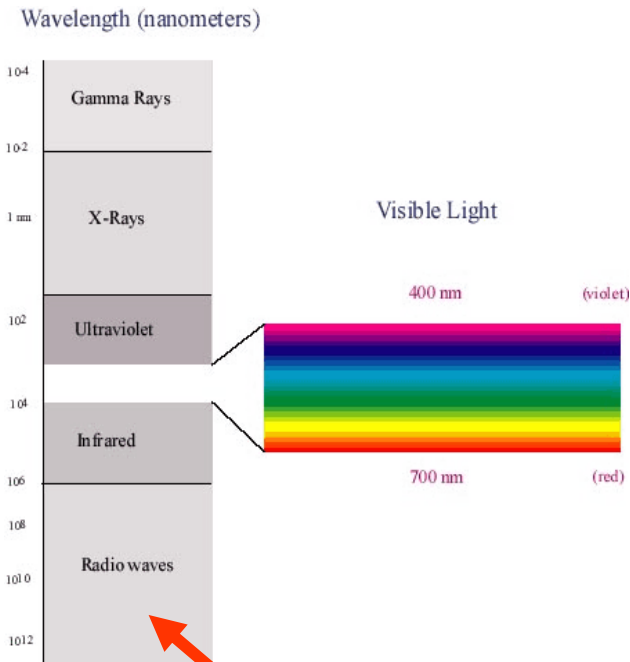


Discipline parallele che utilizzano strumenti analoghi a quelli della radioastronomia

- **RADARASTRONOMIA:** utilizza le tecniche radar per analizzare i radioechi provenienti dai corpi celesti più vicini (pianeti, asteroidi, etc.) “bombardati” da impulsi radioelettrici molto potenti.
- **Ricerche SETI** (Search for Extraterrestrial Intelligence): si occupano di esplorare il cielo nel tentativo di scoprire possibili segnali radio provenienti da civiltà extraterrestri progredite. In questo caso la ricerca è mirata verso segnali radio artificiali con caratteristiche peculiari.
- **Guida e Controllo di sonde spaziali.**

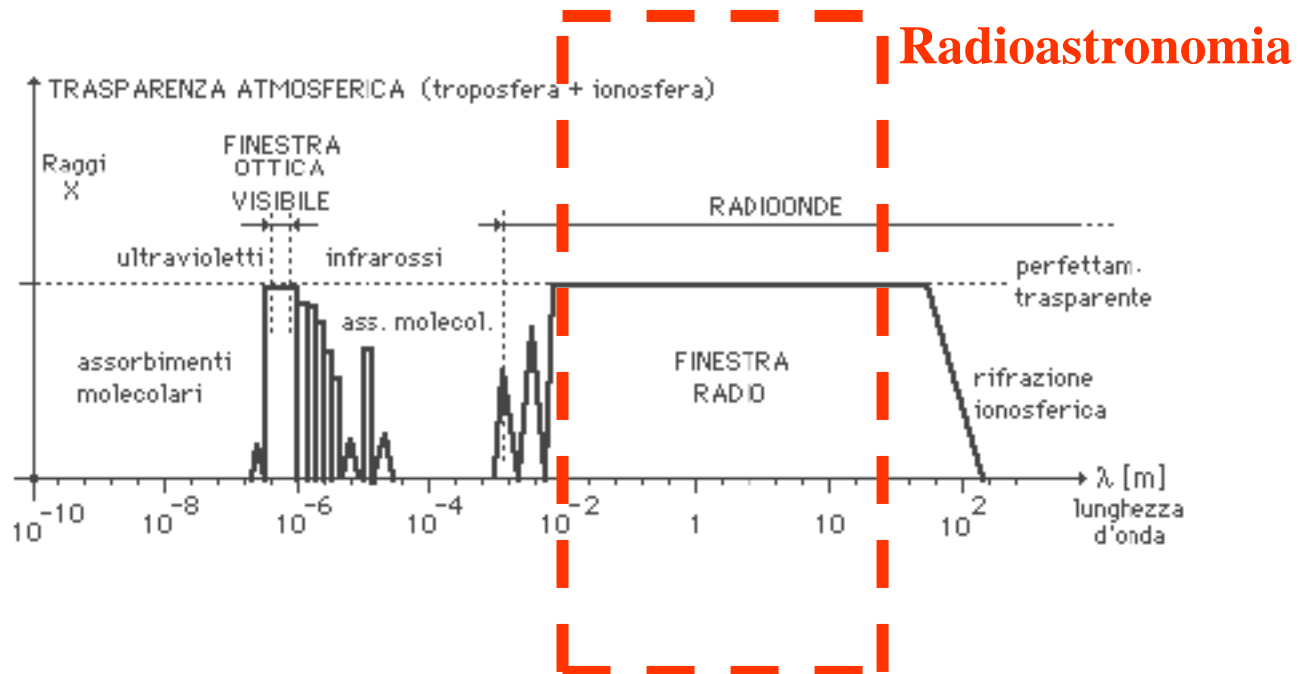
SPETTRO ELETTROMAGNETICO

L'estensione della “**finestra radio**” all'interno dello spettro elettromagnetico è di notevole ampiezza (superiore a 10 ottave nello spettro) rispetto a quella ottica (di ampiezza pari a circa 1 ottava).



FINESTRA RADIO e TRASPARENZA ATMOSFERICA

La “finestra operativa” è quella delle radioonde, limitata inferiormente dai noti effetti schermanti della ionosfera terrestre, superiormente dai fenomeni di assorbimento molecolare delle onde radio dovuti principalmente al vapore acqueo (con picchi di assorbimento alle frequenze di circa 22 GHz e 184 GHz) e all’ossigeno (con picchi di assorbimento a circa 60 GHz e 118 GHz).



Radiosorgenti termine generico che indica tutti gli oggetti celesti responsabili delle radioemissioni cosmiche. Tali corpi, in funzione del loro meccanismo di emissione specifico e prevalente, possono esibire caratteristiche fisiche e radiative molto diverse uno dall'altro.

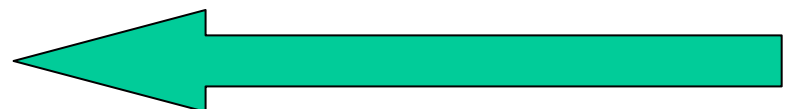
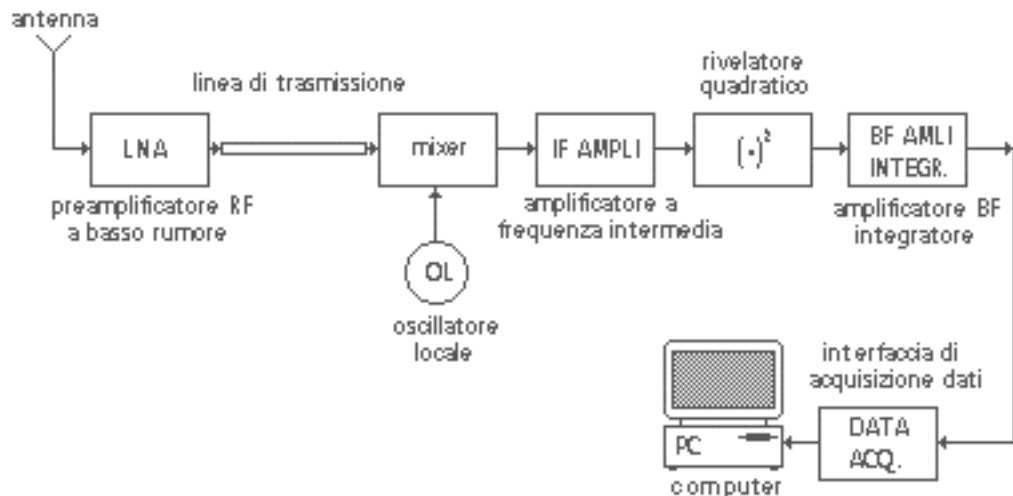
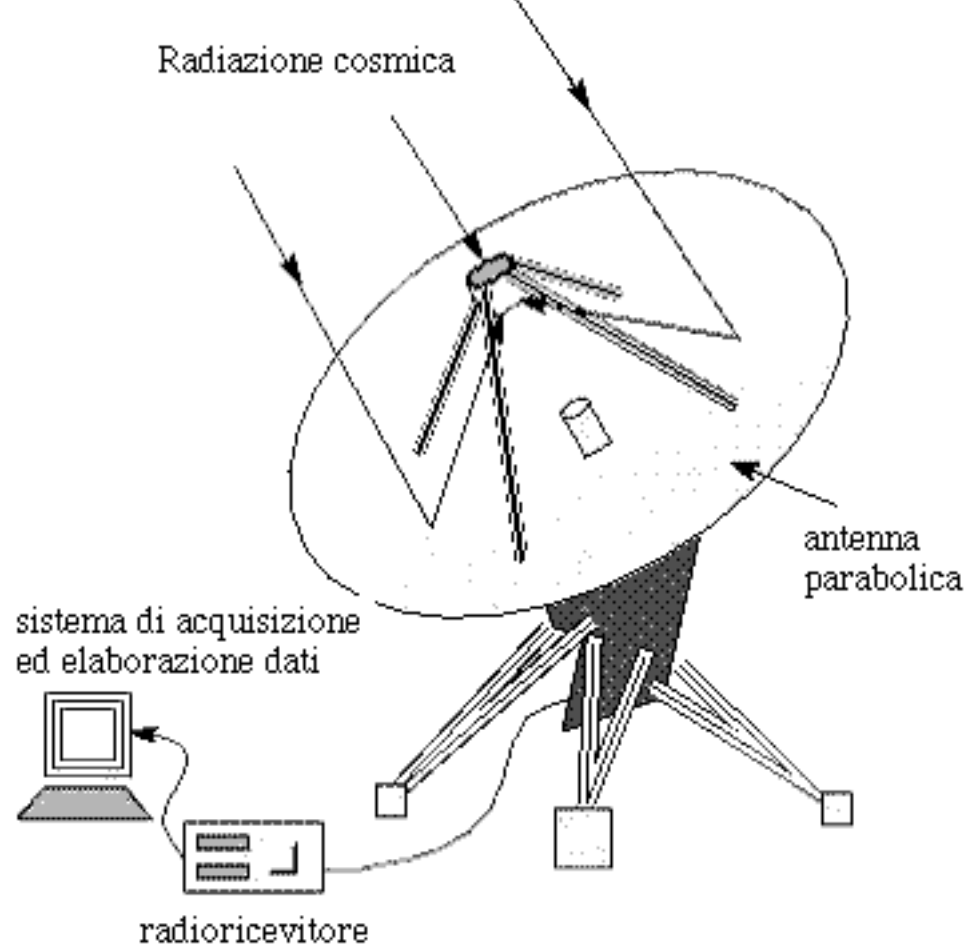


Radiotelescopio è lo strumento che consente di osservare, misurare e registrare il flusso di onde radio naturali emesse dalle radiosorgenti.



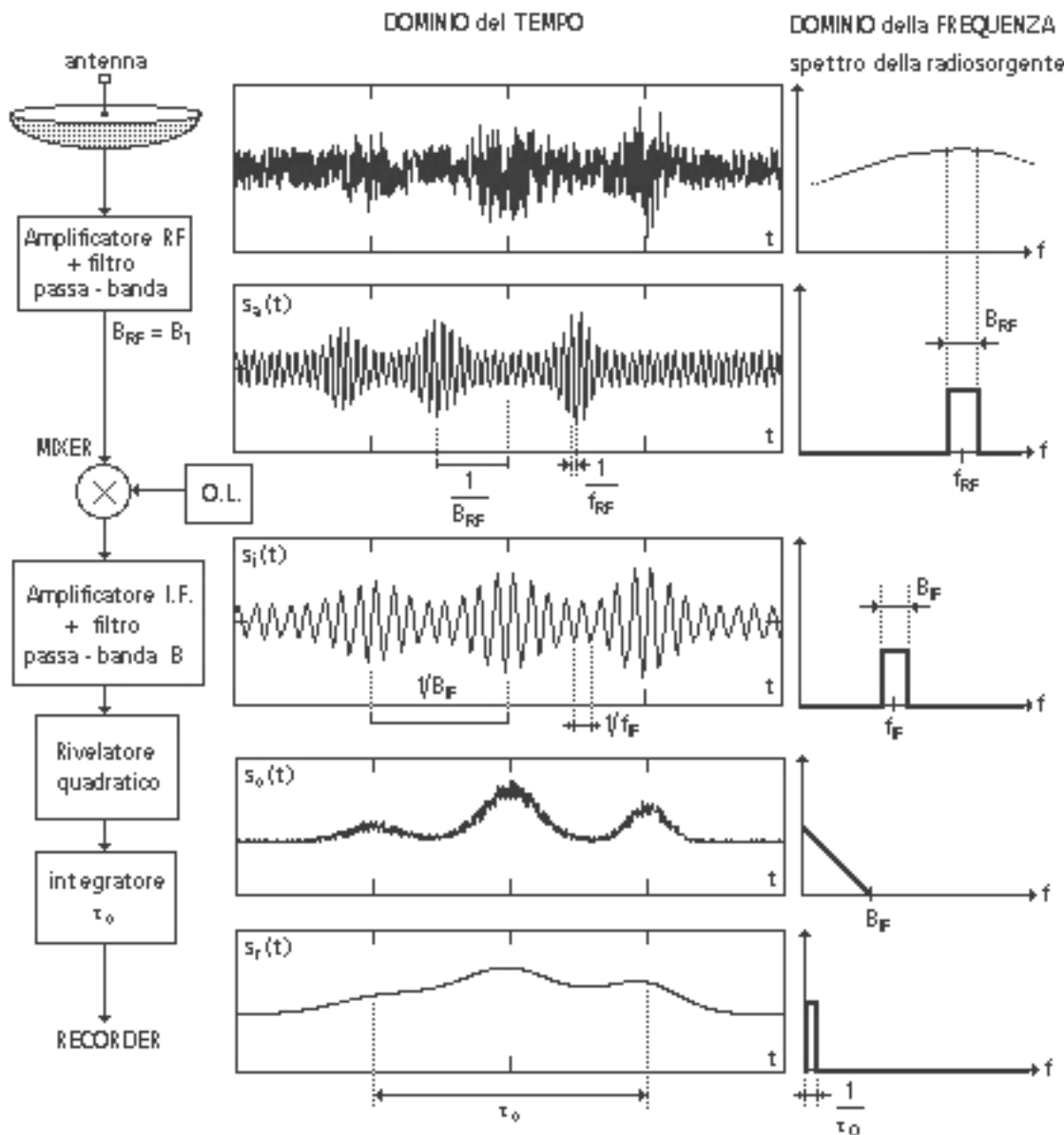
E' composto da un sistema di antenna, da linee di trasmissione che convogliano il segnale ricevuto ad un ricevitore, da dispositivi per l'elaborazione e la registrazione dei dati acquisiti. La struttura comprende anche gli organi di controllo e di puntamento.

Concettualmente un RADIOTELESCOPIO non è troppo differente da un normale apparato ricevente per radiocomunicazioni, anche se alcune caratteristiche peculiari sono specializzate per garantire il corretto trattamento dei segnali ricevuti (sostanzialmente rappresentati da RUMORI).



Schema a blocchi che illustra la struttura di un semplice RADIOMETRO

Segnali elaborati da un ricevitore radioastronomico



Equazione del radiometro:

$$\Delta T = \frac{T_S}{\sqrt{BN\tau_0}} \text{ [}^\circ\text{K]}$$

B = banda passante RX;
 N = numero registrazioni;
 T_s = temperatura di rumore del sistema ricevente;
 τ_0 = cost. di tempo integratore;
 ΔT = segnale min. rivelabile

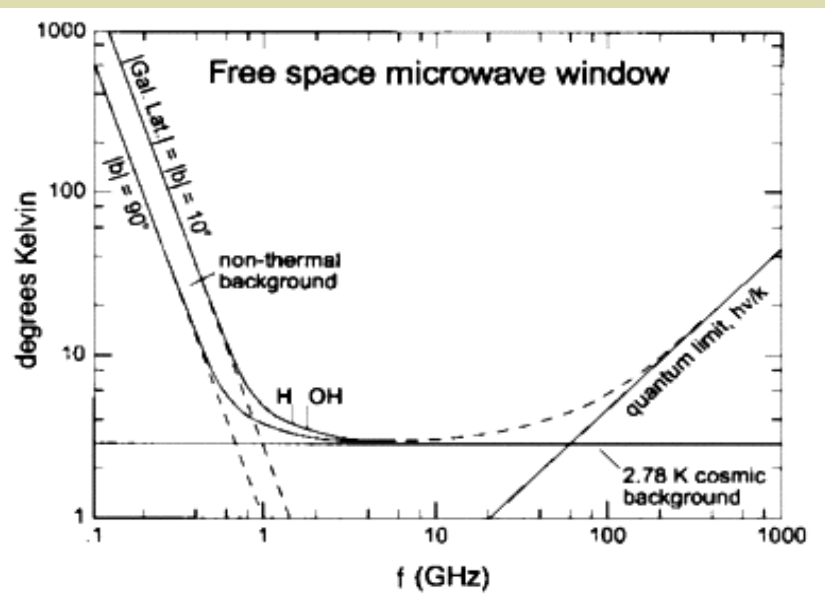
L'intensità minima di radiazione che può essere raccolta dall'antenna di un radiotelescopio dipende dalla **rumorosità complessiva del sistema ricevente**.

Il segnale "utile" cosmico è di tipo aleatorio, costituito da rumore a distribuzione gaussiana dei livelli e spettro di potenza uniforme, **simile al rumore termico degli apparati**, quindi indistinguibile da questo.

$$\Delta T = \frac{T_S}{\sqrt{BN\tau_0}} \quad [^{\circ}\text{K}]$$



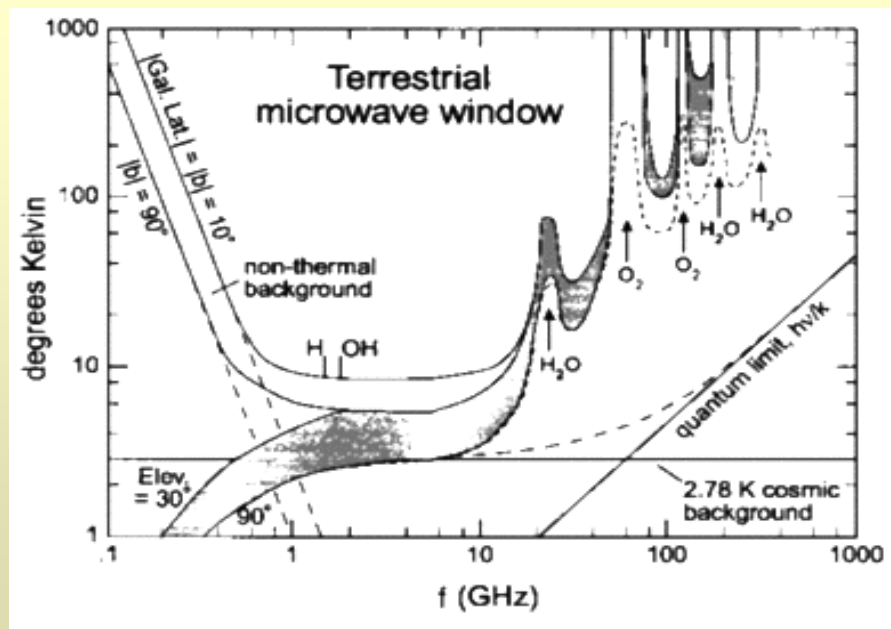
Schematizzazione dell'andamento della temperatura d'antenna di un sistema ricevente quando l'antenna è puntata verso il cielo. Si noti l'incremento rispetto al rumore di fondo dovuto al passaggio di una radiosorgente attraverso il fascio d'antenna.



Le frequenze inferiori a 1 MHz sono assorbite dalle particelle cariche della ionosfera terrestre che funge da schermo per tutte le onde radio di frequenza inferiore a 10÷20 MHz. D'altra parte, la stessa atmosfera limita superiormente le frequenze utilizzabili (intorno ai 20 GHz) a causa dei fenomeni di assorbimento molecolare.

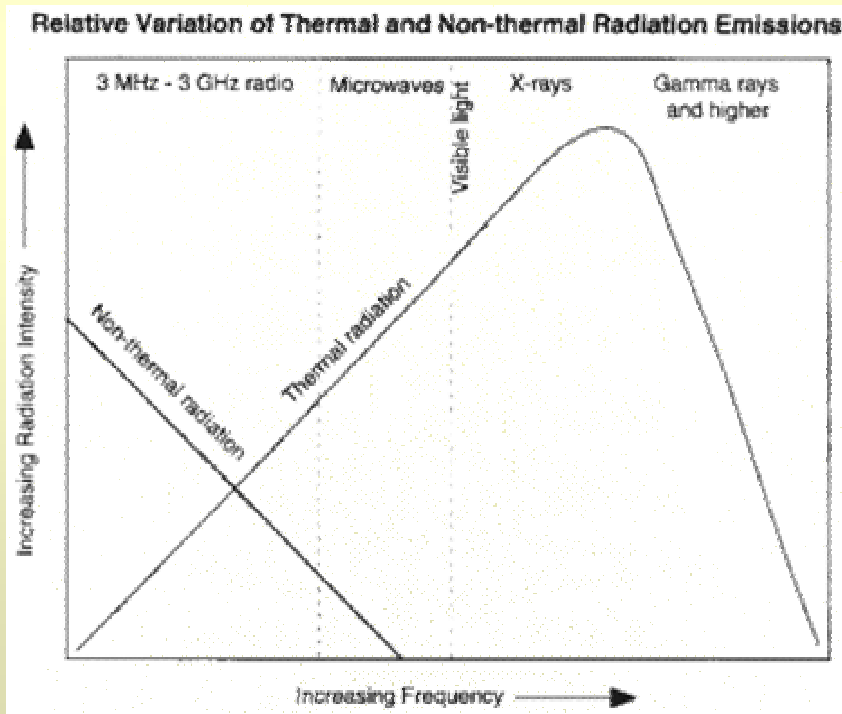
Quali frequenze utilizzare per le osservazioni?

I grafici evidenziano l'intervallo delle frequenze utili per le osservazioni radioastronomiche da terra. Si vede come la "finestra spettrale" aperta dall'atmosfera terrestre sia quella compresa fra 10-20 MHz e 10-20 GHz.



La scelta della frequenza operativa è legata anche alle caratteristiche emissive delle radiosorgenti:

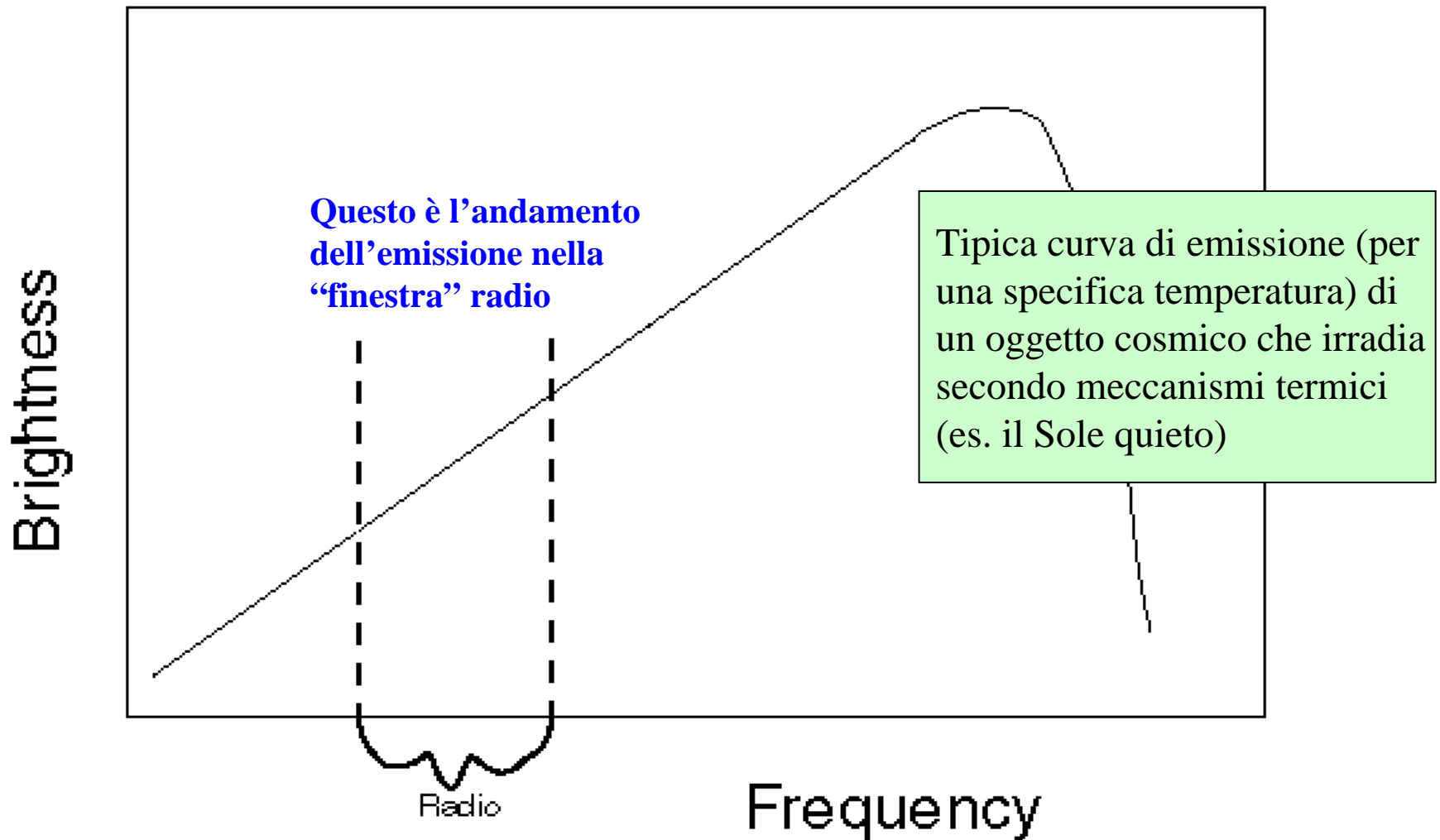
- radiazione termica
i segnali ricevuti sono più intensi alle frequenze elevate;
- radiazione non termica
i segnali ricevuti sono più intensi alle basse frequenze.



Variazione spettrale relativa delle radioemissioni termiche e non termiche. Le sorgenti termiche emettono come corpi neri a temperatura costante ed uniforme e sono caratterizzate da un andamento del flusso crescente con la frequenza. Le sorgenti non termiche (molto più numerose) sono caratterizzate da un flusso decrescente con la frequenza ed irradiano generalmente per emissione di sincrotrone.

Legge della radiazione di corpo nero di Planck

spiega le radioemissioni di natura termica



Principali radiosorgenti accessibili agli strumenti amatoriali

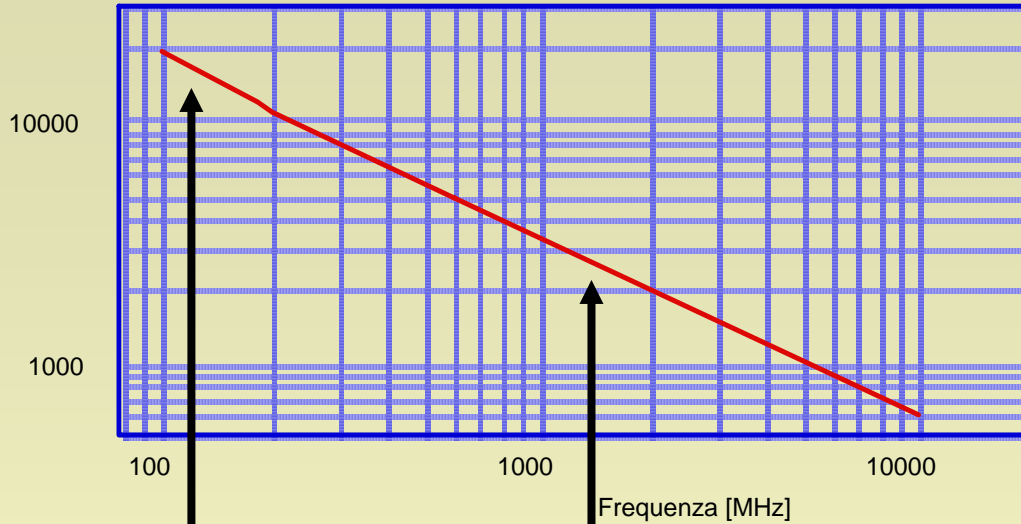
Radiosorgente	86 MHz	100 MHz	178 MHz	200 MHz	600 MHz	1400 MHz	10000 MHz
→ Sole		> 20000		> 70000	250000	400000	2500000
Luna		< 8		30	200		30000 ←
Giove			< 10	< 10		30	
→ Sagittarius A (nucl. gal.)	4500 ↑			3000	2000		300
→ Cassiopeia A (3C461) *		19000	11000	11000	5000		600
→ Cygnus A (3C405)		11800	8100	7000	4000		100
→ Taurus A (Crab neb.-3C144) *		1700	1420	1400	1000		500
Virgo A (3C274 - NGC4486)		1780	970	800	400		30
Andromeda nebula (M31)				300	200		30
3C273 (quasar)				70	60		20
Hercules A (3C348)		580	326				
Perseus A (NGC1275)		180					
Fomax A (NGC1316)		240					
North America nebula						550	
Rosette neb. (NGC2244)						260	
2C1725 *		510					
→ Centaurus A		8700 ↑					

* : resto di supernova

I valori della densità di flusso S(f) riportati in tabella sono espressi in Jy secondo la relazione:

$$S(f) = 10^{-26} \cdot \left[\frac{W}{m^2 \cdot Hz} \right] = [f.u.] = [Jy]$$

Densità di flusso [f.u.] per CASSIOPEIA A

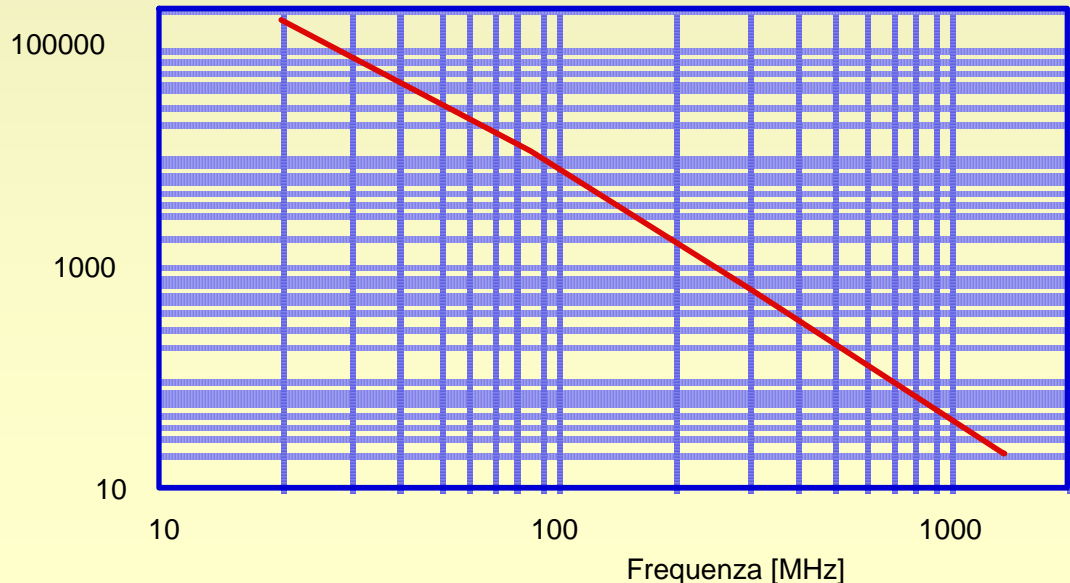


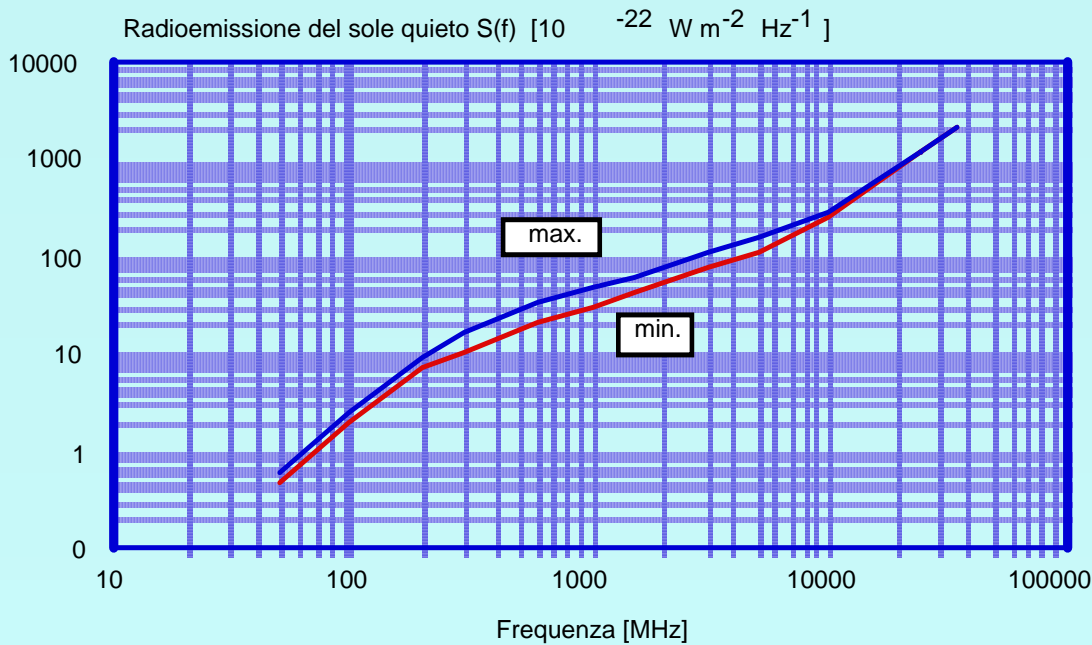
Qui si riceve
meglio che qui

**Sono particolarmente
adatte per i primi
esperimenti
radioastronomici**

Tipici spettri di
radiosorgenti non
termiche:
**sono decrescenti con
la frequenza**

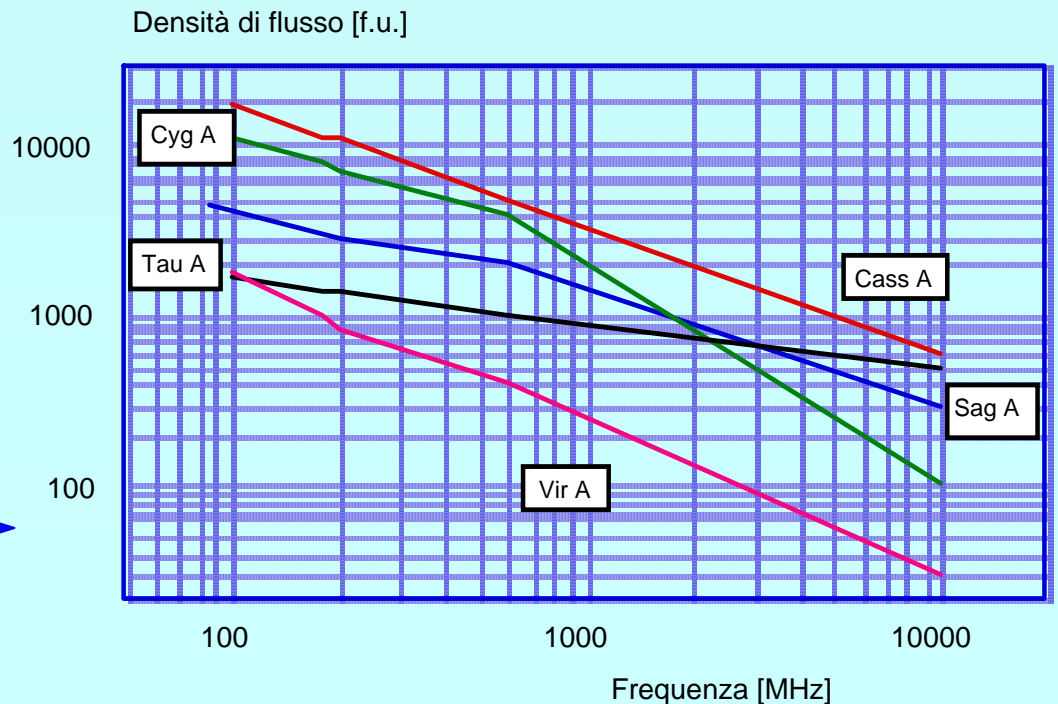
Temperatura di brillanza dell'equatore galattico [°K]





Spettro della
 radiosorgente termica
 più intensa:
il Sole

Le più importanti
 radiosorgenti non
 termiche



*Unità di misura
per la densità di flusso
delle radiosorgenti:*

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

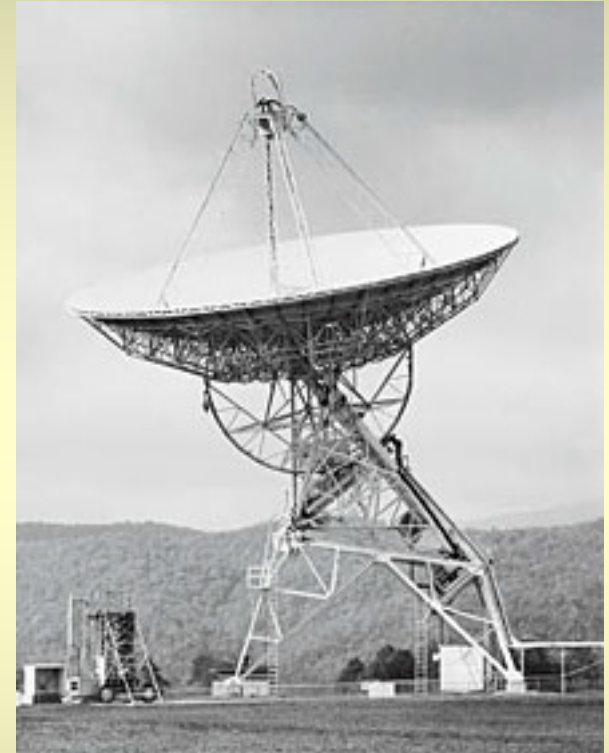
*chiamata
unità di flusso (f.u.) o Jansky (Jy)*

Classificazione delle bande di frequenza radio

<u>Lunghezza d'onda</u>	<u>Frequenza</u>	<u>Denominazione</u>
1000 - 100 Km	0.3 - 3 KHz	ELF: Extremely Low Frequency
100 - 10 Km	3 - 30 KHz	VLF: Very Low Frequency
10 - 1 Km	30 - 300 KHz	LF: Low Frequency
1000 - 100 m	0.3 - 3 MHz	MF: Medium Frequency
100 - 10 m	3 - 30 MHz	HF: High Frequency
10 - 1 m	30 - 300 MHz	VHF: Very High Frequency
1000 - 100 mm	0.3 - 3 GHz	UHF: Ultra High Frequency
100 - 10 mm	3 - 30 GHz	SHF: Super High Frequency
10 - 1 mm	30 - 300 GHz	EHF: Extremely High Frequency

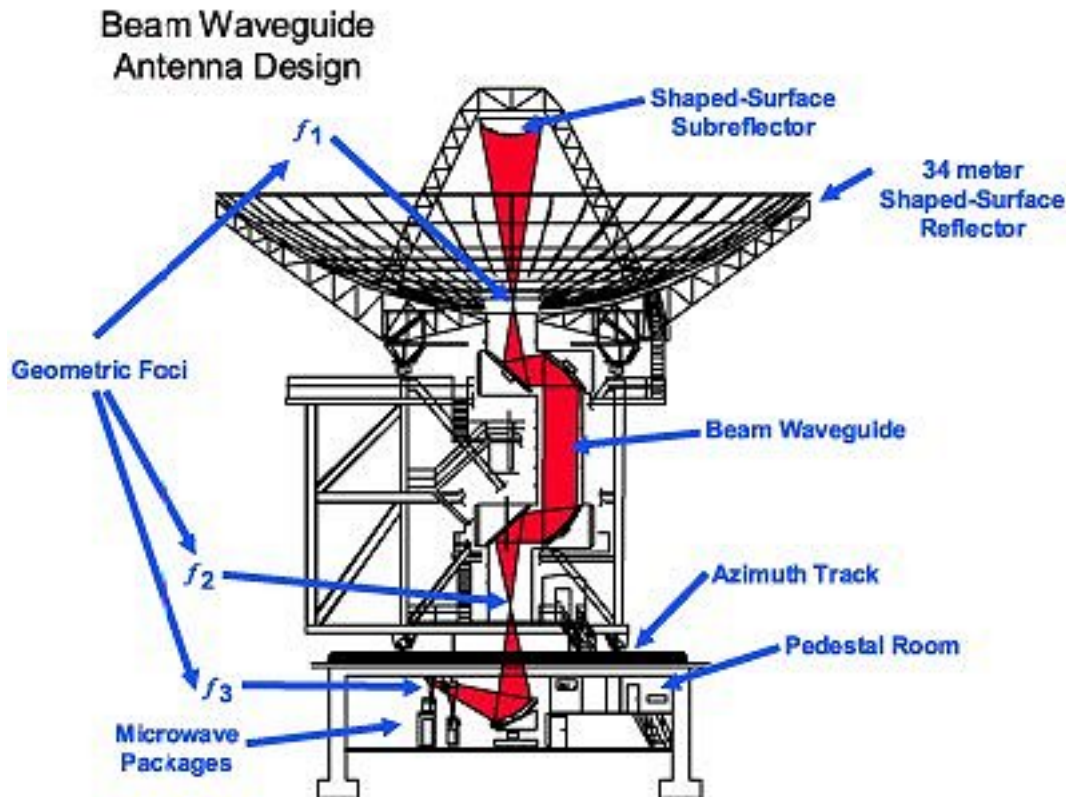
Frequenze riservate alla radioastronomia

Osservazione nel continuo:	13.36 - 14.41 MHz
	25.55 - 25.67 MHz
	37.50 - 38.25 MHz
	73.00 - 74.60 MHz
	150.05 - 153.00 MHz
Osservazione nel continuo e del deuterio:	322.00 - 328.06 MHz
Osservazione nel continuo:	406.10 - 410.00 MHz
	608.00 - 614.00 MHz
Osservazione dell'idrogeno:	1.330 - 1.400 GHz
	1.400 - 1.427 GHz
Osservazione dell'ossidrile:	1.6106 - 1.7222 GHz
Osservazione nel continuo:	2.655 - 2.690 GHz
	2.690 - 2.700 GHz
Osservazione di CH:	3.260 - 3.3525 GHz
Osservazione nel continuo e di H ₂ CO:	4.80 - 4.99 GHz
Osservazione nel continuo:	4.99 - 5.00 GHz
	10.60 - 10.68 GHz
	10.68 - 10.70 GHz
Osservazione di H ₂ CO:	14.47 - 14.50 GHz
Osservazione nel continuo:	15.35 - 15.40 GHz
Osservazione di H ₂ CO:	22.01 - 22.50 GHz
Osservazione di NH ₃ :	22.81 - 23.12 GHz
Osservazione nel continuo e del radicale ammonio:	23.60 - 24.00 GHz
Osservazione nel continuo:	31.20 - 31.30 GHz
	31.30 - 31.80 GHz



In grassetto sono indicate le bande ad uso esclusivo, all'interno delle quali é vietato produrre qualsiasi tipo di emissione: queste bande sono di particolare interesse astrofisico e spesso coincidono con le righe d'emissione di molecole importanti.

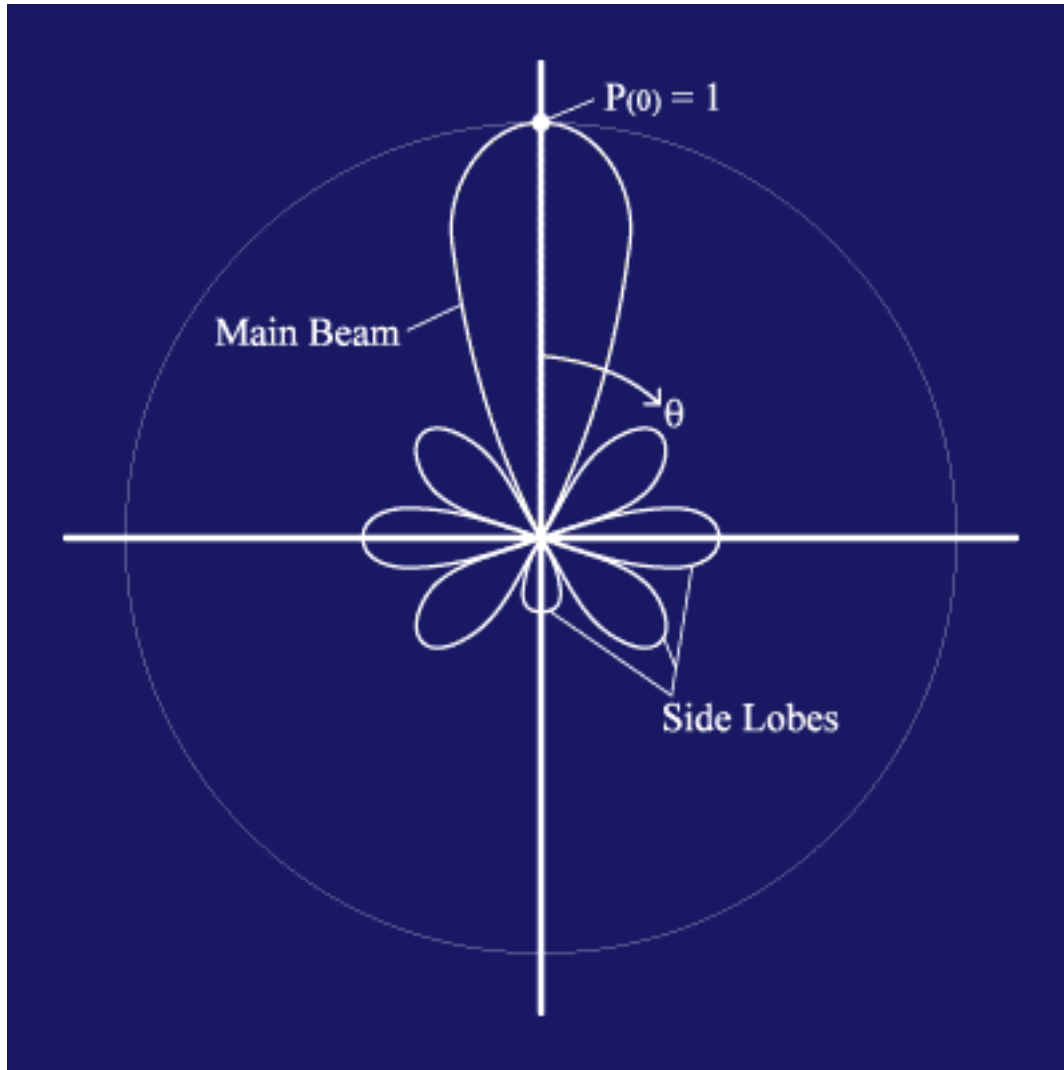
Antenne per radioastronomia



Un'antenna ricevente è un sistema che ha lo scopo di convertire l'energia elettromagnetica captata dallo spazio in segnali elettrici misurabili.

Un'antenna radioastronomica deve essere molto direttiva (per stabilire la direzione di provenienza della radiazione) ed essere caratterizzata da elevato potere risolutivo (capacità di distinguere due radiosorgenti molto vicine nello spazio).

Caratteristiche delle antenne



Un'antenna é utile in radioastronomia se possiede:

1. Elevata direttività e ridotto livello dei lobi laterali
2. Elevato potere risolutivo
3. Grande area efficace
4. Struttura orientabile.



Notevoli problemi strutturali e di costo

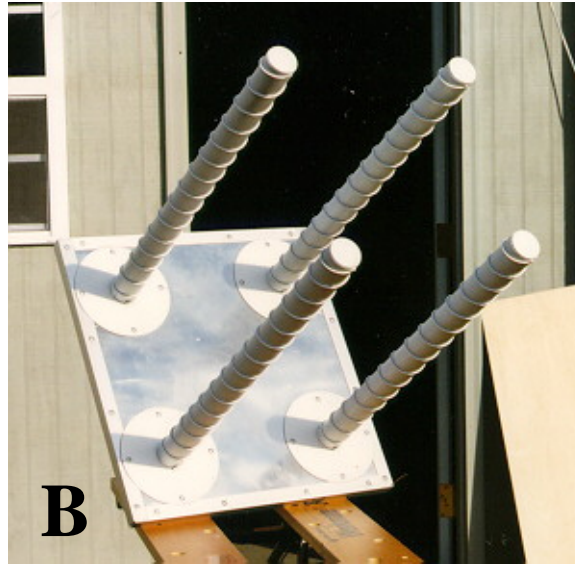
Tipico diagramma di ricezione di un sistema d'antenna utilizzato in radioastronomia

SISTEMI DI ANTENNA RADIOASTRONOMICI: esempi di realizzazioni dilettantistiche

A



B



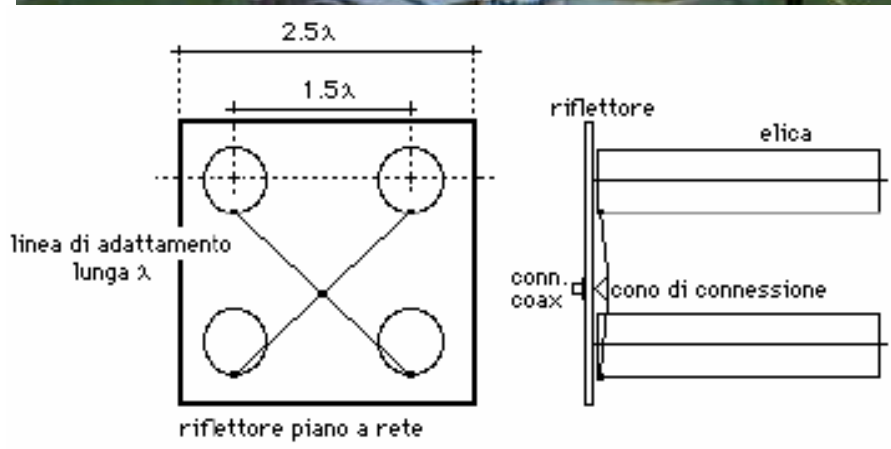
D



C



- A. Array di yagi
- B. Array di eliche
- C. Riflettore parabolico
- D. Tromba piramidale



Array di 4 antenne ad elica (tipica realizzazione amatoriale)

Analisi dei segnali ricevuti

- **Analisi radiometrica (ricevitore total power)**: si valuta la potenza associata alla radiazione elettromagnetica incidente. Lo strumento utilizzato è il **radiometro**.
- **Analisi spettrale**: si valutano l'ampiezza e la fase delle varie componenti del segnale entro una specificata banda di frequenze. Lo strumento utilizzato è il **radiospettrografo**.
- **Analisi interferometrica**: si valutano l'ampiezza e la fase della cosiddetta “funzione visibilità” delle frange di interferenza (prodotte da un sistema di due o più antenne) per stimare la distribuzione di brillantezza della radiosorgente osservata. Lo strumento utilizzato è il **radiointerferometro**.

Possibili aree di interesse per la ricerca radioastronomica amatoriale:

- **banda ELF-VLF**: non sono ricevibili le radiazioni esterne in quanto schermate dalla ionosfera, ma si possono programmare studi molto interessanti per rivelare l'attività meteorica (fenomeni di ionizzazione dell'atmosfera terrestre indotta da eventi astronomici). Interessanti correlazioni con le ricerche su "Radio Natura". Strumenti molto economici, semplici da costruire e da installare.
- **banda HF**: si effettuano ricezioni non troppo lontane dal limite inferiore dello spettro radio. Studio delle tempeste radio solari e gioviane, studio della radiazione galattica. In questa banda di frequenze sono particolarmente intense le **radiosorgenti non termiche**. Ricevitori non troppo complicati da costruire, sistemi d'antenna molto ingombranti e caratterizzati da modesta direttività.

- **banda VHF**: a tali frequenze sarà relativamente semplice la ricezione del centro galattico, di Cassiopeia A e di Cygnus A. Installando un buon sistema d'antenna accoppiato con un ricevitore abbastanza sensibile si potranno rivelare le **pulsar** più potenti che, a causa del loro meccanismo di emissione, presentano un massimo di emissione proprio in banda VHF. **Questa è una ricerca difficile.** Ricevitori relativamente complessi e sistemi d'antenna accessibili. Possibilità di interessanti interventi di modifica su apparati provenienti da mercato radioamatoriale e/o surplus, su kit di ricevitori Proposti da riviste di elettronica hobbistica e da case produttrici di kit Elettronici. Possibilità di utilizzo di tuner TV commerciali.

- **banda UHF**: in tale banda, molto utilizzata dalla ricerca ufficiale (soprattutto negli anni 60 e 70) le radiosorgenti accessibili ai dilettanti non sono particolarmente intense. Ricevitori relativamente complessi e sistemi d'antenna accessibili. E' possibile utilizzare materiale TV (tuner ed antenne a basso costo).

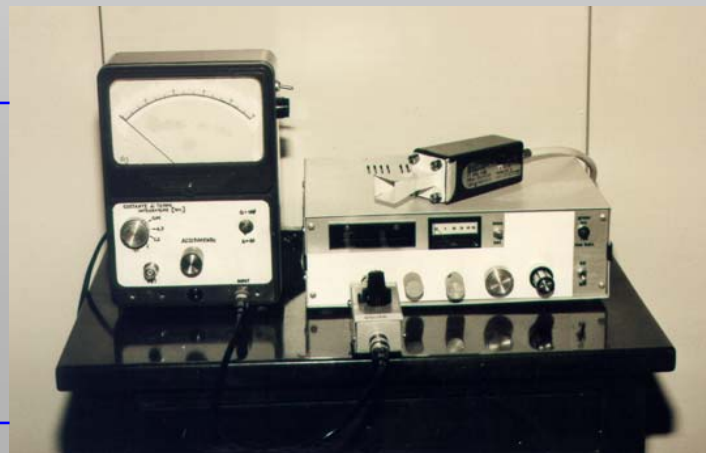
- **banda SHF**: in questa banda di frequenze è molto importante la **componente termica della radiazione cosmica** e, utilizzando strumenti non troppo complicati, è relativamente semplice la ricezione del Sole, della Luna e di altre radiosorgenti.

La diffusione di mercato della ricezione SAT-TV, GPS e della telefonia cellulare ha reso disponibili, a prezzi molto vantaggiosi, componenti elettronici e moduli adatti alla costruzione di efficienti radiometri a microonde.

Una grande varietà di antenne SHF è reperibile sul mercato.

Si possono sviluppare interessanti attività dilettantistiche di “esplorazione” radioastronomica spettrale del cielo, comprese ricerche SETI amatoriali.

Radiometro SHF sperimentale funzionante nella banda di frequenze 10-12 GHz costruito utilizzando moduli provenienti dal mercato TV-SAT.



Proposte per la ricerca amatoriale

- **Studio dei fenomeni elettromagnetici naturali nella parte inferiore dello spettro radio (banda ELF-VLF):**
 - **Rivelazione dei fenomeni meteoritici**
 - **Attività di monitoraggio “Radio Natura” (prog. Ispire NASA)**
 - **Correlazione con i fenomeni sismici (precursori)**
 - **Disturbi ionosferici indotti dall’attività solare.**
- **Studio delle “tempeste radio” del Sole e di Giove in banda HF (collegamenti con il progetto RadioJove della NASA). Collegamento con le scuole. Interessanti correlazioni con le fluttuazioni del campo magnetico terrestre.**
- **Programma SIDs dell’AAVSO (monitoraggio dei brillamenti solari osservando stazioni VLF nella banda 10-40 KHz). Collegamento con le scuole.**
- **Attività di METEOR SCATTER.**
- **Attività di ricerca SETI amatoriale (ad es. progetto BAMBI - USA) in banda SHF (rete di osservatori ciascuno dotato di piccoli strumenti).**

TIPO di PROGETTO

Monitoraggio dei brillamenti Solari in VLF

Studi sulle meteore

Tempeste radio di Giove

Ricezione total-power di radiosorgenti in banda HF-VHF

Radiometri in banda UHF-SHF

Rivelazione di Pulsar

Radiointerferometria e Mappatura di radiosorgenti

Ricerche SETI

ATTREZZATURE NECESSARIE

Ricevitore VLF ed antenna loop magnetica

Ricevitore VLF ed antenna

Ricevitore e Dipolo HF

Ricevitore HF-VHF ed antenna

Preampli-RF a basso rumore
Ricevitori ed antenne SHF ottimizzate

Preampli-RF a basso rumore
Ricevitori VHF-UHF ed antenne ottimizzate

Ricevitori multipli, array di antenne e tecniche FFT

Ricevitore SHF ed antenna ottimizzati, algoritmi FFT

LIVELLO DI CULTURA e PRATICA in ELETTRONICA

modesto (ricevitore ed antenna semplici ed economici)

modesto (come sopra) **FACILE**

buono (ricevitore non troppo complesso, antenna semplice)

buono (ricevitore relativamente complesso ed antenna complessa)

buono-avanzato (ricevitore relativamente complesso ed antenna complessa)

avanzato (ricevitore complesso ed antenna molto complessa)

DIFFICILE

molto avanzato (notevole complessità del sistema e degli algoritmi di elaborazione)

avanzato (complessità del ricevitore, dell'antenna e degli algoritmi di elaborazione)

Parametri importanti di uno strumento radioastronomico

- Sensibilità (minima rumorosità del ricevitore)
- Guadagno del sistema (tipico 80-100 dB, regolabile)
- Stabilità del sistema (non esiste AGC)
- Banda passante del ricevitore
- Costante di tempo dell'integratore
- Direttività del sistema d'antenna
- Calibrazione dello strumento
- Possibilità di orientare il fascio di ricezione
- Possibilità di inseguire le radiosorgenti.

Occorre controllare in particolare:

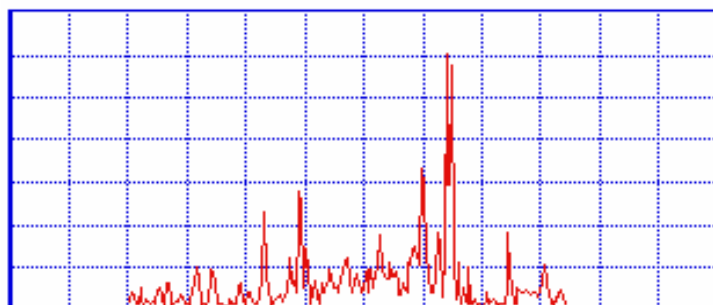
- la stabilità delle tensioni di alimentazione

- la stabilità della temperatura ambiente

Osservazioni in banda ELF-VLF

Radiazione 1.5-7.5 KHz

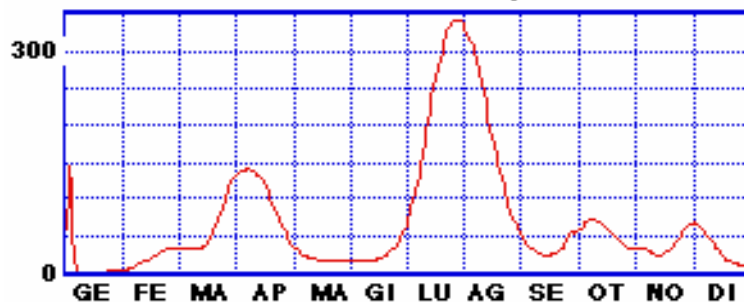
Registrazioni giornaliere dalle ore 01.00 alle ore 04.00 GMT



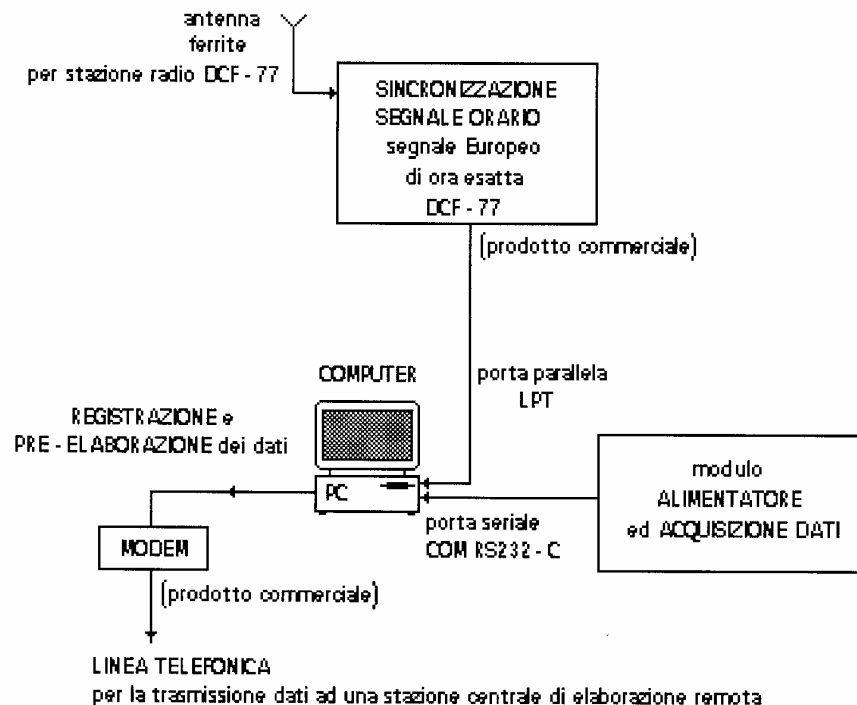
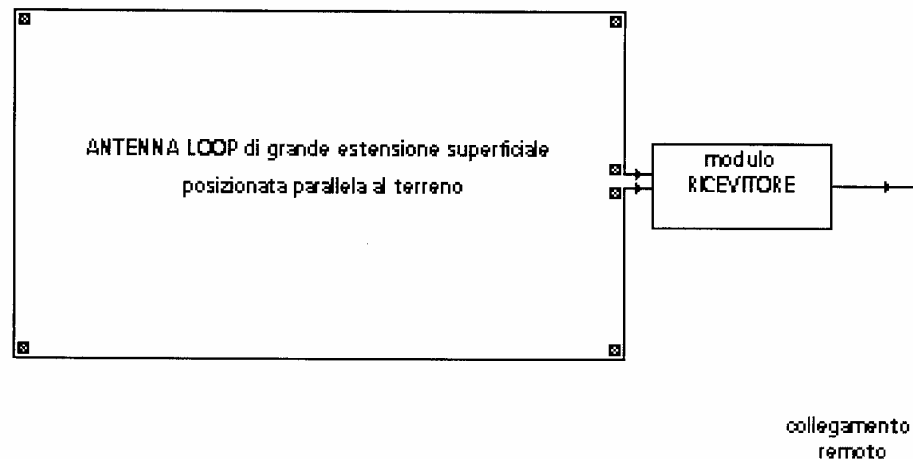
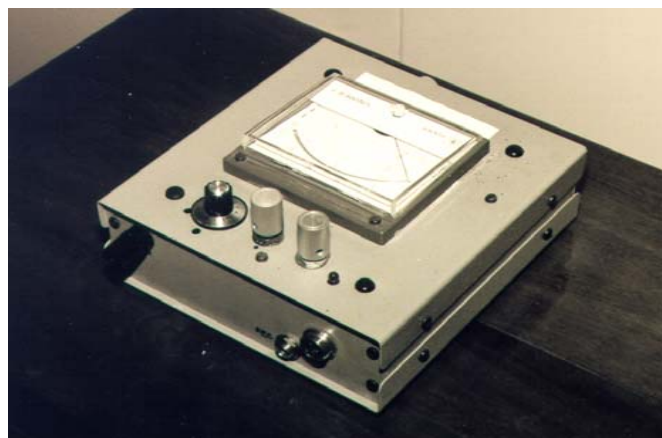
marzo

ottobre

Numero medio di eventi meteoritici per ora

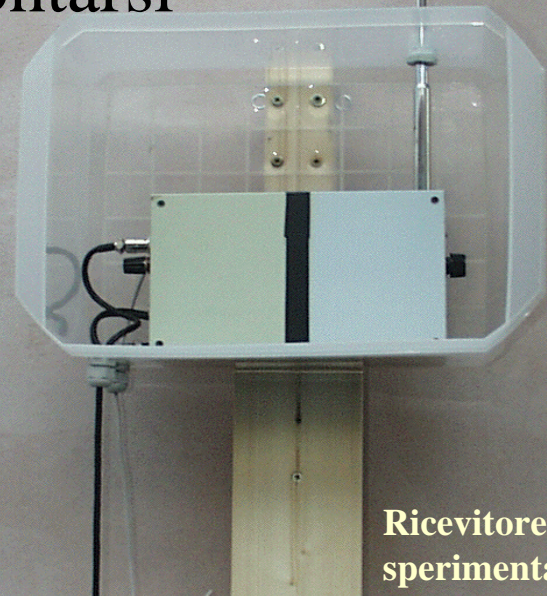
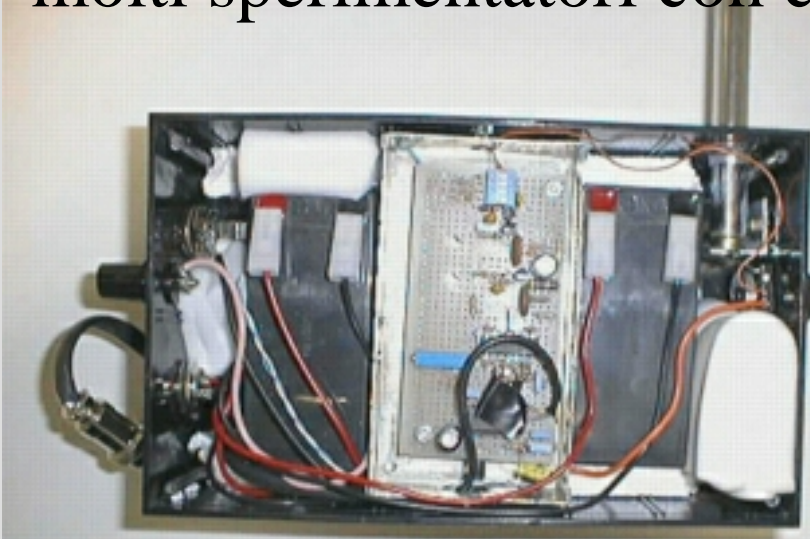


GE FE MA AP MA GI LU AG SE OT NO DI



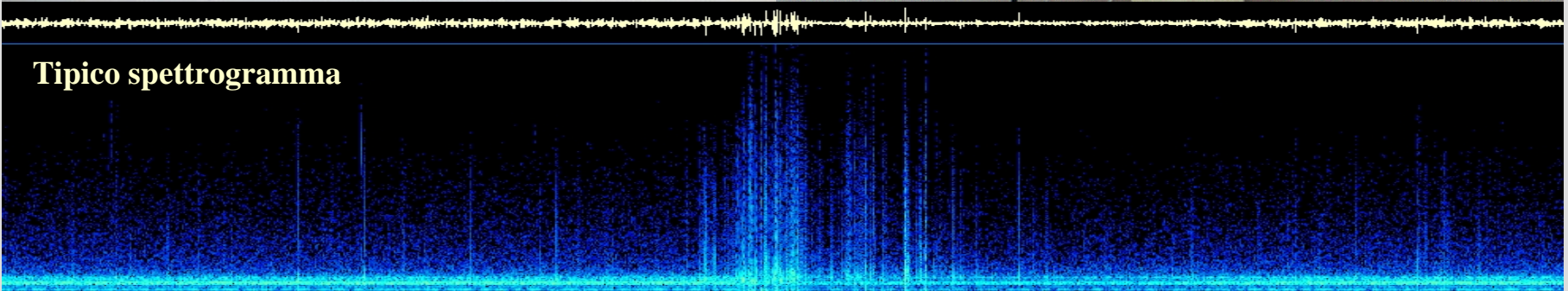
Sistemi riceventi ULF-ELF-VLF:

- semplici da costruire
- economici
- software disponibile in rete
- molti sperimentatori con cui confrontarsi

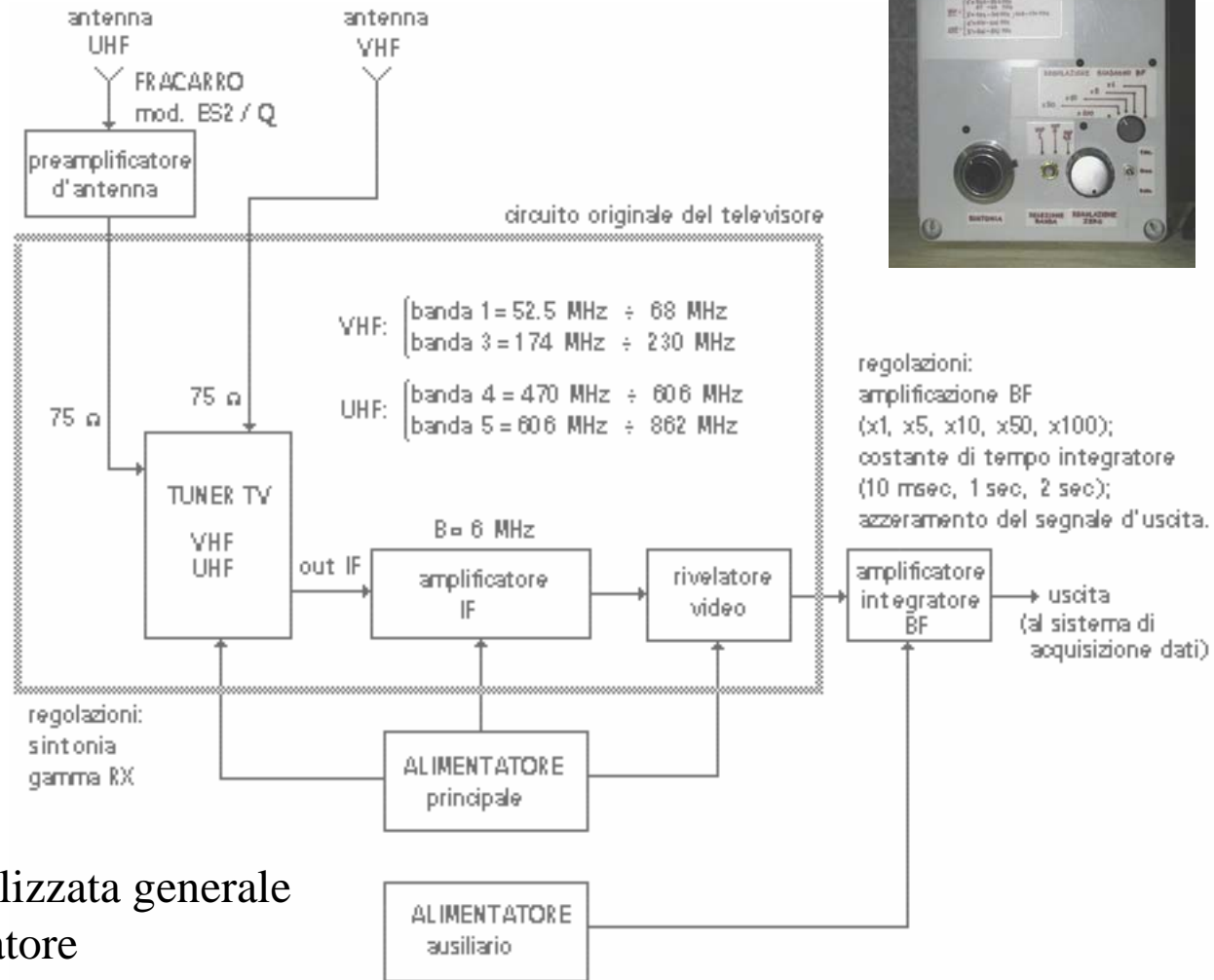


Ricevitore ELF-VLF
sperimentale

Tipico spettrogramma



Osservazioni in banda VHF-UHF modifiche su un televisore

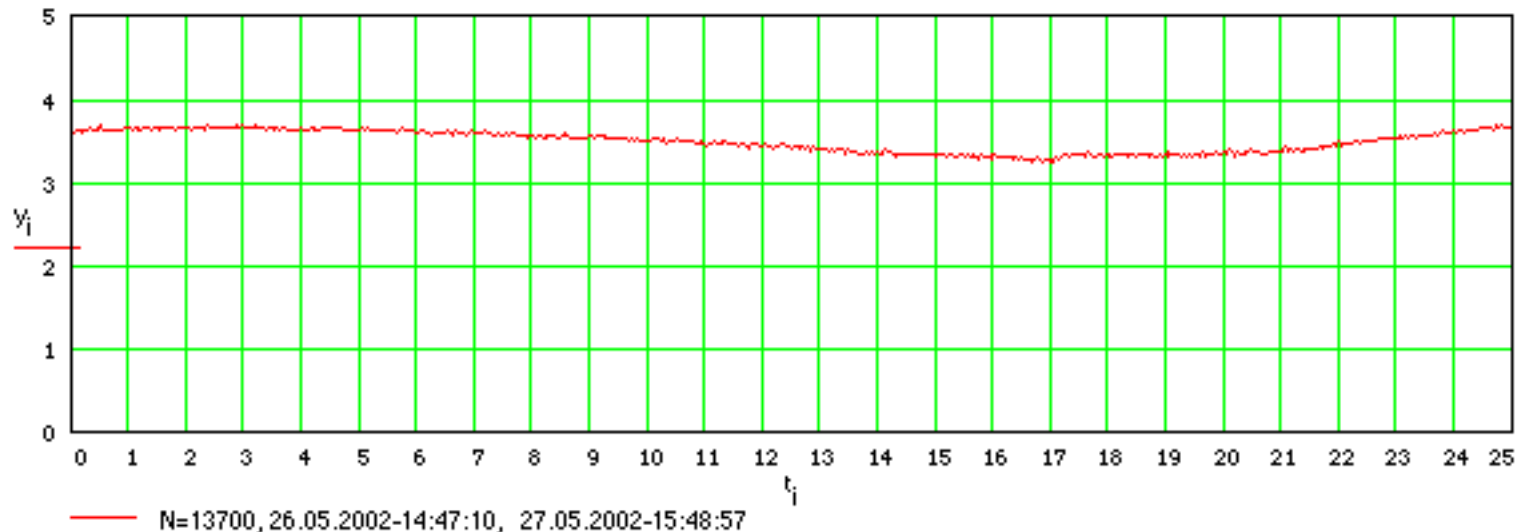


Interventi chiave:

1. Disattivare il circuito AGC
2. Rifare l'alimentazione stabilizzata generale
3. Perfezionare lo stadio rivelatore
4. Stabilizzare termicamente il sistema.

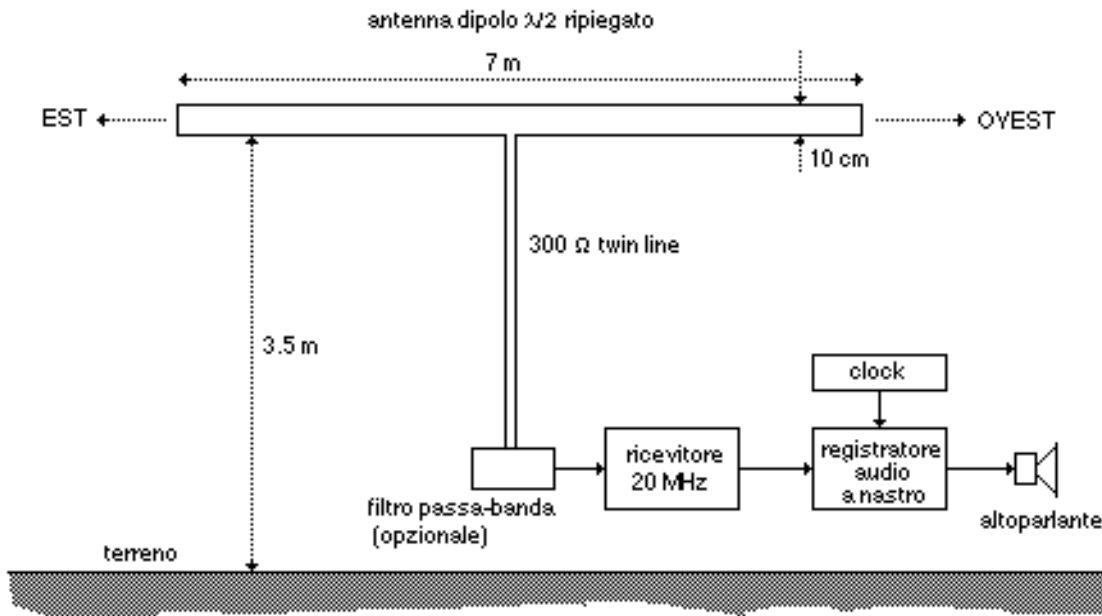
Registrazione di prova effettuata per verificare la **stabilità del sistema rispetto alle variazioni della temperatura ambiente**. Al posto dell'antenna è stato applicato un carico fittizio con il ricevitore sistemato all'interno di un'abitazione.

La misura è stata avviata un'ora dopo l'accensione dell'apparecchio registrando automaticamente i dati nel corso delle successive 25 ore. **La variazione del segnale registrato rappresenta la risposta del sistema alle variazioni di temperatura del carico fittizio e dei circuiti interni**. Esaminando il grafico si vede come il minimo della risposta del sistema si verifichi effettivamente durante le ore notturne, quando si registrano i minimi valori della temperatura ambiente.



Monitoraggio della radiazione decametrica di Giove e delle radiotempeste solari

Schema di principio della più semplice stazione ricevente amatoriale utilizzabile per la registrazione dei radio burst di Giove alle frequenze intorno a 20 MHz.

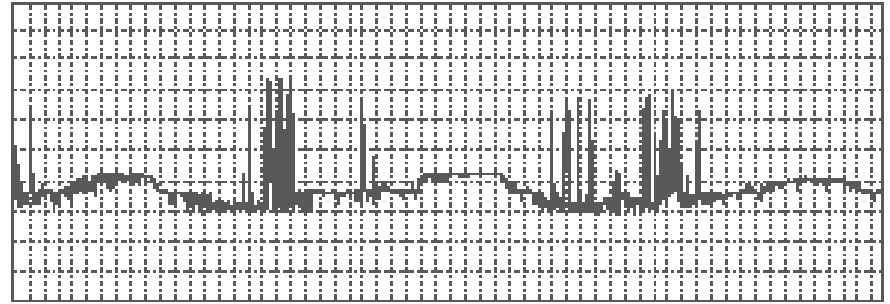


Radiazione galattica alle lunghezze d'onda decametriche



Prototipo di un ricevitore ad **amplificazione diretta** funzionante alla frequenza di 20.4 MHz (banda passante pari a circa 830 KHz) con il quale è stato possibile replicare le esperienze di Jansky.

Radiazione galattica 20.4 MHz (cost_tempo=16 sec.)

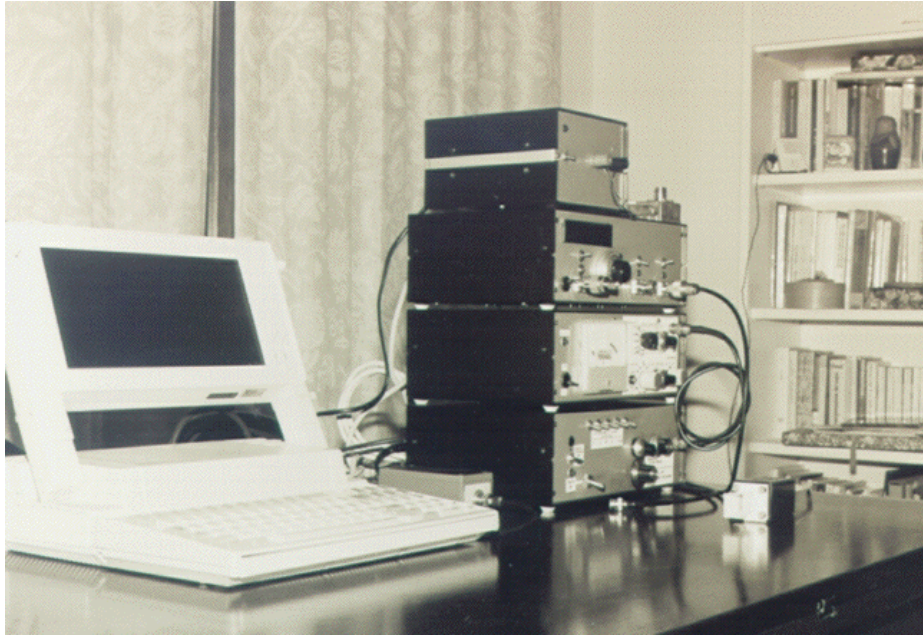


osservazione: dalle ore 20:51 locali del 03.09.1995 alle ore 08:36 del 06.09.1995

Registrazione di prova effettuata con il ricevitore collegato ad un semplice dipolo filare a mezz'onda disposto orizzontalmente rispetto al terreno ed orientato con i massimi di radiazione in direzione NE-SO. A parte i disturbi locali a carattere impulsivo, si distinguono i larghi massimi periodici dovuti alla radiazione complessiva proveniente da centro galattico.

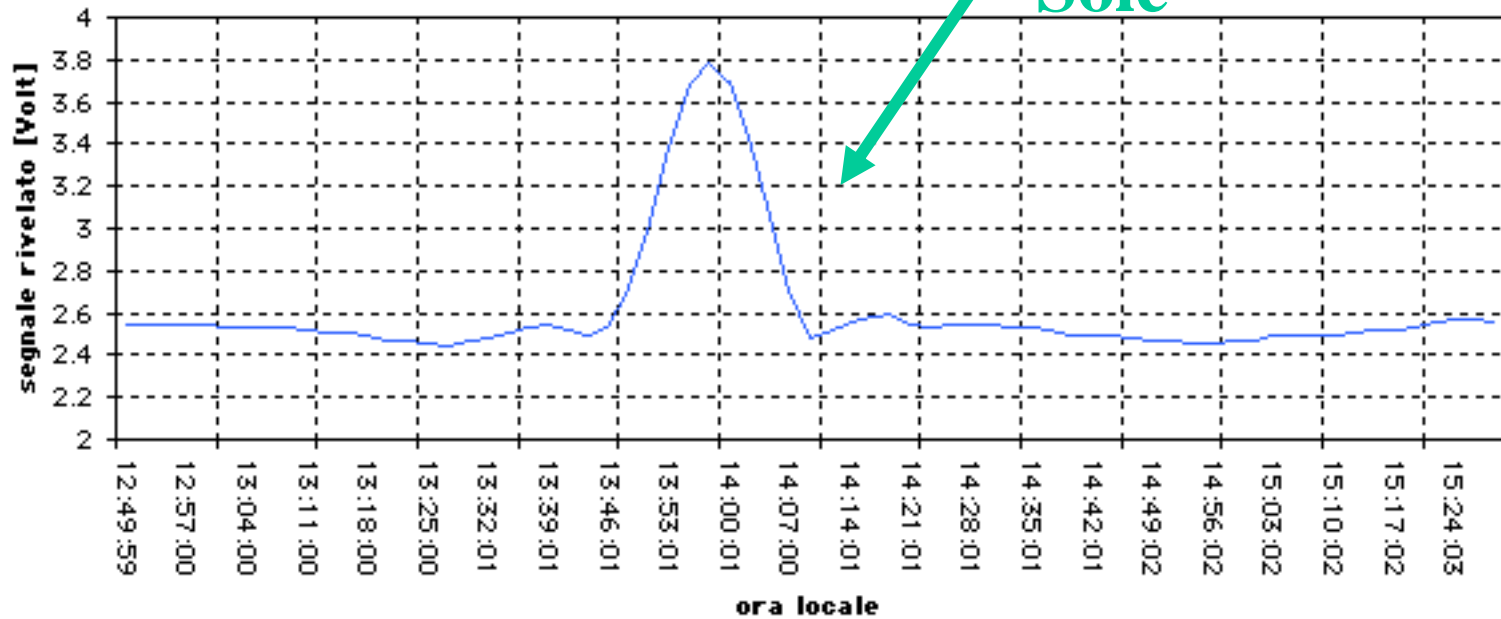
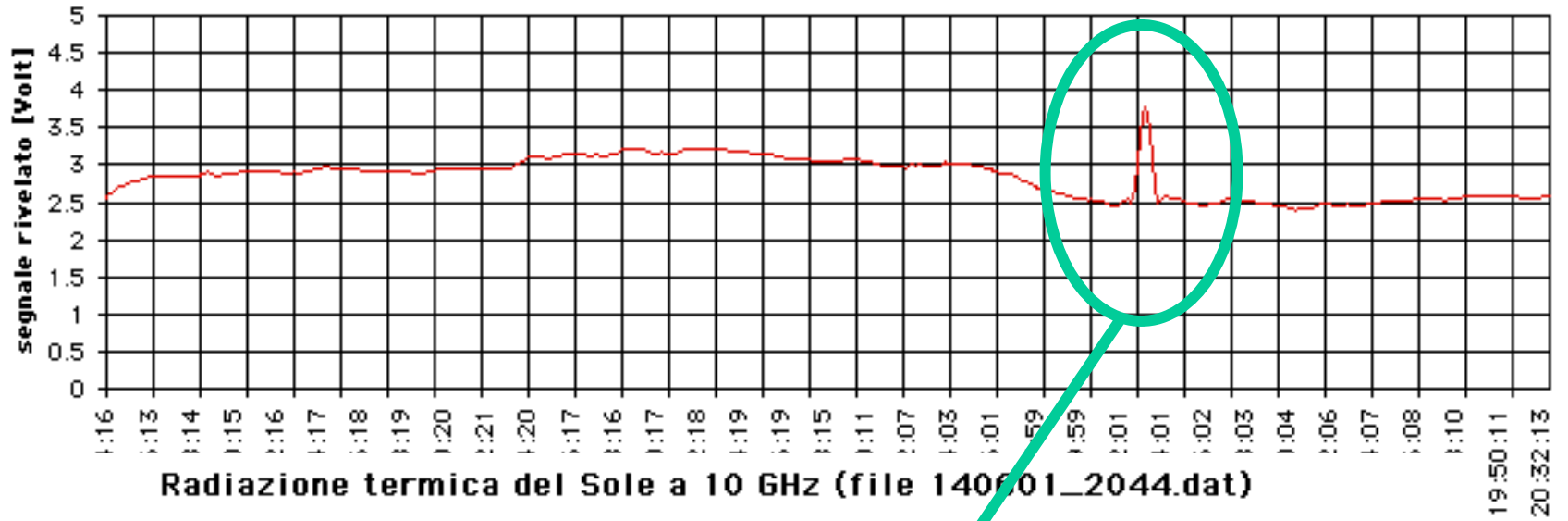
Si noti la stabilità del sistema tipica dei ricevitori ad amplificazione diretta.

Stazione ricevente 134, 327, 408 MHz

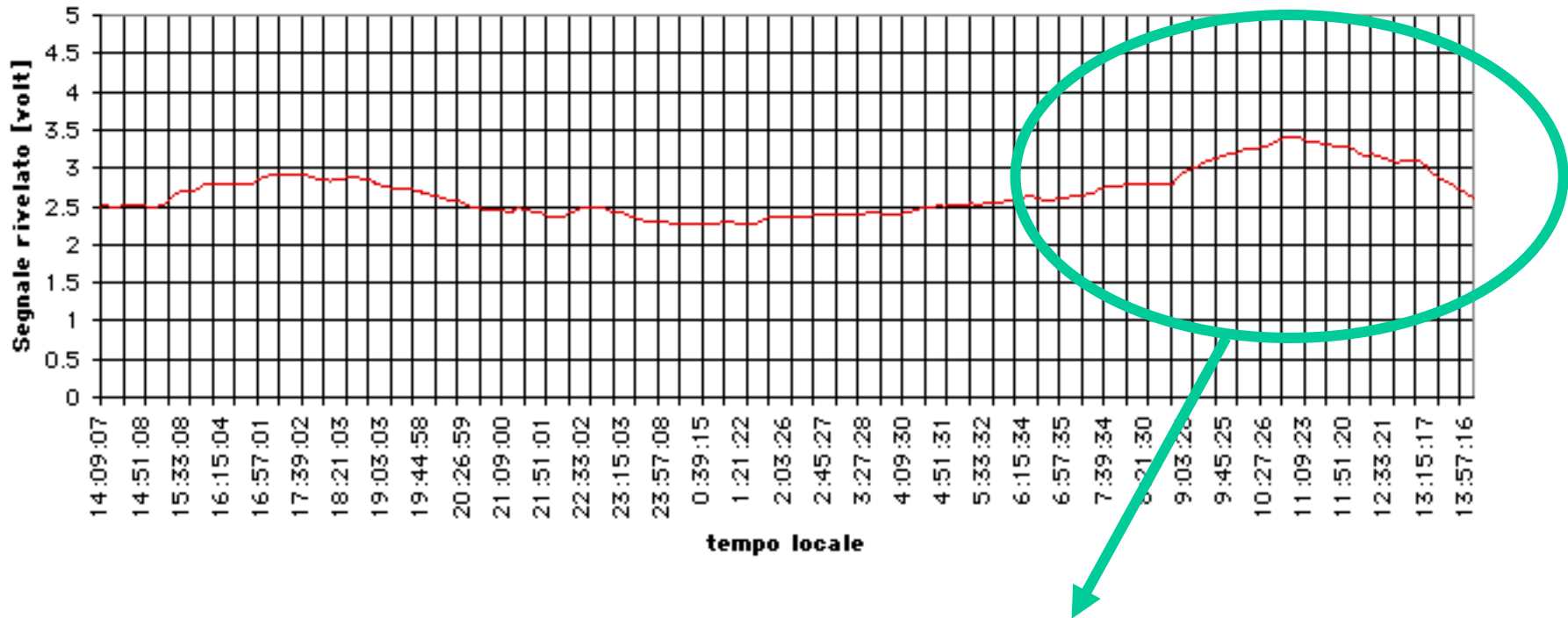


Il ricevitore é fisicamente organizzato in 3 scatole metalliche schermate principali, oltre ad un gruppo di contenitori esterni che comprendono gli stadi RF commutabili e le relative alimentazioni. Ogni scatola comprende i circuiti di alimentazione stabilizzati con il relativo trasformatore di rete mentre i comandi, le visualizzazioni e le connessioni sono disposti in modo da poter "comporre" l'impianto sovrapponendo semplicemente i vari moduli. Nella foto a destra si vedono (partendo dall'alto) il modulo degli oscillatori locali, il modulo dell'amplificatore principale (comprendente i convertitori di frequenza, gli amplificatori IF e l'attenuatore discreto di precisione, il rivelatore di ampiezza che utilizza un moltiplicatore analogico a quattro quadranti). Il modulo che si vede in basso è quello relativo all'amplificatore di post-rivelazione e all'integratore.

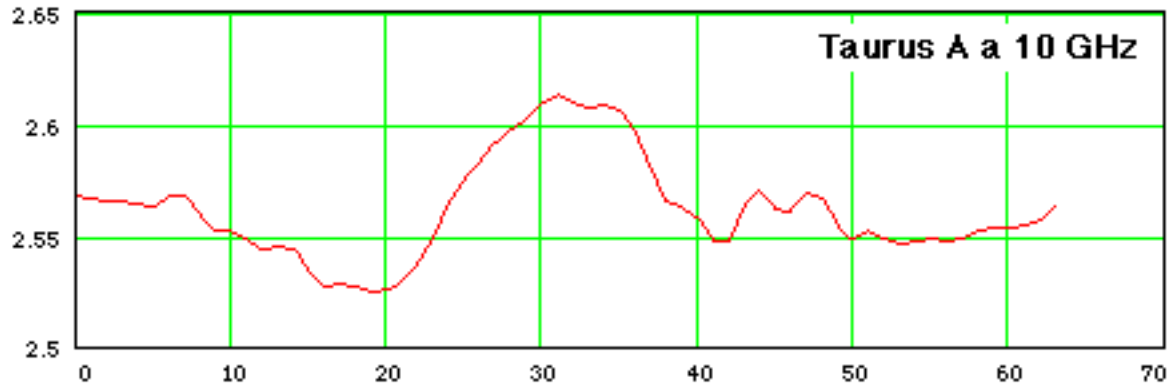
file 140601_2044.dat (ricevitore SHF 10 GHz)



Galassia



Scansione del cielo alla frequenza di 12 GHz (06 Gennaio 2002).
La parte destra della registrazione mostra il massimo corrispondente al passaggio della Via Lattea per la declinazione di $+22^\circ$.
Il ricevitore SHF, equipaggiato con un'antenna ad array di fessure, è stato predisposto per un'amplificazione DC pari a 100 con una costante di tempo dell'ordine di 2 secondi.



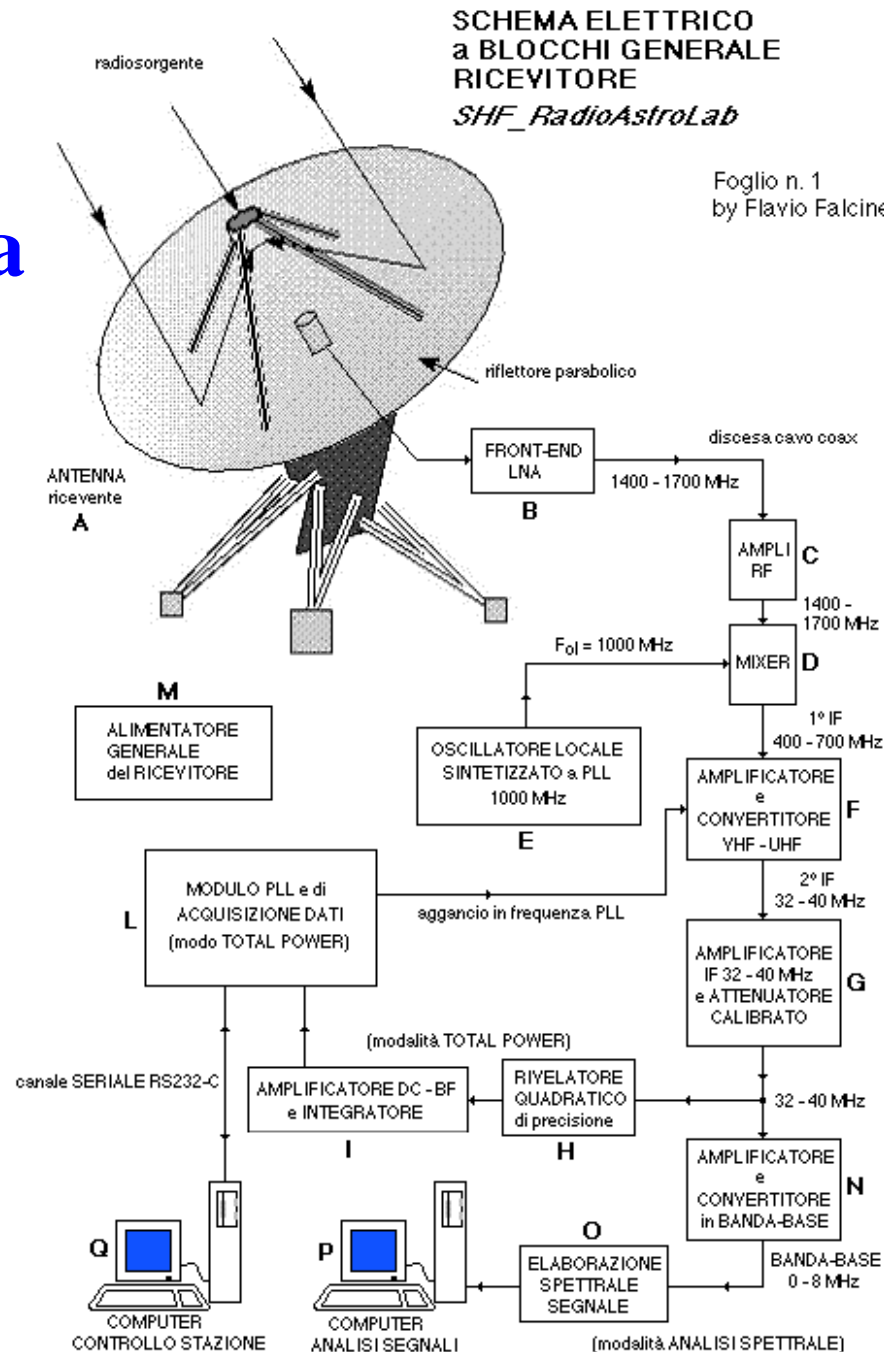
Registrazione della radiosorgente TAURUS A (Crab Nebula: residuo compatto di supernova) effettuata con il radiometro SHF alla frequenza di 10 GHz **al limite della sensibilità e della risoluzione strumentale**. Il grafico mostra uno “zoom” relativo al transito della radiosorgente dove appaiono evidenti i limiti della risoluzione (errore di quantizzazione) del convertitore analogico-digitale ad 8 bit utilizzato nella scheda di acquisizione automatica del segnale rivelato.

Tale limitazione è evidenziata dall’ampiezza molto ridotta del picco di segnale (dell’ordine di 80 mV) rispetto alla dinamica totale consentita per l’ingresso dell’ADC (0-5 V).

Si sarebbe ottenuta una rappresentazione molto più accurata utilizzando un ADC con risoluzione pari a 12 o 16 bit.

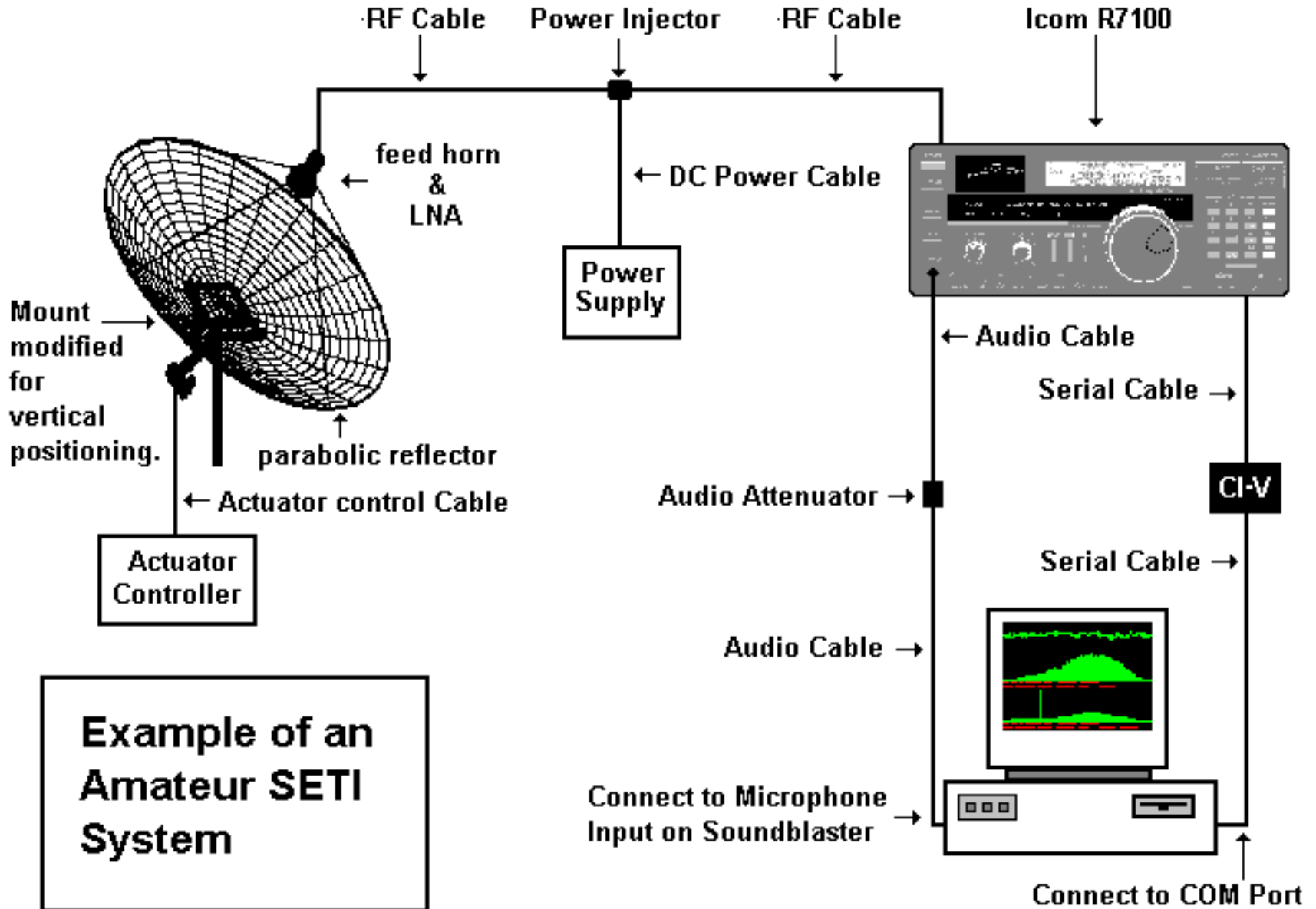
Radiometro e Radiospettrografo funzionante nella finestra “water-hole” (1400-1700 MHz)

Il sistema può operare come **radiometro** (segnale d'uscita proporzionale alla potenza associata al segnale captato dall'antenna) e come **radiospettrografo** per analisi e studi nel dominio della frequenza (utilizzabile per ricavare il profilo delle righe spettrali di interesse astrofisico e per ricerche SETI amatoriali). In modalità spettrale occorre elaborare il segnale in banda base (0-8 MHz) con un ADC veloce in grado di campionare in tempo reale segnali fino ad 8 MHz.



Ricerca SETI amatoriale

Analisi spettrale a scansione di frequenza



Ricerche SETI amatoriali

metodi spettrali a confronto:

- **analisi spettrale a scansione di frequenza**

(es. progetto BAMBI) semplice ma poco efficiente in quanto si analizza una “fettina” di frequenza alla volta entro una specificata banda. Tipico sistema amatoriale è quello mostrato nella precedente diapositiva.

- **analisi spettrale in tempo reale con FFT**

più complessa e costosa della precedente in quanto richiede un ricevitore con uscita in banda-base (qualche MHz) che sarà analizzata da un sistema di acquisizione veloce che calcola la FFT dei dati. Grazie alla disponibilità di PC veloci, è oggi possibile effettuare il calcolo della FFT via software anziché utilizzando DSP dedicati. Esempio di radiospettmetro é *SHF_RadioAstroLab*.



Sistemi di acquisizione e registrazione automatica dei dati

Indispensabili per registrare automaticamente i campioni del segnale rivelato, sono generalmente costituiti da una scheda elettronica che realizza l'interfaccia fra il ricevitore ed il PC. Il “cuore” del circuito è un **convertitore analogico-digitale (ADC)** che trasforma il segnale rivelato all'uscita del ricevitore in un dato numerico (binario) inviato al PC in forma seriale (RS232C) o in forma parallela (porta parallela o slot interno). Il programma di gestione del PC consentirà la visualizzazione e la registrazione dei dati acquisiti in maniera automatica, realizzando una stazione non presidiata da operatore.

La scelta dell'ADC dipende dalla dinamica del segnale analogico da convertire.

Ogni volta che si effettua una conversione AD si introduce un rumore, detto rumore di quantizzazione, che è tanto maggiore quanto minore è il numero di bit in cui è convertito ogni singolo campione (risoluzione dell'ADC). Una conversione AD caratterizzata da una risoluzione troppo bassa produce una cattiva rappresentazione delle variazioni in ampiezza del segnale originale, quindi introduce un rumore aggiuntivo di cui occorre tener conto.

La velocità di conversione dipende dalla rapidità di variazione del segnale (Teorema del Campionamento).

• **Radiometri (ricevitori total power)**

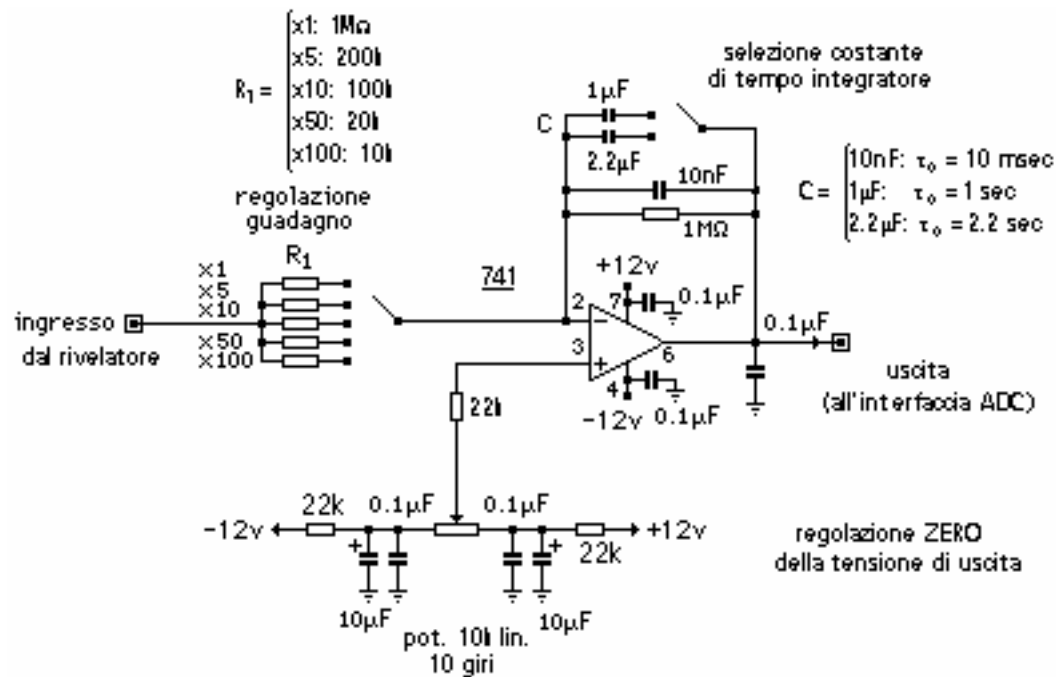
di solito si utilizza una elevata costante di tempo per l'integratore (ridottissima banda passante dello stadio di uscita del ricevitore) in modo da ottimizzare il rapporto segnale/rumore del sistema. Non servono ADC veloci e la trasmissione dei dati al PC può essere di tipo seriale (RS232C) a tutto vantaggio della semplicità e della praticità della connessione.

• **Radiospettrografi**

in questo caso occorre campionare ed acquisire tutti i segnali che cadono all'interno di una banda di qualche MHz (segnali in banda-base). Serve un ADC veloce che trasmetta altrettanto velocemente i dati al PC: non è più utilizzabile il canale seriale ma è indispensabile accedere al bus interno del computer (schede connesse direttamente allo slot interno).

Prototipo di amplificatore DC-integratore con interfaccia di acquisizione dati seriale per PC.

L'apparecchio è stato costruito recuperando il contenitore (completo di strumento a bobina mobile ad ampio quadrante) di un voltmetro elettronico da laboratorio fuori uso.



Si nota il pannello frontale con i comandi di regolazione discreta del guadagno DC, dell'offset del segnale d'uscita (livello dello zero di riferimento) realizzata con potenziometro di precisione multigiri e della costante di tempo dell'integratore. Sono anche visibili i connettori BNC per il segnale d'ingresso e d'uscita, oltre al cavetto per la connessione seriale con il PC.

Radiointerferometria

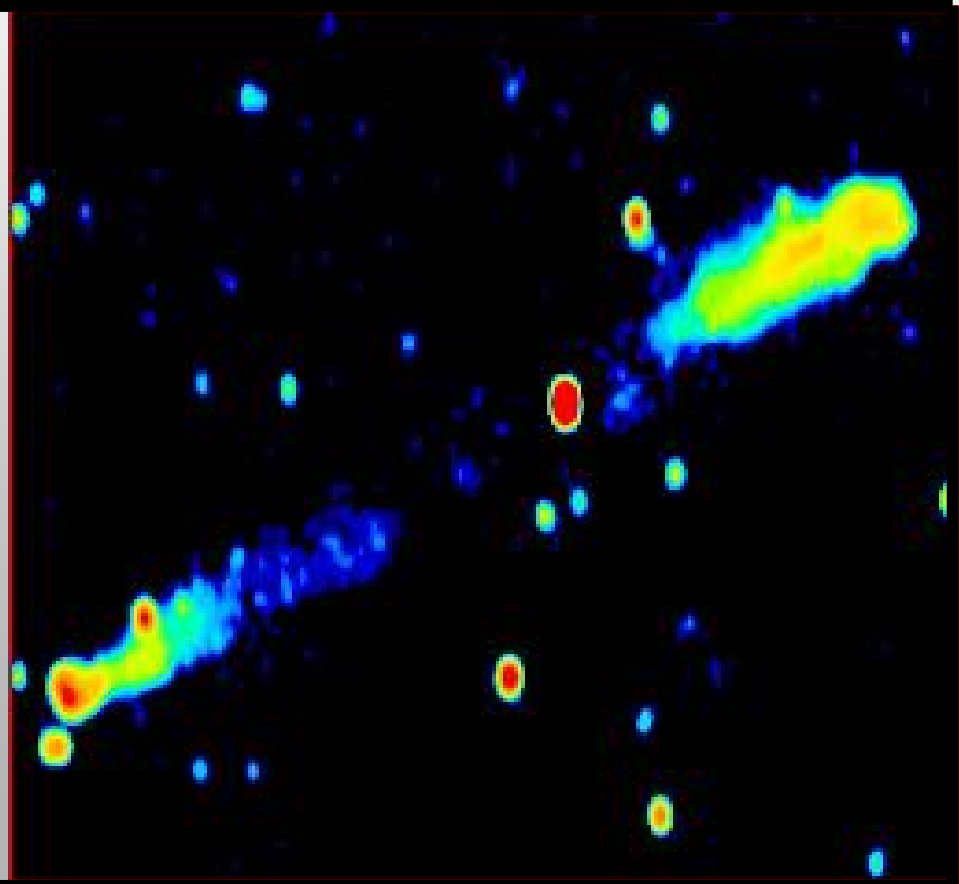
Ultima generazione di radiotelescopi é quella dei **radiointerferometri**, complessi strumenti che sfruttano i principi già noti dell'interferometria ottica per migliorare notevolmente il potere risolutivo.



*Antenne
del VLA*

Per rivelare il flusso di radiosorgenti deboli é indispensabile utilizzare un sistema di antenna caratterizzato da grande area efficace, per distinguere maggiori dettagli strutturali é necessario un elevato potere risolutivo raggiungibile utilizzando strumenti dotati di un fascio di ricezione sufficientemente stretto.

Questa caratteristica é direttamente collegata alle dimensioni fisiche del sistema di antenna, con limiti notevoli circa la risoluzione ottenibile in pratica: il problema si risolve utilizzando i **sistemi interferometrici** che derivano, in linea di principio, dallo strumento ottico di Michelson.



Sintesi d'apertura

E' una tecnica di ricezione (Ryle ed Hewish, 1960) che si contrappone alla ricezione ad *apertura piena* tipica delle grandi antenne singole:

nello studio delle sorgenti celesti con radiazione che non varia nel tempo non é necessario che sia immediatamente disponibile l'intera apertura dell'antenna ricevente.

Utilizzando un numero ridotto di aree riceventi elementari (al limite due) e muovendole sequenzialmente in maniera opportuna é possibile sintetizzare l'informazione che sarebbe ottenibile istantaneamente dall'intera superficie.

La velocità di ricostruzione dell'informazione dipende dal numero, dalla disposizione e dalla mobilità dei singoli elementi.

Per spingere il potere risolutivo oltre i limiti raggiungibili da una singola antenna si ricorre alla composizione dei segnali provenienti da due o più antenne (ciascuna avente dimensioni relativamente modeste) poste a una distanza grande rispetto alle loro dimensioni e alla lunghezza d'onda operativa.



Veduta aerea del radiotelescopio “Croce del Nord” a Medicina (BO). Sulla destra è visibile anche l’antenna VLBI da 32 m a riflettore parabolico.

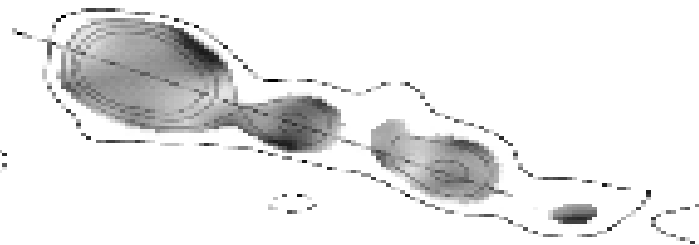
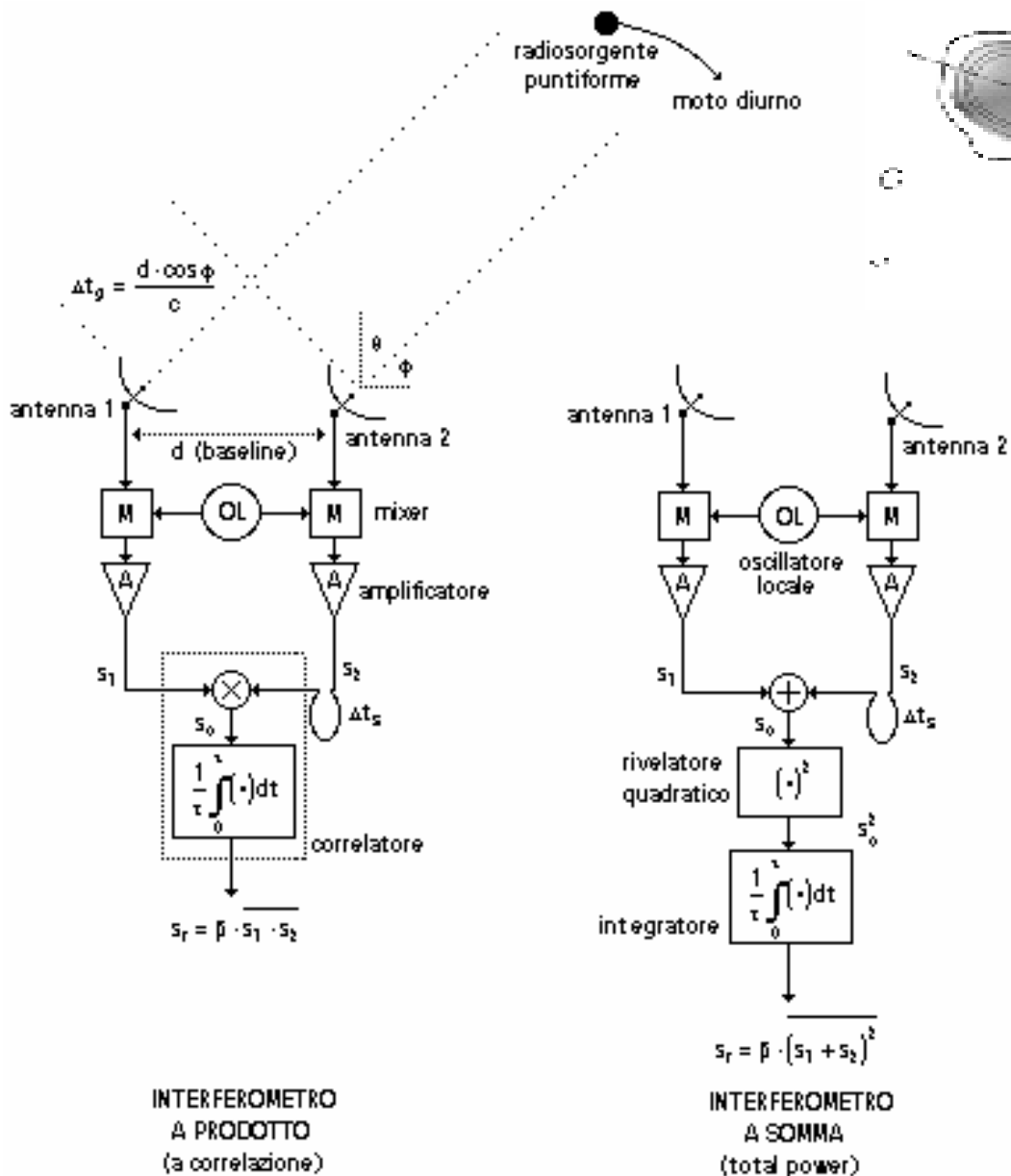
E’ evidente la caratteristica struttura a “T” basata sul principio della croce di Mills.

Le moderne tecniche radiointerferometriche utilizzano gruppi di radiotelescopi distribuiti su dimensioni molto grandi (sull'intera superficie della Terra - VLBI, oppure sulla Terra e lo spazio a bordo di satelliti artificiali) che operano come le fenditure di un reticolo di diffrazione:

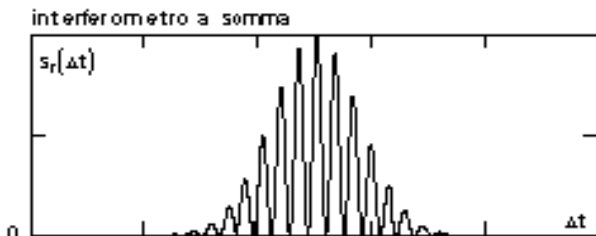
il potere risolutivo dipende dalle dimensioni totali dello strumento e può essere reso molto grande.

Oggi si raggiungono poteri risolutivi inferiori al millesimo di secondo d'arco che consentono di studiare oggetti celesti con notevole dettaglio (parti centrali di galassie e quasar lontane).

Strutture dei radiointerferometri semplici



Andamento delle risposte (frange di interferenza) relative alle due configurazioni basilari di radiointerferometri.



*1° Convegno Nazionale
di Radioastronomia Amatoriale*

Trento, 2-3 Novembre 2002

***TECNICA RADIOASTRONOMICA
DILETTANTISTICA***

E' possibile la radioastronomia amatoriale?



RadioAstroLab

Laboratorio di Radioastronomia Amatoriale



Flavio Falcinelli

www.radioastrolab.it