

La radioastronomia amatoriale

ovvero



quando gli astrofili diventano
radioamatori



Riassunto

Introduzione: Nascita della radioastronomia

I grandi radiotelescopi

Le onde elettromagnetiche

Meccanismi di emissione delle onde radio

Sorgenti radio celesti

Antenne: caratteristiche ed esempi

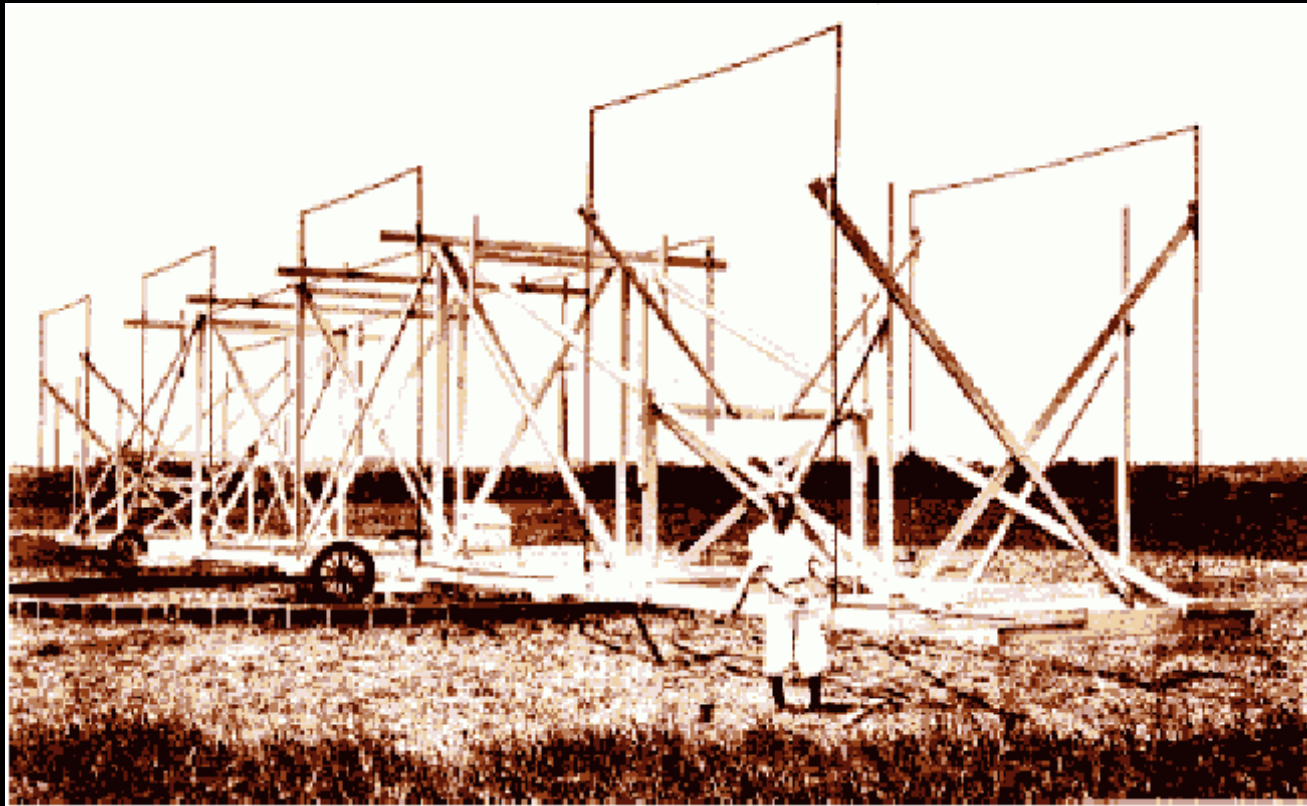
La finestra radio e le bande di osservazione

Progetti per astrofili alle prime armi

Introduzione: Nascita della radioastronomia

Nel 1931 Karl Jansky, fu incaricato di studiare l'origine dei disturbi sulle linee telefoniche.

Costruì un'antenna per individuare l'origine del rumore.



Trovò che i disturbi erano dovuti per lo più a fulmini durante temporali, ma scoprì anche un segnale proveniente dallo spazio, dal centro della via Lattea.

Fu un astrofilo e radioamatore Grote Reber, che continuò le osservazioni di Jansky, costruendosi, (nel 1937) nel cortile della casa, un radiotelescopio con un'antenna parabolica di circa 9 metri che gli permise di scoprire numerose sorgenti radio.

Dopo i primi esperimenti falliti, nel 1938 riuscì a rilevare dei segnali radio provenienti dalla Via Lattea alla frequenza di 160 MHz, (1,9 metri di lunghezza d'onda), riuscendo ad ottenere anche una radiomappa, confermando la scoperta di Jansky.



Lo sviluppo della tecnologia del radar nel corso della seconda guerra mondiale fornì le conoscenze necessarie agli astronomi per costruire strumenti più perfezionati ed adatti ad osservare il cielo radio.

Il primo grande radiotelescopio fu costruito nel 1957 a Jodrell Bank in Inghilterra: si trattava di un'antenna parabolica di 75 metri, presto però superata da quella di 305 metri di diametro che è situata in una cavità naturale ad Arecibo, in Puerto Rico.



CARATTERISTICHE TECNICHE:

- Riflettore primario fisso
- Diametro 305 m
- Profondità 50 m

I grandi Radiotelescopi (1)

Necessario un maggiore
potere risolutivo:
Collegare
elettronicamente più
antenne tra loro.

Nascita degli
interferometri:
il potere risolutivo è pari a
quella di una singola
antenna di dimensioni pari
alla separazione massima
tra i suoi elementi.



Very Large Array (VLA), radiotelescopio costituito da 27 dischi parabolici di 25 metri ciascuno, usa una tecnica nota come sintesi di apertura per effettuare osservazioni che raggiungono una risoluzione di alcuni decimi di secondi d'arco

I grandi Radiotelescopi (2)

Nel caso di distanze superiori ad alcune decine di chilometri si utilizza la tecnica del Very Long Baseline Interferometry (VLBI, interferometria a base molto lunga), che ci ha permesso di studiare in dettaglio il segreto dei quasar e dei nuclei galattici attivi.

-E' in fase di completamento il sistema Very Long Baseline Array (VLBA),

-10 antenne dislocate su una base di 8000 chilometri in America.

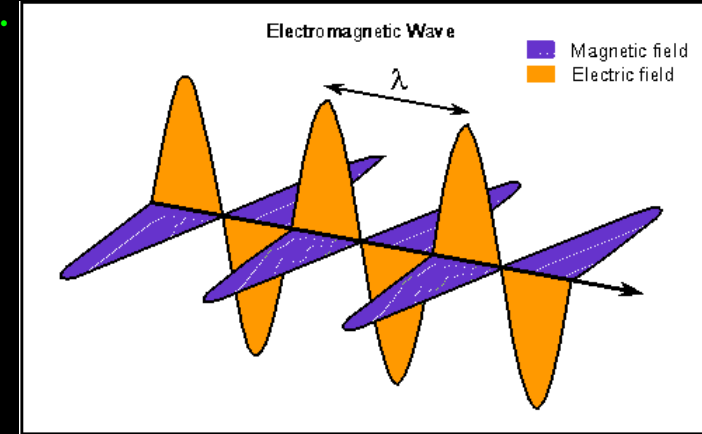
-Risoluzione di 0.0001 secondi d'arco!

Futuro: progetti di radiotelescopi giganti in orbita dal diametro di alcuni chilometri



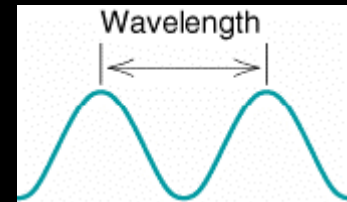
Le onde elettromagnetiche (1)

- La luce è formata da onde elettromagnetiche (EM).
- E' composta da un campo elettrico e un campo magnetico che oscillano insieme.
- I campi sono orientati uno perpendicolarmente all'altro e le onde viaggiano in direzione perpendicolare a entrambi i campi.
- Queste onde possono anche essere pensate come fotoni: pacchetti di energia senza massa che viaggiano alla velocità della luce.



Le onde EM possono essere caratterizzate da 3 proprietà:

- lunghezza d'onda λ (lambda): la distanza tra due creste adiacenti
- la frequenza f : il numero delle oscillazioni dell'onda al secondo
- l'energia E dei singoli fotoni dell'onda.

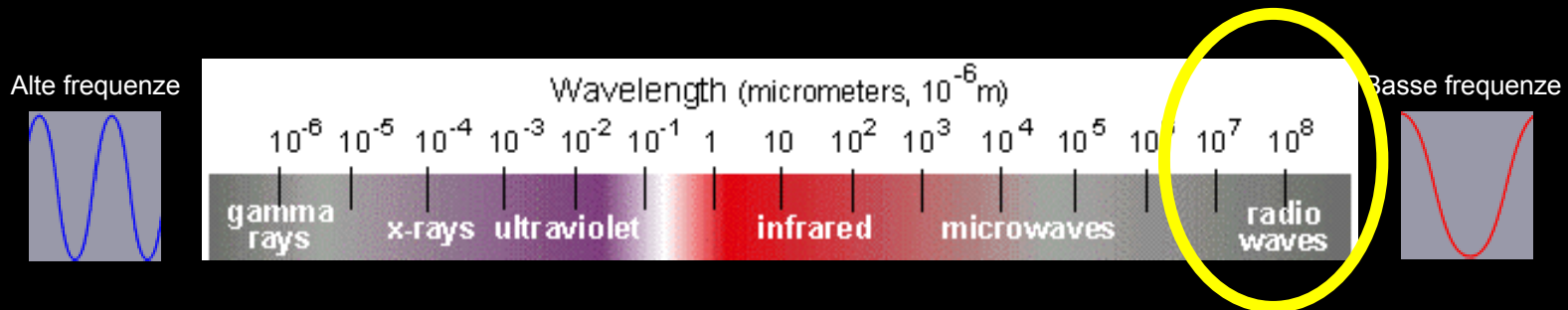


La relazione tra queste 3 caratteristiche delle onde EM è:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{hc}{E}$$

Le onde elettromagnetiche (2)

- Tutti i tipi di radiazione EM (luce visibile, raggi x, onde radio, ecc.) viaggiano alla velocità della luce.
- L'energia dell'onda EM è direttamente proporzionale alla sua frequenza e inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda.
- Più alta è l'energia dell'onda, più alta sarà la frequenza e più piccola la lunghezza d'onda.



Le differenti lunghezze d'onda delle radiazioni EM fanno sì che la radiazione reagisca diversamente con materiali diversi, come gli occhi, o i rilevatori nei telescopi.

Le onde radio sono le onde EM con la lunghezza d'onda più grande, da 1mm a 100 km.

Meccanismi di emissione onde radio (1)

In generale la radiazione elettromagnetica è emessa da particelle cariche, come gli elettroni, quando cambiano velocità o direzione (accelerano).

Ci sono due principali meccanismi di emissione:

Emissione termica:

- Emissione di corpo nero
- Emissione free-free
- Emissioni in linee spettrali

Emissione non termica:

- Emissione di sincrotrone
- Emissione di girosincrotrone (pulsar)
- Maser

Meccanismi di emissione onde radio (2)

Emissione termica:

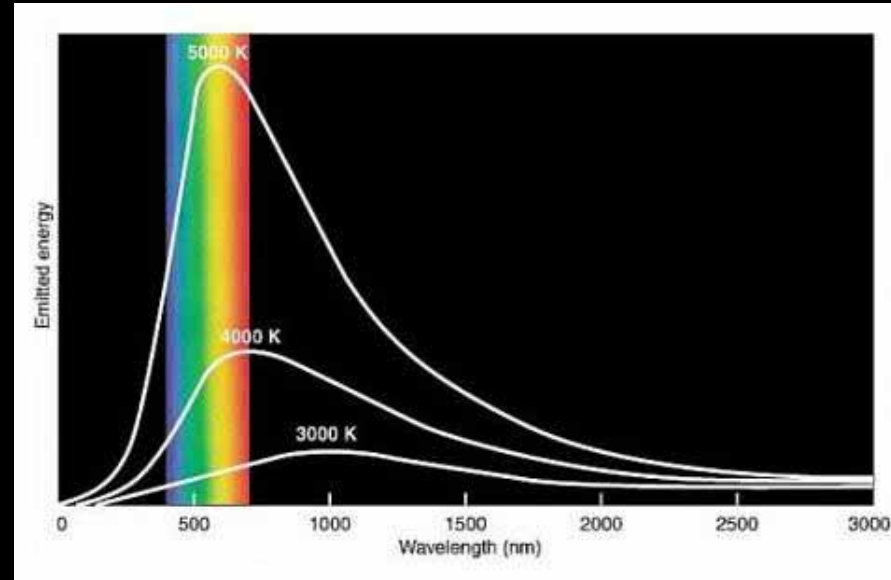
Emissione di corpo nero:

Ogni oggetto o particella che abbia una temperatura sopra lo zero assoluto emette radiazione termica.

La temperatura dell'oggetto fa sì che gli atomi e le molecole dell'oggetto si muovano.

Per esempio le molecole di un gas, come nell'atmosfera, si scontrano tra di loro e cambiano direzione.

Un cambiamento nella direzione equivale a accelerazione e quindi viene emessa radiazione elettromagnetica.



L'immagine mostra lo spettro di corpo nero per oggetti a tre temperature differenti: 5000 K, 4000 K, e 3000 K.

L'oggetto a più bassa temperatura emette più radiazione a lunghezze d'onda maggiori.

Un oggetto che emetta radiazione termica a frequenza radio, deve essere più freddo di questi oggetti.

Meccanismi di emissione onde radio (3)

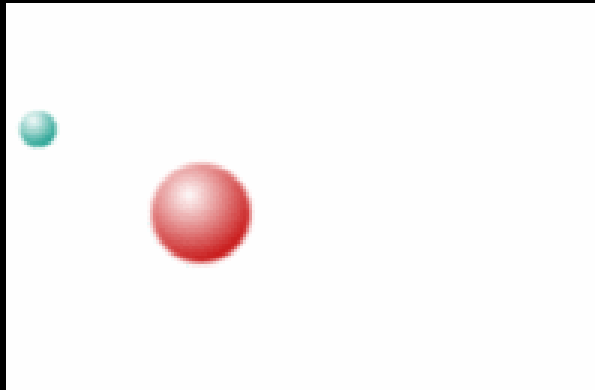
Emissione termica:

Emissione di free-free:

Un'altra forma di emissione termica è quella dei gas ionizzati.

Le particelle cariche si muovono in un gas ionizzato o "plasma".

Gli elettroni vengono accelerati da particelle cariche e la nube di gas emette di continuo radiazioni.



Le sorgenti di emissione free-free nella regione radio dello spettro EM includono il gas ionizzato vicino a regioni di formazione stellare o nuclei galattici attivi.

Meccanismi di emissione onde radio (4)

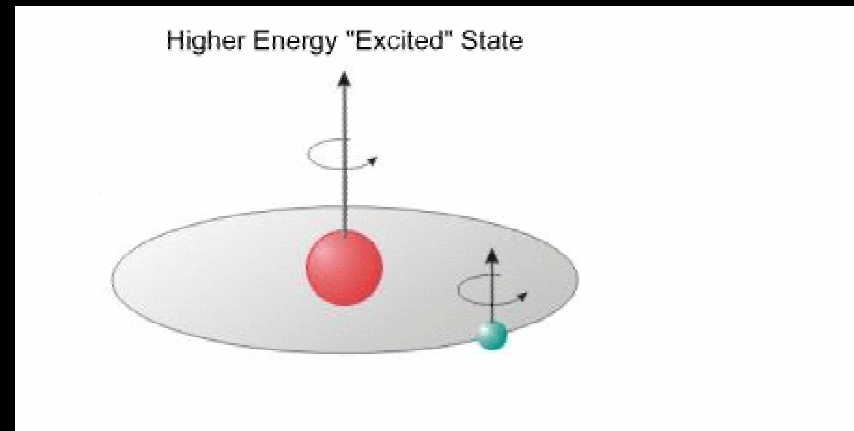
Emissione termica:

Emissione in linee spettrali:

Riguarda la transizione di elettroni in atomi da un livello alto di energia a un livello più basso.

Quando accade un fotone è emesso con energia pari alla differenza di energia tra i due livelli.

L'emissione di questo fotone ha una energia discreta mostrata come una "linea" discreta o lunghezza d'onda nello spettro em.



Un'importante linea spettrale studiata dai radioastronomi è la linea a 21 cm dell'idrogeno neutro.

Quando un atomo viene eccitato, o dall'assorbimento dell'energia di un fotone o dallo scontro tra due atomi, l'elettrone assorbe una piccola quantità di energia e lo spin dell'elettrone "ruota" così lo spin di entrambe le particelle risulta essere dello stesso verso.

Quando un atomo torna al suo stato naturale, perde energia emettendo un fotone alla lunghezza d'onda di 21 cm, nella regione radio dello spettro elettromagnetico.

Meccanismi di emissione onde radio (5)

Emissione non termica:

L'emissione non termica non ha la caratteristica curva della radiazione di corpo nero. Infatti l'emissione aumenta a lunghezze d'onda più grandi.

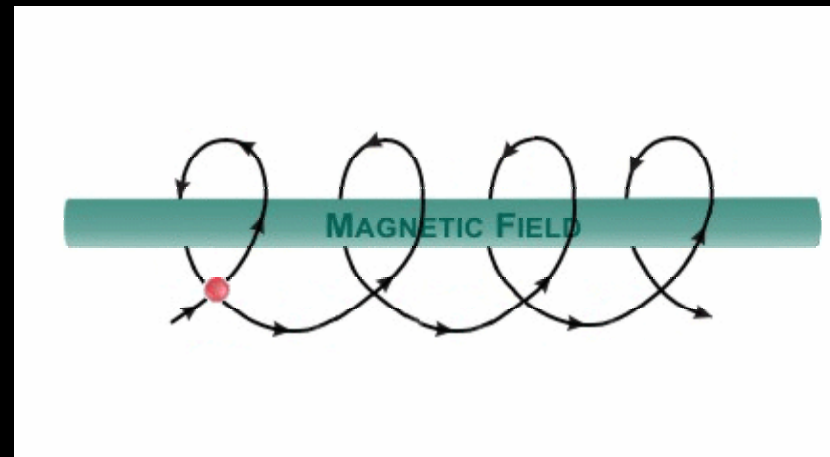
Emissione di sincrotrone:

E' la più comune emissione di tipo non termico. E' emessa dall'accelerazione delle particelle cariche, gli elettroni, dentro un campo elettromagnetico.

Quando un elettrone incontra un campo magnetico ci spiraleggia intorno. La spirale cambia continuamente la direzione dell'elettrone, che è quindi accelerato ed emette radiazione.

La frequenza dell'emissione è direttamente proporzionale alla velocità con cui sta viaggiando l'elettrone.

Per essere abbastanza forte da avere un valore radioastronomico, gli elettroni devono viaggiare a velocità vicine alla luce quando incontrano il campo elettromagnetico.



Meccanismi di emissione onde radio (6)

Emissione di girosincrotrone:

E' una forma speciale di emissione di sincrotrone che è emessa dalle pulsar.

Le pulsar sono stelle di neutroni, risultato della morte di stelle massive (con 8-15 volte la massa del Sole), hanno un campo magnetico molto intenso e ruotano vorticosamente attorno al loro asse.

Una tipica pulsar ha il campo magnetico un trilione di volte più intenso di quello terrestre, e accelera elettroni e altre particelle subatomiche vicino alla velocità della luce, causandone l'emissione di radiazione incluse onde radio.

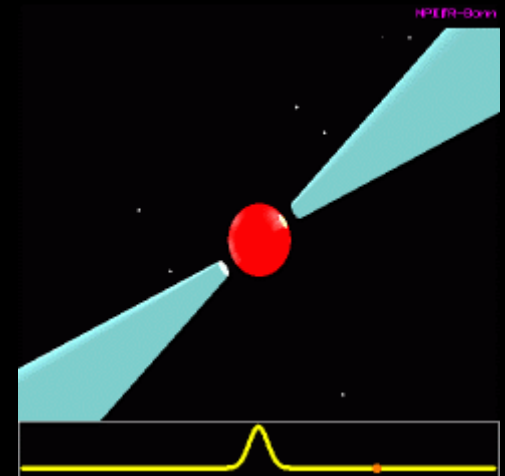
Quando questi fasci di radiazione incrociano la terra, vediamo un impulso di radiazione.

Al centro della c'è la Nebulosa del Granchio (M1) che ruota 33 volte al secondo.

Altre pulsar, note come millisecondo pulsar, ruotano centinaia di volte al secondo



Nebulosa del granchio in banda ottica e X



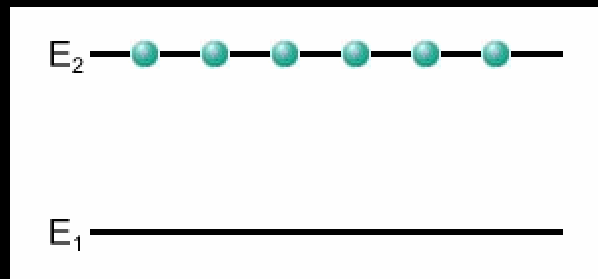
Meccanismi di emissione onde radio (7)

Maser: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Nello spazio i maser si trovano naturalmente nelle nubi molecolari e nelle regioni di formazione stellare.

I maser sfruttano un gruppo di molecole che vengono eccitate a uno stato energetico (E_2 in figura), come molle compresse pronte a srotolarsi.

Quando le molecole energizzate sono esposte ad una piccola quantità di radiazione alla giusta frequenza, scendono ad uno stato energetico più basso, (E_1 in figura), e emettono fotoni radio.



Il processo induce altre molecole vicine a fare lo stesso, ed ha come risultato l'emissione tipica del maser.

I maser hanno bisogno di una sorgente di energia esterna, come una stella calda vicina, per riportare le molecole al loro stato di eccitazione iniziale e per far sì che il processo riinizi.

Sorgenti radio celesti: Sole (1)

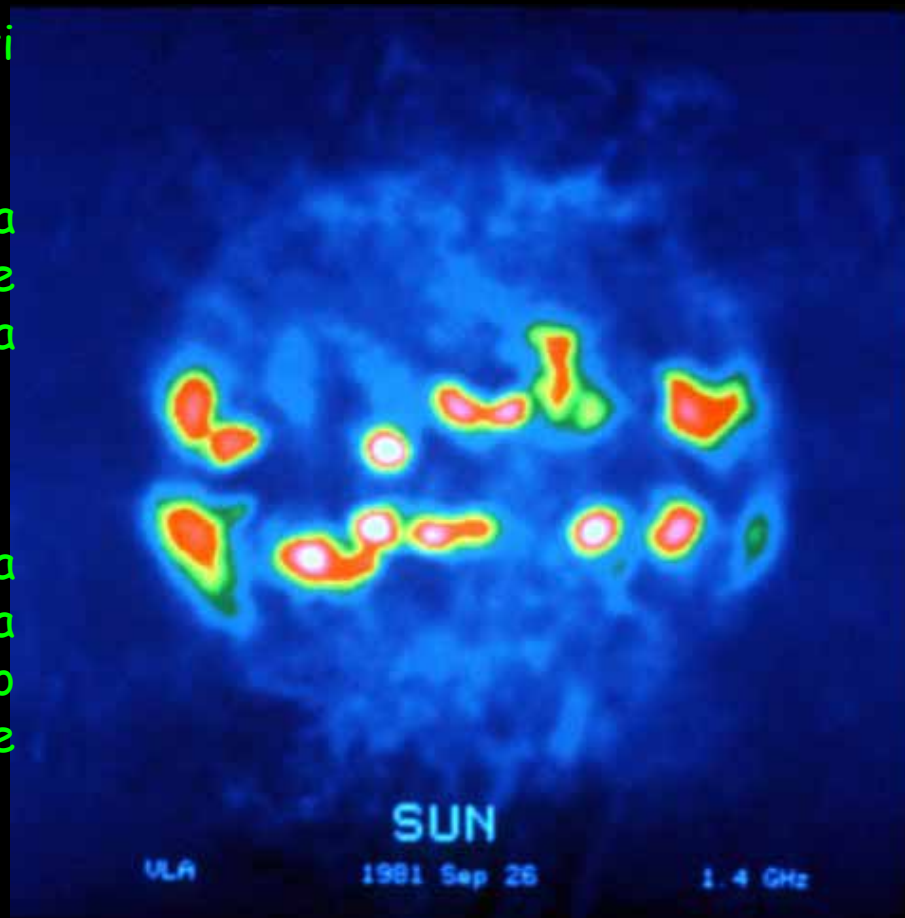
Il Sole è tutt'ora uno dei corpi celesti più studiati

- si comporta grossomodo come un corpo nero a 5.800 K

- La radiazione ha tre differenti componenti:

- "la radiazione del Sole quieto" è la lentamente variabile, rilevabile a lunghezze d'onda comprese fra 3 e 60 cm e che varia con periodi lunghi (di giorni o settimane);
Ordine di grandezza 10^4 Jy @ 100 MHz.

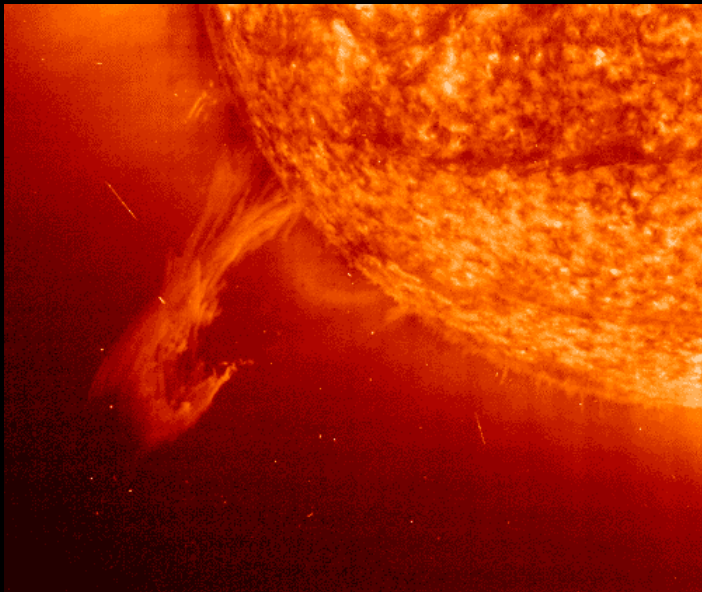
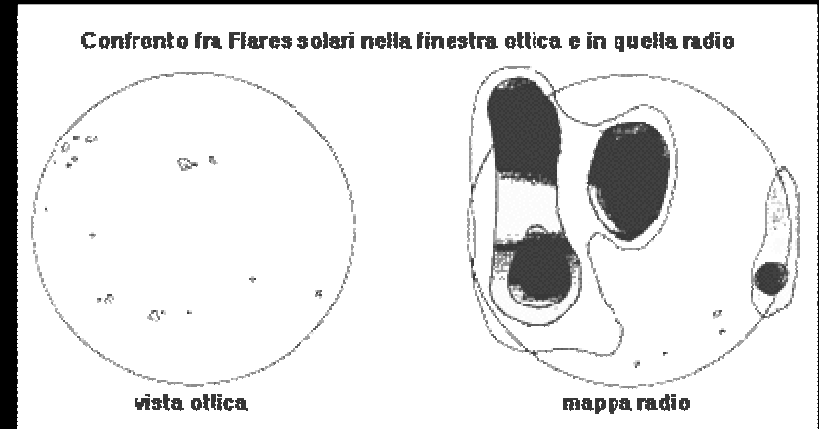
- "la radiazione del Sole disturbato" è quella rapidamente variabile, caratterizzata da forti e brevi aumenti della densità di flusso a tutte le lunghezze d'onda, per l'enorme quantità di energia liberata.
Ordine di grandezza 10^8 Jy @ 100 MHz.



Sorgenti radio celesti: Sole (2)

- La radiazione del "Sole attivo", causata dall'attività delle macchie solari e dei brillamenti

Come conseguenza di un brillamento sulla superficie del Sole si ha una forte tempesta (burst) di energia elettromagnetica proiettata nello spazio.

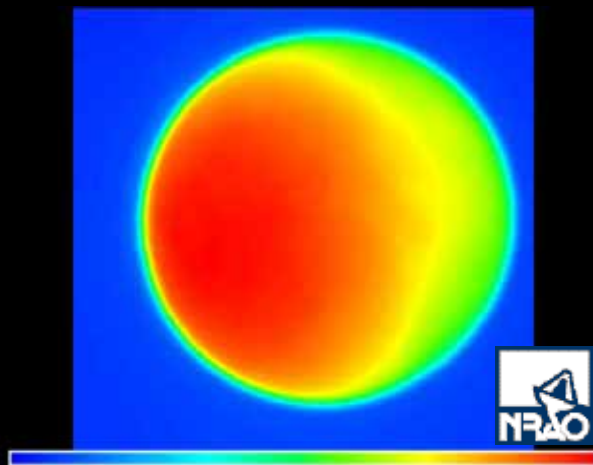


Oltre ad osservare dei picchi nelle rilevazioni ci sono anche delle conseguenze sulla ionosfera terrestre chiamati SID (Sudden Ionospheric Disturbances).

Quando si verificano intensi brillamenti solari sono emessi fasci di radiazione X che investono la ionosfera terrestre che perturbano le sue capacità di riflessione verso le radioonde e causando un'amplificazione del segnale ricevuto, per esempio, di una stazione radio.

Sorgenti radio celesti: Luna

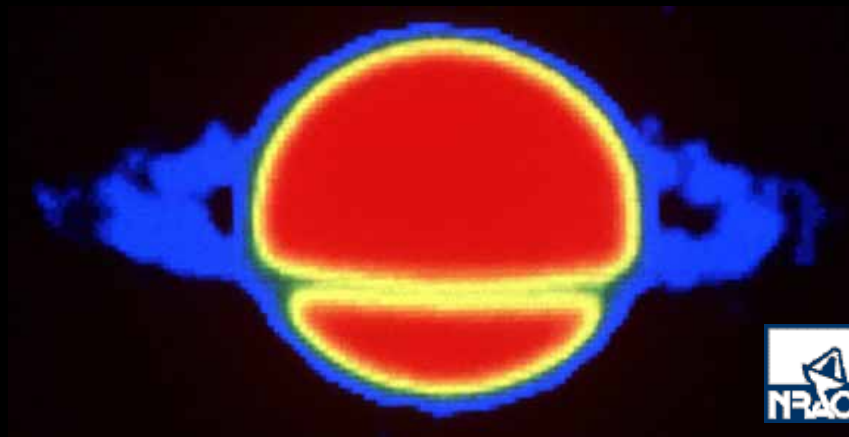
Luna e pianeti presentano emissione radio propria che diventa trascurabile rispetto a quella termica di corpo nero a qualche centinaio di gradi Kelvin



La Luna emette una densità di flusso apprezzabile per gli strumenti amatoriali solo alle frequenze delle microonde (tipicamente nella banda dei 10 GHz), con radiazione di origine termica caratterizzata da intensità crescente con la frequenza.

Sorgenti radio celesti: Pianeti

I pianeti invece, a causa dei bassi livelli di emissione, sono virtualmente inaccessibili agli strumenti dilettantistici, eccetto *Giove* che risulta una radiosorgente di straordinaria potenza alle lunghezze d'onda metriche.



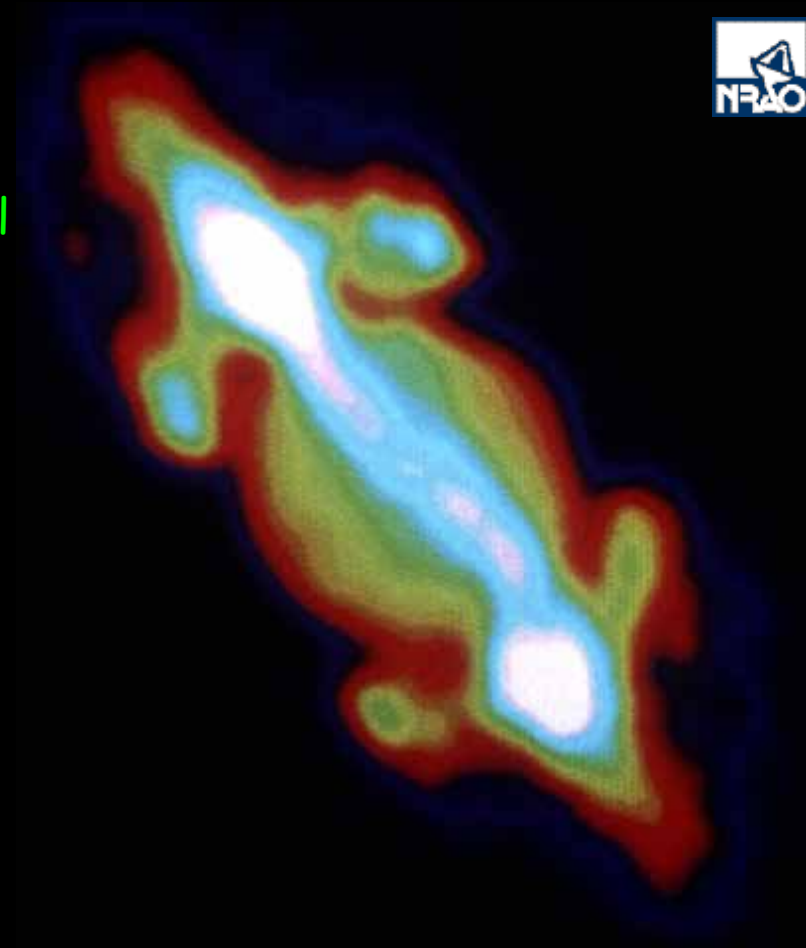
Sorgenti radio celesti: Giove (1)

Giove si discosta dagli altri pianeti per emissioni sporadiche, polarizzate e molto intense, che fanno pensare alla presenza di meccanismi non termici.

Le radiazioni (burst) sono a carattere sporadico come risultato di violenti processi nell'atmosfera del pianeta collegati al moto del suo satellite Io.

Le radiazioni hanno potenza tale da poter essere rivelata da dispositivi amatoriali.

Lo studio costante e sistematico delle radioemissioni di Giove nell'intervallo di frequenze da 10 MHz a circa 40 MHz costituisce una delle attività più accessibili ed affascinanti per il radioastronomo dilettante.



Sorgenti radio celesti: Giove (2)

Giove è caratterizzato da una magnetosfera molto intensa caratterizzata da una forma a strati toroidale.

I vulcani di Io lanciano, con grande potenza, gas elettricamente conduttori verso la zona interna della magnetosfera.

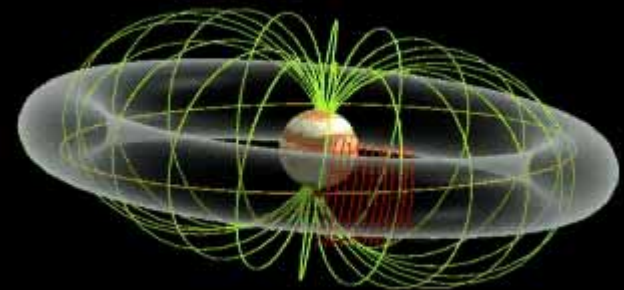
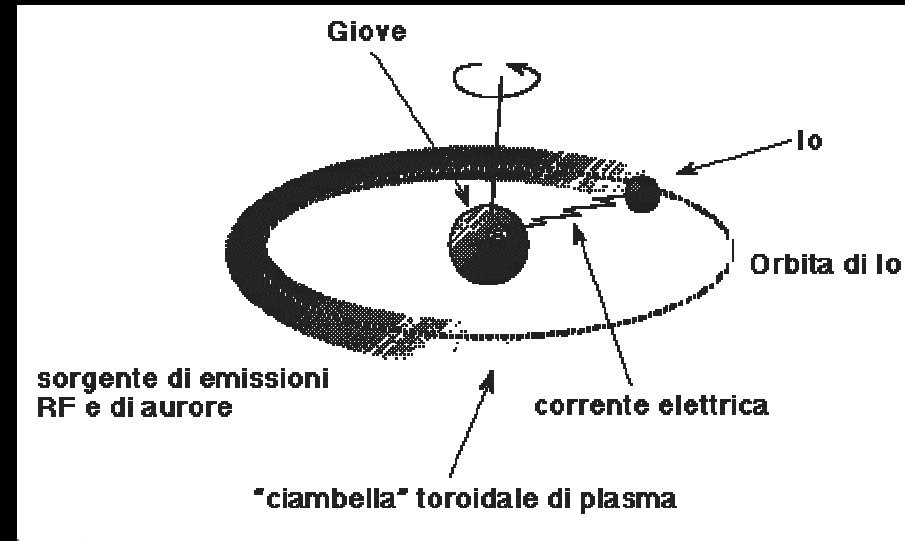
Io, ruotando intorno a Giove, crea onde nel campo magnetico come la scia di una nave nell'acqua.

Queste sono note come le *onde di Alfvén* e sono in grado di trasportare circa 40 trilioni di watt di potenza verso le aree polari di Giove.

Una potenza tale è più che sufficiente per crear

Le emissioni indotte da Io non vanno in tutte le direzioni. Il fascio ha la forma di un cono.

Se la Terra è all'interno del cono non possiamo sentire nulla. Se invece siamo all'esterno del cono ristretto possiamo sentire a



Sorgenti radio celesti: Giove (3)

IFT "Io Flux Tube" è un fascio di linee di campo magnetico che passa attraverso Io e arriva nelle regioni polari di Giove.

La corrente elettrica che alimenta il raggio radio-laser scorre lungo le linee di campo magnetico vicino a IFT



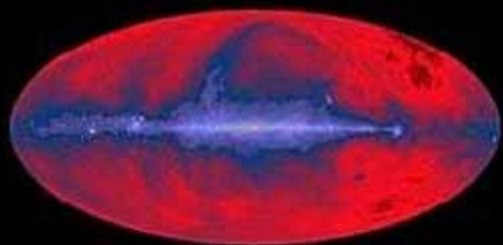
Imai Lab.

Giove compie un giro su se stesso una volta ogni 10 ore ed il cono ruota con esso, come un fascio luminoso di un faro.

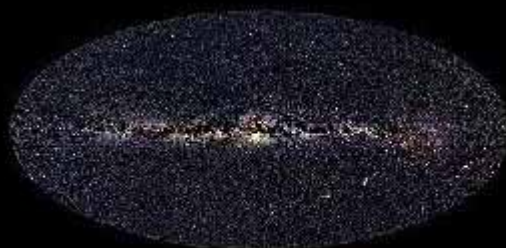
Per riuscire ad ascoltare una di queste emissioni, bisogna prima di tutto sapere quando la Terra sarà allineata con il fascio laser e quando Io sarà nella possibilità di creare per aggiungere potenza all'intero fenomeno.

Sorgenti radio celesti: "il cielo radio"

Osservazioni radio sistematiche al di fuori del sistema solare cominciarono quando si ebbero a disposizione grandi radiotelescopi e radiointerferometri di alto potere risolutivo.



Radio 408MHz (C. Haslam et al., MPIfR, SkyView)



Visible (Axel Mellinger)



Radio 1420MHz (J. Dickey et.al. UMn. NRAO SkyView)

Tali osservazioni hanno portato a un notevole grado di conoscenza delle emissioni radio nello spazio e della loro dislocazione, dette tecnicamente "cielo radio".

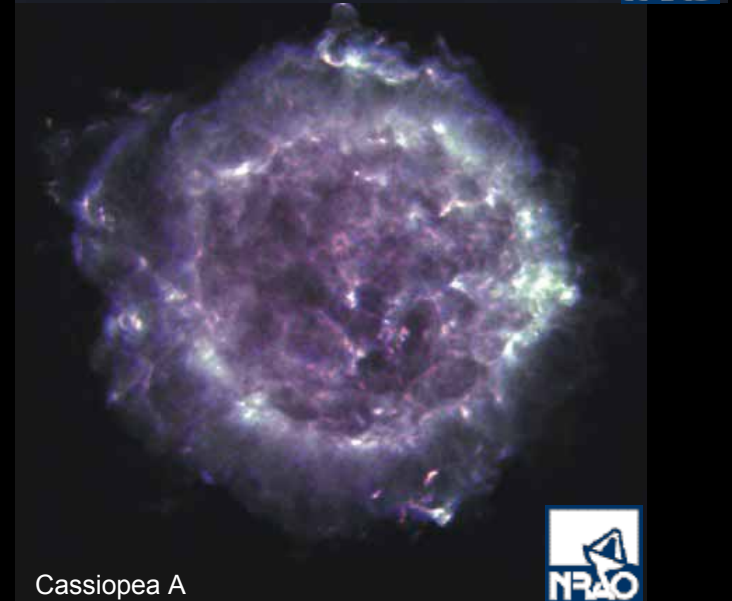
Anche se una mappa radio del cielo è impensabile per gli astrofili, tramite le mappe abbiamo comunque conoscenza delle sorgenti potenti accessibili agli strumenti amatoriali.

Sorgenti radio celesti: resti di supernovae

I resti di supernovae sono radiosorgenti intrinsecamente molto intense:

il più potente di essi é la sorgente posta nella Crab Nebula, caratterizzata da un'intensità di flusso a 100 MHz pari a circa 1500 Jy, rivelabile anche da strumenti relativamente semplici come quello che descriveremo in seguito.

La radiosorgente più potente del cielo dopo il Sole é Cassiopeia A (17000 Jy @ 100 MHz) la cui radiazione, costante ed intensa, viene utilizzata come sorgente di calibrazione primaria per tarare "la scala" degli strumenti radioastronomici.



Altre sorgenti radio galattiche

Altre sorgenti radio galattiche sono:

- le nubi di idrogeno ionizzato come la Nebulosa di Orione
- le stelle a flare (Proxima Centauri)
- radiazione dovuta alla materia interstellare diffusa e a elettroni che si muovono nel campo magnetico della Galassia
- anche il centro della nostra galassia, Sagittarius A, é una radiosorgente di notevole potenza (dell'ordine di 1000 Jy a 100 MHz, relativamente facile da captare con i strumenti amatoriali).

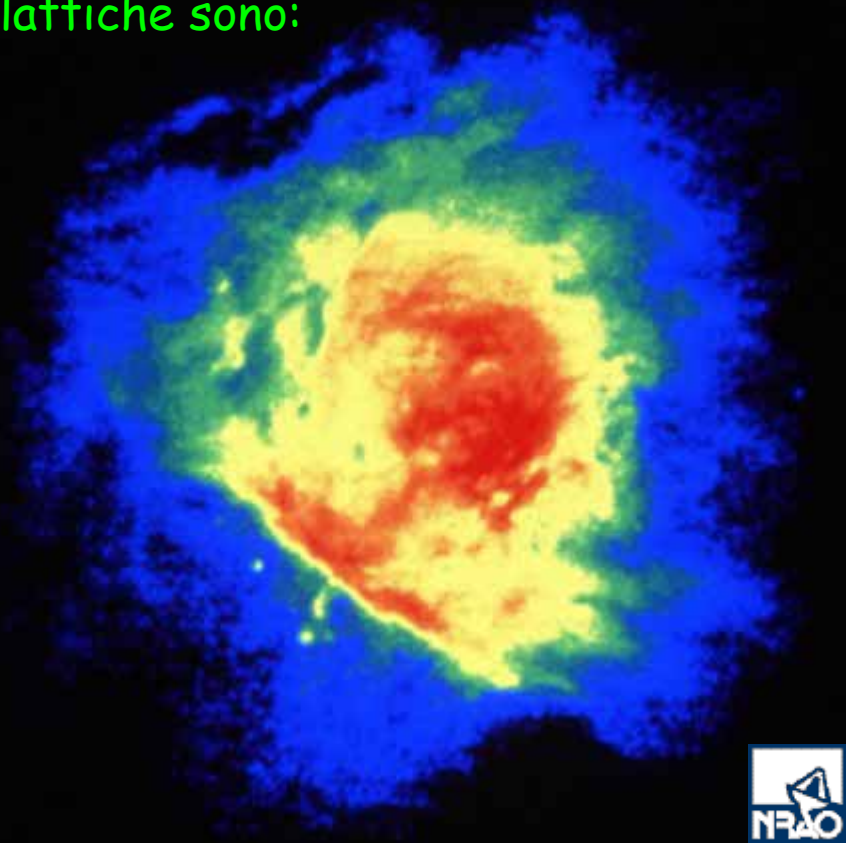


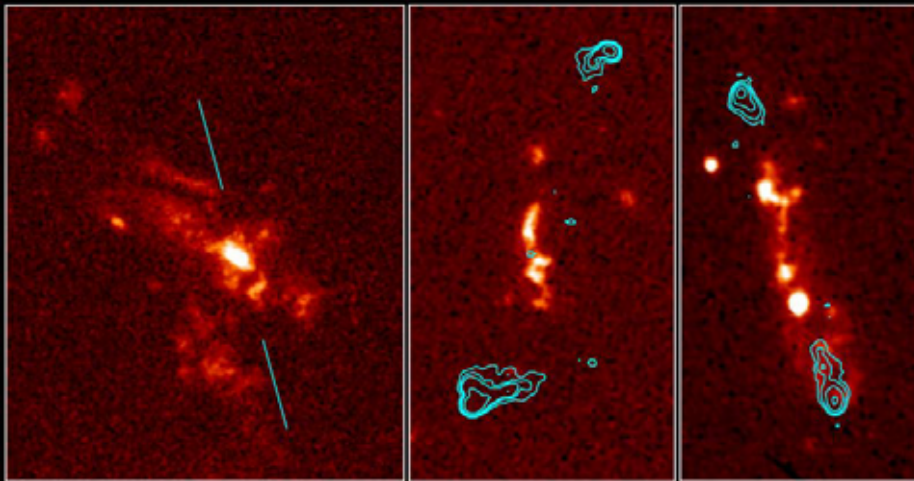
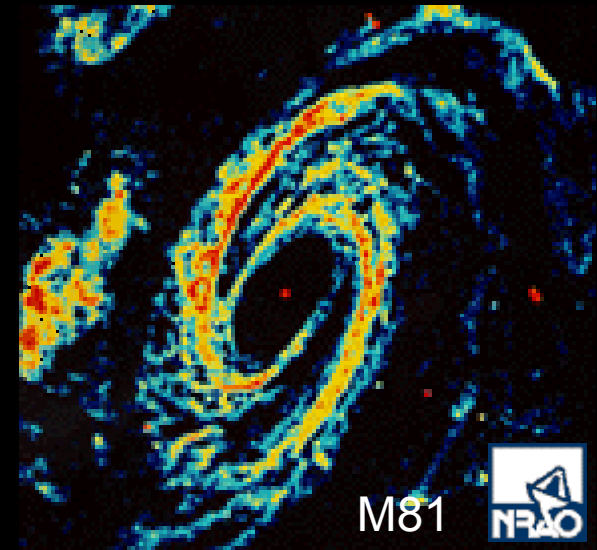
Immagine del Very Large Array di un ammasso stellare a 60 parsec dal centro galattico alla lunghezza d'onda di 20 cm

Sorgenti radio extragalattiche

Le radiogalassie sono molto potenti: dalle loro distanze si può calcolare che l'emissione è spesso più di un milione di volte maggiore di quella di Andromeda.

Sono prevalentemente a struttura doppia o multipla con radioemissione da due o più componenti separate e non coincidenti con l'oggetto ottico.

Altre radiogalassie hanno componenti radio di piccolissime dimensioni e risolvibili solo con i più moderni interferometri.



HST Observes Radio Galaxies

HST · WFPC2

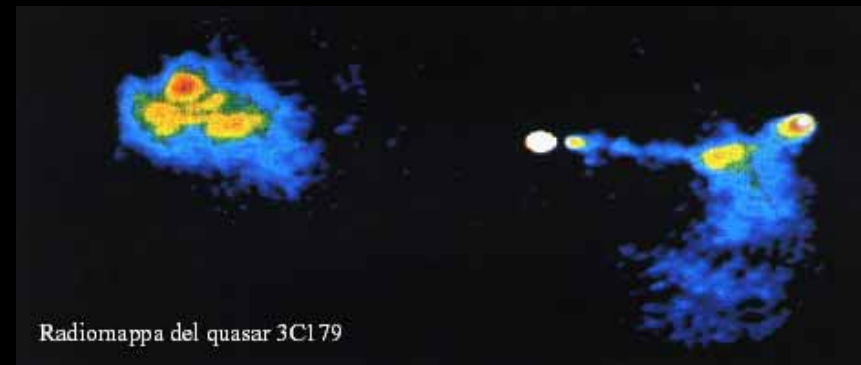
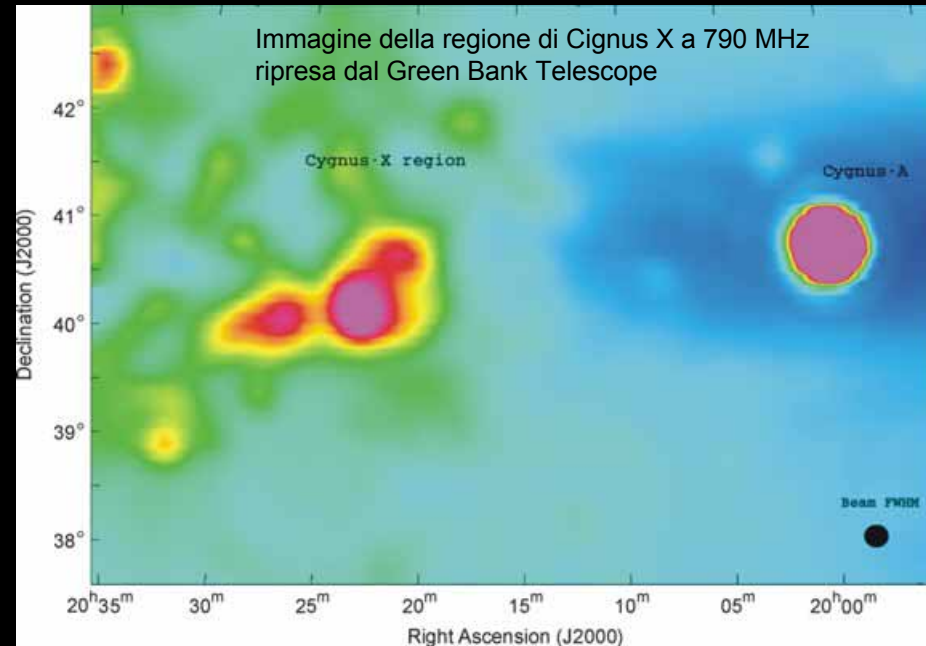
Per quanto riguarda le galassie esterne, oltre alla possibilità di osservarle a una distanza maggiore, la radioastronomia permette il confronto fra le galassie normali e le radiogalassie, e di ottenere informazioni utilissime dal momento che molto spesso le radiogalassie presentano notevoli peculiarità.

Sorgenti radio extragalattiche

E' interessante notare come, eccetto il Sole e Cassiopeia A, le più intense radiosorgenti del cielo sono tra gli oggetti più distanti dell'universo.

La radiosorgente extragalattica più attiva é certamente Cygnus A, una galassia molto distante che emette una straordinaria quantità di energia apparentemente come risultato di una o più esplosioni che ne hanno modificato profondamente la struttura, assai complessa.

Le quasar e le pulsar sono oggetti intrinsecamente molto potenti ma quasi certamente inaccessibili ai semplici strumenti dilettantistici.



Sorgenti meteoriche

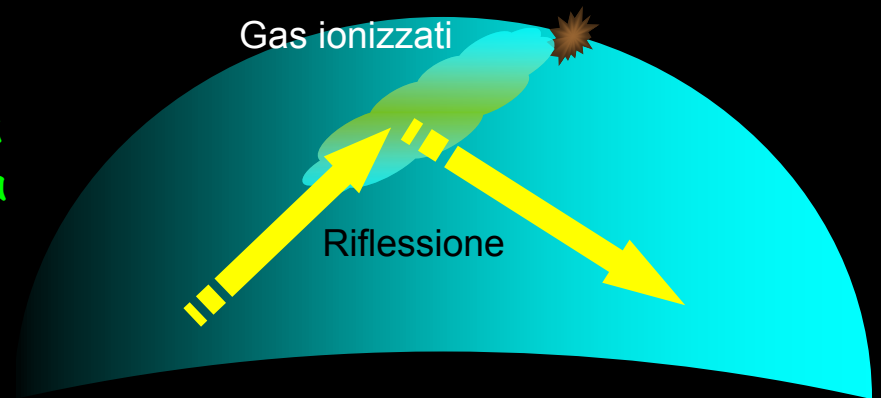
I meteoroidi costituiscono delle nubi di detriti, orbitanti intorno al Sole su traiettorie che vengono continuamente perturbate dalla gravitazione e dalla radiazione solare.

Queste nubi colpiscono l'atmosfera della Terra ogni volta che, nel suo moto di rivoluzione, questa ne intercetta l'orbita.

L'aumento della temperatura del meteoroidi, quando entra nell'atmosfera, è nell'ordine delle migliaia di gradi. Ciò comporta che gli atomi di un gas possano scindersi in cationi (l'atomo che perde elettroni) ed elettroni liberi, distribuendosi entrambi sulla traiettoria della meteora.

La registrazione dei segnali radio dalle meteore sfrutta i segnali che, irradiati da una emittente radio-televisiva verso la ionosfera, vanno a intercettare quell'area nota col nome di *piano dell'eco*.

Le meteore che transitano in prossimità di questo piano, riflettono le onde em ricevute (in funzione della frequenza).



"Radio Natura"

Il nostro pianeta e' una fonte naturale di onde radio alle frequenze audio (intorno ai 10 KHz).

In questa regione dello spettro elettromagnetico non e' ricevibile la radiazione cosmica a causa degli effetti schermanti della ionosfera.

Si possono rilevare però segnali che:

- vengono emessi dall'atmosfera quando incontra le particelle provenienti dal Sole e dallo spazio esterno in generale, in seguito ad interazioni che avvengono all'interno della stessa atmosfera

- sono causati per effetto di fenomeni geofisici legati all'assestamento della crosta terrestre.

Radio Natura é un settore della ricerca scientifica in fase di sviluppo, a cui possono dare un importante contributo anche i ricercatori amatoriali.

RADIOASTRONOMIA PER ASTROFILI

La radioastronomia amatoriale è possibile?

Sono possibili esperimenti per un semplice appassionato del settore oppure tale ambito di ricerca è solo dei professionisti?

Cosa si potrebbe osservare eventualmente?

La radioastronomia 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:

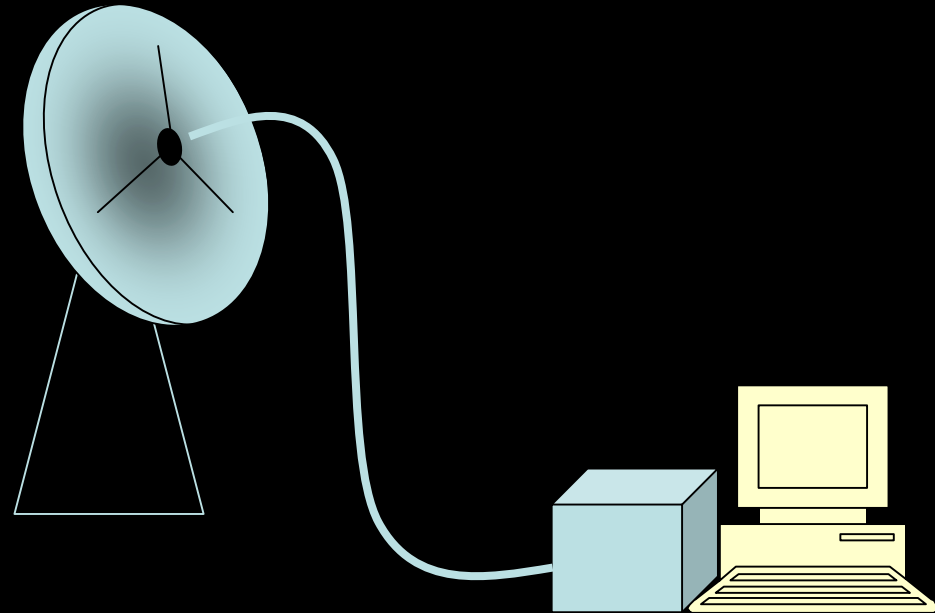
- fisica ed astrofisica
- astronomia
- elettronica
- meccanica
- informatica

Per ottenere qualche risultato interessante è auspicabile impostare l'attività nello stile del lavoro di gruppo.

Com'è fatto un radiotelescopio (1)

Un semplice modello è composto da:

- uno specchio a forma di paraboloide e un'antenna a dipolo situata nel fuoco
- i segnali vengono inviati, attraverso linee di trasmissione, a un ricevitore-amplificatore
- dopo passano da qui a un registratore a carta oppure sono digitalizzati su schede o su nastro magnetico per l'elaborazione con i calcolatori elettronici.



Com'è fatto un radiotelescopio

Il potere risolutivo di un radiotelescopio non è paragonabile a quello dei telescopi ottici perché dipende dalla lunghezza d'onda e dal diametro dello specchio.

Le lunghezze d'onda radio sono molto più grandi di quelle ottiche (da pochi mm a pochi Dm vs. a valori millesimi di millimetro) per cui a parità di diametro il potere risolutivo di un radiotelescopio a paraboloide è inferiore di parecchi ordini di grandezza a quello di un analogo strumento ottico.

Per esempio un radiotelescopio a paraboloide che lavori su lunghezze d'onda di 50 cm dovrebbe avere un diametro di 5.000 km per uguagliare il potere risolutivo del telescopio Hale di Monte Palomar.



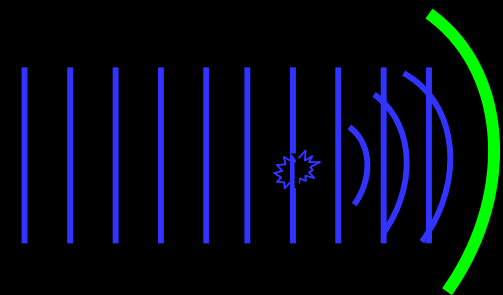
Caratteristiche delle antenne (1)

Prenderemo ora in esame il ricettore usato in radioastronomia: l'antenna.

L'antenna di un radiotelescopio agisce come collettore di onde radio.

L'antenna può essere di diversi tipi (dipolo, elica, cornetto, ecc.) e tale ricettore può venir collocato nel fuoco di un mezzo convergente, il riflettore parabolico.

Esso è l'analogo del telescopio ottico, trasforma un'onda incidente con fronte d'onda piano in un'altra emergente con fronte sferico il cui centro di convergenza costituisce il fuoco del sistema.



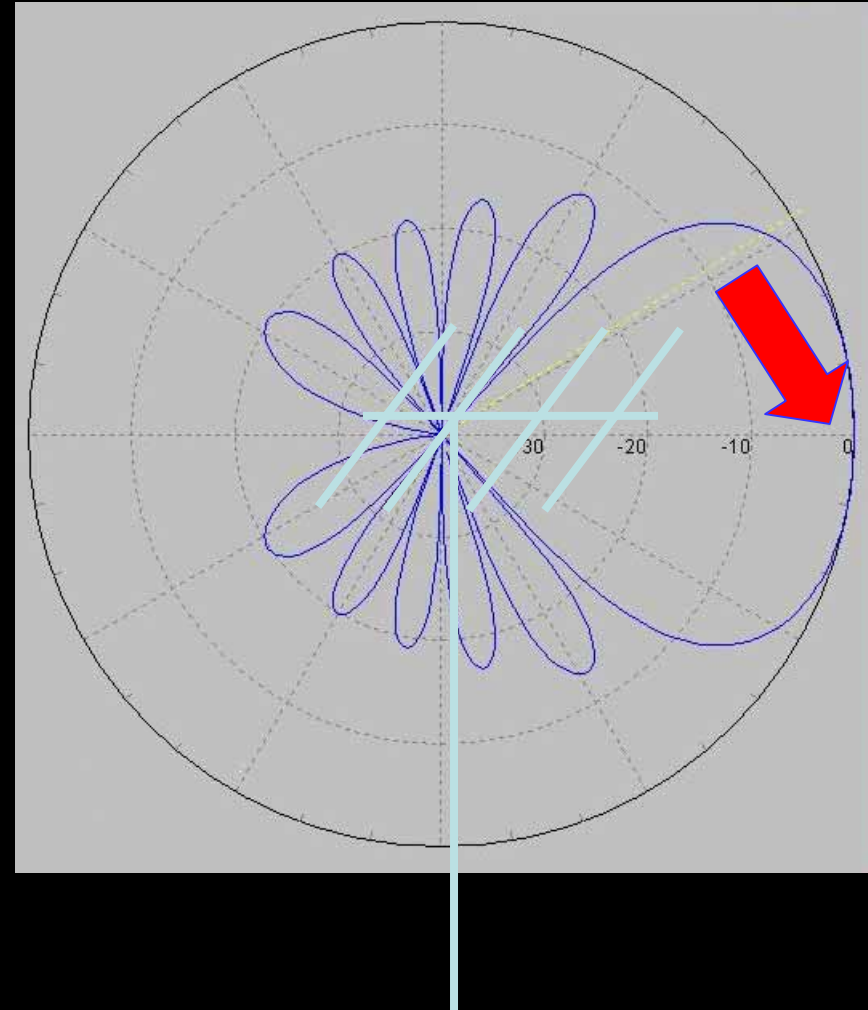
Caratteristiche delle antenne (2)

L'antenna ha però da sola, e cioè senza l'intervento di un mezzo convergente, una sua proprietà direttiva.

La risposta di un'antenna ai segnali provenienti da direzioni diverse dello spazio è data dal diagramma di radiazione d'antenna

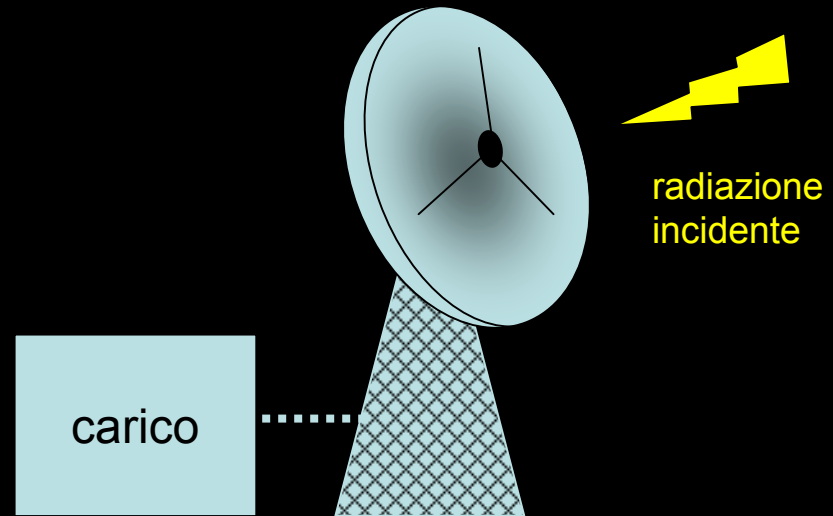
L'apertura è la forma della sezione trasversale del "fascio" nella direzione di maggior guadagno ed è bidimensionale.

Il guadagno misura l'incremento della potenza nella direzione privilegiata.



Caratteristiche delle antenne (3)

L'Area efficace è il rapporto tra la potenza consegnata al carico dell'antenna e la densità di potenza incidente. Rappresenta la superficie ideale abbracciata dall'antenna da cui si ottiene potenza utile, estraendola dalla radiazione incidente.



L'impedenza è simile all'indice di rifrazione in ottica. Mentre l'onda elettrica viaggia attraverso le diverse parti dell'antenna del sistema può incontrare differenze nell'impedenza. Ad ogni interfaccia, una frazione dell'energia dell'onda verrà riflessa indietro dalla sorgente.

La frequenza di risonanza è tipicamente la frequenza centrale del range di frequenze che capta l'antenna.

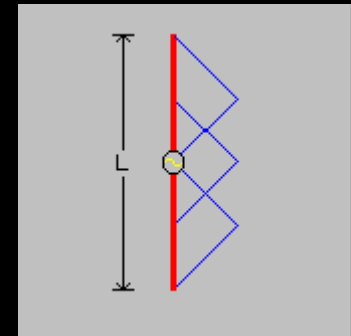
Modelli pratici di antenne

Vediamo qualche esempio di antenna che potranno esserci utili nella costruzione di un radiotelescopio.

L'antenna a dipolo

è composta semplicemente da due fili elettrici che puntano in direzioni diverse sistemati in modo orizzontale o verticale. L'antenna a dipolo è lunga tipicamente una frazione della lunghezza d'onda.

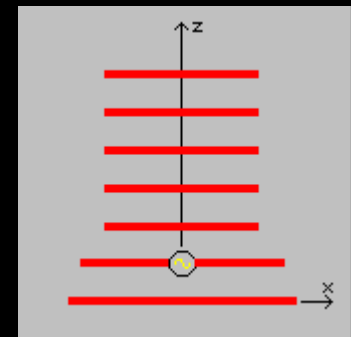
L'antenna a dipolo è considerata omnidirezionale nel piano perpendicolare all'asse dell'antenna.



L'antenna yagi

è una variazione direzionale del dipolo con diversi elementi.

Uno di questi opera come elemento riflettente

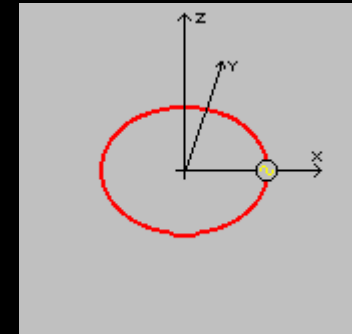


L'antenna a loop

è simile al dipolo eccetto che la fine del dipolo è connesso ad un cerchio, un triangolo o un quadrato.

Tipicamente un loop (cappio) ha come circonferenza un multiplo della lunghezza d'onda o della metà della lunghezza d'onda.

Il guadagno di questa antenna è direttamente proporzionale all'area sottesa dal cappio.



L'antenna log-periodica

Le singole componenti che la compongono di solito sono dei dipoli. La lunghezza e la spaziatura tra gli elementi crescono logaritmicamente dal primo all'ultimo.

È caratterizzata dall'avere impedenza e radiazione caratteristiche che sono regolarmente ripetitive come una funzione logaritmica della frequenza di risonanza.

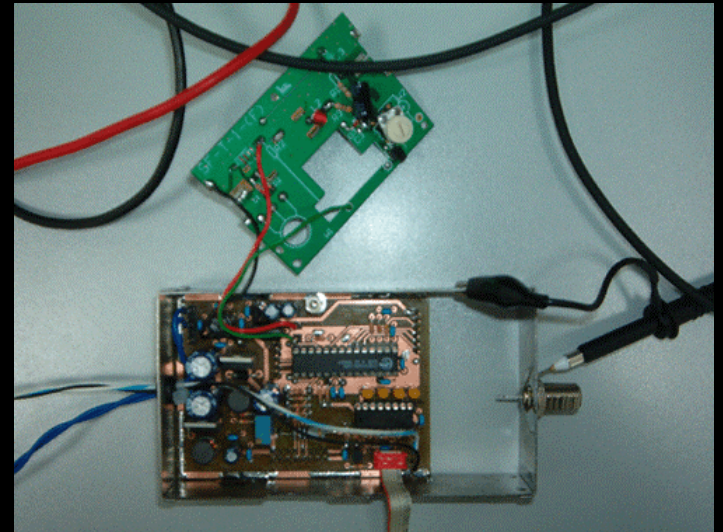


Sistemi di acquisizione dati

I risultati delle osservazioni con i radiotelescopi devono essere "riadattati", elaborati e registrati per fornire mappe e "radio-immagini" degli oggetti celesti studiati, quindi sono necessari dei sistemi di acquisizione e di registrazione automatica dei dati.

Sono generalmente costituiti da una scheda elettronica che realizza l'interfaccia fra il ricevitore ed il PC.

Negli strumenti dilettantistici e' conveniente l'acquisizione dei dati mediante schede di ingresso-uscita pilotate da computer.



- disponibili ottimi prodotti commerciali, comprendenti il software di gestione
- appare comunque interessante e conveniente l'autocostruzione di una scheda di acquisizione specificamente progettata per impieghi radioastronomici amatoriali.

Scelta del luogo di osservazione

Il luogo adatto per questo tipo di esperienze é una zona situata in aperta campagna, meglio ancora in montagna, schermata da rilievi naturali e sufficientemente lontana da aree urbane od industriali, da strade trafficate, da ferrovie e da linee elettriche aeree.

Più la banda passante del radiotelescopio é ampia, tanto maggiore é l'esposizione al rischio di interferenze.

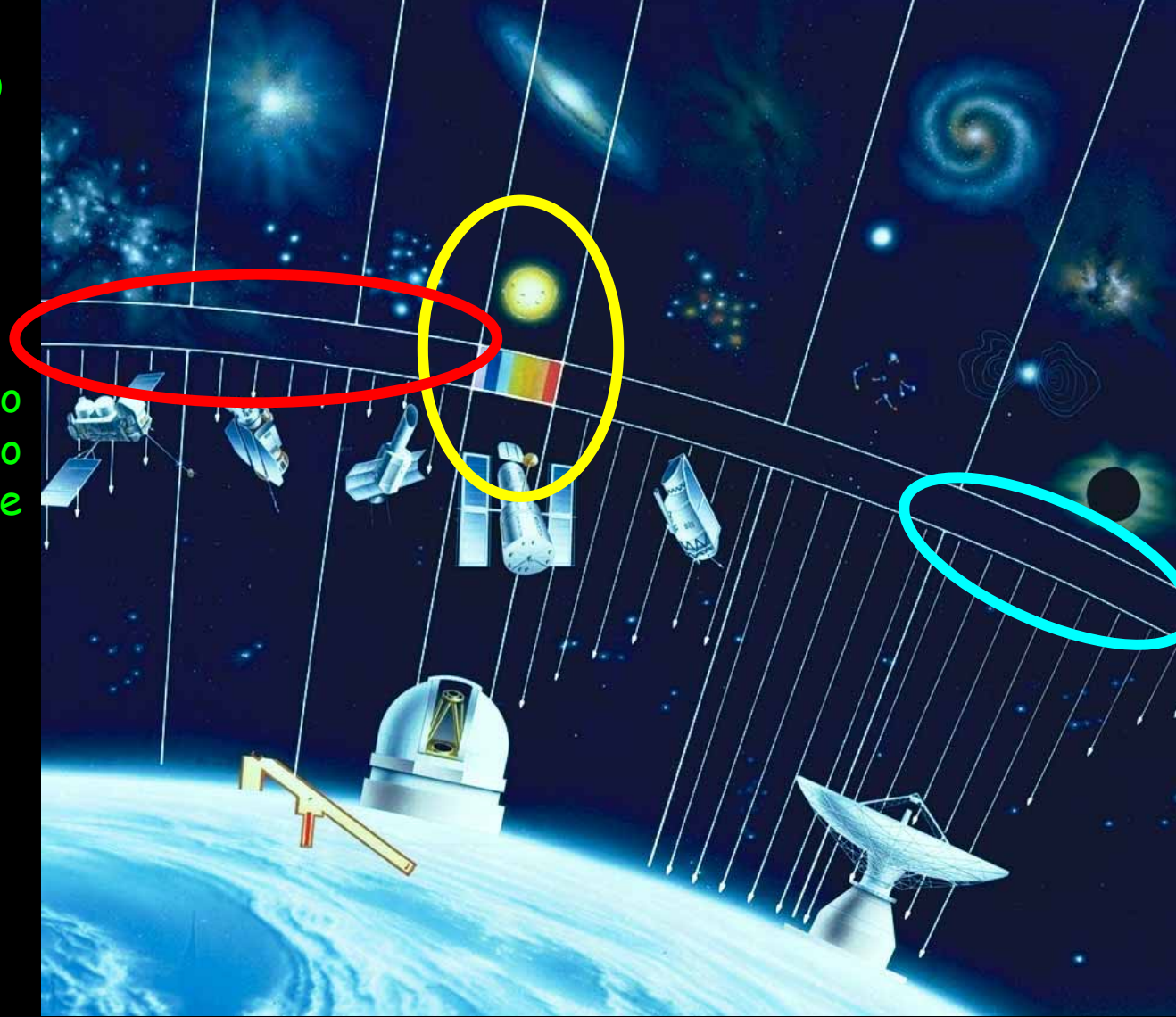
La finestra radio

La sensibilità dell'occhio umano è dovuta a motivazioni evolutive.

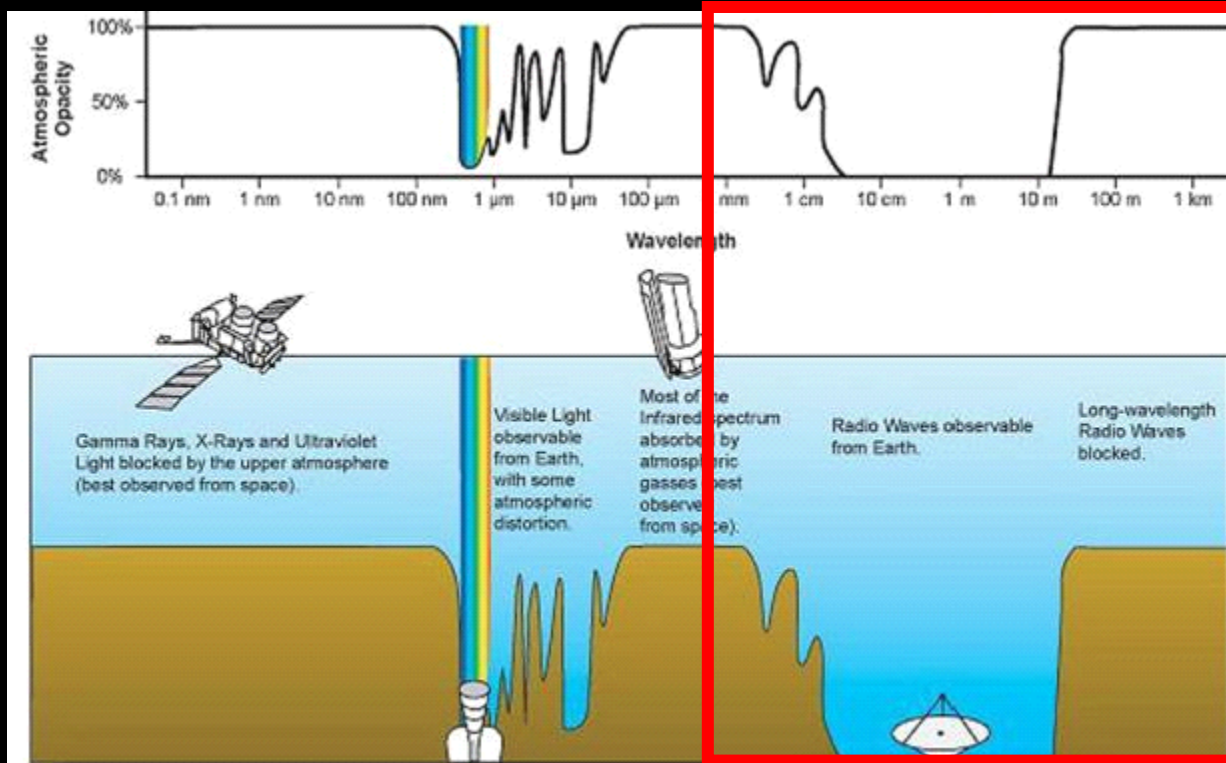
Il Sole presenta il suo picco di emissione proprio nella banda di frequenze che percepiamo.

L'atmosfera della Terra ha protetto le forme di vita in essa presenti dalla pericolosità delle radiazioni più energetiche, impedendo a una buona parte dei fotoni di raggiungere la superficie.

La nostra atmosfera, infatti, presenta soltanto alcune "finestre" di frequenza attraverso le quali le onde elettromagnetiche possono giungere fino al livello del mare.



Le bande di osservazione (1)



Lunghezza d'onda

Frequenza

Denominazione

10 - 1 mm	30 - 300 GHz	EHF: Extremely High Fr.
100 - 10 mm	3 - 30 GHz	SHF: Super High Fr.
1000 - 100 mm	0.3 - 3 GHz	UHF: Ultra High Fr.
10 - 1 m	30 - 300 MHz	VHF: Very High Fr.
100 - 10 m	3 - 30 MHz	HF: High Fr.
1000 - 100 m	0.3 - 3 MHz	MF: Medium Fr.
10 - 1 Km	30 - 300 KHz	LF: Low Frequency
100 - 10 Km	3 - 30 KHz	VLF: Very Low Fr.
1000 - 100 Km	0.3 - 3 KHz	ELF: Extremely Low Fr.

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
γ	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
EUV	300 PHz	1 nm	1.24 keV
NUV	30 PHz	10 nm	124 eV
VIS	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NIR	300 THz	1 μm	1.24 eV
MIR	30 THz	10 μm	124 meV
FIR	3 THz	100 μm	12.4 meV
EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
HF	30 MHz	1 dam	124 neV
MF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV

Le bande di osservazione (2)

Banda ELF - VLF

Si estendono tra i 0,3 KHz e i 30 KHz.

Qualità della banda : Perturbazioni possibili con le comunicazioni militari a basse frequenze



EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
HF	30 MHz	1 dam	124 neV
MF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV

Non sono ricevibili le radiazioni esterne in quanto schermate dalla ionosfera.

Si possono programmare studi molto interessanti per rivelare l'attività meteorica.

Interessanti correlazioni con le ricerche su "Radio Natura".

Strumenti molto economici, semplici da costruire e da installare.

Le bande di osservazione (3)

Banda HF

Si estende tra i 3 e i 30 MHz.

Qualità della banda :
perturbazioni possibili con i CB ed
altri apparecchi per telecomunicazioni



EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
HF	30 MHz	1 dam	124 neV
MF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV

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.

Le bande di osservazione (4)

Banda VHF

Si estende tra i 30 e i 300 MHz.

Qualità della banda : Perturbazioni possibili con le radio in banda FM



EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
HF	30 MHz	1 dam	124 neV
MF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV

A tali frequenze sarà relativamente semplice la ricezione del centro galattico, di Cassiopea A e di Cygnus A.

Con un buon sistema d'antenna e un ricevitore abbastanza sensibile si potranno rivelare le pulsar più potenti che 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, su kit di ricevitori proposti da riviste di elettronica hobbistica e da case produttrici di kit Elettronici.
Possibilità di utilizzo di tuner TV commerciali.

Le bande di osservazione (5)

Banda UHF

Si estende tra i 300 MHz e i 3 GHz



EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
VHF	30 MHz	1 dam	124 neV
HF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
MF	300 kHz	1 km	1.24 neV
LF	30 kHz	10 km	124 peV
VLF	3 kHz	100 km	12.4 peV
VF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
ELF	30 Hz	10 Mm	124 feV

Qualità della banda : Perturbazioni possibili con con allarmi senza fili (dai 400 ai 600 MHz).

Segnali attenuati in funzione del grado di umidità dell'atmosfera.


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).

Le bande di osservazione (6)

Banda SHF

La banda si estende tra i 3 e i 30 GHz.
E' la banda delle microonde.



EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
VHF	30 MHz	1 dam	124 neV
HF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
MF	300 kHz	1 km	1.24 neV
LF	30 kHz	10 km	124 peV
VLF	3 kHz	100 km	12.4 peV
VF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
ELF	30 Hz	10 Mm	124 feV

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.

Una breve riassunto su alcune proposte concrete per attivare un programma di ricerca radioastronomica a livello amatoriale:

Studio dei fenomeni elettromagnetici naturali nella parte inferiore dello spettro radio (bande ULF, ELF, VLF):

- Rivelazione dei fenomeni meteoritici
- Attività di monitoraggio "Radio Natura"
- Correlazione con i fenomeni sismici (precursori)
- Monitoraggio dei disturbi ionosferici legati all'attività solare.

Studio delle "tempeste radio" del Sole e di Giove in banda HF (collegamenti con il progetto RadioJove della NASA).

Attività scientifiche scolastiche.

Interessanti correlazioni con le fluttuazioni del campo magnetico terrestre.

Programma SIDs AAVSO (monitoraggio dei brillamenti solari osservando stazioni VLF commerciali nella banda 10-40 KHz).

Attività di METEOR SCATTER (rivelazione degli echi delle tracce ionizzate da meteoriti).

Attività di ricerca SETI amatoriale (ad es. progetto BAMBI - USA) in banda SHF (rete di osservatori ciascuno dotato di piccoli strumenti).

Vediamo adesso alcuni semplici progetti già realizzati

Progetto 1

Progetto per la rilevazione delle onde decametriche di Giove proposto dall'associazione radioastrofili inglese disponibile www.ukaranet.org.uk

I segnali che vogliamo rilevare hanno la lunghezza d'onda dell'ordine delle decine di metri e sono note come emissioni decametriche gioviane.

Queste frequenze contengono anche emissioni radio provenienti dal Sole e dalla Galassia, ma più che altro un grande problema sono le interferenze con i segnali di origine umana.

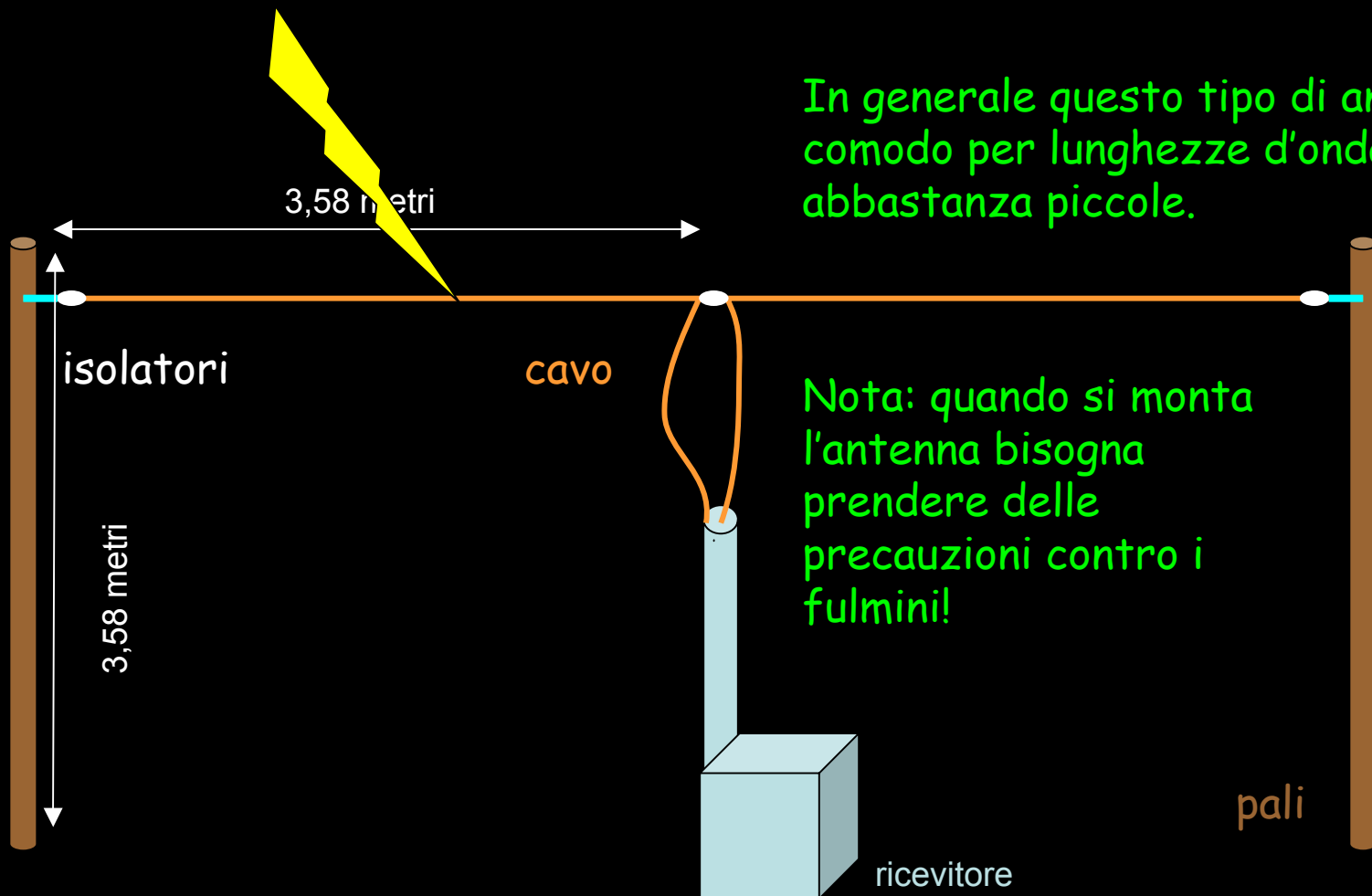
Ecco un esempio di radiotelescopio adatto a questo scopo:
abbiamo bisogno di un ricevitore tra i 20 e i 30 MHz e un antenna adatta.

Se lo spazio a disposizione non è molto limitato si può utilizzare l'antenna a dipolo che è semplice da costruire

La lunghezza dei cavi deve essere la metà delle onde radio che si vogliono ricevere.

Di solito i 21 MHz sono considerati una buona frequenza per questi scopi e quindi la lunghezza d'onda è circa di 14.3 metri.

Ogni pezzo di cavo sarà lungo un quarto d'onda, cioè circa 3.58 metri.



In generale questo tipo di antenna è comodo per lunghezze d'onda abbastanza piccole.

Nota: quando si monta l'antenna bisogna prendere delle precauzioni contro i fulmini!

Inoltre:

I cavi sono isolati al centro e alle estremità.

Per isolare possiamo utilizzare degli isolatori ceramici ma anche dei semplici pezzi di plastica.

Il supporto può essere di vario genere, si può utilizzare quello che si ha.

Il dipolo consiste di due cavi elettrici di rame collegati a un cavo coassiale.

Anche l'altezza dal terreno dovrà essere di 3,58 metri.

Progetto 2

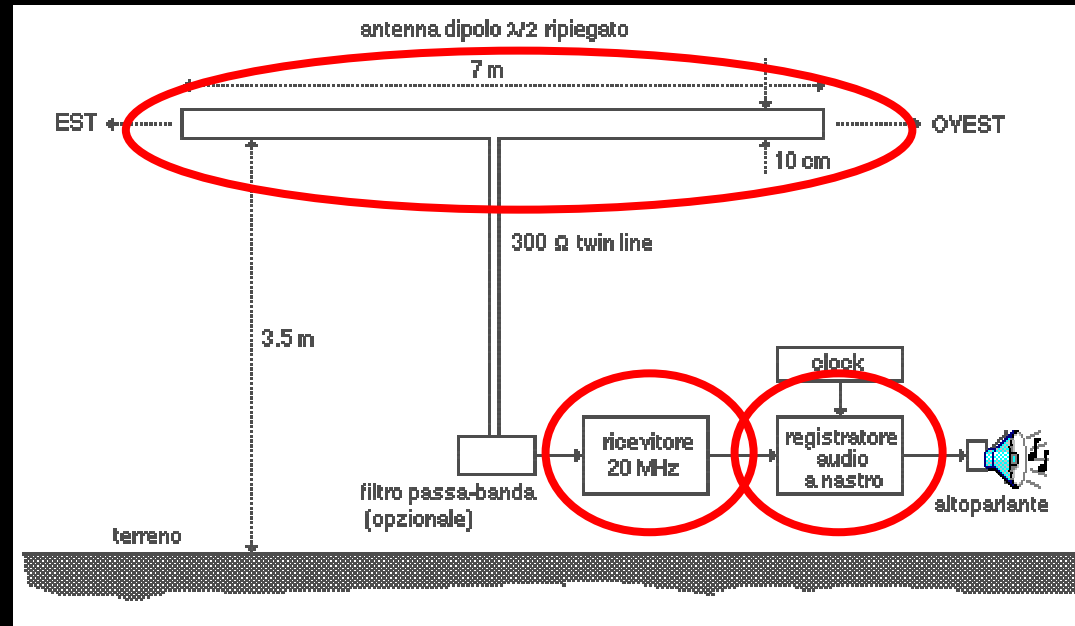
Progetto per la rilevazione delle onde decametriche di Giove proposto da RadioAstroLab

Modifica del progetto precedente

Si utilizza una semplice antenna a dipolo ripiegato (a mezz'onda) allineata in direzione est-ovest e posta ad un'altezza dal terreno pari ad un quarto d'onda.

Si utilizza un ricevitore HF sintonizzato intorno alla frequenza di 20 MHz. ($\lambda = 15$ metri)

E' possibile utilizzare un registratore a nastro (o un pc) per convertire i segnali elettrici in segnali audio.



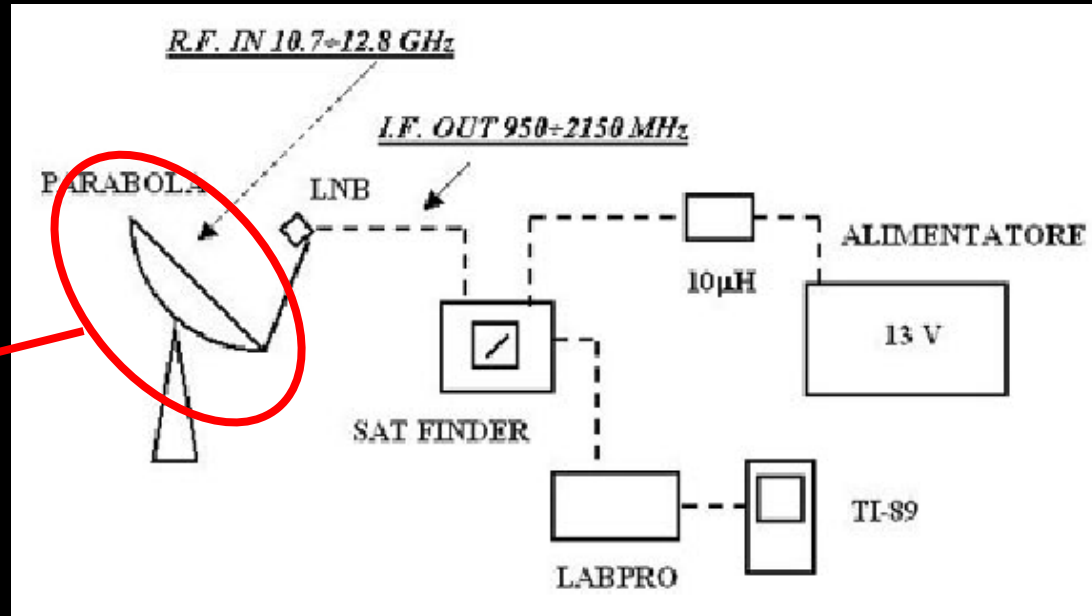
Vediamo un esempio di suono registrato dal radioservatorio dell'università della Florida

Progetto 3

Progetto di un radiometro a 10 GHz
proposto dall'ITC "A.Greppi di Monticello Brianza,
Docente Valter Giuliani, fondatore del Gruppo Astrofili Brianza
disponibile sul sito www.IARA.it

Con poche modifiche, un kit per la ricezione della TV satellitare si trasforma in un efficiente ed economico radiometro a microonde in grado di misurare l'energia radiante, in questa regione dello spettro elettromagnetico, emessa dai corpi che ci circondano.

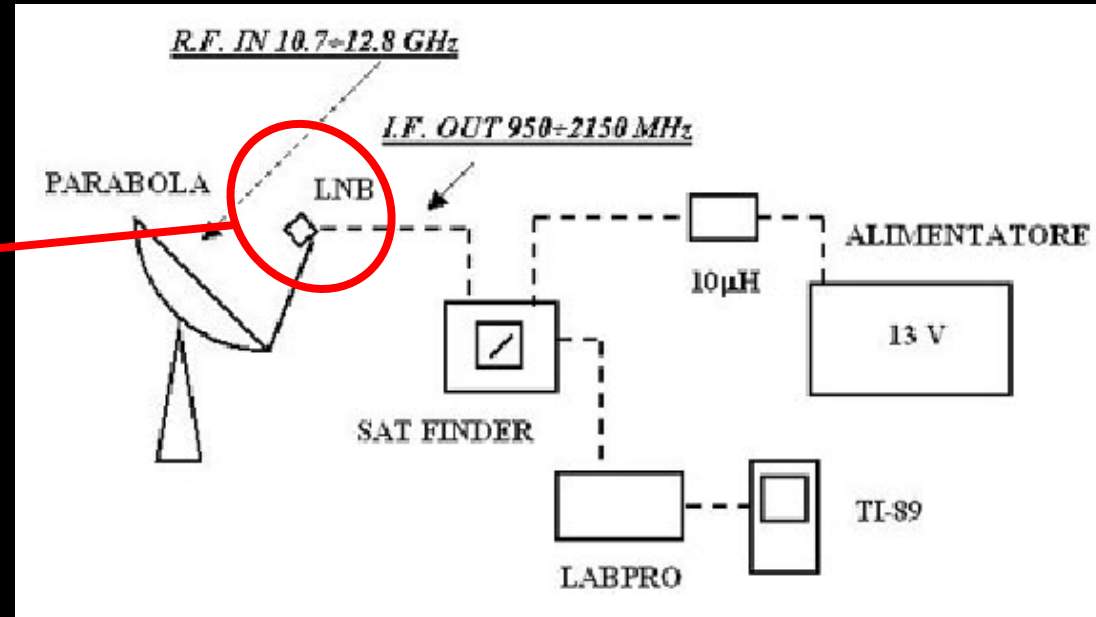
Componenti della strumentazione



- Parabola

del tipo "off-set" da 60 cm,
acquistata in un grande magazzino a 30 euro.

Componenti della strumentazione



- LNB (Low Noise Block converter):

- cattura e converte in segnali elettrici le microonde riflesse dalla parabola, per mezzo di una guida d'onda a tronco di cono, detta illuminatore (*feed*), e di un dipolo che è la vera antenna
- amplifica il debole segnale raccolto, di circa 100000 volte
- converte la frequenza di ricezione in un valore più basso, chiamata IF o frequenza intermedia, di valore compreso tra 950 e 2150 MHz, in modo da facilitare il trasferimento del segnale lungo un cavo coassiale fino al ricevitore.

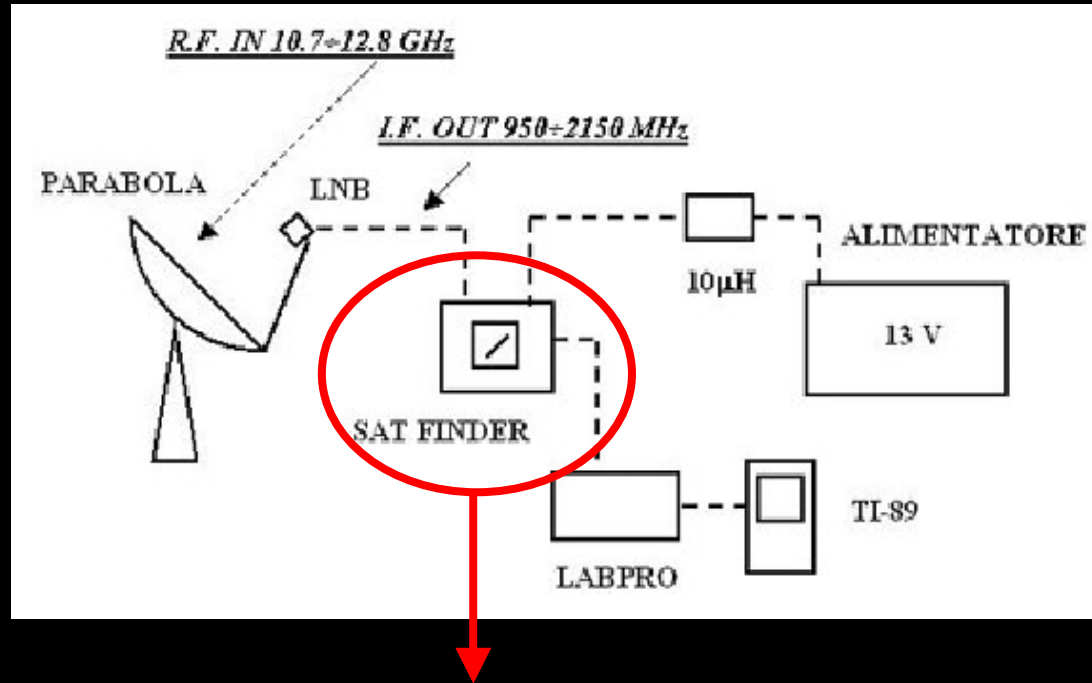
Componenti della strumentazione

-un *Sat Finder* acquistato in un negozio di elettronica ad un costo di 20 euro, in luogo del ricevitore, (di solito molto più costoso).

è uno strumento utilizzato dagli installatori degli impianti TV-SAT per il preciso puntamento della parabola verso il satellite che si vuol ricevere;

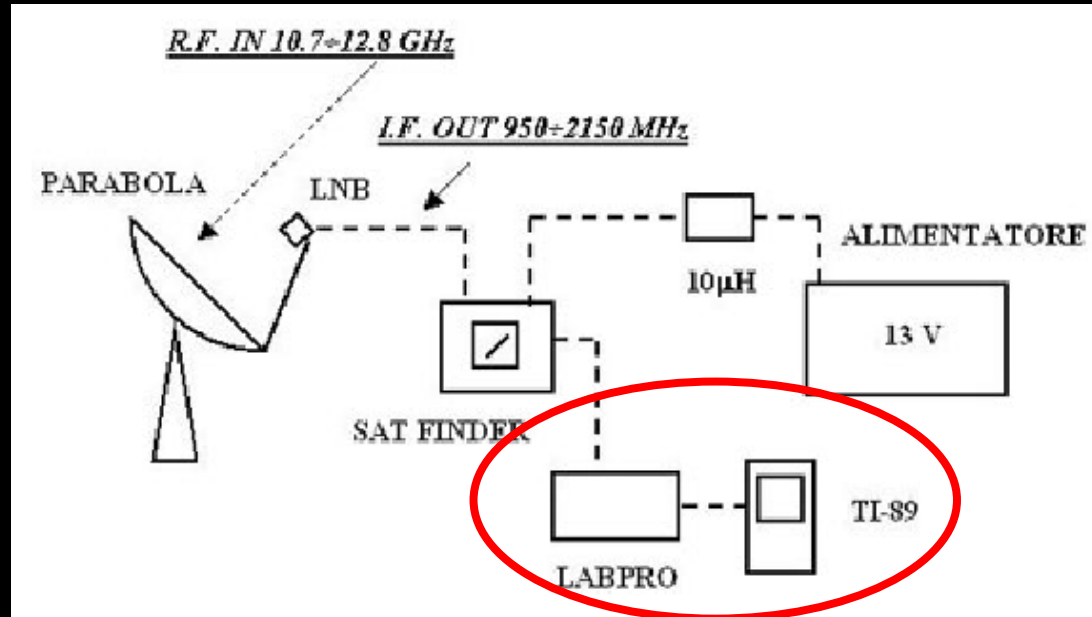
amplifica tutto il segnale a larga banda proveniente dal convertitore e fornisce su uno strumento indicatore una tensione che è proporzionale alla potenza della radiazione catturata dall'antenna.

è stato collegato all'LNB, tramite uno spezzone da 2 metri di cavo coassiale a 75 ohm



Il Sat Finder usato come ricevitore del radiometro; si noti la manopola che permette di modificare il guadagno.

Componenti della strumentazione



-Sistema di acquisizione dei dati portatile.

E' stata utilizzata una calcolatrice TI- 89

L'esperimento

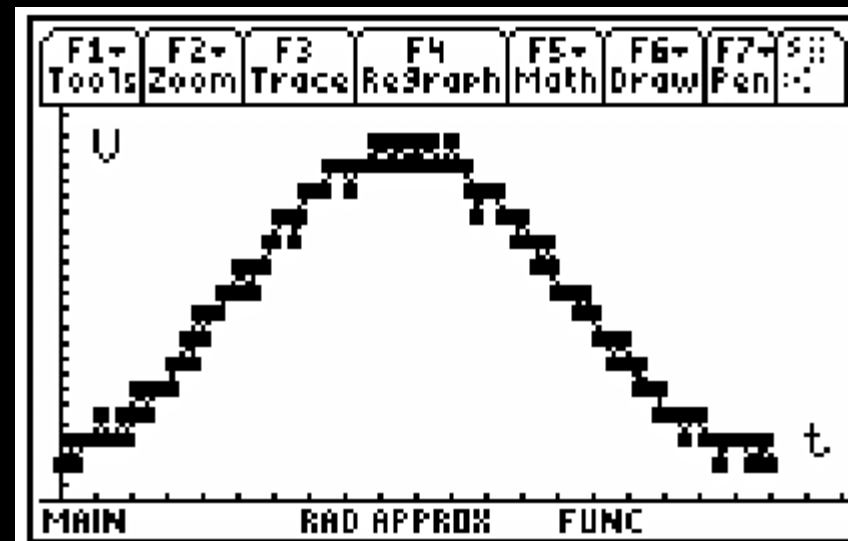
Il movimento del Sole rispetto all'antenna è fornito automaticamente dalla rotazione della Terra.

La figura mostra il passaggio della nostra stella attraverso il campo di copertura dell'antenna. Registrazione fatta quando il Sole si trovava in prossimità del mezzogiorno vero locale.

Nota: il Sole presenta una estensione angolare di mezzo grado mentre la larghezza del campo di un'antenna normalmente utilizzata nella TV-SAT che è di alcuni gradi.



Grafico del transito del Sole dal campo di copertura della parabola registrato il 4 giugno 2003. Il tempo di campionamento è stato di 10 secondi per una durata complessiva della registrazione di 30 minuti.



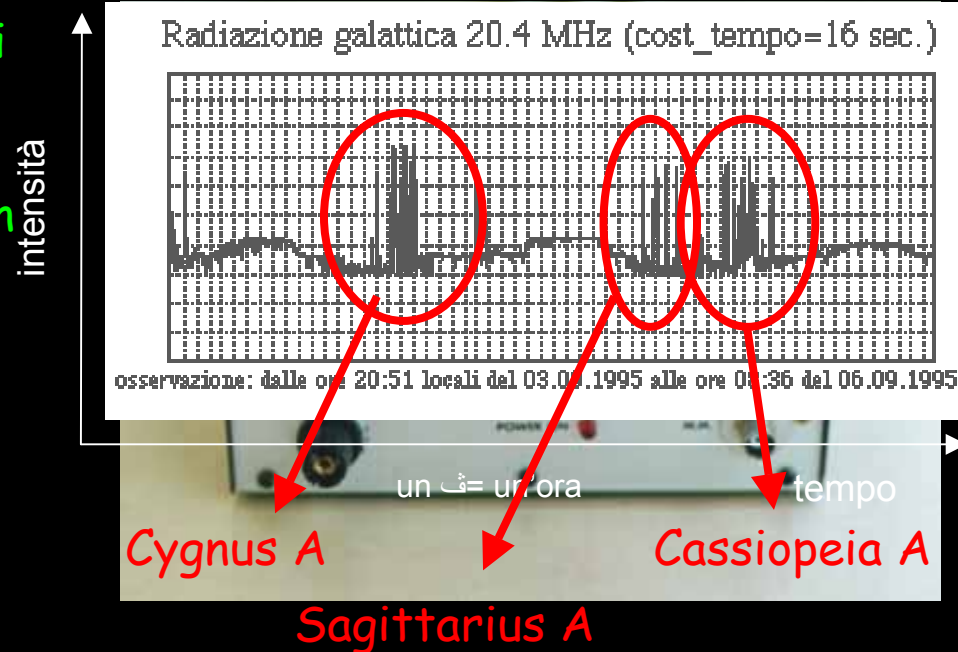
Progetto 4

Progetto per la rilevazione delle pulsar in banda VHF proposto da RadioAstroLab

E' possibile captare i segnali provenienti dal centro della galassia e individuare alcune pulsar sempre con un'antenna a dipolo a mezz'onda con i lobi orientati in direzione NE-SO

Si utilizza un ricevitore con larghezza di banda pari a circa 834 kHz, centrata sulla frequenza di 20.4 MHz.

I dati all'uscita del ricevitore sono stati elaborati con un PC utilizzando una scheda di acquisizione ad 8 bit ed integrando il segnale rivelato con una costante di tempo dell'ordine di 16 secondi.



L'emissione e' piuttosto diffusa a causa della scarsa direttivita' dell'antenna utilizzata (un semplice dipolo filare) che riceve radiazione dall'orizzonte fino allo zenit senza possibilita' di discriminare le varie radiosorgenti.

Progetto 5

Progetto per la rilevazione degli echi meteorici MFS (Meteor Forward Scatter) proposto dalla sezione di Radioastronomia dell'UAI

Abbiamo bisogno di:

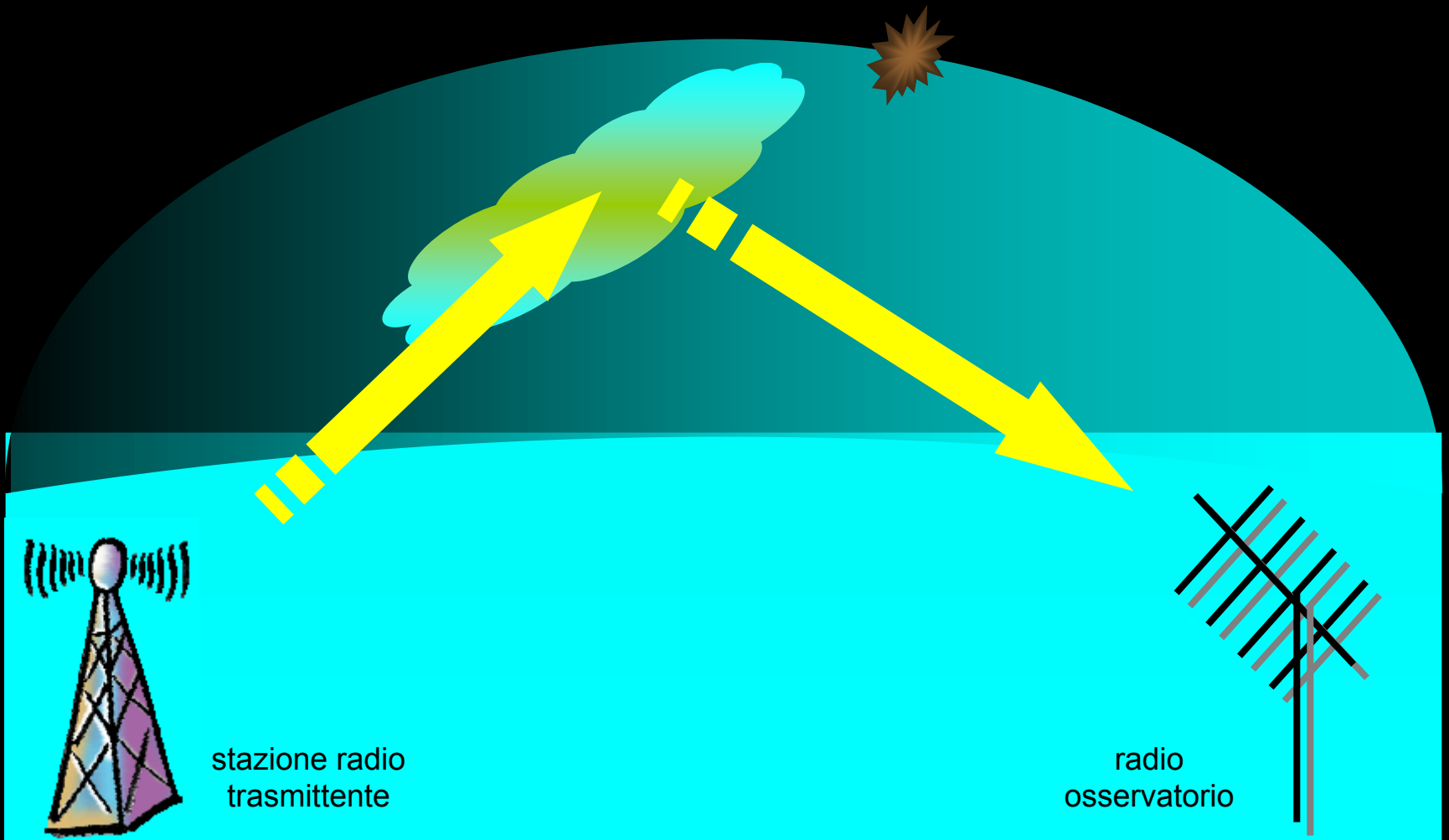
- un ricevitore sintonizzabile tra gli 87.5 e i 108.0 MHz, tipo un'autoradio
 - un'antenna del tipo Yagi a 3 o 4 elementi (che si può autocostruire acquistare), capace di captare il segnale gratuito di un trasmettitore radiofonico, distante tra i 500 e i 2000 km.
 - un piccolo analizzatore di spettro, allacciato alla seriale di un PC.
- Il tutto viene messo in funzione per alcuni giorni (di solito da 3 a 5).



Scelta la lunghezza d'onda di lavoro, si orienta l'antenna verso un'opportuna zona di cielo.

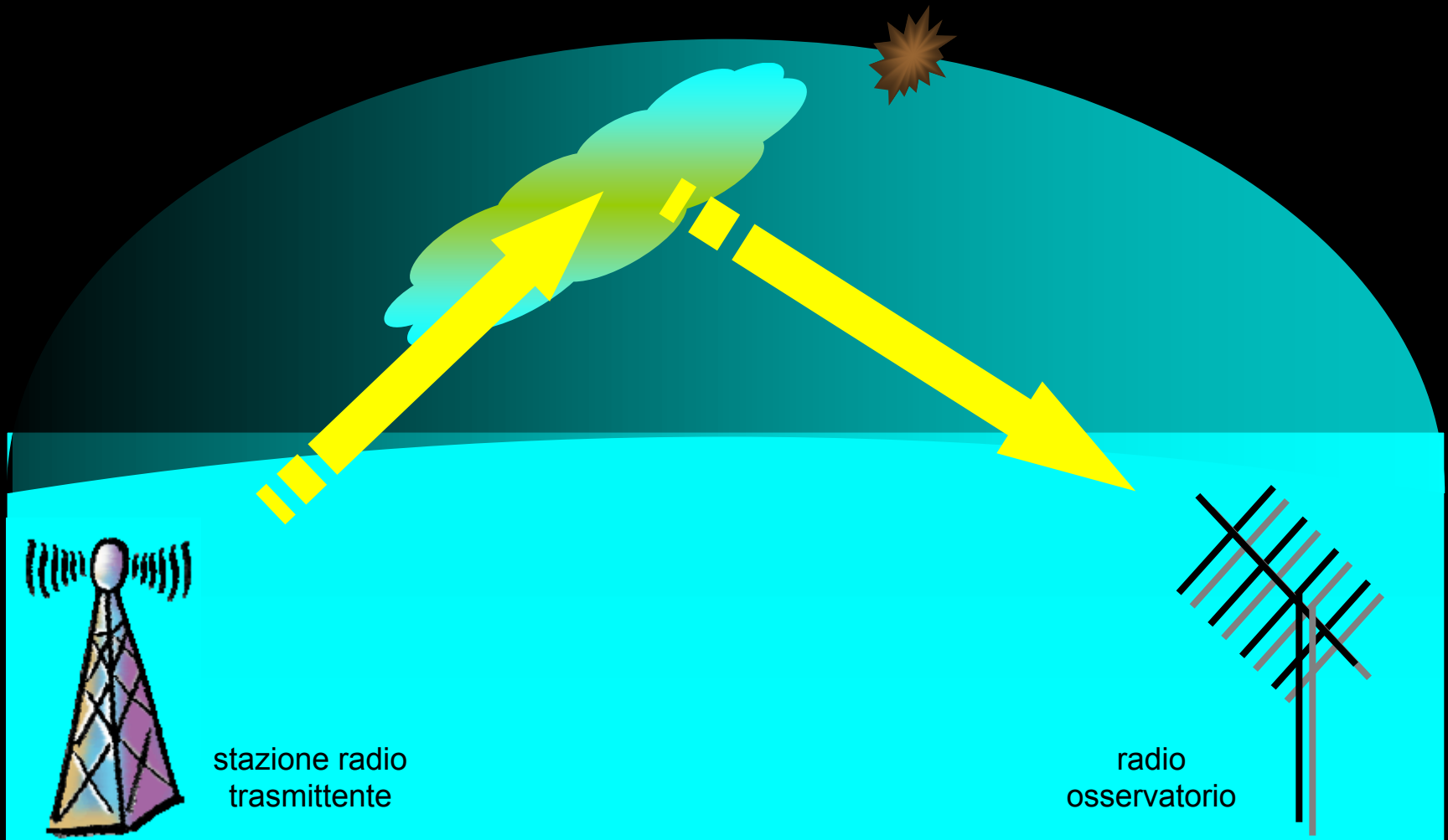
Intuitivamente, si suppone che la migliore zona di ricezione sia quella lungo la direttrice che collega la stazione ricevente con quella trasmittente.

In realta', e' necessario spostare di un dato angolo l'antenna rispetto alla direzione suddetta, in base alla distanza dal ripetitore.



Le frequenze utili per il MFS sono comprese tra i 40 e i 150 MHz. Le frequenze minori sono riflesse dalla ionosfera, mentre quelle maggiori non interagiscono a sufficienza con la meteora.

Come si vede, la banda FM è centrale rispetto all'intervallo utile per indagini di MFS. Esistono numerose stazioni radiofoniche da cui sfruttare il segnale.



Interpretazione dei risultati:

Un radioastrofilo alle prime armi puo' fare un conteggio orario del numero di echi captati.

Si riportano i risultati su un grafico utilizzando un qualsiasi programma per la creazione di grafici (ad esempio MS Excel);

si riportano sull'asse X il tempo e sull'asse Y il numero orario di echi registrati.

Sono possibili anche grafici a più dimensioni, ma sono complessi e richiedono variabili, quali l'altezza angolare media del radiante apparente, l'intensita' di ogni singolo segnale, il tipo di segnale, e cosi' via.

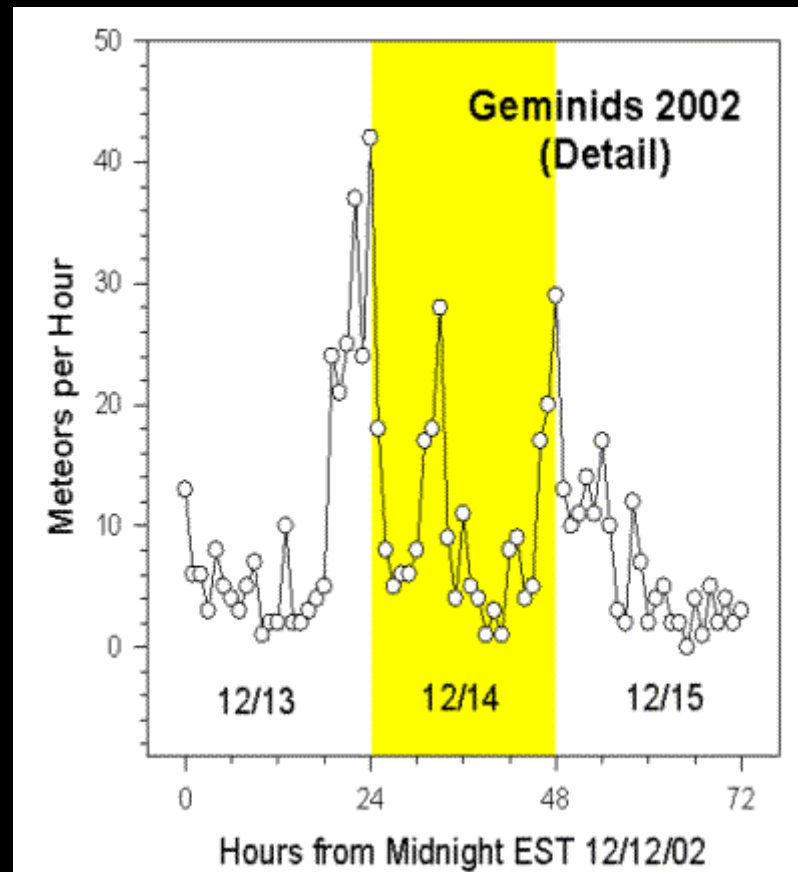


Grafico (FM) relativo alle Geminidi 2002, ricavato da tre giorni di monitoraggio, tra il 13 e il 15 dicembre 2002.

Altri progetti:

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)

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)

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

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

FACILE

DIFFICILE

Sperando di avervi trasmesso un po' di curiosità per la materia ci sarebbero alcune proposte per il nostro circolo:

- Aprire una sezione radioastronomia. Sono benvenuti chiunque abbia conoscenze da condividere e magari anche radioamatori esterni al circolo.
- Costruire un radiotelescopio con un'antenna parabolica per poter fare delle osservazioni del Sole e portare lo strumento alle manifestazioni tipo piazza Duomo.
- Costruire un radiotelescopio trasportabile del tipo a dipolo da portare agli Star Party e alle serate osservative.

Alcuni circoli di astrofili che si sono dotati di un radioservatorio:

- Gruppo Ricerca Radioastronomia amatoriale Trentino
- Associazione Friulana di Astronomia e Meteorologia
- Gruppo Astrofili Menkalinan di Cosenza
- Gruppo M1 - Astrofili Castiglionesi
- Gruppo Astrofili Brianza

Ringraziamenti

I.A.R.A.

Italian Amateur Radio Astronomy Group

Il Gruppo Ricerca Radioastronomia
amatoriale Trentino
(in particolare Mario Sandri)

II SETI ITALIA TEAM COCCONI

I.R.A. C.N.R.

Bibliografia

Flavio Falcinelli

"Radioastronomia Amatoriale" ed Il Rostro

Alberto Abrami

"Corso di Radioastronomia" ed.Hoepli

Gianfranco Sinigaglia,

"Elementi di tecnica radioastronomica",
CeC edizioni radioastronomiche

Links

www.radioastrolab.it

www.iaragroup.org

www.ukaranet.org.uk

www.nrao.edu

www.uai.it/radioastronomia

<http://radiojove.gsfc.nasa.gov>

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 (3C46-1) *		19000	11000	11000	5000		600
Cygnus A (3C405)		11800	8100	7000	4000		100
Taurus A							
(Crab neb. -3C144) *		1700	1420	1400	1000		500
Vingo 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 (NGC 1275)		180					
Fornax A (NGC 1316)		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:

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