RadioAstroLab Srl

MANUALE D'USO
USER MANUAL

Strumenti per Radioastronomia Amatoriale

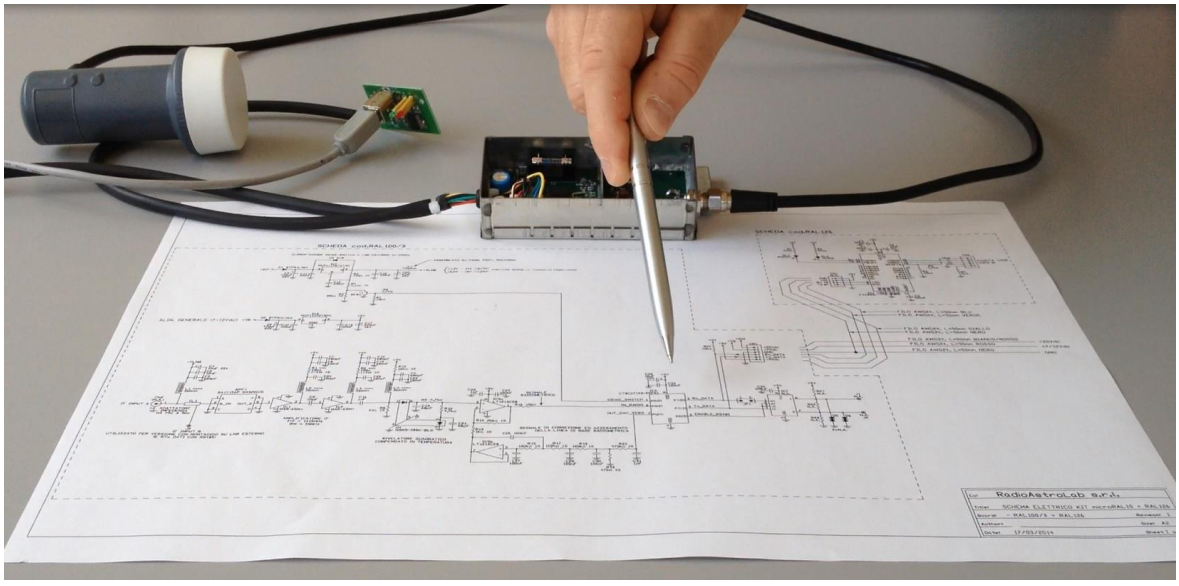
Radiometro a microonde RAL10TS

Amateur Radio Astronomy Equipment

RAL10TS Microwave Radiometer

Costruisci il tuo radiotelescopio a microonde con RAL10TS

Build your own microwave radiometer with the RAL10TS receiver



Grazie per aver acquistato RAL10TS Microwave Radiometer. Prima di usare lo strumento, leggere con attenzione il presente Manuale. Si raccomanda di tenere a portata di mano il Manuale d'uso ricevuto dal produttore.

Thank you for purchasing the RAL10TS Microwave Radiometer.
Before using the instrument, read this Manual carefully. It is recommended to keep the User Manual received from the manufacturer handy.

INDICE

Un radiotelescopio per tutti	p. 3
Radioastronomia e radiotelescopi	p. 4
Radiometri a microonde	p. 11
Il ricevitore RAL10TS	p. 14
Descrizione tecnica	p. 17
Parametri operativi del ricevitore	p. 19
Guida all'impostazione dei parametri operativi	p. 21
Il software di acquisizione e di controllo ARIES	p. 25
Limitazione di responsabilità, avvertenze varie, pulizia e smaltimento	p. 27

Congratulazioni per la Vostra scelta!
È stato scelto un prodotto di alta qualità. Il manuale di istruzioni è parte integrante del presente prodotto. Esso contiene importanti indicazioni sulla sicurezza, l'uso e lo smaltimento. Prima di utilizzare il prodotto, acquisire dimestichezza con tutte le indicazioni relative ai comandi e alla sicurezza. Utilizzare il prodotto solo come descritto e per i campi d'impiego indicati. Conservare con cura il presente manuale di istruzioni. In caso di cessione del prodotto a terzi, consegnare anche tutta la relativa documentazione.

Si consiglia di leggere attentamente questo manuale prima di procedere all'installazione del ricevitore, attenendosi scrupolosamente a quanto di seguito riportato.

In caso di problemi con lo strumento, si consiglia di leggere questo manuale prima di contattare il servizio di assistenza tecnica.

Importante
Si consiglia di conservare i materiali per l'imballaggio dell'apparecchiatura, in quanto potrebbero risultare utili per un eventuale invio in riparazione.

I danni arrecati dal trasporto a causa di un cattivo imballaggio dello strumento non sono coperti da garanzia.

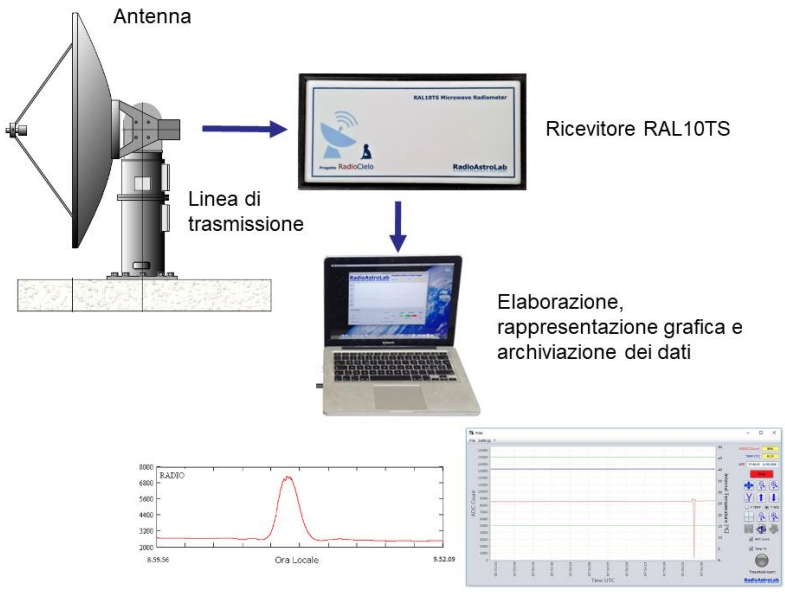
RadioAstroLab S.r.L. garantisce i propri prodotti per la durata di anni uno quando utilizzati secondo le istruzioni e le raccomandazioni presenti in questo documento. Il costruttore non risponde di malfunzionamenti o danni arrecati allo strumento dovuti a una cattiva installazione o a causa dell'utilizzo di componenti esterni non adeguati (unità esterna, sistema di antenna e cavo coassiale, parti meccaniche utilizzate per il fissaggio dell'illuminatore, dell'antenna e per l'orientamento).
RadioAstroLab si riserva il diritto di apportare modifiche, anche senza preavviso, sui dispositivi e sulla presente documentazione allo scopo di migliorarne le prestazioni e l'efficacia.
©Copyright by RadioAstroLab

UN RADIOTELESCOPIO PER TUTTI

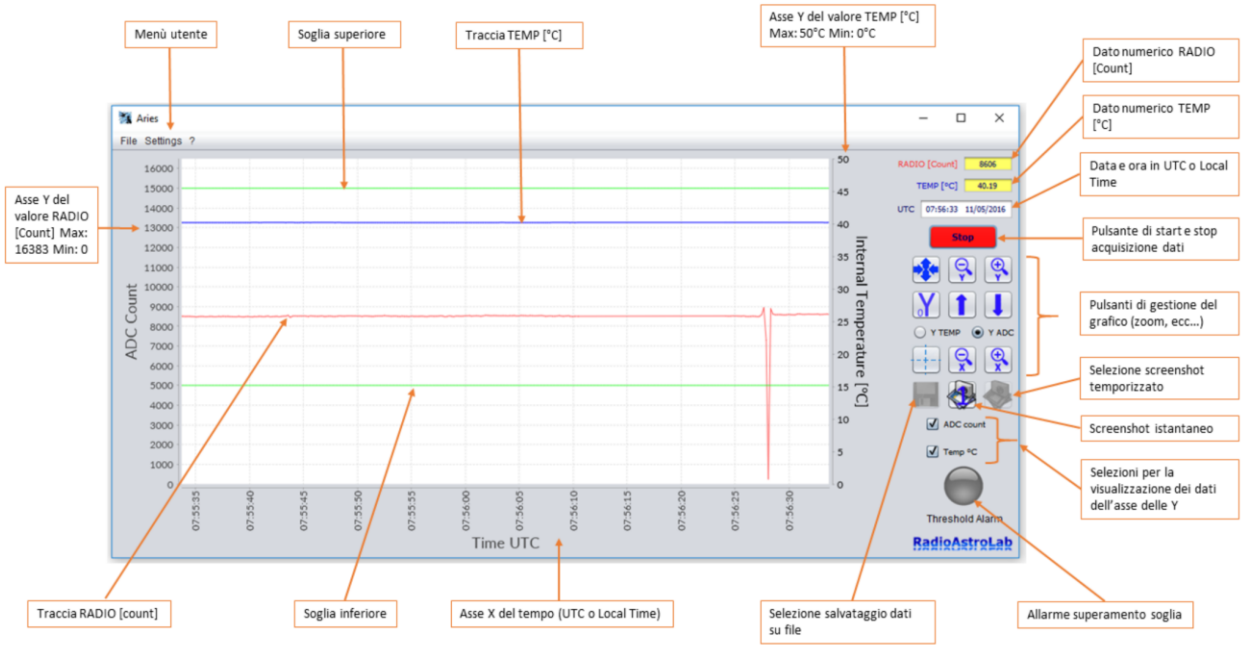
RAL10TS Total-Power Microwave Radiometer è un ricevitore a microonde (radiometro) dedicato alla radioastronomia amatoriale.
Seguendo i nostri suggerimenti e abbinando a RAL10TS un'antenna e pochi altri accessori, qualsiasi appassionato che desidera esplorare il cielo nella "finestra radio'' delle microonde (alla frequenza di 11.2 GHz) sarà in grado di installare un efficiente radiotelescopio adatto per osservare le più intense radiosorgenti del cielo. E' possibile, infatti, costruire un piccolo radiotelescopio per studiare in modo diverso gli oggetti celesti, in pieno giorno e con il cielo nuvoloso, padroneggiando i principi della tecnica radioastronomica. Indubbiamente non è 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 continuità operativa.
RadioAstroLab S.r.L. è stata la prima azienda italiana a proporre sul mercato, nel 2000, la prima versione del ricevitore RAL10 insieme alle informazioni necessarie per costruire e utilizzare un radiotelescopio dilettantistico. Questo strumento, economico e pensato per sfruttare moduli commerciali per la ricezione della TV satellitare, 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 per aver contribuito 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: ora abbiamo una nuova famiglia di prodotti che soddisfa le esigenze dell'appassionato e consente a tutti di conoscere la radioastronomia attraverso la costruzione, l'installazione e l'esercizio di un piccolo radiotelescopio.
La via dell'approccio sperimentale è sempre preferibile: registrare le onde radio provenienti dagli oggetti celesti con uno strumento ''home made'' è un'esperienza molto eccitante. Certo, non possiamo attenderci le prestazioni dei grandi radiotelescopi della ricerca, incomparabilmente grandi e complessi. Tuttavia, la realizzazione e la messa in opera di uno strumento costruito con le proprie mani assicura molte soddisfazioni e un grande valore educativo. Questa è una strada percorribile e didatticamente molto interessante: numerosi sono gli esempi reperibili sul web che descrivono la costruzione di semplici ed economici radiotelescopi utilizzando componenti e moduli provenienti dal mercato della TV satellitare. Si tratta di soluzioni interessanti e di immediata realizzazione che, in ogni caso, richiedono un certa pratica ed esperienza con il montaggio dei circuiti elettronici e, soprattutto, con la loro messa a punto.
Se, d'altra parte, desideriamo iniziare con garanzia di successo, sarà preferibile orientarsi verso applicazioni progettate ''ad hoc'' per la radioastronomia amatoriale, pur non rinunciando alla semplicità di utilizzo.

Per questi motivi proponiamo agli sperimentatori il ricevitore a microonde RAL10TS.

Lo strumento, abbinato a componenti commerciali di facile reperibilità, diventa un completo radiotelescopio che include l'interfaccia per la comunicazione con un personal computer (PC) e il software ARIES di gestione. Costruire ed imparare ad utilizzare uno strumento di questo tipo è didatticamente molto interessante, poiché consente un approccio semplice e immediato alla radioastronomia e alle tecniche strumentali di base.



Software di acquisizione e di gestione ARIES, fornito gratuitamente con RAL10TS



Prima di illustrare le caratteristiche e il funzionamento di RAL10TS Total-Power Microwave Radiometer forniremo qualche indicazione sulla radioastronomia e sugli strumenti utilizzati dai radioastronomi.

RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCOPI

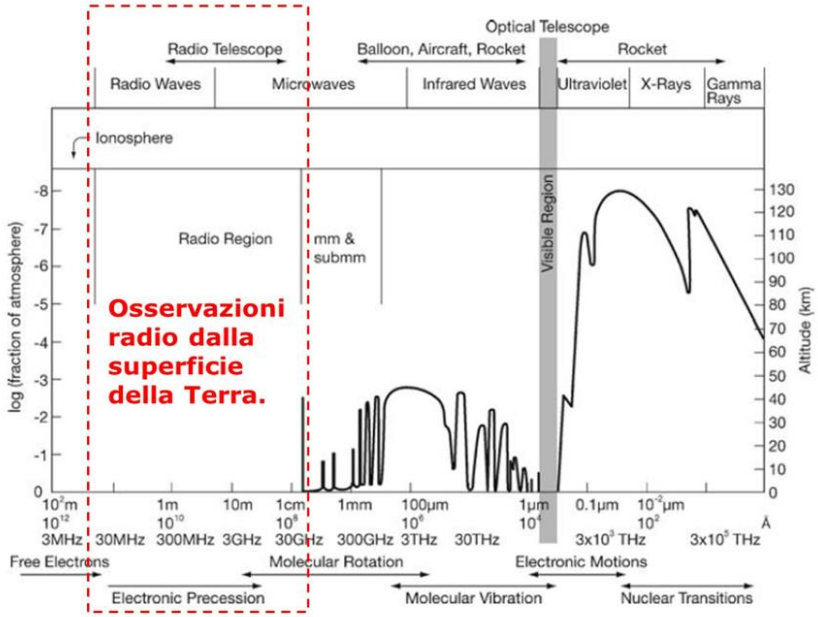
La radioastronomia studia il cielo analizzando le onde radio naturali emesse dai corpi celesti: qualsiasi oggetto irradia onde elettromagnetiche misurabili che, captate dall'antenna e visualizzate, manifestano le caratteristiche incoerenti di un rumore elettrico ad ampio spettro. In generale, con il termine *radiosorgente* si indica qualsiasi emettitore naturale di onde radio: nell'uso comune questo termine è diventato sinonimo di sorgenti cosmiche di onde radio.
I *radiotelescopi*, strumenti che registrano il debole flusso radio proveniente dallo spazio extra-terrestre, 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.
In onore a K. Jansky, l'iniziatore della radioastronomia, è stata definita l'unità di misura della densità di flusso delle radiosorgenti: 1 Jy=10^{-26} W/(m^2 Hz). Da questa espressione si vede come un radiotelescopio misuri una potenza radiante proveniente dal cielo, precisamente la potenza (W) 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 associata alla radiazione ''raccolta'' dall'antenna, prevede l'utilizzo del concetto di *temperatura di brillanza* di una radiosorgente, parametro direttamente proporzionale alla sua potenza irradiata.
Se orientiamo l'antenna dello strumento in una data regione del cielo, in particolare verso una radiosorgente che contrasta rispetto al fondo, misuriamo un incremento nell'intensità del segnale ricevuto proporzionale alla temperatura di brillanza 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 limitata banda di frequenze.
Si può immaginare un radiotelescopio come un termometro del cielo: la temperatura misurata sarà proporzionale alla temperatura fisica della regione ''vista'' dall'antenna tramite un coefficiente *emissività*, una misura della sua capacità di irradiare energia, funzione delle caratteristiche chimico-fisiche della radiosorgente e della frequenza.

Un corpo nero ha emissività uguale a 1, quindi una temperatura di brillanza coincidente con la sua temperatura fisica, mentre un corpo materiale (corpo grigio) ha emissivita compresa fra 0 e 1, quindi una temperatura di brillanza inferiore alla sua temperatura fisica.
Il principio di funzionamento di un radiotelescopio non è sostanzialmente differente da quello di un comune radio-ricevitore casalingo (come, ad esempio, un televisore, un'autoradio o un telefono cellulare): ovviamente, alcune caratteristiche sono specializzate e le prestazioni ottimizzate per misurare i segnali provenienti dallo spazio. In radioastronomia è necessario (e piuttosto difficile...) evidenziare il debolissimo rumore prodotto dalle radiosorgenti (segnale utile) rispetto al rumore generato dall'elettronica dello strumento e dall'ambiente (segnale indesiderato) che, generalmente, è molto intenso: questi ''fruscii'' di fondo, elettricamente simili a quelli che ascoltiamo quando non è sintonizzata alcuna stazione in una radio FM, hanno identica natura e sono, in linea di principio, indistinguibili.

Designazione ITU

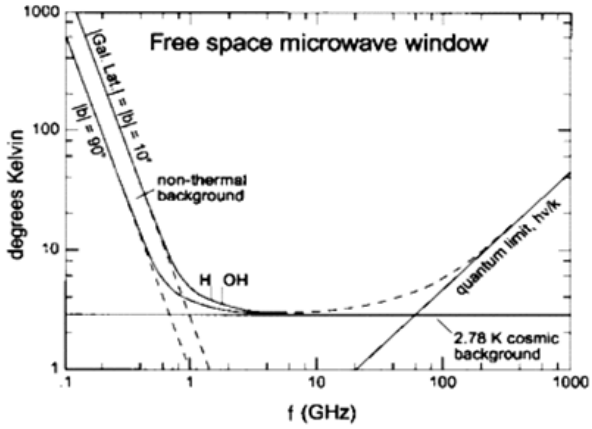
banda	frequenze	lunghezza d'onda
ELF	3 – 30 Hz	100 000 km – 10 000 km
SLF	30 – 300 Hz	10 000 km – 1000 km
ULF	300 – 3000 Hz	1000 km – 100 km
VLF	3 – 30 kHz	100 km – 10 km
LF	30 – 300 kHz	10 km – 1 km
MF	300 – 3000 kHz	1000 m – 100 m
HF	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
VHF	30 – 300 MHz	10 m – 1 m
UHF	300 – 3000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

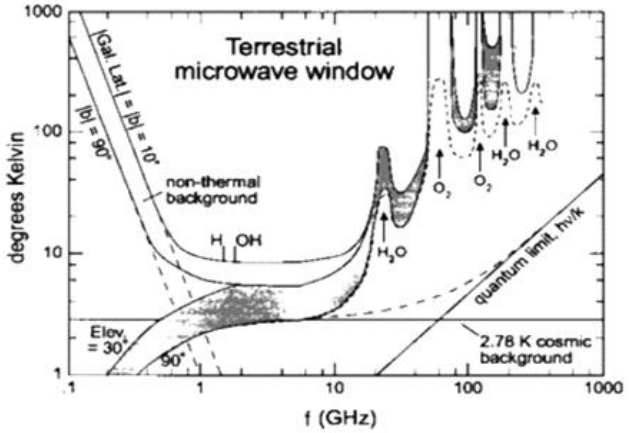
Classificazione ufficiale delle bande di frequenza dello spettro radio: il nostro strumento lavora nella banda delle microonde (SHF), in particolare alla frequenza di 11.2 GHz.



Rappresentazione schematica dello spettro elettromagnetico: è stata evidenziata la ''finestra'' radio.

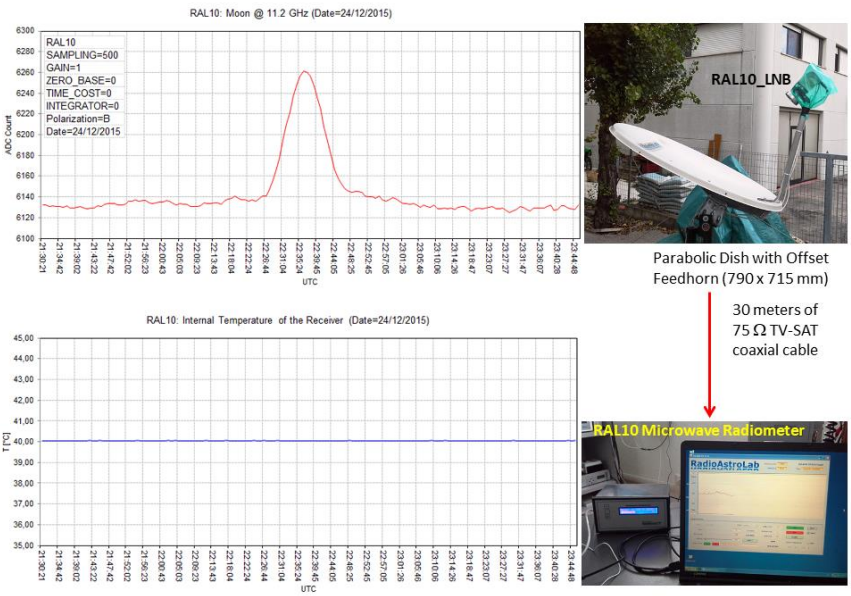
Ammirando la tecnologia e l'imponenza strutturale dei radiotelescopi professionali, per non parlare dei costi ''astronomici'', è legittimo domandarsi se sia concepibile un'attività radioastronomica amatoriale e, in caso affermativo, quali siano le reali possibilità di sperimentazione aperte ai dilettanti. Molti fra gli esperti del cielo ''visibile'', come gli astrofili, hanno notizie frammentarie sulle tecniche radioastronomiche e, quelle che colpiscono l'immaginazione riguardano i grandi strumenti della ricerca. L'opinione diffusa è che la radioastronomia sia una disciplina essenzialmente inaccessibile ai dilettanti, con limitate possibilità di sperimentazione a livello amatoriale, quindi poco interessante per ampliare le proprie conoscenze del cielo. Naturalmente le cose stanno diversamente, perché c'è tutto un mondo interessante e affascinante da scoprire.





Effetti dell'atmosfera terrestre, ben visibili confrontando i grafici che rappresentano la ''finestra'' radio dello spettro elettromagnetico vista da terra e vista da un radiotelescopio operante nello spazio.

Per superare questi ostacoli è importante iniziare dalle nozioni di base, partendo da progetti concreti, economici e facilmente realizzabili, con prestazioni ''sicure'' e ripetibili. E' necessario comprendere i limiti raggiungibili con l'attività amatoriale evidenziando, comunque, le numerose e interessanti possibilità di sperimentazione. E' indispensabile partire da progetti semplici e di immediato successo, in modo da acquisire gradualmente confidenza con la tecnica strumentale e la pratica dell'osservazione radioastronomica, affatto scontate. Serve un pizzico di volontà nell'investire tempo e pazienza per un approccio graduale verso una disciplina che è certamente meno immediata e ''spettacolare'' rispetto all'osservazione del cielo nel visibile, dato che 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 sono immediate: servono specifici strumenti (i radiotelescopi) per rivelare i segnali radio e visualizzarli.
Esiste poi il problema della strumentazione: occorre 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 esempi che descrivono la costruzione di piccoli radiotelescopi. Tuttavia, per facilitare l'approccio alla radioastronomia a qualsiasi persona di buona volontà, proporremo la costruzione di un radiotelescopio a microonde basato su una filosofia modulare che privilegia la semplicità, l'economia e il riutilizzo delle parti per ampliamenti e per sviluppi futuri.
Tutti possono costruire un radiotelescopio per esplorare l'affascinante mondo della radioastronomia amatoriale.



Parabolic Dish with Offset Feedhorn (790 x 715 mm)

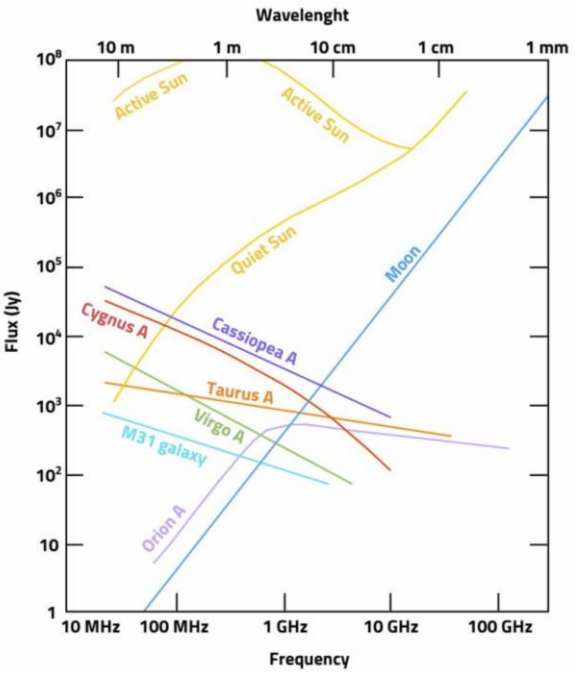
30 meters of 75 Ω TV-SAT coaxial cable

Osservazione del transito lunare con un radiotelescopio amatoriale basato sul ricevitore RAL10TS.

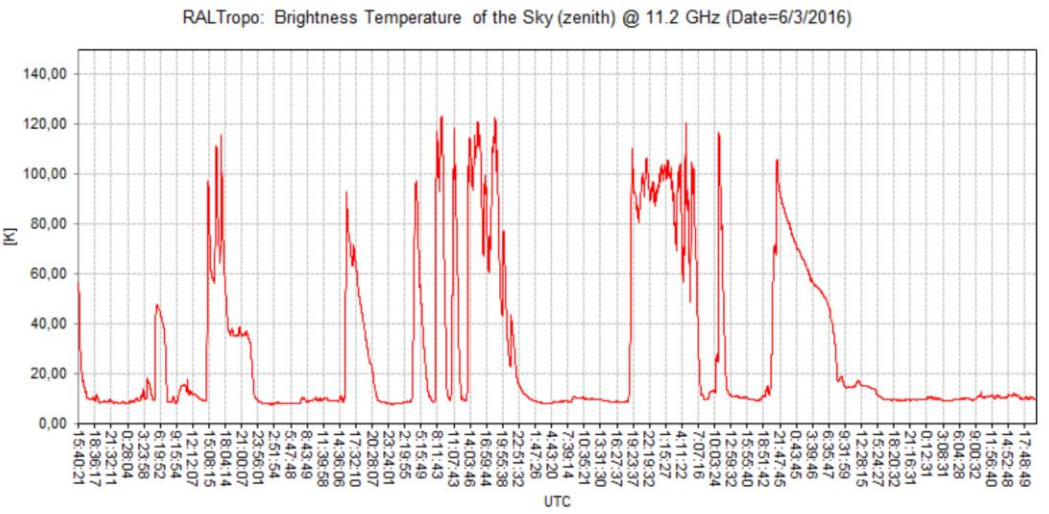
L'osservazione radioastronomica ''per eccellenza'' (la più semplice) consiste nel determinare come varia l'intensità del segnale ricevuto durante il transito apparente di una radiosorgente (come, ad esempio, il Sole o la Luna) nel ''campo di vista'' dell'antenna (*registrazione al transito*). Si orienta 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. Il passo successivo, più complesso e laborioso, prevede la registrazione dell'intensità del 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.
Perché iniziare proprio con uno strumento a microonde? Sarà chiaro fra un attimo.
L'antenna è il componente più importante di un radiotelescopio, essendo il collettore della radiazione cosmica: la sensibilità e le prestazioni dello strumento saranno quindi proporzionali alle sue dimensioni (trascuriamo, per un attimo, problemi economici, di spazio e di installazione). E' altrettanto noto che, fissati i requisiti in sensibilità e nel potere risolutivo per il radiotelescopio, le dimensioni necessarie per l'antenna aumentano considerevolmente al diminuire della frequenza operativa. Solo questo aspetto è sufficiente per creare un'infinità di dubbi e porre qualche problema a chi intende iniziare un'attività radioastronomica dilettantistica.
Ci chiediamo allora:

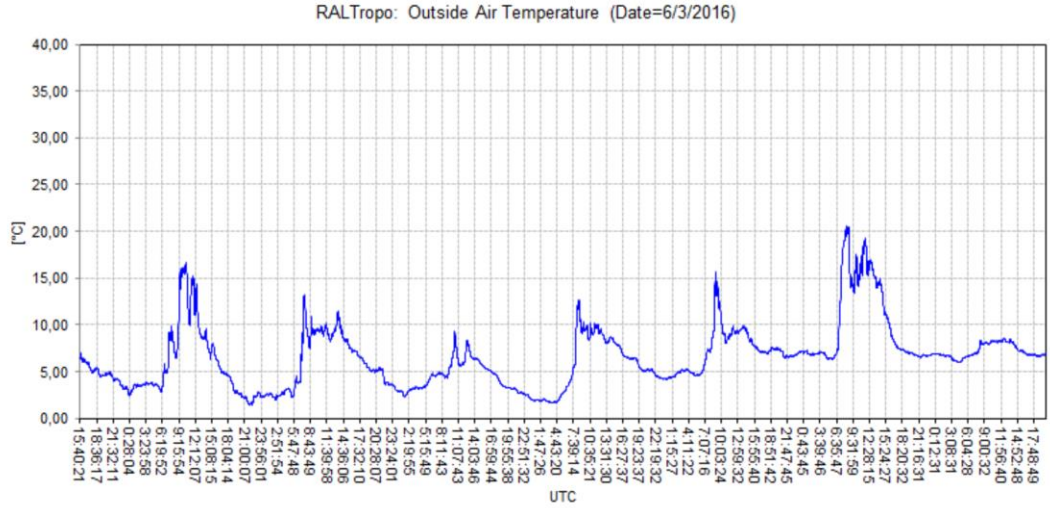
- in quale banda di frequenze è preferibile operare?
- Quali radiosorgenti sono osservabili con un piccolo radiotelescopio?
- Esistono requisiti particolari nella scelta del sito di installazione dello strumento?

Le risposte sono tutte collegate. I meccanismi che spiegano le emissioni delle radiosorgenti sono complessi, legati alle loro caratteristiche chimico-fisiche. Un buon punto di partenza consiste nel catalogare gli oggetti radio più intensi del cielo e scoprire come varia la loro emissione al variare della frequenza (spettri delle radiosorgenti). Tenendo conto dei limiti in sensibilità propri degli strumenti amatoriali dovuti principalmente alla ridotta superficie di 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.



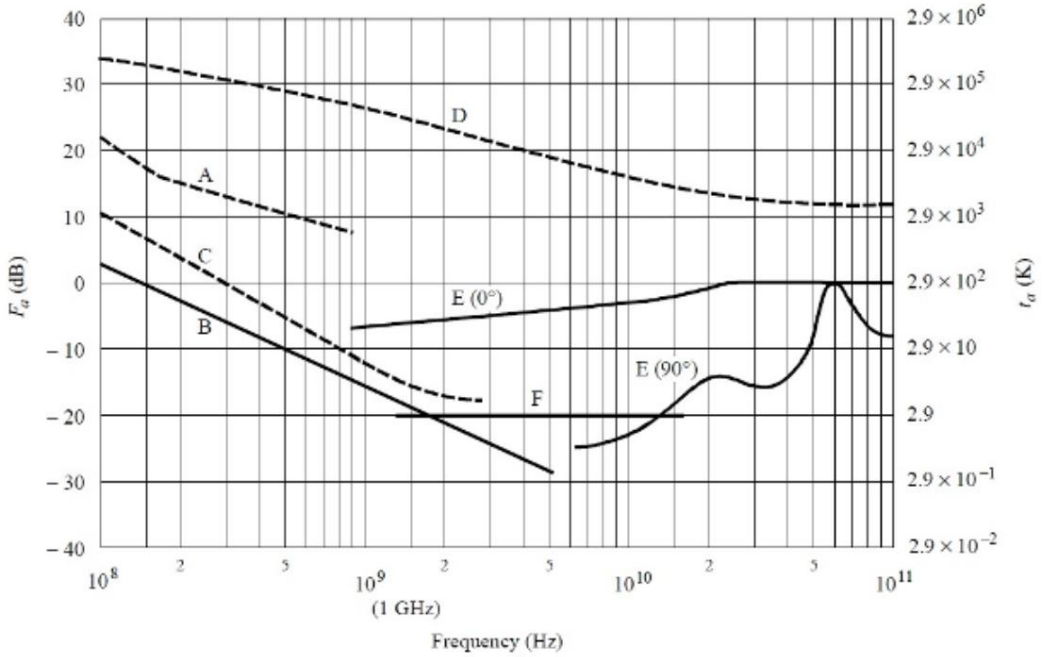
Tuttavia, occorre considerare ''l'affollamento'' radio nella zona dove installeremo il radiotelescopio, dovuto alla presenza di varie interferenze. I disturbi artificiali, molto intensi nelle zone urbane e industrializzate, sono un grosso problema per l'osservazione radioastronomica: lo spettro radio è praticamente saturo di ogni sorta di segnale.
Le più comuni sorgenti naturali di interferenza sono i fulmini, le scariche elettriche atmosferiche, le radioemissioni prodotte dalle particelle cariche nella parte superiore dell'atmosfera (disturbi ionosferici), le emissioni provenienti dai gas atmosferici e dalle precipitazioni meteorologiche. 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 trasmittenti terrestri utilizzate per i servizi di diffusione radio e televisiva, dai trasmettitori e transponder sui satelliti artificiali, dalla rete telefonica cellulare e dalle stazioni militari.





Temperatura di brillanza del cielo allo zenit misurata da un radiometro a microonde. Si registrano ampie variazioni nell'emissione propria dell'atmosfera dovuta alla presenza di formazioni nuvolose portatrici di pioggia e di precipitazioni (corrispondenti ai picchi di segnale nella registrazione). Mentre il cielo sereno e asciutto in una zona libera da radiosorgenti è uno scenario molto "freddo", caratterizzato da una temperatura di brillanza inferiore a 10 K, in presenza di idrometeore diventa un oggetto molto più "caldo", con temperature fino a circa 200 K se le precipitazioni sono molto intense. A queste frequenze operative le perturbazioni troposferiche sono importanti sorgenti di interferenza per le osservazioni radioastronomiche, mascherando la debole radiazione proveniente dallo spazio esterno. Gli effetti dei disturbi troposferici diventano meno rilevanti a frequenze inferiori.

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").



A: estimated median business area man-made noise
B: galactic noise
C: galactic noise (toward galactic centre with infinitely narrow beamwidth)
D: quiet Sun (½° 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

Il precedente grafico evidenzia il fatto interessante che l'intensità dei disturbi artificiali e naturali diminuisce all'aumentare della frequenza: per questo motivo è ipotizzabile l'installazione di un radiotelescopio operante nella banda 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 quieta, ammesso di trovarla. 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 nucleo centrale dello strumento dovrebbe essere un modulo appositamente progettato per la radioastronomia che integra le parti indispensabili di un ricevitore radioastronomico di base. 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 per costruire un perfetto radiotelescopio amatoriale.
Le dimensioni dell'antenna sono determinanti per le prestazioni e per 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 per TV-SAT funzionante a 10-12 GHz. D'altra parte, un'antenna a riflettore parabolico è la struttura economicamente più vantaggiosa nel rapporto prestazioni/dimensioni. L'unico svantaggio rimane il limitato numero di radiosorgenti rivelabili a queste frequenze: con antenne di piccolo diametro saranno ''visibili'' solo il Sole e la Luna. Però, essendo molto intensa la loro radiazione, il loro studio rappresenta un ottimo punto di partenza per iniziare a familiarizzare con gli strumenti e con le tecniche della radioastronomia, in vista di osservazioni più impegnative. Per registrare radiosorgenti più deboli, come Taurus, Cassiopea, Cygnus e Virgo, sono necessarie antenne di maggiori dimensioni, mantenendo invariato il resto del sistema.

L'antenna trasforma l'energia elettromagnetica incidente in una differenza di potenziale amplificata ed elaborata dal ricevitore. La sua funzione è analoga a quella svolta da una lente o da uno specchio per uno strumento ottico. Lo studio delle antenne deriva dalla teoria della radiazione elettromagnetica e dall'analisi dei campi elettromagnetici generati da sorgenti nello spazio libero. Il meccanismo della radiazione non è altro che l'energia delle onde elettromagnetiche erogata dalle sorgenti e trasportata a grande distanza per effetto della propagazione.
Si usa il termine *direttività* per quantificare la capacità di ricevere energia da una direzione privilegiata, mentre il parametro principale che caratterizza un'antenna è l'*area efficace*, cioè il rapporto tra la potenza consegnata al ricevitore e la densità di potenza incidente in condizioni di adattamento. L'area efficace di un'antenna ricevente rappresenta, quindi, quella superficie ideale da cui si ottiene potenza utile, estraendola dalla radiazione incidente: è un parametro che dipende dalle caratteristiche costruttive e misura la sua efficienza come collettore di radioonde. Un'antenna è sensibile solo a una componente polarizzata della radiazione aleatoria incidente (verticale od orizzontale, circolare destra o sinistra), estraendo da questa solo il 50% di energia.
Il grande vantaggio di un'antenna direttiva consiste nella capacità di eliminare i contributi di segnale provenienti dalle direzioni indesiderate migliorando la qualità di ricezione nella direzione che interessa, restituendo un segnale intenso quando la radiosorgente è orientata nella giusta direzione. Altra caratteristica molto importante è il *potere risolutivo*, cioè la capacità di separare (risolvere) due oggetti vicini nello spazio, quindi ''vedere'' fini dettagli strutturali di una radiosorgente estesa. Questo parametro è proporzionale al rapporto fra la lunghezza d'onda della radiazione ricevuta e le dimensioni fisiche dell'antenna (calcolate in lunghezza d'onda): non sarà possibile distinguere particolari angolari minori di questo rapporto. Queste caratteristiche definiscono le prestazioni del radiotelescopio.

Un'antenna molto utilizzata nella banda delle microonde è il riflettore a paraboloide di rivoluzione, che possiede un lobo di ricezione molto stretto e simmetrico. Le sue qualità derivano proprio dalle proprietà focalizzanti della parabola: l'energia captata, proveniente da una sorgente lontana, è riflessa dalla superficie del riflettore e focalizzata in un punto dove è posizionata l'unità di ricezione esterna LNB. La possibilità di avere un solo punto focale è molto interessante, poiché se il dispositivo di captazione (illuminatore) è ben collocato, tutta l'energia elettromagnetica incidente catturata dal riflettore potrà essere utilizzata per estrarre il segnale utile.

Il guadagno G_a ottenibile da un'antenna a riflettore parabolico si stima utilizzando la seguente relazione:

$$G_a = \eta \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

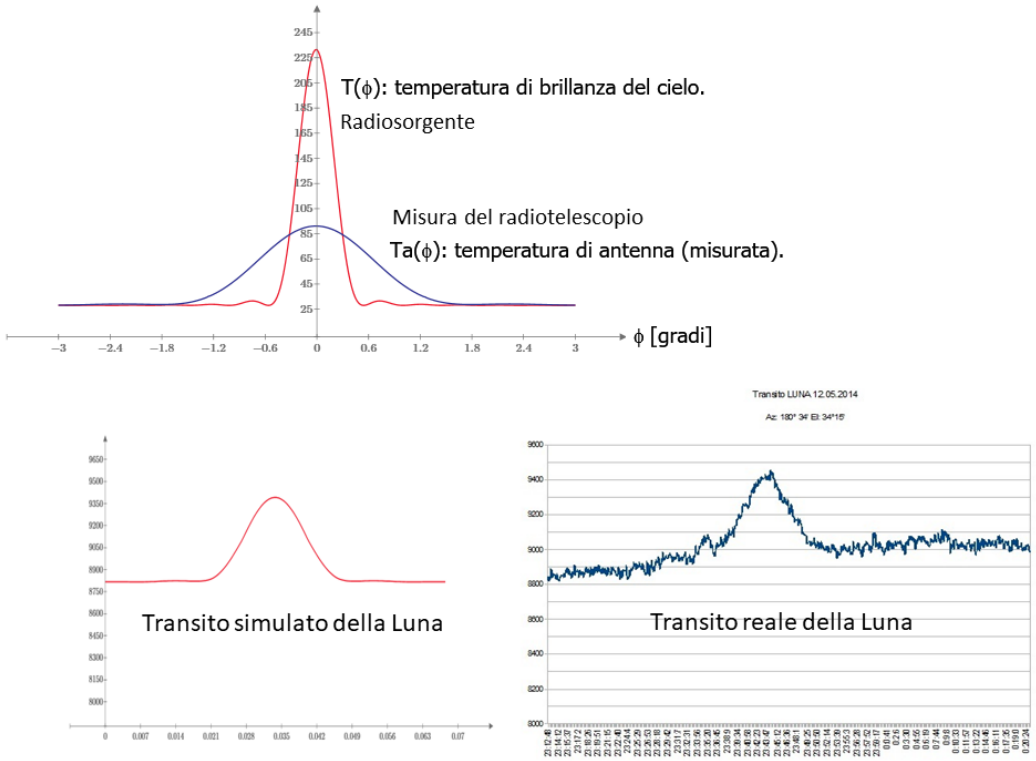
dove *D* è il diametro dell'antenna (espresso in metri). Il parametro η è detto *efficienza*: generalmente compreso fra 0.45 e 0.55, tiene conto di tutti i fattori (errori sulla superficie, tolleranze costruttive, errori di focalizzazione, eccessiva ampiezza dei lobi secondari, etc.) che riducono il massimo guadagno teorico ottenibile.

L'ampiezza del fascio a metà potenza *HPBW* (Half Power Beam Width) si può calcolare utilizzando la seguente formula approssimata:

$$HPBW \approx \frac{(60 \div 70) \cdot \lambda}{D} \qquad [degrees]$$

Si vede come il guadagno dell'antenna sia direttamente proporzionale alle sue dimensioni, l'opposto accade per la larghezza del fascio di ricezione: un'antenna con un guadagno elevato avrà un fascio di ricezione stretto e sarà, quindi, più direttiva, con requisiti più severi nella precisione del puntamento.
Le possibili strutture di un sistema di antenna variano molto in funzione della frequenza operativa e del tipo di applicazione. Alle frequenze più basse le antenne sono prevalentemente di tipo filare (dipoli metallici), mentre alle alte frequenze (microonde) sono costituite da elementi radianti più facilmente collegabili con le guide d'onda (antenne a tromba, a fenditura) e con sistemi ottici (antenne a riflettore parabolico). Nella radioastronomia professionale si realizzano impianti compositi costituiti da molti elementi (array) e/o da elementi focalizzanti di tipo ottico (riflettori, lenti): è sempre necessario che le dimensioni siano sempre molto maggiori della lunghezza d'onda operativa comportando, alle basse frequenze, la realizzazione di strutture imponenti per complessità e costi.
La temperatura di antenna rappresenta la potenza di segnale effettivamente disponibile all'ingresso del ricevitore, quindi la misura dell'energia captata da una specifica regione di cielo che irradia con una data temperatura di brillanza. Nel processo di misura è importante considerare l'effetto di ''filtraggio'' spaziale prodotto dalla forma del diagramma di ricezione dell'antenna: questa operazione è matematicamente descritta dalla convoluzione fra le funzioni che descrivono le sue proprietà direttive e il profilo di brillanza dello scenario osservato. L'antenna di un radiotelescopio tende, quindi, a ''livellare'', a ''diluire'' la distribuzione di brillanza reale che risulterà ''pesata'' dalla forma del suo diagramma di ricezione. La misura delle variazioni spaziali di brillanza osservata approssimerà quella vera solo se le dimensioni angolari della radiosorgente sono estese rispetto a quelle del fascio di antenna. Il problema che si pone all'osservatore è quello di ricavare la distribuzione vera della temperatura di brillanza partendo dalla misura della temperatura di antenna: è necessario effettuare un'operazione di deconvoluzione fra la distribuzione della temperatura equivalente di antenna (brillanza misurata) e la funzione che descrive il suo diagramma di ricezione. E' quindi molto importante conoscere la forma del diagramma direttivo di un radiotelescopio.
Tutto lo spazio che circonda un'antenna contribuisce ad incrementare la sua temperatura equivalente di rumore, secondo le sue caratteristiche direttive. Se l'antenna possiede lobi secondari di livello troppo elevato, orientando il lobo principale verso una data regione dello spazio la temperatura di antenna può ricevere un contributo energetico non trascurabile proveniente da altre direzioni, in modo particolare dal terreno (oggetto molto esteso e caldo con una temperatura di brillanza dell'ordine di 240-300 K). Se l'antenna è orientata verso il cielo, può captare radiazione termica dal terreno solo attraverso i suoi lobi secondari, con un contributo che dipende dalla loro ampiezza rispetto a quella del lobo principale.

La seguente figura mostra le tracce (simulata e reale) del transito della Luna (flusso dell'ordine di 52600 Jy a 11.2 GHz) ''vista'' da un radiotelescopio amatoriale e un'antenna a riflettore parabolico TV-SAT da 1.5 metri di diametro (larghezza del fascio appena inferiore a 1.5 gradi). Per evidenziare l'effetto di distorsione creato dall'antenna sul profilo spaziale di brillanza di una regione del cielo, si è simulata la risposta dello strumento approssimando l'antenna come un'apertura circolare uniformemente illuminata. I grafici mostrano, sovrapposte per chiarezza di rappresentazione, le tracce del profilo della temperatura di brillanza della Luna (diametro apparente di circa mezzo grado) e della corrispondente temperatura di antenna misurata dal radiotelescopio durante il transito della radiosorgente (condizioni teoriche ideali). Sono anche riportate le risposte radiometriche del radiotelescopio, espresse in unità arbitrarie di conteggio dell'ADC [count], del transito simulato e di un transito ''vero''.
E' facile comprendere come questo problema sia particolarmente rilevante per i radiotelescopi amatoriali che utilizzano antenne singole di piccole dimensioni, con ampiezze del lobo di ricezione paragonabili alle dimensioni angolari di radiosorgenti come il Sole e la Luna, oppure molto più grandi rispetto a tutte le altre radiosorgenti che, a buon diritto, possono essere considerate ''puntiformi'' quando ''viste'' da questi piccoli strumenti.

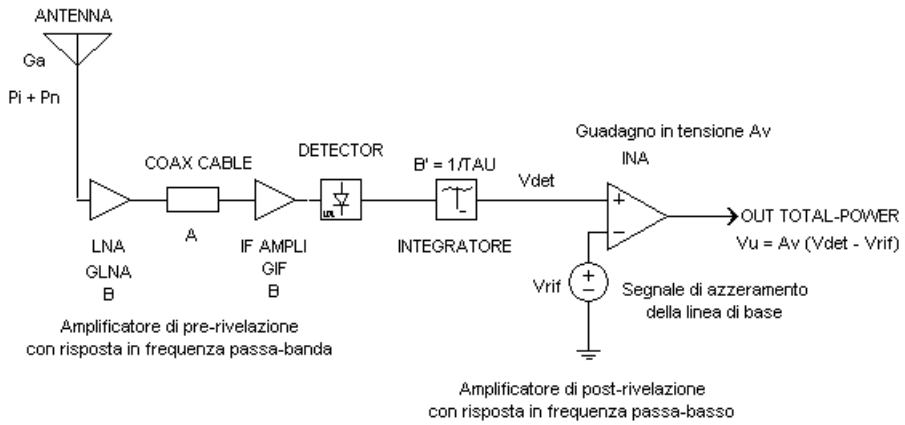


Il profilo della temperatura della Luna rilevata da un radiotelescopio (temperatura di antenna) durante un transito è diverso dal profilo ''vero'' della sua temperatura di brillanza, dato che il processo di misura eseguito con l'antenna è una convoluzione fra la vera temperatura di brillanza dello scenario osservato e la forma del suo diagramma di ricezione. L'antenna di un radiotelescopio ''diluisce'' la distribuzione di brillanza osservata: l'entità della distorsione, dovuta alle caratteristiche di filtraggio spaziale dell'antenna, è legata al rapporto fra le dimensioni angolari del fascio di ricezione e quelle apparenti della radiosorgente. Nessuna distorsione si verifica se il diagramma di ricezione dell'antenna è molto stretto rispetto all'estensione angolare della sorgente. I grafici mostrano un confronto fra la registrazione simulata del transito lunare e l'osservazione reale (eseguita dal sig. Giancarlo Madiai con RAL10KIT).

RADIOMETRI A MICROONDE

Un radiometro a microonde è un ricevitore molto sensibile utilizzato per misurare la radiazione elettromagnetica emessa dallo scenario osservato dall'antenna (la potenza media della radiazione captata dall'antenna) all'interno di una specifica banda di frequenze, mostrando come varia nel tempo la potenza del segnale ricevuto.

Qualsiasi corpo con una temperatura superiore allo zero assoluto emette energia elettromagnetica (Legge della Radiazione di Planck) in tutto lo spettro, con un massimo ad una frequenza che è direttamente proporzionale alla sua temperatura. Per la maggior parte dei corpi naturali il picco di emissione si verifica nella regione dell'infrarosso. La legge di Planck descrive la radiazione di un *corpo nero*, un oggetto ideale perfettamente efficiente nel trasformare tutta la sua energia termica in radiazione elettromagnetica. Nella regione delle microonde vale l'*approssimazione di Rayleigh-Jeans* che fornisce una corrispondenza fra la potenza dell'energia radiante captata dall'antenna di un radiometro e la temperatura di antenna misurata, grandezza che dipende dalla sorgente, dalle caratteristiche dello strumento di misura e dall'ambiente circostante. La temperatura di antenna corrisponderà all'effettiva temperatura di brillanza dello scenario osservato (che è una caratteristica emissiva specifica della sorgente) solo in condizioni ideali, cioè quando il fascio di antenna è molto piccolo rispetto alla distribuzione spaziale di brillanza osservata e quando sono poco significativi i contributi di rumore provenienti dai suoi lobi secondari (terreno, sorgenti interferenti). E' quindi conveniente, in radioastronomia, esprimere la potenza in termini di temperatura di brillanza di un oggetto (espressa in Kelvin) per indicare l'ammontare della sua radiazione termica.
E' sempre possibile definire una temperatura di un corpo nero (chiamata *temperatura di brillanza*) che irradia la stessa potenza di quella dissipata da una resistenza di terminazione collegata a un'antenna ricevente. Il radiometro si comporta quindi come un termometro che misura la temperatura di brillanza dello scenario celeste osservato.



Il più semplice radiometro a microonde comprende un'antenna collegata a un amplificatore a basso rumore seguito da un rivelatore a caratteristica quadratica che fornisce l'informazione ''utile'', cioè la potenza associata al segnale ricevuto. Per ridurre il contributo delle fluttuazioni statistiche del rumore rivelato, quindi ottimizzare la sensibilità del sistema ricevente, segue un blocco integratore (essenzialmente un filtro passa-basso) che calcola la media temporale della misura secondo una determinata costante di tempo.
Il segnale all'uscita dell'integratore si presenta, quindi, come una componente quasi-continua dovuta al valore medio del rumore di fondo del ricevitore al quale sono sovrapposte piccole variazioni (generalmente di ampiezza molto inferiore a quella della componente stazionaria) dovute alle emissioni delle radiosorgenti. Lo strumento si chiama *ricevitore a potenza totale* (Total-Power) perché la sua risposta è la somma della potenza totale dovuta alla radiazione captata dall'antenna e al rumore di fondo del sistema. Utilizzando un circuito differenziale di post-rivelazione, se i parametri del ricevitore si mantengono stabili, è possibile misurare solo le variazioni di potenza dovute alla radiazione proveniente dall'antenna, eliminando la componente quasi-continua dovuta al rumore interno.
In realtà, un radiometro a potenza totale adotta quasi sempre una configurazione circuitale a conversione di frequenza (eterodina), dove il segnale captato dall'antenna, amplificato e filtrato da dispositivi elettronici a basso rumore, è applicato a un moltiplicatore (mixer) che, alimentato da un segnale sinusoidale proveniente da un oscillatore locale (OL), esegue la traslazione in frequenza (verso il basso) del segnale ricevuto. In questo modo sarà tecnicamente agevole definire la banda passante del ricevitore e amplificare il segnale prima dell'operazione di rivelazione.

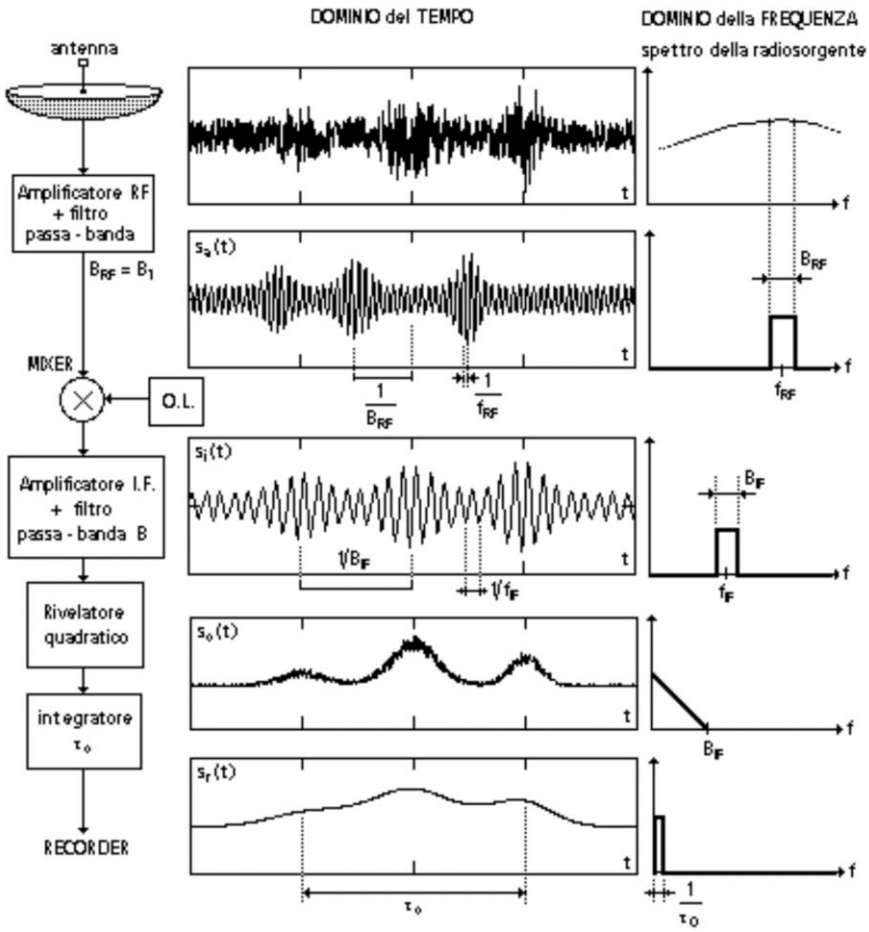
La seguente figura mostra una schematizzazione dei segnali durante il processo di elaborazione all'interno dei vari stadi di un ricevitore Total-Power a conversione di frequenza.
Il processo di rivelazione quadratica e la successiva integrazione non conservano le caratteristiche spettrali del segnale: forniscono 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, anche grazie alla possibilità di integrare il segnale rivelato con lunghe costanti di tempo, ammesso che il fenomeno da studiare sia sufficientemente stazionario nel tempo.
E' possibile determinare la sensibilità teorica di un ricevitore Total-Power, quindi valutare la minima variazione nella temperatura equivalente di rumore ΔT misurabile dal sistema, utilizzando l'*equazione del radiometro*:

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{\tau \cdot B}}$$

dove

$$T_{sys} = T_a + T_r = T_a + T_0 \cdot (F_r - 1)$$

è la temperatura di rumore del radiotelescopio, T_a è la temperatura di rumore dell'antenna, T_r è la temperatura di rumore del ricevitore (T_0=290 K e F_r è la figura di rumore del ricevitore), τ è costante di tempo dell'integratore (espressa in secondi) e B è la larghezza di banda del ricevitore (in Hz). Le temperature sono espresse in K. Un'eventuale radiosorgente ''vista'' dall'antenna produrrà un piccola variazione nella temperatura di antenna T_a che rappresenta il nostro ''segnale utile''.



Variazioni del segnale captato dall'antenna mentre è elaborato dai vari stadi di un ricevitore a potenza totale (radiometro). A sinistra sono descritti i segnali in funzione del tempo ad una data frequenza, a destra è rappresentata la variazione della potenza in funzione della frequenza (spettro). Lo schema a blocchi del ricevitore rappresenta una struttura a conversione di frequenza: il segnale ricevuto è traslato in frequenza (verso il basso) tramite un mixer pilotato dall'oscillatore locale (OL). All'uscita del mixer si ritrova un segnale a frequenza intermedia (IF) successivamente amplificato, rivelato e integrato.

Per ottimizzare le prestazioni del radiotelescopio è desiderabile minimizzare ΔT agendo sui parametri di sistema T_a, T_r, B in fase di progetto del ricevitore e sul tempo di integrazione τ nell'impostazione dei parametri operativi durante il funzionamento. E' possibile rendere ΔT piccolo a piacere facendo in modo che T_{sys} sia minimo, oppure B e τ più grandi possibile. Fissati parametri del ricevitore come la temperatura di rumore del sistema e la sua banda passante, la sensibilità può essere ottimizzata scegliendo, quindi, un valore opportuno per la costante di integrazione del segnale rivelato. Incrementare questo parametro significa applicare un graduale filtraggio e ''livellamento'' sulle caratteristiche di variabilità del fenomeno osservato: sono ''mascherate'' le variazioni del segnale di durata inferiore a τ e si alterano (o si perdono) le informazioni sull'evoluzione temporale della grandezza studiata. Per una corretta registrazione di fenomeni con variazioni proprie di una certa durata è indispensabile predisporre un valore per la costante di integrazione sufficientemente minore di tale durata. Se si osserva, ad esempio, una radiosorgente con piccolo diametro apparente che attraversa il lobo principale di un radiotelescopio (strumento di transito) in un certo tempo, non è possibile integrare il segnale rivelato con una costante di tempo troppo grande, senza modificare l'intensità del segnale ricevuto e la posizione della radiosorgente (ora apparente del transito).

Il problema principale delle misure radiometriche riguarda l'instabilità dei parametri del ricevitore rispetto alle variazioni della temperatura ambiente. Se l'amplificazione complessiva dello strumento è molto elevata, tipicamente superiore a 100 dB, è facile osservare fluttuazioni nel segnale di uscita, dovute a minime variazioni nei parametri del ricevitore, che producono ambiguità e limitano la sensibilità e la precisione delle misure. Questo problema si può parzialmente risolvere, con risultati soddisfacenti nelle applicazioni amatoriali, stabilizzando termicamente il ricevitore e l'unità elettronica esterna (LNB) collocata sul punto focale dell'antenna, quindi maggiormente esposta alle escursioni termiche giornaliere. E' anche possibile sviluppare procedure di compensazione delle derive termiche ''a posteriori'' sui dati acquisiti, misurando la temperatura interna dello strumento, caratterizzando il comportamento del ricevitore rispetto alle escursioni termiche giornaliere e implementando un algoritmo di compensazione sui campioni radiometrici acquisiti tendente a minimizzare le variazioni della risposta strumentale dovute alla sola temperatura.
Il ricevitore RAL10TS è equipaggiato con un sistema di controllo automatico della temperatura interna che ottimizza la stabilità dello strumento nella misura radiometrica.

IL RICEVITORE RAL10TS

In questo capitolo descriveremo la costruzione di un piccolo ma efficiente radiotelescopio basato sul ricevitore RAL10TS: utilizzando una comune antenna a riflettore parabolico per TV satellitare in banda 10-12 GHz, si misurano agevolmente le radiazioni termiche provenienti dal Sole e dalla Luna, dal mezzo interstellare nella galassia e dall'atmosfera terrestre. Questo strumento può essere considerato il punto di partenza della radioastronomia amatoriale e un'ottima ''palestra'' per familiarizzare con le tecniche radioastronomiche. Sarà possibile, con una semplice procedura di calibrazione (che sarà descritta in seguito), trasformare il radiotelescopio in uno strumento di misura che stima la temperatura di brillanza dello scenario osservato. Per osservare altri oggetti sarà solo necessario utilizzare antenne di maggiori dimensioni. Effettuati i pochi collegamenti necessari (cavo coassiale che trasporta il segnale dall'antenna al ricevitore, cavo USB per il collegamento al PC di acquisizione e alimentatore) si è subito pronti per le radio-osservazioni.
Il migliore approccio sperimentale alla radioastronomia prevede sempre un inizio con strumenti compatti e ''maneggevoli'' che osservano le più intense radiosorgenti del cielo come il Sole e Luna: in questo modo si apprende facilmente la tecnica strumentale e osservativa, si impara a calibrare lo strumento e si comprende il processo di misurazione radiometrica, con le varie problematiche che rendono difficoltosa e incerta la misura. Come più volte sottolineato, siamo convinti che il metodo migliore per acquisire conoscenza e competenza con la radioastronomia è, senza dubbio, quello che prevede la costruzione e la messa in opera di un piccolo radiotelescopio.

Il radiotelescopio utilizza le seguenti parti:

- Antenna a riflettore parabolico TV-SAT (diametro maggiore possibile), completa di unità esterna (LNB) e illuminatore;
- Cavo coassiale da 75 Ω per TV-SAT;
- Ricevitore RAL10TS;
- Software per l'acquisizione delle misure e per il controllo del ricevitore ARIES;
- Personal Computer (PC) per la gestione della stazione.

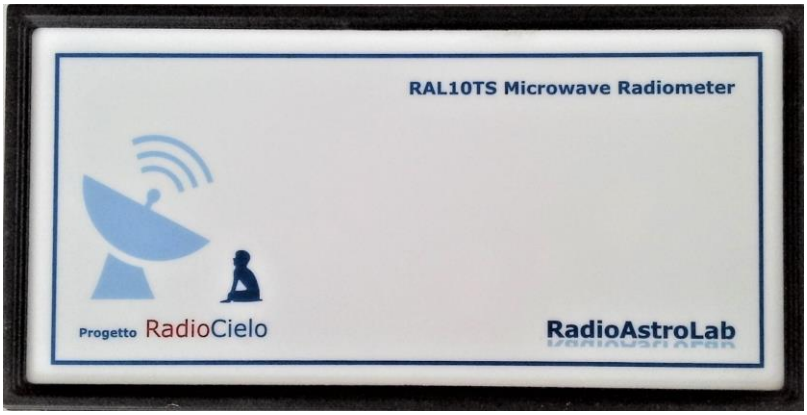
L'antenna, l'unità esterna (LNB) e il cavo coassiale sono componenti standard utilizzati per la ricezione della TV satellitare, reperibili ovunque a basso costo. Non ci sono limiti nella scelta dei modelli: con il ricevitore RAL10TS sono utilizzabili tutti i modelli.
Per quanto riguarda l'antenna, il mercato della TV satellitare offre molte possibilità di scelta: quelle più comuni sono le antenne di tipo offset, per il miglior rapporto prestazioni/dimensioni che offrono rispetto a quelle circolari simmetriche. Importante è utilizzare kit che comprendono, in un'unica confezione, unità esterne (LNB) complete di illuminatori e di supporti adatti per la specifica antenna, che garantiscono una corretta ''illuminazione'' e una messa a fuoco ottimale per quel tipo di riflettore.
Con un pò di fantasia e di abilità costruttiva è possibile realizzare sistemi di puntamento automatico, almeno per antenne non troppo grandi, attingendo al mercato delle attrezzature per radioamatori. Le ridotte dimensioni e il peso contenuto di questo radiotelescopio rendono possibile l'utilizzo di una montatura (equatoriale), manuale o motorizzata, del tipo di quelle normalmente utilizzate dagli astrofili per sostenere e orientare gli strumenti ottici. Anche in questo caso c'è ampio spazio per la fantasia e l'inventiva: è senz'altro possibile sviluppare un sistema di aggancio a questa montatura per sostituire al tubo telescopico l'antenna del radiotelescopio. Chi possiede e conosce bene questi attrezzi, non avrà difficoltà a sfruttare il sistema per gestire l'antenna del radiotelescopio. E' evidente la praticità di questa soluzione per la misura, con inseguimento, del flusso radio solare. Esistono molti esempi di interessanti e ingegnose realizzazioni sul web. Molto utili per il corretto puntamento e per pianificare sessioni osservative sono i programmi di mappatura della volta celeste che riproducono, in qualsiasi località, data e ora l'esatta posizione e i movimenti degli oggetti celesti con notevole dettaglio e precisione.
Come accennato, sono utilizzabili praticamente tutte le unità esterne (LNB) esistenti in commercio per TV-SAT a 10-12 GHz con l'uscita a frequenza intermedia 950-2150 MHz. Nei moderni dispositivi è possibile gestire il cambio di polarizzazione (orizzontale o verticale) con un salto di tensione, tipicamente 12.75-17.25 V: RAL10TS supporta tale funzionalità tramite apposito comando via software. Un cavo coassiale TV-SAT da 75 Ω di opportuna lunghezza, terminato con connettori F, collegherà l'uscita RF-IF dell'unità esterna (LNB) con l'ingresso del ricevitore. Si raccomanda di scegliere cavi della migliore qualità, a bassa perdita. In alcuni casi, quando si osservano radiosorgenti di debole intensità o quando la linea coassiale è molto lunga, può essere necessario inserire un amplificatore IF di linea (da 10 a 15 dB di guadagno) fra l'unità esterna e il ricevitore. Questi prodotti sono facilmente reperibili in qualsiasi supermercato dell'elettronica di consumo o presso i migliori installatori di impianti TV-SAT.

La confezione contiene:

- Ricevitore RAL10TS.
- Cavo USB (intestato con connettori USB di tipo A e B) per collegare il ricevitore al computer di stazione.
- Cavo per il collegamento dell'alimentazione di rete 85-264 VAC / 47-63 Hz.
- Fusibili di riserva per l'alimentazione da rete e per l'alimentazione ausiliaria a bassa tensione 12 VDC (batteria).
- CD con la documentazione tecnica (manuali d'uso) dello strumento e del software, le schede dei prodotti RadioAstroLab, il pacchetto di installazione del software per l'acquisizione e il controllo ARIES.

Dalla fornitura sono esclusi l'unità esterna LNB, il cavo coassiale da 75 Ω e il sistema di antenna. Con RAL10TS è possibile utilizzare qualsiasi kit commerciale per la ricezione satellitare in banda 10-12 GHz (antenna a riflettore parabolico e unità esterna LNB con illuminatore) con cavo coassiale TV-SAT a bassa perdita della migliore qualità, tagliato per la lunghezza che serve e intestato con connettori F.

Appositamente sviluppata per RAL10TS è l'unità esterna termostabilizzata RAL10_LNB. E' possibile alimentare il ricevitore con una sorgente di tensione a 12 VDC esterna: questa opzione è utile in sessioni di misura ''sul campo'' dove non è disponibile la tensione di rete.



Pannelli frontale e posteriore del ricevitore RAL10TS. Lo strumento è controllabile attraverso il canale di comunicazione seriale: una porta USB collega RAL10TS al computer di stazione che, tramite il software ARIES, acquisisce e visualizza i dati radiometrici.

La figura a pag. 18 illustra uno schema del radiotelescopio: l'unità esterna LNB, installata sul punto focale dell'antenna (che riceve la radiazione del cielo a 11.2 GHz), è collegata al ricevitore RAL10TS tramite cavo coassiale da 75 Ω. L'alimentazione all'unità esterna è fornita dal ricevitore attraverso il cavo ed è possibile controllare la polarizzazione in ricezione tramite commutazione del salto di tensione. Un fusibile accessibile sul pannello posteriore protegge lo strumento da accidentali corto-circuiti sul cavo.

Sono presenti le seguenti connessioni (pannello posteriore):

- Porta USB (di tipo B) per il collegamento con il computer di stazione: un led verde (RX) e un led rosso (TX) visualizzano il flusso dei dati seriali.
- Connettore coassiale di tipo F per il collegamento con l'unità esterna LNB.
- Uscita AUDIO (segnale rivelato) con presa mini-jack stereo 3.5 mm.
- Presa di alimentazione opzionale per una sorgente esterna (12 VDC) EXT. BATTERY, alternativa all'alimentazione da rete, utile per sessioni di misura ''sul campo''. Il jack di connessione per l'alimentazione esterna a 12 VDC ha il terminale centrale collegato con il positivo (+) e il terminale esterno collegato con il negativo (- GND) della tensione di alimentazione.
- Fusibile di protezione per l'alimentazione dell'unità esterna LNB attraverso il cavo coassiale.
- Interruttore generale ON-OFF di alimentazione da rete POWER (non agisce sull'alimentazione opzionale da batteria esterna).
- Presa di alimentazione generale da rete MAINS 85-264 VAC / 47-63 Hz con fusibili di protezione.

ATTENZIONE: effettuare i collegamenti fra l'unità esterna LNB e RAL10TS con l'apparecchio spento e il cavo di alimentazione non collegato. Prima di alimentare lo strumento, per evitare danni all'alimentatore interno, verificare l'assenza di corto-circuiti fra la calza esterna del cavo coassiale e il conduttore interno. Un fusibile, accessibile al pannello posteriore, protegge lo strumento da accidentali corto-circuiti.

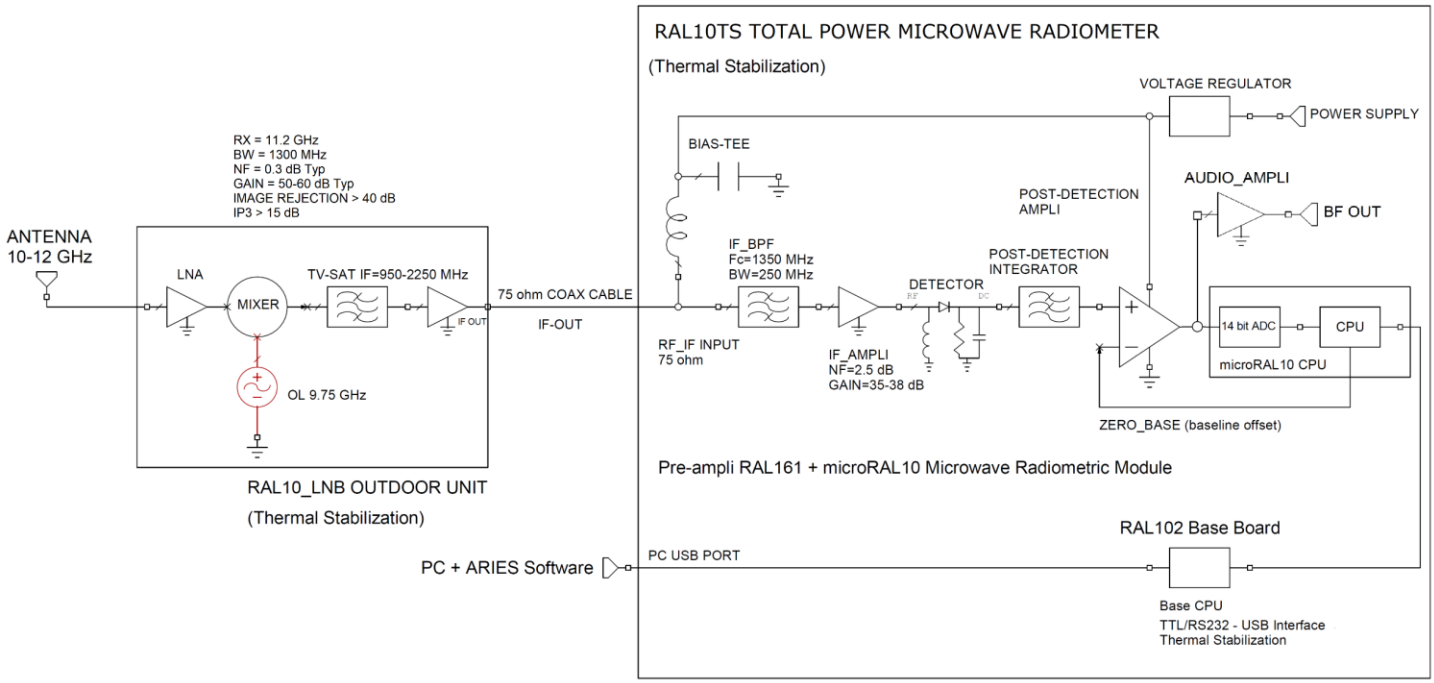
Le prestazioni fornite dallo strumento dipendono dall'area efficace dell'antenna utilizzata e dalle escursioni termiche sperimentate dall'unità esterna LNB. Sono possibili interessanti osservazioni radioastronomiche solo se si utilizzano antenne di grande area efficace: non esistono limiti riguardo la grandezza dell'antenna, se non fattori economici, pratici di spazio e di installazione legati alla struttura di sostegno e di orientamento. L'unità esterna RAL10_LNB è un componente ideale da associare a RAL10TS per la realizzazione di un radiotelescopio semi-professionale.
Dopo aver installato l'antenna, l'unità esterna LNB sul fuoco del riflettore parabolico e collegato il cavo coassiale di discesa a RAL10TS, si connette il cavo USB al computer di stazione sul quale è stato preventivamente istallato il software ARIES. La stazione ricevente è ora operativa, pronta per registrare osservazioni con acquisizione automatica dei dati.

ATTENZIONE: la corretta focalizzazione dell'unità esterna LNB (con feed) si verifica muovendo avanti-indietro il dispositivo lungo l'asse dell'antenna fino ad ottenere il massimo segnale proveniente da un'intensa radiosorgente come, ad esempio, il Sole.

Il ricevitore RAL10TS è molto sensibile quando equipaggiato con un'antenna sufficientemente grande. Lo strumento è termo-stabilizzato (con un controllo automatico della temperatura di esercizio) in modo da minimizzare le derive del sistema ricevente, ottimizzando la precisione e la ripetibilità della misura. **Ulteriore miglioramento nelle prestazioni si ottiene stabilizzando termicamente anche l'unità esterna LNB (Low Noise Block), soggetta alle escursioni giornaliere che causano variazioni del fattore di amplificazione con la temperatura.** Per questo motivo abbiamo sviluppato l'unità esterna RAL10_LNB, equipaggiata con un regolatore automatico della temperatura interna. Il dispositivo è disponibile su richiesta come accessorio.

DESCRIZIONE TECNICA

Nei paragrafi precedenti abbiamo descritto le caratteristiche basilari e la struttura di un radiometro Total-Power: qui approfondiremo i concetti con riferimento al ricevitore RAL10TS.
La seguente figura mostra lo schema a blocchi del radiotelescopio con i suoi componenti principali.
Il segnale radio captato dall'antenna, amplificato e convertito in frequenza dall'unità esterna LNB, è trasmesso con un cavo coassiale al ricevitore RAL10TS che misura la sua potenza. Il livello del segnale rivelato è adattato alla dinamica di acquisizione del convertitore analogico-digitale interno (ADC con 14 bit di risoluzione) che ''digitalizza'' l'informazione radiometrica. In un ricevitore radioastronomico Total-Power, la misura comporta l'acquisizione di piccole variazioni del segnale ricevuto dovute alla radiosorgente, sovrapposte a una componente quasi-costante, di ampiezza molto maggiore, introdotta dal rumore strumentale. Per valutare solo il segnale ''utile'' occorre sottrarre dal segnale rivelato il contributo dovuto al rumore di fondo: è quindi generata una tensione di offset *zero_base* (vedi il seguente schema) che serve per posizionare il livello della linea di base radiometrica in un punto opportuno della scala di acquisizione.
RAL10TS, gestito da una coppia di microprocessori, elabora il segnale rivelato, imposta il riferimento per la linea di base, il guadagno di post-rivelazione e la costante di integrazione della misura, forma il pacchetto di dati seriali per la comunicazione con il computer di stazione e stabilizza la temperatura interna, opzione molto importante per ottimizzare la qualità e la ripetibilità di misura del radiometro.
Lo strumento è controllabile tramite il canale di comunicazione seriale USB. Un comando seriale dedicato, gestito dal software ARIES, salva i parametri operativi del ricevitore nella memoria interna non volatile: ogni volta che si accende lo strumento saranno ripristinate le condizioni di lavoro ottimali, ottenute dopo calibrazione, dipendenti dalle caratteristiche della catena ricevente e dello scenario osservato. Nel caso siano richieste misure dove non è disponibile la tensione di alimentazione della rete elettrica, è possibile collegare a RAL10TS una sorgente di alimentazione esterna a 12 VDC (batteria ricaricabile).



Collegando un cavetto audio maschio-maschio con mini-jack stereo da 3.5 mm dall'uscita audio di post-rivelazione di RAL10TS all'ingresso di un amplificatore esterno o di una scheda audio per PC, si può ascoltare il rumore rivelato a scopo di monitoraggio. Questo segnale, proporzionale alla densità di potenza del segnale ricevuto, può essere studiato nel dominio della frequenza utilizzando uno dei tanti programmi gratuiti scaricabili dal web che visualizzano spettrogrammi in banda audio. Come si vede dallo schema, l'uscita audio è prelevata dopo l'amplificatore di post-rivelazione, quindi il suo livello dipende dalla calibrazione della linea di base radiometrica. Sarà possibile osservare la radiosorgente da due ''punti di vista'': la registrazione radiometrica total-power acquisita dal programma ARIES attraverso la porta USB e l'analisi tramite spettrogramma che visualizza come varia la distribuzione in frequenza del segnale rivelato, quindi la densità di potenza del segnale ricevuto, sfruttando il segnale disponibile all'uscita audio. Attraverso gli altoparlanti del PC è possibile ascoltare il rumore associato al segnale ricevuto.

Come più volte sottolineato, si ottimizzano le prestazioni di un radiotelescopio Total-Power utilizzando un'antenna con grande area efficace gestita da un impianto di motorizzazione controllato dal PC di stazione (puntamento ed inseguimento automatico) e stabilizzando termicamente l'unità esterna LNB in modo da ridurre le fluttuazioni del fattore di amplificazione dovute alle variazioni di temperatura. Il maggior impegno nella realizzazione di un radiotelescopio amatoriale deriva proprio dall'installazione del sistema di antenna che, con i suoi ingombri e le complesse strutture meccaniche, richiede disponibilità di spazi, abilità operativa e adeguate possibilità finanziarie.

SPECIFICHE TECNICHE RAL10TS

Dimensioni:	circa 200 mm (lunghezza) X 100 mm (altezza) X 155 mm (profondità).
Peso:	1.5 Kg circa.
Frequenza operativa del radiotelescopio (con LNB standard per TV-SAT 10-12 GHz):	11.2 GHz.
Frequenza di ingresso RAL10TS:	1350 MHz.
Larghezza di banda tipica del ricevitore:	250 MHz.
Guadagno tipico della sezione RF:	35-38 dB.
Connettore F per l'ingresso RF:	impedenza 75 Ω.

Rivelatore quadratico compensato in temperatura per la misura della potenza del segnale ricevuto.
Impostazione dell'offset per la linea di base radiometrica.
Calibrazione automatica della linea di base radiometrica.
Guadagno in tensione di post-rivelazione programmabile.
Costante di integrazione programmabile (da circa 0.1 secondi fino a circa 113 minuti).
Memorizzazione dei parametri operativi del ricevitore nella memoria non volatile interna.
Acquisizione del segnale radiometrico e misura della temperatura: risoluzione nominale ADC 14 bit.
Cambio di polarizzazione (orizzontale o verticale) in ricezione.
N. 2 microprocessori utilizzati per il controllo del sistema ricevente.
Uscita AUDIO di post-rivelazione tramite presa standard mini-jack da 3.5 mm.
Stabilizzazione della temperatura interna con regolatore PID PWM (circa 45 °C).
Porta USB di comunicazione seriale con protocollo proprietario.
Alimentazione: Rete 85-264 VAC / 47-63 Hz, 36 W – 12 VDC tramite sorgente esterna.

Sebbene l'utilizzo più comune del radiometro RAL10TS sia previsto con antenne e unità esterne (LNB) per la banda TV satellitare 10-12 GHz (realizzando quindi un radiotelescopio a 11.2 GHz), lo strumento è perfetto come stadio finale di un ricevitore operante anche ad altre frequenze, se preceduto da unità amplificatori - convertitori di frequenza specifici per una data banda di ricezione. Ovviamente, la banda di uscita di tali dispositivi deve essere compatibile con le frequenze di ingresso di RAL10TS.
Se il radiotelescopio non lavora a frequenze troppo elevate, è possibile 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. Dato che l'amplificatore di ingresso di RAL10TS è a larga banda, è possibile inserire un gruppo esterno di amplificatori con filtri passa-banda ''tagliati'' per la desiderata frequenza di lavoro, verificando l'effettiva ''pulizia'' della porzione di spettro scelta rispetto ai segnali interferenti naturali e artificiali.

PARAMETRI OPERATIVI DEL RICEVITORE

Descriveremo ora i parametri operativi del ricevitore, così come visualizzati nel programma di gestione ARIES, e il loro significato.
RAL10TS misura la grandezza radiometrica $$rad = v_{det} \cdot (1 + G) \cdot gain - v_{rif} \cdot G \cdot gain$$

dove v_{det} è il segnale radio rivelato, G è un fattore di guadagno fisso (uguale a 20), v_{rif} è un segnale di calibrazione (proporzionale al valore del parametro *zero_base*) che serve per posizionare la linea di base radiometrica in un punto conveniente della scala di misura, *gain* è il guadagno di post-rivelazione.
Sulla misura *rad* è calcolata una prima media mobile utilizzando 2^{time_cost} campioni di segnale (con $0 \leq time_cost \leq 8$, costante di integrazione primaria), equivalente a un'integrazione che riduce le fluttuazioni statistiche del segnale rivelato e ottimizza la sensibilità del radiometro. Ulteriore media mobile è calcolata su $2^{integrator}$ campioni (con $0 \leq integrator \leq 8$, costante di integrazione secondaria): impostando i valori dei parametri *time_cost* e *integrator* si ottengono tempi di integrazione molto lunghi, utili per incrementare la sensibilità del sistema quando sono ''osservati'' oggetti celesti con emissione relativamente stazionaria.

Il significato dei parametri è il seguente:

- *rad*: è la risposta radiometrica del ricevitore, espressa in unità generiche di conteggio del convertitore analogico-digitale interno [ADC_count]. E' un numero con risoluzione pari a 14 bit (variabile da 0 a 16383).
- Costante di integrazione primaria della misura radiometrica: 0 ≤ *time_cost* ≤ 8. La misura è il risultato di un calcolo di media mobile eseguito su 2^{time_cost} campioni del segnale *rad*.
- Costante di integrazione secondaria della misura radiometrica: 0 ≤ *integrator* ≤ 8. La misura è il risultato di un calcolo di media mobile eseguito su $2^{integrator}$ campioni del valore medio del segnale radiometrico, precedentemente calcolato dall'integrazione primaria.

Come si è detto, per ridurre le fluttuazioni statistiche nella risposta dei radiometri, quindi migliorare la sensibilità della misura, si utilizza un elevato valore per la costante di tempo del ricevitore quando il fenomeno da osservare è relativamente stazionario. I parametri *time_cost* e *integrator* rappresentano le costanti di integrazione del segnale radiometrico: sono collegati con la costante di tempo τ del ricevitore tenendo conto del periodo di campionamento del segnale rivelato, del tempo di acquisizione dell'ADC e del numero di campioni utilizzati per calcolare le medie mobili. E' possibile stimare una relazione fra i valori impostati per questi parametri e l'effettiva costante di tempo (espressa in secondi) utilizzando la seguente formula:

$$\tau = 0.104 \cdot 2^{time_cost} \cdot 2^{integrator} \ [s]$$

ottenendo costanti di tempo che variano da circa 0.1 secondi fino a circa 113 minuti.

- Guadagno di post-rivelazione (in tensione): 1 ≤ *gain* ≤ 10. I valori effettivi del guadagno sono 2, 2.27, 2.67, 3.20, 4, 5.33, 8, 16, 24, 48 quando si impostano i valori simbolici 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Questo dato può essere memorizzato utilizzando il comando MEM sul programma ARIES.
- Polarizzazione in ricezione del ricevitore: A POL (polarizzazione orizzontale), B POL (polarizzazione verticale). Il valore di questo parametro può essere memorizzato utilizzando il comando MEM sul programma ARIES.
- *zero_base*: è un valore a 16 bit (variabile da 0 a 65535) proporzionale alla tensione di riferimento utilizzata per impostare un conveniente offset sulla linea di base. E' possibile aggiustare automaticamente *zero_base* utilizzando il comando CAL BASE sul programma ARIES, in modo da posizionare il segnale ricevuto al centro della scala di misura. Il dato può essere memorizzato utilizzando il comando MEM.

Dopo aver acceso lo strumento, seguire le indicazioni fornite nel manuale d'uso del programma ARIES per le impostazioni dei parametri operativi.

La temperatura interna del ricevitore è misurata con un sensore. L'attività del riscaldatore interno è segnalata sul display di ARIES: si raggiunge la temperatura operativa (circa 45 °C) mediamente dopo mezz'ora dall'accensione dello strumento.
Le prestazioni di RAL10TS sono influenzate dalla temperatura ambiente: è consigliabile effettuare le impostazioni almeno dopo un'ora dall'accensione, quando i circuiti elettronici interni si sono stabilizzati alla temperatura operativa.

Il fattore principale che limita la stabilità della risposta radiometrica è l'escursione termica sperimentata dall'unità esterna LNB: queste variazioni di temperatura provocano minime variazioni nel guadagno del front-end sufficienti, tuttavia, a causare significative fluttuazioni nel livello di riferimento, data la notevole amplificazione del ricevitore. Si ottengono le migliori prestazioni dal radiotelescopio quando il sistema è termicamente stabilizzato. Tale condizione è determinante per la qualità delle misure.} Per queste ragioni abbiamo sviluppato l'unità esterna RAL10_LNB, equipaggiata con un regolatore automatico della temperatura interna. Il dispositivo è disponibile su richiesta come accessorio.

Quando il ricevitore è termicamente stabilizzato e si è orientata l'antenna verso una regione ''fredda'' del cielo (libera da radiosorgenti come, ad esempio, il polo nord celeste), il livello di calibrazione della linea di base radiometrica rappresenta il valore di riferimento della risposta rispetto al quale saranno registrati gli incrementi di segnale dovuti al flusso ricevuto dalle radiosorgenti.

ATTENZIONE: Il ricevitore non controlla la tensione di alimentazione dell'accumulatore esterno quando si utilizza la presa EXT. BATTERY. E' indispensabile che l'operatore verifichi l'effettivo stato di carica della batteria e provveda a terminare la sessione di misura quando la batteria è scarica.

GUIDA ALL'IMPOSTAZIONE DEI PARAMETRI OPERATIVI

L'ampiezza del segnale all'uscita del ricevitore radioastronomico è proporzionale alla potenza associata alla radiazione ricevuta, quindi alla temperatura di brillanza della regione di cielo ''vista'' dall'antenna. Il nostro radiotelescopio si comporta come un sensibile termometro del cosmo.
Se l'antenna è orientata verso una regione di cielo sereno e asciutto dove sono assenti radiosorgenti, lo strumento misura una temperatura equivalente di rumore molto bassa, generalmente dell'ordine di 6-10 K (il cielo ''freddo''), corrispondente alla minima temperatura del cielo. Orientando l'antenna verso il terreno la temperatura sale notevolmente, fino a valori dell'ordine di 300 K. Questo semplice procedimento illustra, anche se in modo approssimativo e semplificato, la tecnica utilizzabile per calibrare il radiotelescopio e rappresenta un ottimo test per verificare l'efficienza dello strumento.

Quando un radiotelescopio amatoriale è orientato verso il Sole, che alla frequenza di 11.2 GHz appare come un disco ampio circa mezzo grado e irradia come un corpo nero con temperatura di brillanza circa uguale a quella superficiale (6000 K), la temperatura di antenna misurata dallo strumento è dell'ordine di 300-400 K, un valore nettamente inferiore a quello ''vero''. La radiazione del fondo cosmico, captata in buona percentuale dalla corona più esterna del lobo di antenna, ''diluisce'' la potente radiazione solare se il fascio dell'antenna è ampio al punto di raccoglierne un contributo significativo e diminuisce l'ampiezza del segnale ricevuto come se questo provenisse da una sorgente con temperatura nettamente inferiore a quella reale. Nei paragrafi precedenti sono illustrati gli effetti di distorsione causati della forma del diagramma di ricezione di un'antenna sulla ''vera'' distribuzione di brillanza dello scenario osservato.

In questo paragrafo suggeriremo come impostare i parametri del ricevitore prima di iniziare un'osservazione radioastronomica.
La prima operazione da fare è quella di alimentare il ricevitore e attendere che lo strumento abbia raggiunto la necessaria stabilità termica. Le instabilità del sistema (il problema principale dei radiometri a potenza totale) sono principalmente causate dalle variazioni della temperatura ambiente e della temperatura interna del radiometro: prima di iniziare qualsiasi misura è consigliabile attendere almeno un'ora dopo l'accensione dello strumento per consentire il raggiungimento della temperatura operativa a regime dei circuiti elettronici. Tale condizione è verificabile osservando una stabilità a lungo termine del segnale radiometrico quando l'antenna punta una regione di cielo ''fredda'' (assenza di radiosorgenti): sono minime le fluttuazioni visualizzate dalla traccia grafica sul programma ARIES.
Il fattore di amplificazione *gain* dovrebbe essere impostato su valori intermedi (tipicamente *gain*=7). Ogni installazione sarà caratterizzata da differenti prestazioni, non essendo prevedibili le caratteristiche dei componenti esterni (antenna e LNB) scelti dagli utilizzatori. Conviene aggiustare il valore di questo parametro iniziando con valori minimi di prova (per evitare saturazioni del sistema ricevente), successivamente ottimizzando con ripetute scansioni della stessa regione di cielo. Per osservare il Sole è consigliabile scegliere *gain*=7 (o valori inferiori se il segnale tende a saturare), per osservare la Luna conviene partire con *gain*=10. Tuttavia, queste impostazioni sono molto influenzate dalle dimensioni dell'antenna e dalle caratteristiche dell'unità esterna (LNB) e devono essere sempre verificate con cura.

Trovati gli appropriati valori per il fattore di amplificazione, si aggiustano i valori delle costanti di integrazione *time_cost* e *integrator* in modo da stabilizzare la misura. Conviene iniziare con valori minimi, adeguati nella maggior parte dei casi. Come si è visto, è possibile (e desiderabile) migliorare la sensibilità della misura, al prezzo di una risposta del sistema più lenta e in ritardo rispetto alle variazioni del segnale, adottando una costante di tempo maggiore: si consiglia di incrementare il valore di questi parametri durante l'osservazione di radiosorgenti con emissioni relativamente stazionarie. Quando si registrano fenomeni rapidamente variabili o a carattere transitorio (come, ad esempio, le eruzioni solari a microonde) sarà opportuno selezionare il valore minimo. E' sempre possibile incrementare ulteriormente l'integrazione del segnale ricevuto aggiustando il valore SAMPLING nel programma ARIES.

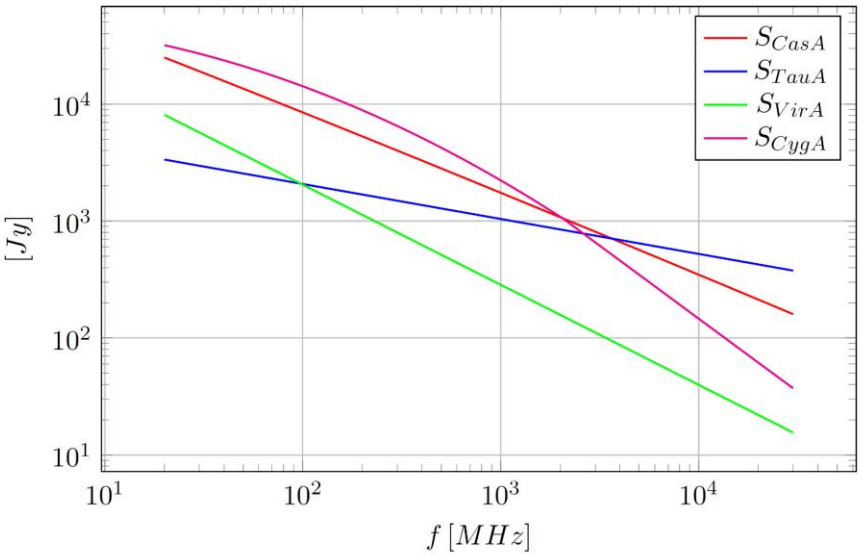
Il parametro *zero_base* stabilisce il livello di riferimento (offset) della linea di base radiometrica: la sua corretta impostazione dipende dall'amplificazione globale del ricevitore. Come regola generale, si dovrebbe scegliere *zero_base* in modo che il minimo livello del segnale corrisponda al ''cielo freddo'' (riferimento ideale) quando l'antenna ''vede'' una regione priva di radiosorgenti: un incremento rispetto al riferimento indicherà la presenza di una radiosorgente. La posizione della linea di base sulla scala di misura è funzione del fattore di amplificazione *gain* e del valore impostato per *zero_base*: se il segnale tende a spostarsi all'esterno della scala di misura (inizio-scala o fondo-scala) a causa delle derive interne, sarà necessario modificare manualmente il valore *zero_base* o attivare la calibrazione automatica per la linea di base radiometrica in modo da posizionare correttamente la traccia.

Se si utilizzano unità esterne (LNB) adatte, è possibile modificare la polarizzazione in ricezione per osservare radiosorgenti dove predomina una emissione con componente polarizzata. Nella maggior parte delle osservazioni accessibili a livello amatoriale le radiosorgenti emettono con polarizzazione casuale: in questi casi può essere utile modificare la polarizzazione per minimizzare eventuali interferenze di origine artificiale. Acquistando prodotti commerciali per la ricezione TV satellitare è generalmente fissa la posizione dell'illuminatore (integrato con l'unità esterna LNB) lungo la linea focale dell'antenna. Se fosse meccanicamente possibile e si desidera migliorare le prestazioni del radiotelescopio, conviene orientare l'antenna nella direzione di una radiosorgente campione (come il Sole) e variare avanti-indietro la posizione dell'illuminatore lungo l'asse della parabola in modo da registrare un segnale di massima intensità. Misure ripetute e molta pazienza aiutano a ridurre gli errori.
La conferma per una corretta impostazione dei parametri del ricevitore richiede alcune osservazioni di prova. Tale procedura, normalmente adottata anche dai radio-osservatori professionali, consente di ''tarare'' il radiotelescopio in modo che la dinamica della sua risposta e il fattore di scala siano adeguati per registrare senza errori il fenomeno osservato. Se correttamente eseguita, questa impostazione iniziale (necessaria soprattutto quando si prevedono lunghi periodi di osservazione) aggiusterà il guadagno e l'offset della scala per una corretta misura, scongiurando rischi di saturazioni o di azzeramenti del segnale con conseguente perdita di informazione. Terminata la messa a punto iniziale, sarà preferibile memorizzare le impostazioni del radiometro tramite l'apposito comando.
La più semplice osservazione radioastronomica comporta l'orientamento dell'antenna verso sud e il suo posizionamento a un'elevazione tale da intercettare una specifica radiosorgente durante il suo transito al meridiano, cioè il passaggio apparente della sorgente per il meridiano locale (quello che contiene i poli e il punto di installazione del radiotelescopio). Impostando nel programma di acquisizione ARIES un periodo di campionamento sufficientemente lento (ad esempio, una schermata ogni 24 ore), si può verificare se, nel corso della giornata, l'antenna intercetta le radiosorgenti desiderate e se i valori scelti per i parametri sono adeguati per l'osservazione. Potrebbe capitare di dover aumentare il fattore di amplificazione per visualizzare i dettagli della traccia, oppure modificare il livello della linea di base per evitare che, in qualche punto sul grafico, il segnale si porti fuori scala. Terminata la procedura di messa a punto si possono avviare lunghe sessioni di registrazione automatica, anche non presidiate.

Alcuni oggetti osservabili con il radiometro RAL10TS, quando equipaggiato con un'antenna sufficientemente grande (almeno 2 metri di diametro), sono:

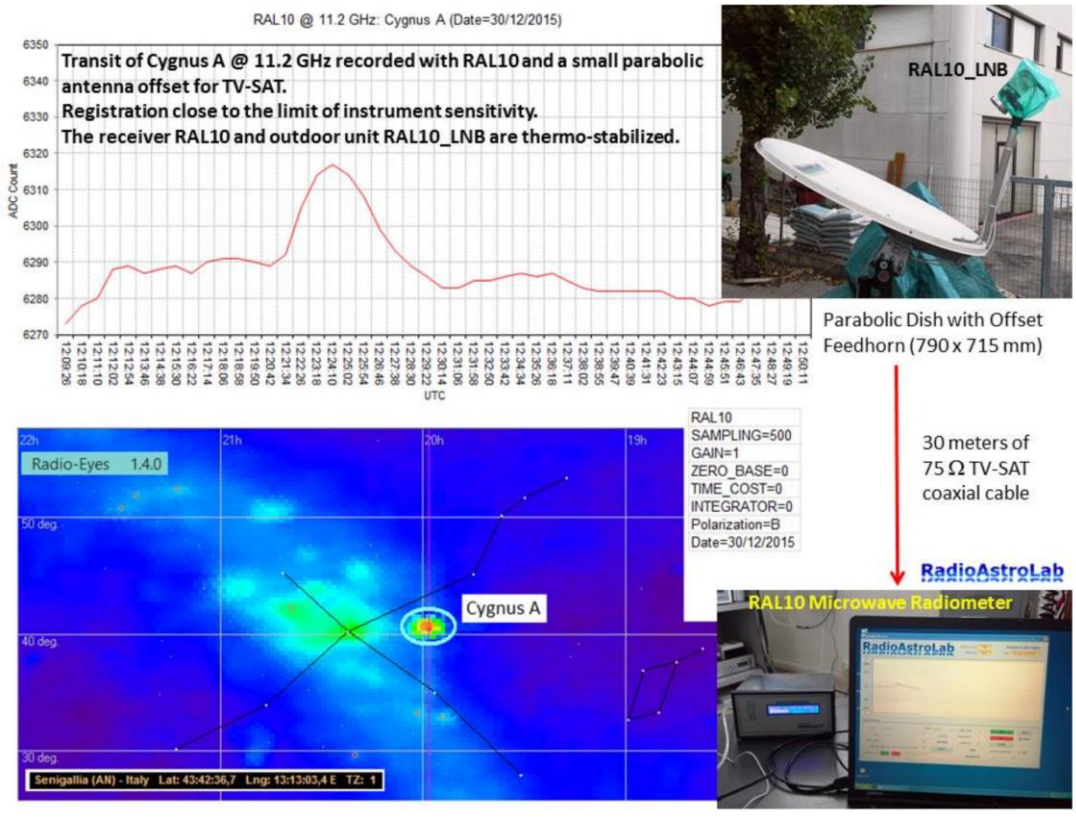
- SOLE: flusso 2620000 Jy alla frequenza di 11.2 GHz;
- LUNA: flusso 52500 Jy;
- CASSIOPEA A: flusso 423 Jy;
- M17: flusso 550 Jy;
- TAURUS A (M1): flusso 506 Jy;
- ORION A (M42): flusso 480 Jy .

La figura seguente mostra gli spettri delle principali radiosorgenti accessibili al nostro strumento.



Radiosorgente	30 MHz	150 MHz	1420 MHz	10 GHz
Cassiopeia A	$2.76 \cdot 10^4$	$8.53 \cdot 10^3$	$1.65 \cdot 10^3$	392.95
Taurus A	$2.97 \cdot 10^3$	$1.84 \cdot 10^3$	938.57	523.6
Virgo A	$5.74 \cdot 10^3$	$1.45 \cdot 10^3$	211.17	39.72
Cygnus A	$2.71 \cdot 10^4$	$1.09 \cdot 10^4$	$1.56 \cdot 10^3$	146.22

Cygnus A è una radio-galassia (ellittica) lontana 600 milioni di anni luce, una fra le più intense radiosorgenti del cielo.
L'oggetto è nella costellazione del Cigno: sebbene relativamente distante (300 volte più lontana della galassia di Andromeda), è una potentissima radiosorgente, dato che al suo interno nasconde un buco nero che genera un'enorme quantità di energia.
Il piccolo radiotelescopio mostrato nella figura in basso (che utilizza il ricevitore RAL10TS) ha rivelato, al limite della sensibilità strumentale, l'emissione radio di Cygnus A.



Cygnus A

Spectral parameters of main calibrators

Source	Frequency interval	Spectral parameters $\log S[\mathrm{Jy}] = a + b \log \nu\,[\mathrm{MHz}] + c \log^2 \nu\,[\mathrm{MHz}]$					
		a		b		c	
CasA 1965.0	22 MHz...300 MHz	5.625	±0.021	−0.634	±0.015	−0.023	±0.001
	300 MHz... 31 GHz	5.880	±0.025	−0.792	±0.007	—	
CasA 1980.0	300 MHz... 31 GHz	5.745	±0.025	−0.770	±0.007	—	
CygA	20 MHz... 2 GHz	4.695	±0.018	+0.085	±0.003	−0.178	±0.001
	2 GHz... 31 GHz	7.161	±0.053	−1.244	±0.014	—	
TauA	1 GHz... 35 GHz	3.915	±0.031	−0.299	±0.009	—	
VirA	400 MHz... 25 GHz	5.023	±0.034	−0.856	±0.010	—	

Riferimenti:

Astron. Astrophys. 61, 99—106 (1977)

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

The Absolute Spectrum of Cas A;
An Accurate Flux Density Scale and a Set of Secondary Calibrators

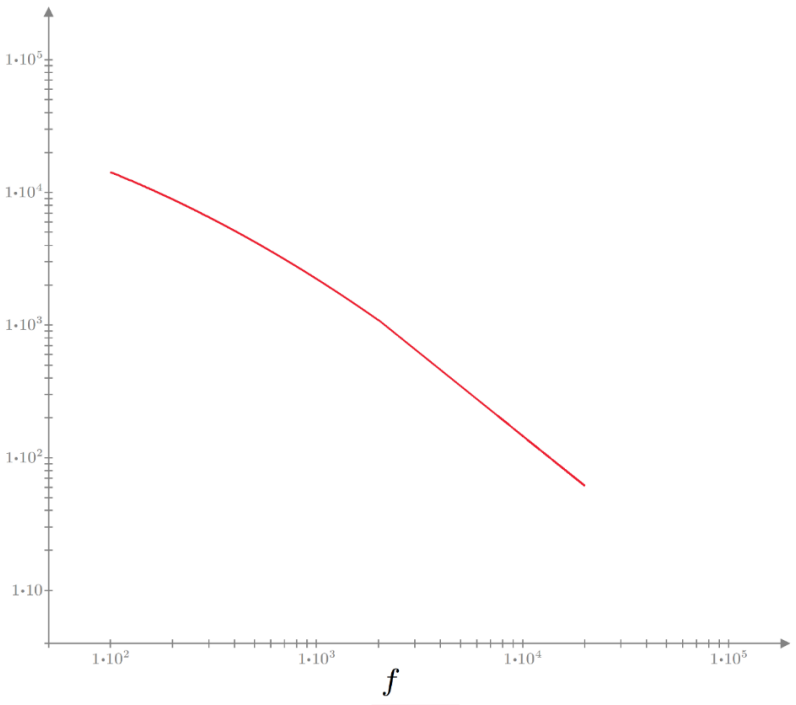
J. W. M. Baars, R. Genzel, I. I. K. Pauliny-Toth and A. Witzel
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, D-5300 Bonn, Federal Republic of Germany

Received April 4, 1977

$f := 100 .. 20000$ [MHz] Intervallo spettrale nella banda radio.

Densità di flusso di CYGNUS A quando la frequenza è espressa in [MHz]:

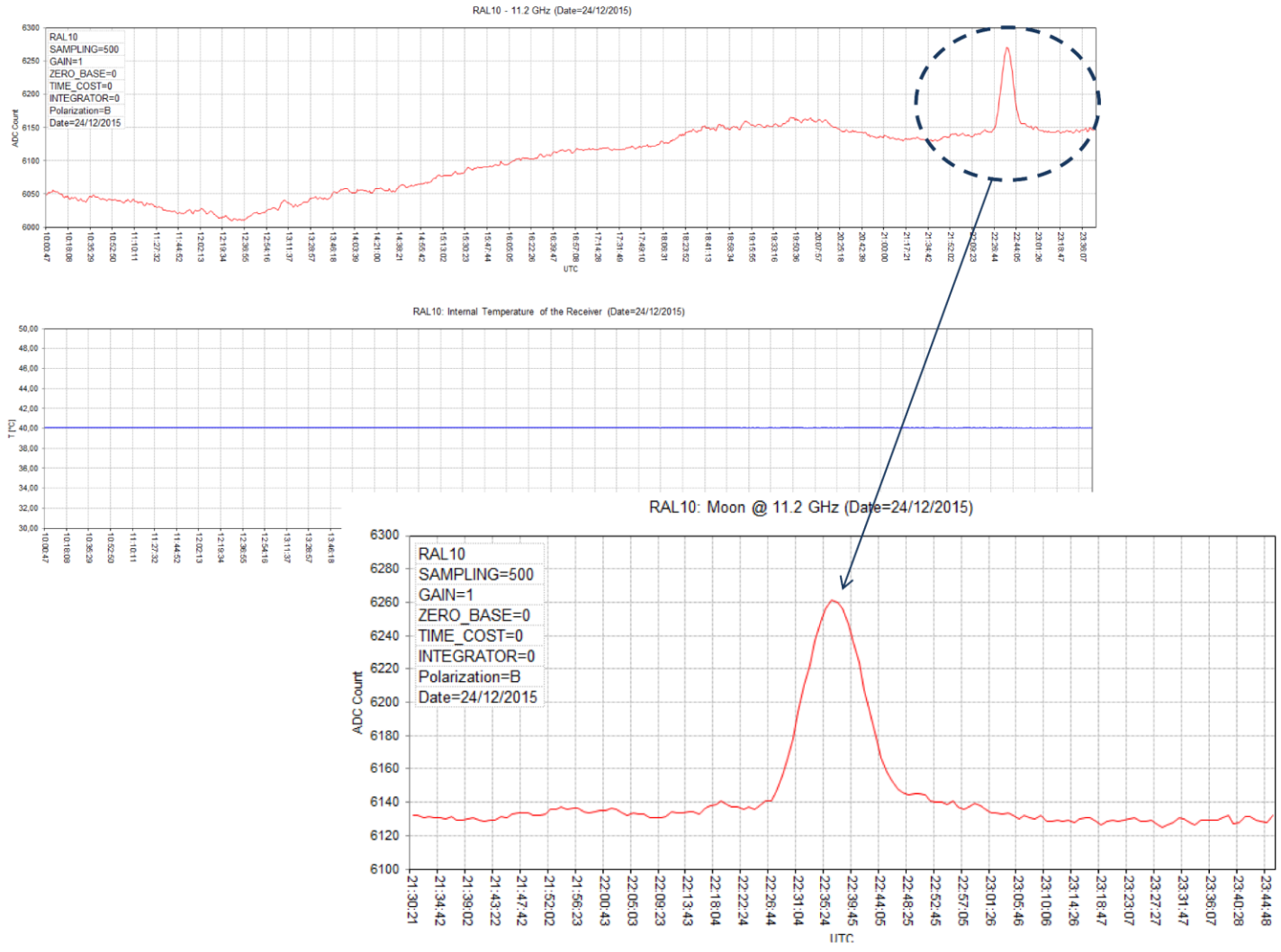
$$S(f) := \mathrm{if}\left(f < 2000,\ 10^{4.695 + 0.085 \cdot \log(f) - 0.178 \cdot (\log(f))^2},\ 10^{7.161 - 1.249 \cdot \log(f)}\right)$$



Spettro di Cygnus A

$S(11200) = 126.919$ [Jy] Densità di flusso di CYGNUS A @ 11.2GHz

Sessione di misura che comprende il particolare di un transito lunare con RAL10TS.
L'esperimento è avvenuto in una giornata nuvolosa e umida, con l'antenna orientata nella posizione prevista della Luna. Si è utilizzato un semplice sistema manuale per l'orientamento dell'antenna, con possibili errori di puntamento e conseguente riduzione nell'intensità massima del segnale rispetto a quella attesa. La percentuale di illuminazione del disco lunare era inferiore al 50%. L'unità esterna RAL10_LNB e il ricevitore sono termicamente stabilizzati. Nella banda 10-12 GHz la Luna irradia come un corpo nero a circa 200 K.
Si notano le condizioni perturbate del cielo che rendono più difficoltosa la ricezione dell'emissione termica a microonde della Luna, data la rilevante ''piattaforma'' di rumore (fondo) dovuta all'emissione troposferica (cielo coperto con nubi ''cariche'' di pioggia). Una piccola percentuale della radiazione di fondo proviene anche dalla Galassia..



IL SOFTWARE DI ACQUISIZIONE E DI CONTROLLO ARIES

Concepito per ottimizzare la ''robustezza'' e la flessibilità nella comunicazione, propria dei ricevitori della serie RAL10, il programma controlla i parametri operativi del radiometro: nello stile di un registratore grafico, ARIES visualizza l'andamento delle misure nel tempo e archivia le informazioni acquisite secondo varie modalità e formati.
La variazione del dato acquisito è visualizzata in funzione del tempo come una traccia mobile di colore rosso, rappresentata in un diagramma rettangolare dove l'ascissa è la variabile temporale (espressa in Tempo Locale o UTC) e l'ordinata è l'intensità del segnale espressa in unità relative ADC_count.

Dato che, attualmente, non è disponibile la gestione di una procedura di calibrazione del segnale ricevuto in unità assolute di temperature di brillanza, le intensità del segnale radiometrico sono visualizzate su una scala di unità di conteggio del convertitore analogico-digitale interno (ADC) che varia da 0 fino a 16383, dato che la risoluzione di misura dello strumento è pari a 14 bit.
Con ARIES è possibile controllare in modo semplice e immediato tutti i parametri del ricevitore, oppure gestire sessioni di misura differenti e contemporanee con più dispositivi (anche dello stesso tipo) collegati ad un unico PC: il protocollo di comunicazione implementato negli strumenti e l'interfaccia di ARIES consentono una gestione molto affidabile della comunicazione, perfetta anche nelle applicazioni che prevedono misure continuative per tempi lunghi e in località remote non presidiate da operatori.
Nato come sistema di acquisizione dati per stazioni radioastronomiche amatoriali, ARIES comprende tutto ciò che serve per gestire e visualizzare le misure delle osservazioni, con ampie possibilità di impostazione delle scale grafiche e di programmazione dei parametri operativi. La capacità di registrazione automatica dei dati e la possibilità di impostare opportune soglie di allarme al verificarsi di eventi nel segnale misurato, assicurano semplicità, versatilità e praticità nella gestione della stazione radioastronomica.
Nella figura riportata a pag.4 di questo manuale si vede la consolle principale di visualizzazione e di controllo del programma: si tratta di una finestra grafica che mostra l'andamento nel tempo del segnale radiometrico acquisito e la temperatura interna dello strumento. Sono presenti i pulsanti di comando più frequentemente utilizzati nella gestione dell'acquisizione dei dati, della rappresentazione grafica delle misure e della registrazione automatica. Il programma lavora su piattaforme Microsoft Windows x86 e x64 (requisiti minimi Windows Xp SP3), Mac Os e Linux.
Un'apposita finestra contiene i comandi necessari per impostare i parametri dello strumento: i bottoni per la selezione della polarizzazione in ricezione, i cursori e le caselle per l'impostazione del guadagno di post-rivelazione, per l'offset della linea di base radiometrica, per l'impostazione della costante di integrazione della misura e i comandi per il controllo della temperatura interna. E' possibile selezionare ogni quanti campioni ricevuti deve essere aggiornata la misura scegliendo il periodo di campionamento SAMPLING, funzione che include il calcolo del valore medio sui campioni acquisiti, quindi una ulteriore integrazione del segnale in aggiunta a quella stabilita dalle costanti di integrazione primaria e secondaria: il programma aggiornerà le tracce grafiche dopo aver acquisito il numero di campioni impostato, quindi calcolerà la media su quel numero. Il pulsante CAL attiva la calibrazione automatica della linea di base (''zero'' di riferimento) per la misura radiometrica. E' possibile salvare nella memoria interna non volatile del ricevitore i valori dei parametri operativi tramite il comando MEM: in questo modo, ogni volta che si alimenta lo strumento, sono ripristinate le condizioni operative ottimali, scelte dopo opportuna calibrazione in funzione delle caratteristiche del sistema ricevente e dello scenario osservato.
Utilizzando i bottoni di zoom dell'asse Y è possibile incrementare o diminuire la risoluzione dell'asse delle ordinate e utilizzare i pulsanti freccia verso l'alto e freccia verso il basso per posizionare la traccia sul grafico in modo che sia completamente visibile in tutta la sua escursione dinamica (si tratta, sostanzialmente, di comandi che consentono la traslazione dell'intera traccia lungo l'asse delle ordinate). Analogamente, è possibile effettuare uno zoom sull'asse del tempo (ascissa) utilizzando i relativi pulsanti, modificando anche la velocità di scorrimento della traccia. La velocità massima impostabile è di sessanta secondi per schermata: la traccia impiegherà un minuto per coprire tutta la finestra grafica. Nel menu delle impostazioni del programma è possibile scegliere il formato della rappresentazione del tempo (in UTC oppure Tempo Locale).
Oltre alla semplice visualizzazione grafica, ARIES registra le misure in vari formati. È possibile scegliere di salvare i dati in formato testo e in formato immagine utilizzando i pulsanti dedicati alla registrazione dei dati.
Per controllare l'andamento del segnale ricevuto durante una sessione di misura, ARIES offre la possibilità di impostare due soglie di controllo (superiore e inferiore) che, se superate dalla traccia radiometrica, attiveranno un allarme visivo colorando di rosso una spia e attivando un allarme acustico, se desiderato. Le soglie si presentano come due righe orizzontali di colore verde sulla finestra grafica.

Ulteriori dettagli sulle caratteristiche e sulle funzioni di ARIES sono reperibili sulle pagine del sito di RadioAstroLab S.r.L. e sul manuale d'uso del programma.

LIMITAZIONE DI RESPONSABILITÀ

Il produttore declina ogni responsabilità per eventuali danni derivanti da mancata osservanza del manuale di istruzioni, uso non conforme, riparazioni non professionali, modifiche non consentite o uso di parti di ricambio non omologate.

AVVERTENZE DI SICUREZZA FONDAMENTALI

Per l'uso del dispositivo, rispettare le seguenti avvertenze di sicurezza:

- Prima di usare il prodotto, controllare se presenta danni visibili. Non utilizzare il prodotto se è danneggiato o è caduto.
- Proteggere i cavi da danneggiamenti che potrebbero venire provocati per es. da spigoli affilati, punti roventi, incastro o schiacciamento. In caso di danni ai cavi o ai collegamenti, fare eseguire le riparazioni direttamente dal costruttore. Le riparazioni non eseguite professionalmente possono causare pericoli per l'utente e comportano il decadere della garanzia.
- L'apparecchio non deve essere aperto dall'utente.
- Non esporre l'apparecchio alla luce solare diretta, fiamme vive o a temperature elevate: potrebbe surriscaldarsi e subire danni irreparabili.
- Proteggere l'apparecchio dall'umidità e dalla penetrazione di liquidi. Non immergere mai l'apparecchio nell'acqua e non collocarvi accanto recipienti contenenti liquidi (per es. vasi).
- Se si riscontrano rumori insoliti, odore di bruciato o sviluppo di fumo, spegnere immediatamente l'apparecchio e staccare da quest'ultimo tutti i collegamenti via cavo. Fare controllare l'apparecchio da un tecnico qualificato prima di riutilizzarlo.

ATTENZIONE: il dispositivo deve essere posizionato in un ambiente asciutto e aerato, lontano da fonti di calore, dalla radiazione solare diretta, da liquidi e sorgenti di gas infiammabili. Evitare accuratamente ogni possibilità di infiltrazioni all'interno della macchina.

PULIZIA

Pulire le superfici esterne del generatore e dell'interfaccia con un panno leggermente inumidito.

ATTENZIONE:

- Impedire la penetrazione di liquidi all'interno dei dispositivi. Essi possono causare danni irreparabili.
- Non utilizzare detergenti aggressivi o abrasivi per non danneggiare la superficie dei dispositivi.
- Effettuare tutte le operazioni di pulizia avendo cura che i dispositivi siano scollegati da rete.

CONSERVAZIONE QUANDO L' APPARECCHIO NON VIENE UTILIZZATO

Conservare l'apparecchio in un luogo asciutto, privo di polvere, umidità, liquidi e non esposto all'irradiazione solare diretta.

SMALTIMENTO

L'apparecchio è soggetto alla Direttiva 2012/19/EU. La direttiva prevede che, al termine della sua vita utile, l'apparecchio non venga smaltito insieme ai normali rifiuti, bensì venga conferito ad appositi punti di raccolta, centri di riciclaggio o aziende di smaltimento.
Lo smaltimento è gratuito per l'utente. Rispettare l'ambiente e smaltire l'apparecchio in modo conforme alle direttive pertinenti. Informarsi presso l'amministrazione comunale.

INDEX

A radio telescope for everyone	p. 30
Radio astronomy and radio telescopes	p. 31
Microwave radiometers	p. 38
RAL10TS receiver	p. 41
Technical description	p. 44
Operating parameters of the receiver	p. 46
Guide to operating parameters setting	p. 48
The acquisition and control software ARIES	p. 52
Limitation of liability, warnings, cleaning and disposal	p. 54

Congratulations on your choice!
A high quality product was chosen. The instruction manual is an integral part of this product. It contains important information on safety, use and disposal. Before using the product, familiarize yourself with all the instructions relating to controls and safety. Use the product only as described and for the indicated areas of use. Keep this instruction manual carefully. In case of transfer of the product to third parties, also deliver all the related documentation.

We recommend that you read this manual carefully before proceeding with the installation of the receiver, scrupulously following what is reported below.

In case of problems with the generator, it is recommended to read this manual before contacting the technical assistance service.

Important
It is advisable to keep the packaging materials of the equipment, as they could be useful for a possible sending for repair.

Transport damage due to poor packaging of the generator or user interface, when sent for repair, is not covered by the warranty.

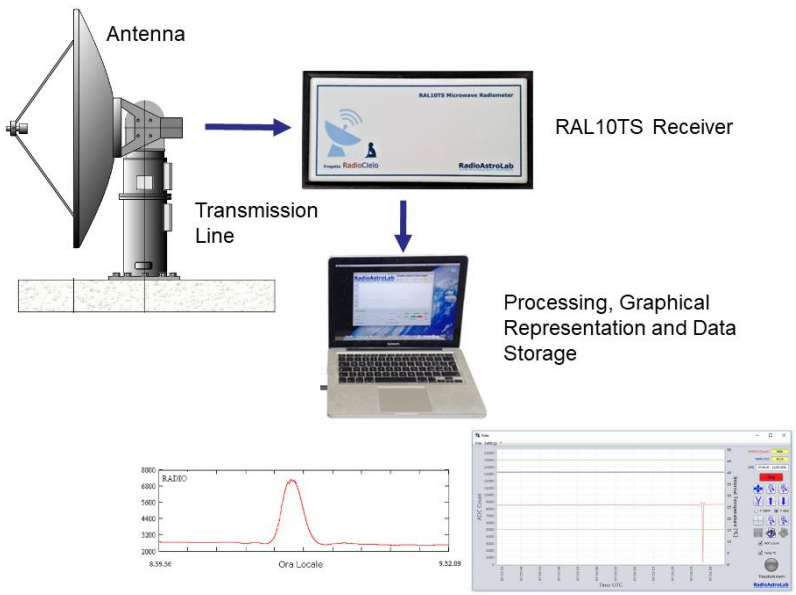
RadioAstroLab S.r.L. warrants its products for a duration of one year when used in accordance with the instructions and recommendations contained in this document. The manufacturer is not liable for malfunctions or damage caused to the instrument due to poor installation or due to the use of unsuitable external components (outdoor unit, antenna system and coaxial cable, mechanical parts used for fixing the illuminator, the antenna and for orientation).
RadioAstroLab reserves the right to make changes, even without notice, on the devices and on this documentation in order to improve their performance and effectiveness.
©Copyright by RadioAstroLab

A RADIO TELESCOPE FOR EVERYONE

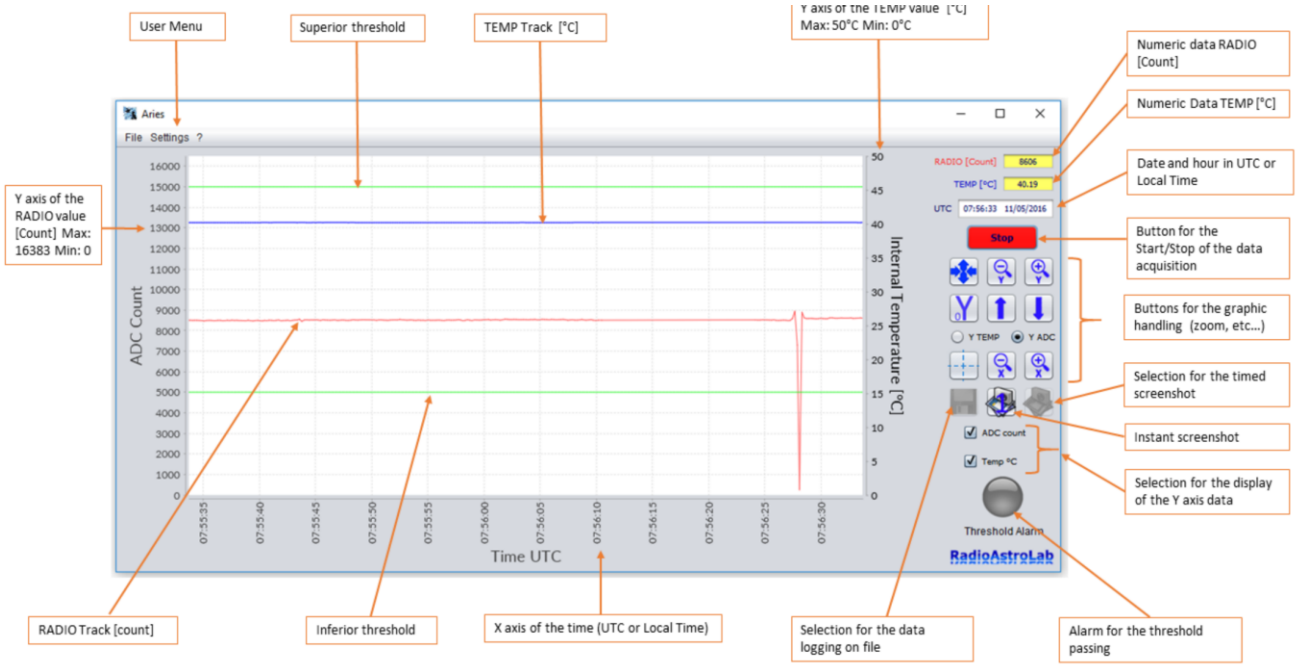
RAL10TS Total-Power Microwave Radiometer is a microwave receiver (radiometer) specially designed for amateur radio astronomy.
Following our suggestions and matching RAL10TS with an antenna and a few other accessories, any fan who wants to explore the sky in the ”radio window” of microwaves (at the frequency of 11:2GHz) will be able to install an efficient radio telescope suitable for observing the most intense radio sources of the sky. In fact, it is possible to build a small radio telescope to study celestial objects differently, in broad daylight and with the cloudy sky, mastering the principles of radio astronomy technology. Undoubtedly it is not trivial to capture the radio emission of a distant galaxy: the signals are very weak, choked by artificial interference and background noise. To be successful you need a minimum of study, passion and operational continuity.
RadioAstroLab s.r.l. was the first Italian company to launch on the market, in 2000, the first version of the RAL10 receiver along with the information needed to build and use an amateur radio telescope. This instrument, economic and designed to take advantage of commercial modules for the reception of satellite TV, started many fans to radio astronomy. Students, amateur astronomers, radio amateurs, schools and universities, have built their small radio telescopes to start exploring the ”radio-sky”. We have received appreciation and new requests, gave answers and supported enthusiasts organizing events and conferences in many cities. We are happy and proud to contribute to the development of amateur radio astronomy. We keep going on in this direction with renewed vigor, maintaining the primary objective of the divulgation, of the economy and ease of use: now we have a complete range of products that meets the demands of the passionate and allows everyone to learn about radio astronomy through the construction, installation and operation of a small telescope.
The experimental approach way is always the best: to record the radio waves coming from celestial objects with a ”homemade” tool is a very exciting experience. Of course, we cannot expect the performances of great research telescopes, incomparably larger and more complex. However, the construction and installation of a radio telescope built with your own hands offers a lot of satisfaction and has great educational value. This is a feasible and educationally very interesting way: there are many examples available on the web that describe the construction of simple, inexpensive radio telescopes using components and modules from the satellite TV market. These are interesting solutions and of immediate realization that, in any case, require some practice and experience with the assembly of electronic circuits and, especially, with their tuning.
If, on the other hand, we want to start with a guarantee of success, it will be preferable to move towards ”ad hoc” applications planned for amateur radio astronomy, without leaving out the ease of use.

For these reasons, we propose to the experimenters the microwave receiver RAL10TS.

This tool, combined with commercial components of easy availability, becomes a complete radio telescope, that includes the interface for the communication with a personal computer (PC) and the control software Aries. Building and learning to use a tool like this is didactically very interesting, since it allows a simple, straightforward approach to radio astronomy and to the basic instrumental techniques.



Control and acquisition software Aries, provided for free along with the RAL10TS receiver



Before illustrating the features and functioning of the RAL10TS Total-Power Microwave Radiometer, we will provide some indication about radio astronomy and the instruments used by radio astronomers.

RADIO ASTRONOMY AND RADIO TELESCOPES

Radio astronomy studies the sky by analyzing the natural radio waves emitted by celestial objects: any object radiates measurable electromagnetic waves that, picked up by the antenna and displayed, can show the incoherent characteristics of a broad spectrum electrical noise. In general, the term radio source stands for any natural emitter of radio waves: in common usage the term has become synonymous with the cosmic sources of radio waves.

The radio telescopes, instruments that record the faint radio stream coming from extraterrestrial space, include an antenna system, transmission lines and a receiver: the electronics amplifies the signal received by the antenna to make it measurable. There follow the devices for the processing and recording of information, in addition to the tools for the control of the instrument and for the orientation of the antenna.

In honor to K. Jansky, the initiator of radio astronomy, was defined the unit of measurement of the flux density of radio sources: 1 Jy = 10^{-26} W=(m^2 Hz). From this expression you can see how a radio telescope measures a radiant power coming from space, specifically the power (W) which affects the antenna reception area (m2), included in the receiver bandwidth (Hz). An alternative way, very convenient to express the power associated to the radiation ”collected” by the antenna, involves the use of the concept of *brightness temperature* of a radio source, a parameter directly proportional to its radiated power. If we orient the antenna of the instrument in a given region of the sky, in particular to a radio source that stands out from the background noise, we will measure an increase in signal intensity proportional to the brightness temperature of that object, which will coincide with its physical temperature only if it is a black body, ie a (ideal) material which perfectly absorbs all radiation incident on it, without reflecting it. In nature there are no black bodies, but there are objects that approximate very well their behavior, at least within a specified frequency band.

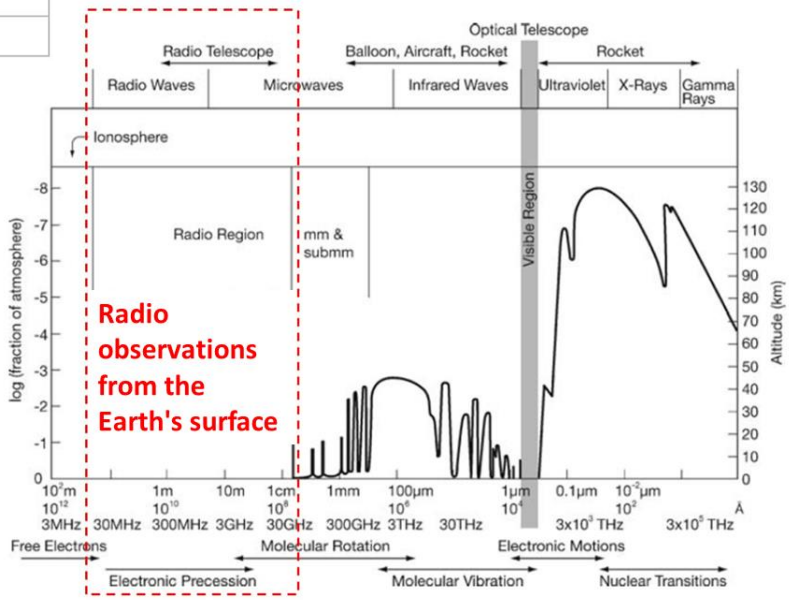
We can imagine the radio telescope like a sky thermometer: the temperature measured will be proportional to the physical temperature of the region ”seen” by the antenna through a coefficient called *emissivity*. The emissivity of a material is a measure of its ability to radiate energy and is a function of the chemical-physical properties of the radio source and of the frequency.

A black body emissivity is equal to 1, thus having a brightness temperature coincident with its physical temperature, while a material body (gray body) has an emissivity between 0 and 1, so a brightness temperature inferior to its physical temperature.
The functioning of a radio telescope is not substantially different from that of a common home radio-receiver (such as, for example, a television, a car radio or a mobile phone): obviously, some features are specialized and performance are optimized to measure the very weak signals from space. In radio astronomy it is fundamental (and quite hard...) to highlight the weak noise produced by radio sources (useful signal) with respect to the noise generated by the electronics of the instrument and by the environment (unwanted signal), that is usually very intense: these ”hiss” on the background, electrically similar to those we hear when, on an FM radio, no station is tuned, have the same nature and are, in principle, indistinguishable.

ITU designation

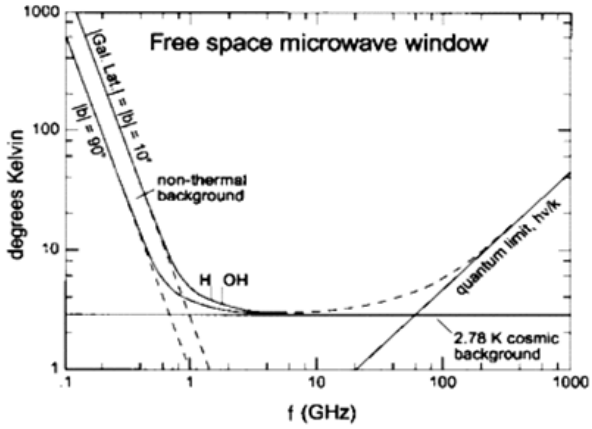
Band	Frequencies	Wavelengths
ELF	3 – 30 Hz	100 000 km – 10 000 km
SLF	30 – 300 Hz	10 000 km – 1000 km
ULF	300 – 3000 Hz	1000 km – 100 km
VLF	3 – 30 kHz	100 km – 10 km
LF	30 – 300 kHz	10 km – 1 km
MF	300 – 3000 kHz	1000 m – 100 m
HF	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
VHF	30 – 300 MHz	10 m – 1 m
UHF	300 – 3000 MHz	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

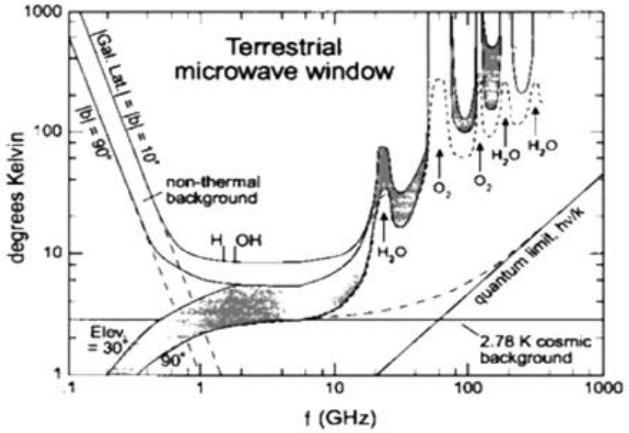
Official classification of the frequency bands of the radio spectrum: our instrument works in the microwave band (SHF), in particular at the frequency of 11.2GHz.



Scheme representation of the electromagnetic spectrum: the radio ”window” has been highlighted.

Admiring the technology and the structural impressiveness of professional radio telescopes, not to mention the ”astronomic” costs, it is legitimate to ask ourselves if an amateur radio astronomy activity is conceivable and, if so, what are its real possibilities of experimentation open to amateurs. Many among professionals of the ”visible” sky, like amateur astronomers, have fragmentary news on radio astronomy techniques, and those that strike the imagination apply to the large research instruments. The widespread opinion is that radio astronomy is a discipline essentially inaccessible to amateurs, with limited possibilities of amateur experimentation, therefore uninteresting to expand their knowledge of the sky. Of course, things are different, because there is a whole interesting and fascinating world to discover.





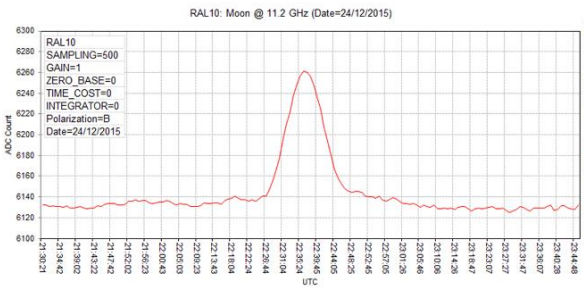
Effects of Earth's atmosphere, well visible when comparing the graphs that represent the radio "window" of the electromagnetic spectrum seen from the ground and from a radio telescope operating in space.

To overcome these obstacles it is important to start our journey from the basics, beginning from concrete projects, economic and easy to implement, with "certain" and repeatable performance. It is necessary to understand the limits reachable by amateur activity emphasizing, however, the many interesting opportunities for experimentation. It is essential to start with simple projects of immediate success, so you can gradually gain confidence with the instrumental technique and the practice of radio astronomy observation, not obvious at all. You will need a bit of willpower to invest time and patience in a gradual approach to a discipline that is certainly less immediate and "spectacular" than the observation of the visible sky, since the human being is not sensible to radio waves. In this field, the "visualization" of the cosmic scenario and the "extraction" of the information that results is not immediate: you will need specific instruments (radio telescopes) that can detect radio signals and display them.

Then there is the equipment problem: do you have to be electronic experts to realize everything in the house? Not necessarily.

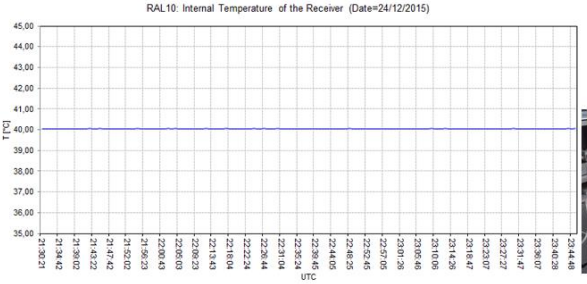
Those who have practical knowledge are, of course, advantaged, but on the web you can find excellent examples of construction of small radio telescopes. However, to make the approach to radio astronomy easy for any goodwill person, we will propose the construction of a microwave receiver based on a modular philosophy that favors simplicity, economy and the reuse of the parts for expansions and for future developments.

Anyone can build a radio telescope and explore the fascinating world of amateur radio astronomy.



Parabolic Dish with Offset Feedhorn (790 x 715 mm)

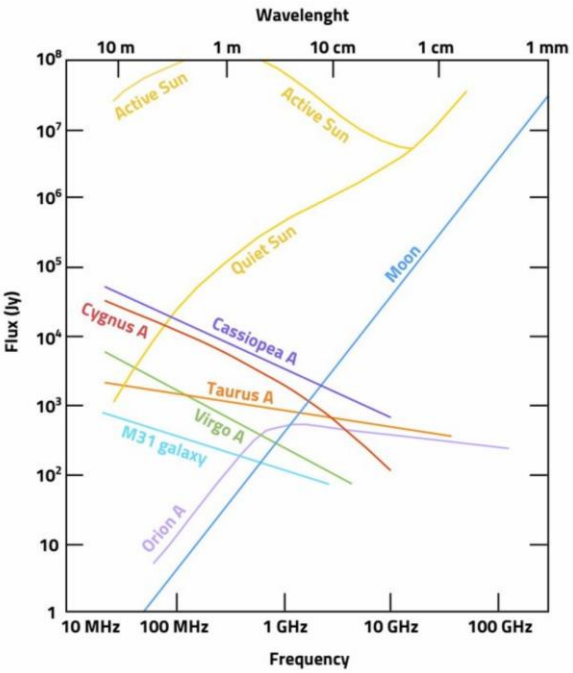
30 meters of 75 Ω TV-SAT coaxial cable



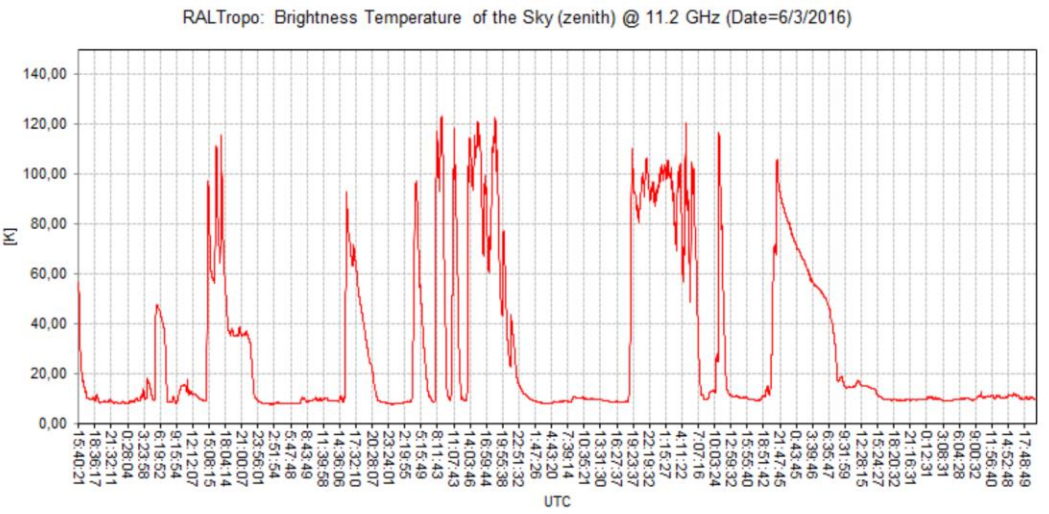
Lunar transit observation with an amateur radio telescope based on the RAL10TS receiver.

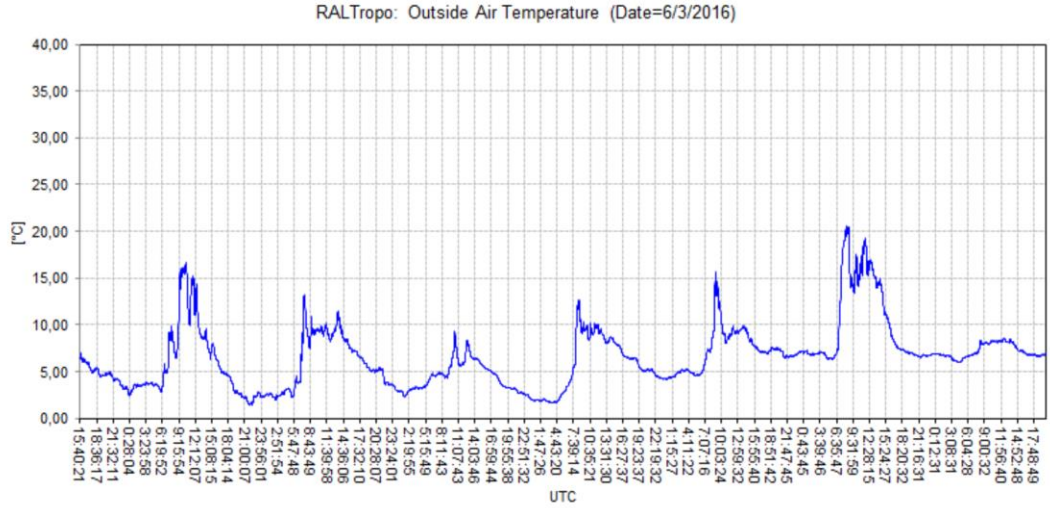
The radio astronomy observation ”par excellence” (and the easiest one) consists in determining the variation of the intensity of the signal received during the apparent transit of a radio source (such as the Sun or the Moon) in the ”field of view” of the antenna (*recording at transit*). You orient the telescope at the sky area where the passage of the radio source is foreseen, in its apparent motion, and wait for the formation of the classic ”bell” track in the acquisition software. The next step, the most complex and laborious, contemplates the recording of signal intensity received from different directions of the sky. Slowly and methodically collecting a series of measures, you can fill in a ”radio-map” of the observed sky region. Obviously ”tracking” observations of the radio sources are possible, such as, for example, when you want to monitor solar activity. This requires motorized and automated equipment for the handling of the orientation system of the antenna.
Why start with a microwave instrument? It will be clear in a moment.
The antenna is the most important component of a radio telescope, being the collector of cosmic radiation: the sensitivity and performances of the instrument will therefore be proportional to its dimensions (let’s leave out for a moment the economical, positioning and installation problems). It is also known that, once laid down the requirements in the sensitivity and the resolution power for the radio telescope, the dimensions needed for the antenna increase considerably with the decreasing of the operating frequency. Only this aspect is sufficient to create a mass of doubts and pose a problem to those who intend to start an amateur radio astronomy activity.
We therefore ask ourselves:
• in which frequency band is it better to work?
• what radio sources can be observed with a small telescope?
• are there any special requirements in the choice of the installation site of the instrument?

The answers are all connected between each other.
The mechanisms that explain the emissions of radio sources are complex, linked to their chemical-physical characteristics. A good start would be to catalog the most intense radio objects in the sky and discover how does their emission vary at different frequencies (radio sources spectrums). Considering the limitations in sensitivity of amateur instruments due mainly to poor effective area of the antenna, a first reasonable choice seems to favor the frequencies where the radio sources are more intense and numerous. Besides the Sun and Moon that behave more or less as black bodies in the radio band (at least for what concerns the emission of the quiet Sun), other radio sources radiate with greater intensity for frequencies below 1GHz, with a mechanism (called *non-thermal*) that increases the emission intensity at the decreasing of the frequency.



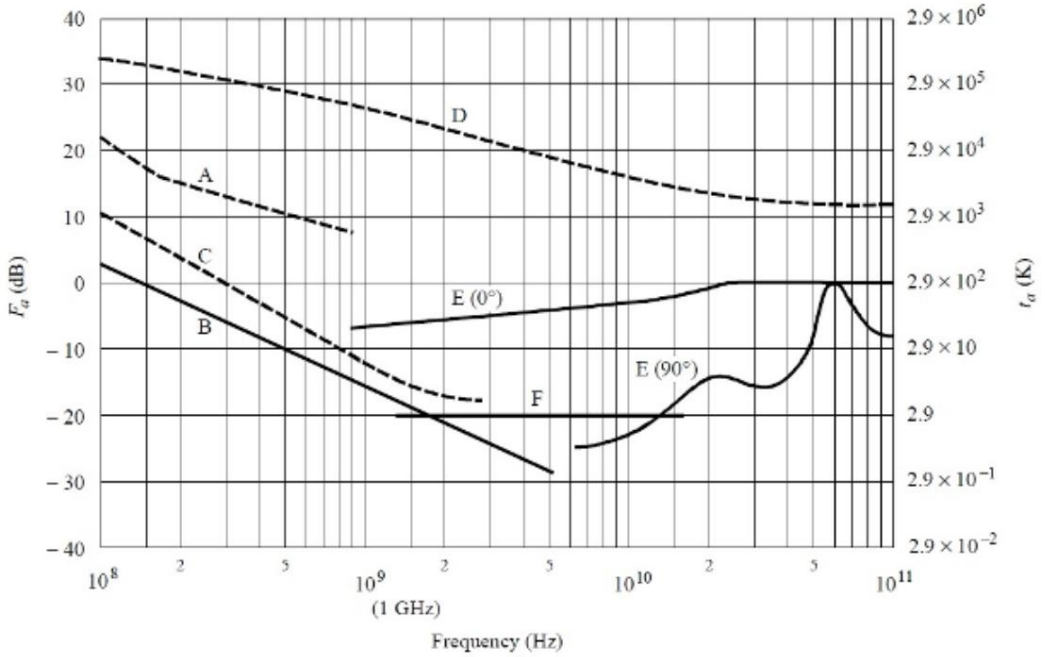
However, we need to consider the radio ”crowding” in the area where we will install the telescope, due to the presence of various interferences. The artificial noise, very intense in urban and industrialized areas, is a big problem in radio astronomy observation: the radio spectrum is practically saturated with all sorts of signal.
The most common natural sources of interference are lightnings, atmospheric electrical discharges, radio emissions produced by charged particles in the upper atmosphere (ionospherical disturbances), emissions from atmospheric gases and precipitations. Artificial interferences are caused by the distribution, the use and the transformation of electric power, by the radar transmissions for the control of the military and civil air traffic, by terrestrial transmitting stations used for radio and television broadcasting services, by the transmitters and transponders on artificial satellites, and by mobile phone network and military stations.





Brightness temperature of the sky at the zenith, measured with a microwave radiometer. We registered wide variations in the typical emission of the atmosphere, due to the presence of rain-bearing clouds formation and of precipitation (corresponding to the signal peaks in the recording). While the clear and dry sky in an area free from radio sources is a very "cold" scenario, characterized by a brightness temperature inferior to 10K, in presence of idrometeors it becomes a very "hotter" object, with temperatures up to 200K if the precipitations are very intense. At these operating frequencies, the tropospheric disturbances are important sources of interference for radio astronomy observations, concealing the weak radiation coming from outer space. The effects of tropospheric disturbances become less significant at lower frequencies.

Performance of natural and artificial noise power as a function of frequency. The estimated levels in the range from 100 MHz to 100 GHz are reported (Recommendation ITU-R P.372-7 "Radio Noise").



A: estimated median business area man-made noise
B: galactic noise
C: galactic noise (toward galactic centre with infinitely narrow beamwidth)
D: quiet Sun (½° 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

Il precedente grafico evidenzia il fatto interessante che l'intensità dei disturbi artificiali e naturali diminuisce all'aumentare della frequenza: per questo motivo è ipotizzabile l'installazione di un radiotelescopio operante nella banda 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 quieta, ammesso di trovarla. 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.

The graph above highlights the interesting fact that the intensity of the artificial and natural disturbances decreases with an increasing frequency: for this reason the installation of a radio telescope at 10-12 GHz in the ”back yard”, in urban areas is conceivable, while the receiving at the lowest frequencies is very difficult. In the latter case, we must opt for a rural area, electromagnetically more ”quiet”, admitted that you find one. Indeed, the choices based on the analysis of the spectrum of radio sources are contrary to those deriving from the analysis of the spectrum of disturbances: we have a ”pro” and ”cons” tie. Decisive will be the technological and economic considerations. An amateur radio telescope ”for all” should be easily achievable, economic and of immediate operation: the central core of the instrument should be a module specially designed for radio astronomy that integrates the essential parts of a basic radio astronomy receiver. The researcher completes the telescope using commercial parts and modules, economic and easily available. All this is possible thanks to the spread of satellite TV reception in the 10-12GHzband, and the availability of antennas, amplifiers, cables and a host of accessories, new and recycled, suitable for building a perfect amateur radio telescope. The dimensions of the antenna greatly influence the performances and final cost of a radio telescope. Also the commercial availability of this critical component plays a fundamental role. If we consider that, with the same antenna gain (is a measure of its ability to pick up weak signals in specified directions of space), its dimensions (weight and size) decrease with increasing frequency, we can understand how possible (and simple and economic) it is to build our first radio telescope, using a common parabolic reflector antenna of 1 meter diameter for TV-SAT operating at 10-12GHz. On the other hand, a parabolic reflector antenna is the most economic structure in the perfomances/dimensions ratio. The only drawback is the limited number of radio sources measurable at these frequencies : with small diameter antennas only the Sun and the Moon will be ”visible”. However, being their radiation very intense, their study is an excellent starting point to start familiarizing with the tools and techniques of radio astronomy, waiting for more demanding observations. To record weaker radio sources, like Taurus, Cassiopeia, Cygnus and Virgo, you need larger antennas, keeping the rest of the system unvaried. The antenna converts the incident electromagnetic energy into a difference of potential amplified and processed by the receiver. Its function is analogous to that performed by a lens or a mirror for an optical instrument. The study of antennas comes from the theory of electromagnetic radiation and from the analysis of electromagnetic fields generated by sources in free space. The mechanism of the radiation is no more than the energy of the electromagnetic waves emitted by the sources and carried at great distance as a result of propagation. We use the term *directivity* to quantify the ability of an antenna to receive energy from a privileged direction, while the main parameter that characterizes it is the *effective area*, ie the ratio between the power delivered to the receiver and the density of the incident power in conditions of adaptation. The effective area of a receiving antenna is therefore the ideal surface from which you can get useful power, pulling it out from the incident radiation. This parameter depends only on the antenna’s construction features and measures its efficiency as a collector of radio waves. An antenna is sensitive only to a polarized component of the random incident radiation (vertical or horizontal, circular right or left), extracting from this only 50% of the energy. The great advantage of the directive antenna is the ability to eliminate the signal contributions from unwanted directions improving the reception quality in the direction of interest, with a particularly intense signal when the radio source is oriented in the right direction. Another very important feature is the *resolving power*, ie the ability to separate (resolve) two close objects in space, then ”see” the fine structural details of an extended radio source. This parameter is proportional to the ratio between the wavelength of the radiation received and the antenna physical dimensions (calculated in wavelength): it won’t be possible to distinguish angular details inferior to this value. These characteristics define the performance of the radio telescope.

An antenna widely used in the microwave band is the paraboloid revolution reflector, characterized by a very narrow and symmetrical reception lobe. Its qualities derive precisely from the focusing properties of the parabola: the picked energy, coming from a distant source, is reflected by the surface of the reflector and focused at a point where the external reception unit (LNB) is positioned. The possibility of having a single focal point is very interesting, since if the collecting device (illuminator) is well placed, all the incident electromagnetic energy picked up by the reflector may be used to extract the useful signal.

The gain G_a achievable by an antenna with parabolic reflector can be estimated using the ratio:

$$G_a = \eta \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

where D is the diameter of the antenna (in meters). The parameter η is called *efficiency*: usually between 0.45 and 0.55, it takes into account all the factors (errors on the surface, contructive tolerances, focus errors, excessive amplitude of the secondary lobes, etc.) that can reduce the maximum teorical gain achievable.

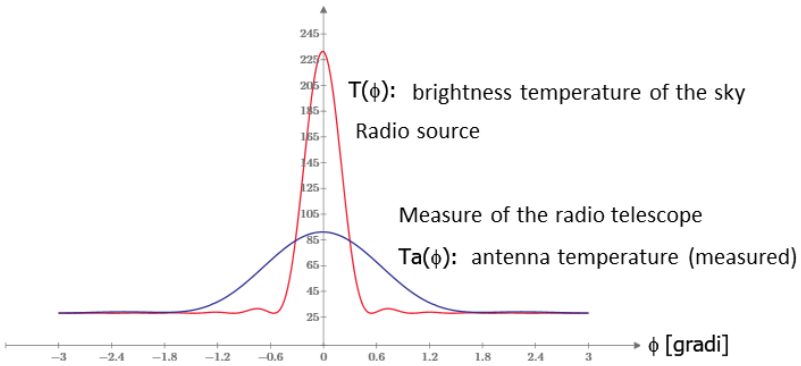
The Half Power Beam Width HPBW of the antenna can be measured using the following approximate formula:

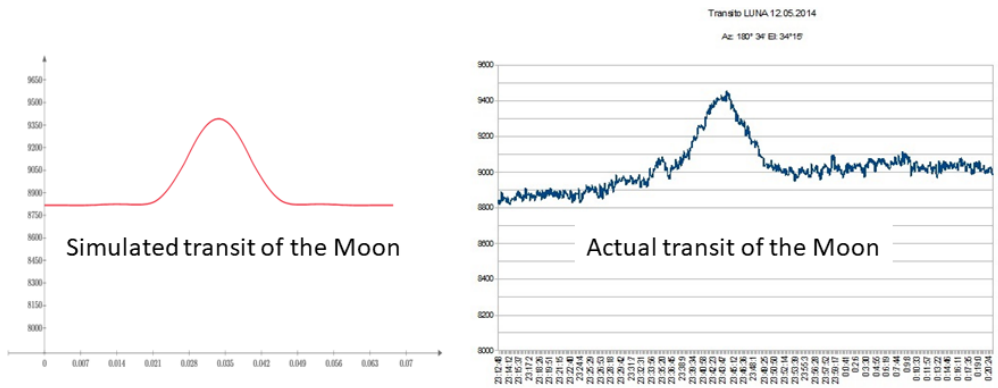
$$HPBW \approx \frac{(60 \div 70) \cdot \lambda}{D} \qquad [degrees]$$

You can see how the antenna gain is directly proportional to its size, the opposite appens for the width of the receiving beam: a high gain antenna will have a narrower reception beam and will be, therefore, more directive, with more stringent requirements in the pointing accuracy.
The possible structures of an antenna system vary greatly depending on the operating frequency and the type of application. At lower frequencies, the antennas are mainly of wire type (metal dipoles), while at high frequencies (microwave) they are made of radiating elements more easily referable to waveguides (horn and slot antennas) and to optical systems (parabolic reflector antennas). In professional radio astronomy there are composite systems made up of many elements (arrays) and/or focusing elements of optical type (reflectors, lenses): it is always necessary that the dimensions are always greater than the operational wavelength, resulting, at low frequencies, in the construction of structures of impressive complexity and costs.
The temperature of the antenna represents the signal power actually available at the input of the receiver, and so the energy captured from a specific region of the sky that radiates with a given brightness temperature. In the measurement process it is important to consider the effect of spatial ”filtering” produced by the shape of the antenna reception diagram: this operation is mathematically described by the convolution between the functions that describe the antenna directive properties and the brightness profile of the observed scenario. The antenna of a radio telescope tends, therefore, to ”level”, to ”dilute” the distribution of real brilliance that will be ”weighted” by the shape of its reception diagram. The extent of the spatial variations of brightness observed will approximate the real one only if the angular dimensions of the radio source are extensive with respect to those of the antenna beam. The problem that arises to the observer is to obtain the true distribution of the brightness temperature starting from the measurement of the antenna’s temperature: it is necessary to perform an operation of deconvolution between the distribution of the equivalent temperature of the antenna (brightness measured) and the function describing the antenna reception diagram. It is therefore very important to know the shape of the directive diagram of a radio telescope.
All the space that surrounds an antenna helps to increase its equivalent noise temperature, according to its directive characteristics. If the antenna has secondary lobes of too high a level, when directing the main lobe toward a given region of space the antenna’s temperature may receive a non-negligible energy contribution from other directions, in particular from the soil (very extended and warm object with a brightness temperature of the order of 240 □ 300K). If the antenna of a radio telescope is oriented toward the sky, it can pick up thermal radiation from the soil only through its secondary lobes with a contribution depending on their width compared to that of the main lobe.

The following figure shows the track (simulated and real) of the Moon transit (flux of the order of 52600 Jy a 11:2GHz) ”seen” by an amateur radio telescope and a parabolic reflector antenna for TV-SAT of 1:5 meters diameter (beam width under 1:5 degrees). To highlight the effect of distortion created by the antenna on the spatial brightness profile of a region of the sky, we simulated the response of the instrument approximating the antenna as a circular opening uniformly illuminated. The graphs show, superimposed for clarity of representation, the tracks of the brightness temperature profile of the Moon (apparent diameter of about half a degree), and the corresponding antenna temperature measured by the radio telescope during the transit of the radio source (ideal theoretical conditions). There are also shown the radiometric responses of the radio telescope, expressed in arbitrary units of ADC count [count], of the simulated transit and a ”true” one.

It’s easy to understand how this problem is particularly relevant for amateur radio telescopes that use individual small antennas, with amplitudes of the reception lobe comparable to the angular dimensions of radio sources like the Sun and the Moon, or much larger compared to all other radio sources that can rightly be considered ”punctiform” when ”seen” by these small instruments.





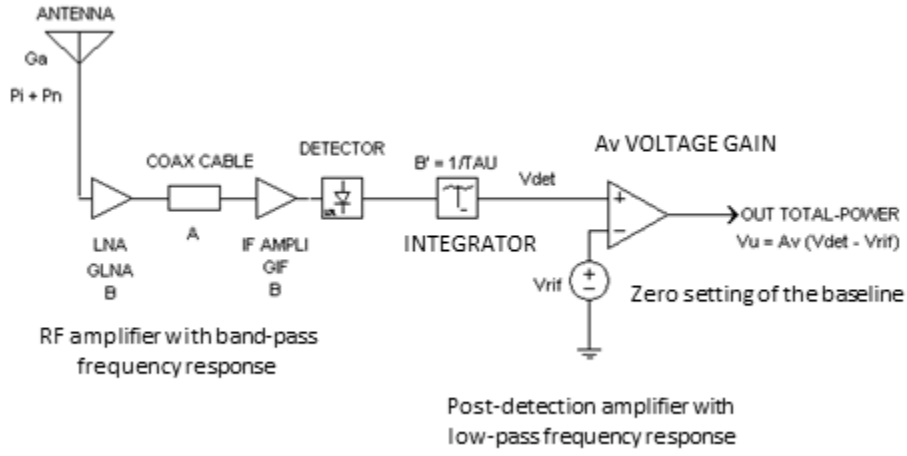
The profile of the Moon’s temperature detected by a radio telescope (antenna’s temperature) during a transit is different from the ”true” profile of its brightness temperature given that the measurement process performed by the antenna is a convolution between the real brightness temperature of the scenario observed and the shape of its reception diagram.

The antenna of a radio telescope ”dilutes” the distribution of brightness observed: the extent of the distortion, due to the spatial filtering characteristics of the antenna, is linked to the relationship between the angular sizes of the reception beam and the apparent ones of the radio source. No distortion occurs if the antenna reception diagram is very narrow compared to the angular extension of the source. The graphs show a comparison between the simulated recording of the lunar transit and the actual observation (performed by Mr. Giancarlo Madiai with RAL10KIT).

MICROWAVE RECEIVERS

A microwave receiver is a very sensitive receiver used to measure the electromagnetic radiation emitted by the scenario observed by the antenna (the average power of the radiation picked up by the antenna) within a specific frequency band, showing how the received signal power varies over time.

Any body with a temperature over the absolute zero emits electromagnetic energy (Planck's radiation law) over the whole spectrum, with a maximum at a frequency directly proportional to its temperature. For most of natural bodies the emission peak takes place in the infrared region. Plank's law describes the radiation of a black body, an ideal object perfectly efficient in transforming all its thermal energy in electromagnetic radiation.
In the microwave region, Planck's law can be simplified in the Rayleigh-Jeans approximation that provides a correspondence between the power of the radiant energy captured by the antenna of a radiometer and the measured temperature of the antenna, quantity that depends on the source, on the characteristics of the measuring instrument and on the surrounding environment. The temperature of the antenna will correspond to the effective brightness temperature of the scenario observed (which is an emitting characteristic typical of the source) only in ideal conditions, so when the antenna beam is very narrow with respect to the spatial distribution of brightness observed and when the noise contributions coming from its secondary lobes (soil, interfering sources) are insignificant. For this reason in radio astronomy it is convenient to express power in terms of brightness temperature of an object (expressed in Kelvin) to indicate the amount of its thermal radiation.
It is always possible to define a black body temperature (called brightness temperature) that radiates the same power of the one dissipated by a terminating resistor connected to a receiving antenna. The radiometer then behaves like a thermometer that measures the brightness temperature of the sky scenario observed.



The simplest microwave receiver includes an antenna connected to a low noise amplifier followed by a quadtratic carachteristic detector providing the "useful" information, which is the power associated to the received signal. To reduce the contribution of the statistical fluctuations of the revealed noise, and then optimise the sensitiveness of the receiving system, there follows an integrating block (basically a passband filter) which calculates the time average of the measurement basing on a determined time constant.
The signal at the integrator's output, then, is an almost continuous component due to the average value of the receiver background noise on which small variations are superimposed (typically of much lower amplitude than that of the stationary component) caused by the emission of radio sources. This device is called total power receiver because it measures both the power of the radiation captured by the antenna and the system's background noise. Using a differential circuit of post-detection, if the receiver parameters are stable, you can only measure the power variations due to radiation from the antenna, eliminating the almost continuous component of the internal noise.
Actually, a total power radiometer uses a typical frequency conversion circuit (heterodyne) where the signal picked up by the antenna, amplified and filtered by low noise electronic devices, is applied to a multiplier (mixer) which, supplied by a sinusoidal signal from a local oscillator (OL), performs the translation in frequency (downwards) of the received signal. So it will be technically easier to define the bandwidth of the receiver and amplify the signal before the detection.

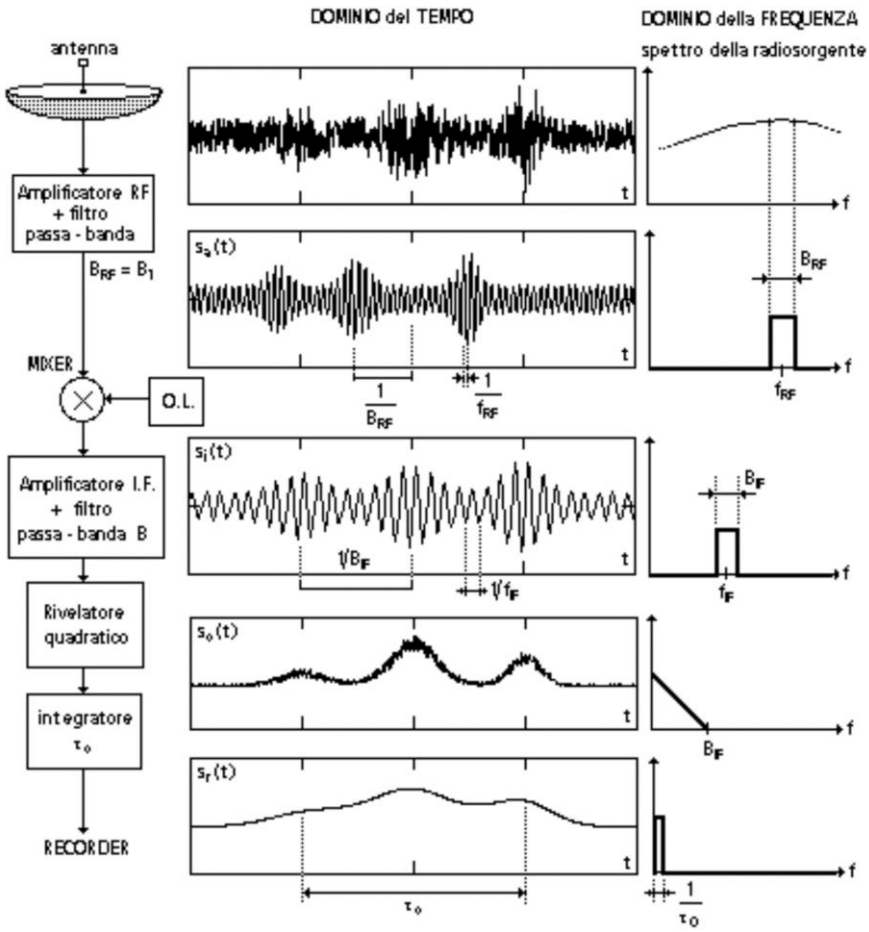
The following figure shows a schematization of the signals during the computing process in the various stages of a total power frequency converter receiver.
The process of quadratic detection and the subsequent integration does not preserve the spectral characteristics of the signal: they provide a single value that represents its average power within the receiver passband. If you use stable and broadband receivers (the amplification factor of the system and the characteristic of the detector should not change during the measurement) you will reach very high sensitivity, also thanks to the possibility of integrating the detected signal with long time constants, assuming that the phenomena that is being studied is sufficiently stationary in time.
It is possible to determine the theoretical sensitivity of a total power receiver, then evaluate the slightest change in the noise equivalent temperature ΔT measurable by the system, using the *radiometer equation*:

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{\tau \cdot B}}$$

where

$$T_{sys} = T_a + T_r = T_a + T_0 \cdot (F_r - 1)$$

is the noise temperature of the radio telescope, T_a is the noise temperature of the antenna, T_r is the noise temperature of the receiver (T_0=290 K e F_r is the noise figure of the receiver), τ is the time constant of the integrator (expressed in seconds) and B is receiver bandwidth (in Hz). The temperatures are expressed in K. Any radio source ”seen” by the antenna will produce a slight change in the antenna temperature T_a which represents our ”useful signal”.



Changes in the signal picked up by the antenna while it is processed by the various stages of a Total Power Receiver (radiometer). To the left are described the signals as a function of time at a given frequency, to the right is shown the variation of power as a function of frequency (spectrum). The block diagram of the receiver represents a frequency conversion structure: the received signal is shifted in frequency (downwards) through a mixer driven by the local oscillator (OL). At the mixer output can be found an intermediate frequency signal (IF) subsequently amplified, detected and integrated.

To optimize the performance of the radio telescope is desirable to minimize ΔT acting on the system parameters T_a, T_r, B in the receiver's designing phase, and on the integration time τ in the setting of the operating parameters during the operation of the system. You can make ΔT smaller making sure that T_{sys} is minimal, or that B and τ are as large as possible. Once the receiver parameters are fixed, like the noise temperature of the system and its passband, the sensitivity can be optimized choosing a proper value for the integration constant of the detected signal. To increase this parameter means to apply a gradual filtering and "leveling" on the variability of the phenomena observed: changes in the signal duration of less than τ are "concealed" and the information on the temporal evolution of the quantity studied can be altered (or lost). For a correct registration of phenomena with own variations of a certain duration it is essential to establish a value for the integration constant sufficiently smaller than such duration. If you observe, for example, a radio source with little apparent diameter that crosses the main lobe of a radio telescope (transit instrument) at a certain time, it is not possible to integrate the detected signal with a too large time constant, without changing the received signal strength and the location of the radio source (apparent time of transit).
The main problem of radiometric measurements concerns the instability of the receiver parameters with respect to variations in ambient temperature. If the overall amplification of the instrument is very high, typically greater than 100 dB, it is easy to observe fluctuations in the output signal, due to minimal variations in the receiver parameters, which produce ambiguity and limit the sensitivity and accuracy of the measurements. This problem can be partially solved, with satisfactory results in amateur applications, by thermally stabilizing the receiver and the external electronic unit (LNB) placed on the focal point of the antenna, therefore more exposed to daily temperature variations. It is also possible to develop thermal drift compensation procedures in retrospect on the acquired data, measuring the internal temperature of the instrument, characterizing the behavior of the receiver with respect to daily temperature variations and implementing a compensation algorithm on the acquired radiometric samples tending to minimize the variations of the instrumental response due to the temperature alone.
The RAL10TS receiver is equipped with an automatic control system of the internal temperature that optimizes the stability of the instrument in the radiometric measurement.

RAL10TS RECEIVER

In this chapter we will describe the construction of a small but efficient radio telescope based on the RAL10TS receiver: using a common parabolic reflector antenna for satellite TV in the band 10 - 12GHz, you will be able to easily measure the thermal radiations coming from the Sun and the Moon, from the interstellar medium in the galaxy and from the earth's atmosphere. This tool can be considered the starting point of amateur radio astronomy and a great "gym" to become familiar with the radio astronomy techniques. It will be possible, with a simple calibration procedure (described in the following pages), to turn the telescope into a measuring tool that estimates the brightness temperature of the scenario observed. To observe other objects you will only need to use larger antennas.
Once the few necessary connections are made (coaxial cable carrying the signal from the antenna to the receiver, USB cable for connection to the acquisition PC and power supply), you are immediately ready for radio observations.
The best experimental approach to radio astronomy always involves starting with compact, "handy" instruments that observe the most intense radio sources in the sky, such as the Sun and Moon: in this way it's easy to learn the instrumental and observation technique, you learn how to calibrate the instrument, and you understand the process of radiometric measuring, with the various issues that make the measurement difficult and uncertain. As repeatedly stressed, we are convinced that the best way to gain knowledge and expertise with radio astronomy is, without doubt, the one that involves the construction and implementation of a small telescope.

The radio telescope makes use of the following components:

- Parabolic reflector antenna for TV-SAT (diameter as wide as possible), including external unit (LNB) and illuminator;
- Coaxial cable of 75 Ω for TV-SAT;
- RAL10TS receiver;
- Aries software for the measurement acquisition and the receiver control;
- Personal Computer (PC) to handle the station.

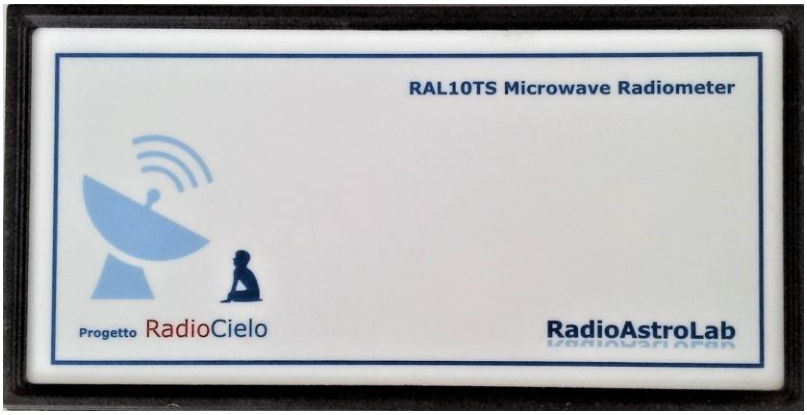
The antenna, the external unit (LNB) and coaxial cable are standard components used for the reception of satellite TV, available everywhere at low cost. There are no limits in the choice of models: with the RAL10TS receiver any device can be used.
As for the antenna, the market for satellite TV offers many choices: the most common ones are the offset type antennas, for the best performance/size ratio they offer with respect to the symmetrical circular ones. To ensure proper operation, it is essential to use kits that include, in one package, the external units (LNB) with feeds and mechanical supports suitable for the specific antenna, which assure the correct ”illumination” and the optimum focus for that kind of reflector.
Using imagination and building skills you can realize automatic tracking systems, at least for medium antennas, drawing from the radio amateur equipment market. The reduced dimensions and the lightness of this radio telescope make it possible to use a (equatorial) mounting, manual or motorized, like those normally used by amateur astronomers to support and drive the optical instruments. Also in this case there is great room for imagination and inventiveness: it is certainly possible to develop an attaching system for this mounting in order to replace the telescopic tube with the antenna of the radio telescope. Those who own and are familiar with the use of these tools, will have no difficulty in exploiting the system to handle the antenna of the radio telescope. The practicality of this solution for the measurement, by tracking, of the solar radio flux is clear. There are many examples of interesting and ingenious creations on the web. Very useful for the correct aiming and for the planning of observing sessions are the sky mapping programs that reproduce, in any location, date and time, the exact location and the movements of celestial objects with remarkable accuracy.
As mentioned, essentially all external units (LNB) existing on the market for satellite TV at 10 - 12GHz can be used, with the intermediate frequency output 950 - 2150MHz. In modern devices you can manage the polarization change (horizontal or vertical) with a voltage step, typically 12:75 - 17:25 V : the RAL10TS receiver support this feature through a control via software. A coaxial cable for TV-SAT (75 Ω) of suitable length, terminated with F-type connectors, will link the RF-IF output of the external unit (LNB) with the receiver input.
It is recommended to choose the best quality cables, with low loss. In some cases, when you observe weak radio sources or when the coaxial line is very long, you may need to enter a line IF amplifier (10 to 15 dB of gain) between the external unit and the receiver. These products can be easily found in any electronics supermarket or the best installers of satellite TV systems.

The packaging includes:

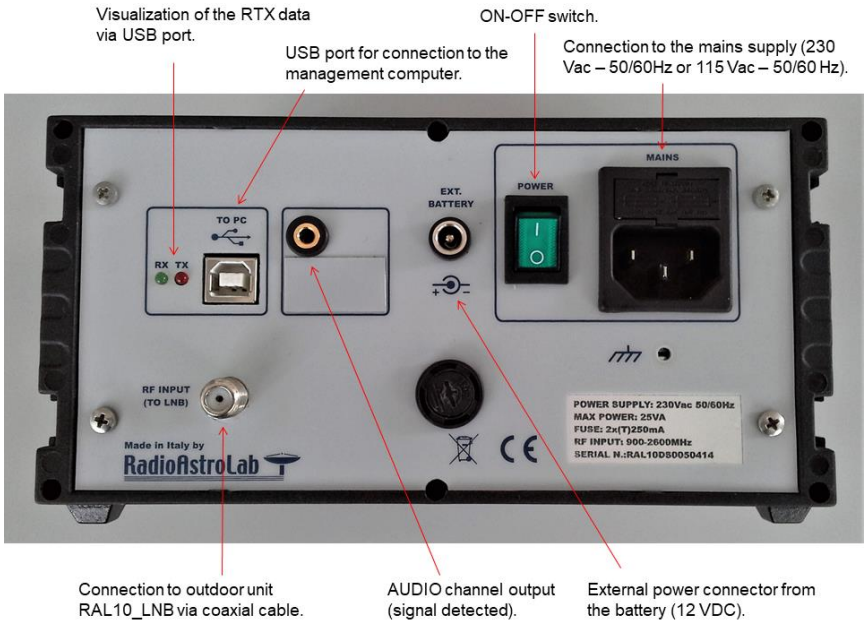
- RAL10TS receiver.
- USB cable (with USB connectors of type A and B) to connect the receiver to the station computer.
- Cable for mains connection 85 - 264 V AC / 47 - 63Hz.
- Spare fuses for the power supply from the network and for the auxiliary power supply at low voltage 12 V DC (battery).
- CD with technical documentation (user manual) of the instrument and of the software, data sheets of RadioAstroLab products, installation package for the acquisition and control software Aries.

Are excluded from the supply the external LNB unit, the 75 Ω coaxial cable and the antenna system. With RAL10TS you can use any commercial kit for satellite reception in band 10 - 12GHz (a parabolic reflector antenna and external LNB unit with illuminator) with coax cable TV-SAT with low loss of the best quality, cut to the length you need and headed with F connectors.

Specially developed for RAL10TS is the external thermostabilized RAL10_LNB unit. You can power the receiver with an external voltage source at 10 - 12GHz: this option is useful in the ”on the field” measuring sessions where the mains voltage is not available.



RAL10TS receiver front and rear panel. The instrument can be controlled remotely through the serial communication channel: a USB port connects the RAL10TS to the station computer that, using the software Aries, acquires and displays the radiometric data.



The figure on page 45 shows a block diagram of the radio telescope: the external LNB unit, installed on the antenna focal point (that receives the radiation of the sky at 11.2GHz), is connected to the receiver RAL10TS via coaxial cable. The power for the external unit is supplied by the receiver through the cable and you can control the polarization on reception by switching the voltage jump. A fuse accessible from the rear panel protects the instrument against accidental short-circuits on the cable.

On the rear panel of the instrument the following connections will be found:

- USB interface (B-type) for the connection with the PC: a green led (RX) and a red led (TX) display the serial data flux.
- F type coaxial connector for the connection with the LNB external unit.
- AUDIO output (signal detected) with 3.5 mm stereo mini-jack.
- Optional power socket for an external source (12 V DC) EXT. BATTERY, an alternative to the mains, useful for ”on the field” measuring sessions. The connection jack for external power supply to 12 V DC has the central terminal connected with the positive (+) and the external terminal connected with the negative (- GND) of the supply voltage.
- Protection fuse for the supply of the LNB external unit via coaxial cable.
- ON-OFF switching of the mains supply POWER (does not act on the optional power supply from the external battery).
- General power supply from the MAINS 85-264 V AC / 47-63Hz, with protection fuses.

ATTENTION: make the connections between the external LNB unit and RAL10TS with the device switched off and the power supply cable unplugged. Before powering the unit, to avoid damages to the internal power supply, check that there are no short-circuits between the outer shield of the coaxial cable and the inner core. A fuse, accessible on the rear panel, protects the instrument against accidental short-circuits.

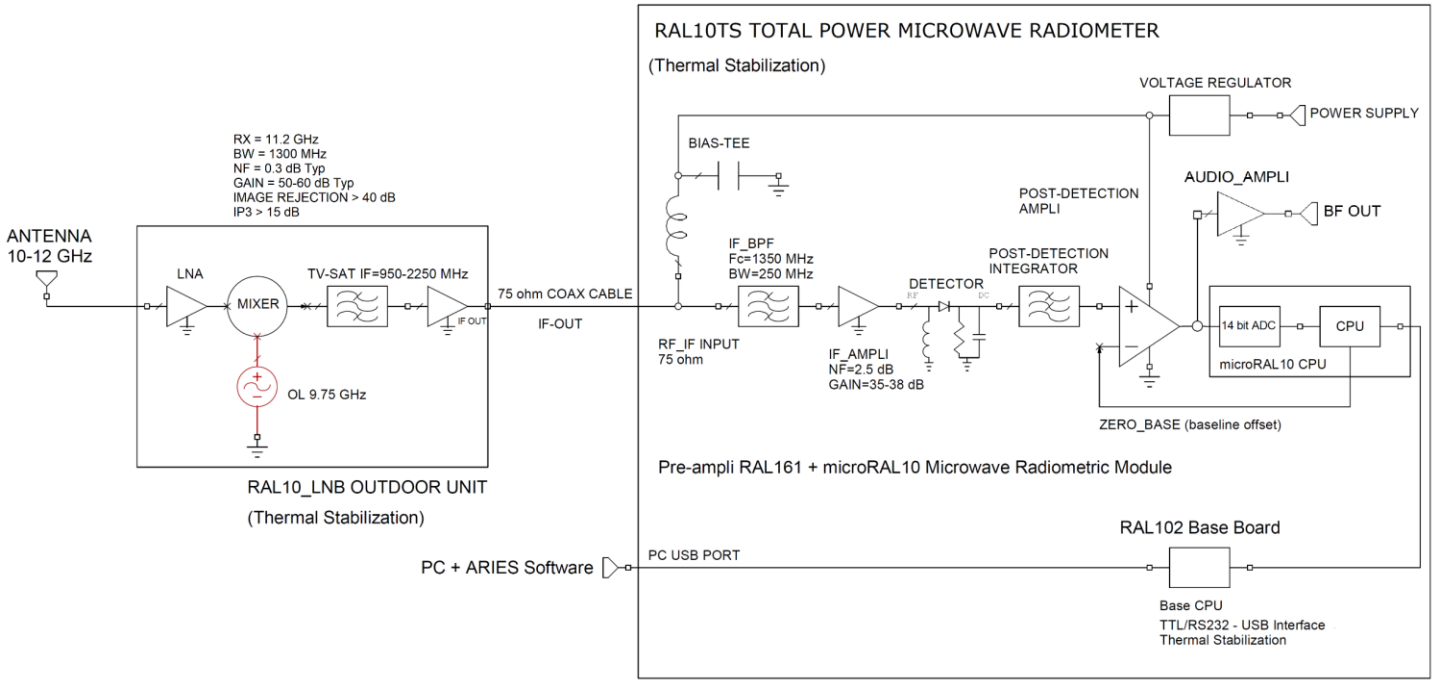
The performance of the instrument depend of the effective area of the antenna used and the temperature changes experienced by the external unit LNB. Interesting radio astronomical observations are possible only when using antennas of large effective area: there are no limits regarding the antenna size, if not the economic, practical and installation issues related to the support and orientation structure. The outdoor unit RAL10_LNB is an ideal component to associate with RAL10TS to build a semiprofessional radio telescope .
After installing the antenna and the external LNB units on the reflector dish, and having connected the descent coaxial cable to RAL10TS, you connect the USB cable to the computer station where the software Aries was previously installed. The receiving station is now operational, ready to record observations with automatic data acquisition.

WARNING: The correct focus of the external unit LNB (with feed) is verified by moving the device back and forth along the antenna axis to obtain the maximum signal from an intense radio source such as, for example, the Sun.

The RAL10TS receiver is very sensitive when equipped with an antenna large enough. The tool is thermo-stabilized (with an automatic control of the operating temperature) so as to minimize the drift of the receiving system, optimizing the accuracy and the repeatability of the measurement. **Further improvement in performance is obtained by stabilizing thermally also the external unit LNB (Low Noise Block), subject to the daily excursions that cause variations of the amplification factor with the temperature.** For this reason we have developed the external RAL10_LNB unit, equipped with an automatic control of the internal temperature. The device is available as an accessory.

TECHNICAL DESCRIPTION

In the previous paragraphs we have described the basic characteristics and the structure of a Total-Power radiometer : now we will deepen the concepts with the reference to the RAL10TS receiver.
The following figure shows the block diagram of the radio telescope with its main components.
The radio signal received from the antenna, amplified and converted in frequency by the external unit (LNB), is transferred to the RAL10TS receiver which measures its power. The level of the revealed signal is adapted to the acquisition dynamic of the internal analog-to-digital converter (ADC with 14 bit resolution) which ”digitalizes” the radiometric information. In a Total-Power radio astronomy receiver, the measurement involves the acquisition of small changes in the received signal due to the radio source, superimposed to an almost-constant component, of very larger amplitude, introduced by the instrumental noise. To evaluate only the ”useful” signal you need to subtract the background noise contribution from the revealed signal : it is therefore generated ad offset voltage *zero_base* which is used to position the level of the radiometric base line at a suitable point of the acquisition scale.
RAL10TS, run by a couple of microprocessors, elaborates the revealed signal, sets the reference for the base line, the post-detection gain and the constant of integration of the measurement, forms the serial data packet for the communication with the station computer and stabilizes the internal temperature, a very important option to optimize the quality and repeatability of measurement of the radiometer. Via the USB serial communication channel is possible to remotely control the instrument. A dedicated serial command, managed by the Aries software, saves the operating parameters of the receiver in the internal non-volatile memory: every time the instrument is turned on, the optimal working conditions, obtained after calibration, will be restored, depending on the characteristics of the receiving chain and the scenario observed. If there are measures required where the supply voltage of the power is not available, you can link to RAL10TS an external power source at 12 V DC.



By connecting a male-to-male audio cable with 3.5 mm stereo mini-jack from the RAL10TS post-detection audio output to the input of an external amplifier or PC sound card, you can hear the noise detected for monitoring purposes. This signal, proportional to the power density of the received signal, can be studied in the frequency domain using one of the many free programs downloadable from the web that display spectrograms in the audio band. As you can see from the block diagram, the audio output is taken after the post-detection amplifier, so its level depends on the calibration of the radiometric baseline. It will be possible to observe the radio source from two ”points of view”: the total-power radiometric recording acquired by the Aries software through the USB port and the spectrogram analysis that shows how the frequency distribution of the detected signal varies, signal revealed, then the power density of the received signal, exploiting the available signal to the audio output. Through the PC speakers you can hear the noise associated with the received signal.

As repeatedly stressed, you can optimize the performance of a radio telescope Total-Power using an antenna with a large effective area run by a motorized driving system controlled by the station PC (automatic pointing and tracking) and by thermally stabilizing the external LNB unit so to reduce the fluctuations of the amplification factor due to temperature changes. The greatest commitment to the implementation of an amateur radio telescope derives just from the installation of the antenna system which, with its dimensions and the complex mechanical structures, requires availability of spaces, operational skills and adequate financial possibilities.

RAL10TS TECHNICAL FEATURES

Dimensions:	about 200mm (lenght) X 100mm (height) X 155mm (depth)
Weight:	about 1.5 Kg
Operating frequency of the radio telescope (with standard LNB for TV-SAT 10-12GHz):	11.2 GHz
Input frequency RAL10TS:	1350 MHz
Typical receiver bandwidth:	250 MHz
Typical gain of the RF section:	35-38 dB
Type-F connector for the RF input:	impedence 75 Ω

Quadratic detector with temperature compensation for the measurement of the received signal power);
Offset setting for the radiometric baseline;
Automatic calibration of the radiometric baseline;
Programmable gain of the post-detection voltage;
Programmable integration constant (from about 0:1 seconds to 113 minutes);
Storage of the receiver operating parameters in the non-volatile internal memory;
Acquisition of the radiometric signal and measuring of the temperature: nominal resolution ADC 14 bit;
Handling of the polarization change (horizontal or vertical) in reception;
N. 2 microprocessors for the receiving system control;
Post-detection AUDIO output via standard 3.5 mm mini-jack socket;
Internal temperature stabilization with PID PWM regulator (about 40°C) and protection for the maximum temperature;
USB port for the serial communication with the proprietary protocol;
Power supply from Mains 85 - 264 V AC / 47 - 63Hz, 36W - 12 V DC via external source.

Although the most common use of the RAL10TS radiometer is with antennas and external unit (LNB) for the Satellite TV band 10 - 12GHz (thus realizing a radio telescope at 11.2GHz), the tool is perfect as the final stage of a receiver operating also at other frequencies, if preceded by amplifier units - specific frequency converters for a given reception band. Obviously, the output bandwidth of such devices must be compatible with the input frequencies of RAL10TS.

If the telescope does not work at too high frequencies, it is possible to eliminate the external converter-amplifier LNB block thus building a direct conversion amplifier: the signal collected by the antenna will be amplified with low noise and filtered to operate at the set frequency with the desired passing band. Since the RAL10TS input amplifier is broadband, you can insert an external group of amplifiers with bandpass filters ”cut” for the desired operating frequency, overseeing the effective ”cleanliness” of the chosen spectrum area compared to natural and man-made interference signals.

RECEIVER’S OPERATING PARAMETERS

We will now describe the receiver’s operating parameters, as shown in the control program Aries, and their meaning.

RAL10TS measures the radiometric quantity $$rad = v_{det} \cdot (1 + G) \cdot gain - v_{rif} \cdot G \cdot gain$$

where v_{det} is the revealed radio signal, G is a fixed gain factor (equal to 20), v_{rif} is a calibration signal (proportional to value of the zero_base parameter) needed to set the radiometric baseline in a convenient point of the measurement range, *gain* is the post detection gain.

On the quantity *rad* first moving average is calculated, using 2^{time_cost} signal samples (with $0 \leq time_cost \leq 8$, , primary integration constant), equivalent to an integration that reduces statistical fluctuations of the detected signal and optimizes the sensitivity of the radiometer. Additional moving average is calculated on $2^{integrator}$ samples (with $\leq integrator \leq 8$, secondary integration constant): by setting the *time_cost* and *integrator* you can obtain very long integration times, useful to increase the sensitivity of the system when they you ”observe” celestial objects with relatively stationary emissions.

The meaning of the RAL10TS parameters is the following:

- *rad*: is the radiometric response of the receiver, expressed in generic counting unit of the internal analog-to-digital converter [count_ADC]. It is a number with resolution equal to 14 bit (variable from 0 to 16383).
- Primary integration constant of the radiometric measurement: 0 ≤ *time_cost* ≤ 8. The measure is the result of a moving average calculation performed on 2^{time_cost} samples of the *rad* signal.
- Secondary integration constant of the radiometric measurement: 0 ≤ *integrator* ≤ 8. The measure is the result of a moving average calculation performed on $2^{integrator}$ samples of the rad signal, previously mediated by the primary integration.

As described previously, to reduce the statistical fluctuations in the response of the radiometers, and then improve the sensitivity of the measurement, you can use a high value for the time constant of the receiver when the phenomenon to be observed is relatively stationary.
The *time_cost* and *integrator* parameters represent the integration constants of the radiometric signal: they are linked to the time constant τ of the receiver taking into account the sampling period of the revealed signal, of the acquisition time of the ADC and the number of samples used to calculate the moving averages. It is possible to estimate a relation between the set values for these parameters and the effective time constant (expressed in seconds) using the following formula:

$$\tau = 0.104 \cdot 2^{time_cost} \cdot 2^{integrator} \ [s]$$

getting time constants ranging from about 0:1 seconds up to about 113 minutes.

- Post-detection gain (in tension): 1 ≤ *gain* ≤ 10. The effective values of the gain are 2, 2.27, 2.67, 3.20, 4, 5.33, 8, 16, 24, 48 when you set the symbolic values 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. This data can be memorized using the MEM key on the software Aries.
- Polarization in reception of the receiver: *A POL* (horizontal polarization), *B POL* (vertical polarization). The value of this parameter can be memorized using the MEM key on the software Aries.
- *zero_base*: it is a 16-bit value (variable from 0 to 65535) proportional to the reference tension used to set a convenient offset on the baseline. It is possible to automatically fix the zero_base using the CAL BASE key on the software Aries, in order to place the received signal in the middle of the measurement scale. This data can be memorized using the MEM key on the software Aries.

After turning on the instrument, follow the instructions given in the user manual of the Aries program for the settings of the operating parameters.

The inner temperature of the receiver is measured through a sensor. The activity of the internal heater is signaled on the display of Aries: the operating temperature is reached (about 45° C),on average, half an hour after switching on the instrument.
The performance of RAL10TS are influenced by the ambient temperature: it is advisable to make the settings at least one hour after the switching on, when the internal electronic circuits are stabilized at the operating temperature.

The main factor that limits the stability of the radiometric response is the thermal excursion experienced by the external unit LNB: these temperature variations cause minimal changes in the front-end gain, sufficient, however, to cause significant fluctuations in the reference level, given the significant amplification of the receiver. You get the best performance from the radio telescope when the system is thermally stabilized. This condition is crucial for the quality of measurements. For these reasons we have developed the external unit RAL10_LNB, equipped with an automatic control of the internal temperature. The device is available on request as an accessory.

When the receiver is thermally stabilized and the antenna is oriented towards a cold ”region” of the sky (free from radio sources such as, for example, the celestial north pole), the calibration level of the radiometric baseline represents the reference value of the response according to which the signal increases due to the flux received from radio sources will be recorded.

WARNING: the receiver does not control the external accumulator supply voltage when using the EXT. BATTERY socket. It is essential that the operator verifies the actual state of the battery charge and provides for the measurement session to end when the battery is low.

SETTING OF THE OPERATING PARAMETERS

The signal width at the output of the radio astronomy receiver is proportional to the power associated with the radiation received, so to the brightness temperature of the sky region ”seen” by the antenna. Our radio telescope acts as a sensitive thermometer of the cosmos. If the antenna is oriented toward a clear and dry region of the sky where radio sources are absent, the instrument measures a very low noise equivalent temperature, generally of the order of 6 - 10K (the so-called ”cold” sky), corresponding to the minimum measurable temperature of the sky. By directing the antenna towards the ground the temperature rises considerably, up to values of the order of 300K. This simple procedure illustrates, even if in a rough and simplified way, the technique usable to calibrate the telescope and represents a great test to verify the efficiency of the instrument.
When a typical amateur radio telescope is oriented toward the Sun, which at 11.2GHz frequency appears as a disk of about half a degree and radiates like a black body with brightness temperature almost equal to the superficial one (about 6000K), the antenna temperature measured by the instrument is of the order of 300 - 400K, a considerably lower value than the ”real” one. The radiation of the cosmic background, captured in good proportion by the most external crown of the antenna lobe, ”dilutes” the powerful solar radiation if the antenna beam is ample as much as to gather a significant contribution of it, and decreases the amplitude of the signal received as if it came from a source with far lower temperature than the actual one.
In the previous paragraphs we illustrated the effects of distortion caused in the shape of the reception diagram of an antenna on the ”real” distribution in brightness of the observed scenario.
In this paragraph we will suggest how to set the parameters of the receiver before starting a radio astronomy observation.
The first thing to do is to power up the receiver and wait until the instrument has reached thermal stability. The instability of the system (the main problem of total power radiometers) is mainly caused by changes in ambient temperature and in the radiometer internal temperature: before starting any measurement is advisable to wait at least an hour after the switching on of the instrument to allow the reaching of the operating temperature in the electronic circuits’ system. This condition is checked by observing a long-term stability of the radiometric signal when the antenna points a ”cold” region of the sky (absence of radio sources): the fluctuations displayed by the graphic track on the software Aries are minimal.
The GAIN amplification factor should be set on intermediate values (typically *gain* = 7). Each installation will be characterized by different performance, being unpredictable the characteristics of the external components (antenna and LNB) chosen by the users. You may adjust the value of this parameter starting with minimum test values (to avoid saturation of the receiving system), and subsequently optimizing it with repeated scans of the same region of the sky. To observe the Sun is advisable to choose *gain* = 7 (or lower values if the signal tends to saturate), to observe the Moon is better to start with *gain* = 10. However, these settings are highly influenced by the antenna dimensions and the characteristics of the external unit (LNB) and should always be checked carefully.

Once found the appropriate values for the amplification factor, you can adjust the integration constants *time_cost* and *integrator* to stabilize the measurement. It would probably be better to begin with minimum values, adequate in most cases. As we have seen, it is possible (and desirable) to improve the measurement sensitivity, at the cost of slower system response and lags behind the signal changes, by adopting a longer time constant: we recommend to increase the value of these parameters during the observation of radio sources with relatively stationary emissions. When recording rapidly varying phenomena or of transitory nature (as, for example, the microwave solar eruptions), it will be appropriate to select the minimum value. It's always possible to further increase the integration of the received signal by adjusting the value SAMPLING in the software Aries.

The zero_base parameter defines the reference level (offset) of the radiometric baseline: its proper setting depends on the global amplification of the receiver. As a general rule, you should define zero_base so that the minimum signal level corresponds to the "cold sky" (ideal reference) when the antenna "sees" a region without radio sources: an increase over to the reference will indicate the presence of a radio source. The location of the baseline on the measuring range is a function of the gain amplification factor and of the value set for zero_base: if the signal tends to move outside of the measuring range (start-scale or end-scale) because of the internal drifts, it will be necessary to manually change the value zero_base or to activate the automatic calibration for the radiometric baseline so as to position the track correctly.

If you use suitable external units (LNB), you can change the polarization in reception to observe radio sources where an emission with a polarized component is predominating. In most of the observations accessible to the amateur the radio sources emit with random polarization: in these cases it may be useful to change the polarization to minimize any interference of artificial origin.

When purchasing commercial products for satellite TV reception the position of the illuminator (integrated with the external unit LNB) is generally fixed along the antenna focal line. If it was mechanically possible and you want to improve the performance of the radio telescope, you should orient the antenna in the direction of a sample radio source (like the Sun) and toggle back and forth the illuminator position along the axis of the parabola in order to register a maximum intensity signal. Repeated measures and lot of patience help to reduce errors.

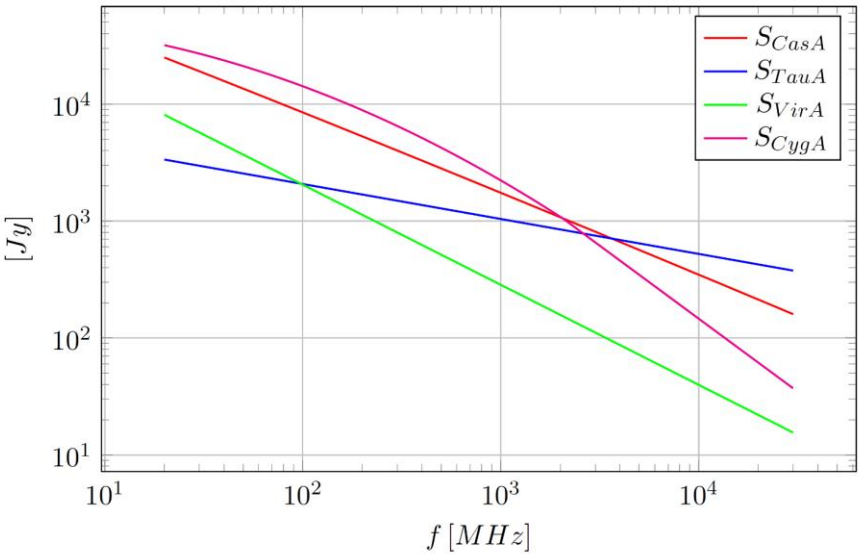
The confirmation for a correct setting of the receiver parameters requires some test observations. This procedure, normally adopted also by professional radio observers, allows you to "tune" the telescope so that the dynamics of its response and the scale factor are adequate to record the observed phenomenon without errors. If properly performed, this initial setting (necessary especially when longer periods of observation are foreseen) will adjust the gain and offset of the scale for a correct measurement, avoiding risks of signal saturations or resets with consequent loss of information. After the initial setup, it will be preferable to store the radiometer settings by using the appropriate command.

The simplest radio astronomy observation involves the orientation of the antenna to the south and its positioning at an elevation as to intercept a specific radio source during its transit to the meridian, that is, the apparent passage of the source for the local meridian (the one containing the poles and the installation point of the radio telescope). By setting in the acquisition software Aries a sufficiently slow period of sampling (for example, a screen every 24h), you can verify if, during the day, the antenna intercepts the radio sources desired, and if the values chosen for the parameters are suited for the observation. You might have to increase the amplification factor to visualize details on the track, or to change the level of the base line to avoid that, at some point on the graph, the signal is out of range. After the setup procedure you can start long and automatic recording sessions, even unattended.

Some of the objects observable with the radiometer RAL10TS, when equipped with a sufficiently large antenna (at least 2 meters of diameter), are:

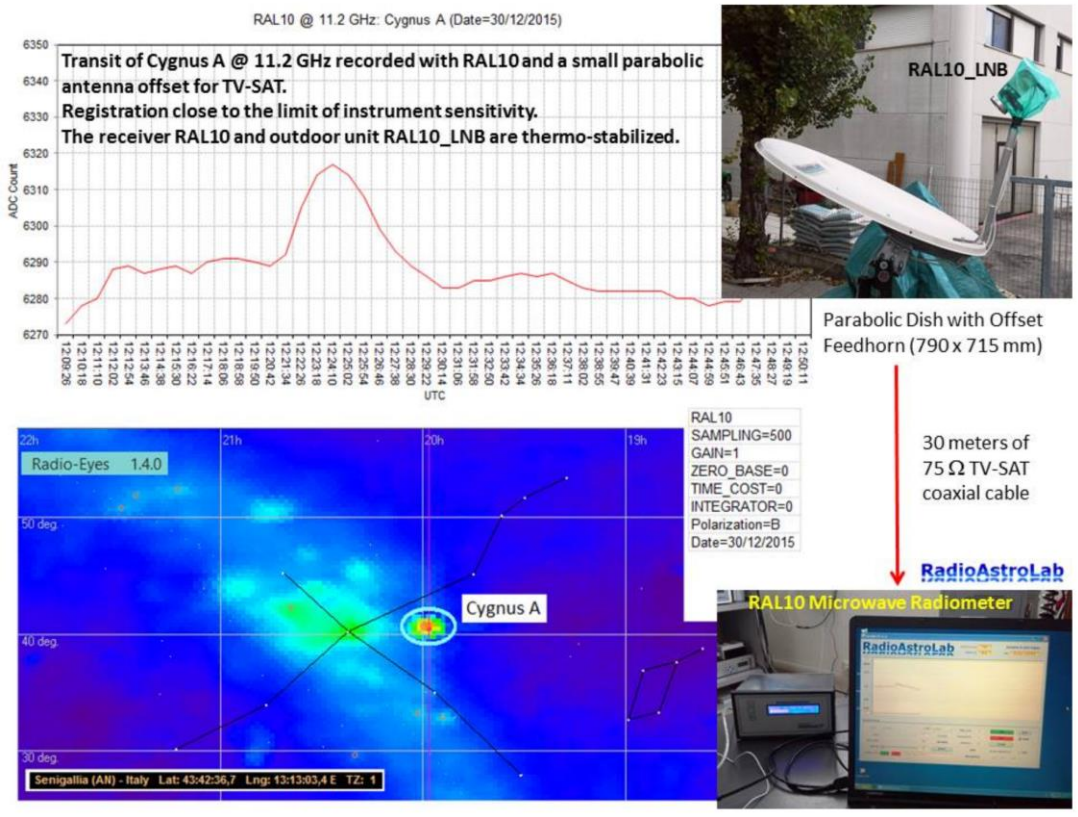
- SOLE: flux 2620000 Jy at the frequency 11.2 GHz;
- LUNA: flux 52500 Jy;
- CASSIOPEA A: flux 423 Jy;
- M17: flux 550 Jy;
- TAURUS A (M1): flux 506 Jy;
- ORION A (M42): flux 480 Jy .

The following figure shows spectrums of the main radio sources accessible from our radio telescopes.



Radiosorgente	30 MHz	150 MHz	1420 MHz	10 GHz
Cassiopeia A	$2.76 \cdot 10^4$	$8.53 \cdot 10^3$	$1.65 \cdot 10^3$	392.95
Taurus A	$2.97 \cdot 10^3$	$1.84 \cdot 10^3$	938.57	523.6
Virgo A	$5.74 \cdot 10^3$	$1.45 \cdot 10^3$	211.17	39.72
Cygnus A	$2.71 \cdot 10^4$	$1.09 \cdot 10^4$	$1.56 \cdot 10^3$	146.22

Cygnus A is a (elliptical) radio-galaxy, 600 million light years far, one of the most intense radio sources in the sky. The object is in the Cygnus constellation: although relatively distant (300 times farther away than the Andromeda galaxy), it is a very powerful radio source, given that it hides in its core a black hole generating an enormous quantity of energy. The small radio telescope shown in the figure (using the RAL10TS receiver) revealed, at the limit of the instrument sensitivity, the radio emission of Cygnus A.



Cygnus A

RadioAstroLab s.r.l.
60019 Senigallia (AN) - Italy
T +39 071 6608166
F +39 071 6612768
www.radioastrolab.it

Spectral parameters of main calibrators

Source	Frequency interval	Spectral parameters $\log S[\mathrm{Jy}] = a + b \log \nu\,[\mathrm{MHz}] + c \log^2 \nu\,[\mathrm{MHz}]$					
		a		b		c	
CasA 1965.0	22 MHz...300 MHz	5.625	±0.021	−0.634	±0.015	−0.023	±0.001
	300 MHz... 31 GHz	5.880	±0.025	−0.792	±0.007	—	
CasA 1980.0	300 MHz... 31 GHz	5.745	±0.025	−0.770	±0.007	—	
CygA	20 MHz... 2 GHz	4.695	±0.018	+0.085	±0.003	−0.178	±0.001
	2 GHz... 31 GHz	7.161	±0.053	−1.244	±0.014	—	
TauA	1 GHz... 35 GHz	3.915	±0.031	−0.299	±0.009	—	
VirA	400 MHz... 25 GHz	5.023	±0.034	−0.856	±0.010	—	

Riferimenti:

Astron. Astrophys. 61, 99—106 (1977)

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

The Absolute Spectrum of Cas A;
An Accurate Flux Density Scale and a Set of Secondary Calibrators

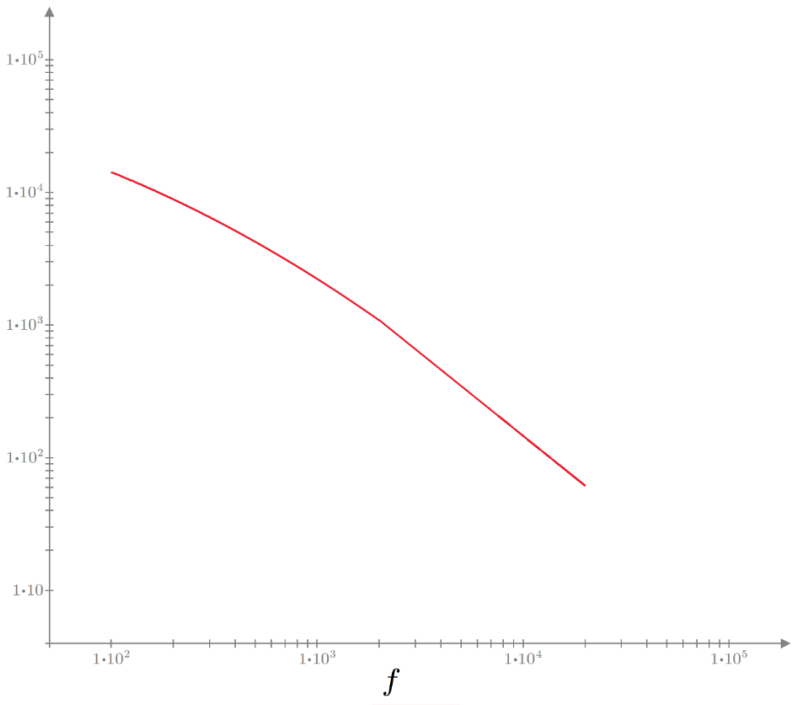
J. W. M. Baars, R. Genzel, I. I. K. Pauliny-Toth and A. Witzel
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, D-5300 Bonn, Federal Republic of Germany

Received April 4, 1977

$f := 100 \,..\, 20000$ [MHz] Intervallo spettrale nella banda radio.

Densità di flusso di CYGNUS A quando la frequenza è espressa in [MHz]:

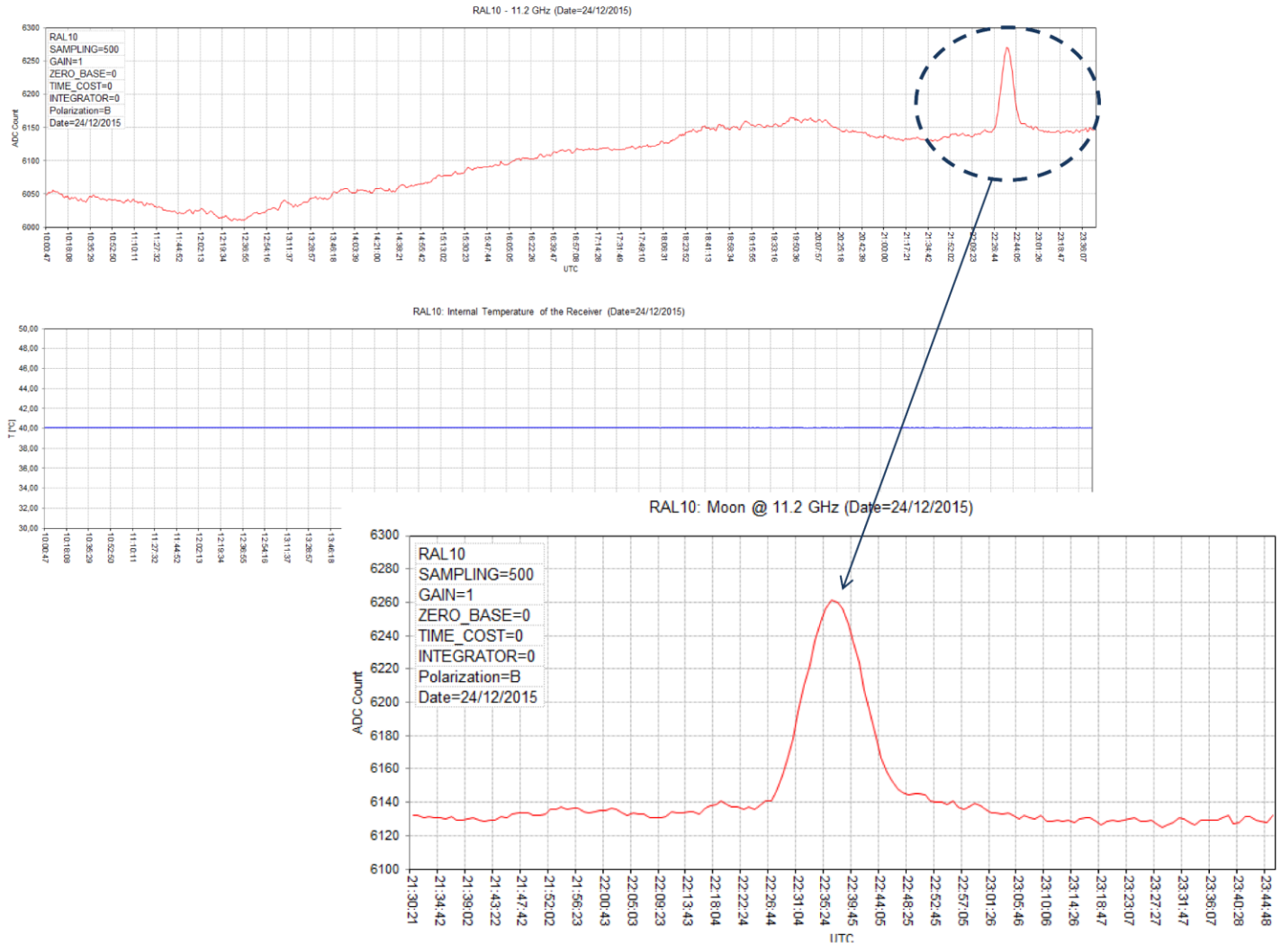
$$S(f) := \mathrm{if}\left(f < 2000,\ 10^{4.695 + 0.085 \cdot \log(f) - 0.178 \cdot (\log(f))^2},\ 10^{7.161 - 1.249 \cdot \log(f)}\right)$$



Spettro di Cygnus A

$S(11200) = 126.919$ [Jy] Densità di flusso di CYGNUS A @ 11.2GHz

Measurement session which includes the detail of the lunar transit with RAL10TS.
The experiment took place on a cloudy, humid day, with the antenna oriented in the expected position of the Moon. For the orientation of the antenna a simple manual system is used, with possible pointing errors, resulting in the reduction in the maximum intensity of the signal with respect to the expected one. La percentuale di illuminazione del disco lunare era inferiore al 50%. The percentage of the lunar disc lighting was below 50%. The external unit (RAL10_LNB) and the receiver are thermally stabilized. In the band 10-12GHz, the Moon radiates like a black body at about 200K. You can see the disturbed conditions of the sky that make it more difficult to receive microwave thermal emission of the Moon, given the significant noise "platform" (background) due to the tropospheric emission (overcast sky with rain clouds). A small percentage of the background radiation also comes from the Galaxy.



THE CONTROL AND ACQUISITION SOFTWARE ARIES

Designed to optimize the "robustness" and the communication flexibility typical of the RAL10 series receivers, the program checks the operating parameters of the radiometer: in the style of a graphic recorder, Aries displays the evolution of the measurements in time and stores the acquired information in different ways and formats. The variation of the acquired data is displayed in function of time as a mobile red track, represented in a rectangular diagram where the abscissa is the time variable (expressed in Local Time or UTC time) and the ordinate is the intensity of the signal expressed in relative units ADC_count.

Given that, at present, it is not possible to handle a signal calibration procedure of the received signal in absolute units of brightness temperature, the radiometric signal strength is displayed on a scale of counting units of the internal analog-to-digital converter (ADC). This scale ranges from 0 to 16383, since the measurement resolution of the instrument is equal to 14 bit.
With Aries you can check quickly and easily all the parameters of the receiver, or handle different and simultaneous measurement sessions with multiple devices (even of the same type) connected to a single PC: the communication protocol implemented in the instruments and the interface of Aries provide very reliable communication management, perfect even in applications involving continuous measurements for a long time and in unattended locations.
Designed as a data acquisition system for amateur radio astronomy stations, Aries includes everything you need to handle and display the measurements of observations, with various setting opportunities for the graphic scales and the operating parameters. The ability to automatically record the data and to set appropriate alarm thresholds when events occur in the measured signal, ensure ease and versatility in the management of the radio astronomy station.
The figure on page 4 of this manual shows the main console for the visualization and control of the software: it is a graphical window that displays the trend over time of the radiometric signal acquired and the internal temperature of the instrument. There are the most frequently used control buttons in the data acquisition management, in the graphical representation of measurements and the automatic data logging.
The program works on Microsoft Windows x86 and x64 platforms (minimum requirements Windows XP SP3), Mac OS and Linux environments.
A special window contains the commands required to set the parameters of the instrument: you can see the buttons for selecting the polarization in reception, the sliders and boxes for the setting of post-detection gain, for the offset of the radiometric baseline and for the setting of the constant of integration of the measurement, and the commands for the control of the internal temperature. It is possible to select after how many samples received the measure must be updated by choosing the sampling period SAMPLING,
function which includes the calculation of the average value of acquired samples, so a further integration of the signal in addition to the one established by the primary and secondary integration constants: the program will update the graphic tracks after acquiring the number of samples set, then will calculate the average over that number.
The CAL key activates the automatic calibration of the baseline (”zero” reference) for the radiometric measurement. It is possible to save the operating parameters in the internal non-volatile memory of the receiver via the MEM key: in this way, every time you power the radiometer, the optimum operating conditions are restored, chosen after appropriate calibration depending on the receiving system characteristics and the observed scenario.
Using the zoom buttons of the Y-axis you can increase or decrease the axis of ordinates resolution while moving the arrow buttons up and down to place the track on the chart so that it is fully visible in all its dynamic range (this is, essentially, the command that enables the translation of the entire track along the Y-axis). Similarly, you can zoom on the time axis (abscissa) using the corresponding buttons, also changing the scroll speed of the track. The maximum speed settable is sixty seconds per screen: the track will take a minute to cover the entire graphic window. In the program settings menu you can choose the format of representation of time (in UTC or Local Time).
In addition to the simple graphical display, Aries records the measurements in various formats. You can choose to save the data in text or image format using the buttons dedicated to the data recording.
To check the progress of the received signal during a measuring session, Aries offers the ability to set two control thresholds (upper and lower) that, if exceeded by the radiometric track, will trigger a visual alarm by turning a control light red and activating an audible alarm, if desired. The thresholds are presented as two horizontal green lines on the graphic window.
More details about the features and functions of Aries can be found on the web pages of RadioAstroLab s.r.l. and in the user manual.

LIMITATION OF LIABILITY

The manufacturer declines all responsibility for any damage resulting from failure to observe the instruction manual, improper use, non-professional repairs, unauthorized modifications or use of non-approved spare parts.

BASIC SAFETY WARNINGS

When using the device, observe the following safety warnings:

- Before using the product, check for visible damage. Do not use the product if it is damaged or has fallen.
- Protect cables from damage that could be caused e.g. from sharp edges, hot spots, interlocking or crushing. In the event of damage to cables or connections, have repairs carried out by authorized specialist personnel or customer service. Repairs not carried out professionally can cause dangers for the user and lead to the voiding of the warranty.
- The appliance must not be opened by the user.
- Do not expose the appliance to direct sunlight, open flames or high temperatures: it could overheat and suffer irreparable damage.
- Protect the device from moisture and liquid penetration. Never immerse the appliance in water and do not place containers containing liquids (e.g. vases) near it.
- If you notice unusual noises, a burning smell or the development of smoke, immediately switch off the appliance and disconnect all the cable connections from it. Have the appliance checked by a qualified technician before using it again.

ATTENTION: the device must be positioned in a dry and airy environment, away from heat sources, direct solar radiation, flammable liquids and gas sources. Carefully avoid any possibility of infiltration inside the machine.

CLEANING

Clean the external surfaces of the receiver with a slightly damp cloth.

CAUTION:

- Prevent the penetration of liquids into the devices. They can cause irreparable damage.
- Do not use aggressive or abrasive detergents to avoid damaging the surface of the devices.
- Carry out all cleaning operations taking care that the devices are disconnected from the network.

STORAGE WHEN THE APPLIANCE IS NOT USED

Store the appliance in a dry place, free of dust, humidity, liquids and not exposed to direct sunlight.

DISPOSAL

Disposal of the appliance

The appliance is subject to Directive 2012/19 / EU. The directive provides that, at the end of its useful life, the appliance is not disposed of together with normal waste, but is sent to appropriate collection points, recycling centers or disposal companies.
Disposal is free of charge to the user. Respect the environment and dispose of the device in accordance with the relevant directives. Inquire at the municipal administration.

RadioAstroLab

Amateur Radio Astronomy Equipment

Strada della Marina 9/6,
60019 Senigallia (AN)

t. 071 6608166
@ commerciale@radioastrolab.it
www.radioastrolab.it
www.radioastrolab.com