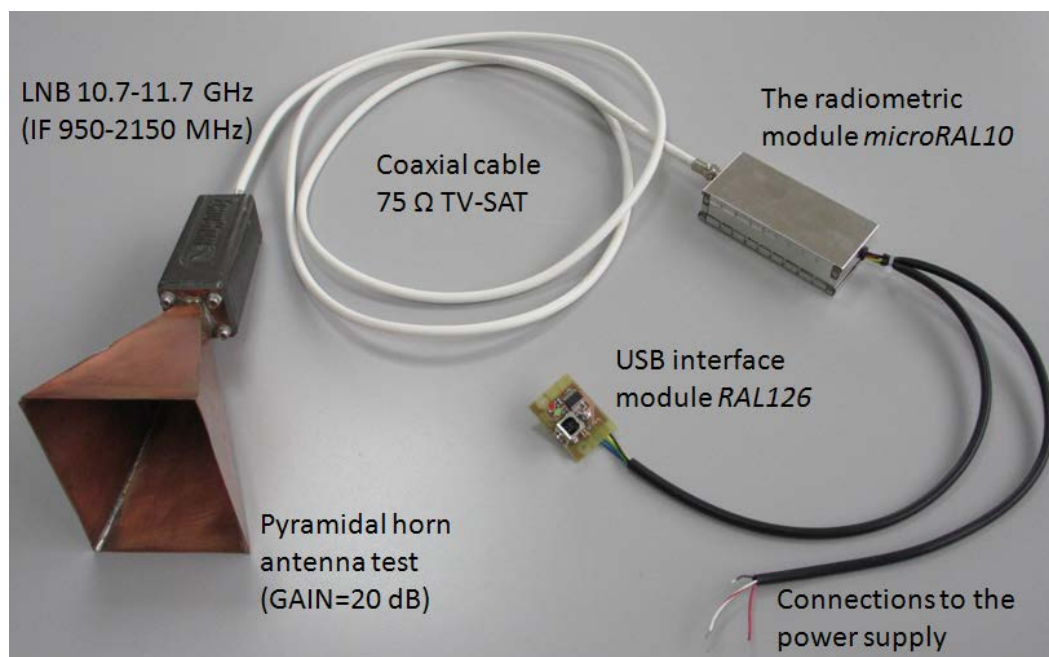


Radio Astronomía Amateur: utilizamos el *RAL10KIT* para la construcción de un radiotelescopio a microondas



Flavio Falcinelli

RadioAstroLab s.r.l. 60019 Senigallia (AN) - Italy - Via Corvi, 96

Tel: +39 071 6608166 - Fax: +39 071 6612768

info@radioastrolab.it

www.radioastrolab.it

RadioAstroLab produce una serie de instrumentos importantes destinados a la Radio Astronomía Amateur y aplicaciones científicas en general: se trata de aparatos listos para el uso y en varias configuraciones que pueden ser utilizados por personas individuales aficionadas, por grupos de investigación o escuelas que desean presentarse al mundo de la Radio Astronomía con intereses más o menos exigentes y al alcance de todos los “bolsillos”. La gama de productos son en constante evolución, que abarca diversos sectores de interés científico y de investigación.

Al mismo tiempo, con la esperanza de haber complacido las numerosas y frecuentes preguntas del tema, hemos pensado a los experimentadores que desean entrar en contacto directo con los circuitos y la electrónica, en la construcción in modo creativo, personalizado y económico de las propias herramientas. Esto es sin duda un camino fácil de seguir en el mundo de la Radio Astronomía y didacticamente muy interesante: muchos son los ejemplos disponibles en la web que describen la construcción de telescopios sencillos y de bajo costo que utilizan componentes del mercado de la televisión via satélite. Nosotros mismos hemos contribuido con alguna modesta sugerencia. Es, sin duda, interesante con soluciones de aplicación inmediata. Si, por otro lado queremos tener una mejor calidad,

será preferible orientarse en componentes diseñados “ad hoc” para aplicaciones de Radio Astronomía y que, sin embargo, conserva características simples en el uso y de economía.

De la información que hemos recibido de nuestra experiencia directa ha sido creado un módulo pre-montado y probado que unido a la fácil disponibilidad de algunos componentes comerciales complementa la cadena de recibir un receptor Radioastronómico didáctico que incluye la interfaz para la comunicación con un PC y el software de gestión. La “caja negra” es, por supuesto, muy fácil de usar y, sobre todo, económica.

Con estas ideas en mente, nos hemos dirigido a la ilustre categoría de apasionados experimentadores, proponiendo la construcción de un interesante radiotelescopio aficionado de microondas (11-2 GHz) usando el RAL10KIT equipado por RadioAstrolab. El kit incluye el módulo radiométrico microRAL10 (el “corazón” del receptor), el módulo interfaz USB RAL126 para interactuar con una computadora y la adquisición de software y del controllo DataMicroRAL10. La cadena inicial del sistema de recepción se realiza con componentes comerciales del mercado de la televisión vía satélite, no incluido en el kit: hay una gran libertad en la elección de la antena de reflector parabólico con el respectivo LNB, feed y el cable coaxial para la conexión al nuestro sistema..

En este artículo vamos a describir como conectar y completar las distintas partes para construir un radiotelescopio didáctico, constituyendo en este modo el primer acercamiento seguro a la radioastronomía. Los experimentadores que deseen desarrollar aplicaciones personalizadas para la gestión del instrumento encontrarán abundante información sobre el protocolo de comunicación serial utilizado.

Introducción

La construcción de telescopios sencillos y económicos que funcionan en la banda de frecuencias de 10 a 12 GHz hoy es muy simplificado si se utilizan sistemas de antenas y componentes del mercado de la televisión vía satélite disponibles en todas partes a bajo costo. Notable es el valor didáctico de este instrumento que permite un enfoque simple y directo a la radioastronomía y a las técnicas instrumentales básicas. Gracias a la difusión comercial de servicios de la televisión vía satélite son fácilmente disponibles modelos como preamplificadores – convertidores menos ruidosos (LNB: Low Noise Block), y la línea de preamplificadores IF. En esta amplia gama de productos están incluidos sistemas de antenas como reflectores parabólicos disponibles en varias dimensiones, completos con soporte mecánico para el montaje y la orientación. Además, para facilitar la recepción TV-SAT, son disponibles modelos detectores de banda larga llamados “SAT-Finder”, utilizados para verificar el correcto rastreo de la antena al satélite: usando y cambiando este dispositivo, algunos astrónomos aficionados han construido radiómetros simples SHF a larga banda. Pueden encontrar tanta información sobre estos proyectos en la web, incluyendo nuestra página web.

Usando una antena con reflector parabólico conjunto al LNB con iluminador específico y conectando el sistema al RAL10KIT de *RadioAstrolab* es posible construir un radiómetro que funciona a 11.2 GHz adecuado para el estudio de la radiación térmica del Sol, la Luna y de las fuentes de radio intenso, con sensibilidad principalmente función de las dimensiones de la antena utilizada. Se trata de un instrumento completo que también proporciona el circuito interfaz USB para la comunicación con un PC de gestión equipado con el software DataMicroRAL10. El experimentador solo debe conectar los componentes de acuerdo con las instrucciones indicadas, proporcionar una fuente de alimentación y montar el sistema en el interior de un recipiente: el radiotelescopio está preparado para iniciar las observaciones. La construcción y el desarrollo de este instrumento puede ser realizada con satisfacción por estudiantes e personas aficionadas a la radioastronomía, obteniendo resultados aún más interesantes si se usa una antena más grande y se emplea el ingenio y la fantasía para ampliar y perfeccionar sus conocimientos básicos.

Debido a la corta longitud de onda, es relativamente fácil construir instrumentos con buenas características directivas y aceptable poder de resolución. Aunque en este rango de frecuencias no “brillan” fuentes de radio particularmente intensos (excluyendo el Sol y la Luna), la sensibilidad del sistema es mejorada por el gran ancho de banda utilizado y la menor influencia de las perturbaciones artificiales: el radiotelescopio se puede utilizar en el techo o en el jardín de una casa en una zona urbana.

Los satélites geostacionarios de televisión pueden ser fuentes de interferencia, es posible evitar sin limitar demasiado el campo de observación ya que es su posición fija y conocida.

El receptor: como funciona un radiómetro *Total-Power*.

El *radiómetro* es un receptor de microondas muy sensible y calibrado, usado para medir la temperatura asociado con el escenario interceptado por la antena, ya que cualquier objeto natural emite una función de la potencia de ruido de la temperatura y de las características físicas.

En radiometría es conveniente expresar el poder en términos de temperatura equivalente: de acuerdo con la ley de *Rayleigh-Jeans*, que si aplica a las frecuencias de microondas, siempre es posible definir una temperatura de un cuerpo negro (llamado temperatura de brillo) que irradia la misma potencia de aquella disipada por una resistencia de terminación conectada a la antena de recepción (temperatura de la antena). Considerando una antena ideal que señala un objeto caracterizado da una cierta temperatura de brillo , la potencia de señal medida de la antena es expresable a través de la temperatura de la antena.

El objetivo de la medida radiométrica es obtener la temperatura de brillo del objeto a partir de la temperatura de la antena, con la resolución y la precisión suficiente. Por consiguiente el radiómetro es un receptor de microondas calibrada.

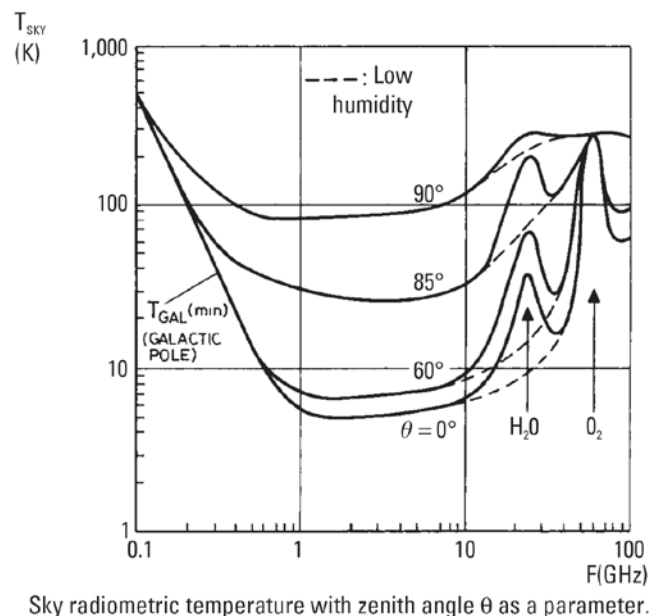


Fig. 1: Temperatura de brillo del cielo en función de la frecuencia y del ángulo de elevación de la antena.

En Radio Astronomía la señal recibida es directamente proporcional a la potencia asociada a la radiación recibida mediado dentro de la banda de paso del instrumento, entonces la temperatura de brillo de la región del cielo “visto” del haz de la antena. El *radiómetro se comporta como un termómetro que mide la temperatura equivalente de ruido del escenario celeste observado*. Nuestro radiotelescopio, que funciona a frecuencias próximas a 11.2 GHz, mide una temperatura equivalente de ruido muy bajo (debido a la radiación fósil aproximadamente 3K), generalmente en el orden de 6-10K (*el cielo frío*) que corresponde a la temperatura mínima medida, teniendo en cuenta de las pérdidas instrumentales (Fig. 1), si la antena está orientada hacia una región del cielo despejado y seco donde las fuentes de radio son ausentes (atmósfera clara con absorción atmosférico insignificante – Fig. 2). Si se mantiene la orientación de la antena a 15° - 20° por encima del horizonte, lejos del Sol y de la Luna, podemos asumir una temperatura equivalente de ruido de la antena incluso entre algún grado y unas pocas decenas de

grados (debido principalmente a los lóbulos secundarios). Orientando la antena sobre el terreno se eleva la temperatura a valores del orden de 300K si es interesada toda la parte del haz de la recepción.

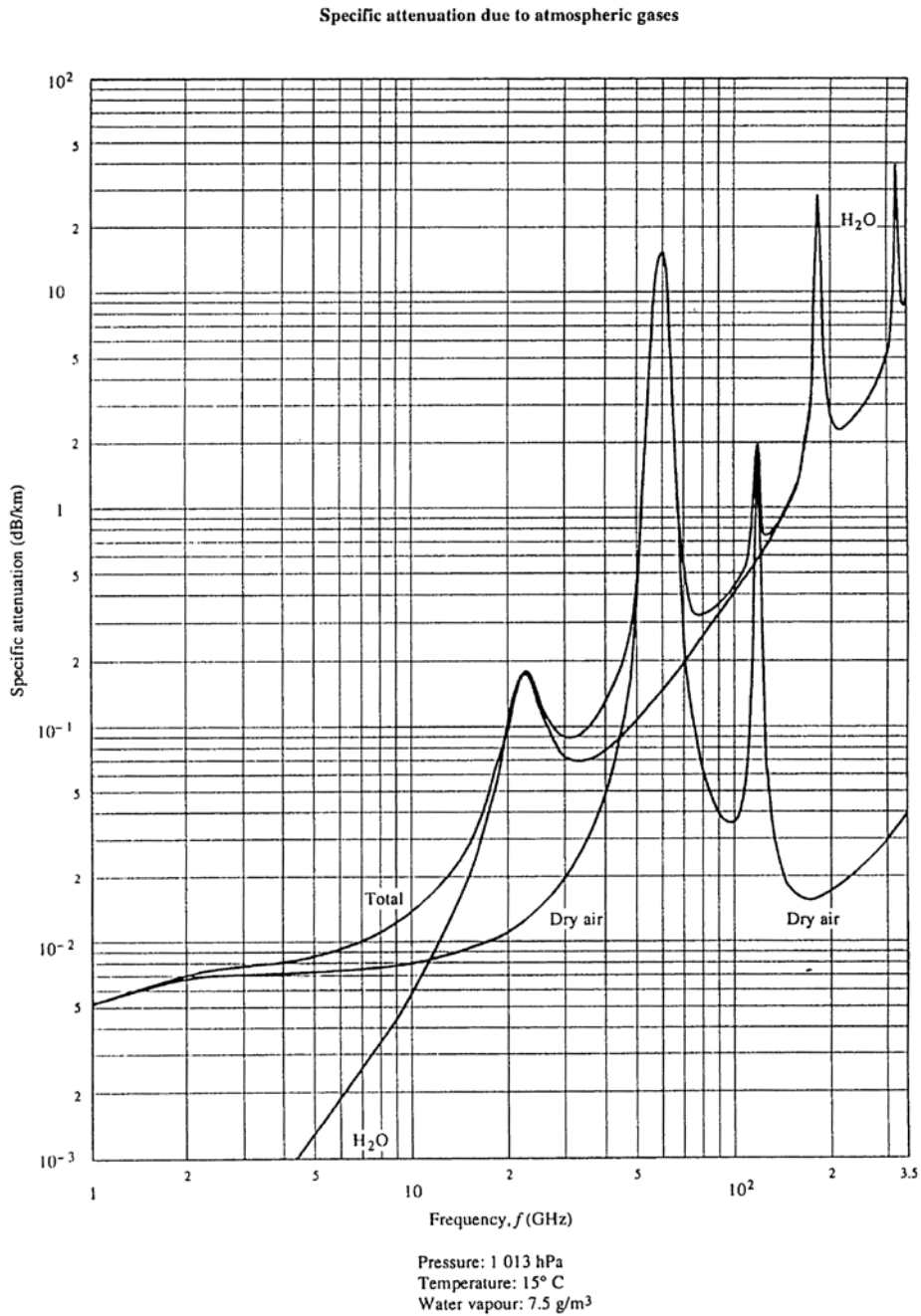


Fig. 2: Atenuación debida a las propiedades de absorción de los gases presentes en la atmósfera.

El *radiómetro* de microondas más simple (Fig. 3) comprende una antena conectada a un amplificador de bajo ruido (*LNA: Low Noise Amplifier*) seguido por un detector con característica cuadrática. La información “útil en Radio Astronomía” es la potencia asociada a la señal recibida, proporcional al cuadrado de la misma señal: el dispositivo que proporciona una salida proporcional al cuadrado de la señal aplicada es el detector, generalmente implementado con un diodo que funciona en la región cuadrática de la misma característica. Para reducir la contribución de las fluctuaciones estadísticas del ruido revelado, osea optimizar la sensibilidad del sistema de recepción, sigue un bloque integrador (esencialmente un filtro bajo-bajo) que calcula el promedio de tiempo de la señal detectada según una determinada constante de tiempo.

El radiómetro que hemos descrito se llama receptor *Total-Power* ya que mide la potencia total asociada a la señal captada por la antena y al ruido generado por el sistema. La señal de la salida del integrador se presenta como un componente casi continua debido a la contribución de ruido del sistema con pequeñas variaciones (de amplitud muy inferior a aquella de la componente estacionaria) debido a las fuentes de radio que pasan delante de la haz de la antena. Usando un circuito diferencial de post-revelación, si los parámetros del receptor se mantienen estables, es posible medir solo las variaciones de la potencia debido a la radiación que viene del objeto “enmarcado” por el lóbulo de la antena, “borrando” la componente casi – continua debido al ruido instrumental: a todo esto sirve la señal de reajuste de la línea de base que se muestra en la Fig. 3.

El principal problema de las observaciones radiométricas está vinculada a la inestabilidad del factor de amplificación en comparación con los cambios de temperatura: se observan derivas en el componente casi-continua revelada que “confunde” el instrumento, anulando parcialmente la acción de compensación de la línea de base. Estas fluctuaciones son indistinguibles de las “variaciones útiles” de la señal. Si la cadena receptora aumenta mucho, debido a esa inestabilidad es fácil observar las fluctuaciones en tale respuesta que constituyen un límite práctico para el valor máximo utilizado para la ganancia del receptor. Este problema puede ser parcialmente resuelto, con resultados satisfactorios en las aplicaciones de aficionados, estabilizando térmicamente el receptor, con particular atención hacia la unidad electrónica externa (*LNB: Low Noise Block*) colocada en el fuego de la antena y más sujeto a las excursiones térmicas diarias..

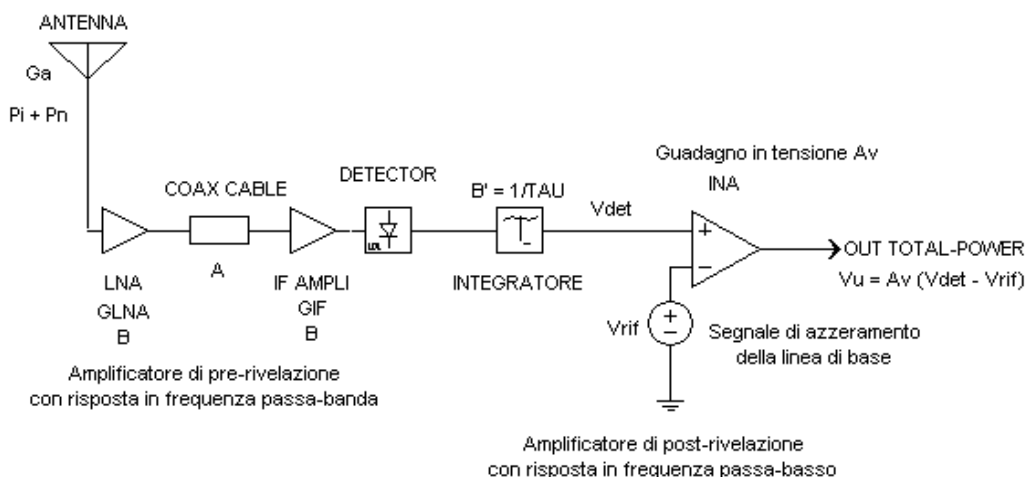


Fig. 3: Eschema de bloques simplificado de un radiómetro *Total-Power*.

Antes de tratar de la construcción del receptor, vamos a describir brevemente las características del módulo radiométrico *microRALIO* que constituye el núcleo central del sistema. La Fig. 4 muestra un esquema de bloques del radiotelescopio. Para simplificar, no se muestra la fuente de alimentación. Se nota las tres secciones principales del receptor: la primera etapa está constituida de la *LNB (Low Noise Block)*, con iluminador para la antena de reflector parabólico, que amplifica la señal recibida y la convierte hacia abajo en la banda de frecuencia IF standard [950-2150] MHz de la recepción de TV por satélite. Este dispositivo es un producto comercial, por lo general proporcionado junto con la antena y a los soportes mecánicos necesarios para el montaje. La ganancia de potencia de la unidad y del orden de 50-60- dB, con una figura di ruido típica variable entre 0.3 e 1 dB.

La señal en frecuencia intermedia (IF) es aplicado al módulo *microRALIO* que filtra (con un ancho de banda de 50MHz, centrada en la frecuencia de 1415 MHz), amplifica y mide la intensidad de la señal recibida. Un amplificador de revelación posterior ajusta el nivel de la señal revelada a la dinámica de adquisición del convertidor analógico digital (ADC con 14 bit de resolución) que codifica la información radiométrica. Este bloque final, gestionado por un microcontrolador, genera un offset programable por la

línea de base radiométrica (es la señal V_{rif} en la Fig. 3) calcula la media móvil en un número de muestras y forma el paquete de datos en serie que será transmitido a la unidad central.

La última etapa es la tarjeta interfaz USB *RAL126* que se encarga de la comunicación con el PC en el que se instalará el software *DataMicroRAL10* para la adquisición de datos y control del instrumento. El procesador realiza las funciones críticas de procesamiento y control reduciendo al mínimo el número de componentes electrónicos externos maximizando la flexibilidad del sistema debido a la posibilidad de programar a control remoto los parámetros de funcionamiento del instrumento. El uso de un módulo diseñado específicamente para las observaciones de Radio Astronomía, que integra toda la funcionalidad de un receptor radiométrico garantiza un rendimiento seguro y repetible para el experimentador.

Suponiendo que usted usa un LNB de buena calidad con una figura de ruido del orden de 0.3 dB y una ganancia promedio de 55 dB, se obtiene una temperatura equivalente de ruido del receptor del orden de 21 K y una ganancia de potencia de la cadena de frecuencia de radio del orden de 75 dB. Como verán estos beneficios son adecuados para construir un radiotelescopio conveniente para la observación de las fuentes más intensas de radio en banda de 10-12 GHz. La sensibilidad del receptor dependerá de las características de la antena que representa el colector de la radiación cósmica, mientras las excursiones térmicas experimentadas por el LNB (unidad exterior más sujeta a las variaciones de temperaturas diarias) que influyen en la estabilidad y en la repetibilidad de la medida.

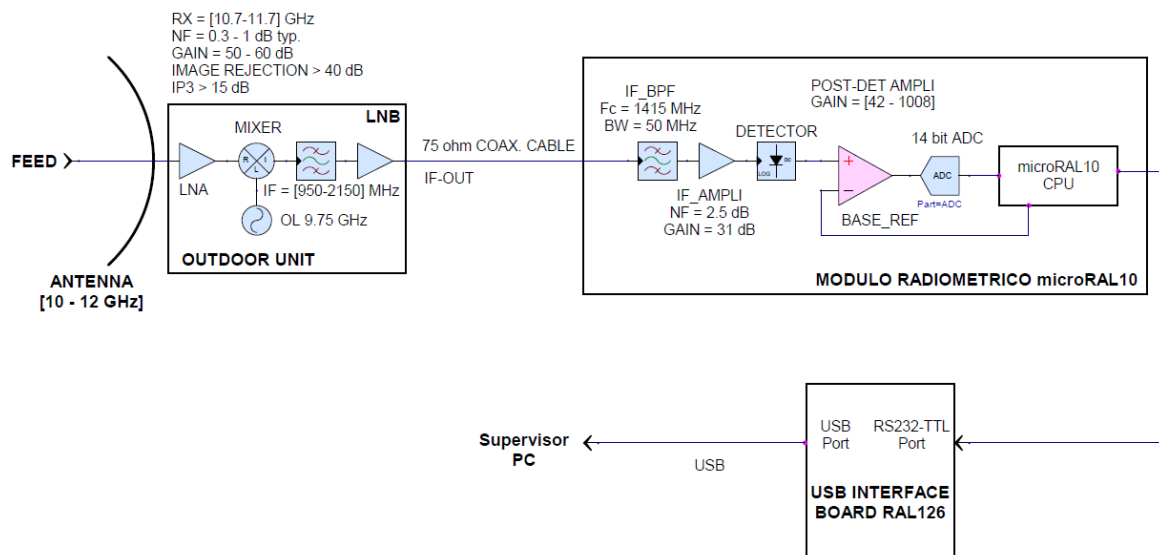


Fig. 4: Esquema de bloques del radiotelescopio descritos en el artículo. La unidad externa LNB (con feed) está instalada en el foco del reflector parabólico: un cable coaxial TV- via satélite de 75 Ω conecta la unidad externa con el módulo *microRAL10* que se comunica con el PC (en el que ha instalado el software *DataMicroRAL10*) a través la interfaz USB *RAL126*. El sistema utiliza un protocolo de comunicación propietario. En el esquema no aparece el alimentador.

El uso de antenas con una gran área eficaz es generalmente requisito indispensable para las observaciones de Radio Astronomía: no existe límite a cerca de las dimensiones de la antena utilizada, si no los factores económicos, de espacio y de instalación relacionados a la estructura de soporte y motorización del sistema de guía. Estas son las áreas donde la imaginación y la habilidad del experimentador son decisivos para definir el rendimiento del instrumento y pueden hacer la diferencia entre una y otra instalación. Durante el uso de módulos básicos estandarizados que garantizan los requisitos mínimos para el radiotelescopio, el trabajo de optimización del sistema con una elección y una instalación adecuada de las zonas críticas de radiofrecuencia (antena, LNB y el iluminador), la implementación de contramedidas che reducen al mínimo los efectos adversos de los cambios de temperatura, ofrece importantes ventajas en el desempeño del instrumento.

El módulo *microRAL10* ha sido diseñado teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Receptor radiométrico completo incluyendo el filtro de banda, amplificador IF, detector con característica cuadrática compensada de temperatura, amplificador de revelación posterior con ganancia, offset y constante de integración programable, adquisición del señal radiométrico con ADC con 14 bit de resolución microcontrolador para la gestión del dispositivo y para la comunicación serial. El sistema se completa con los circuitos de alimentación estabilizada y el regulador que alimenta el LNB a través del cable coaxial cambiando en dos niveles diferentes de tensión (aproximadamente 12.75 V e 17,25 V): será posible seleccionar la polarización deseada en la recepción (horizontal o vertical).
2. Frecuencia central y el ancho de banda de entrada compatible con la frecuencia protegida en Radio Astronomía de 1420 MHz y con los valores IF standard de la TV vía satélite (típicamente 950-2150 MHz). Definir y limitar el ancho de banda del receptor incluso dentro de la frecuencia de 1420 MHz, es importante para garantizar la repetibilidad en el rendimiento y para reducir los efectos de las interferencias externas (las frecuencias cercanas a 1420 MHz deberían ser libres de emisiones cuando reservadas para la investigación radioastronómica). La frecuencia de recepción del radiotelescopio será 11.2 GHz.
3. Reducción del consumo eléctrico, modularidad, compacidad, economía. La electrónica interna del módulo *microRAL10* se muestra en la figura. 5.

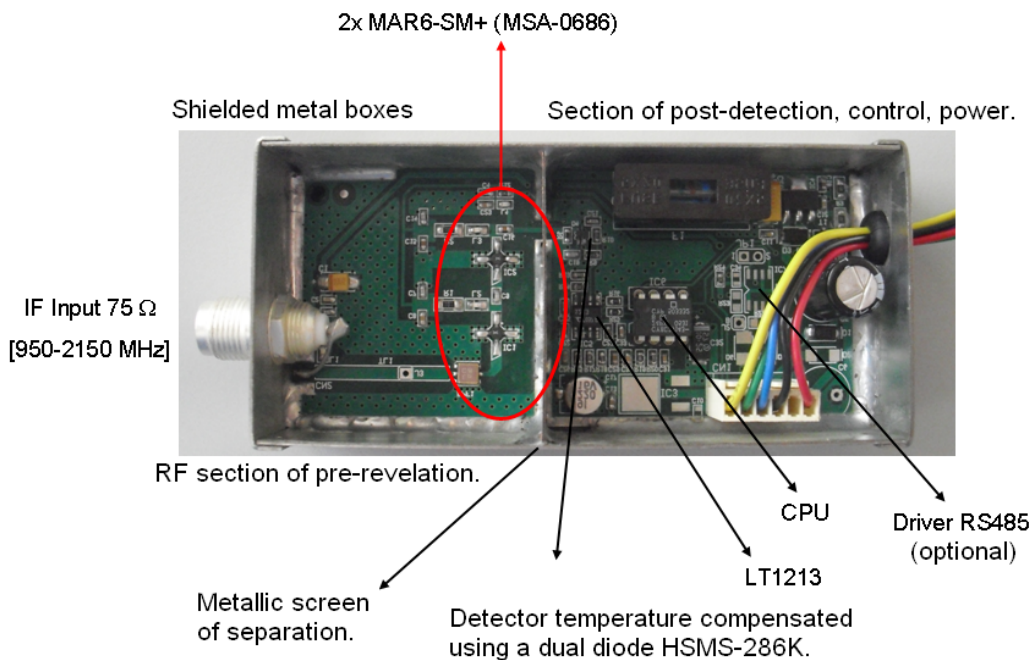


Fig. 5: Detalles internos del módulo radiométrico *microRAL10*, el “corazón” del radiotelescopio. El aparato está montado dentro de una caja metálica adecuada para montajes RF: a la izquierda se puede ver el conector coaxial para la entrada de la señal RF-IF, a la derecha las conexiones de salida para la alimentación y los datos en serie. Una pared metálica con las funciones de protección que separa el bloque RF de la revelación posterior.

Los componentes electrónicos están montados dentro de una caja metálica que contiene un conector coaxial F que toma la señal de la LNB y un ojal de goma por donde pasan los cables que se conectan al módulo interfaz USB *RAL126* y aquellos que se usan para la conexión con el alimentador general (Fig. 5).

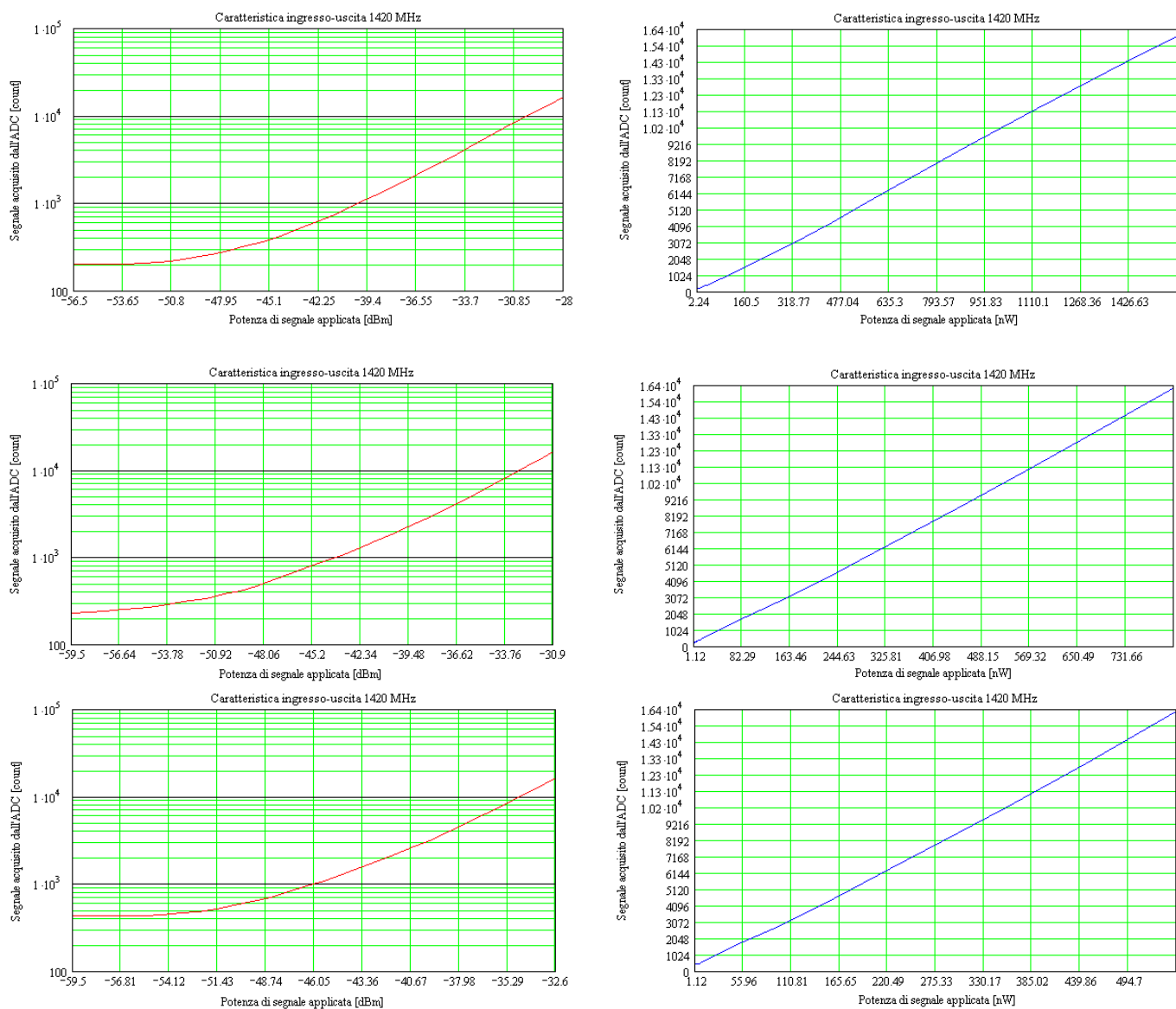


Fig. 6: Características de entrada y salida del módulo *microRAL10* obtenidas por los principales valores de la ganancia de revelación posterior : GAIN=7, GAIN=8, GAIN=9, GAIN=10 (ganancia de tensiones, respectivamente, equivalentes a 168, 336, 504 y 1008). La abscisa muestra el nivel de intensidad de la señal RF-IF aplicado, en la ordenanza ver el nivel de la señal adquirido por el convertidor analógico - digital interno (expresado en unidades relativas [ADC count]).

La Fig. 6 muestra las curvas de respuesta (en escala logarítmica y lineal) del módulo *microRAL10* en función de los principales beneficios de revelación posterior seleccionados. La respuesta se expresa en unidades relativas [ADC count] cuando a la salida del módulo viene aplicada una señal sinusoidal de frecuencia igual a 1415 MHz con potencia especificada. Las tolerancias en los valores nominales de los componentes, especialmente en lo relativo a los beneficios de los dispositivos activos y la sensibilidad de detección en los diodos, generan diferencias en la ganancia global de las características de entrada / salida (pendiente y nivel de offset) entre los diferentes módulos. Entonces será necesario calibrar la escala de medida del instrumento si se desea obtener una evaluación absoluta de la potencia asociada a la radiación recibida.

Completamos la descripción que ilustran el protocolo de comunicación serial desarrollado para controlar el radiotelescopio: estas informaciones son útiles para quien desea desarrollar aplicaciones personalizadas alternativas al software *DataMicroRAL10* proporcionados por nosotros.

Un PC (master) transmite los comandos a la unidad *microRAL10* (slave) que responde con paquetes de datos que comprenden las medidas de las señales adquiridas, los valores de los parámetros de

funcionamiento y el estado del sistema. El formato es serial y se caracteriza de un Bit Rate de 38400 bit/s, 1 bit de START, 8 bit de datos, 1 bit de STOP y ningún control de paridad.

El paquete de comandos transmitidos desde el dispositivo master es el siguiente:

Byte 1: ADDRESS=135	Dirección (valor decimal) asociado al módulo radiométrico <i>microRAL10</i> .
Byte 2: COMANDO	<p>Código de comando con los siguientes valores:</p> <p>[comando=10]: Establece el valor de referencia para el parámetro [BASE_REF] (expresado en dos byte LSByte e MSByte).</p> <p>[comando=11]: Establece la ganancia de la revelación posterior [GAIN].</p> <p>[comando=12]: Comanda el envío de un paquete singular de datos [ONE SAMPLE].</p> <p>[comando=13]: Inicia //detiene el envío de datos en un ciclo continuo. TSi tiene: TX OFF: [LSByte=0], [MSByte=0]. TX ON: [LSByte=255], [MSByte=255].</p> <p>[comando=14]: Fuerza en [RESET] el software del sistema.</p> <p>[comando=15]: No se utiliza.</p> <p>[comando=16]: Establece el valor de la constante de integración de medición [INTEGRATOR].</p> <p>[comando=17]: Establece la polarización en recepción [A POL., B POL].</p> <p>[comando=18]: No se utiliza.</p> <p>[comando=19]: No se utiliza.</p> <p>[comando=20]: Activa la calibración automática [CAL] de la línea de base.</p>
Byte 3: LSByte	Byte menos significativo del dato transmitido.
Byte 4: MSByte	Byte más significativo del dato transmitido.
Byte 5: Checksum	Checksum calculado como suma a 8 bit de todos los byte precedentes.

El significado de los parámetros es el siguiente:

[BASE_REF]: Valor de 16 bit [0÷65535] proporcional a la tensión de referencia (V_{rif} – Fig. 2) utilizada para establecer un offset en la línea de base radiométrica. Es posible ajustar automáticamente el valor de *BASE_REF* con el procedimiento de la calibración automática *CAL* (estableciendo el [comando=20]) con el fin de posicionar el nivel base del señal radiométrico en el centro de la escala de medida.

[GAIN]: Ganancia de voltaje de la revelación posterior. Son disponibles los siguientes valores:

- [GAIN=1]: ganancia 42.
- [GAIN=2]: ganancia 48.
- [GAIN=3]: ganancia 56.
- [GAIN=4]: ganancia 67.
- [GAIN=5]: ganancia 84.
- [GAIN=6]: ganancia 112.
- [GAIN=7]: ganancia 168.
- [GAIN=8]: ganancia 336.
- [GAIN=9]: ganancia 504.
- [GAIN=10]: ganancia 1008.

Los valores de ganancia de la revelación posterior de 1 a 10 son simbólicos: los valores reales de la ganancia de voltaje se muestran en la tabla anterior.

[INTEGRADOR]: Constante de integración de la medición radiométrica. Son posibles 4

Configuraciones:

INTEGRADOR=0: constante de integración corta "A".

INTEGRADOR=1: constante de integración "B".

INTEGRADOR=2: constante de integración "C".

INTEGRADOR=3: constante de integración "D".

INTEGRADOR=4: constante de integración "E".

INTEGRADOR=5: constante de integración "F".

INTEGRADOR=6: constante de integración "G".

INTEGRADOR=7: constante de integración "H".

INTEGRADOR=8: constante de integración larga "I".

La medida radiométrica es el resultado de un cálculo de la media móvil realizado en $N=2^{INTEGRADOR}$ muestras de la señal adquirida. Aumentando este valor se reduce la importancia de la fluctuación estadística del ruido con una "aplanamiento" de la señal recibida que mejora la sensibilidad del sistema.

El parámetro INTEGRATOR "suave" las fluctuaciones de la señal revelada con una eficacia proporcional a su valor. Como con cualquier proceso de integración de la medida, es necesario considerar un retraso en la grabación de la evolución de la señal relacionado al tiempo de muestreo de la información, al tiempo de conversión ADC y al número de muestras utilizadas para calcular el promedio. La Fig. 11 ilustra el concepto. Es posible estimar una correspondencia entre el valor configurado para INTEGRADOR y el correspondiente valor de la constante de tiempo τ (expresado en segundos) usando la siguiente tabla:

INTEGRADOR	Constante de tiempo integrador τ [segundos]
0	0.1
1	0.2
2	0.4
3	0.8
4	2
5	3
6	7
7	13
8	26

[A POL, B POL]: define la polarización de la recepción del LNB estableciendo el valor de la tensión de alimentación entre dos posibilidades:

[POL=1]: polarización B (B POL.).

[POL=2]: polarización A (A POL.).

En función de las características de la unidad utilizada y su posicionamiento en el punto focal de la antena, los símbolos A POL. y B POL. Indicarán la polarización horizontal o vertical.

Para cada comando recibido *microRAL10* responde con el siguiente paquete de datos:

Byte 1: ADDRESS=135	Dirección (valor decimal) asociado al módulo radiométrico <i>microRAL10</i> .
Byte 2: GAIN + INTEGRADOR	Guadagno de post-revelación y constante de integración.
Byte 3: POL	Polarización en recepción (A o B).
Byte 4: LSByte di BASE_REF	Byte menos significativo del parámetro [BASE_REF].
Byte 5: MSByte di BASE_REF	Byte más significativo del parámetro [BASE_REF].
Byte 6:	Reservado.
Byte 7:	Reservado.
Byte 8: LSByte di RADIO	Byte menos significativo de la medida radiométrica.
Byte 9: MSByte di RADIO	Byte más significativo de la medida radiométrica.
Byte 10:	Reservado.
Byte 11:	Reservado.
Byte 12:	Reservado.
Byte 13:	Reservado.
Byte 14: STATUS	Variable de estado del sistema.
Byte 15: CHECKSUM	Checksum (suma de 8 bit de todos los byte anteriores).

Los 4 bit menos significativos del Byte2 recibidos contienen el valor de la ganancia de post-revelación *GAIN* mientras los 4 bit más significativos contienen el valor de la constante de integración de la medida radiométrica *INTEGRADOR*. Los 4 bit menos significativos del Byte3 recibidos contienen la variable *POL* que indica la polarización establecida en la recepción.

El Byte 14 *STATUS* representa el estado del sistema: el bit_0 señala la condición STOP/START de la transmisión continua de los paquetes de datos de parte del módulo *microRAL10* hacia el PC, mientras el bit_1 señala la activación del procedimiento automático de la calibración *CAL* por el parámetro *BASE_REF*. El valor *RADIO* asociado a la medida radiométrica (que va desde 0 a 16383) se expresa por dos byte (LSByte e MSByte), de la relación: . Identica regla vale para el valor asociado al parámetro *BASE_REF*.

Características técnicas del *RAL10KIT*

- Frecuencia operativa del receptor: 11.2 GHz (utilizando LNB estándar para TV-SAT).
- Frecuencia de entrada (RF-IF) del módulo radiométrico: 1415 MHz.
- Ancho de banda de receptor: 50 MHz.
- Ganancia típica de la sección RF-IF: 20 dB.
- Impedancia del conector F para la entrada RF-IF: 75 Ω.
- Revelador cuadrático de doble diodo compensado con la temperatura para la medida de la potencia del señal recibido.
- Ajuste del'offset para la línea de base radiométrica.
- Calibración automática de la línea de base radiométrica.
- Constante de la integración programable: La media móvil programable calculada en 2, 8, 16 e 32 Muestras adyacentes adquiridas.
- Aumento de la tensión de post-revelación programable: da 42 a 1008 en 10 pasos.
- Adquisición del señal radiométrico: Resolución ADC 14 bit.
- Microprocesador utilizado para el control del sistema de recepción y para la comunicación serial.
- Módulo de interfaz del USB (tipo B) para la conexión a un PC con protocolo de comunicación propietario.
- Gestión del cambio de polarización (horizontal o vertical) con el salto de tensión, si utilizas el LNB con esa función.
- Tensión de alimentación: 7 ÷ 12 VDC – 50 mA.
20 VDC – 150 mA.
- Alimentación LNB vía cable coaxial, protegido con fusible interno al módulo *microRAL10*.

Software de adquisición y de control *DataMicroRAL10*.

El suministro del RAL10KIT incluye la adquisición de software y control *DataMicroRAL10*: es todo lo que necesitas, a un nivel básico, para administrar nuestro radiotelescopio.

DataMicroRAL10 es una aplicación desarrollada para administrar, adquirir, mostrar en forma gráfica y registrar los datos del telescopio.. El programa es simple y esencial para su uso inmediato y "ligero" en ordenadores personales equipados con sistemas operativos Windows (32 bits y 64 bits) y Mac OS X, con al menos un puerto USB estándar. Es posible utilizar el programa sin restricciones de licencia y/o el número de instalaciones: son bien aceptadas informaciones sobre posibles funcionamientos defectuosos y consejos orientados a optimizar su aplicación.

Di seguito le indicazioni per installare il programma.

1. **Sistemas operativos Windows con arquitectura de 32 bit (x86) e a 64 bit (x64):**

Copie la carpeta *DataMicroRAL10 1.0 Win x86* o *DataMicroRAL10 1.0 Win x64* en el escritorio (o en otro directorio creado específicamente). Dentro de las carpetas anteriores se encuentran, respectivamente los programas de instalación *DataMicroRAL10 1.0 setup x86.exe* o *DataMicroRAL10 1.0 setup x64.exe*. Abra el archivo relativo a su sistema para iniciar la instalación del programa y seguir las instrucciones de la instalación guiada. El setup instalará el programa en la carpeta *C:\programmi\DataMicroRAL10 1.0*.

Sistemas operativos Mac OS X:

Copiar la carpeta *DataMicroRAL10 1.0 beta mac os x* en tu PC (por ejemplo en el escritorio o en otro directorio creado específicamente): al interno se encuentra el archivo *DataMicroRAL10 1.0 beta.app*, el programa no requiere instalación.

Sistemas operativos basado en LINUX con arquitectura de 32 bits (x 86) y a 64 bits (x 64):

Copie la carpeta *DataMicroRAL10 X.X Linux x 86 X X* o *DataMicroRAL10 X.X Linux x64* en el escritorio (o en otro directorio creado específicamente). Dentro de las carpetas anteriores están situados, respectivamente, los archivos *DataMicroRAL10_X.X_x86.sh* y *DataMicroRAL10_X.X_x64.sh*, los programas no requieren instalación.

2. Antes de iniciar el programa es necesario instalar al controlador de interfaz con el puerto USB de la PC. Los controladores para varios sistemas operativos (que emula un puerto serie COM) y las instrucciones de instalación están disponibles para su descarga en el sitio:

<http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>

Elija entre las opciones disponibles para el chip *FT232R* (utilizado en la interfaz del módulo RAL126) que es compatible con su sistema operativo y la arquitectura de su PC. De esta manera usted tiene la seguridad de obtener siempre la última versión del firmware. En la página del sitio están también indicadas simples instrucciones para instalar el driver.

3. Realice los pasos anteriores, conecte el cable USB a la PC y el radiotelescopio de la energía.

4. Ahora el sistema está listo para la sesión de medida Es posible ejecutar el programa de adquisición de *DataMicroRAL10 1.0* haciendo doble clic en el icono creado en el escritorio o desde el menú Inicio.

Se descargará las actualizaciones del programa gratuitamente desde las páginas del sitio www.radioastrolab.it.

DataMicroRAL10 es una ventana que contiene las funciones operativas del programa: una Área gráfica muestra las tendencias con el tiempo de la señal adquirida, un cuadro muestra el valor numérico de cada muestra individual (*Radio [COUNT]*), hay botones para el control y para la configuración del sistema. Durante el programa de inicio (haga doble clic en el icono) se activa un control sobre los puertos seriales virtuales disponibles en el PC, enumerados en la ventana *COM PORT*. Después de haber seleccionado la puerta del driver (los demás, si está presente, no funcionan) se abre la conexión serie pulsando el botón *Connect*. Ahora es posible iniciar la adquisición de datos pulsando el botón verde *ON*: la pista gráfica del señal se actualiza en tiempo real junto con el valor numérico de la amplitud, expresado en unidades relativas sobre la ventana *Radio [count]*. Los datos del flujo entre el instrumento y el PC se

indica mediante el parpadeo de las espías luminosas (led rojo y verde) en el módulo de interfaz USB RAL126.

El panel *General Settings* contiene los controles de configuración del Programa General y para el control del receptor. El parámetro *SAMPLING*, definiendo el número de muestras adquiridas que deben ser promediadas (entonces con qué frecuencia debe actualizarse las pistas gráficas) determina la velocidad del progreso de la gráfica, y entonces la cantidad total de datos registrados para cada sesión de medida (es registrado un archivo *.TXT por cada gráficos de pantalla). La elección del valor para asignar a este parámetro es en función de las características de la variabilidad de la señal y la necesidad de filtrado.

La aplicación controla el instrumento: el ajuste del factor de amplificación *GAIN*, ajuste del punto de referencia para la línea de base *BASE REF*, el comando *RESET* del receptor, la activación que permite el procedimiento de calibración automática *CAL* de la línea de fondo, la adquisición de una sola muestra de señal *ONE SAMPLE*. Todos los ajustes, con la excepción del comando *RESET*, serán aceptados por el instrumento solamente cuando no va la adquisición continua de los datos. La fecha y hora local aparecerá en la ventana *Time* en la parte superior derecha.

El lado izquierdo de la ventana gráfica incluye dos cajas editables donde se establece el valor más bajo (*Ymin*) y el superior (*Ymax*) para la escala, los límites de la representación gráfica: de esta manera es posible resaltar los detalles en la evolución de la señal adquirida mediante la realización de una operación de "zoom" en la pista. El botón *CLEAR* borra la ventana gráfica mientras la opción *SAVE* habilita la registración de los datos adquiridos al final de cada pantalla, formatados en un archivo de texto (con la extensión *.TXT) fácilmente importables desde cualquier hoja de cálculo electrónico para su posterior procesamiento. **El registro de datos sólo se produce si, durante una pantalla, la señal adquirida supera los valores de *ALARM THRESHOLD High e Low* establecido anteriormente (pistas continuas de color verde).** En particular, debe ser comprobado por la siguiente condición:

$$\text{Radio} \geq \text{Threshold H} \quad \text{o} \quad \text{Radio} \leq \text{Threshold L.}$$

Es posible activar una alarma sonora que se activa cada vez que la señal supera las radiométricos especificados anteriormente umbrales (Fig. 7).

Cada archivo guardado es identificado por un nombre "raíz" seguido de un número secuencial idéntico a pantallas de gráficos vinculados. Un ejemplo de un archivo grabado por DataMicroRAL10 es el siguiente:

```
DataMicroRAL10
C:\Documents and Settings\Desktop\test1.txt

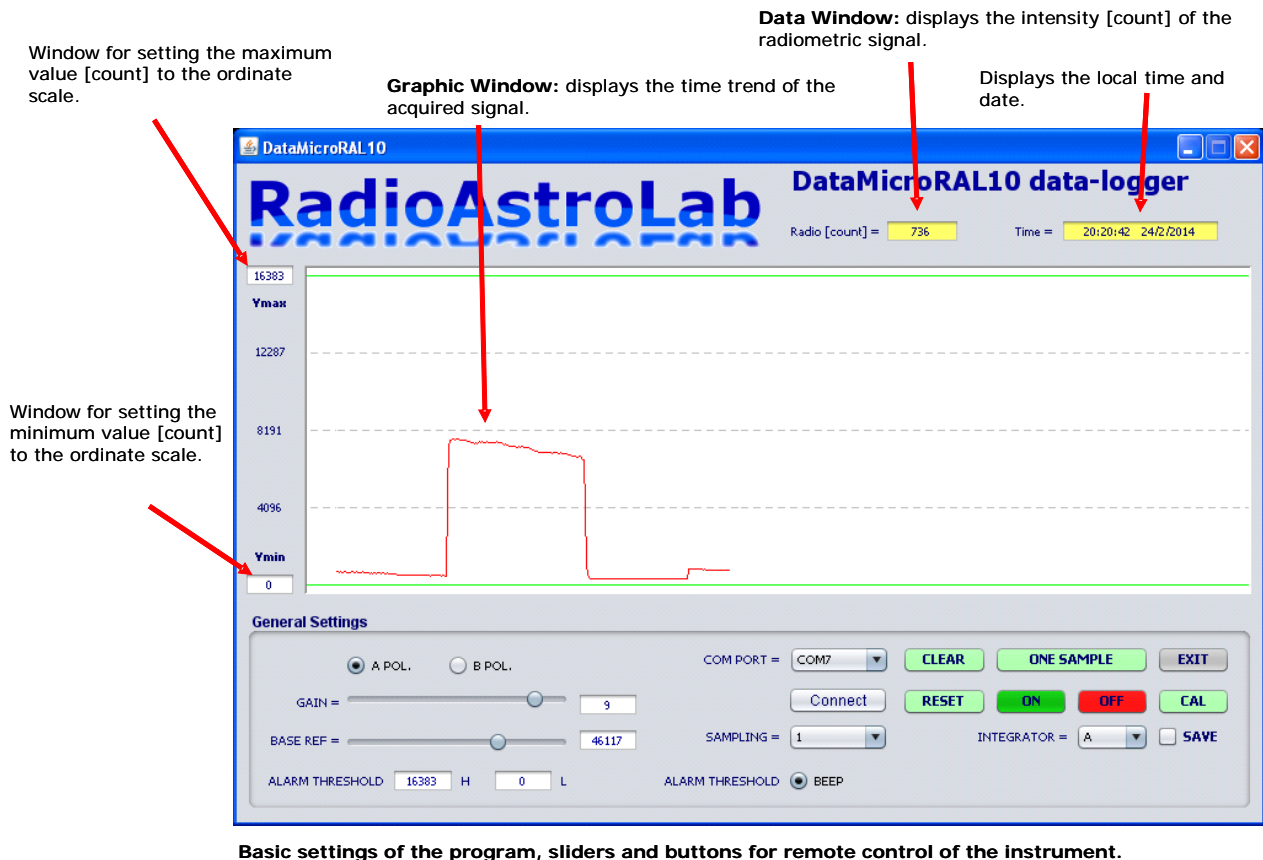
Sampling=1
Quad=10
Ref_Base=33880
Integrator=3
Polarization= A
Date: 29/3/2013

TIME, RADIO
14:31:50, 3777
14:31:50, 3781
14:31:50, 3770
14:31:50, 3816
14:31:50, 3788
.....
.....
```

Ves un encabezado mostrando el nombre del programa, la configuración de los parámetros y la fecha de inicio de la sesión. Cada fila de datos contiene la hora local de la adquisición de la muestra individual y su valor expresado en unidades relativas [$0 \leq \text{ADC count} \leq 16383$], separados por un espacio. El valor

máximo de la escala, o sea la resolución de la medida, está determinada por las características dinámicas del convertidor analógico - digital usado (14 bits).

Para su comodidad adjunto la hoja de cálculo *ImportaDati_DataMicroRAL10*: se trata de un archivo (EXCEL) con macro que le permite importar un archivo que fue previamente registrado por *DataMicroRAL10*. Es posible crear automáticamente gráficos (libremente modificable en ajustes) cada vez que pulse el botón *OPEN FILE* y seleccione un archivo para importar: los nuevos datos se escribirán más en la tabla, mientras que los gráficos son simplemente superpuestos. Es suficiente mover los gráficos para resaltar lo que interesa. Debe activar la función "macro" de EXCEL al abrir *ImportaDati_DataMicroRAL10*.



Basic settings of the program, sliders and buttons for remote control of the instrument.

Fig. 7: Programa *DataMicroRAL10*.

Evaluación del desempeño del radiotelescopio.

Los parámetros críticos de un receptor de Radio Astronomía son:

- *Antena*: ganancia, anchura del lóbulo principal, forma del diagrama de recepción.
- *Figura de ruido, la ganancia global y ancho de banda de bloques de pre-revelación*. El ruido proveniente del exterior y el interior del receptor debe ser mínimo.
- *Sensibilidad de detección*: depende del tipo de detector utilizado.
- *Ganancia de post-revelación*.
- *Constante de tiempo del integrador*: reduce las fluctuaciones en las estadísticas de producción.

Hemos comprobado el rendimiento teórico de un telescopio que utiliza una antena común para TV vía satélite (con diámetros típicos que van desde 60 cm a 200 cm) y un LNB conectado al RAL10KIT: se ha calculado con un simulador desarrollado "ad hoc", la sensibilidad del sistema necesario para liderar

con éxito observaciones de la Radio Astronomía al aficionado. Como fuentes de evidencia para las simulaciones se han utilizado la luna (flujo de órdenes 52600 Jy) y el sol (flujo del orden $3.24 \cdot 10^6$ Jy a 11.2 GHz), observada con una antena de reflector parabólico circular por 1,5 metros de diámetro. Estas fuentes de radio, fácilmente admisibles en las bandas de frecuencias de 10 a 12 GHz, se caracterizan por secuencias conocidas y pueden utilizarse como "calibradores" para caracterizar el telescopio y medir el diagrama de la antena de recepción. El uso de grandes antenas permitirá un mapeo del cielo con suficiente contraste y la observación de otros objetos más débiles como el centro de la galaxia, las fuentes de radio Cassiopeia A, Cygnus A y Taurus A. La longitud de onda operacional de nuestro receptor, las emisiones térmicas de la luna se originan en las regiones cerca de la superficie: habrá cambios mensurables en la temperatura del suelo que se producen durante el día lunar. Igualmente interesantes son las medidas radiométricas de la emisión durante Eclipses lunares u ocultaciones por otros cuerpos celestes. **Las simulaciones son teóricas y consideran un comportamiento ideal del sistema receptor, estabilizado en la temperatura.**

La respuesta del telescopio ha sido calculada mediante la configuración, para cada observación, el valor de la ganancia de la revelación posterior que garantiza una respuesta cuadrática del detector; Suponiendo que la ausencia de ruido interferente de origen artificial. Por aproximar el diagrama de la antena de recepción y de emisión de la fuente de radio como aberturas circulares uniformemente iluminadas es posible determinar, en primera aproximación, los efectos de "filtrado" espacial de la forma de la función ganancia de la antena en su perfil real de la fuente de radio, mostrando lo importante que es conocer las características de la antena para una correcta evaluación de la situación observada. Estas simulaciones, sin embargo, tienen la ventaja de destacar el desempeño del instrumento.

La temperatura de la antena representa la potencia de la señal disponible en el receptor de la entrada. Como se verá, la antena de un radiotelescopio tiende a "nivelar", luego "diluir" la verdadera distribución de la luminosidad observada que va ser "pesada" de su función de ganancia. Si la fuente está extendida en comparación con el haz de la antena la distribución de brillo observado aproxima a uno real. La estimación de la temperatura de la antena es compleja: muchos factores contribuyen a su determinación y no todos son de evaluación inmediata. La contribución de la temperatura de la antena proviene del espacio circundante, incluyendo la tierra. El problema que se presenta al observador es derivar la verdadera distribución de la temperatura de brillo a partir de la medición de la temperatura de la antena, haciendo la operación de convolución entre la distribución del brillo de la situación observada y la función de ganancia de antena. Por lo tanto es muy importante conocer el manejo del diagrama directivo de un radio telescopio: la temperatura de la antena medida, orientando el lóbulo principal en una región del espacio, puede contener un aporte de energía no insignificante de otras direcciones si tiene lóbulos secundarios de un nivel demasiado elevado.

La temperatura de brillo del suelo toma típicamente valores del orden de 240,300 K, producida por la contribución de los lóbulos laterales de la antena y del efecto de otras fuentes como la vegetación. Desde cuando la antena de un radio telescopio está apuntando hacia el cielo con ángulos de elevación generalmente mayores de 5° , puede recoger la radiación térmica de la tierra sólo a través de los lóbulos secundarios: su contribución depende de su amplitud comparada a aquella del lóbulo principal. Puesto que el ruido total recogido por la antena es proporcional a la integral de la temperatura de brillo del escenario observado pesada desde su función de ganancia, se chequea que un objeto muy largo y caliente como el suelo puede dar una contribución importante si el diagrama directivo de la antena no es insignificante en todas las direcciones que miran la tierra.

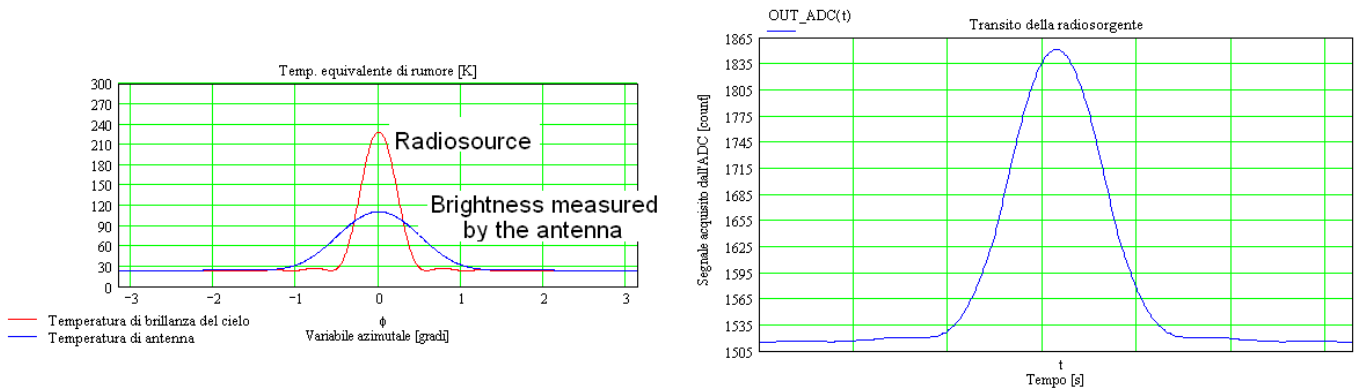


Fig. 8: Il perfil de brillo medido (emisión de la luna – la tabla derecha) está determinado por una relación de convolución entre la temperatura de brillo del escenario y la función de ganancia de antena. La antena de un radiotelescopio tiende a igualar la verdadera distribución de la luminosidad observada (cuadro izquierdo): la entidad de la distorsión instrumental es debido a las características de "filtrado" espacial de la antena y está unida con la relación entre el tamaño angular del haz de recepción y aquella aparente de la fuente de radio. Ninguna distorsión se produce si el diagrama de la antena de recepción es muy estrecho en comparación con la extensión angular "radio" de la fuente (el caso de una antena muy Directiva).

La Fig. 8 muestra la vía de tránsito de la luna "vista" desde el telescopio de radio: puesto que el flujo de la fuente es del orden de 52600 Jy a 11.2 GHz, ha definido un factor de amplificación [GAIN=10. Se ve como dentro los límites de las nuestras aproximaciones, la luna es una fuente de radio fácilmente admisible.

El perfil de brillo se expresa en términos de unidades numéricas relativas adquiridas por ADC [ADC_count].

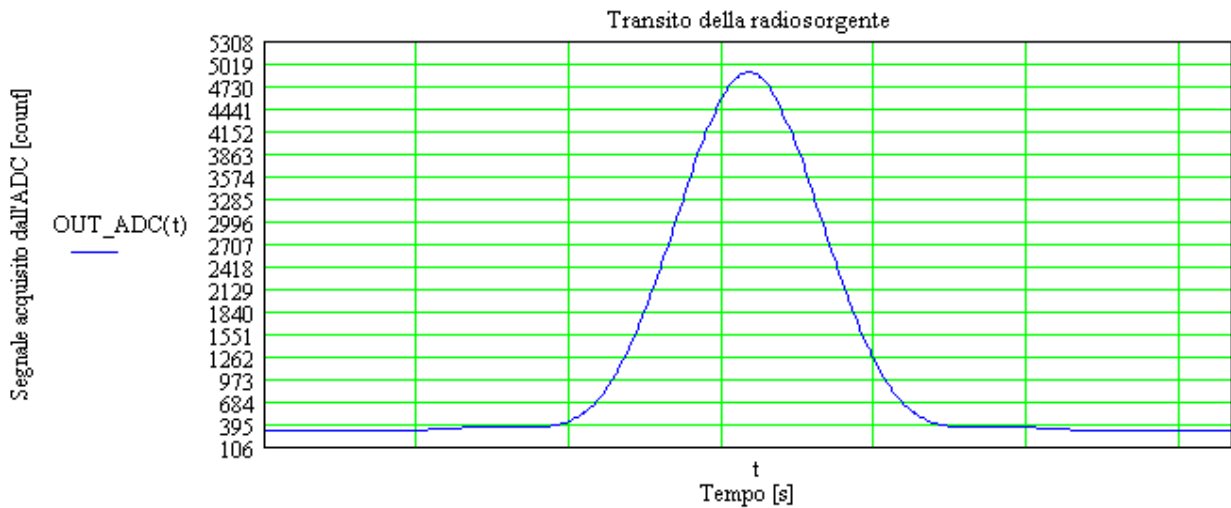


Fig. 9: Simulación del Sol que transita dentro de la viga de recepción del telescopio.

Para observar el sol (flujo del orden $3.24 \cdot 10^6$ Jy) usando la misma antena será necesario reducir la ganancia de [GAIN=7. En la figura. 9 se ve el rastro del tránsito del sol. Estos resultados teóricos confirman la idoneidad del telescopio para observar el sol y la luna cuando está equipado con antenas comerciales usadas normalmente para la recepción de TV satelital.

Un procedimiento usado por los astrónomos de radio para determinar el diagrama de radiación de la antena de un radiotelescopio proporciona la grabación del tránsito de una fuente de radio con diámetro aparentemente pequeño comparado con la amplitud del lóbulo principal de una antena. Una muestra

estándar ampliamente utilizado es Cassiopeia A (3C461), intensa fuente Galáctica de fácil vista en el hemisferio norte, caracterizado por un curso recto del espectro (en escala bi-logarítmica) en la banda de radio de 20 MHz a 30 GHz, con una disminución en la densidad de flujo del orden del 1% /año. Para calcular el flujo de la fuente de radio a la frecuencia de 11.2 GHz se usa la expresión:

$$S(f) = A \cdot f^n \quad \left[\frac{W}{Hz \cdot m^2} \right]$$

donde la constante A se obtiene teniendo en cuenta que $S(1 \text{ GHz}) = 3090 \text{ Jy}$ con Índice espectral $n = -0.77$ (época 1986). Realizando los cálculos y teniendo en cuenta la disminución secular del flujo se obtiene una emisión de aproximadamente 423 Jy.

$$S(f) = A \cdot f^{-0.765} \quad \text{con} \quad A = \frac{S(1 \text{ GHz})}{f^{-0.765}} = \frac{3090 \cdot 10^{-26}}{(10^9)^{-0.765}} = 2.3711 \cdot 10^{-16} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot Hz^{0.235}} \right]$$

$$S(f) = \frac{2.3711 \cdot 10^{-26} \cdot (10^6 \cdot f)^{-0.765}}{10^{-26}} \quad [\text{Jy}]$$

Utilizando estos datos simulamos el tránsito de Cassiopeia A con una antena de 2 metros de diámetro (Fig. 10). La configuración y los parámetros establecidos por el sistema de recepción son idénticas a las utilizadas anteriormente para la recepción de la luna, pero fue insertado un amplificador IF de línea comercial con ganancia de 12 dB (componente utilizado en las instalaciones de la TV – SAT para amplificar la señal de la LNB) insertado inmediatamente después de la LNB, necesario para amplificar la débil variación de la señal debido al tránsito de la fuente de radio. El perfil de la emisión de CassA parece muy "diluido" por la gran diferencia entre el tamaño de la viga de la antena de recepción y la medida angular de la fuente (ver tabla a la izquierda de la Fig. 10).

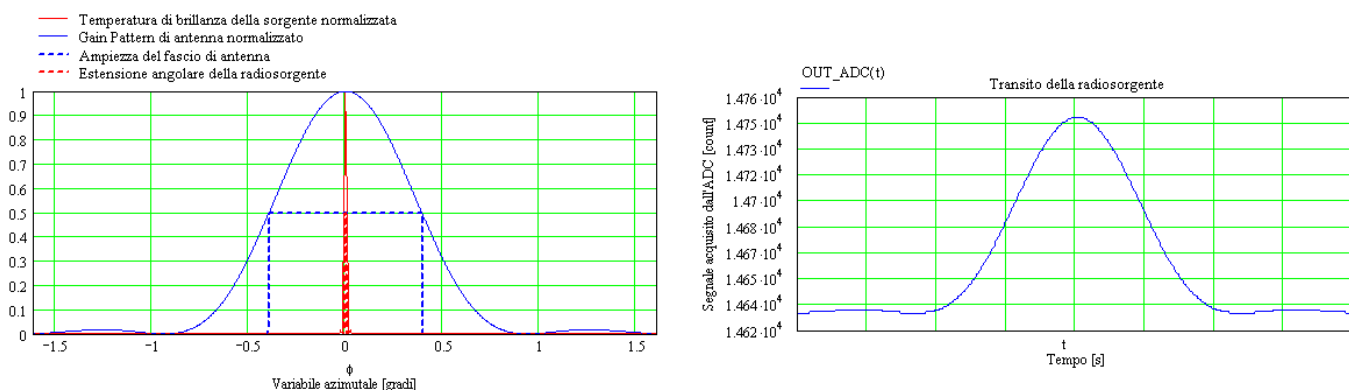


Fig. 10: Simulación teórica del tránsito de Cassiopeia A (3C461) registrado por nuestro receptor equipado con una antena de reflector parabólico de 2 metros de diámetro. Se colocó un amplificador IF de línea da 12 dB a la salida del LNB (producto comercial estándar utilizado para la recepción de TV vía satélite) para amplificar la variación de la señal débil debido a la fuente de radio.

Se concluye el parágrafo destacando los efectos de un correcto ajuste de la constante de la integración en la medición radiométrica (Fig. 11) y la necesidad de adoptar un convertidor analógico - digital (ADC), en el extremo de la cadena de revelación posterior, caracterizado por la dinámica correctamente (Fig. 12).

Para reducir las fluctuaciones en las estadísticas de señal reveladas en radiometría, entonces mejorar la sensibilidad del sistema, se utiliza generalmente un alto valor para la integración constante τ (correspondiente al parámetro INTEGRADOR descrito anteriormente) cuando el fenómeno a observar es relativamente estacionario. Como se muestra en la Fig. 11, el mínimo cambio en la temperatura de la antena (osea la sensibilidad teórica del telescopio) es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del producto de la anchura de banda del receptor B por la constante de tiempo del integrador. En la expresión, T_{sys} es la temperatura de ruido general del sistema de recepción y ξ es una constante que, para los radiómetros *Total-Power*, vale 1. En cada proceso de integración de medición, aumentar τ significa aplicar una filtración gradual y "aplanamiento" de las características de la variabilidad del fenómeno observado: son "disfrazadas" las variaciones de durada inferior a τ y se alteran (o se pierden) las informaciones sobre la evolución temporal de la grandeza estudiada, distorsionado el perfil de la fuente. Para un correcto registro de los fenómenos con sus variaciones de una cierta duración es indispensable preparar un valor para la constante de integración suficientemente menor de tale duración.

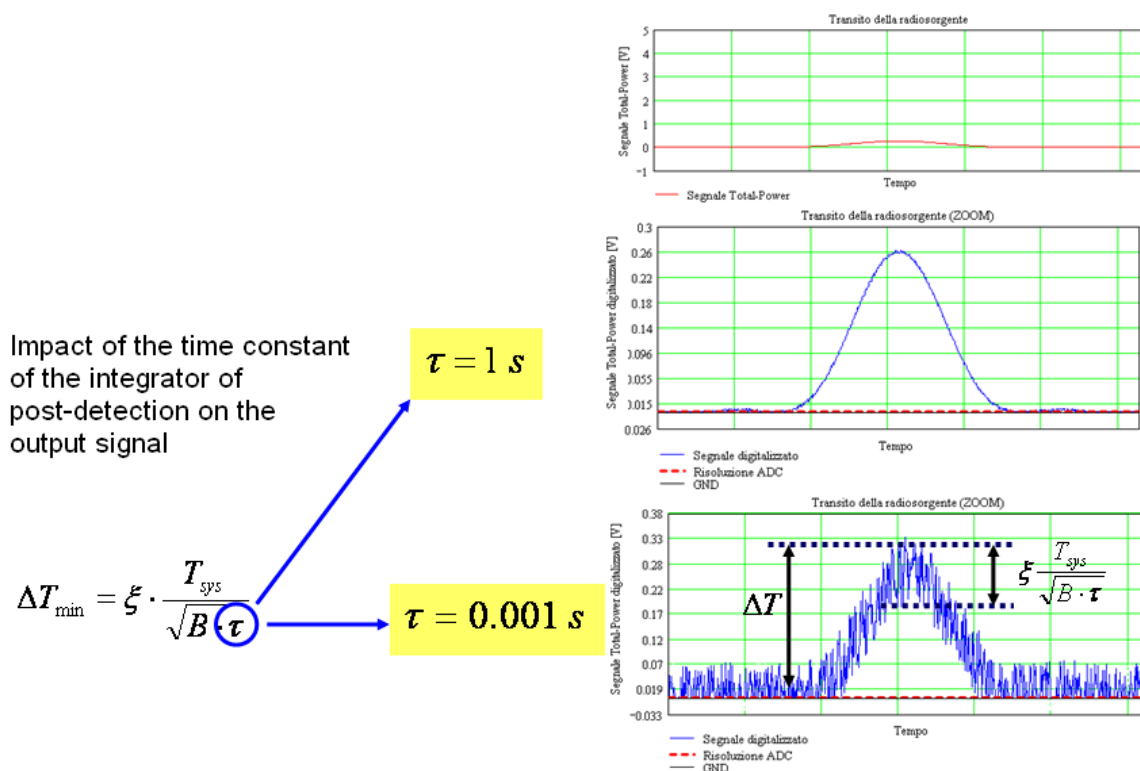


Fig. 11: Importancia de un correcto ajuste de la constante de integración en la medida radiométrica.

Effects of analog-to-digital converter (ADC)

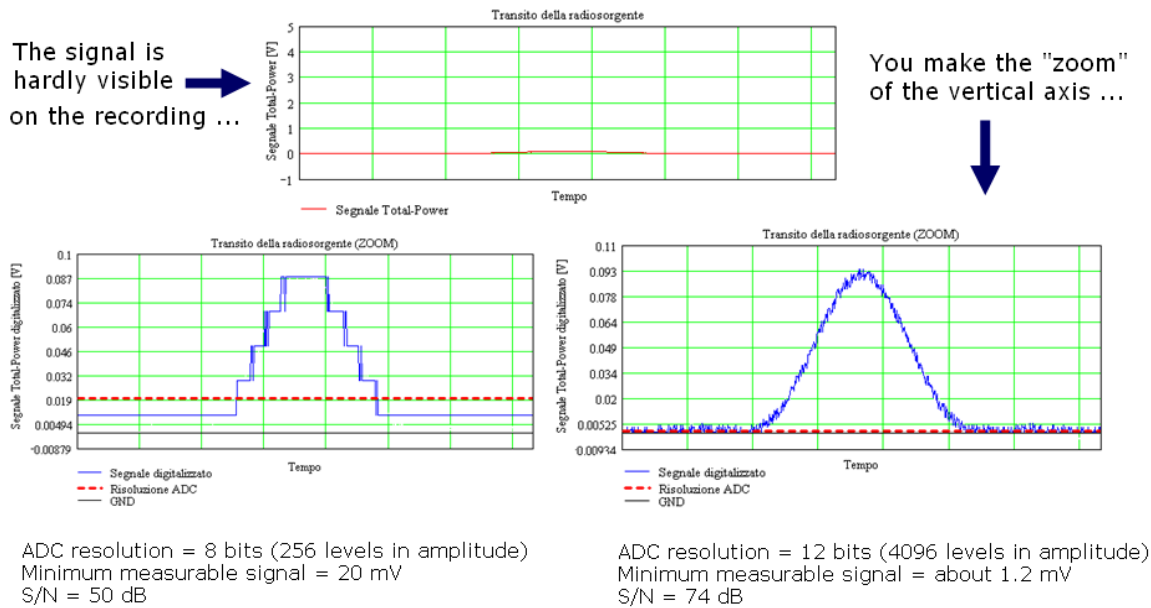


Fig. 12: Efectos de la resolución del convertidor analógico - digital (ADC) en la precisión de medición.

El dispositivo de conversión analógico - digital (ADC) es el último eslabón en la cadena de procesamiento del señal radiométrico que convierte la información analógica recibida en la secuencia numérica correspondiente de las muestras. Como puede verse en la Fig. 12, es indispensable utilizar un convertidor analógico - digital con características adecuadas, particularmente en términos de linealidad y resolución para conseguir suficiente dinámica en la cuantización de la amplitud durante la operación de "digitalización" del señal radiométrico, especialmente cuando se miden pequeñas variaciones. Sólo bajo estas condiciones se consigue una respuesta con un grado suficiente de precisión y definición, sobre la base de estas consideraciones, aparece oportuno la opción de utilizar un ADC caracterizado de 14 bits de resolución para el módulo *microRALIO*.

Calibración del telescopio.

Si quieres hacer un instrumento de medición, es necesario calibrar el telescopio para obtener a la salida datos coherentes con una escala absoluta de densidad de flujo o de temperatura de ruido de la antena equivalente. El propósito de la calibración es establecer una relación entre la temperatura de la antena [K] y una cantidad determinada en la salida de la herramienta [count]. Lógicamente esta operación compleja y delicada, será argumento de un artículo específico sobre la aplicación de equipos de los aficionados: aquí daremos algunas pautas generales que pueden utilizarse para calibrar la escala del telescopio observando fuentes externas fácilmente "disponibles" y mínima instrumentación de apoyo.

Ajustando la ganancia de la revelación posterior del receptor para que la característica de entrada y salida sea lineal entre el nivel de potencia de la señal IF aplicada y el valor [count] adquirida por ADC, es posible calibrar el sistema midiendo dos niveles de ruido diferentes: primero se observa un *target "caliente"* (objeto colocado típicamente a una temperatura ambiente $T \approx 290$ K), a continuación, *target "frío"* (objeto colocado a una temperatura mucho más baja, por ejemplo, el cielo libre de fuentes de radio) estableciendo directamente en grados K la temperatura de la antena. En la práctica:

- *Target “FRIO”*: la antena está orientada hacia el cielo claro (modelo U.S. estándar de la atmósfera). La temperatura de brillo que T_2 del cielo frío (del orden de 6 K) puede calcularse fácilmente en la frecuencia de 11.2 GHz utilizando el gráfico de la Fig. 1, siendo bastante tranquilo por la atmósfera.
- *Target “CALIENTE”*: la antena del radiómetro apunta sobre una capa de material absorbente para microondas (tipo ECCOSORB – Emerson & Cuming Co.) cuya temperatura de brillo es igual a su temperatura física T_1 (se trata de un cuerpo negro con emisividad del orden de 0,99). El material debe ubicarse en la región de campo lejano de la antena y llenar su campo de vista. Para garantizar la exactitud en la medición se deberá verificar que los lóbulos secundarios de la antena no reciban una contribución significativa de la radiación del suelo o de otras fuentes de interferencias.

Si las respuestas del instrumento (expresado en unidad *count* de medida del ADC) cuando "ve" objetos colocados en diferentes temperaturas T_1 y T_2 son, respectivamente:

$count_1$ cuando el instrumento “ve” T_1 (target “CALIENTE”);
 $count_2$ cuando el instrumento “ve” T_2 (target “FRIO”);

Uno puede expresar la temperatura de la antena genérica T_a en función de la correspondiente respuesta *count* como:

$$T_a = T_1 + \frac{count - count_1}{count_1 - count_2} \cdot (T_1 - T_2) \quad [K]$$

La exactitud de medición depende esencialmente de la constancia de la ganancia general del radiómetro y de la constancia de la impedancia de entrada del LNB.

Construcción del telescopio.

Una vez conocido el funcionamiento del instrumento, construir un telescopio de radio utilizando el *RAL10KIT* (Fig. 13) es muy simple. Con referencia a la Fig. 4, encontrarás una lista de los componentes necesarios:

1. Un reflector parabólico de antena per TV-SAT 10-12 GHz (circular simétrica o de tipo offset) completo con soporte mecánico para la instalación y objetivo.
2. Unidad externa LNB completa de iluminador específico por la antena utilizada.
3. Cable coaxial de 75 Ω por TV-SAT de buena calidad (para la conexión del LNB- *microRAL10*) Pagadero con conectores estándar de tipo F.
4. Amplificador IF de línea con ganancia de 10 a 15 dB (opcional).
5. Kit *RAL10KIT* compuesto del módulo radiométrico *microRAL10* e del módulo interfaz USB *RAL126*.
6. Fuente de alimentación (posiblemente de tipo lineal con bajo ruido, bien filtrada) capaz de proporcionar tensión [7÷12 VDC – 50 mA] y [20 VDC- 150 mA].
7. Caja contenedor para el receptor (preferiblemente metálica).
8. Cable USB estándar con conectores de tipo A (lado PC) y de tipo B (lado *RAL126*).
9. Computadora para la adquisición de las medidas y para el control del instrumento.
10. Software *DataMicroRAL10*.
11. Tool EXCEL (con macro) *ImportaDati_DataMicroRAL10* que permite de importar archivos grabados desde el software *DataMicroRAL10* y mostrar en forma gráfica.

El kit proporcionado por RadioAstroLab, como se muestra en la Fig. 13, comprende las partes específicas en los puntos (5), (10) y (11) que constituyen el “corazón” del receptor de la radio astronomía.

El mercado de la televisión por satélite ofrece muchas opciones de elección para la antena, el iluminador y el LNB, incluyendo ayudas mecánicas para el montaje e instalación: el investigador decidirá en base a la disponibilidad económica y de espacio. Pueden ser antenas circulares simétricas o de tipo offset, todas adecuadas para nuestra aplicación. Importante para garantizar el funcionamiento, utilizar kit que incluye, en un solo paquete, con alimentación LNB con feed y apoyos y soporte junto con la antena específica, asegurando una “iluminación” correcta y un mejor enfoque para este tipo de reflector. Estos productos son disponibles en cualquier tienda de comestibles y productos electrónicos de consumo o en los mejores instaladores de sistemas de TV-SAT. Usando un poco de imaginación y habilidad constructiva, es sin duda, construir sistemas de reconocimiento automático, al menos para las antenas no muy grandes, aprovechando el mercado para equipo de radio para aficionados o el superávit de la electrónica: son disponibles rotores de antena que permiten el movimiento de azimut y de elevación. Hay muchos ejemplos interesantes e ingeniosas creaciones en la web, incluyendo el uso de monturas ecuatoriales para instrumentos ópticos adaptados para pequeñas antenas parabólicas. Muy útil para el seguimiento adecuado y planear sesiones de observación son programas de cartografía de la bóveda celeste que reproducen, en cualquier lugar, fecha y hora de la localización y los movimientos de objetos celestes con gran detalle y precisión exacta.

Como se mencionó anteriormente, son utilizados prácticamente todos los dispositivos LNB existentes en comercio para TV satelital a 10-12 GHz caracterizados por una frecuencia intermedia de 950-2150 MHz. En los dispositivos modernos es posible manejar el cambio de polarización (horizontal o vertical) con un salto de voltaje, típicamente 12.75 V - 17,25 V: *microRAL10* permite esta funcionalidad mediante el comando correspondiente, como se describe en el protocolo de comunicación. Un cable coaxial TV-SAT de 75 Ω de longitud apropiada, terminado con conectores estándar de F, conectar la salida RF-IF de la unidad externa LNB con la entrada del módulo *microRAL10*. Se recomienda elegir los mejores cables de calidad, de baja pérdida. En algunos casos cuando se observa a las fuentes de débil intensidad (como se describe en la sección de comprobación teórica del rendimiento del sistema) o cuando la línea coaxial es muy larga, puede ser necesario insertar un amplificador IF de línea (da 10 a 15dB de ganancia) entre el LNB y el módulo *microRAL10*.

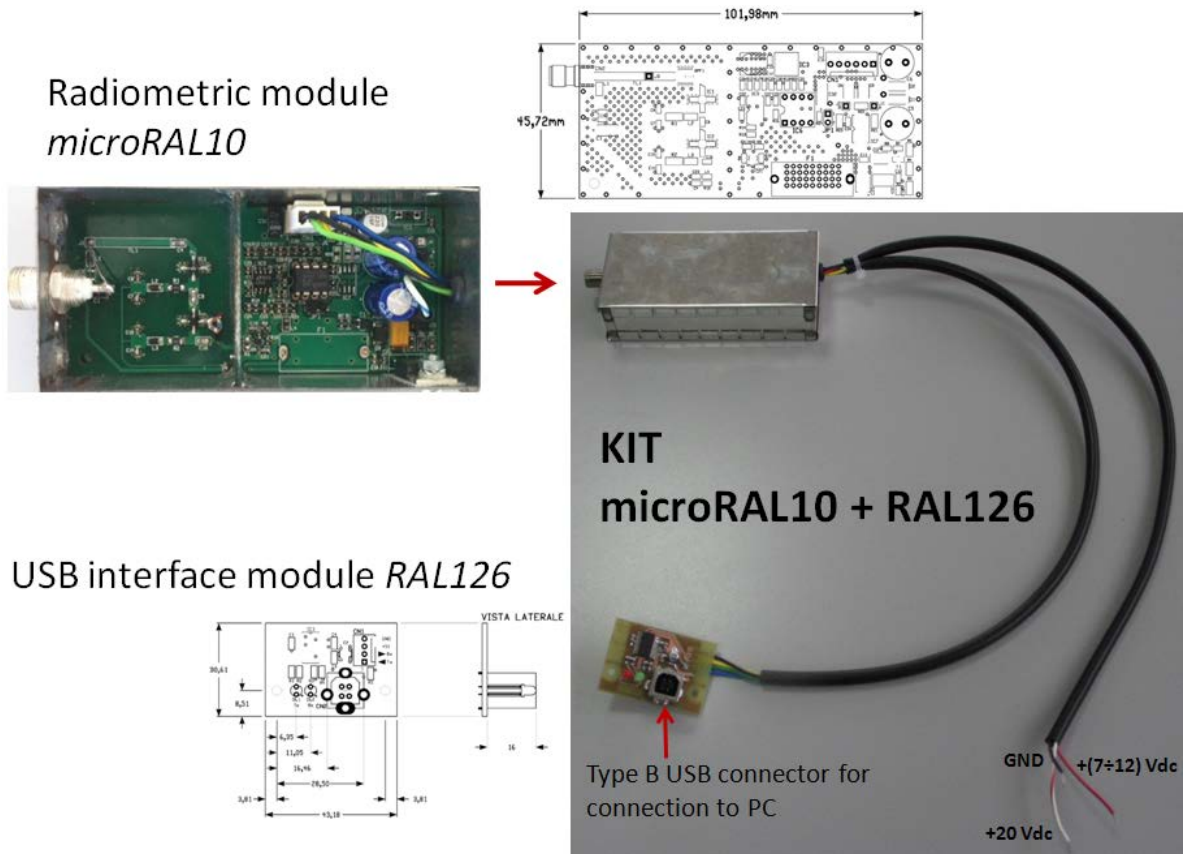


Fig. 13: *RAL10KIT* proporcionado por RadioAstroLab.

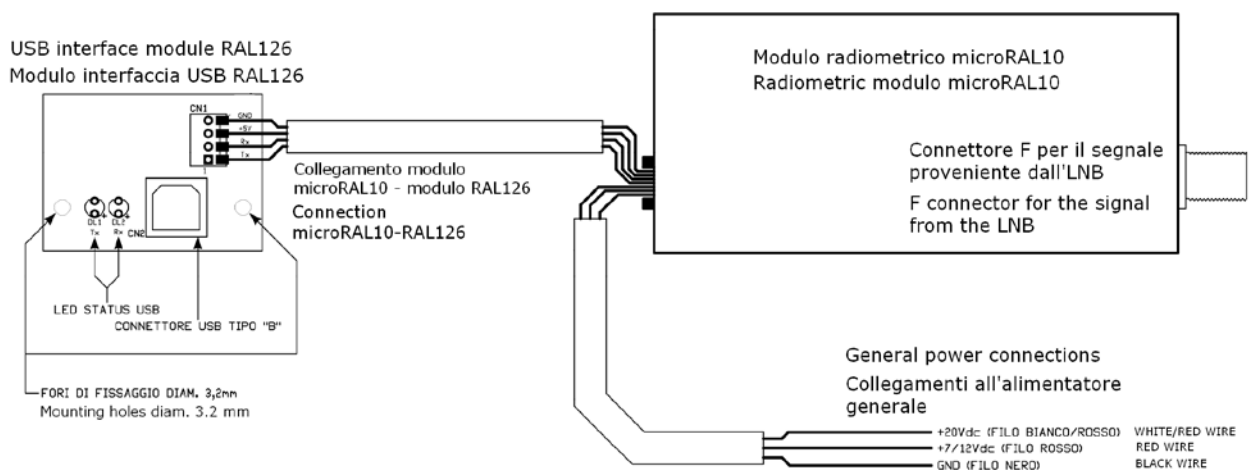


Fig. 14 Diagrama de cables del grupo *RAL10KIT*: el módulo radiométrico *microRAL10* (suministrado montado y probado) está contenido dentro de una caja de metal que tiene un conector coaxial F para la conexión con la señal RF-IF proveniente de la LNB (a través del cable coaxial de 75 Ω para TV satelital) y un cable de paso de goma de donde provienen las conexiones para el módulo de interfaz del USB *RAL126* y para la la fuente de alimentación.

Optimización del rendimiento.

Antes de iniciar cualquier observación de Radio Astronomía sugerimos de observar las siguientes reglas:

1. **Encender el receptor y esperar que el instrumento haya alcanzado la estabilidad térmica.** La inestabilidad del sistema se deben principalmente a los cambios de temperatura: antes de iniciar cualquier observación de Radio Astronomía es necesario esperar al menos una hora después de encender el instrumento para alcanzar la temperatura de funcionamiento en el sistema de circuitos electrónicos internos. Esta condición se comprueba al ver una estabilidad a largo plazo de la señal radiométrica cuando la antena fija una región del cielo “frío” (ausencia de fuentes de radio): aparecen mínimas fluctuaciones mostradas por el trazo gráfico en el programa *DataMicroRAL10*.
2. **Ajuste inicial de la ganancia de revelación posterior *GAIN* en valores mínimos (típicamente da *GAIN=7* hasta el *GAIN=10*).** Cada instalación estará caracterizado por rendimientos diferentes, no son predecibles de antemano las características de los componentes elegidos por los usuarios. Experimentalmente se ajusta la ganancia de la revelación posterior a partir de los valores mínimos de prueba (para evitar la saturación), optimizando con posteriores y repetidas exploraciones de la misma región del cielo. Para observar el Sol es aconsejable establecer inicialmente *GAIN=7*, para observar la luna debería iniciar con *GAIN=10*. Cabe recordar como esos valores están muy influenciados por el tamaño de la antena y de las características del LNB utilizado.
3. **Encontrados los valores apropiados para las ganancias de la posterior revelación es posible modificar el valor de la constante de integración *INTEGRATOR* para estabilizar la medida.** El sistema está configurado inicialmente para la medición con una constante de integración corta (*A*). Este valor corresponde al cálculo de la media móvil de la señal radiométrica usando pocas muestras, generalmente es apropiada en la mayoría de los casos. Es posible mejorar la sensibilidad de la medida, al precio de una respuesta del sistema más lento en comparación con los cambios de la señal, adoptando una constante de tiempo mayor: se recomienda establecer el valor *A* durante la fase inicial de la calibración y ajuste del sistema, luego tomar la constante de tiempo *D* durante la sesión de medición de fuentes de radio caracterizadas con emisiones estacionarias. Cuando se registran fenómenos rápidamente variables o de carácter transitorio (por ejemplo, las erupciones solares de microondas) deberá seleccionar la constante de tiempo más corta. Una mayor integración de la señal radiométrica es posible mediante el procesamiento de las muestras adquiridas del software *DataMicroRAL10* ajustando el parámetro *SAMPLING*.
4. **Ajuste del parámetro *BASE_REF* que establece el nivel de referencia (offset) de la línea de base radiométrica.** También para este parámetro las consideraciones precedentes son válidas, dado que su ajuste adecuado depende del valor de la ganancia global de la cadena de pre-revelación. Como regla general, *BASE_REF* debería ser ajustado en modo que el nivel mínimo de la señal radiométrica corresponde al “cielo frío” (referencia ideal), en condiciones de atmósfera clara, cuando la antena “ve” una región del cielo carente de fuentes de radio: un aumentar en comparación con el nivel de referencia sería representativo de un escenario caracterizado por la temperatura más alta (fuente de radio).
Fíjese que la posición final de la línea de base en la escala de medición sea función de la ganancia de post revelación *GAIN* y del valor fijado para *BASE_REF*. Si, debido a las derivas internas, la señal se encuentra fuera de la escala de medición (arriba escala o abajo escala) es necesario modificar el valor *BASE_REF* o habilitar la calibración automática (comando *CAL*) para posicionar correctamente la pista.
5. Si utilizas LNB adecuado, siempre puedes cambiar la polarización para el estudio de fuentes de radio con emisión donde predomina un componente polarizado. En la mayoría de las observaciones disponibles para los aficionados las fuentes de radio emiten con polarización aleatoria: en estos casos el cambio de la polarización de recepción puede ser útil para reducir la posibilidad de interferencia con las señales de origen artificial.

6. Optimización de la instalación del feed de la antena. Con la compra de productos comerciales para TV-SAT es generalmente fija y optimizado la posición del feed a lo largo de la línea focal de la antena. Si fuera posible mecánicamente y se desea mejorar el rendimiento del telescopio, es conveniente orientar la antena en la dirección de una muestra de la fuente de radio (como el Sol y la Luna) y cambiar adelante - atrás la posición del feed a lo largo del eje de la parábola con el fin de grabar una señal de intensidad máxima. Medidas repetidas ayudan a reducir los errores.

El ajuste correcto de los parámetros del receptor requiere el registro de algunas observaciones de prueba antes de iniciar la sesión de trabajo real. Este procedimiento normalmente seguida por observadores de radio profesionales, permite de "calibrar" el sistema de modo que su respuesta dinámica y el factor de escala son adecuados para registrar sin errores el fenómeno observado. Si se ejecuta correctamente, este ajuste (es necesario sobre todo cuando hay largos períodos de observación) le permitirá ajustar la ganancia de la posterior revelación y el offset de la escala para una medida correcta, evitando el riesgo de saturación o de puesta a cero de la señal con la consiguiente pérdida de información. La observación astronómica de radio más simple consiste en la orientación de la antena hacia el sur y su posición a una altura que podría interceptar una fuente de radio específica durante su tránsito hacia el meridiano, es decir, el paso aparente de la fuente para el meridiano local (uno que contiene los polos y el punto de la instalación del telescopio). Nuestra herramienta, generalmente se caracterizan por una antena de haz ancho a un cierto grado, que "perdona" una falta de conocimientos de la posición de las fuentes de radio: por lo tanto es aceptable una precisión en apuntar mucho más baja que la utilizada en las observaciones ópticas. Ajustando en un programa de adquisición un muestreo para obtener una pantalla más o menos cada 24 horas (parámetro *SAMPLING* en el programa *DataMicroRAL10*), puede ocurrir si, durante el día, la antena intercepta las fuentes de radio deseadas y si los valores elegidos para los parámetros (ganancia de revelación posterior y el nivel de la línea de base) son adecuados para la observación. Quizá tengas que aumentar **GAIN** para amplificar el rastro, o cambiar el nivel de la línea de base **BASE_REF** para evitar que, en algún lugar en el gráfico, la señal cae fuera de la escala. Después del procedimiento de configuración se puede iniciar largas sesiones de grabación automática no tripulado por el operador.

Main radiosources

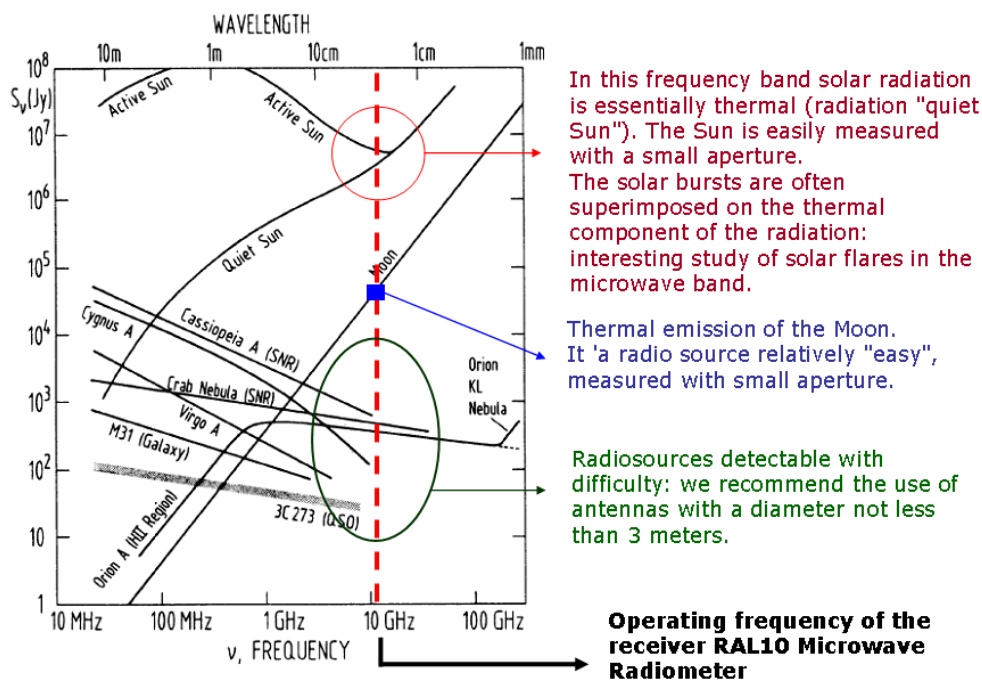


Fig. 17: Posibilidades operativas de radio telescopio construido con el *RAL10KIT*.

Una verificación de la funcionalidad del radio telescopio proporciona la orientación de la antena inicialmente hacia una región “frío” (el cielo) y, posteriormente, a la tierra: usted notara una gran desviación en el rastro de la señal debido a que el instrumento mide la diferencia de temperatura entre la tierra (unos 300 K) y el fondo cósmico (unos pocos grados K). Esto es una forma aproximada y simplificada para calibrar la escala del receptor. Interesantes experimentos se pueden imaginar para verificar la sensibilidad de nuestro sistema de recepción, como el de señalar el LNB hacia las lámparas fluorescentes: estos componentes emiten una cantidad significativa de radiación de microondas fácilmente medible (según los mecanismos de emisión diferentes, algunos de los cuales simplemente no se correlacionan con la temperatura física de la fuente). Alimentando y apagando la lámpara se registra una variación apreciable de la señal recibida, proporcional a la intensidad y al tamaño angular de la fuente.

La Fig. 17 y la siguiente tabla muestra las fuentes de radio admisible con nuestro telescopio, sin olvidar como los más débiles entre ellos, son observables solamente mediante el uso de antenas suficientemente grandes. Las siguientes son las grabaciones de algunas observaciones de la prueba.

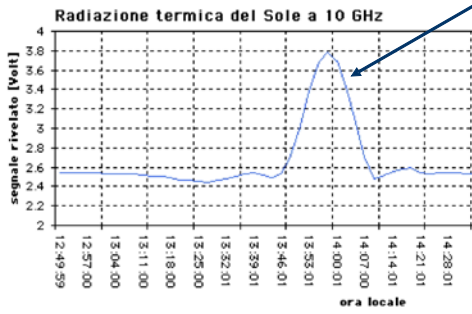
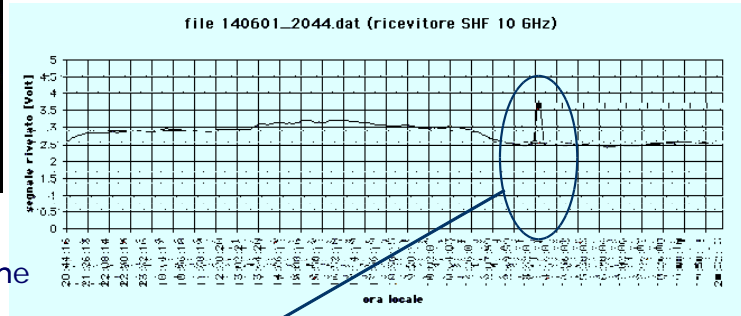
Radiosorgenti	A.R.	Declinazione	Flusso Jy @ 10 GHz
Sole			> 1 000 000
Luna			30 000
Giove			30
Sagittarius A (centro galattico)	17h 42m	-29°	300
Cassiopeia A (supernova)	23h 21m 7s	58° 34'	600
Cygnus A (radiogalassia)	19h 57m 45s	40° 36'	100
Taurus A (Crab Nebula) (supernova)	5h 31m 30s	21° 58'	500
Virgo A (radiogalassia)	12h 28m 18s	12° 40'	30
Andromeda (galassia)	0h 40m	41°	30
3C 273 (quasar)	12h 26m 33s	2° 20'	20

La unidad de flujo Jy (en honor a K. Jansky) es igual a 10^{-26} W/(m²·Hz), medida que cuantifica las propiedades emisivas de las fuentes de radio. Muestra las principales fuentes de radio accesible a nuestro telescopio cuando está equipado con una antena de tamaño suficientemente grande.



Thermal component of the solar radiation

THE "QUIET" SUN



Solar transit

When the beam of the antenna is wider than the apparent size of the radio source, the trace of the transit points to the shape of its receiving lobe. Are visible side lobes of the antenna system.

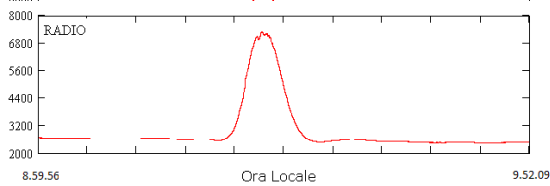


Fig. 18: Ejemplo de una grabación del tránsito solar.

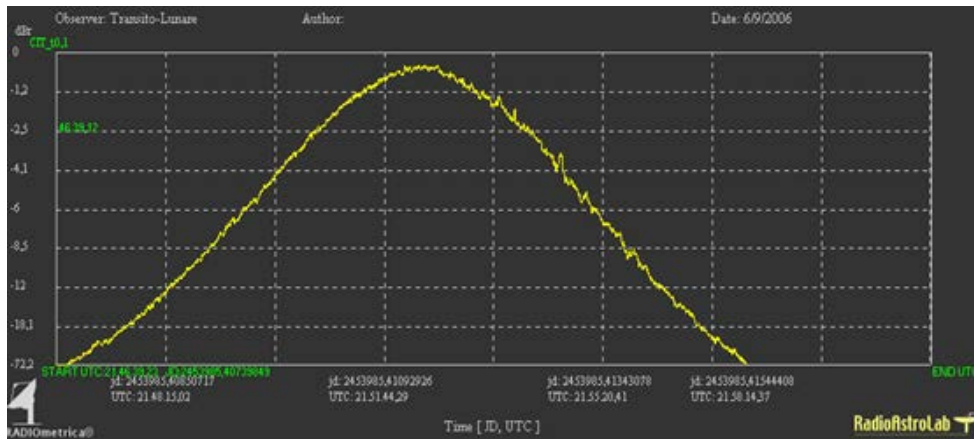


Fig. 19: Registro de un tránsito lunar. La radiación térmica de la luna es claramente visible: su emisión es un resultado del hecho que el objeto emite aproximadamente como un cuerpo negro caracterizado con una temperatura de 300 K. Si la emisión visible de la luna es casi exclusivamente debido a la luz reflejada del Sol, en el microondas se registra una emisión debido a la temperatura del objeto que contrasta con la del cielo "frío".

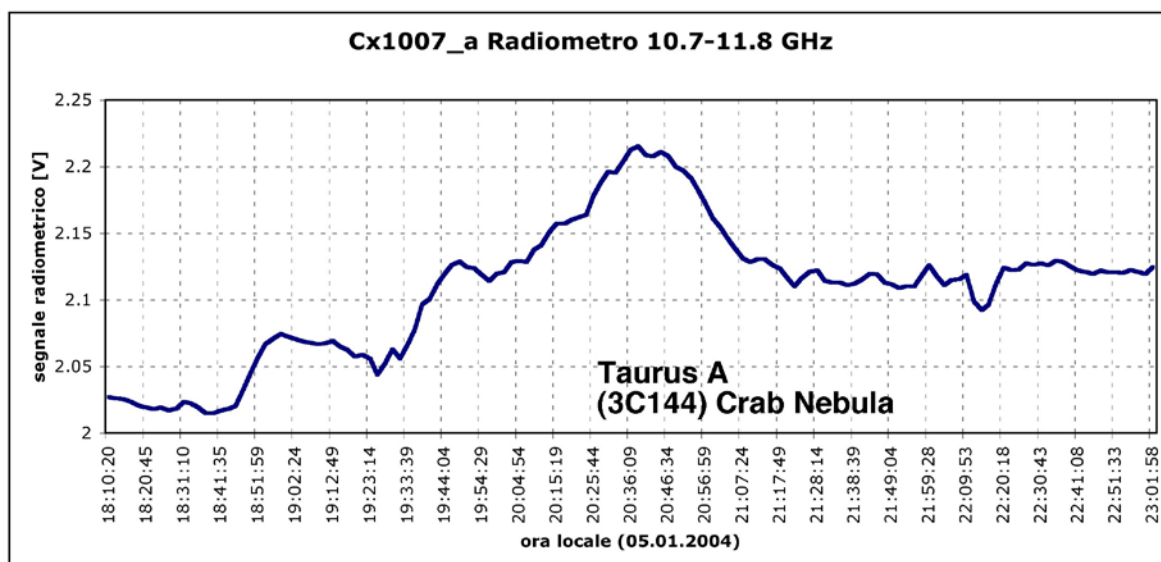


Fig. 20: Tránsito de la Fuente de radio Taurus A.

Referencias Bibliográficas

- N. Skou, D. Le Vine, "MICROWAVE RADIOMETER SYSTEMS (DESIGN AND ANALYSIS).", 2006 Edition, Artech House.
- J. D. Kraus, "RADIO ASTRONOMY", 2nd Edition, 1988, Cygnus-Quasar Books.
- [3] R. H. Dicke, "THE MEASUREMENT OF THERMAL RADIATION AT MICROWAVES FREQUENCIES.", 1946 – The Review of Scientific Instruments, N. 7 – Vol. 17.
- F. Falcinelli, "RADIOASTRONOMIA AMATORIALE.", 2003 – Ed. Il Rostro (Segrate, MI).
- F. Falcinelli, "TECNICHE RADIOASTRONOMICHE.", 2005 – Ed. Sagraf (Castelferretti, AN).

Doc. Vers. 1.0 del 16.03.2013
@ 2013 RadioAstroLab

RadioAstroLab s.r.l., Via Corvi, 96 – 60019 Senigallia (AN)
 Tel. +39 071 6608166 Fax: +39 071 6612768
 Web: www.radioastrolab.it Email: info@radioastrolab.it

Copyright: derechos reservados. El contenido de este documento es propiedad del fabricante. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida en cualquier forma o por cualquier medio sin el permiso por escrito de RadioAstroLab s.r.l..