

11.2 GHz RAL10AP Microwave Radiometer

Una semplice procedura di calibrazione per un radiotelescopio amatoriale

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

www.radioastrolab.com

Una parte molto importante del funzionamento di un radiotelescopio riguarda la calibrazione dello strumento. Come per qualsiasi sistema di misura, anche nel caso di un ricevitore radioastronomico occorre stabilire una procedura di taratura per ottenere all'uscita dati coerenti con una scala assoluta di temperature di antenna. A causa delle tolleranze costruttive, le caratteristiche e i parametri operativi dei dispositivi utilizzati per la costruzione del ricevitore differiscono leggermente dai valori nominali utilizzati come riferimento nel progetto: ogni strumento è unico nella sua risposta ed è difficile confrontare le misure eseguite da diversi radiotelescopi o quelle dello stesso impianto effettuate in tempi diversi. Molti sono i fattori che producono tali differenze come, ad esempio, variazioni nella temperatura di sistema del ricevitore, nelle caratteristiche dei dispositivi attivi e, in generale, a causa di variazioni nelle condizioni atmosferiche. Osservando ripetutamente una radiosorgente in un certo periodo dell'anno è possibile riscontrare cambiamenti di intensità nel picco di emissione. E' importante capire se tali fluttuazioni sono dovute a reali variazioni nel flusso della sorgente o a variazioni indesiderate nella risposta del radiotelescopio: è quindi necessario utilizzare un sistema di misurazione universale. A questo serve la procedura di calibrazione di un radiotelescopio: stabilire una relazione fra la temperatura di antenna [K] e una data quantità in uscita dallo strumento [count].

In questo documento forniremo alcuni suggerimenti per calibrare la scala di misura di un radiotelescopio amatoriale, in modo semplice e pratico, osservando sorgenti facilmente "reperibili". Le nostre sperimentazioni sono state effettuate con un piccolo radiotelescopio costruito con il ricevitore *RAL10AP* e una comune antenna parabolica offset comunemente utilizzata per la ricezione satellitare in banda 10-12 GHz. La procedura è approssimata e generalmente valida, eseguibile da chiunque in modo semplice e gratuito: adeguata alle esigenze di un piccolo radiotelescopio amatoriale, consente di farsi un'idea attendibile sui valori misurati in una scala assoluta di temperatura.

Impostando il guadagno del ricevitore in modo che la sua caratteristica ingresso-uscita sia lineare fra il livello di potenza del segnale RF applicato e il valore [count] acquisito dal convertitore analogico-digitale (ADC) del sistema di acquisizione, è possibile calibrare il sistema misurando due differenti livelli di rumore: prima si osserva un target "caldo" (oggetto a temperatura ambiente), poi un target "freddo" (come, ad esempio, una regione di cielo libera da radiosorgenti) tarando direttamente in gradi K la temperatura di antenna. In pratica:

- Misura del *target freddo*: si orienta l'antenna verso il cielo sullo zenith locale, quando sono assenti radiosorgenti e in una giornata serena e limpida. La temperatura di brillantezza T_{sky} del cielo freddo (dell'ordine di 6-7 K – vedi Fig. 1 e 2) può essere facilmente stimata alla frequenza di 11.2 GHz utilizzando il seguente grafico, essendo abbastanza indisturbata dall'atmosfera.

- Misura del *target caldo*: si orienta l'antenna verso il terreno in modo che questo riempra tutto il suo campo di vista e sia sufficientemente distante da considerare valida la radiazione di campo lontano (almeno 300 metri per un'antenna con diametro massimo di due metri). Se la temperatura fisica del terreno (misurabile con un termometro) è T_{soil} e la sua emissività a microonde vale $e=0.95$ (stimata sulla base di tabelle reperibili sul web), la temperatura di brillantezza del *target caldo* si calcola utilizzando la seguente relazione

$$T_{b_soil} = e T_{soil}$$

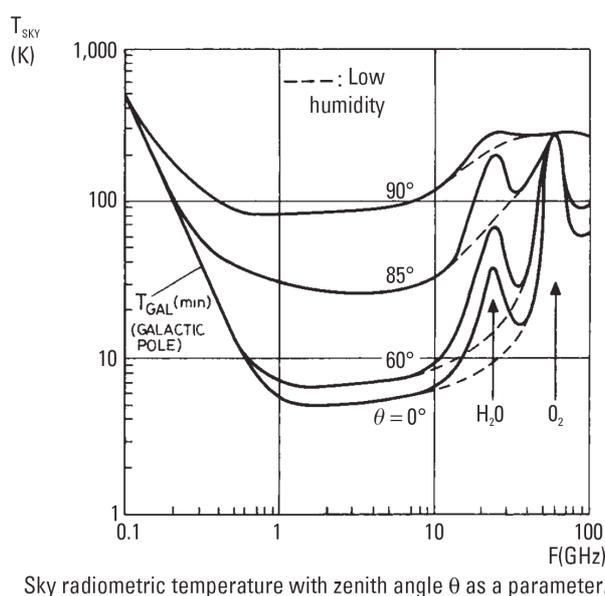


Fig. 1: Temperatura di brillantezza del cielo in funzione della frequenza e dell'angolo di elevazione dell'antenna.

Se le risposte del radiometro (esprese in unità *count* di misura dell'ADC) quando "vede" i target con differenti temperature di brillantezza T_{b_soil} e T_{sky} sono, rispettivamente:

$count_{soil}$ quando lo strumento "vede" T_{b_soil} (*target caldo*)
 $count_{sky}$ quando lo strumento "vede" T_{sky} (*target freddo*)

si può esprimere la generica temperatura di antenna T_a in funzione della corrispondente risposta *count* come:

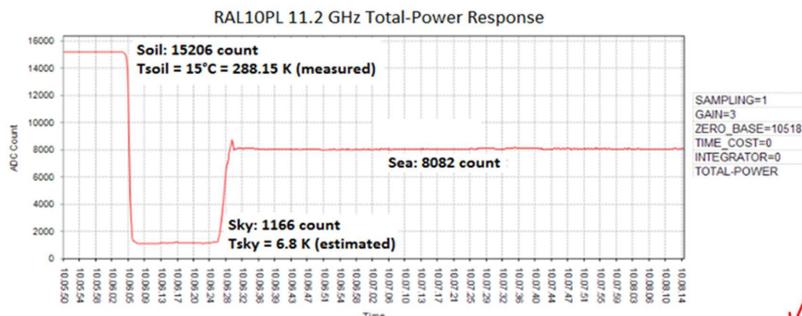
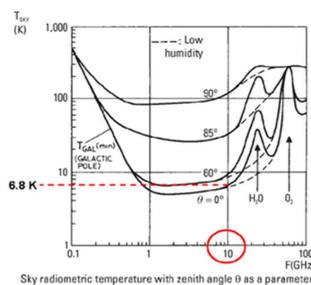
$$T_a = T_{bsoil} + \frac{count - count_{soil}}{count_{soil} - count_{sky}} \cdot (T_{bsoil} - T_{sky}) \quad [K]$$

La calibrazione del radiotelescopio, come è ovvio, deve essere ripetuta possibilmente prima e dopo ogni osservazione, e ogni volta che si modifica un parametro strumentale (guadagno, livello della linea di base, etc.).



11. 2 GHz RAL10AP Microwave Radiometer: Simple calibration procedure

Like any measuring instrument, the radio telescope must be calibrated to obtain the output data consistent with an absolute scale of noise antenna temperature. The purpose of calibration is to establish a relationship between the antenna's temperature [K] and a given amount in output from the instrument [count]. It is possible to calibrate the system by measuring two different levels of noise: it is observed before a "hot" target, then a "cold" target.



1) COLD TARGET

11.2 GHz Brightness Temperature (estimated) when the radiometer "sees" an area of the sky (zenith) clear and dry:
 $T_{sky} := 6.8 \text{ K}$

$count_{sky} := 1166$ Antenna that "sees" the sky zenith.

2) HOT TARGET:

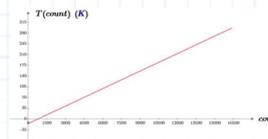
$T_{soil} := 15 \text{ }^\circ\text{C} = 288.15 \text{ K}$ Physical Temperature of the soil (measured).

$e := 0.95$ Emissivity of soil @ 11.2 GHz (estimated) .

$Tb_{soil} := e \cdot T_{soil} = 273.743 \text{ K}$ Brightness Temperature of the soil.

$count_{soil} := 15206$ Antenna that "sees" the soil.

Calibration curve of RAL10AP:



The brightness temperature measured by the radio telescope when it "sees" a scenario characterized by a measure [count] will:

$count := 0 \dots (2^{14} - 1)$ E' il campo di misura dell'ADC (con risoluzione pari a 14 bit).

$$T(count) := Tb_{soil} + \frac{count - count_{soil}}{count_{soil} - count_{sky}} \cdot (Tb_{soil} - T_{sky})$$

Fig. 2: Procedura di calibrazione di un radiotelescopio amatoriale.

La formula appena trovata consente di esprimere in una scala assoluta di temperature di brillantezza le misure radiometriche espresse in unità arbitrarie di acquisizione dell'ADC (count), quindi di ricavare la caratteristica di taratura dello strumento (Fig. 3).

La Fig. 2 riassume questa semplice procedura che, pur nella sua approssimazione, fornisce un'idea attendibile sulla dinamica della scala di misura in gradi K dello strumento. L'esperimento, valido per un radiotelescopio basato sul ricevitore *RAL10AP* collegato ad una comune antenna a riflettore parabolico (offset) per la ricezione TV-SAT 10-12 GHz, è proponibile per qualsiasi impianto amatoriale. Si utilizzano le registrazioni della risposta strumentale quando l'antenna punta il suolo (si è scelto un vasto appezzamento di terreno uniforme appena arato per il quale abbiamo ipotizzato un'emissività dell'ordine di 0.95) e quando l'antenna “vede” il cielo sereno allo zenith. Dopo aver misurato la temperatura fisica del terreno, si sono utilizzate le risposte in [count] del radiometro ai due *target caldo* e *freddo* per calcolare la curva di calibrazione dello strumento.

Come ripetutamente sottolineato, la procedura descritta è semplificata e approssimata, anche se adeguata alle esigenze della radioastronomia amatoriale. La sua accuratezza dipende da molti fattori, strumentali e ambientali: incidono pesantemente le stime sulla temperatura di brillantezza del cielo e sull'emissività del terreno, la costanza dei parametri del radiometro (stabilità, soprattutto con la temperatura) e la linearità della sua caratteristica potenza RF applicata – tensione rivelata.

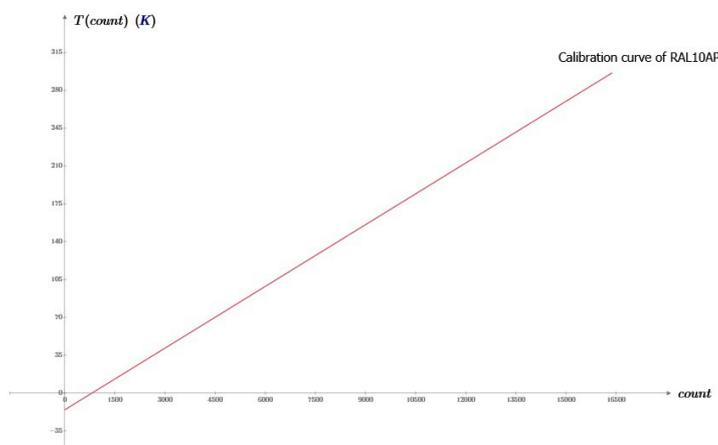


Fig. 3: Caratteristica di taratura per il radiotelescopio amatoriale costruito con il ricevitore RAL10AP.

Doc. Vers. 1.0 del 20.07.2015
@ 2015 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: diritti riservati. Il contenuto di questo documento è proprietà del costruttore. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo senza il permesso scritto di *RadioAstroLab s.r.l.*