

Misura della temperatura del cielo

Mattia Ragaglia¹ and Alessandro Serafini²

Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, Piazzale Aldo Moro, 5, 00185, Roma, Italia
e-mail: serafini.1916973@studenti.uniroma1.it
e-mail: ragaglia.1920104@studenti.uniroma1.it

January 8, 2022



ABSTRACT

Aims. Stimare la temperatura del cielo, stabilendo se vi sia un segnale di corpo nero uniforme

Methods. Calibrando il radiometro e sfruttando la legge della secante che lega segnale e angolo zenitale

Results. Stima della temperatura della CMB (*Cosmic Microwave Background*) compatibile con quello atteso di 2,725K

1. Apparato Sperimentale

1.1. Strumentazione

- LNB al fuoco primario
- Cavo coassiale 75 Ω
- Convertitore ADC 14 bit
- Sistema di acquisizione su PC
- Corpo Nero T=(285.4 \pm 0.1) K (Eccosorb)
- Corpo Nero T=77.33K (Azoto liquido)

1.2. Preparazione del radiometro

Per la misura della temperatura del cielo, e di conseguenza del segnale dovuto alla radiazione della CMB, sono necessari alcuni passaggi fondamentali che verranno descritti di seguito.

Viene in primo luogo calibrato il radiotelescopio dal punto di vista strumentale. Il segnale acquisito dal sistema RAL10 è legato a quello proprio della radiazione tramite l'equazione:

$$S = gain \cdot [S_{sky} \cdot (1 + G) - G \cdot A \cdot Zb] + V_{off} \quad (1)$$

$$\Rightarrow S_{sky} = \frac{S - V_{off} + G \cdot gain \cdot A \cdot Zb}{(1 + G) \cdot gain} \quad (2)$$

dove si indicano con S il segnale rivelato, V_{off} un eventuale valore di offset prodotto dalla catena di rivelazione, $G = 20$ il guadagno del radiometro, $gain$ il guadagno post-rivelazione, A una costante di proporzionalità e Zb lo zero base: un valore a 14 bit che varia la posizione del segnale nella dinamica dell'ADC.

Conoscendo, quindi, $G=20$ si devono valutare i valori di A e di V_{off} . Puntando il ricevitore verso il corpo nero a temperatura ambiente si acquisiscono valori per circa 30 secondi dalla stabilizzazione del segnale ricevuto, per costruire due rette di calibrazione.

1.3. Calibrazione strumentale

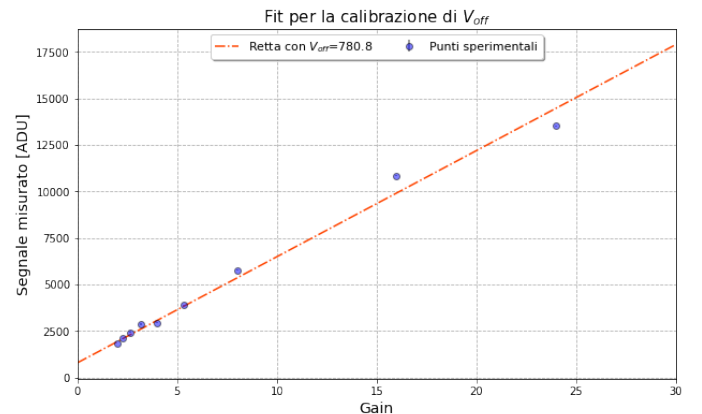
Inizialmente si procede impostando diversi valori del $gain$ e mantenendo fissato il valore dello Zb ($Zb = 11327$), si studia l'andamento lineare del segnale S , convertendo opportunamente i valori di $gain$ da $code$ a $gain$ effettivo secondo la seguente tabella.

code	gain
1	2
2	2.27
3	2.67
4	3.2
5	4
6	5.33
7	8
8	16
9	24
10	48

Table 1. Tabella di conversione tra code e $gain$ effettivo

Tenendo conto della relazione (1) si effettua un fit lineare, con il quale si stima l'intercetta della retta riportata nel grafico seguente, ovvero il valore di V_{off} :

$$V_{off} = (781 \pm 5)ADU$$



Per ricavare il secondo parametro di calibrazione si studia la seguente relazione ricavata dalla (1):

$$S = -gain \cdot G \cdot A \cdot Zb + (gain \cdot S_{sky}(1 + G) + V_{off}) \quad (3)$$

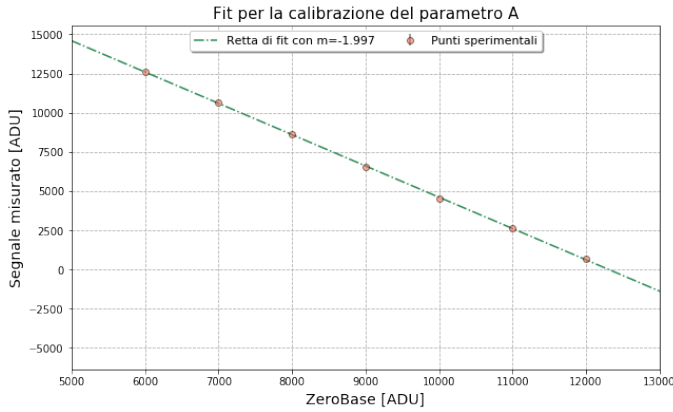
gain	S[ADU]
2	1827 ± 7
2.27	2084 ± 8
2.67	2418 ± 8
3.2	2867 ± 11
4	2937 ± 12
5.33	3875 ± 15
8	5751 ± 21
16	10846 ± 41
24	13520 ± 40

Table 2. Dati usati per costruire la retta di calibrazione con *gain* variabile. Valori e incertezze sono ottenuti a partire da prese dati di circa 30 secondi

e si studia ancor auna volta l'andamento del segnale S , tenendo costante il valore del *gain* ($gain = 2.27$) e variando, invece, quello dello Zb . I valori ottenuti vengono quindi riportati in tabella e graficati con un fit lineare.

Zb[ADU]	S[ADU]
6000	12633 ± 7
7000	10625 ± 8
8000	8594 ± 6
9000	6556 ± 7
10000	4517 ± 8
11000	2603 ± 8
12000	692 ± 7

Table 3. Dati usati per costruire la retta di calibrazione con Zb variabile. Valori e incertezze sono ottenuti a partire da prese dati di circa 30 secondi



Tramite il fit lineare si inferisce il valore del coefficiente angolare m dal quale, conoscendo i valori di G e del *gain* si stima il valore migliore per A :

$$A = -\frac{m}{G \cdot gain} = (4399 \pm 3) \cdot 10^{-5}$$

1.4. Calibrazione Fisica

Avendo stimato i parametri di V_{off} e A è ora possibile ottenere il valore in ADU del segnale della sorgente S_{sky} a partire da quello misurato S usando la relazione (2)

Adesso si cerca di trovare la costante di conversione C da ADU a K e la temperatura di rumore del sistema di ricezione T_{sys} . Con questo scopo si studiano due sorgenti, uno caldo e uno freddo a temperature note: un Dewar contenente Eccosorb, approssimabile a un corpo nero alla temperatura ambiente di $T_{hot} = 285.4 \pm 0.1K$, e un Dewar con Eccosorb e azoto N_2 liquido, approssimabile a un corpo nero alla temperatura $T_{cold} = 77.33K$.

Sappiamo infatti che, dati due sistemi a temperature diverse, valgono le seguenti relazioni:

$$S_{hot} = C \cdot (T_{sys} + T_{hot})$$

$$S_{cold} = C \cdot (T_{sys} + T_{cold})$$

$$\Rightarrow C = \frac{S_{hot} - S_{cold}}{T_{hot} - T_{cold}} \quad (4)$$

$$\Rightarrow T_{sys} = \frac{S_{hot}}{C} - T_{hot} \quad (5)$$

Si punta quindi verso l'interno dei Dewar e si registra, con diversi *gain* e Zb , il segnale S , il quale viene convertito in S_{hot} e S_{cold} tramite la (2). Si ottengono i seguenti valori, riportati in tabella:

gain	Zb[ADU]	S_{hot} [ADU]
2.27	9000	498.9 ± 0.4
2.67	11327	503.2 ± 0.3
4	10000	506.1 ± 0.3
5.33	11327	502.1 ± 0.4
16	11700	504.3 ± 0.4

gain	Zb[ADU]	S_{cold} [ADU]
2	7000	310 ± 0.4
2.67	4330	312 ± 0.3
3.2	4960	324 ± 0.2
5	4000	311 ± 0.4
5.33	6210	315 ± 0.4

I valori ottenuti per S_{hot} e S_{cold} sono quindi mediati e usati per ricavare C e T_{sys} secondo le relazione (4) e (5):

$$C = (0.913 \pm 0.002) \frac{ADU}{K}$$

$$T_{sys} = (265.2 \pm 0.8)K$$

2. Temperatura del cielo

Calibrato il radiometro dal punto di vista strumentale e fisico, possiamo ora ricavare il segnale uniforme proveniente dal cielo e di conseguenza la temperatura di antenna dello stesso, T_{off} . Il segnale che si misura puntando il rilevatore verso il cielo è composto da diversi contributi additivi dovuti alle diverse sorgenti:

$$S_{sky} = C [T_{sys} + T_{off} + T_{atm}] \quad (6)$$

dove si deve tener conto che la temperatura dell'atmosfera, T_{atm} , varia in funzione dell'angolo zenitale, z :

$$T_{atm} = T_{atm}(0^\circ) \cdot \frac{1}{\cos(z)} \quad (7)$$

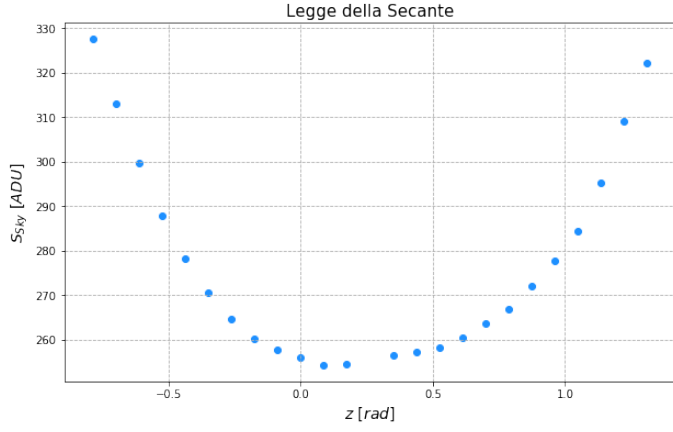


Fig. 1. Verifica qualitativa della legge delle secante

Si effettuano quindi misure del segnale S proveniente dal cielo, variando l'angolo zenitale, che viene convertito in S_{sky} tramite la (2), considerando $gain = 4$ e $Zb = 4130$.

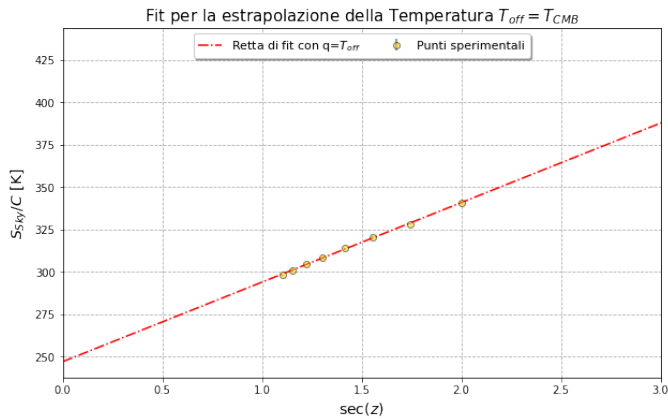
Si riporta che valori dell'angolo zenitale riportati in tabella sono compresi di un offset dovuto a una calibrazione non perfetta della montatura del ricevitore: il minimo del segnale non si riceve, secondo il software, a $z = 0^\circ$ ma a $z = 14.5^\circ$

$S_{sky} [ADU]$	$z [^\circ]$	$sec(z)$
258.1 ± 0.3	29.5	1.15
260.3 ± 0.3	34.5	1.22
263.7 ± 0.2	39.5	1.31
266.9 ± 0.2	44.5	1.41
271.9 ± 0.3	49.5	1.56
277.7 ± 0.4	54.5	1.74
284.2 ± 0.3	59.5	2.0
295.2 ± 0.3	64.5	2.37

Table 4. Riguardo gli angoli zenitali scelti: sono stati scartati $z < 25$ e $z > 65$ per evitare andamenti anomali nel primo caso e rumore di lobi secondari dovuti alla emissione del suolo

Considerando i valori di S_{sky}/C si può eseguire un fit lineare tra questi e i valori assunti dalla secante al variare dell'angolo zenitale: l'intercetta, q , corrisponde alla temperatura d'antenna della CMB (compresa della T_{sys}) essendo nullo il contributo dell'atmosfera.

$$T_{off} = q - T_{sys} = (-15.5 \pm 1.5)K$$



3. Conclusioni

L'esperienza ha richiesto una calibrazione del radiometro. In particolare è stato necessario valutare l'offset V_{off} e la costante A : studiando l'andamento lineare del segnale rivelato in funzione del $gain$, è stata ricavata V_{off} dall'intercetta, mentre dall'andamento del segnale in funzione di Zb è stata ricavata A , proporzionale al coefficiente angolare:

$$V_{off} = (781 \pm 5)ADU$$

$$A = (4399 \pm 3) \cdot 10^{-5}$$

Successivamente, attraverso la calibrazione fisica con i due corpi neri a 77 K e 285 K, sono state stimate la costante C di proporzionalità tra segnale e temperatura e la temperatura di rumore del sistema T_{sys} :

$$C = (0.913 \pm 0.002)ADU/K$$

$$T_{sys} = (265.2 \pm 0.8)K$$

Si è potuto dunque procedere con la misura della CMB: sfruttando la relazione lineare tra S_{sky}/C e la secante dell'angolo zenitale $sec(z)$, è stata ricavata la temperatura del cielo T_{off} :

$$T_{off} = (-15.5 \pm 1.5)K$$

Il risultato è ovviamente insensato, dato il valore negativo, ed è probabilmente causa di una temperatura di rumore troppo elevata che comporta l'incapacità da parte del sistema di poter rilevare la CMB a $T_{CMB} = 2.725K$. Una temperatura di rumore così elevata è probabilmente causata dalla presenza di effetti sistematici come l'offset nell'angolo zenitale, o rumore $1/f$, significativa per misure a queste frequenze

Acknowledgements. This work is supported by the Physics department of Sapienza, University of Rome