

Mappa della radiazione lunare a 8.3 GHz

Sergio Poppi – Osservatorio Astronomico di Cagliari
Simona Righini – Dip. di Astronomia Università degli Studi di Bologna

1 Introduzione.

L'emissione radio della Luna è dovuta ad **emissione termica** proveniente dal suolo (regolite), riscaldato dalla radiazione solare. La distribuzione spettrale di questa radiazione segue la legge del **corpo nero**:

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad \left(\frac{W}{Hz m^2 sr} \right)$$

dove, h , k e c sono rispettivamente la costante di Planck, la costante di Boltzmann e la velocità della luce nel vuoto, mentre T è la temperatura assoluta (scala Kelvin) e ν è la frequenza di interesse.

Il corpo nero emette a tutte le frequenze dello spettro elettromagnetico, mostrando un picco di emissione che è funzione della temperatura, in base alla legge di Wien:

$$\nu_{\max} = 5,869 \cdot 10^{10} T \text{ (Hz)}$$

Ad esempio, un corpo ad una temperatura di 100K ha il massimo di emissione a $5,9 \cdot 10^{12}$ Hz (5900 GHz).

A basse frequenze, dove $h\nu \ll kT$, vale l'approssimazione di Rayleigh-Jeans:

$$B(\nu, T) = \frac{2\nu^2 kT}{c^2}$$

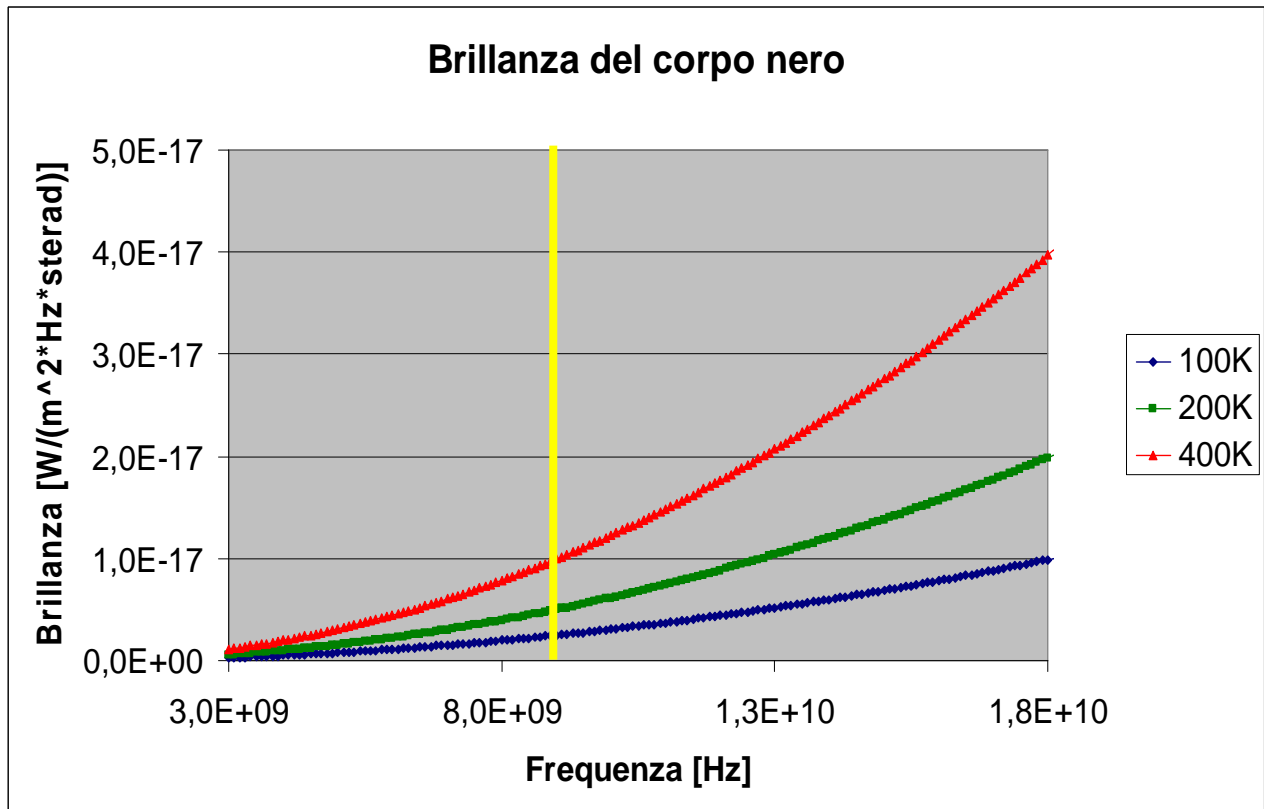
In base a questa è possibile definire una **temperatura di brillantezza** (T_B) ovvero la temperatura che un corpo nero deve avere per emettere una brillantezza B

$$T = \frac{Bc^2}{2\nu^2k}$$

Se l'emissione è di corpo nero, la temperatura di brillantezza coincide con la temperatura fisica.

In radioastronomia la maggior parte dei processi di emissione è di tipo **non-termico** e pertanto la temperatura di brillantezza non coincide con la temperatura fisica dell'oggetto emittente.

L'emissione stellare, nella regione visibile dello spettro elettromagnetico, è di tipo termico ed è funzione della temperatura della fotosfera. Il nostro Sole, che ha una temperatura superficiale di 5800 K, ha il picco di emissione a circa 500nm, lunghezza d'onda del colore verde. Tuttavia emette anche nella regione radio dello spettro.



Nella figura sopra si possono vedere le curve di corpo nero nel radio e nelle microonde (in questo caso da 3GHZ a 180GHZ).

2 La Luna.

La radiazione solare illumina ogni punto della superficie lunare, alternando luce e buio con un periodo di 29,5 giorni, pari ad un giorno lunare. La parte in luce viene riscaldata, mentre la parte in ombra si raffredda.

Il riscaldamento periodico produce variazioni di temperatura che oscillano col medesimo periodo. All'aumentare della profondità il suolo lunare si riscalda sempre meno e tarda a raffreddarsi, in base alla sua capacità termica. Pertanto le variazioni di temperatura dal giorno alla notte sono sempre meno evidenti. Si hanno quindi zone del suolo lunare a differenti temperature che emettono per corpo nero.

Ad alte profondità, la radiazione di corpo nero viene riassorbita dal materiale circostante e non emerge dalla superficie.

La profondità alla quale la radiazione è libera di emergere dal suolo lunare è funzione della lunghezza d'onda λ e, approssimativamente, vale circa 10λ . Ad esempio, alla frequenza di 8,3 GHz, ovvero alla lunghezza d'onda di 3,6 cm, solo la radiazione che proviene da profondità minori di 30 cm riesce ad essere rivelata; l'altra radiazione, quella emessa a profondità maggiori, viene assorbita dal materiale circostante. Se osservassimo ad una lunghezza d'onda di 20 cm la radiazione proverrebbe da circa 200 cm di profondità.

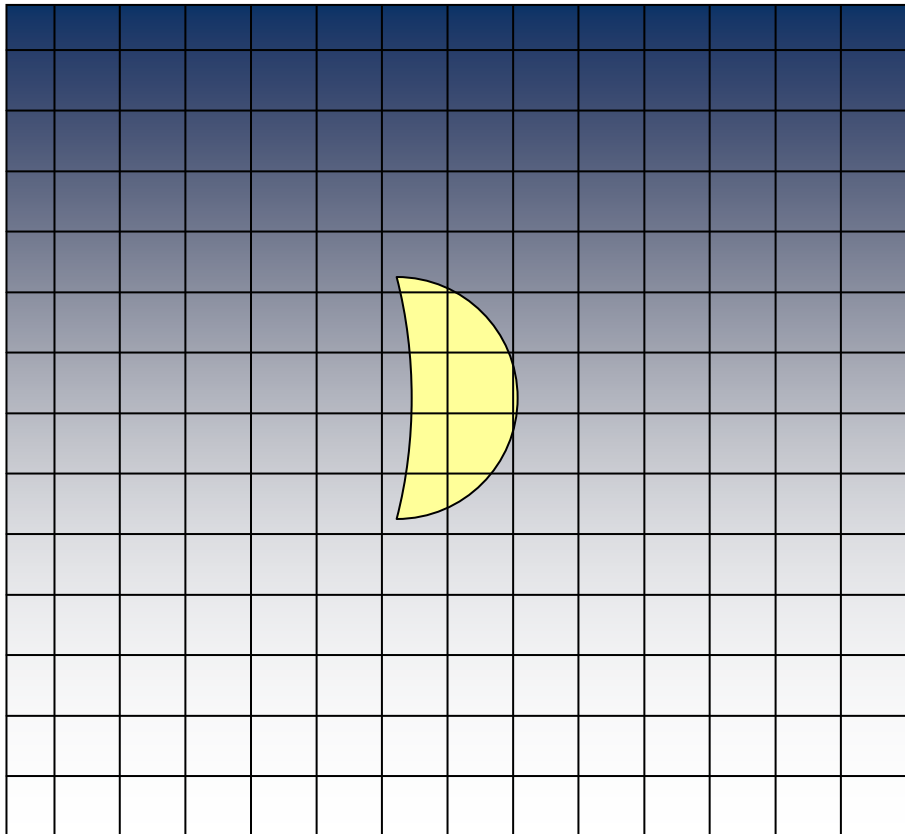
3 Mappe della radiazione Lunare

Un radiotelescopio single-dish misura l'intensità della radiazione proveniente da un'unica direzione del cielo. In analogia con i sensori fotografici (CMOS, CCD), si può dire che il "sensore" radioastronomico è costituito da un unico pixel, di dimensioni pari alla larghezza a metà altezza del beam (HPBW). Per osservare oggetti estesi è pertanto necessario muovere l'antenna in diverse direzioni. Le tecniche più usate sono **raster scan** e **On the fly mapping**.

La tecnica di raster scan richiede che l'antenna esegua spostamenti discreti puntando in differenti direzioni del cielo, rimanendo ferma in ciascuna direzione per tutto il tempo richiesto per rivelare il segnale.

Nell'On the fly mapping (OTF) l'area di cielo da mappare viene suddivisa in righe e colonne, muovendo l'antenna alternativamente lungo le righe e le colonne, continuando nel frattempo ad acquisire il segnale.

Per l'esperimento abbiamo utilizzato la tecnica dell'OTF, coprendo un'area di cielo di $1^\circ \times 1^\circ$, centrata sul disco lunare, effettuando scansioni lungo due direzioni ortogonali (ascensione retta e declinazione).



L'area di cielo da mappare viene suddivisa in modo da formare una griglia. Le scansioni in ascensione retta corrispondono all'acquisizione dei dati muovendo l'antenna lungo le righe, partendo dalla riga in basso e procedendo da destra verso sinistra.

Invece nelle scansioni in declinazione il movimento avviene lungo le colonne, a partire da destra, dal basso verso l'alto.

La griglia deve essere formata in modo che tra una scansione e quella adiacente vi sia una separazione tale da coprire l'area senza perdere informazione. Riprendendo l'analogia con i sensori ottici, si può affermare che il "pixel" del radiotelescopio non ha una sensibilità uniforme, ma ha una sensibilità che degrada verso l'esterno. Un parametro fondamentale per determinarne la dimensione è la larghezza a metà potenza, o **half power beam width (HPBW)**. Secondo il criterio di Nyquist, la spaziatura Δx tra due scansioni adiacenti deve soddisfare il seguente requisito:

$$\Delta x < \frac{1}{2HPBW}$$

A 8.3 GHz, il beam dell'antenna ha una larghezza a metà potenza di 4,8' pertanto ogni scansione deve essere separata da meno di 2,4' da quella adiacente. Per l'esperimento abbiamo usato una spaziatura di 1,7' che

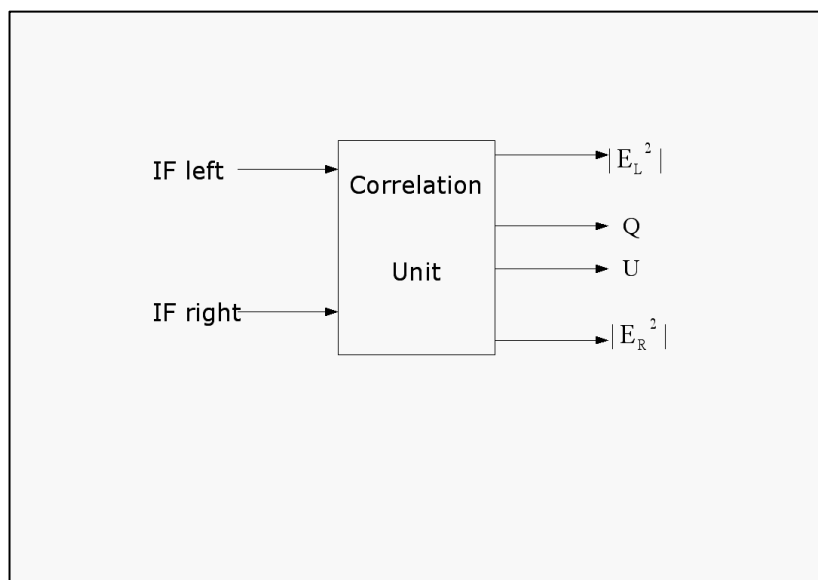
soddisfa ampiamente il criterio di Nyquist. Nel nostro caso, l'intersezione tra le scansioni nelle due direzioni dà come risultato una matrice di 35 x 35 pixel, centrati sulla Luna.

Una volta decisa la separazione tra ciascuna scansione, è necessario definire la velocità con la quale muovere l'antenna lungo le "righe" o le "colonne" della griglia. Per l'esperimento abbiamo usato una velocità di scansione di 100 arcsec/s: l'antenna in un secondo di tempo si muoveva di 100 arcsec in cielo rispetto al moto siderale.

4 Osservazioni

Per realizzare le scansioni è necessario comunicare alla parabola le coordinate dell'origine di ciascuna scansione e la velocità di spostamento. Un programma utilizza i parametri della mappa e genera la sequenza di comandi (scheda) per il Field System, che è il sistema di controllo della parabola (per approfondimenti su questa sezione si rimanda al Manuale della Parabola, sezione "interfaccia utente"). Il Field System, oltre a controllare il puntamento, invia i comandi al sistema di acquisizione dati, cioè al polarimetro.

Il polarimetro riceve il segnale IF (frequenza intermedia) delle due polarizzazioni del ricevitore, e fornisce in uscita un dato che è proporzionale alla potenza del segnale che arriva all'antenna.



In riferimento alla figura sopra, i canali in uscita $|E_L^2|$ e $|E_R^2|$ rappresentano la potenza del segnale in arrivo, nella banda di frequenze di acquisizione e sono chiamati canali **Total Power** (potenza totale).

Nella figura sotto vi è un esempio di file d'uscita del polarimetro:

```

Schedule Name =Dummy
Output File Name =l050121_1710_r04
Source Name =luna
Source RA =052110.0
Source Dec =262707.0
Epoch =-1
Observation year =2005
Observation Start Time =
Observation End Time =
Observation ON Time =
Observation OFF Time =
Receiver Frequency (GHz)=8.300000
Calibration Value (1) (K)=11.300000
Calibration Value (2) (K)=8.800000
Adc Averaging =40.000000
  Calibration Time (sec.)=0
Calibration Period(OFF Cycles) =0
HPBW =0.083300
OFF Beam =0.000000
OFF Coordinate =
Antenna Speed (longitude) = 100.0
Antenna Speed (latitude) = 0.0
[END OF FILE HEADER]
021171326 +0.219591 +0.253524 -1.293824 +1.303263 OFF_____ 1 1.400360 0.461547
021171326 +0.219542 +0.253557 -1.293881 +1.302879 OFF_____ 1 1.400466 0.461547
021171326 +0.219469 +0.253286 -1.293699 +1.303205 OFF_____ 1 1.400477 0.461547
021171326 +0.219473 +0.253105 -1.294018 +1.303166 OFF_____ 1 1.400601 0.461547
021171326 +0.219534 +0.253145 -1.294550 +1.303221 OFF_____ 1 1.400645 0.461547
021171326 +0.219574 +0.253196 -1.294210 +1.303318 OFF_____ 1 1.400688 0.461547
021171326 +0.219680 +0.253235 -1.293975 +1.303493 OFF_____ 1 1.400774 0.461547
021171326 +0.219672 +0.253228 -1.294207 +1.303755 OFF_____ 1 1.400823 0.461547
021171327 +0.219654 +0.253164 -1.294525 +1.303822 OFF_____ 1 1.400867 0.461547
021171327 +0.219706 +0.253186 -1.294305 +1.303803 OFF_____ 1 1.400910 0.461547
021171327 +0.219640 +0.253281 -1.294366 +1.302972 OFF_____ 1 1.400991 0.461547
021171327 +0.219628 +0.253339 -1.294231 +1.302201 OFF_____ 1 1.400997 0.461547
021171327 +0.219583 +0.253239 -1.294861 +1.302233 OFF_____ 1 1.401089 0.461547
021171327 +0.219618 +0.253265 -1.295116 +1.303196 OFF_____ 1 1.401132 0.461547
021171327 +0.219720 +0.253289 -1.295375 +1.303551 OFF_____ 1 1.401175 0.461547
021171327 +0.219665 +0.253275 -1.295360 +1.303295 OFF_____ 1 1.401256 0.461547
021171327 +0.219608 +0.253311 -1.295621 +1.303401 OFF_____ 1 1.401310 0.461547
021171327 +0.219670 +0.253344 -1.296048 +1.303468 OFF_____ 1 1.401349 0.461547

```

Le righe colorate in blu costituiscono l'*header* (informazioni utili per la riduzione e l'archiviazione dei dati), mentre le colonne rosse sono i dati che rappresentano la potenza del segnale. Tali numeri non hanno ancora un valore fisico, in questo caso le unità di misura sono Volt.

E' necessario eseguire una procedura di **calibrazione**, ovvero convertire tali valori in unità fisiche. Per ogni canale di uscita, il polarimetro fornisce un dato ogni 0,1 secondi e memorizza l'istante di acquisizione. Se l'antenna si muove di 100 arcosec/s, in 0,1 s percorre in cielo 10 arcsec. Dunque nel tempo in cui la parabola percorre un tratto largo quanto 1 beam (4,8') il polarimetro acquisisce 30 dati per canale.

4.1 Calibrazione

Calibrare il segnale significa operare una conversione dei segnali elettrici misurati in grandezze fisiche. Questo avviene tramite il confronto dei dati incogniti con misure effettuate, a parità di strumento e configurazione osservativa, su sorgenti di potenza nota.

Sono possibili 2 tipi di calibrazione:

- Calibrazione interna;
- Calibrazione mediante una sorgente astrofisica.

In un radiotelescopio la calibrazione interna si effettua mediante la **marca di calibrazione**, che non è altro che un segnale a radiofrequenza di potenza nota, iniettata nella catena di rivelazione del segnale. Si definisce **temperatura di rumore** la temperatura che una resistenza dovrebbe avere per emettere una potenza P su una banda $\Delta\nu$.

$$P = kT\Delta\nu$$

dove k è la costante di Boltzmann. Generalmente la marca di calibrazione viene espressa direttamente in termini di temperatura di rumore, ovvero la temperatura che un'ipotetica resistenza avrebbe per emettere la stessa potenza iniettata.

Un esempio di acquisizione, utilizzando la calibrazione interna:

...
104115822	+0.202853	+0.211119	-1.062009	+1.151378	ON_____	1
...
104115831	+0.202581	+0.210864	-1.062248	+1.151385	OFF_____	1
...
104115843	+0.204116	+0.213065	-1.076097	+1.225692	OFF_CAL	1

Nella penultima colonna viene rappresentato lo stato dell'antenna: ON_____, quando l'antenna osserva la sorgente di interesse, OFF_____ quando è su una posizione di riferimento esterna alla sorgente, OFF_CAL quando, oltre ad essere fuori sorgente, la marca di calibrazione interna è inserita.

Consideriamo le colonne 2 e 3, che, in base a quanto affermato in precedenza, rappresentano le **uscite total power (TP1 e TP2)**.

- con marca di calibrazione inserita:
TP1=0,204116 V
TP2=0,213065 V
- Senza marca di calibrazione:
TP1=0,202581 V
TP2=0,210864 V

Quindi:

$$\begin{aligned} \text{DTP1} &= 0,001535 \text{ V} \\ \text{DTP2} &= 0,002201 \text{ V} \end{aligned}$$

I valori della marca di calibrazione sono definiti e misurati per ogni ricevitore, per quello da noi usato i valori sono 11,3 K e 8,8K, quindi i coefficienti di conversione da unità interne dei canali a temperatura di rumore sono:

$$C_{TP1} = \frac{8,8}{0,001535} = 5732,899 \text{ K/V}$$

$$C_{TP2} = \frac{11,3}{0,002201} = 5134,030 \text{ K/V}$$

La calibrazione interna consente di verificare il corretto funzionamento della catena di rivelazione del segnale e, soprattutto, di valutare la differenza di guadagno tra i due canali di uscita.

La calibrazione interna non è sufficiente ad ottenere una calibrazione assoluta, poiché vogliamo risalire alla potenza del nostro segnale così come l'avremmo misurata con uno strumento ideale, in assenza di rumore strumentale ed attenuazioni atmosferiche.

Pertanto è necessario ricorrere ad un calibratore esterno: l'assorbimento atmosferico e le perdite di guadagno dell'antenna sono misurabili osservando una radio sorgente di cui sia noto il flusso fuori atmosfera.

Come calibratore esterno abbiamo utilizzato la seguente sorgente, i dati sono stati estratti dal catalogo dei calibratori VLA:

Nome	0359+509
Ascensione Retta	03 ^h 59 ^m 29.7
Declinazione	50°57'50".1
Epoca	J2000
Flusso a 8.3 GHz	5,10 Jansky ($10^{26} \text{W/Hz m}^{-2}$)

Dal flusso è necessario derivare la brillantezza, ovvero il flusso per unità di angolo solido. Considerando S il flusso si può ottenere la brillantezza B (su un angolo Ω) dalla seguente relazione:

$$B = \frac{S}{\Omega}$$

Calcoliamo la brillantezza della nostra sorgente, considerando l'angolo solido del beam dell'antenna, di cui conosciamo la HPBW θ_B .

Se avessimo un beam uniforme di larghezza θ_B , l'angolo solido varrebbe:

$$\Omega_B = \pi \left(\frac{\vartheta_B}{2} \right)^2$$

Questa formula vale solo come prima approssimazione, in quanto il beam d'antenna ha un profilo "gaussiano" e pertanto un calcolo più accurato porta al seguente valore:

$$\Omega_B = \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\ln 2}} \vartheta_B \right)^2 = 1,133 \vartheta_B^2$$

La brillantezza del nostro calibratore, calcolata per l'angolo del beam a 8,3 GHz vale dunque:

$$B = \frac{S}{\Omega_B} = \frac{5,1 \cdot 10^{-26}}{1,133 \vartheta_B^2} = 2,308 \cdot 10^{20} \left(\frac{W}{Hz m^2 sr} \right)$$

dove θ_B è espresso in radianti.

Si può quindi ottenere la temperatura di brillantezza del calibratore:

$$T_B = \frac{B c^2}{2 \nu^2 k} = 1,09 K$$

Il passo successivo è quello di confrontare la temperatura di brillantezza con la misura effettuata tramite il polarimetro.

Aperto il file di calibrazione (calibratore_raw.txt) si può notare, dopo l'*header*, la sequenza dei dati acquisiti, suddivisi in blocchi ON a ciascuno dei quali segue un blocco OFF.

...
104115821	+0.202843	+0.211079	-1.062168	+1.151426	ON	_____	1
104115821	+0.202835	+0.211125	-1.062170	+1.151331	ON	_____	1
104115821	+0.202840	+0.211069	-1.062122	+1.151394	ON	_____	1
104115822	+0.202760	+0.211017	-1.062225	+1.151465	ON	_____	1
104115822	+0.202770	+0.211071	-1.062314	+1.151566	ON	_____	1
104115822	+0.202828	+0.211122	-1.062340	+1.151383	ON	_____	1
104115822	+0.202871	+0.211154	-1.062262	+1.151198	ON	_____	1
104115822	+0.202853	+0.211119	-1.062009	+1.151378	ON	_____	1
...
104115831	+0.202628	+0.210806	-1.062284	+1.151317	OFF	_____	1
104115832	+0.202638	+0.210845	-1.062443	+1.151336	OFF	_____	1
104115832	+0.202635	+0.210814	-1.062364	+1.151209	OFF	_____	1
104115832	+0.202650	+0.210826	-1.062472	+1.151196	OFF	_____	1
104115832	+0.202671	+0.210829	-1.062431	+1.151180	OFF	_____	1
104115832	+0.202709	+0.210800	-1.062379	+1.151327	OFF	_____	1
...

La procedura di riduzione dati è la seguente:

1. per ciascuno dei blocchi ON viene effettuata una media dei valori total power (colonne 2 e 3) ;
2. viene calcolato il valor medio del blocco OFF successivo;
3. viene calcolata la differenza tra i valori medi ON ed i valori medi OFF

Ciò rappresenta in sintesi l'operazione ON-OFF che si esegue per sottrarre dalla misura sulla sorgente (antenna in direzione della sorgente, ON-source), tutti i contributi strumentali (antenna fuori sorgente, OFF-source).

Nella tabella seguente sono indicati i valori medi di ciascun blocco ON (colonne 2 e 5), OFF (colonne 3 e 6) e la differenza ON-OFF (colonne 4 e 7), per i due canali, TP1 e TP2.

Nota la temperatura di brillantezza si possono calcolare i coefficienti C_1 e C_2 di conversione da unità di misure interne (Volt) a temperatura di Brillanza (K), utilizzando il valor medio dei valori ON- OFF

Blocchi	On(TP1)	Off(TP1)	On -Off(TP1)	On(TP2)	Off(TP2)	On -Off(TP2)
1	0.202819	0.202621	0.000198	0.211026	0.210829	0.000196
2	0.202839	0.202658	0.000181	0.211025	0.210759	0.000266
3	0.202848	0.202667	0.000181	0.211075	0.210787	0.000288
4	0.202826	0.202614	0.000212	0.210977	0.210761	0.000216
5	0.202835	0.202627	0.000207	0.211059	0.210829	0.000230
6	0.202863	0.202650	0.000213	0.211011	0.210722	0.000289
7	0.202830	0.202623	0.000207	0.210901	0.210695	0.000206
8	0.202789	0.202621	0.000168	0.210947	0.210687	0.000260
9	0.202816	0.202647	0.000169	0.210943	0.210691	0.000252
10	0.202837	0.202657	0.000180	0.211001	0.210831	0.000170
11	0.202915	0.202737	0.000178	0.211119	0.210789	0.000330
12	0.202952	0.202697	0.000256	0.211071	0.210859	0.000212
13	0.202832	0.202634	0.000198	0.210962	0.210678	0.000285
14	0.202846	0.202702	0.000144	0.210927	0.210733	0.000194
15	0.202971	0.202882	0.000089	0.210951	0.210807	0.000143
16	0.203172	0.202884	0.000287	0.211212	0.210986	0.000226
17	0.203009	0.202878	0.000130	0.211270	0.211314	-0.000044
18	0.203143	0.202945	0.000198	0.211563	0.211302	0.000261
19	0.203363	0.203164	0.000199	0.211857	0.211656	0.000201
20	0.203295	0.203060	0.000235	0.211787	0.211497	0.000290
21	0.203281	0.203074	0.000207	0.211792	0.211497	0.000295
22	0.203199	0.202972	0.000227	0.211689	0.211310	0.000379
23	0.203088	0.202794	0.000294	0.211569	0.211214	0.000355
24	0.202837	0.202620	0.000217	0.211313	0.210981	0.000332
25	0.202787	0.202634	0.000153	0.211263	0.211030	0.000233
26	0.202793	0.202608	0.000185	0.211333	0.211001	0.000332
27	0.202793	0.202655	0.000138	0.211227	0.210899	0.000328

Valor Medio ON-OFF(TP1) = 0.000194477 V

Valor Medio ON-OFF(TP2) = 0.000249012 V

$$C_1 = \frac{1,09}{0,000194477} = 5604.779622$$

$$C_2 = \frac{1,09}{0,000249012} = 4377.294984$$

La potenza totale **I** è data dalla somma delle potenze che arrivano ai due canali.

$$I = C_1 \cdot TP1 + C_2 \cdot TP2 = C_1 \left(TP1 + \frac{C_2}{C_1} TP2 \right)$$

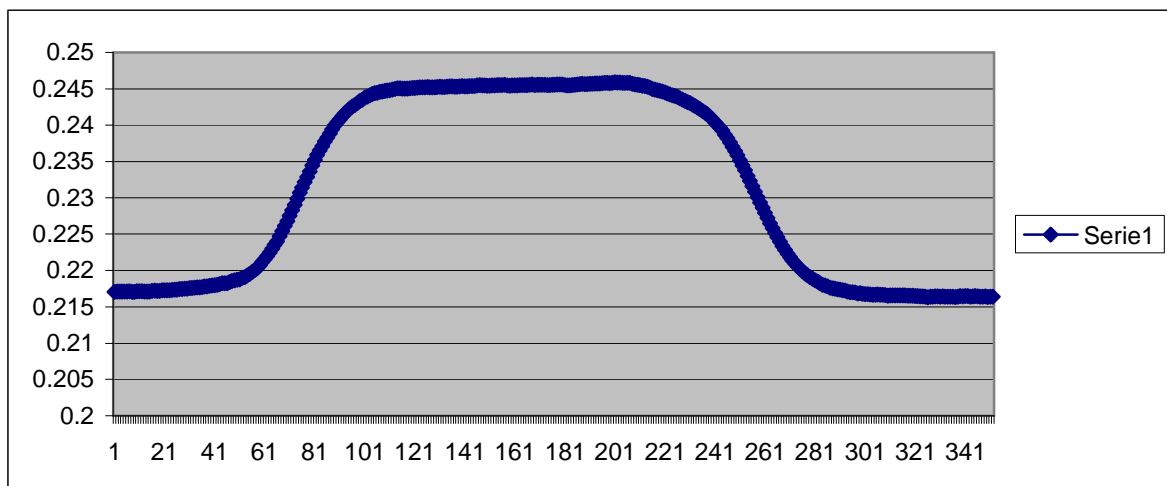
4.2 Le mappe della Luna

Sono state realizzate due mappe della Luna, muovendo l'antenna in ascensione retta, ovvero, usando la notazione espressa nei capitoli precedenti, con un movimento lungo le righe di un'ipotetica griglia che copre la regione da osservare.

Definendo **scan** una riga della griglia, si ha che le nostre mappe sono costituite da 33 scan separati di 1',6 arcmin in declinazione.

L'antenna, muovendosi di 100 arcsec/s per coprire un 1° (la lunghezza dello scan), impiega 36 secondi. Siccome il polarimetro acquisisce 10 dati al secondo, nel corso di uno scan vengono acquisiti circa 360 dati.

Se rappresentiamo su un grafico i valori delle intensità di ciascuno di questi 360 punti, otteniamo il profilo del segnale nella direzione di scansione. Nella figura sottostante, ad esempio, c'è il profilo di uno scan passante per il centro della Luna (in ascissa un numero progressivo che rappresenta il dato, tra ciascun punto c'è una separazione in cielo di 10arcsec, in ordinata valori non calibrati)

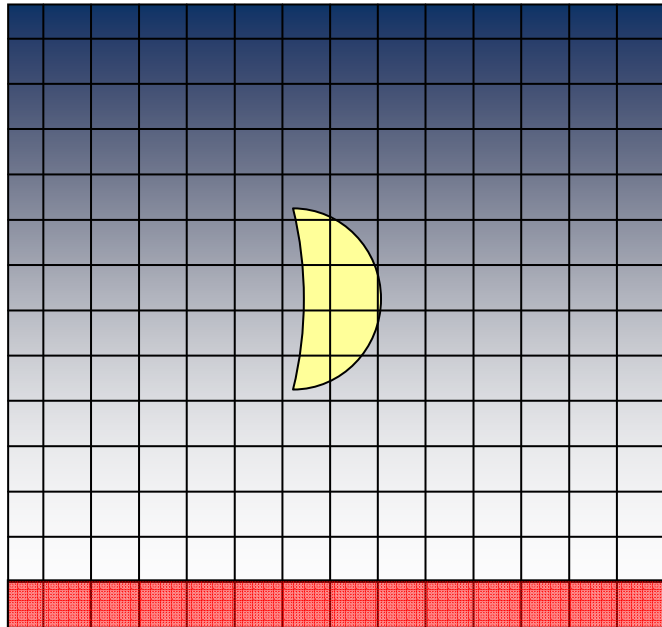


Per facilitare la riduzione dei dati essi sono stati ordinati in un unico file di testo, dove le intensità del segnale lungo ciascuno scan sono rappresentate in colonna. Inoltre, sempre all'interno di ciascuno scan, abbiamo eseguito una media dei punti adiacenti, in modo da avere 35 punti per colonna corrispondenti a direzioni distanti tra loro 1',7 arcmin, nel pieno rispetto del criterio di Nyquist.

Il file contenente i dati è costituito da 33 colonne (gli scan) di 35 punti ciascuna.

In questa fase i dati non sono ancora calibrati: è necessario calcolare il valore di OFF che permette la rimozione del rumore strumentale. A tal fine, abbiamo scelto uno scan sul quale calcolare il valore medio del segnale, usando tale

valor medio come valore di OFF. Nella figura sottostante, lo scan utilizzato per il calcolo dell'OFF è evidenziato con il colore rosso.



La fase finale della riduzione dati è la calibrazione del segnale.

Il valore grezzo dell'intensità di ciascun pixel viene moltiplicando per il coefficiente di calibrazione C_1 , calcolato nella sezione precedente.

In allegato a questo documento, abbiamo realizzato un **foglio di calcolo** che contiene le varie fasi di riduzione dati.

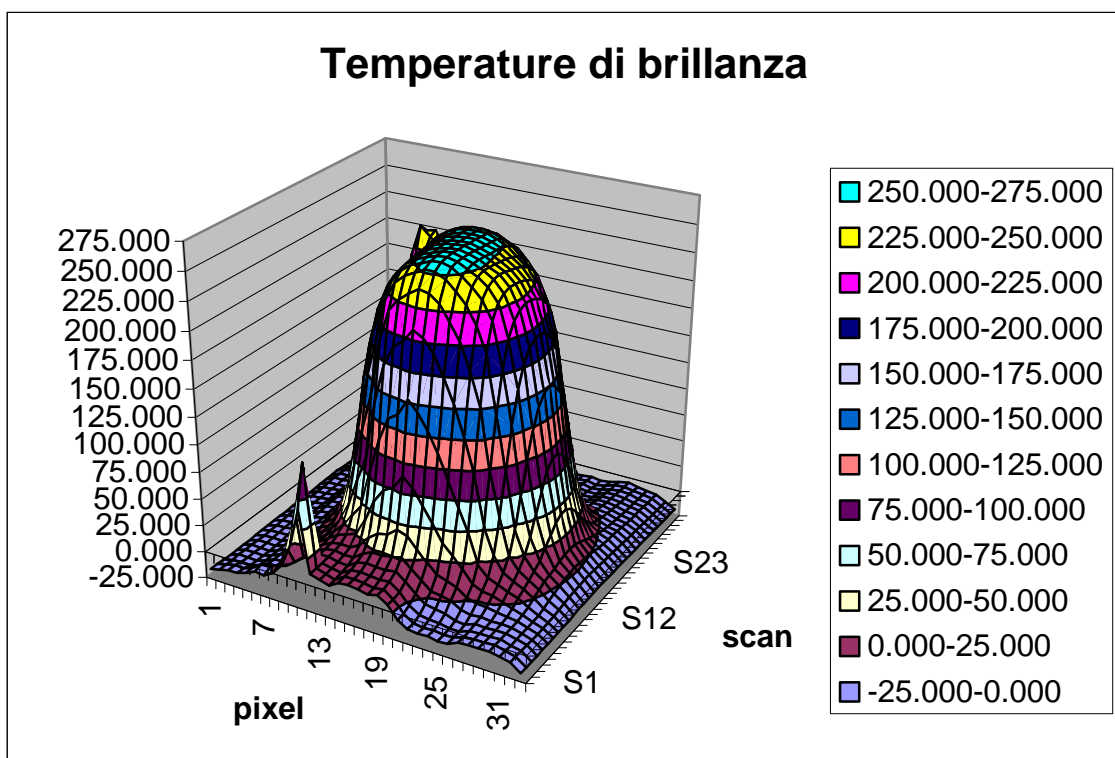
E' suddiviso in 4 fogli:

1. Foglio "Dati". Contiene i dati di ogni scan, non calibrati, disposti lungo le colonne.
2. Foglio "Parametri". Contiene i parametri della calibrazione, ovvero il valore di OFF (calcolato automaticamente) ed il coefficiente di calibrazione (C_1).
3. Foglio "Mappa". Contiene i dati calibrati: ad ogni pixel del foglio dati viene sottratto il valore di OFF ed il risultato viene moltiplicato per C_1 .
4. Foglio "Grafici". Contiene due grafici che rappresentano i profili dei vari scan

5 Risultati

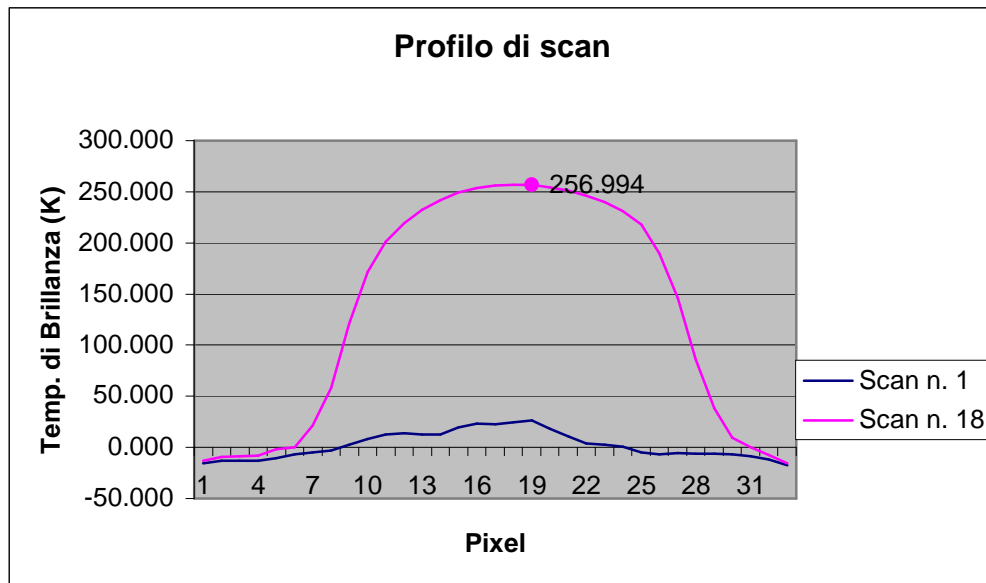
La temperatura di brillantezza rappresenta la temperatura che un ipotetico corpo nero dovrebbe avere per emettere la stessa brillantezza osservata. Se la radiazione osservata ha un profilo spettrale di corpo nero, la temperatura di brillantezza rappresenta in prima approssimazione la temperatura del materiale emittente.

Rappresentiamo i vari scan in un grafico 3D, dove il piano di base rappresenta la direzione di puntamento e l'altezza indica la temperatura:



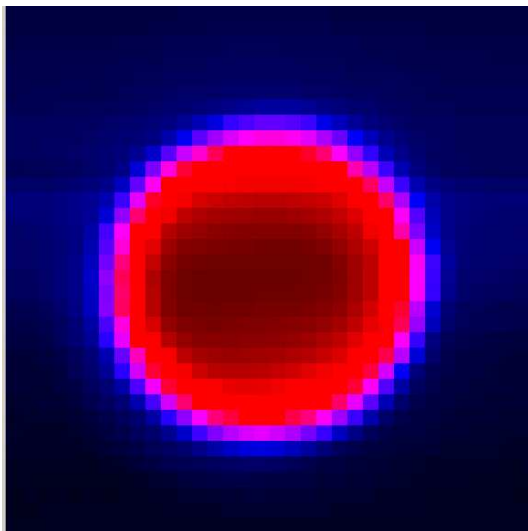
Si può notare che la parte centrale ha una temperatura maggiore di 225 K, diminuendo verso i bordi lunari. La diminuzione della temperatura verso i bordi è dovuta soprattutto all'effetto di **diluizione del beam**. Se l'antenna dell'antenna osserva in prossimità del bordo, misurerà solo una frazione del segnale lunare, perché solo parte del beam è riempito dalla zona emittente. Nelle regioni centrali del disco, invece, il beam è per intero riempito dal suolo lunare, non c'è effetto di diluizione e quindi la temperatura di brillantezza rappresenta la temperatura del materiale emittente, ovvero lo strato della superficie lunare a circa 30 cm di profondità.

Nelle figura seguente vi è il profilo della temperatura di brillantezza di uno scan. Al centro del disco lunare, il suolo a 30 cm di profondità raggiunge una temperatura di 256 K.



6 Conclusioni

L'esperimento ha permesso di apprezzare un aspetto fondamentale della radioastronomia. I corpi celesti, nelle varie finestre dello spettro elettromagnetico, mostrano aspetti diversi a seconda della lunghezza d'onda d'osservazione, in quanto differenti sono i processi fisici che originano l'emissione.



Nella foto qui sopra si può apprezzare il confronto tra la mappa radio in falsi colori (a sinistra), realizzata con questo esperimento affiancando i valori relativi ai vari scan, ed una fotografia del nostro satellite scattata durante la medesima fase lunare.

La Luna era nella fase del primo quarto, ovvero solo metà del disco osservabile era illuminata dalla luce solare; nell'ottico la Luna brilla di luce riflessa, non vi è emissione intrinseca di radiazione. A lunghezze d'onda radio, invece, l'emissione proviene dal suolo lunare e pertanto non si tratta di radiazione riflessa.

Riferimenti bibliografici.

- Manuale dell'Antenna di Medicina
(<http://www.med.ira.inaf.it/ManualeMedicina/index.htm>)
- VLA Calibrator Manual
(<http://www.aoc.nrao.edu/~gtaylor/csource.html>)