Laboratorio di Radioastronomia

Sommario

1. SmaRT: calcolo del potere risolutivo di un radiotelescopio 1
2. Laboratorio di interferometria 2
3. Laboratorio di radiofrequenza: calcolo del punto di compressione di un convertitore di frequenza .. 4
4. Laboratorio Interferenza 6

1. SmaRT: calcolo del potere risolutivo di un radiotelescopio

L'esperienza ha previsto l'utilizzo di un radiotelescopio didattico SmaRT (Small Radio Telescope), di 3 metri di diametro che osserva alla frequenza di 1420 MHz, corrispondenti alla frequenza di emissione dell'idrogeno neutro. L'attività si è svolta in due fasi: la prima ha avuto come scopo determinare la risoluzione del telescopio ovvero la distanza angolare minima che possono avere due oggetti per poterli osservare distintamente; nella seconda parte abbiamo visto come attraverso questo telescopio è possibile determinare informazioni sul movimento di masse di idrogeno neutro rispetto alla Terra.

Prima attività

Per calcolare il potere di risoluzione del telescopio abbiamo effettuato una serie di rilevazioni in merito alle ampiezze delle onde radio emesse dal Sole a varie frequenze. Abbiamo fatto una prima rilevazione attraverso una procedura automatica del sistema SmaRT che ha effettuato 25 misurazioni, secondo uno schema 5 per 5 preimpostato dal sistema. Da questi primi dati il software ha elaborato un'immagine che raffigura i diversi livelli di intensità di onde radio del sole.

I dati che abbiamo elaborato sono stati quelli rilevati con il metodo cross-scan. Questo prevedeva 30 misurazioni sull'azimuth e 30 sull'elevazione, considerando il Sole come centro del sistema, per evidenziare la differenza di intensità delle radiazioni e creare un diagramma di antenna.

I dati raccolti sono stati poi elaborati in un foglio di calcolo. Tra i 64 valori associati ad ogni offset abbiamo selezionato quelli con valori più simili e abbiamo fatto la media tra questi, così da associare ad ogni offset un solo valore di intensità. Abbiamo quindi realizzato due grafici: uno relativo all'elevazione e uno relativo all'azimuth in cui sull'asse delle ordinate erano riportate le ampiezze in Kelvin delle onde radio. In entrambi i grafici si sono ottenute approssimativamente un

andamento a campana con picco massimo in prossimità dell'asse y. Questo procedimento ha messo in evidenza che il telescopio non si trovava perfettamente orientato rispetto al centro del Sole. Infatti il picco di intensità che doveva corrispondere al centro del Sole era leggermente spostato a destra dell'asse y. Questo errore sistematico è da tenere in considerazione durante l'utilizzo del software.

Abbiamo misurato la distanza tra le due estremità della campana a metà dell'ampiezza massima. Per convenzione tale misura corrisponde al potere di risoluzione del telescopio.

Seconda attività

L'idrogeno neutro emette per transizione iperfine onde radio alla medesima frequenza; ciò permette di identificare il moto relativo delle masse di idrogeno rispetto alla Terra attraverso l'analisi dell'effetto Doppler che queste onde subiscono. Abbiamo osservato che il software registrava un picco nel momento in cui veniva sincronizzato sulla banda di emissione dell'idrogeno neutro 1420,4 MHz. La presenza di un picco invece che di una singola riga monocromatica è data dal movimento di masse che allontanandosi dalla Terra producono onde radio a frequenza più bassa e avvicinandosi a frequenza più alta.

Con questo metodo è possibile determinare la direzione e la velocità del moto delle masse di idrogeno neutro; questo studio permette quindi di mappare i movimenti relativi rispetto alla Terra.

2. Laboratorio di interferometria

L'interferometria è una tecnica utilizzata in radioastronomia per ottenere alto potere di risoluzione nelle rilevazioni delle onde radio emesse da sorgenti celesti. Essa utilizza la correlazione di dati provenienti da due o più ricevitori connessi a un *interferometro.* Questa tecnica permette un potere di risoluzione pari a quello che si avrebbe utilizzando un ricevitore parabolico con diametro pari alla massima distanza tra le antenne.

L'interferometro didattico utilizzato da noi è costituito di 2 antenne yagi a distanza di circa 4 metri, riceventi lunghezze d'onda di circa 23 cm. Su ogni antenna sono posti 35 dipoli elementari in successione che convogliano il segnale ricevuto verso il dipolo centrale che lo traduce in un impulso elettrico.

L'esperimento è stato elaborato in tre parti.

1° parte

Dopo aver effettuato tramite una passata OTF (On-The-Fly) un'acquisizione totale della radiazione all'elevazione del Sole, abbiamo calcolato l'intensità in Volt del rumore di fondo attraverso lo studio di un grafico Volt-tempo (s) [fig.1]; successivamente abbiamo valutato quantitativamente l'intensità della sorgente e calcolato il rapporto segnale/rumore. Questo rapporto è indicativo per definire l'affidabilità di un'antenna nell'osservazione di una sorgente celeste. Se tale rapporto risulta essere superiore a 5 per convenzione si considera l'antenna sufficientemente precisa; altrimenti il rumore di fondo si confonde con il segnale della sorgente e l'analisi risulta non affidabile.

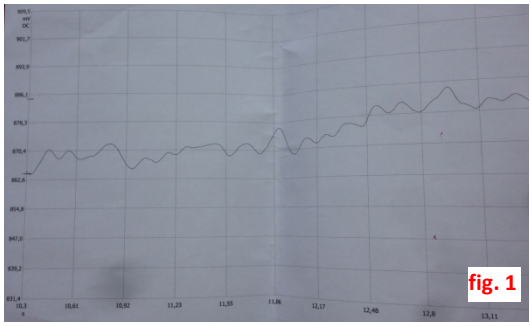


fig. 1

Calcolo del rumore: $N \approx \frac{I_{max}-I_{min}}{6}$ (per rumore si intende la fluttuazione statistica fondo cielo)

Calcolo dell'intensità massima: $S = picco\ massimo - fondo\ cielo$

$$N = 3{,}55 \times 10^{-3}\ V$$

$$S = 1{,}45\ V$$

$$\frac{S}{N} = 408{,}5$$

Dato che il valore di S/N è molto maggiore di 5, possiamo affermare con certezza che i dati relativi al Sole che i ricevitori prelevano sono affidabili.

2° parte

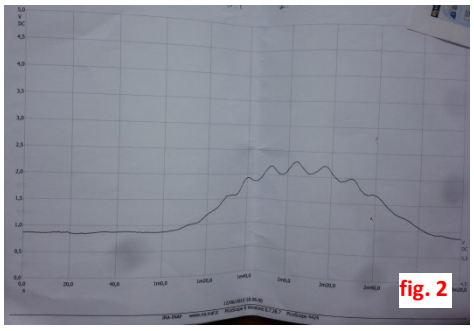


fig. 2

Abbiamo calcolato la sensibilità dello strumento in Jansky. Questa è l'unità di misura della densità di flusso che corrisponde a W/(m^{2}Hz); a differenza di una misura in Volt, dipendente sia dalla frequenza che dallo strumento stesso utilizzato, le misure in Jansky sono confrontabili tra loro per verificare l'affidabilità dell'antenna rispetto ad altri strumenti. Sapendo che il Sole alla frequenza di osservazione dell'interferometro (λ = 23 cm) ha una densità di flusso di 7,5 x 10^5, è possibile calcolare il fattore di conversione da Volt a Jansky del nostro ricevitore.

$$N\,[Jy\,] = c \times 3{,}55 \times 10^{-3} = 1{,}836 \times 10^{3}\,Jy \sim 1800\,Jy$$

Se viene confrontata la sensibilità con le densità di flusso provenienti da sorgenti celesti note, il ricevitore da noi utilizzato risulta inefficace per l'analisi di radio-sorgenti celesti anche particolarmente brillanti che presentano densità di flusso nell'ordine dei 1000 - 2000 Jy.

3° parte

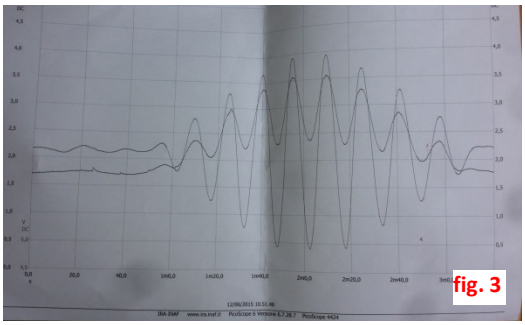


fig. 3

Abbiamo eseguito una nuova osservazione OTF del Sole utilizzando 2 radio-ricevitori e correlando i dati ottenuti nelle due modalità somma e prodotto. In entrambe le modalità abbiamo ottenuto due grafici con andamenti oscillatori [fig.3]. Mentre il prodotto oscilla tra valori superiori e inferiori all'intensità fondo cielo, la somma si distribuisce al di sopra. L'analisi del grafico permette di calcolare la distanza tra i due radio-ricevitori e il nuovo potere risolutore.

$$\Delta\theta = v \times \Delta t = 0{,}245\,\frac{gradi}{s} \times 16s = 3{,}92\,gradi = 0{,}0684\,rad$$

$$D = \frac{\lambda}{\Delta\theta} = \frac{0{,}23}{0{,}0684} = 3{,}36\,m$$

La velocità *v* è stata ricavata da delle tabelle che mettevano in relazione l'angolo di elevazione della sorgente celeste con la velocità di scansione dell'interferometro. Abbiamo ricavato il tempo dal grafico Volt-tempo (s).

La distanza tra le due antenne da noi ottenuta si avvicina approssimativamente al dato atteso (4m).

3. Laboratorio di radiofrequenza: calcolo del punto di compressione di un convertitore di frequenza

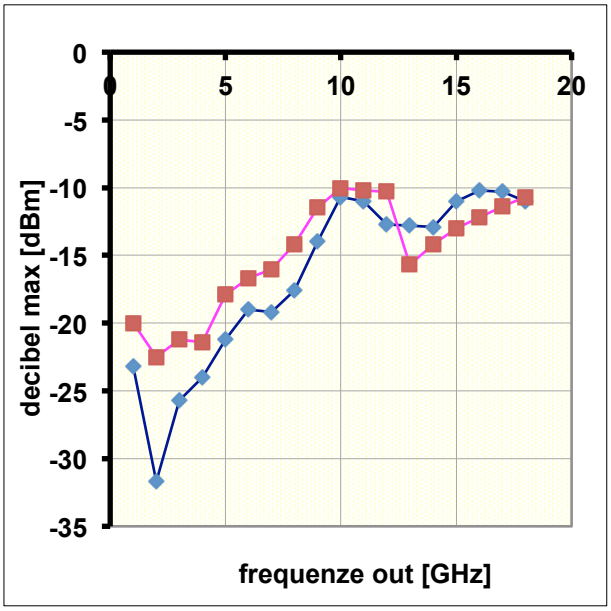
Con le misurazioni fatte si è verificato il funzionamento di due dispositivi capaci di convertire le frequenze rilevate dai ricevitori dei radiotelescopi per ricondurle ad altre più facilmente analizzabili. Tali dispositivi saranno installati sul SRT (Sardinia Radio Telescope).

I suddettidispositivi sono stati collegati a un generatore che forniva una frequenza che è stata variata da 33 a 50 GHz (banda Q, λ 6-9 mm). Un altro generatore forniva una frequenza fissa di 32 GHz. Il

dispositivo trasformava la frequenza del primo generatore in una più bassa sottraendo i 32 GHz stessi.

Variando l'intensità di frequenza tramite un attenuatore a scatti discreti, abbiamo verificato l'ampiezza massima che il dispositivo riusciva a trasformare con linearità (punto di compressione). Per ogni frequenza, infatti, il dispositivo riesce ad adattarsi in maniera lineare alle variazioni di intensità del segnale di ingresso fino ad un valore massimo (raggiunto 1 dB_m di scarto) sopra il quale la variazione non può più essere rappresentata da una funzione di primo grado.

Fout	Fin	Fgen	Po1	Po2
1	33	11,0000	-23,2	-20
2	34	11,3333	-31,7	-22,5
3	35	11,6667	-25,7	-21,2
4	36	12,0000	-24	-21,4
5	37	12,3333	-21,2	-17,9
6	38	12,6667	-19	-16,7
7	39	13,0000	-19,2	-16
8	40	13,3333	-17,6	-14,2
9	41	13,6667	-14	-11,5
10	42	14,0000	-10,7	-10
11	43	14,3333	-11	-10,2
12	44	14,6667	-12,7	-10,3
13	45	15,0000	-12,8	-15,7
14	46	15,3333	-12,9	-14,2
15	47	15,6667	-11	-13
16	48	16,0000	-10,2	-12,2
17	49	16,3333	-10,3	-11,4
18	50	16,6667	-11	-10,7



Fout: frequenza d'uscita

Fin: frequenza d'entrata effettiva

Fgen: frequenza generata (Fin/3; il generatore non riesce a produrre le frequenze da noi richieste)

Po1: Decibel massimi del primo dispositivo

Po2: Decibel massimi del secondo dispositivo

Il grafico mostra un andamento simile per i due dispositivi e coerente con le aspettative.

4. Laboratorio interferenza

Protezione delle bande radioastronomiche

Il notevole aumento delle trasmissioni in radio frequenza degli ultimi decenni ha causato problematiche relative allo studio radioastronomico. È nata quindi l'esigenza di tutelare e proteggere le frequenze riservate allo studio radioastronomico. A livello internazionale è nata l'ITU (International Telecommunication Union), a livello europeo il CRAF (Committee on Radio Astronomy Frequencies), costituito dai rappresentanti dei vari istituti che hanno aderito, e a livello italiano si occupa della tutela delle frequenze il Ministero dello sviluppo economico.

Le onde radio che provengono da sorgenti come dispositivi elettronici, emittenti radiotelevisivi, radar militari, cellulari o connessioni wireless possono interferire con le bande di osservazione radioastronomica. È necessario che ad ogni banda di frequenze, assegnate a livello governativo, corrispondano determinati trasmettitori e ricevitori. Nonostante questi provvedimenti, certi trasmettitori emettono frequenze che sconfinano in bande non assegnate ad essi. Sebbene questi fenomeni non abbiano intensità notevole, vanno comunque ad influenzare le osservazioni radioastronomiche che rilevano intensità estremamente basse.

Si è reso indispensabile un centro di controllo che determinasse le possibili fonti di interferenza e le segnalasse al Ministero con informazioni dettagliate.

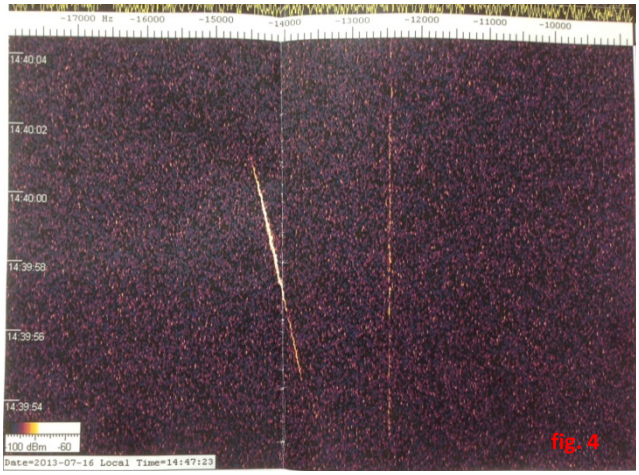
Piano d'azione per l'identificazione di fonti di radio-interferenza

La Stazione Radioastronomica di Medicina è dotata di una piccola antenna parabolica e una yagi per l'individuazione di frequenze radio interferenti. Di queste è individuabile l'intensità e la direzione angolare. Se l'intensità è sufficientemente alta per interferire con le osservazioni radioastronomiche, come spesso avviene, allora è necessario individuare la fonte. Per fare ciò solitamente è sufficiente determinare due direzioni per triangolare il segnale: la prima è la direzione angolare data dalle antennedella Stazione; la seconda viene determinata tramite l'utilizzo di un'antenna posta su un furgone specializzato nella ricerca di sorgentiradio. Facendo misurazioni successive è possibile determinare così la precisa posizione dell'origine della frequenza di interferenza. Spesso però la determinazione non risulta così semplice perché il moto delle onde radio può essere deviato in diversi modi. In alcuni casi il luogo individuato dai ricevitori è solamente un riflettore di onde aventi un'altra origine. In altri, da diversi punti vengono trasmesse e ricevute frequenze uguali e l'antenna non riesce a distinguere quale sia il ricevitore e quale sia il

trasmettitore. Infine può succedere che i segnali rilevati in un momento non si ripresentino perché non sono costanti.

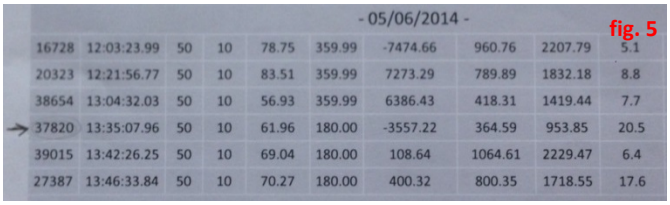
La determinazione precisa delle fonti di interferenza è importante per poter assicurare alle antenne paraboliche a Medicina, in Sardegna e in Sicilia e alla Croce del Nord misurazioni il più possibile affidabili e precise.

5. Analisi dello spettrogramma di un eco radar

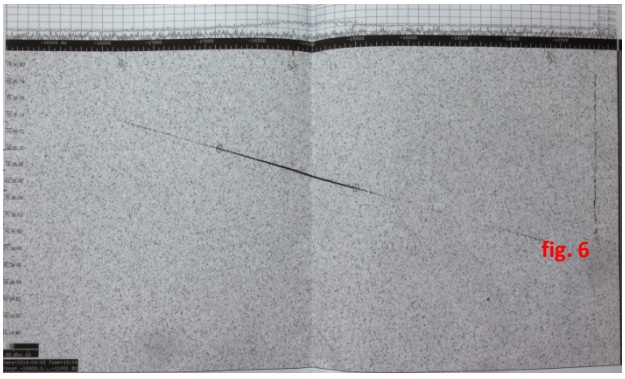


La fig. 4 mostra uno spettrogramma. Il grafico presenta sull'asse delle ascisse le frequenze (Hz) e sull'asse delle ordinate il tempo (hh:mm:ss). L'intensità della ricezione è resa tramite una scala di colori riportata in basso a sinistra. Le frequenze riportate non sono quelle reali ma sono traslate in basso per una più facile elaborazione dei dati tramite un convertitore di frequenze.

Lo spettrogramma da noi analizzato è quello in fig.6.



Confrontando l'orario con i tabulati della NORAD (North American Aerospace Defense Command) abbiamo valutato che l'eco rilevava il moto dell'oggetto Tiangong 1, un modulo di laboratorio spaziale cinese lanciato il 29 settembre 2011.



Dall'osservazione dello spettrogramma sono stati ricavati, nei 3 momenti di inizio, picco e fine dell'eco, i tempi e le frequenze delle onde ricevute. Il cambiamento di frequenza nei 3 momenti è infatti dovuto al movimento radiale rispetto al trasmettitore e al ricevitore.

I dati sono poi stati elaborati per determinare la

velocità radiale bistatica al picco, all'inizio e alla fine e l'accelerazione radiale bistatica media dell'oggetto, tramite la formula:

$$\Delta f = -\frac{1}{\lambda}(v_{R_{rx}} + v_{R_{tx}})$$

La lunghezza d'onda λ è stata calcolata secondo la formula:

$$f\lambda = c$$

Sapendo che la frequenza del segnale lanciato dal trasmettitore è 410 MHz.

Posizione	t (hh/mm/ss)	Δf (Hz)	λ (m)	velocità radiale bistatica (m/s)
0	13.35.07,0	3013	0,73	2199
iniziale	13.34.58,0	519	0,73	379
finale	13.35.12,8	4629	0,73	3379
		± 0,2	± 17	± 17

Durata dell'eco: 14,8 s

Accelerazione:
204 ± 17 m/s^2

I dati ricavati dallo spettrogramma sono stati presi con l'utilizzo di due squadre di sensibilità 1mm; i tempi sono stati ricavati con una sensibilità di 0,2 s, corrispondenti a 1 mm sullo spettrometro, e le frequenze con una sensibilità di 17 Hz, a loro volta corrispondenti a 1 mm sullo spettrogramma.

Il picco è stato identificato come punto medio della zona di lettura più intensa.

Il tempo e la variazione di frequenza previsti erano rispettivamente di 13:35:07,96 (hh:mm:ss) e 3557,22 Hz; i valori si scostano da quelli ricavati con uno scarto minore di 1 s per il tempo e di circa 560 Hz per la variazione di frequenza.