

Riccardo Maria Marabini

SperimEstate 2019 – stage 01

Misura della luminosità radio di galassie attive

Lo studio è stato svolto nell'ambito dell'attività di alternanza scuola-lavoro SperimEstate, offerta dall'INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) che ha visto l'impiego del radiotelescopio parabolico da 32 m di Medicina (BO), con l'obiettivo di studiare l'andamento della densità di flusso e della luminosità assoluta in funzione della frequenza di alcune sorgenti extragalattiche attive nello spettro radio (radiogalassie, blazar, quasar) a tre diverse frequenze: 5 GHz, 8.4 GHz e 25 GHz.

Gli oggetti

Di tutte le galassie conosciute, un esiguo 10% viene considerato attivo, cioè produce radiazione elettromagnetica in eccesso rispetto alla componente di origine stellare, di cui solo un ulteriore 10% presenta emissione significativa nello spettro radio prodotta per effetto di sincrotrone. Per emissione di sincrotrone si fa riferimento ad un processo di emissione da parte di elettroni relativistici che, ruotando mentre accelerano attorno alle linee di un campo magnetico costante, emettono energia sotto forma di radiazione. Queste sorgenti si suddividono fra radiogalassie e blazar (composti da quasar e oggetti di tipo BL Lac): si pensa che entrambe condividano la stessa conformazione base (un nucleo centrale molto compatto, due getti antitetici e due lobi) i cui pesi relativi variano a seconda della luminosità totale e dell'orientazione della struttura rispetto alla linea di vista. Le radiogalassie sono nuclei particolarmente attivi nella banda radio; la differenza rispetto ai blazar dipende dal fatto che le prime emettono con un angolo grande rispetto alla nostra prospettiva, mentre i getti delle seconde puntano direttamente verso la Terra. Per tutte le sorgenti l'emissione varia con la frequenza e con la regione della stessa sorgente che si sta osservando, tuttavia con la strumentazione a disposizione la risoluzione non è tale da poter misurare le variazioni di flusso nelle diverse regioni; pertanto la sorgente risulterà tanto grande quanto la dimensione del beam (il fascio d'antenna) con cui viene osservata: è possibile misurare solo le variazioni del flusso complessivo.

Il Radiotelescopio

Il radiotelescopio di Medicina è formato da una parabola di 32 m di diametro priva di attuatori in cui sono distribuiti 5 ricevitori, tra i quali quello per la banda X (8.4 GHz) nel fuoco primario, mentre quelli a 5 GHz (banda C) e a 18-26 GHz (banda K) sono nel fuoco secondario. La ricezione del segnale avviene grazie agli *horn*, coni corrugati che selezionano una precisa lunghezza d'onda raccolta dal feed. L'onda radio viene tradotta in un debole segnale elettrico, che attraversa poi un amplificatore che ha lo scopo di aumentarne il segnale senza incrementare il rumore associato. In seguito il mixer miscela il segnale proveniente dall'amplificatore con quello dell'oscillatore locale nel processo di *down-conversion* in modo da abbassare la frequenza ad un livello adatto ad essere elaborato dal back-end. Ogni feed è associato a due catene riceventi, dedicate a discriminare la polarizzazione del segnale incidente: dal feed si diramano due *sections* che misurano la densità di flusso nelle due polarizzazioni LPC (Left Circular) ed RCP (Right Circular). Questo processo produce un dato raw in conteggi del tutto arbitrari, fondamentalmente proporzionali alla potenza del segnale in ingresso, che deve essere calibrato, mediante l'osservazione di sorgenti di densità di flusso nota (calibratori di flusso) per essere convertito in Jy ($10^{-26} W/Hz m^2$). Per poter confrontare il dato con quello del calibratore di flusso occorre assicurarsi che il back-end funzioni in regime lineare, cosa che garantisce la proporzionalità lineare tra i conteggi e i Jy al variare dell'intensità del segnale. A questo scopo sono posti lungo la catena di ricezione degli attenuatori variabili che, impostati al momento dell'osservazione, mantengono il segnale in un range di intensità opportuno.

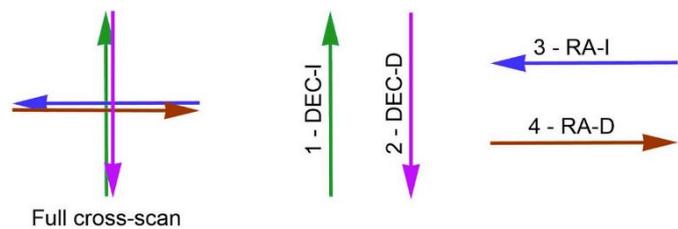
Il *beam pattern* è il diagramma che mostra come varia la sensibilità degli horn in funzione della direzione; consiste in una struttura polilobata che presenta una maggiore estensione nella direzione di puntamento. Il beam primario è il fascio lungo il quale è massima la capacità dell'antenna di ricevere segnale, ed è appunto orientato lungo l'asse ottico della parabola. La sua larghezza dipende dalla frequenza: la risoluzione aumenta all'aumentare della frequenza in quanto in $\theta \approx \frac{\lambda}{D}$ λ diminuisce. L'effettiva sensibilità del radiotelescopio è condizionata non solo dai fattori strumentali (meccanici ed elettromagnetici), ma anche da condizioni ambientali. In particolare la banda K risente in modo significativo dell'opacità dell'atmosfera, in funzione dell'abbondanza di vapore acqueo, effetti che nelle altre due bande di interesse sono trascurabili.

Pianificare le osservazioni

Le osservazioni sono effettuate nel continuo per mezzo di cross-scan, per ottenere una misura del flusso per ciascuna delle tre bande 5 GHz (banda C), 8.4 GHz (banda X) e 25 GHz nella K, tuttavia sin dall'inizio, per motivi di forte interferenza causata principalmente dalle trasmissioni radio per le telecomunicazioni, la banda a 5 GHz è stata espunta dal progetto.

Dinamica di un cross-scan

Una volta posizionatasi sul target, la parabola esegue 4 misurazioni nelle due direzioni (RA e Dec) in entrambi i versi. In questo modo possono anche essere corretti eventuali errori di puntamento (maggiormente rilevanti alle alte frequenze, dove il beam è più stretto). Il risultato di ogni scan è un grafico count v/s sample, in cui la sorgente dovrebbe apparire, essendo puntiforme per questo telescopio, come un profilo gaussiano che emerge dal rumore. La configurazione delle scansioni sono tali da mantenere costante la durata del subscan (15 s). Al variare della frequenza, cambiando la lunghezza dei subscan (che è proporzionale al beamsize, generalmente 7-9 volte), viene adeguata la velocità di scansione. Questo fa sì che la durata complessiva di una full-cross cambi con la banda di osservazione, in quanto il dead time dovuto alle rampe di accelerazione e decelerazione è direttamente proporzionale alla velocità di scansione.



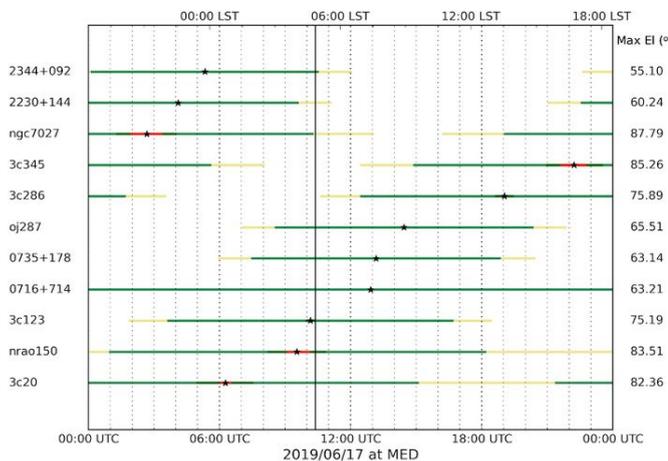
Il risultato di ogni scan è un grafico count v/s sample, in cui la sorgente dovrebbe apparire, essendo puntiforme per questo telescopio, come un profilo gaussiano che emerge dal rumore. La configurazione delle scansioni sono tali da mantenere costante la durata del subscan (15 s). Al variare della frequenza, cambiando la lunghezza dei subscan (che è proporzionale al beamsize, generalmente 7-9 volte), viene adeguata la velocità di scansione. Questo fa sì che la durata complessiva di una full-cross cambi con la banda di osservazione, in quanto il dead time dovuto alle rampe di accelerazione e decelerazione è direttamente proporzionale alla velocità di scansione.

	5 GHz	8.4 GHz	25 GHz
Beamsize	7.7'	4.8'	1.6'
Subscan span	1.0°	0.6°	0.2°
Scan speed	4.0 °/min	2.4°/min	1.0°/min
Subscan duration	15 s	15 s	15 s
Full cross	93 s	87 s	81 s

Undici/11 sorgenti sono state prescelte per il progetto, di cui **3 calibratori di flusso**:

Sorgente	Right Ascension	Declination
3c20	00h 43m 08.84s	+52° 03' 33.79"
nrao150	03h 59m 29.75s	+50° 57' 50.16"
3c123	04h 37m 04.38s	+29° 40' 13.82"
0716+714	07h 21m 53.45s	+71° 20' 36.36"
0735+178	07h 38m 07.39s	+17° 42' 18.10"
oj287	08h 54m 48.87s	+20° 06' 30.64"
3c286	13h 31m 08.29s	+30° 30' 32.96"
3c345	16h 42m 58.81s	+39° 48' 36.99"
ngc7027	21h 07m 01.53s	+42° 14' 11.51"
2230+114	22h 32m 36.41s	+11° 43' 50.91"
2344+092	23h 46m 36.84s	+09° 30' 45.52"

Visibility chart



La prima operazione è stata quella di ricercare su NED¹ (un sito NASA in cui sono disponibili cataloghi di sorgenti extragalattiche) e trascrivere in un foglio di testo le rispettive coordinate celesti (Right Ascension e Declination J2000) impiegate successivamente in CASTIA, programma sviluppato da INAF per determinare la visibilità delle sorgenti nell'osservatorio prescelto. La visibility chart viene quindi utilizzata per programmare ed ottimizzare il tempo di osservazione: essendo la parabola prenotata dalle 7:30 alle 14:30 UTC per il giorno 17/06/2019, è

risultato chiaro che la sorgente **3c345** non sarebbe mai stata in una posizione utile (trovandosi nello specifico sempre al di sotto di 15° di elevazione) ed è stata quindi scartata. Infatti per ragioni meccaniche di costruzione dell'antenna al di sotto di questa soglia, la deformazione gravitazionale è elevata e il guadagno d'antenna si abbassa eccessivamente, senza contare il dannoso aumento di opacità del cielo a basse elevazioni. Il limite superiore a 75° è imposto dalla velocità dei motori in azimuth: ad alte elevazioni, per mantenere il puntamento ed effettuare i cross-scan, la velocità in azimuth crescerebbe esponenzialmente fino a tendere all'infinito allo zenith.

¹ <https://ned.ipac.caltech.edu/>

Sitografia

https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_galaxy

https://it.wikipedia.org/wiki/Quasar#Modello_attuale_dei_quasar

N scan per sorgente

Ottenute queste informazioni bisogna stimare quanti scan servono per ogni sorgente: per avere misurazioni più accurate è necessario che il rapporto segnale/rumore (S/σ) sia abbastanza alto, in questo caso la soglia è 10. Per far questo si può sommare il numero degli scan per far aumentare il tempo al denominatore nella relazione che segue, e sempre per una questione di ottimizzazione dei tempi bisogna calcolare il numero minimo di scan che soddisfa la relazione $S/\sigma > 10$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	sorgenti	RA	Dec	S 5GHz (Jy)	uncertainty	S/sigma	n cross-scan	S 8.4GHz (Jy)	uncertainty	S/sigma	n scan	S 24.1GHz (Jy)	uncertainty	n scan	S/sigma
2	3c20	00 43 08.84	+52 03 33.79	4,18	+/-5 %	<u>89,67</u>	1	2,12	+/-0,06	42,40	1	0,89	+/-0,166	2	6,846153846
3	nrao150	03 59 29.75	+50 57 50.16	10,10	nd	<u>188,33</u>	1	2,40	nd	48,00	1	7,20	+/-10 %	1	55,38461538
4	3c123	04 37 04.38	+29 40 13.82	16,00	+/-5 %	<u>286,67</u>	1	11,00	+/-5,0 %	220,00	1	3,52	+/-0,239	1	27,07692308
5	0716+714	07 21 53.45	+71 20 36.36	1,00	nd	<u>16,67</u>	1	0,58	nd	11,60	1	2,11	+/-0,154	1	18,23076923
6	0735+178	07 38 07.39	+17 42 18.10	4,05	+/-0.05	<u>67,50</u>	1	2,11	+/-0,06	42,20	1	1,41	+/-0,170	1	10,84615385
7	o287	08 54 48.87	+20 08 30.64	3,01	+/-0.02	<u>50,17</u>	1	4,26	+/-0,19	85,20	1	4,10	+/-0.06	1	31,53846154
8	3c286	13 31 08.29	+30 30 32.96	7,48	+/-5 %	<u>124,67</u>	1	5,18	+/-0,104	103,60	1	2,10	+/-0.1	1	18,15384615
9	3c345	18 42 58.81	+39 48 36.99	5,50	+/-5 %	<u>91,67</u>	1	7,10	+/-0,36	142,00	1	8,00	+/-0.1	1	61,53846154
10	ngc7027	21 07 1.53	+42 14 11.51	5,37	+/-15 %	<u>89,50</u>	1	1,15	nd	23,00	1	5,34	+/-0,138	1	41,07692308
11	2230+114	22 32 36.41	+11 43 50.91	4,10	+/-0.06	<u>68,33</u>	1	3,36	+/-0,100	67,20	1	4,00	+/-0.06	1	30,76923077
12	2344+092	23 48 36.84	+09 30 45.52	1,51	+/-0.05	<u>25,17</u>	1	1,34	nd	26,80	1	1,15	+/-0,155	2	8,846153846
13															
14	sigma (Jy)			0,06				0,05				0,13			

S, il valore delle densità di flusso per ogni frequenza, è stato ricercato in NED ed inserito in un foglio di lavoro google.

σ , la sensibilità istantanea dell'antenna, per ogni frequenza viene calcolato come $\sigma_K = \frac{T_{sys}}{\sqrt{\Delta\nu\Delta t}}$ (K)

dove Δt è il tempo di integrazione, $\Delta \nu$ è la larghezza di banda e T_{sys} è la temperatura di sistema, che aumenta all'aumentare della frequenza "sporcando" maggiormente il segnale, specialmente in banda K.

$\sigma_{Jy} = \frac{T_{sys}}{G\sqrt{\Delta\nu\Delta t}}$ (Jy) questo è il valore della sensibilità espresso in Jy, confrontabile con quello del flusso.

	T (K)	Sample (s)	Frequency (Hz)	Gain (K/Jy)	σ_{Jy} (Jy)
5 GHz	30	0.04	2.50e+8	0.160	0.06
8.4 GHz	40	0.04	6.80e+8	0.141	0.05
25 GHz	90	0.04	1.20e+9	0.100	0.13

Dai dati del noise è risultato che nella banda X la sorgente 0716+714 e quella K le sorgenti 3c20, 0735+178, 2344+092 hanno bisogno di almeno due scan per avere risultati apprezzabili, mentre per tutti gli altri parametri si otterrebbero misure accettabili anche con un solo scan.

Preparazione delle schedule

Con questi parametri si è poi stilato l'ordine di osservazione con cui compilare le schedule, ossia i file che il sistema osservativo legge ed interpreta per poter svolgere le osservazioni. Per la banda X sono stati assegnati 3 scan a ogni sorgente. In banda K prima di ogni scan si è predisposta l'acquisizione di un cross-scan di pointing per correggere eventuali offset di puntamento (importante perché il beam in banda K è più stretto), inoltre 5 ripetizioni sono state assegnate alle sorgenti deboli 3c20, 0735+178, 2344+092 (per avere una messe di dati più ricca), 3 a tutte le altre. Dopo lo scan di ogni calibratore (3c123, 3c286, ncg7027) uno Skydip viene eseguito per misurare l'opacità del cielo (τ), misura da impiegare nel calcolo del flusso totale.

Nell'interfaccia dell'utente col codice

Per preparare l'osservazione in banda X,

```
setupXXP
setAttenuation=0,12 // questo è il valore di attenuazione per la section 0
setAttenuation=1,13 //questo per la 1
getTpi // ti permette di avere una lettura in cnt del livello del segnale
device=0 // seleziona la section 0, preferibile tra le due polarizzazioni
startSchedule=asl2019_X.scd,1
```

Si incomincia la scansione nella banda X; col comando, stopSchedule si ferma la banda X per ricominciare con la banda K con

```
setupKKC
setLO=24300 // l'oscillatore locale viene configurato per scegliere la sotto-banda di osservazione
setSection=0,*,1200,*,*,* // anche la larghezza di banda è configurabile
setSection=0,*,1200,*,*,*
setAttenuation=0,10 // attenuazione 10
setAttenuation=1,8 // attenuazione 8
getTpi
tsys
device=1 // seleziona la section 1, più performante in questo ricevitore
startSchedule=asl2019_K.scd,1
```

Valutazione dell'osservazione

Sono state privilegiate le sorgenti **ngc7027**, 2230+114 , 2344+092 le prime a tramontare, di cui si è effettuata l'osservazione in banda X seguita immediatamente da una in banda K. Si è continuata la rilevazione in banda K per tutte le sorgenti, per poi compiere un secondo switch e completare quella in X. Grazie all'abbondanza di tempo a disposizione è stato possibile ottenere ulteriore ridondanza per 0735+178, 0716+714, oj278, nrao150, 3c20 in X e 0716+714, 0735+178 e oj278 in K. Durante l'osservazione il puntamento di 3c286 è stato corretto in quanto, come mostrava il quick-look dei dati completamente

piatto, ci si è accorti di un errore nell'inserimento delle coordinate nella schedula. Inoltre nell'ambito della rilevazione di 3c20 ci si è imbattuti in un'interferenza molto potente riconducibile ad un satellite. Il problema delle interferenze radio è sempre più pressante, lo dimostra il fatto che il progetto originariamente prevedeva l'osservazione in banda K nell'intervallo 23.5-24.7 GHz ma, per evitare disturbi, la banda di osservazione è stata cambiata in 24.4-25.6 GHz.

Per ogni set-up si sono mantenute costanti le attenuazioni in modo da rendere i dati, presi in diversi momenti, confrontabili fra di loro. In fase di calibrazione dei dati è necessario tenere conto di vari fattori, tra i quali anche possibili variazioni meteo o strumentali che si sono avute durante le osservazioni.

Analisi dati

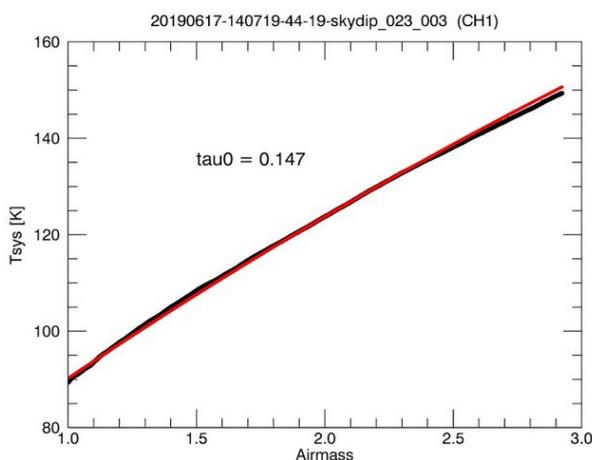
Nell'analisi, utilizzando un ambiente di programmazione chiamato IDL, i dati sono stati suddivisi nelle differenti cartelle secondo frequenza e tipo di rilevazione (targets, calibrators e skydips); per poi subire un **flagging** (l'attribuzione di una misura di gradimento ad ogni subscan, in modo da eliminare le anomalie) scegliendo, soprattutto in banda K, quale section considerare. Attraverso il programma runcalib la **lettura in counts di ogni calibratore viene riscalata tenendo conto dell'errore di puntamento e della curva di guadagno dell'antenna** (la distorsione gravitazionale della parabola che dipende dall'elevazione), **sommando i differenti sub-scan per ridurre il noise**. Nella tabella viene anche calcolato il fattore di conversione **cnt2Jy** (Jy/cnt) con il relativo errore.

In banda X la section di riferimento preferibile è la 0 (sebbene siano entrambe valide) e i dati utili sono quelli per 3c123 e 3c286 (i dati si **ngc7027** hanno presentato troppa interferenza un rapporto segnale/rumore molto basso a causa della sua bassa elevazione al momento dell'osservazione).

	c2J_0 Jy/cnt	c2J_1 Jy/cnt	e_c2J_0 Jy/cnt	e_c2J_1 Jy/cnt
3c123	0.40	0.44	0.01	0.01
3c286	0.39	0.44	0.01	0.01

Con i valori di cnt2Jy si può decidere di fare una media oppure di realizzare una timeline in cui si tiene conto del trend dei fattori di conversione di cui poi si realizza una retta di fit. Un'altra soluzione, se il trend non è lineare, è quella di realizzare dei fit su tempi scala ridotti a cui riferire le varie sorgenti in base a quando sono state rilevate. In questo caso, data la concordanza dei valori, è stata eseguita una media.

Una volta ottenuti i fattori di conversione si misurano le ampiezze dei target i quali, applicando opportunamente i fattori di conversione cnt2Jy, vengono calibrati in densità di flusso (Jy), sempre riscalate per l'errore di puntamento e il gain.



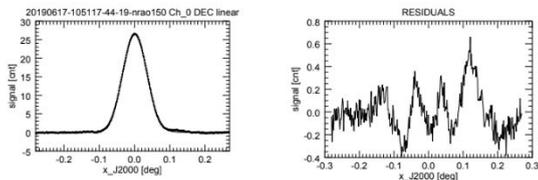
In banda K si è dovuto tenere in considerazione anche il valore dell'opacità del cielo, rilevato con lo skydip. Il valore dell'opacità si calcola come $\tau = \sin \theta_{El} * \ln(1 - \frac{T_{sys} - T_0}{T_{atm}})$ e si ottiene dal fit dello skydip.

Quindi, per calcolare il flusso a 25 GHz, oltre al fattore di conversione, all'errore di puntamento e al gain si è considerata l'opacità dell'atmosfera. In questo caso, dei tre calibratori solo il fattore di conversione di 3c123 è stato considerato valido: l'errore dei valori di 3c286 e di ngc7027 è troppo alto e troppo discordante: da 2 Jy/cnt a

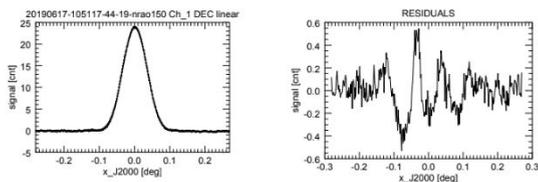
4 Jy/cnt. Pertanto in un arco di 4h i dati sono stati calibrati con una sorgente soltanto, che tuttavia è stata rilevata quasi a metà dell'osservazione.

I dati

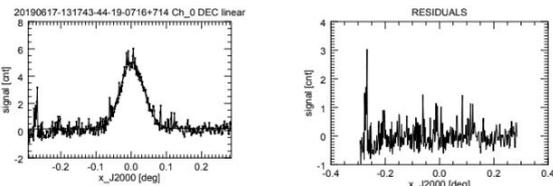
Per ogni sorgente per entrambe le bande si è ottenuto un plot della integrazione dei sub-scan, separatamente in RA e Dec, e due tabelle con le misure delle densità di flusso: una con le misure parziali nelle due direzioni, l'altra con le misure finali ottenute mediante media pesata dei flussi misurati in RA e Dec.



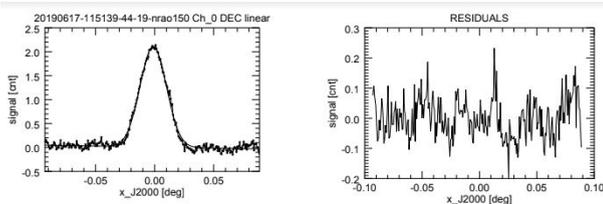
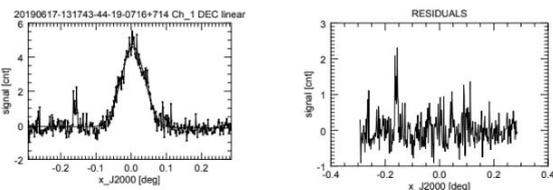
In banda X un buon plot dei risultati è quello di nrao150



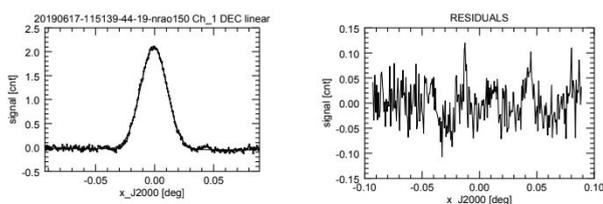
Trattandosi di una sorgente brillante, nell'integrazione si notano i lobi secondari del pattern che, non essendo inclusi nel modello usato per il fit (descritto da una gaussiana sommata a una retta/polinomio cubico), appaiono nei residui (ossia ciò che resta se, dai dati originari, si sottrae la curva prodotta dal fit).

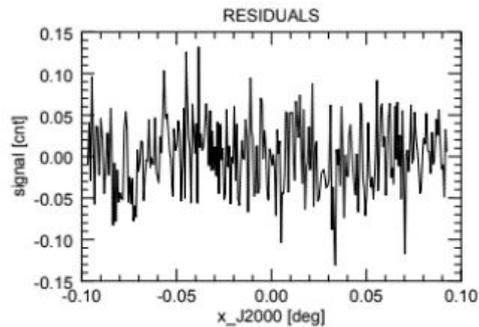
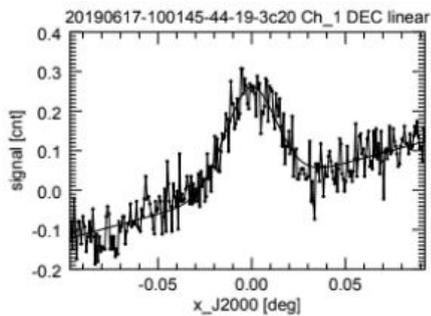
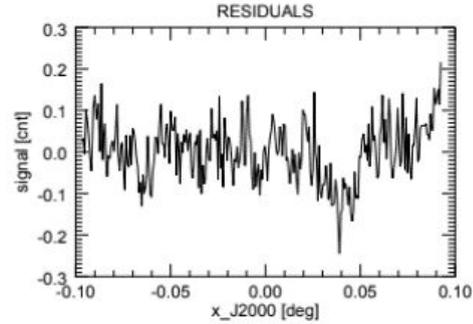
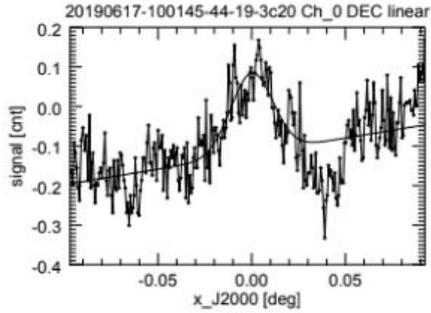


L'osservazione di 0716+714 presenta dei residui maggiori anche 10 volte tanto rispetto a quelle nrao150. Sono evidenti i segni di interferenze radio che "sporcano" il segnale.



In banda K, per quanto le acquisizioni siano più rumorose, il grafico di nrao150 risulta sempre molto distinto.





Il plot di 3c20 risulta molto più disturbato, ha un residuo nettamente maggiore in quanto la distribuzione dei dati si allontana, per una delle due section, dal segnale ideale. Si noti come il rapporto segnale/rumore sia ridotto - trattandosi di una sorgente meno brillante - rendendo più visibile il noise in questi diagrammi (dove è attivo un auto-scale lungo l'asse delle ordinate). In entrambi i casi si nota distintamente come la section 0 dia una lettura peggiore della section 1, più performante per ragioni dipendenti dal diverso hardware impiegato nelle due catene.

La tabella dei flussi e luminosità in entrambe le bande, compresi già della media nelle due direzioni:

	Banda X 8.4 GHz				Banda K 25 GHz			
	flux_0 (Jy)	e_flux_0 (Jy)	L (W/Hz)	e_L (W/Hz)	flux_1 (Jy)	e_flux_1 (Jy)	L (W/Hz)	e_L (W/Hz)
O716+714	2.04	+/- 0.03	5.49e+26	+/-8.08e+24	2.25	+/- 0.15	6.06e+26	4.04e+25
0735+178	0.69	+/- 0.03	4.22e+26	+/-1.83e+25	0.61	+/- 0.11	3.73e+26	6.72e+25
oj278	6.18	+/- 0.03	1.75e+27	+/-8.51e+24	5.81	+/- 0.35	1.65e+27	9.93e+25
nrao150	10.66	+/- 0.04	4.61e+29	+/-1.73e+27	7.67	+/- 0.63	3.31e+29	2.94e+28
2230+114	3.54	+/- 0.04	1.92e+28	+/-2.17e+26	2.56 (1.32*)	+/-0.50 (+/- 0.62)	1.39e+28	2.72e+27
2344+092	1.08	+/- 0.05	2.04e+27	+/-9.43e+25	1.30	+/- 0.16	2.45e+27	3.02e+26
3c20	2.10	+/- 0.03	1.62e+26	2.32e+24	0.87	+/- 0.12	6.73e+25	9.28e+24

*Il dato di 2230+114 nella banda K prodotto in prima istanza dal software (cioè prendendo in considerazione le misure delle due sections in RA e Dec) non è accettabile in quanto presenta un flusso troppo al di sotto della norma. Inoltre i parametri del plot non sono spiegabili dal modello grafico: il fit in Dec della prima section, quella preferibile, è completamente sbagliato. Analizzando i plot separati si è

riscontrata la presenza di dati di qualità inadeguata nelle acquisizioni in Dec. Si è deciso di realizzare la media aritmetica dei valori ottenuti con il fit gaussian+linear, escludendo quello in Declinazione per la section 1. L'errore è stato calcolato con a media/ \sqrt{n} .

Avendo a disposizione una sovrabbondanza di dati validi (a differenza della del secondo scan di 0735+178) i valori in banda X di 0716+714, oj278, nrao150, 3c20 e in K di 0716+714, 0735+178 e oj278 sono il risultato

di una media pesata:

$$Media = \frac{\sum_i S_i * W_i}{\sum_i W_i}$$

Dove il peso è

$$W = \frac{1}{err^2}$$

L'errore è dato da

$$errore = \sqrt{\frac{1}{\sum_i W_i}}$$

Calcolo delle luminosità

Il passaggio successivo è la conversione delle densità di flusso in luminosità . Questo è possibile grazie alla relazione $L_\nu = 4\pi S d^2$; $L=W/Hz$

Il flusso deve essere convertito da Jy a W/Hz considerando che $1JY= 10^{-26} W/(HZ m^2)$ e che $1pc=3.086e+16 m$. L'errore associato a ciascuna luminosità si trova dalla relazione $eL = \frac{eS}{S} L$ (equivalente a sostituire nella formula per la luminosità l'errore associato al flusso).

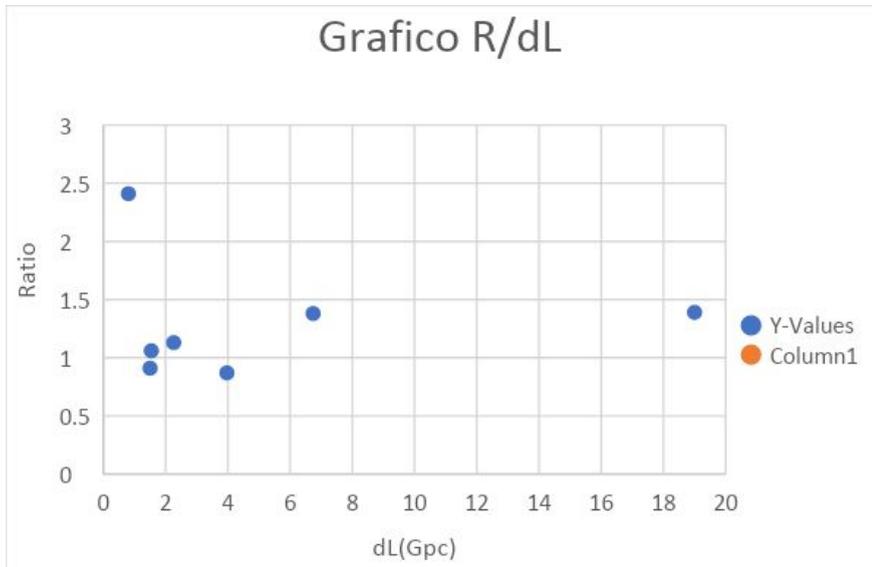
Rapporto red/blue: rapporto fra le emissioni a bassa frequenza e quelle ad alta

- Blu più energia alle frequenze alte
- Rosse meno energia alle frequenze alte

	Ratio L8/L25	d _L (Gpc)
0716+714	0.91	1.5
0735+178	1.13	2.26
Oj287	1.06	1.54
Nrao150	1.39	19
2230+114	1.38	6.74
2344+092	0.87	3.97
3c20	2.41	0.804

0716+714 e 2344+092 hanno una emissione nella banda K maggiore che nella banda X.

Grafico R/d_L



Calcolo della potenza

Infine la luminosità monocromatica è stata convertita (approssimando fortemente $P = L_\nu * \nu$) in potenza totale emessa (misurata in Watt) per essere confrontata con l'energia emessa dal buco nero centrale per assorbimento di materia. Questo valore, assumendo che tutta la massa si trasformi in energia ($E = mc^2$) e che cada nel buco nero l'equivalente di $1 M_\odot$ /anno, vale $5.67e39$ J, di gran lunga maggiore delle potenze di ogni sorgente per ogni banda (eccetto nrao150). Bisogna però considerare che queste potenze afferiscono solo alla banda radio e non all'intero spettro elettromagnetico, e che l'energia emessa dalla materia che cade nel buco nero è sempre minore di quella massima disponibile.

	P_{8GHz} (W)	P_{25GHz} (W)	P_{media} (W)
0716+714	4.39e36	1.52e37	9.80e36
0735+178	3.38e36	9.33e36	6.36e36
Oj287	1.40e37	4.13e37	2.77e37
nrao150	3.69e39	8.28e39	5.99e39
2230+114	1.54e38	3.48e38	2.51e38
2344+092	1.63e37	6.13e37	3.88e37
3c20	1.30e36	1.68e36	1.49e36

Nel caso di nrao150, 1 massa solare/anno non basterebbe a fornire abbastanza energia per sostenere una emissione tanto potente, con un semplice calcolo si trova che il $2.9e30$ kg (1.5 volte la massa del Sole) basterebbero per produrre tale emissione radio per un anno.

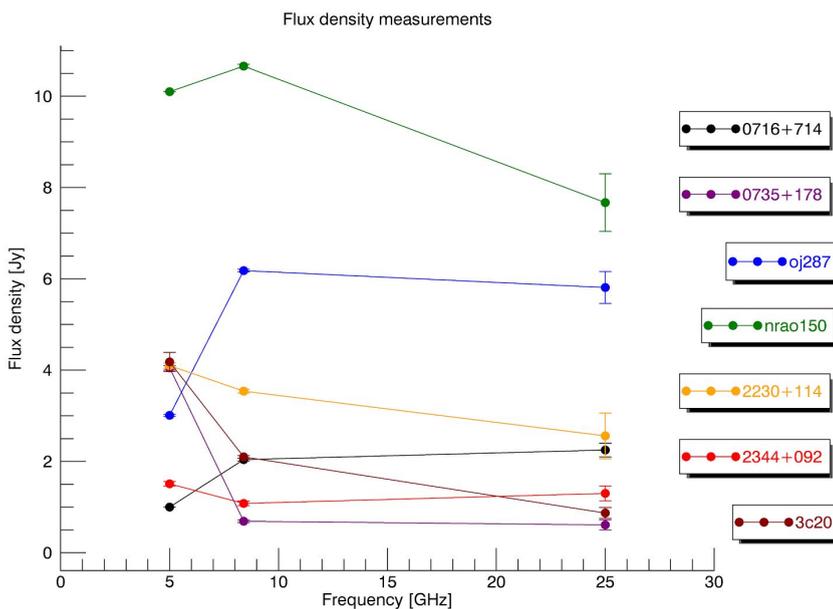
Emissione alle diverse frequenze

Una $f(x)$ del tipo $y = ax^{-b}$ viene descritta da una retta $Y = \log \log (a) - bX$ considerando $Y = \log(I)$ e $X = \log(v)$, quindi la relazione $I_\nu = K'\nu^{-\alpha}$ dove α è l'indice spettrale che nel grafico $\log(I)$ v/s $\log(v)$ diventa il coefficiente angolare della retta che mostra l'andamento dell'intensità in funzione della frequenza:

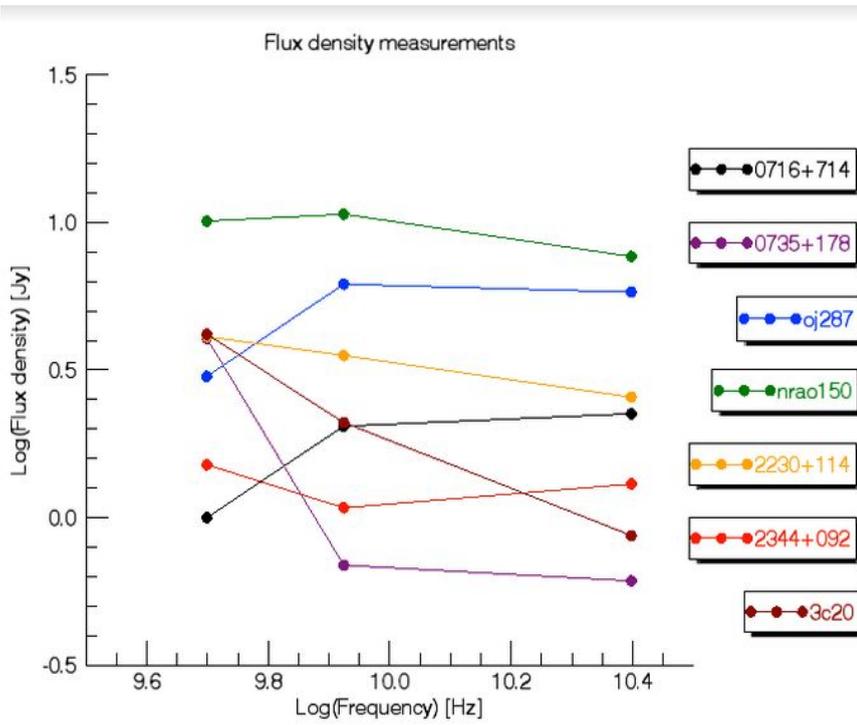
$$\log \log (I) = \log \log (K') - \alpha \log(v)$$

			X		K	
	$\alpha = - \frac{\log R}{\log \frac{\nu_1}{\nu_2}}$	Ratio L ₈ /L ₂₅	flux_0 (Jy)	e_flux_0 (Jy)	flux_1 (Jy)	e_flux_1 (Jy)
0716+714	-0,082	0.91	2.04	+/- 0.03	2.25	+/- 0.15
0735+178	0,107	1.13	0.69	+/- 0.03	0.61	+/- 0.11
Oj287	0,051	1.06	6,18	+/- 0.03	5.81	+/- 0.35
nrao150	0,28	1.39	10.66	+/- 0.04	7.67	+/- 0.63
2230+114	0,28	1.38	3.54	+/- 0.04	2.56	+/- 0.50
2344+092	-0,12	0.87	1.08	+/- 0.05	1.30	+/- 0.16
3c20	0,77	2.41	2.10	+/- 0.03	0.87	+/- 0.12

$$\alpha = - \frac{\log R}{\log \frac{\nu_1}{\nu_2}} \quad \text{indice spettrale}$$



I due grafici mostrano l'andamento del flusso alle tre frequenze designate, utilizzando scale diverse (lineare e logaritmica). I dati della frequenza a 4-5 GHz sono stati ricavati da NED e pertanto sono stati inseriti solo per completare l'andamento delle curve in quanto non direttamente confrontabili perché presi in un'epoca diversa.



Il grafico $\log S/\log v$ è volto a confrontare gli indici spettrali delle diverse sorgenti, da cui si può dedurre, pur con un ampio margine d'errore, l'orientamento delle diverse sorgenti. Essendo la nostra sorgente grande quanto il beam, non è possibile fare una distinzione dell'emissione del nucleo e dei lobi, pertanto la retta che otteniamo è data dalla somma delle rette dell'emissione nelle due regioni. A seconda dell'angolo con cui il getto della sorgente punta verso di noi e, considerando che per la legge di Hubble la velocità è direttamente proporzionale alla distanza e che queste sorgenti sono a distanze enormi dal nostro sistema, la velocità si approssima a c (che è

quella della radiazione emessa) si va in contro a fenomeni di amplificazione dell'emissione. Specialmente dal nucleo si crea allora un accumulo di fotoni che aumenta l'intensità della della radiazione rendendo l'emissione tanto più intensa quanto minore è l'angolo. Quindi questo effetto, detto di *beaming*, è maggiore minore l'angolo fra noi e la direzione della velocità. Proprio perché questo effetto interessa maggiormente il nucleo la retta dell'emissione del nucleo subisce una traslazione verso l'alto che modifica la pendenza della retta finale (facendola diminuire). Quindi nel grafico le rette che presentano il gradiente più alto significa che hanno subito un *beaming* più significativo come per esempio oj287 con $\alpha = 0.051$, 0716+714 $\alpha = -0.082$, 2344+092 $\alpha = -0.12$, al contrario 3c20 presenta la pendenza negativa maggiore 0.77 si potrebbero avere buone ragioni per credere che sia una radiogalassia. Le altre sorgenti possono essere ricondotte a Blazar in cui 2344+092 è quella meno obliqua.

Conclusioni

Pur non avendo ottenuto le misurazioni in banda 5 GHz il trend in banda 8.4 GHz e a 25 GHz segue con sufficiente approssimazione quelli ottenuti in rilevazioni precedenti. L'attendibilità delle misure delle densità di flusso in banda K è ridotta dal fatto che, pur avendo osservato tre calibratori di flusso, si è potuto tenere in considerazione solo il fattore prodotto con 3c123. I valori delle luminosità calcolati sono plausibili, ossia compatibili con quelli trovati in letteratura e con le misure ottenute nell'ambito di un progetto di ricerca di maggiori dimensioni (che include le medesime sorgenti). Dal calcolo delle luminosità assolute si è potuto ricavare anche l'indice spettrale, per valutare la natura delle sorgenti: con ogni probabilità la sorgente 3c20 è una radiogalassia mentre le altre sono di tipo Blazar. Infine è stato possibile fornire una stima della quantità di materia che cade nel buco nero supermassiccio che si crede alimenti la produzione dell'emissione radio alle due frequenze: il risultato finale è dell'ordine di $1.5 M_{\odot}/\text{anno}$.