MURMUR

Programma per determinare la rilevabilita' delle Pulsars

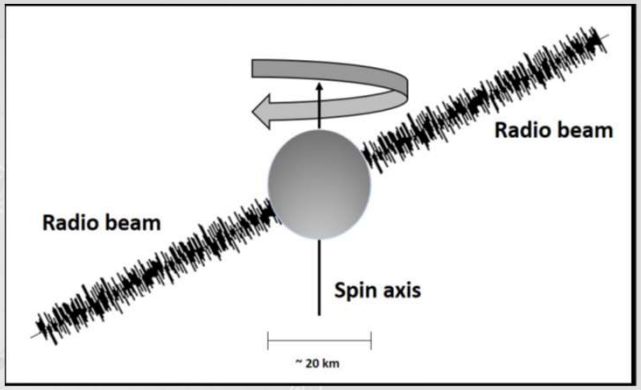
Mario Armando Natali

mario.natali@gmail.com

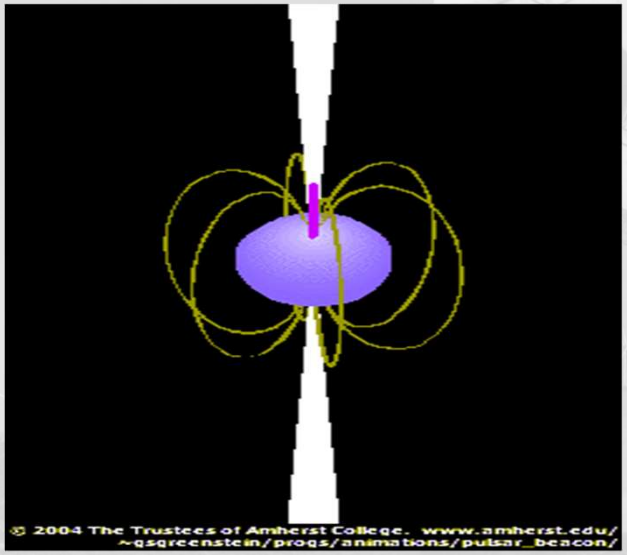
MURMUR

Cosa sono le Pulsars

Le Pulsars sono «stelle di neutroni» create dall' esplosione catastrofica di una stella giunta all'esaurimento del combustibile nucleare.
In questa fase, altamente instabile, la stella esplode e la parte interna collassa fino a raggiungere un diametro di qualche decina di chilometri creando una concentrazione di massa altissima (1 cm^3 pesa circa 670 milioni di tonnellate) e campi magnetici ed elettromagnetici straordinariamente potenti.



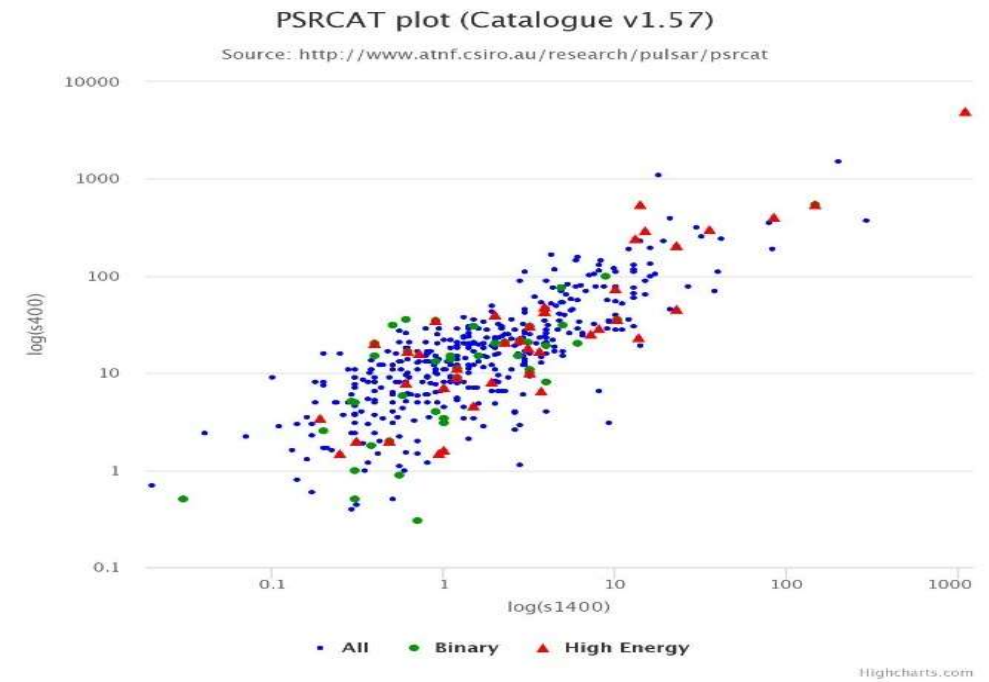
Schema base di emissine



Il collasso e la legge della conservazione del momento angolare fanno sì che questi oggetti ruotino su se stessi a velocita' talmente elevate che in superficie si raggiungono valori relativistici.
La combinazioni di questi fattori estremi fanno emettere alle Pulsars dei forti campi elettromagnetici concentrati in coni di radiazione che ruotano insieme all'oggetto trasformando le Pulsars in dei «beacons cosmici» e se siamo fortunati a trovarci nella direzione di questi «fasci di rumore» possiamo provare a rilevarli .

MURMUR

Il segnale emesso



Il «fascio di rumore» emesso dalle Pulsars e' estremamente largo in frequenza ed e' rilevabile gia' a frequenze molte basse (pochi Mhz) estendendosi sino al campo dei Ghz , ma le Pulsars emettono anche nel visibile, nei raggi-x e nei raggi gamma .

Il «segnale radio» emesso e' in generale piu' potente alle frequenze basse come si puo' vedere dal grafico accanto generato grazie al data base ATNF (Australia Telescope National Facility) che confronta il «Flusso» a 400 Mhz con quello a 1400 Mhz .

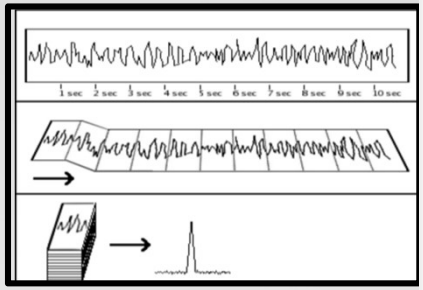
Per avere una idea del bassisssimo livello del «segnale» emesso da una Pulsar basta paragonarlo a quello di una comunicazione Terra-Luna-Terra che usa la luna come specchio riflettente (*modalita' di comunicazione detta EME ed usata correntemente da alcuni radioamatori*) : alla frequenza di 1296 Mhz l' attenuazione di tratta EME e' di circa 270 dB. Questo significa che un segnale con una potenza di 1 Watt EIRP (EIRP=potenza effettivamente irradiata) torna sulla terra @ -240 dB pari a 3,000 Jy su 3 Khz di larghezza di banda .... praticamente non ricevibile .....

La Pulsar piu' forte @ 1.4 Ghz ha un flusso di 1 Jy ; tutte le altre sono nell'ordine dei mJy.

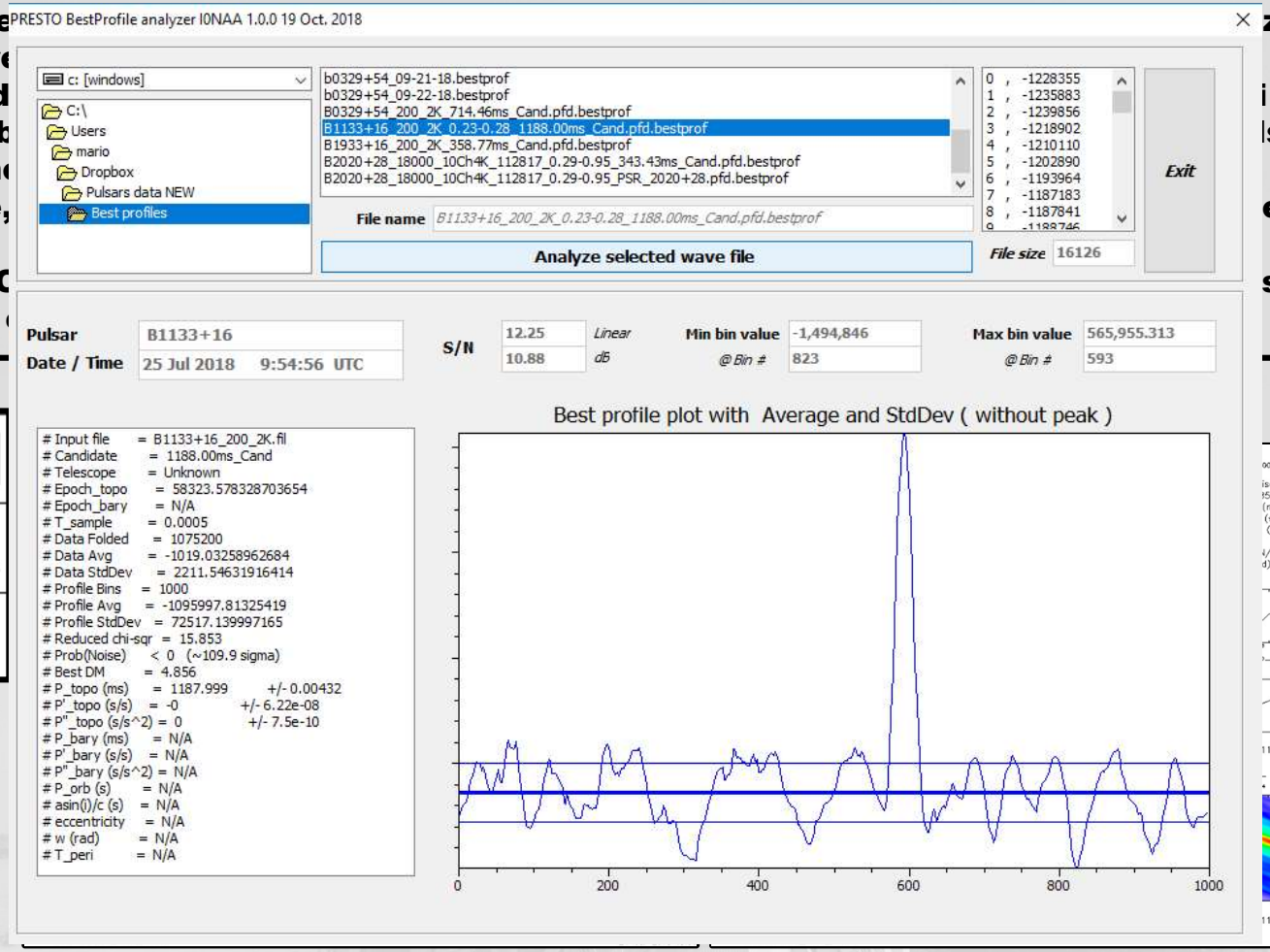
MURMUR

Cenni sul metodo di rilevazione

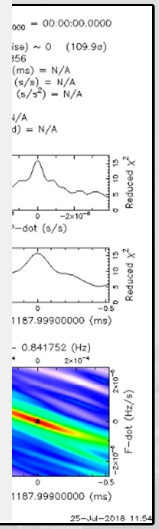
- ✓ **Con strumenti amatoriali e' ad oggi impossibile rilevare le Pulsars in tempo reale e si deve ricorrere ad una registrazione** … **zzatori come quello di Andre**
- ✓ **Si registra una band** … **i taglia la registrazione in b** … **lsar ed infine questi blocch** … **che e' totalmente casuale,** … **essere evidenziabile.**
- ✓ **Il pacchetto PRESTO** … **sce ad eliminare i blocchi /**



Tecnica di "folding" che consente di estrarre dal rumore I "burst" emessi dalla Pulsars sotto esame
E' importante notare come il "folding" debba essere eseguito ESATTAMENTE alla frequenza di emissione delle Pulsars che deve essere calcolata ogni volta attraverso un programma chiamato TEMPO



Estrazione ed analisi Best Profile



Prima RFI mitigation

Dopo RFI mitigation

MURMUR

la potenza ricevuta

I calcoli per predire l'attenuazione di tratta interstellare e quindi la possibilita' di rilevare un segnale da una Pulsars sono complessi e la natura del segnale emesso (un rumore impusivo) rendono la stima ancora piu' difficile, ma fortunatamente e' stata messa a punto una equazione tramite la quale si riesce a calcolare in maniera accurata la MDS (Segnale Minimo Ricevibile) di una sistema di ricezione e quindi anche la possibilita' e la difficolta' della ricezione di una determinata Pulsars per la quale si conosca il «Flusso».

$$S_{min} = \beta \frac{2k_b(\frac{S}{N}_{min})T_{sys}}{A_e\sqrt{n_p t_{int}\Delta f}} \sqrt{\frac{W}{P-W}}$$

S_{min} *= Minimum Detectable Signal (Jansky)*

β *= Factor to take in account system imperfections. >=1 (dimensionless)*
k_b *= Boltzmann's constant (1.38 * 10^{-38} joule K^{-1})*
A_e *= Effective aperture of antenna (m^2)*
$\frac{S}{N}_{min}$ *= Minimum S/N threshold (dimensionless)*
T_{sys} *= Total system noise temperature (K)*
n_p *= 1 for single polarization, 2 for two polarizations (dimensionless)*
t_{int} *= Integration time (sec)*
Δ_f *= Detection bandwidth (Hz)*
W *= Pulsar pulse width (msec.)*
P *= Pulsar pulse period (msec.)*

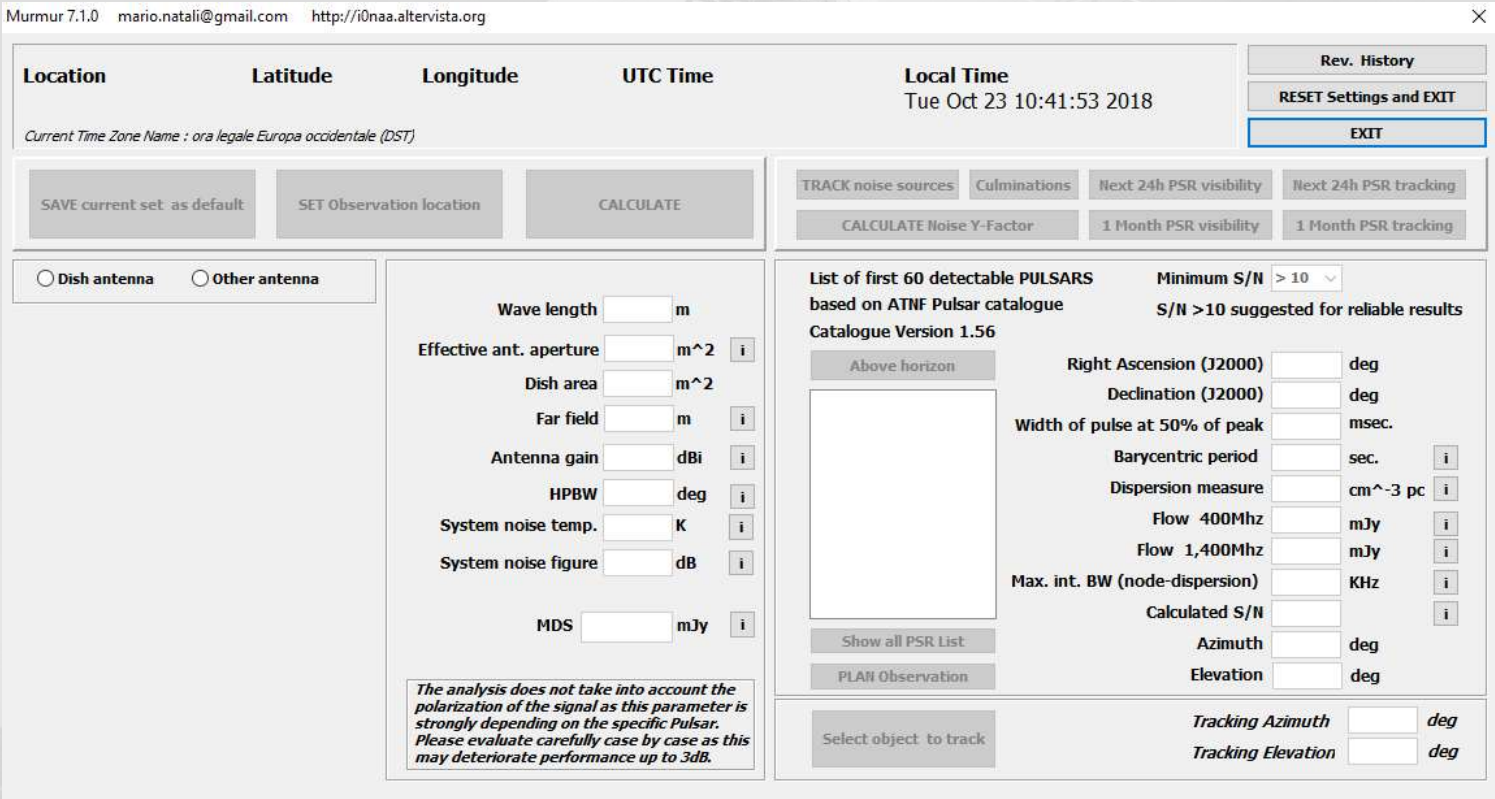
D. Lorimer, M. Kramer, **Handbook of Pulsar Astronomy**
Cambridge University Press, pp262-265

Il programma MURMUR risolve questa equazione in maniera automatica e permette il calcolo di molti altri parametri utili per la pianificazione di una osservazione.

MURMUR

Installazione

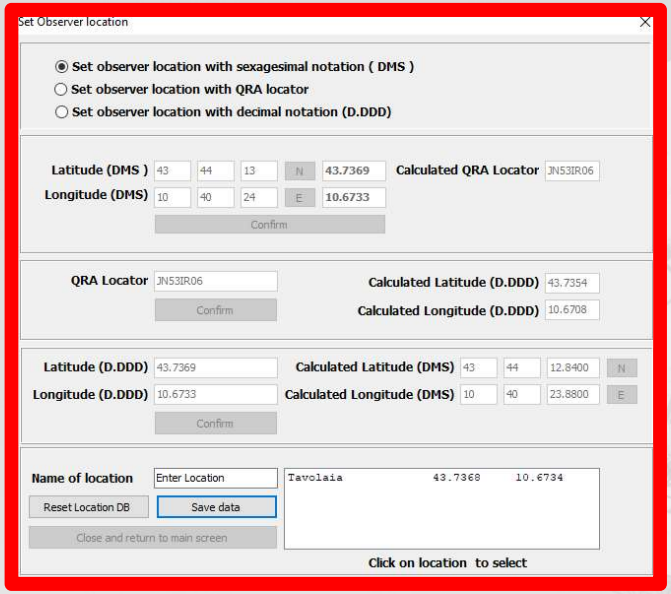
MURMUR e' liberamente scaricabile dal sito http://marionatali.altervista.org .
Il programma viene installato automaticamente in una directory della root (c:\Murmur) nella quale vengono scritti alcuni files di testo con le configurazioni locali.

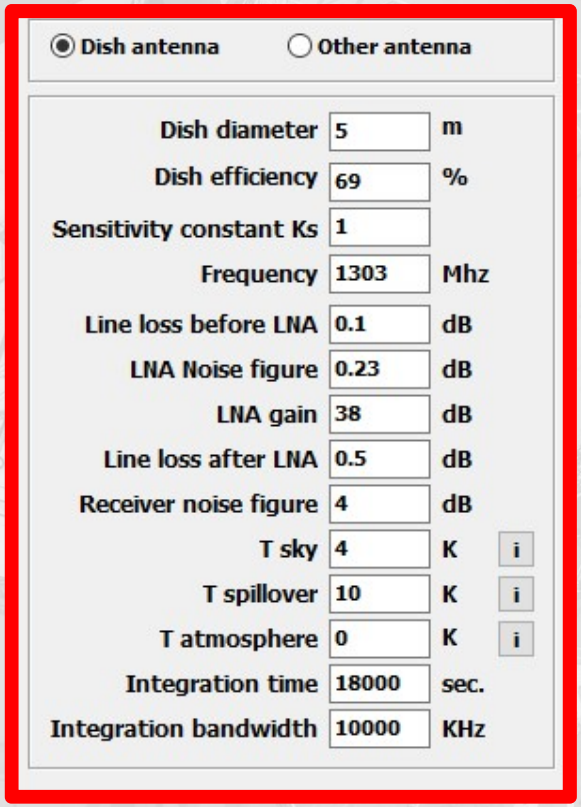


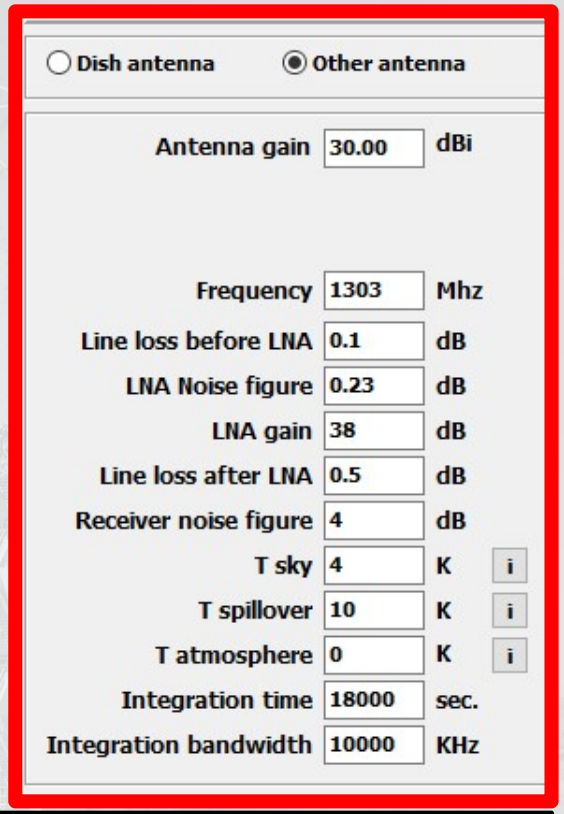
MURMUR

Parametri di ingresso

Al primo avvio dovranno essere definiti i parametri del sistema ricevente e le coordinate del sistema di ricezione







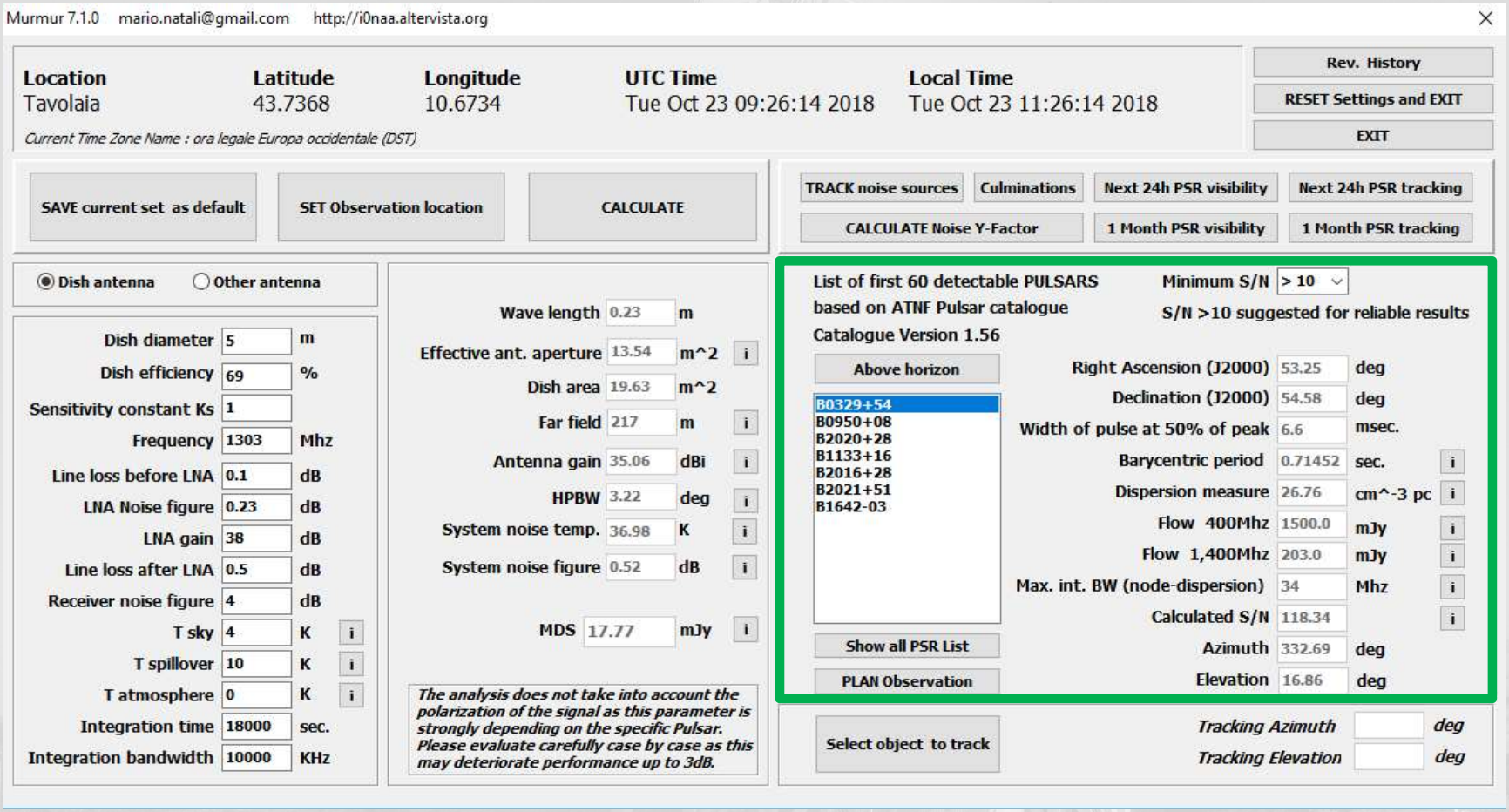
La localita' puo' essere definita sia mediante coordinate che mediante QRA Locator. Murmur accetta anche il QRA Locator a 8 digit consentendo una maggiore precisione.
Si possono immettere anche locazioni multiple.

Si puo' immettere direttamente una antenna a parabola definendone il diametro oppure si puo' immettere direttamente il guadagno di antenna.

MURMUR

Schermata principale

Una volta definita l'inizializzazione bastera' attivare il bottone «CALCULATE» e Murmur mostrera' immediatamente tutti i parametri derivati



MURMUR

Funzioni accessorie

Culminazione

Next 30 culminations - THIS CAN TAKE SOME TIME !

Moon | Sun | Cygnus-A | Taurus-A | Cassiopeia-A | Sagittarius-A | 3C273 | B0329+54

Date Time (UTC)	Date Time (Local)	Azimuth (Deg.)	Elevation (Deg.)
Fri Apr 27 11:17:01 2018	Fri Apr 27 13:17:01 2018	180.08	59.91
Sat Apr 28 11:16:51 2018	Sat Apr 28 13:16:51 2018	180.07	60.23
Sun Apr 29 11:16:43 2018	Sun Apr 29 13:16:43 2018	180.08	60.54
Mon Apr 30 11:16:34 2018	Mon Apr 30 13:16:34 2018	180.07	60.85
Tue May 1 11:16:24 2018	Tue May 1 13:16:24 2018	180.08	61.27
Wed May 2 11:16:17 2018	Wed May 2 13:16:17 2018	180.08	61.57
Thu May 3 11:16:10 2018	Thu May 3 13:16:10 2018	180.07	61.87
Fri May 4 11:16:05 2018	Fri May 4 13:16:05 2018	180.08	62.16
Sat May 5 11:15:59 2018	Sat May 5 13:15:59 2018	180.07	62.44
Sun May 6 11:15:55 2018	Sun May 6 13:15:55 2018	180.07	62.72
Mon May 7 11:15:51 2018	Mon May 7 13:15:51 2018	180.07	63.00
Tue May 8 11:15:47 2018	Tue May 8 13:15:47 2018	180.07	63.27
Wed May 9 11:15:44 2018	Wed May 9 13:15:44 2018	180.07	63.54
Thu May 10 11:15:42 20			
Fri May 11 11:15:40 20			
Sat May 12 11:15:38 20			
Sun May 13 11:15:38 20			
Mon May 14 11:15:38 20			
Tue May 15 11:15:38 20			
Wed May 16 11:15:39 20			
Thu May 17 11:15:41 20			
Fri May 18 11:15:43 20			
Sat May 19 11:15:45 20			
Sun May 20 11:15:49 20			
Mon May 21 11:15:52 20			
Tue May 22 11:15:57 20			
Wed May 23 11:16:01 20			
Thu May 24 11:16:07 20			
Fri May 25 11:16:13 20			
Sat May 26 11:16:19 20			

Month Pulsar visibility

1 Month Pulsar visibility : B0329+54

Date Time (UTC)	Date Time (Local)	Azimuth (Deg.)	Elevation (Deg.)
Thu Apr 26 20:37:43 2018	Thu Apr 26 22:37:43 2018	328.05	20.44
Thu Apr 26 21:37:43 2018	Thu Apr 26 23:37:43 2018	335.44	15.31
Thu Apr 26 22:37:43 2018	Fri Apr 27 00:37:43 2018	343.48	11.51
Thu Apr 26 23:37:43 2018	Fri Apr 27 01:37:43 2018	352.01	9.20
Fri Apr 27 00:37:43 2018	Fri Apr 27 02:37:43 2018	.79	8.52
Fri Apr 27 01:37:43 2018	Fri Apr 27 03:37:43 2018	9.55	9.50
Fri Apr 27 02:37:43 2018	Fri Apr 27 04:37:43 2018	18.01	12.08
Fri Apr 27 03:37:43 2018	Fri Apr 27 05:37:43 2018	25.95	16.14
Fri Apr 27 04:37:43 2018	Fri Apr 27 06:37:43 2018	33.20	21.50
Fri Apr 27 05:37:43 2018	Fri Apr 27 07:37:43 2018	39.65	27.93
Fri Apr 27 06:37:43 2018	Fri Apr 27 08:37:43 2018	45.19	35.25
Fri Apr 27 07:37:43 2018	Fri Apr 27 09:37:43 2018	49.66	43.23
Fri Apr 27 08:37:43 2018	Fri Apr 27 10:37:43 2018	52.71	51.69
Fri Apr 27 09:37:43 2018	Fri Apr 27 11:37:43 2018	53.50	60.38
Fri Apr 27 10:37:43 2018	Fri Apr 27 12:37:43 2018	49.70	68.93
Fri Apr 27 11:37:43 2018	Fri Apr 27 13:37:43 2018	34.11	76.36
Fri Apr 27 12:37:43 2018	Fri Apr 27 14:37:43 2018	354.23	79.29
Fri Apr 27 13:37:43 2018	Fri Apr 27 15:37:43 2018	320.19	74.75
Fri Apr 27 14:37:43 2018	Fri Apr 27 16:37:43 2018	308.69	66.88
Fri Apr 27 15:37:43 2018	Fri Apr 27 17:37:43 2018	306.40	58.24
Fri Apr 27 16:37:43 2018	Fri Apr 27 18:37:43 2018	307.88	49.58
Fri Apr 27 17:37:43 2018	Fri Apr 27 19:37:43 2018	311.33	41.22
Fri Apr 27 18:37:43 2018	Fri Apr 27 20:37:43 2018	316.08	33.38
Fri Apr 27 19:37:43 2018	Fri Apr 27 21:37:43 2018	321.86	26.26
Fri Apr 27 20:37:43 2018	Fri Apr 27 22:37:43 2018	328.51	20.07
Fri Apr 27 21:37:43 2018	Fri Apr 27 23:37:43 2018	335.95	15.02
Fri Apr 27 22:37:43 2018	Sat Apr 28 00:37:43 2018	344.03	11.31
Fri Apr 27 23:37:43 2018	Sat Apr 28 01:37:43 2018	352.59	9.11
Sat Apr 28 00:37:43 2018	Sat Apr 28 02:37:43 2018	1.37	8.54
Sat Apr 28 01:37:43 2018	Sat Apr 28 03:37:43 2018	10.11	9.62
Sat Apr 28 02:37:43 2018	Sat Apr 28 04:37:43 2018	18.55	12.31
Sat Apr 28 03:37:43 2018	Sat Apr 28 05:37:43 2018	26.44	16.46
Sat Apr 28 04:37:43 2018	Sat Apr 28 06:37:43 2018	33.65	21.89
Sat Apr 28 05:37:43 2018	Sat Apr 28 07:37:43 2018	40.04	28.39

Hide main screen | Exit

Visibilita' Pulsar

Noise sources tracking

	Azimuth Deg.	Elevation Deg.
Moon	176.51	49.74
Sun	320.13	-23.11
Cygnus A	40.06	8.96
Taurus A	288.33	12.83
Cassiopeia A	3.21	12.89
Sagittarius A	111.86	-19.31
3C273	164.66	47.11
B0329+54	355.54	-45.98

Hide main screen | Exit

Real time tracking widget

Pulsar list derived from ATNF Catalogue http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/

Sorted by S1400 **26/04/2018 22:29:28** **Local Time** Recalculate | Return to main screen

PSR #	PSR name	RA(Deg)	DEC(Deg)	DM(cm^-3 pc)	W50(ms)	S400(mJy)	S1400(mJy)	Barycentric Period(sec.)	Azimuth	Elevation	Visible
0	B0833-45	128.8359	-45.1763	67.990	2.100	5000.0	1100.0	0.08932839	210.76	-7.99	no
1	B1641-45	251.2053	-45.9860	478.800	8.200	375.0	296.4	0.45505978	133.05	-22.44	no
2	B0329+54	53.2474	54.5788	26.764	6.600	1500.0	203.0	0.71451970	328.21	20.32	YES
3	J0437-4715	69.3162	-47.2525	2.645	0.141	550.0	149.0	0.00575745	238.35	-39.77	no
4	B0950+08	148.2888	7.9266	2.969	9.500	400.0	84.0	0.25306516	220.56	47.23	YES
5	B0736-40	114.6347	-40.7114	160.800	29.000	190.0	83.7	0.37491999	221.94	-10.41	no
6	B1451-68	224.0007	-68.7276	8.600	12.500	350.0	80.0	0.26337681	161.79	-28.43	no
7	B1933+16	293.9493	16.2778	158.521	9.000	242.0	42.0	0.35873841	57.85	-8.20	no
8	B1556-44	239.9230	-44.6461	56.100	6.000	110.0	40.0	0.25705610	137.86	-15.81	no
9	B2020+28	305.6544	28.9064	24.631	12.000	71.0	38.0	0.34340216	41.59	-4.43	no
10	B1929+10	293.0581	10.9923	3.183	7.400	303.0	36.0	0.22651764	61.97	-11.70	no
11	B1133+16	174.0135	15.8512	4.841	31.700	257.0	32.0	1.18791307	181.53	61.91	YES
12	B2016+28	304.5160	28.6651	14.198	14.900	314.0	30.0	0.55795348	42.56	-4.08	no
13	B2021+51	305.7078	51.9139	22.550	7.400	77.0	27.0	0.52919692	28.81	14.78	YES
14	B0355+54	59.7238	54.2205	57.142	3.900	46.0	23.0	0.15638412	324.98	22.63	YES
15	B0628-28	97.7058	-28.5785	34.425	58.200	206.0	23.0	1.24441860	240.67	-10.97	no
16	B1054-62	164.1065	-62.9799	320.300	20.000	45.0	21.0	0.42244719	185.05	-17.26	no
17	B1642-03	251.2585	-3.2995	35.756	4.200	393.0	21.0	0.38768970	101.82	7.35	YES
18	B2111+46	318.3514	46.7358	141.260	32.100	230.0	19.0	1.01468479	24.16	6.21	YES
19	B1749-28	268.2445	-28.1104	50.372	9.100	1100.0	18.0	0.56255764	108.94	-21.44	no
20	B2154+40	329.2577	40.2961	71.124	38.600	105.0	17.0	1.52526563	19.20	-2.69	no
21	B1557-50	240.2210	-50.7392	260.560	5.400	0.0	17.0	0.19260123	142.12	-20.36	no
22	B1648-42	252.9533	-42.7697	482.000	110.000	100.0	16.0	0.84408067	129.54	-21.28	no
23	B1323-62	201.8225	-62.3791	318.800	11.000	135.0	16.0	0.52991319	167.15	-18.51	no
24	B0835-41	129.3383	-41.5873	147.290	8.900	197.0	16.0	0.75162362	212.32	-4.74	no
25	B1804-08	271.9085	-8.7953	112.380	8.900	65.0	15.0	0.16372737	91.45	-11.22	no
26	B2310+42	348.2859	42.8870	17.277	8.800	89.0	15.0	0.34943368	4.75	-2.98	no
27	B0740-28	115.7044	-28.3788	73.782	5.400	296.0	15.0	0.16676229	228.99	-0.23	no
28	B0403-76	60.4653	-76.1372	21.600	18.000	19.0	14.0	0.54525274	199.10	-48.13	no
29	B1449-64	223.3864	-64.2210	71.070	4.400	230.0	14.0	0.17948475	158.95	-24.70	no
30	B0531+21	83.6332	22.0145	56.771	3.000	550.0	14.0	0.03339241	286.96	14.29	YES
31	B1800-21	270.9642	-21.6187	233.990	14.000	23.0	13.9	0.13366692	101.95	-19.14	no

MURMUR internal Pulsar data (derivato dal catalogo ATNF)

MURMUR

Calibrazione dei sistemi : Noise (Y-factor)

Sun flux and sun Y-factor noise

2018 Apr 26									
	Learmonth	San Vito	Sag Hill	Penticton	Penticton	Palehua	Penticton		Best set
Mhz	0500 UTC	1200 UTC	1700 UTC	1700 UTC	2000 UTC	2300 UTC	2300 UTC		
245	-1	13	11	-1	-1	-1	-1		11
410	-1	27	27	-1	-1	-1	-1		27
610	-1	-1	34	-1	-1	-1	-1		34
1415	47	47	48	-1	-1	-1	-1		48
2695	63	76	65	-1	-1	-1	-1		65
2800	-1	-1	-1	72	-1	-1	-1		-1
4995	130	115	112	-1	-1	-1	-1		112
8800	228	215	240	-1	-1	-1	-1		240
15400	530	535	511	-1	-1	-1	-1		511

Sun Flow data downloaded from :
http://legacy-www.swpc.noaa.gov/ftpdir/lists/radio/rad.txt
Sun flow (derived) is calculated by quadratic spline interpolation.

Frequency	1303	**Mhz**
Sun flow (derived)	462239	**Jy**
Sun noise Y-factor	17.95	**dB**

Ready | Calculate Y-factor for sun | Show Y-factor for all noise sources | Exit

- ✓ **Per la taratura e la verifica del sistema di ricezione il metodo comunemente usato e' quello di misurare il «rumore del sole».**
- ✓ **La tecnica detta Y-factor consiste nel puntare alternativamente l'antenna verso una sorgente a basso rumore (usualmente la costellazione dell'acquario) e poi verso il sole.**
- ✓ **Il «rumore del sole» dipende strettamente dalla attivita' solare che cambia continuamente. Murmur estrae ed elabora automaticamente i valori di «sun flow» pubblicati giornalmente dalla NOAA e tramite una interpolazione quadratica (spline) li riduce alla frequenza di interesse.**

- ✓ **Murmur fornisce anche il noise delle principali sorgenti di rumore, ma per ora solo a 1420 Mhz.**
- ✓ **E' possibile anche immettere flussi diversi e quindi effettuare ulteriori analisi.**

Y-Factor noise

	Flow Jy	Noise Y-Factor dB
Moon	800	0.438
Cygnus A	1495	0.786
Taurus A	875	0.477
Cassiopeia A	2477	1.234
Sagittarius A	2010	1.027
3C273	47	0.027

Please note that Flow density is given @ 1420 Mhz therefore Noise Y-factor is only valid at this frequency.
Other Flow values can be entered to calculate Noise Y-factor for any other frequency.
Y-Factor is calculated with following formulas :
Tant=(Ae/2760)*Flow
Y=10*LOG10((Tant-Tsys)/Tsys)

Re - calculate | Exit

MURMUR

Pianificazione delle osservazioni

La funzione «PLAN Observation» mostra in un unico quadro l'elevazione e l'azimuth orario per tutti gli oggetti presenti nel data base interno utilizzando un maschera di visibilita' che consente di eliminare le zone del cielo non accessibili a causa di ostacoli locali come alberi e case.

PLAN Observation

Tracking table ordered by *S1400* *calculated for* *9/26/2018* *local time*

Object	S/N	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Moon		145:41	164:46	185:47	206:44	224:38	239:30	251:21	262:10	272:00													093:09	104:20	115:30
Sun										101:10	112:20	125:30	140:38	159:44	180:46	201:44	219:38	234:30	247:21	258:10					
Cygnus-A		283:55	289:45	296:34	303:25	311:16	320:08	329:02						034:04	043:11	052:19	059:28	066:38	073:48	080:59	088:70	101:81	227:87	266:76	276:65
Taurus-A		070:10	079:21	089:32	100:43	113:53	133:63	164:68	202:68	231:61	249:51	263:41	273:30	283:19	292:09										060:01
Cassiopeia		007:74	340:73	323:67	316:60	315:52	316:45	319:37	324:31	329:24	336:19	343:16	350:13	358:12	006:12	014:14	021:18	028:22	034:28	039:34	043:42	045:49	045:57	041:65	029:71
Sagittarius-A																	135:03	146:10	159:15	172:18	186:18	199:15	212:11	223:04	
3C273										096:09	106:20	119:30	133:39	152:45	173:49	196:48	216:43	233:35	247:26	258:15	269:04				
B0833-45	944									165:00	176:02	186:01													
B1641-45	291																		174:01	185:01					
B0329+54	280	051:47	052:55	051:64	043:72	016:78	336:77	315:70	308:62	308:53	310:45	314:37	319:29	325:22	332:17	340:12	348:09	357:08	006:08	014:10	022:13	030:18	037:24	042:31	047:39
J0437-4715	125																								
B0950+08	57						087:08	097:19	109:30	123:40	140:48	162:54	188:55	212:51	231:44	246:34	258:24	269:13	279:02						
B0736-40	39							153:00	163:04	175:06	186:06	197:04													
B1451-68	48																								
B1933+16	35	256:38	268:27	278:16	288:05											074:07	084:17	094:28	106:39	120:49	140:58	168:63	199:62	225:56	243:47
B1556-44	34																	171:02	182:02	193:01					
B2020+28	27	261:54	272:43	281:32	290:22	299:12	309:02									057:08	066:17	075:28	084:39	094:50	108:60	129:70	171:76	219:73	246:64
B1929+10	26	252:33	264:23	274:12	284:01											078:04	089:15	099:26	111:36	126:46	146:53	171:58	198:57	222:51	239:43

Radio Horizon

Azimuth	0	30	30	60	60	90	90	120	120	150	150	180	180	210	210	240	240	270	270	300	300	330	330	360
Minimum Elevation	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	

Re-calculate | Save Horizon | - 1 day | + 1 day | Exit

Expected S/N is calculated based on parameters entered in the first screen . Hourly data indicate Azimuth and Elevation and are based on above radio horizon

Local Time
05 2018 Wed Sep 26 11:42:05 2018

Rev. History
RESET Settings and EXIT
EXIT

TRACK noise sources | Culminations | Next 24h PSR visibility | Next 24h PSR tracking
CALCULATE Noise Y-Factor | 1 Month PSR visibility | 1 Month PSR tracking

List of first 60 detectable PULSARS based on ATNF Pulsar catalogue Catalogue Version 1.56

Minimum S/N > 10
S/N >10 suggested for reliable results

Above horizon

B0329+54
B0950+08
B1133+16
B2021+51
B0355+54
B2111+46
B0835-41
B0740-28
B0450+55
B0823+26

Show all PSR List
PLAN Observation

Right Ascension (J2000)	53.25	deg
Declination (J2000)	54.58	deg
Width of pulse at 50% of peak	6.6	msec.
Barycentric period	0.71452	sec.
Dispersion measure	26.76	cm^-3 pc
Flow 400Mhz	1500.0	mJy
Flow 1,400Mhz	203.0	mJy
Max. int. BW (node-dispersion)	34	Mhz
Calculated S/N	280.05	
Azimuth	323.30	deg
Elevation	24.33	deg

Select object to track

Tracking Azimuth *deg*
Tracking Elevation *deg*

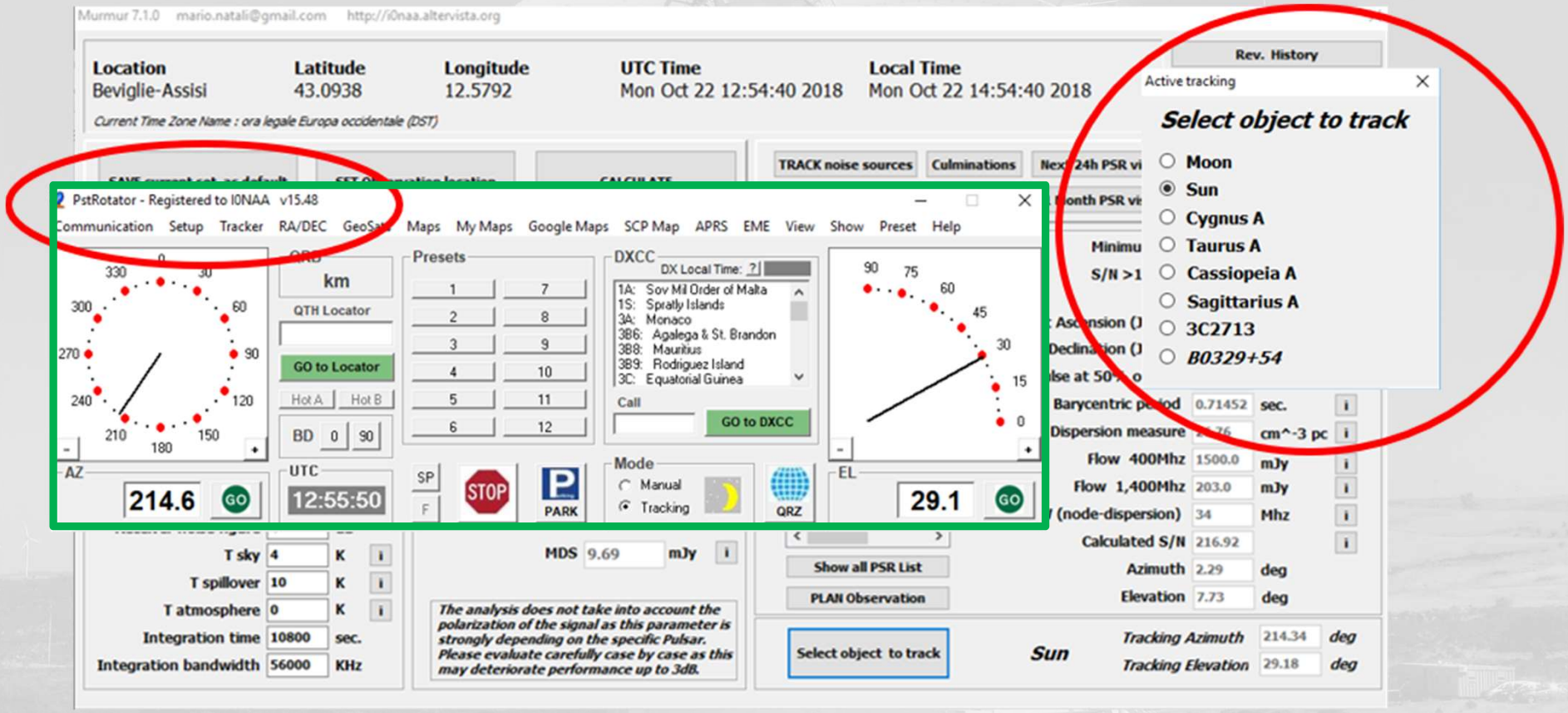
Integration time 18000 sec.
Integration bandwidth 56000 KHz

The analysis does not take into account the polarization of the signal as this parameter is strongly depending on the specific Pulsar. Please evaluate carefully case by case as this may deteriorate performance up to 3dB.

MURMUR

Funzionamento con PstRotator

L'ultima funzione aggiunta e' quella che si attiva premendo il bottone "Select object to track" che consente a Murmur di lavorare congiuntamente al programmma PstRotator di Codrut Buta permettendo di pilotare direttamente quasi tutti i sistemi di puntamento in commercio e, quindi, consentendo di passare subito alla fase di ricezione .



MURMUR
Riferimenti

[1] Manchester, R. N., Taylor, J. H. (1977). *pulsars.* San Francisco: Freeman.

[2] Kraus, J. D. (2004). *Radio astronomy: 2nd edition.* Durham: Cygnus-Quasar Books.

[3] Lorimer, D. R., Kramer, M. (2012). *Handbook of pulsar astronomy*. Cambridge: University Press.

[4] Taylor , J. H. *http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/EME_2010_Hbk.pdf*

[5] Tempo program *http://tempo.sourceforge.net*

[6] Ransom, S. *http://www.cv.nrao.edu/~sransom/presto* PRESTO suite of programs

[7] Olney, S. *http://neutronstar.joataman.net*

[8] Dell'Immagine, A. *http://iw5bhy.altervista.org/*

[9] Pellegrini, N. *http://i1ndp.altervista.org/*

[10] Fashing, H. *https://www.qsl.net/oe5jfl/pulsar/pulsar.htm*

[11] Natali, M.A. *http://i0naa.altervista.org/*

[12] Buda, C.G. *https://www.qsl.net/yo3dmu/index_Page346.htm*

[13] ATNF: *https://www.atnf.csiro.au/* Australian Telescope National Facility

GRAZIE !