

CAPITOLO 3

PULSAR SURVEY

L'osservazione di sorgenti deboli come le pulsar richiede, oltre che strumentazioni sempre più adeguate, soprattutto tecniche osservative sempre più raffinate, perché è proprio grazie a queste che si realizza la possibilità di rilevare o meno questo tipo di oggetti. I parametri principali che contraddistinguono una pulsar, che sono i valori con i quali deve cimentarsi un ricercatore, sono una densità di flusso compresa (per osservazioni condotte a 400 MHz) nell'intervallo che va da qualche decimo di mJy a qualche Jy , una misura di dispersione che varia da pochi $\text{cm}^{-3} \cdot pc$ fino a centinaia di $\text{cm}^{-3} \cdot pc$, e periodi di rotazione che variano da qualche millisecondo fino ad arrivare ad alcuni secondi. Essendo le pulsar delle radiosorgenti la cui caratteristica è quella di emettere radiazione in modo pulsato, è sulla ricerca della periodicità di questa emissione che sono basate le strategie d'osservazione. Una *survey* che vuole rilevare nuove pulsar comunque deve fare i conti sia con quei fenomeni che riducono o disturbano la possibile ricezione di un segnale, sia con il fatto che non si conoscono a priori grandezze come le coordinate, il periodo, la misura di dispersione, larghezza dell'impulso dell'oggetto ecc. che si vuole osservare, per cui quanto maggiori sono le possibili combinazioni di valori di P , DM , W ecc. che in una data *survey* si possono utilizzare tanto maggiori saranno le probabilità di osservare nuovi oggetti. Come sappiamo la radiazione emessa da una pulsar, come ampiamente già dimostrato, passando attraverso il mezzo interstellare parzialmente ionizzato, è soggetta a dispersione, per diminuirne tale effetto, normalmente le osservazioni impiegano un *filter bank* o un *autocorrelatore* per rilevare il segnale in piccole bande, o canali, di frequenza. Dopo aver studiato i ritardi dei segnali nei filtri di frequenza, questi verranno applicati ad ogni canale per allineare gli impulsi prima di sommarli.

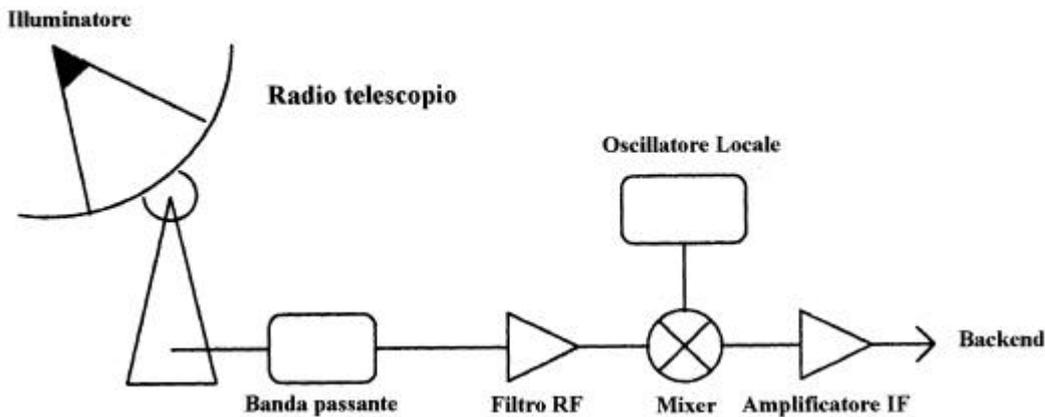


Figura 1
diagramma
schematico
d'apparato
ricevente

La Figura 1
mostra, in
modo
schematico,
come viene
rilevato da un

apparato ricevente il segnale emesso da radiosorgenti, appunto come le pulsar. La radiazione incidente, che colpisce l'antenna (specchio), viene riflessa verso il *feed* (illuminatore), il quale è collegato via cavo con il ricevitore vero e proprio. Essendo le osservazioni effettuate ad una determinata frequenza, è necessario che il ricevitore sia selettivo, cioè permetta di rivelare solo il segnale compreso in una certa banda Δn (lo spettro di una sorgente di radiazione copre, infatti, un ampio intervallo di frequenze) chiamata banda passante¹; in pratica se n_0 è la frequenza d'osservazione il ricevitore permetterà di rivelare solo i segnali compresi nell'intervallo $[n_0 - \Delta n; n_0 + \Delta n]$. La frequenza del segnale è ridotta mediante un miscelatore ad un valore più basso n_{IF} ². Si procede ad una diminuzione della frequenza perché le perdite di segnale sono proporzionali alla radice quadrata della frequenza; procedendo in questo modo queste si riducono di un fattore dell'ordine $\sqrt{n_0/n_{IF}}$. Per abbassare la frequenza fino al valore di n_{IF} si utilizza l'apparato denominato oscillatore locale che produce un segnale di frequenza n_{LO} non molto differente dal valore di n_0 ($n_{IF} = n_0 - n_{LO}$). Il procedimento appena descritto per l'acquisizione del segnale non cambia i parametri essenziali del segnale; quindi il contenuto delle informazioni trasportate dalla radiazione non viene alterato. Il segnale sarà poi amplificato per essere analizzato dall'apparato elettronico (*Backend*). A questo punto il segnale deve essere de-disperso, la dispersione interstellare provoca un allargamento del profilo dell'impulso che limita la risoluzione

¹ A dispetto del fatto che le pulsar emettono radiazione su una larga banda di frequenza una adeguata risoluzione in frequenza è necessaria per rivelarle, questo a causa del fatto che il segnale è disperso nella propagazione attraverso il mezzo interstellare.

² IF sta ad indicare media frequenza (Intermediate Frequency)

temporale, specialmente a basse frequenze. Per ridurre quest'effetto si procede dividendo il segnale dentro un numero variabile di canali, o filtri, la cui larghezza di banda è molto piccola, per poi risommare i vari segnali con gli appropriati ritardi. Per mettere in atto questo procedimento si utilizza o un " *filter-bank* " oppure un " *autocorrelatore* ". Il *filter-bank* è costituito da un numero variabile, di norma da 32 a 128, di filtri ugualmente spazati attorno alla frequenza n_{IF} ; il segnale attraversando questi filtri è parzialmente de-disperso; infatti, se la larghezza di banda Δn è suddivisa in n canali, l'allargamento dovuto alla dispersione diventa $1/n$ di quella che si avrebbe nel caso non si procedesse a suddividere il segnale dentro questi canali. L'*autocorrelatore*, anch'esso costituito da un numero n di canali, si basa sull'applicazione del teorema di *Wiener - Khinchin* il quale dice che la funzione di autocorrelazione è in relazione con lo spettro di potenza della trasformata di Fourier. In questo modo una volta misurata la funzione di autocorrelazione di una sequenza di dati, a questa può applicarsi una trasformata di Fourier, ed ottenere le informazioni sul segnale (in pratica si può dire che nell'autocorrelatore la dispersione è rimossa moltiplicando il segnale per una versione ritardata di se stesso e poi il risultato mediato sul tempo).

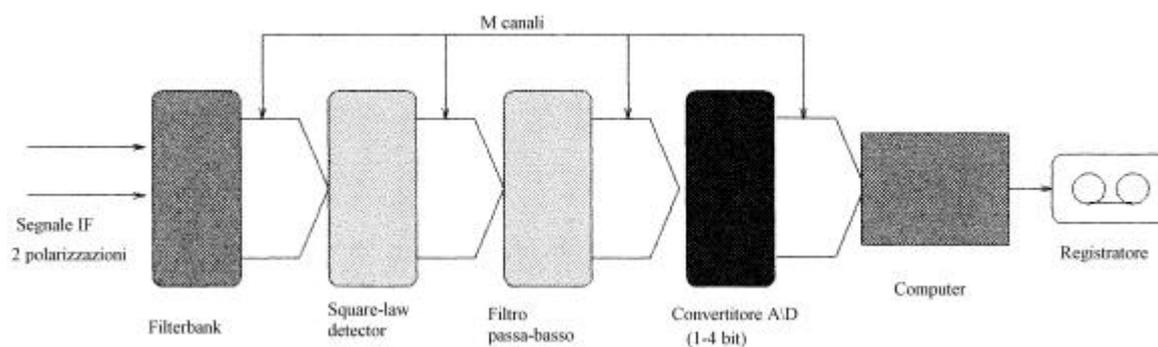


Figura 2 diagramma semplificato di un tipico filter bank utilizzato nelle ricerche di pulsar

Per correggere efficacemente gli effetti della dispersione, inoltre, c'è bisogno di una conoscenza precisa della misura di dispersione dell'oggetto che si vuole osservare. Naturalmente la conoscenza a priori di questa grandezza non è possibile; per questo motivo le ricerche utilizzano valori di DM arbitrari che variano dentro un certo intervallo, da un valore minimo ad un valore massimo, secondo il tipo d'osservazione che si vuole effettuare, e tali valori saranno poi applicati ai dati da de-disperdere. La correzione dell'effetto della dispersione non sarà mai precisa poiché i valori di DM che

si possono utilizzare variano in modo discreto e non continuo; a causa di ciò sarà allora difficile l'individuazione esatta della misura di dispersione di uno specificato oggetto. Una volta eseguita la de-dispersione, saranno applicate le trasformate di Fourier ai dati così ottenuti in modo da poter analizzare le informazioni trasportate dal segnale. Un segnale impulsivo, come quello emesso dalle pulsar, può essere approssimato da una serie di Fourier; infatti, se $f(t)$ è l'espressione dell'impulso come funzione del tempo, dove $0 \leq t \leq P$, allora (Nice et al. 1995)

$$f(t) = \frac{1}{n_{ar}} \left[\frac{1}{2} S_0 + \sum_{j=1}^{n_{ar}} S_j e^{i \left(\frac{2\pi j t}{P} \right)} \right] \quad 3.1$$

dove n_{ar} è il numero di armoniche, ed S è l'ampiezza dell'armonica. Generalmente le ricerche tendono sempre, quando è possibile, a sommare il maggior numero di armoniche perché in questo modo è più semplice distinguere il segnale dal rumore (un segnale molto stretto, come quello emesso dalle pulsar, contiene un elevato numero di armoniche; se per esempio all'armonica fondamentale sommiamo la seconda avremo come risultato un'armonica quasi doppia di quella fondamentale; d'altro canto con questo procedimento il rumore aumenta solo di un fattore di $2^{1/2}$, con un guadagno netto sul rapporto segnale rumore).

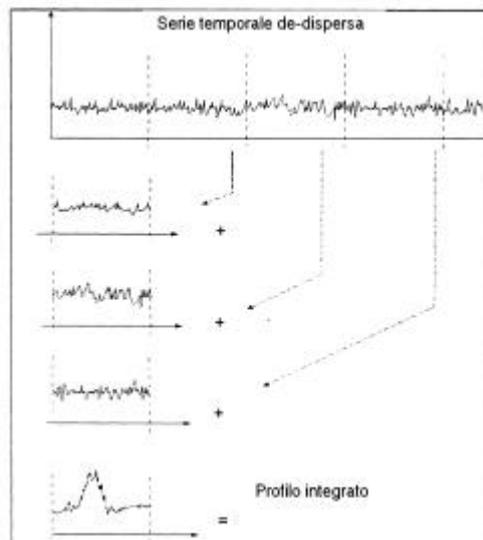


Figura 3 Procedura di folding

Come ultima cosa si procede ad ottenere il profilo integrato degli impulsi. Per fare questo si effettua la procedura del *folding* : intervalli consecutivi della serie temporale, di lunghezza pari al periodo trovato tramite la trasformata di Fourier, vengono sommati in modo consecutivo; si ottiene così che il rumore si minimizzi, mentre il segnale si eleva. Il procedimento appena menzionato può sembrare semplice a prima vista ma richiede l'utilizzo di computer sempre più potenti, e con grande capacità di memorizzazione di dati, in modo da poter effettuare le analisi di calcolo nel minor tempo possibile. Calcoliamo, a titolo esemplificativo, la quantità di dati che raccoglie una osservazione. La nostra ipotetica ricerca osserverà una data porzione di cielo per una certa durata (in genere questa si aggira intorno a qualche minuto) e campionerà il segnale ad un ritmo di qualche millisecondo o meno, si avrà in tal modo un set di valori che possono variare da 2^{17} a 2^{20} , e anche più, (questo numero si trova dividendo il tempo di integrazione per il tempo di campionamento); come descritto in precedenza il segnale attraversa un insieme di canali, per cui possiamo dire che se N è il numero di valori ed M il numero di canali la quantità di dati da ridurre sarebbe:

$$N_{analizzare} = N \times M \quad (3.2)$$

ognuno di questi valori deve essere de-disperso; quindi ad ognuno di questi deve essere applicato l'insieme dei valori delle DM che la nostra ricerca utilizza ottenendo così che il numero di operazioni diventi:

$$N_{operazioni} = N_{DM} \times N \times M \quad (3.3)$$

inoltre ad ognuno di questi valori deve essere applicata una trasformata di Fourier e così via. E' evidente allora come l'evoluzione tecnologica degli ultimi anni abbia permesso la scoperta di un numero sempre più alto di pulsar.

3.1 Pulsar survey storiche

Per convenzione si usa denominare come *survey* storiche quelle ricerche che si sono effettuate nel periodo di tempo che è intercorso dalla scoperta della prima pulsar a quello della prima *millisecond* pulsar. Tali scoperte sono state significative soprattutto perché hanno permesso studi statistici sulla popolazione di questi oggetti, sulla loro evoluzione, sul ritmo di nascita ecc. In genere le ricerche non sono state mai molto sensibili a quelle pulsar aventi periodo di rotazione inferiore a 0.1 secondi; le cause di

ciò si possono ricercare soprattutto nelle tecniche osservative, che utilizzavano tempi di campionamento molto elevato a volte anche di decine di millisecondi. Queste ricerche in ogni modo hanno fornito la base di partenza sui metodi di osservazione di queste stelle molto al di fuori dell'ordinario ed hanno permesso di rilevare un numero sempre maggiore di questi oggetti. Le maggiori pulsar *survey* appartenenti a questo gruppo sono:

I. *Molonglo I*

Tra le prime pulsar *survey* vi è quella effettuata con il radio telescopio di Molonglo (*Molonglo Radio Observatory*) condotta ad una frequenza di 408 MHz ed avente una larghezza di banda di 4 MHz. Tale ricerca ha ispezionato buona parte del cielo sud ed in particolare le zone con $220^\circ < l < 40^\circ$ e $|b| < 10^\circ$. Le osservazioni hanno prodotto come risultato la scoperta di 31 nuove pulsar tutte con periodo superiore ai 100 ms, ma la ricerca è stata poco sensibile a pulsar di corto periodo. Si è divisa la banda di 4 MHz o in due canali di larghezza di 2 MHz o in venti canali ognuno di 200 KHz per rimuovere gli effetti prodotti dalla dispersione ; il tempo di integrazione è stato di circa 8 secondi; la sensibilità della ricerca è stata di circa 80 mJy. La bassa frequenza per l'osservazione del piano galattico ha influenzato molto la sensibilità della ricerca condizionando l'intervallo di periodi delle pulsar che potevano essere ispezionati (gli effetti di selezione sono stati molto forti). Il cielo sud è stato osservato per rilevare oggetti aventi *dispersion measure* fino a $400\text{cm}^{-3}\text{pc}$ e periodi maggiori di 0.1 secondi.

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Nuove pulsar | 31 |
| n | 408 MHz |
| Δn | 4 MHz |
| dn | 200 KHz, 2 MHz |
| dt _{sample} | 45 ms |
| Δt | 8 secondi |
| Sensibilità | 80 mJy |
| | $220^\circ < l < 40^\circ$ |
| | $ b < 10^\circ$ |

Tabella I Parametri principale della ricerca di Molonglo (Molonglo I)

Referenze

Large M. I., Vaughan A. E. 1971, *MNRAS*, 151, 277.
Vaughan A.E., Large M. I. 1972, *MNRAS*, 156, 25.
Vaughan A.E., Large M. I., 1970, *Nature*, 225, 167.

II. Jodrell Bank I

Le ricerche sono state effettuate con il radio telescopio di 76 metri di *Jodrell Bank* usando una frequenza di 408 *MHz*, ed una larghezza di banda di 4 *MHz*. La porzione di cielo osservata è stata quella con $8^\circ < l < 115^\circ$ e $|b| < 7^\circ$, osservazioni dirette quindi soprattutto verso il piano galattico. Per la rilevazione dei segnali si sono utilizzati tempi di campionamento di circa 40 millisecondi e tempi d'integrazione di circa 11 minuti. Inoltre per calcolare la *dispersion measure* e quindi per minimizzare l'allargamento indotto dalla dispersione sono state effettuate osservazioni simultanee in due canali di larghezza 1 *MHz* centrati a 406 e 408 *MHz* per poi procedere alla misurazione della differenza d'arrivo del segnale a queste due frequenze. Il minimo flusso rilevato dalla ricerca è stato abbastanza alto e si è aggirato sempre su valori maggiori di 10 mJy per osservazioni effettuate lontano dal piano galattico. La ricerca poi è stata condizionata dagli effetti di selezione che hanno permesso di ispezionare solo segnali aventi periodicità compresa nell'intervallo di $0.15 \text{ sec} < P < 4 \text{ sec}$. Sono state rilevate 39 nuove pulsar.

| |
|---|
| Nuove pulsar 40 |
| n 408 <i>MHz</i> |
| Δn 4 <i>MHz</i> |
| dn 1 <i>MHz</i> |
| dt_{sample} 40 ms |
| Δt 11 minuti |
| Sensibilità > 10 mJy |
| $-8^\circ < l < 115^\circ$ |
| $ b < 7^\circ$ |

Tabella II Parametri principali della ricerca di Jodrell Bank (Jodrell Bank I).

Referenze

Davies J. G., Lyne A. G., Seiradakis J.H., 1977, *MNRAS*, 179, 635.
Lyne A. G., Manchester R. N., Taylor J. H., 1985, *MNRAS*, 213, 579.
Narayan R., 1987, *ApJ*, 319, 162.

III. U-Mass Arecibo (Arecibo 1)

La ricerca condotta con il Radio telescopio di Arecibo (305 metri) è stata circa 10 volte più sensibile delle precedenti *survey*. Si sono utilizzate frequenze di 430 MHz, ed una larghezza di banda di 8 MHz. Per diminuire gli effetti della dispersione si è divisa la banda in 32 canali della larghezza di 250 KHz. Il tempo di campionamento è variato a seconda gli intervalli di *DM* analizzati, 64 differenti valori, 32 hanno coperto l'intervallo $0 \leq DM \leq 620 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{pc}$, e 32 quello $0 \leq DM \leq 1240 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{pc}$, passando da 16.7 millisecondi per il primo set a 33.3 millisecondi per il secondo. L'intervallo di periodi che è stato possibile rilevare è compreso tra $33\text{ms} < P < 3.9\text{sec}$ ed ha migliorato di molto i valori raggiunti dalle *survey* precedenti. I risultati della ricerca sono stati utili sia per lo studio statistico della popolazione delle pulsar sia per un'analisi della struttura galattica. L'area di cielo coperta dalle osservazioni è stata quella delle regioni del piano galattico con longitudine e latitudine compresa tra $35^\circ < l < 75^\circ$ e $|b| < 5^\circ$. Le tecniche osservative hanno permesso di raggiungere limiti di sensibilità elevatissimi: il flusso minimo rilevato dalla ricerca è stato infatti di 1.5 mJy, molto migliore di quello delle *survey* precedenti. Sono state osservate 40 nuove pulsar.

| |
|--|
| Nuove pulsar 40 |
| n 430 MHz |
| Δn 8 MHz |
| dn 250 KHz |
| dt_{sample} 16.7 ms 33.3 ms |
| Δt 3.3 minuti |
| Sensibilità ≈ 1.5 mJy |
| $35^\circ < l < 75^\circ$ |
| $ b < 5^\circ$ |

Tabella III Parametri principali della ricerca effettuata ad Arecibo (U-Mass).

Referenze

- Hulse R. A., Taylor J. H., 1974, *ApJ*, 191, L59.
Hulse R. A., Taylor J. H., 1975, *ApJ*, 195, L51.
Lyne A. G., Manchester R. N., Taylor J. H., 1985, *MNRAS*, 213, 579.
Narayan R., 1987, *ApJ*, 319, 162.

IV. Molonglo 2

Le prime pulsar *survey* che sono state effettuate (a partire dal 1967) hanno scoperto nel corso delle loro ricerche un totale di 149 pulsar; il ciclo di osservazioni condotte nella *Second Molonglo Pulsar Survey* ha rilevato 155 nuovi oggetti raddoppiando, di fatto, il numero di quelli conosciuti fino ad allora. Il *Molonglo* radio osservatorio ha utilizzato una frequenza di 408 MHz, ed una larghezza di banda di 4 MHz divisa in canali di 0.8 MHz ciascuno. La *survey* ha coperto con le osservazioni il cielo compreso tra le declinazioni $-85^\circ < d < 20^\circ$ (di fatto tutto il cielo sud di declinazione $+20^\circ$). Il tempo di campionamento è stato di circa 20 millisecondi e l'intervallo di periodi, che l'esperimento ha potuto osservare, è variato tra $0.04 \text{ sec} < P < 2.4 \text{ sec}$: al di fuori di questo intervallo la sensibilità della ricerca si è ridotta sensibilmente, rendendo difficile e quasi impossibile la rilevazione di pulsar. La ricerca è stata circa sei volte più sensibile della prima *Molonglo Pulsar Survey* che ha osservato approssimativamente la stessa area di cielo. Il suo valore è stato di circa 15 mJy; questa aumentata sensibilità è da ascrivere a diversi fattori quali per esempio il maggior tempo di osservazione (che si è aggirato intorno ai 48 secondi), l'utilizzo di 8 adiacenti *beam* (che hanno permesso di aumentare il tempo di osservazione), all'impiego di 88 preamplificatori (costruiti ed installati vicino al *feed* dell'antenna che costituisce il braccio est-ovest del radio telescopio, che riducendo il rumore di sistema hanno migliorato la sensibilità di un fattore 2.5) e l'uso di computer nella ricerca delle periodicità, della dispersione e della larghezza dell'impulso. La *survey* è stata abbastanza sensibile per pulsar con misura di dispersione fino a $500 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$.

Nuove pulsar 155

n 408 MHz

Δn 4 MHz

dn 0.8 MHz

***dt*_{sample}** 20 ms

Δt 48 secondi

Sensibilità $\approx 15 \text{ mJy}$

$-85^\circ < l < 20^\circ$

$|b| < 18^\circ \quad |b| > 18^\circ$

Tabella IV Parametri principali della Survey Molonglo 2

Referenze

Lyne A. G., 1977, *PASAu*, 3, 118.
Lyne A. G., Manchester R. N., Taylor J. H., 1985, *MNRAS*, 213, 579.
Manchester R. N., Lyne A. G., Taylor J. H., Durdin J. M., Large M. I., Little A. G., 1978, *MNRAS*, 185, 409.
Narayan R., 1987, *ApJ*, 319, 162.

V. U-Mass NRAO (Green Bank 1)

Le osservazioni, che hanno riguardato una zona di cielo con $d > 20^\circ$, costituiscono una naturale congiunzione con la ricerca condotta a *Molonglo (Molonglo 2)*, insieme esse hanno prodotto un campione apprezzabile di pulsar per analisi statistiche. E' stato utilizzato il radio telescopio di *Green Bank* ad una frequenza di 400 MHz. La rilevazione dei segnali è stata effettuata dividendo la banda di 16 MHz in 8 contigui canali ciascuno della larghezza di 2 MHz. La durata delle osservazioni è stata di circa 2.4 minuti mentre il tempo di campionamento di 16.7 millisecondi. Sono stati investigati in maniera accurata solo oggetti il cui periodo di rotazione cadeva nell'intervallo $0.33\text{sec} < P < 3.9\text{sec}$ al di fuori del quale i risultati erano poco attendibili. L'analisi sistematica del cielo nord ha portato alla scoperta di 23 nuovi oggetti. La sensibilità della ricerca è stata di circa 10 mJy.

| |
|-------------------------------------|
| Nuove Pulsar 23 |
| n 400 MHz |
| Δn 16 MHz |
| dn 2 MHz |
| dt _{sample} 16.7 ms |
| Δt 2.3 minuti |
| Sensibilità < 10 mJy |
| d < 20° |

Tabella V Valori di alcune grandezze della ricerca U-Mass NRAO.

Referenze

Damashek M., Backus P. R., Taylor J. H., Burkhardt R. K., 1982, *ApJ*, 253, L57.
Damashek M., Taylor J. H., Hulse R. A., 1978, *ApJ*, 225, L31.
Lyne A. G., Manchester R. N., Taylor J. H., 1985, *MNRAS*, 213, 579.
Narayan R., 1987, *ApJ*, 319, 162.

VI. Princeton NRAO (Green Bank 2)

Le ricerche compiute con il radio telescopio di *Green Bank* usando una frequenza di 390 *MHz* hanno portato alla scoperta di 34 nuove pulsar. La sensibilità minima raggiunta dalla *survey* è stata di circa 2 mJy, ma è andata peggiorando piuttosto rapidamente per osservazioni di pulsar con periodo di rotazione inferiore a qualche decina di millisecondi. Come per le altre ricerche si è divisa la banda di osservazione della larghezza di 16 *MHz* in 8 contigui canali ognuno di larghezza 2 *MHz* in modo tale da poter rimuovere gli effetti della dispersione. Lo scopo della ricerca è stato quello di rilevare il maggior numero di pulsar con bassa luminosità in modo da poter migliorare gli studi statistici riguardanti la funzione di luminosità di questi oggetti, e di migliorare la conoscenza dei processi che stanno alla base della evoluzione delle pulsar. Per questo motivo la ricerca è stata compresa in questo gruppo di *survey* pur essendo stata effettuata dopo la scoperta della prima pulsar con periodo di rotazione di qualche millisecondo. L'area di cielo esaminata è quella che si trova a declinazioni $d > -18^\circ$, ogni singola porzione di cielo è stata osservata per circa 2.3 minuti mentre il segnale è stato campionato a 16.7 millisecondi. sono stati ispezionati i segnali pulsati compresi nell'intervallo $0.033\text{sec} < P < 5\text{sec}$.

| | |
|----------------------|------------------|
| Nuove Pulsar | 34 |
| n | 390 <i>MHz</i> |
| Δn | 16 <i>MHz</i> |
| dn | 2 <i>MHz</i> |
| dt_{sample} | 16.7 ms |
| Δt | 2.3 minuti |
| Sensibilità | 2 mJy |
| d | $\geq -18^\circ$ |

Tabella VI Parametri osservativi della ricerca effettuata a Green Bank.

Referenze

Dewey J. R., Taylor J. H., Weisberg J. M., Stokes G. H., 1985, *ApJ*, 294, L25.

3.1.1 Discussioni

I problemi maggiori, cui sono dovute andare incontro le ricerche che abbiamo analizzato, sono stati i forti effetti di selezione di cui hanno sofferto in modo elevato e

che hanno ridotto la sensibilità dell'esperimento per pulsar di corto periodo. Analizzando l'intero campione di pulsar scoperte che conta un numero poco superiore a 300, si evidenzia un deficit di oggetti con periodo inferiore ai 0.2 secondi (Figura 4) dovuto in particolare agli effetti della dispersione e dello *scattering* interstellare, che hanno colpito in modo marcato tutte le ricerche.

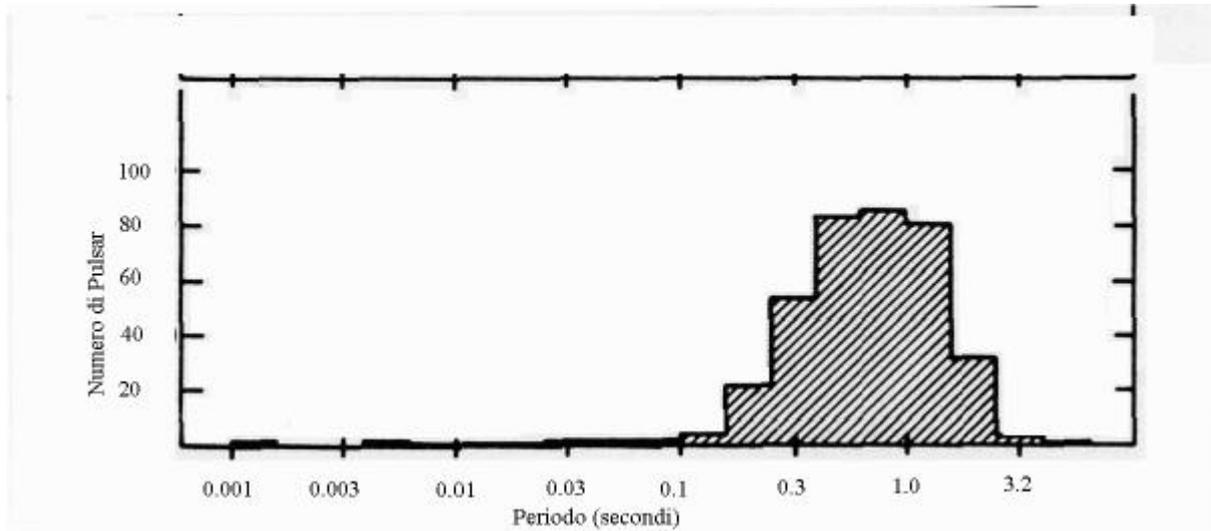


Figura 4 Distribuzione del periodo delle pulsar (da ApJ, 1985, 294, L95)

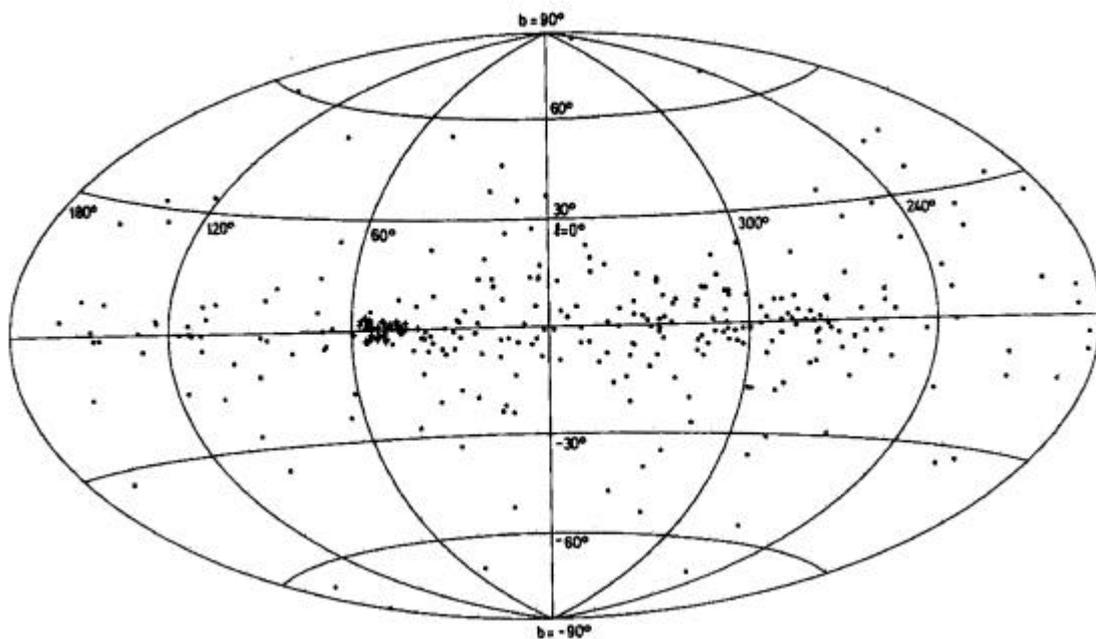


Figura 5 Distribuzione in coordinate galattiche delle 316 pulsars osservate nelle *survey* effettuate a Jodrell Bank (Jodrell Bank 1), Molonglo (Molonglo 2), U-Mass NRAO (Green Bank 1), U-Mass Arecibo (Arecibo 1).

La causa principale dell'elevata influenza dello *scattering* interstellare e della dispersione è da ricercare soprattutto nelle modalità di osservazione delle ricerche. Tutte, infatti, sono state compiute a basse frequenze, intorno ai 400 MHz, per esplorare la parte dello spettro delle pulsar dove maggiore è la densità di flusso (il flusso di queste radiosorgenti può essere espresso dalla relazione seguente $S(\mathbf{n}) \propto \mathbf{n}^{-a}$ con l'indice a compreso approssimativamente tra 1 e 3), ed osservando zone vicino al centro galattico (come si può osservare dalla Figura 4) dove la concentrazione di gas interstellare è così elevata da produrre un allargamento dell'impulso da 10 a 100 volte (si vedano le formule relative allo *scattering* e alla dispersione). Un altro problema da considerare è anche il tempo di campionamento usato dalle osservazioni che è stato sempre abbastanza lungo e non ha permesso di analizzare periodi inferiori a qualche decimo di secondo.

In ultima analisi possiamo affermare che queste ricerche hanno contribuito molto allo studio e alla conoscenza: 1) della funzione di luminosità, le osservazioni hanno evidenziato come la funzione di luminosità possa essere approssimabile con una legge di potenza di questo genere $\Phi(L) \propto L^{-1}$ su almeno 4 ordini di grandezza da $L(\mathbf{n})_{400\text{MHz}} \approx 3\text{mJy} \cdot \text{kpc}^2$ a $L(\mathbf{n})_{400\text{MHz}} \approx 2 \cdot 10^4 \text{mJy} \cdot \text{kpc}^2$, e quindi che la popolazione galattica è dominata da intrinsecamente deboli pulsar (vedi Figura 6) (Lyne et al. 1985); 2) allo studio statistico della popolazione galattica, dalle analisi condotte sulla distribuzione di pulsar in funzione del raggio galattico si evidenzia una maggiore concentrazione di oggetti a distanze di 4-6 kpc dal centro della galassia (vedi Figura 7) con una rapida diminuzione di oggetti per $R > 7 \text{kpc}$, anche se per valori inferiori a 5 kpc la distribuzione è mal determinata (questo è probabilmente da attribuire all'aumento degli effetti dello *scattering* e della dispersione nelle parti più interne della galassia), si conclude che approssimativamente nella galassia vi sono 70000 pulsar osservabili, 3) alla conoscenza del ritmo di nascita di questi oggetti, che dal campione osservato risulta essere di una pulsar ogni 30 ÷ 120 anni in soddisfacente accordo sia con il ritmo di formazione delle *supernovae*, sia con quello di 'morte' delle stelle di grande massa che sono generalmente pensate essere i progenitori delle stelle di neutroni (Lyne et al. 1985). Ma hanno lasciato senza risposta alcune domande riguardanti per esempio

l'evoluzione di questi oggetti, i fenomeni fisici che sono alla base della loro emissione ecc.

In pratica la conoscenza teorica si è approfondita solo con le ricerche che sono state effettuate negli anni seguenti, e con le nuove scoperte che esse hanno realizzato.

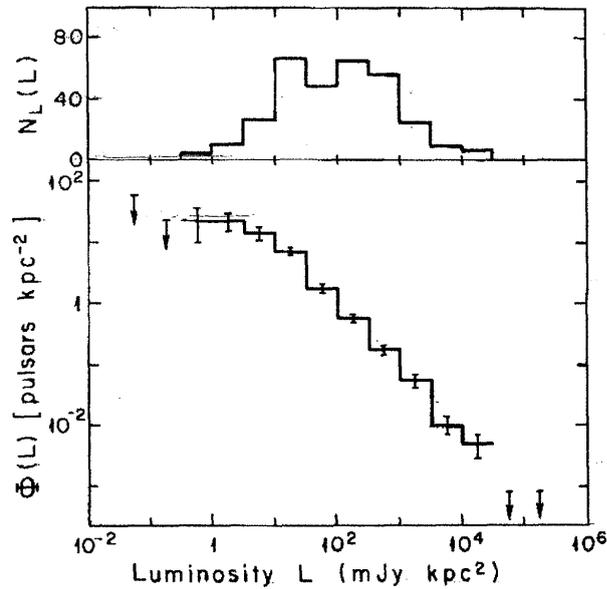
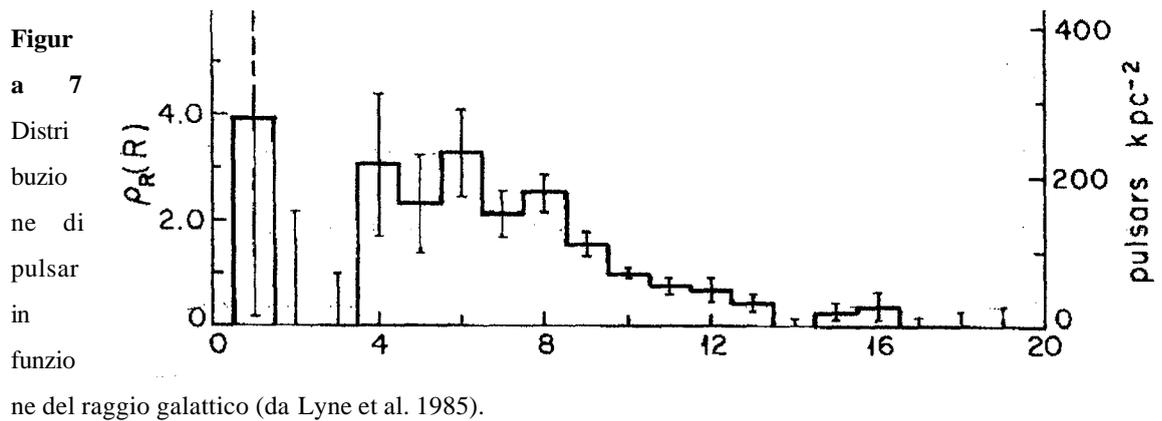


Figura 6 distribuzione del campione di pulsar osservate dalle survey storiche rispetto alla radio luminosità sopra, e funzione di luminosità sotto (da Lyne et al. 1985).



La figura 8 mostra la variazione della sensibilità delle varie ricerche in funzione del periodo. Come si può notare esse sono state poco sensibili per valori inferiori ai 200

millisecondi. Pur essendo molto più sensibili a pulsar con periodo superiore ai 0.5 secondi esse hanno raggiunto valori di S_{\min} abbastanza elevati se confrontati con quelli delle ricerche successive (come si vedrà in maniera più accurata nei paragrafi seguenti i valori di S_{\min} di queste ricerche, per periodi di rotazione lunghi, è andato al di sotto dei 2 mJy).

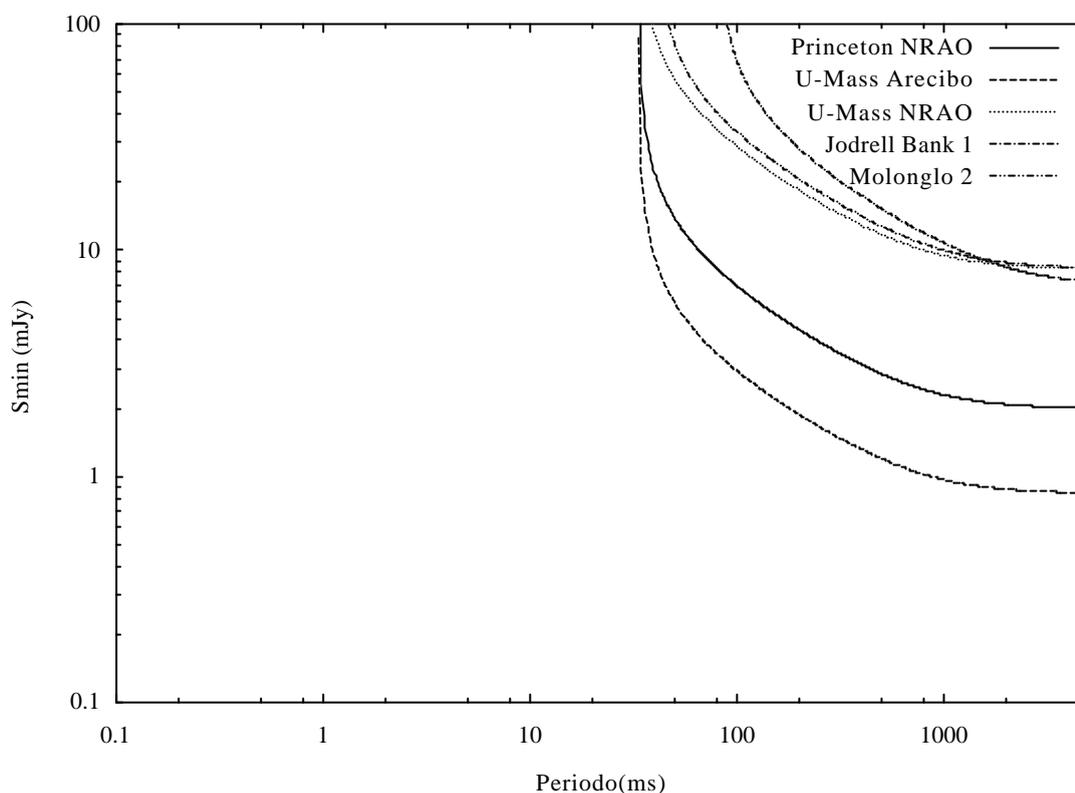


Figura 8 La figura mostra la variazione della sensibilità in funzione del periodo delle varie ricerche analizzate (si è adottato come valore della *dispersion measure* quello di $64\text{cm}^{-3}\text{pc}$).

3.2 *Moderne millisecond pulsar survey*

Per convenzione si suole denominare come moderne *millisecond pulsar survey* quelle ricerche che sono state compiute nel decennio successivo alla scoperta della prima *millisecond pulsar*. La scoperta di questo primo oggetto, denominato PSR 1937+21, avvenuta ad opera di Backer nel 1982, ha cambiato i criteri di osservazione ed ha fornito nuove conoscenze sulla evoluzione delle stelle di neutroni. Fino a quel momento le ricerche erano state orientate alla rilevazione del maggior numero d'oggetti, in modo da produrre un campione accettabile di oggetti per studi statistici. Da questo momento in poi quelle porzioni di cielo che erano state osservate per la rilevazione di oggetti di

lungo periodo, le ricerche storiche utilizzando un tempo di campionamento medio-lungo (>10 millisecondi) sono state poco sensibili a pulsar di corto periodo ($P \leq 100ms$), vengono di nuovo esaminate ma con tecniche e strumenti tali da permettere di rilevare anche pulsar con periodo dell'ordine di millisecondi e di raggiungere nello stesso tempo limiti di sensibilità molto migliori di quello delle ricerche precedenti. I tempi di campionamento del segnale diminuiscono sensibilmente e la possibilità di poter impiegare computer molto potenti consente una analisi dei dati molto più accurata e semplice. Queste ricerche che hanno aumentato in modo sensibile il numero di pulsar conosciute hanno fornito ai teorici le prove della validità di alcuni modelli, tra i quali possiamo citare quello delle pulsar riciclate che come già precisato nei capitoli precedenti spiega la natura delle *millisecond pulsar*. Analizzeremo qui di seguito in dettaglio alcune delle osservazioni che appartengono a questo gruppo:

I. *Jodrell Bank B (Jodrell Bank 2)*

Le osservazioni sono state condotte con il radio telescopio di *Jodrell Bank* (telescopio Lovell) utilizzando la frequenza di $1400 MHz$. La ricerca è stata diretta verso le regioni del piano galattico che hanno longitudine e latitudine compresa tra i seguenti valori $-4^\circ < l < 105^\circ$ e $|b| < 1^\circ$. Questo esperimento è stato compiuto con lo scopo di rilevare soprattutto oggetti molto giovani simili alla *Crab* e *Vela* pulsar ed è stato organizzato in modo da superare quegli effetti che hanno impedito la rilevazione di questo tipo di stelle alle precedenti ricerche. Il tempo di campionamento del segnale è stato di circa due millisecondi, valore che nominalmente ha dato la possibilità di rilevare pulsar con periodo dell'ordine dei millisecondi ($P > 0.004sec.$) e con grande misura di dispersione ($DM \geq 35000 P cm^{-3} pc$), mentre il tempo di integrazione si è aggirato intorno ai nove minuti. La sensibilità è stata molto buona e si è aggirata sul valore di $1 mJy$, questo per pulsar aventi *duty cycle* del 4% . La banda di $40 MHz$ è stata suddivisa in 8 canali contigui, ognuno della larghezza di $5 MHz$; il segnale è stato ricevuto nei due sensi di polarizzazione circolare. Le osservazioni non hanno rilevato nessuna *millisecond pulsar*³, ma invece oggetti con età caratteristica di circa ventimila anni, cioè molto giovani. Sono state scoperte 40 nuove pulsar. Essendo la ricerca stata indirizzata verso le regioni più interne della galassia lo *scattering* ha inibito la possibilità di poter rilevare

un numero maggiore d'oggetti (la ricerca comunque è stata migliore di quelle condotte a 400 MHz che come visto nei capitoli precedenti sono maggiormente influenzate da questo fenomeno).

| |
|---------------------------------------|
| Nuove Pulsar 40 |
| n 1400 MHz |
| Δn 40 MHz |
| dn 5 MHz |
| dt_{sample} 2 ms |
| Δt 9 minuti |
| Sensibilità \approx 1 mJy |
| $-4^\circ < l < 105^\circ$ |
| $ b < 1^\circ$ |

Tabella VII Parametri osservativi di Jodrell Bank B.

Referenze

Clifton T. R., Lyne A. G., 1986, *Nature*, 320, 43.

Lyne A. G., Graham-Smith F., 1990, 'Pulsar Astronomy', Cambridge University Press.

II. Jodrell Bank C

Le osservazioni sono state effettuate con il radiotelescopio *Lovell* di 76 metri a *Jodrell Bank* e sono state indirizzate verso il piano galattico. La ricerca è stata condotta a tre frequenze differenti: 1420 MHz per scrutare zone vicino al centro galattico (quelle la cui latitudine e longitudine è compresa nell'intervallo $|b| < 1^\circ$ e $0^\circ < l < 60^\circ$); 928 MHz per osservare zone non molto interne della galassia (quelle la cui latitudine e longitudine è compresa nell'intervallo $1^\circ < |b| < 2^\circ$ e $0^\circ < l < 60^\circ$); 610 MHz per osservare zone più lontane dal centro galattico (quelle con latitudine $|b| > 2^\circ$). Il tempo di campionamento della *survey* è stato di circa 0.3 millisecondi ed ha consentito di ispezionare il campione di pulsar aventi periodo $P \gg 0.6$ millisecondi. La larghezza della banda è variata a seconda della frequenza utilizzata; a 1420 MHz è stata di 32 MHz, a 928 MHz è stata di 8 MHz, mentre a 610 MHz è risultata essere di 4 MHz. In tutti e tre i casi è stata suddivisa in 32 canali contigui che avevano la dimensione quindi rispettivamente di 1,

³ Una millisecond pulsar è definita come una pulsar con periodo più corto di 20 millisecondi (Bhattacharya D.&van de Heuvel E.P.J. 1991).

0.250, 0.125 MHz. Il tempo di integrazione, cioè il tempo di osservazione di un dato punto dello spazio, è stato di circa 79 secondi, mentre la sensibilità minima raggiunta è stata abbastanza alta, molti ordini in più di quella delle ricerche che appartengono a questo stesso gruppo di *survey*. Nessuna nuova pulsar è stata rilevata nel corso delle osservazioni.

| |
|---|
| Nuove Pulsar nessuna |
| n 1420 MHz, 928 MHz, 610 MHz |
| Δn 32 MHz, 8 MHz, 4 MHz |
| dn 1 MHz, 0.250 MHz, 0.125 MHz |
| dt_{sample} 0.3 ms |
| Δt 79 secondi |
| Sensibilità \approx 10 mJy |
| $0^\circ < l < 60^\circ$; $ b < 1^\circ$ a 1420 MHz |
| $ b > 2^\circ$ a 610 MHz |
| $1^\circ < b < 2^\circ$ a 928 MHz |

Tabella VIII Parametri di Jodrell Ban C

Referenze

Biggs J. D., Lyne A.G., 1992, *MNRAS*, 254, 257.

III. Molonglo survey (Molonglo 3)

La *survey* è stata condotta con il *Molonglo Observatory Synthesis Telescope (MOST)* alla frequenza di 843 MHz ed è stata diretta verso le regioni del disco galattico. Poiché lo scopo della ricerca era quello della rilevazione di *millisecond pulsar*, si sono utilizzati tempi di campionamento di circa 0.5 millisecondi, che nominalmente hanno permesso l'ispezione di oggetti con periodo maggiore di 1 millisecondo. Le osservazioni sono state condotte ad una frequenza abbastanza elevata che ha assicurato una riduzione degli effetti dovuti allo *scattering* ed alla dispersione. La banda di 3.2 MHz è stata suddivisa in 16 canali contigui della larghezza di 200 KHz. I limiti di sensibilità si sono aggirati intorno a 8 mJy per pulsar con periodo molto lungo e calcolato per *duty cycle* del 10 %. Se si facesse un paragone con la precedente *survey* condotta con lo stesso strumento, quella denominata *Molonglo 2*, si evidenzerebbe che, scalando la frequenza a 400 MHz per avere una perfetta biunivocità tra le due osservazioni (questo è stato fatto assumendo un indice spettrale di -1.5 nella relazione che collega la sensibilità alla

frequenza), per valori del periodo di rotazione elevati la *Molonglo 2* ha avuto un valore del flusso minimo discretamente inferiore a questa *survey*, mentre per valori di periodo molto breve il flusso minimo rilevabile della *Molonglo 2* aumenta in modo elevato non permettendo la rilevazione di nessun oggetto di questa classe. Tale fatto non si è verificato per la *Molonglo survey*, che mantendo pressoché costante lo stesso limite di sensibilità ha avuto la possibilità di cercare senza problemi questi oggetti. Le regioni che sono state osservate sono quelle che hanno intervalli di valori della latitudine e della longitudine $|b| = \pm 1^\circ$ e $225^\circ < l < 360^\circ$. La ricerca ha consentito la scoperta di una nuova pulsar di periodo pari a 106 millisecondi (quindi nessuna *millisecond pulsar*); confermando che per la osservazione di stelle di questo tipo c'è bisogno di ricerche più sensibili e che coprano un grande volume di cielo.

| |
|--|
| Nuove Pulsar 1 |
| n 843 MHz |
| Δn 3.2 MHz |
| dn 200 KHz |
| dt_{sample} 0.5 ms |
| Δt 132 secondi |
| Sensibilità \approx 8 mJy |
| $255^\circ < l < 360^\circ$ |
| $b = \pm 1^\circ$ |

Tabella III Parametri della Molonglo survey.

Referenze

D'Amico N., Manchester R. N., Durdin J.M., Stokes G. H., Stinebring D. R., Taylor J. H., Brissenden R. J. V., 1988, *MNRAS*, 234, 437.

IV. Green Bank 3

La ricerca è stata compiuta usando il radio telescopio di 92 metri di *Green Bank*, mentre la sensibilità di tutte le altre *survey* deteriora rapidamente al di sotto di periodi $P \approx 300ms$, e nessuna di queste ricerche è stata significativamente sensibile a periodi inferiori ai 30 millisecondi, questa *survey* ha mantenuto una buona sensibilità verso pulsar con questo periodo di rotazione sopra una larga porzione del piano galattico, inoltre grazie al breve tempo di campionamento, dell'ordine dei 2 millisecondi, ha avuto

la possibilità di osservare almeno nominalmente periodi dell'ordine dei 4 millisecondi. La larghezza della banda di osservazione è di 8 MHz, suddivisa in 32 canali di 0.25 KHz; il tempo di integrazione è stato di 131 secondi. La sensibilità è stata abbastanza buona lungo tutto il periodo delle osservazioni, raggiungendo il valore minimo di 3 mJy (questo assumendo un *duty cycle* del 4 %). Sono state osservate un totale di 20 nuove pulsar, tutte con bassa luminosità. Le osservazioni sono state effettuate ad una frequenza di 390 MHz e hanno coperto un'area di cielo, quella con declinazione $d \geq -18^\circ$, quasi simile a quella della *survey Jodrell Bank B* effettuata ad una frequenza di 1420 MHz. Se paragonassimo le due ricerche risulterebbe che *Jodrell Bank B* è stata più sensibile alla rilevazione di pulsar con alte *dispersion measure* di quanto lo sia stata *Green Bank 3*, che non ha rilevato nessun oggetto con queste caratteristiche. Pertanto le osservazioni effettuate a basse frequenze di radiosorgenti nel piano galattico risultano influenzate dai fenomeni collegati al gas interstellare più di quanto lo siano quelle condotte ad alte frequenze e, quindi, sono molto meno efficienti di queste ultime.

| | |
|---------------|----------------------------|
| Nuove Pulsar | 20 |
| n | 390 MHz |
| Δn | 8 MHz |
| dn | 250 KHz |
| dt_{sample} | 2 ms |
| Δt | 131 secondi |
| Sensibilità | ≈ 3 mJy |
| d | $\geq -18^\circ$ |
| $ b $ | $< 15^\circ$ |
| l | $15^\circ < l < 230^\circ$ |

Tabella IV Principali grandezze della ricerca Green Bank 3

Referenze

Kulkarni S. R., Narayan R., 1988, *ApJ*, 335, 755.
 Stokes G. H., Segelstein D. J., Taylor J. H., Dewey R. J., 1986, *ApJ*, 311, 694.

V. Arecibo 2

Tra le maggiori *survey* che si sono succedute nel corso del tempo, destinate alla rilevazione di *millisecond pulsar*, questa compiutasi ad *Arecibo* è stata tra le prime che è riuscita a mantenere un'alta sensibilità anche nell'intervallo di periodi al di sotto dei 10

millisecondi (è stata la prima *survey* ad *Arecibo* capace di rivelare *millisecond pulsar*). Il risultato principale è stato soprattutto la scoperta di una *millisecond pulsar* la PSR B1855+09, il cui periodo di rotazione è di 5.36 millisecondi. La particolarità di questo oggetto è quella di far parte di un sistema binario di stelle, ruotanti su di un'orbita circolare con una eccentricità del valore di 2.1×10^{-5} , insieme ad una compagna di massa pari a 0.26 masse solari⁴. Questa scoperta ha fornito prove evidenti del modello riciclato. Le osservazioni hanno riguardato un'area di cielo compresa tra la longitudine galattica $40^\circ < l < 65^\circ$ e latitudine galattica $|b| < 10^\circ$, hanno coperto un'area molto limitata del cielo quella di declinazione d compresa nell'intervallo $9.5^\circ < d < 25^\circ$, hanno osservato zone di cielo già analizzate dalla ricerca *U-Mass Arecibo (Arecibo I)*. Sono state effettuate ad una frequenza di 430 MHz, usando un tempo di campionamento di 0.3 millisecondi. La larghezza di banda è stata di 0.96 MHz divisa in 16 canali ognuno, di frequenza di 0.06 MHz, il tempo di integrazione è stato di 39 secondi; il flusso minimo rivelabile per la *survey* è stato di circa 3 mJy. Oltre alla scoperta della *millisecond pulsar* di cui si è discusso prima la ricerca ha rivelato altre quattro nuove pulsar, tutte aventi periodo di rotazione superiore ai 100 millisecondi. Lo scopo principale della ricerca della ricerca è stato ottenere la migliore approssimazione possibile della vera distribuzione del periodo delle pulsar, e di trovare elementi chiarificatori sulla popolazione delle pulsar riciclate.

| |
|-----------------------------------|
| Nuove Pulsar 5 |
| n 430 MHz |
| Δn 960 KHz |
| dn 60 KHz |
| dt_{sample} 0.3 ms |
| Δt 39 secondi |
| Sensibilità \approx 3 mJy |
| $40^\circ < l < 65^\circ$ |
| $ b < 10^\circ$ |

⁴ Questo sistema binario di pulsar, che si trova ad una distanza di 0.35 Kpc dal sole, appartiene a quella classe di oggetti denominati LMBPs (*Low-Mass Binary Pulsars*) e si suppone abbia una età di circa 4.3×10^9 anni.

Tabella V Principali valori di alcune grandezze della ricerca Arecibo 2.

Referenze

Kulkarni S. R., Narayan R., 1988, *ApJ*, 335, 755.
 Nice D. J., *Pulsar Searches at Arecibo*, "Millisecond Pulsar: a decade of surprise, ed. Fruchter A. S., Tavani M. & Backer D. C., ASP conference series 72, 9 (1995).
 Stokes G. H., Segelstein D. J., Taylor J. H., Dewey R. J., 1986, *ApJ*, 311, 694.
 Segelstein D. J., Rawley L. A., Stinebring D. R., Fruchter A. S., Taylor J. H., 1986, *Nature*, 322, 21.

VI. Arecibo 3

Durante il corso delle osservazioni sono state scoperte due nuove *millisecond pulsar*, PSR B1957+20, il cui breve periodo di rotazione di 1.6 millisecondi la pone al secondo posto, e PSR J2019+2425, il cui periodo di rotazione è di 3.93 millisecondi. La pulsar PSR J2019+2425 appartiene ad un sistema binario, si muove su di un'orbita circolare di 76.5 giorni attorno alla compagna la cui massa è di circa 0.3 masse solari. La pulsar PSR B1957+20 fa parte anch'essa di un sistema binario; in questo caso la massa della stella compagna è di sole 0.025 masse. Quasi certamente questo oggetto è una stella di neutroni 'riciclata' che si è evoluta da un trasferimento di massa da parte della stella compagna. Oltre ad oggetti così particolari la ricerca ha scoperto di 22 nuove pulsar, tutte con periodo di rotazione superiore ai 200 millisecondi. La zona di cielo osservata è stata di 260° quadrati, concentrati principalmente a latitudini galattiche $|b| < 8^\circ$. La sensibilità minima di circa 1 mJy, è stata raggiunta solo per osservazioni indirizzate a pulsar con alto periodo, mentre per stelle con periodo più corto essa si è sensibilmente deteriorata. Il tempo di campionamento del segnale è stato di 0.5 millisecondi, un valore adeguato per poter osservare almeno nominalmente oggetti con periodo di circa un millisecondo, mentre il tempo di integrazione è stato di 67 secondi. Le osservazioni sono state condotte a 430 MHz su una banda di larghezza di 10 MHz, suddivisa in canali di 0.08 MHz. Dalla ricerca è emerso che le *millisecond pulsar* rivelate (fino ad allora) sono molto più vicine al sole delle pulsar 'lente'. Il fenomeno può essere attribuito in parte alla ridotta sensibilità delle osservazioni a corti periodi.

| | |
|----------------------------|------------|
| Nuove Pulsar | 24 |
| n | 430 MHz |
| Δn | 10 MHz |
| dn | 78.125 KHz |
| dt_{sample} | 0.516 ms |

| |
|-------------------------------|
| Δt 67.7 secondi |
| Sensibilità ≈ 0.9 mJy |
| $35^\circ < l < 80^\circ$ |
| $ b < 8^\circ$ |

Tabella VI Parametri caratteristici di Arecibo 3

Referenze

Nice D. J., Fruchter A. S., Taylor J. H., 1995, *ApJ*, 449, 156.

Nice D. J., Taylor J. H., Fruchter A. S., 1993, *ApJ*, 402, L49.

VII. Parkes I

La *survey* è stata compiuta con il radio telescopio di 64 metri di *Parkes* in Australia, è stata effettuata ad alte frequenze d'osservazione e diretta verso il piano galattico sud. Lo Scopo principale è stato quello di rilevare il maggior numero d'oggetti 'giovani', distanti, e con corto periodo⁵. Le osservazioni sono state realizzate, a frequenze comprese nell'intervallo tra 1360 MHz e 1680 MHz, in una zona di cielo con latitudine galattica $|b| < 4^\circ$ e longitudine $270^\circ < l < 20^\circ$; la sensibilità minima raggiunta è stata molto buona, infatti si è aggirata secondo la frequenza di osservazione, tra 2.5 e 1 mJy e si è mantenuta su questi livelli anche per periodi minori dei 10 millisecondi. La ricerca è stata eseguita utilizzando due sistemi separati di acquisizione dati: il primo, 'System One', utilizzato per la rilevazione di pulsar veloci, il secondo, 'System Two', utilizzato per la rilevazione di pulsar più lente. Nel caso di 'System One' le osservazioni sono state realizzate ad una frequenza di 1434 MHz, con una banda la cui larghezza era di 80 MHz, suddivisa in canali contigui ognuno di 1 MHz; nel caso di 'System Two' si è invece utilizzata una frequenza di 1520 MHz, con una larghezza di banda di 320 MHz suddivisa in 64 canali ognuno di 5 MHz. Questa *survey* può essere considerata un complemento di quella indirizzata verso il piano galattico nord da 'Clifton&Lyne'; denominata *Jodrell Bank B*, di cui si è già parlato. Il tempo di campionamento del segnale è stato di 0.3 millisecondi per il 'System One' e di 1.2 millisecondi per il 'System Two'; mentre il

⁵ Le pulsar giovani sono concentrate sul piano galattico dove maggiore è la concentrazione di stelle massive che si pensa siano i loro progenitori, e a grandi distanze dal sole, per questo motivo i parametri principali delle ricerche che sono indirizzate alla rivelazione di questo tipo di oggetti sono: osservazioni di zone del cielo di bassa latitudini $b < 4^\circ$, campionamento veloce in quanto si suppone che questi oggetti abbiano periodi di rotazione molto bassi, alte frequenze di osservazioni in modo da poter ridurre gli effetti della dispersione e dello *scattering* che in queste direzioni sono molto elevati.

tempo di integrazione è stato di 78.6 e 157.3 secondi, rispettivamente per il ‘*System One*’ e per il ‘*System Two*’. La ricerca ha scoperto un totale di 46 nuove pulsar con periodo di rotazione compreso nell’intervallo $46\text{ms} < P < 2.5\text{sec}$; tra le pulsar rilevate possiamo menzionare la pulsar PSR 1259-63 che fa parte di un sistema binario di lungo periodo (qualche anno) e, PSR 1046-58, PSR 1705-44 e PSR 1727-33 che hanno una età caratteristica inferiore ai 30000 anni .

| | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Nuove Pulsar | 46 |
| <i>n</i> | 1434 MHz 1520 MHz |
| Δn | 80 MHz 320 MHz |
| <i>dn</i> | 1 MHz 5MHz |
| <i>dt</i>_{sample} | 0.3 ms 1.2 ms |
| Δt | 78.6 sec 157.3 sec |
| Sensibilità | 2.5 mJy 1 mJy |
| | $270^\circ < l < 20^\circ$ |
| | $ b < 4^\circ$ |

Tabella VII Valori di alcuni parametri della survey effettuata a Parkes.

Referenze

Johnston S., Bailes M., 1991, *MNRAS*, 252, 277.

Johnston S., Lyne A. G., Manchester R. N., Kniffen D. A., D’Amico N., Lim J., Ashworth M., 1992, *MNRAS*, 255, 401.

Ray P. S., 1995, *Ph.D. thesis, California Institute of Technology.*

3.2.1 Discussioni

La scoperta della prima *millisecond pulsar* ad opera di *Backer et al.* (1982), quella che ancora oggi è la stella di neutroni con periodo di rotazione più rapido, ha stimolato le osservazioni verso oggetti aventi periodo sempre più breve. Le ricerche precedenti erano tutte poco o per nulla sensibili a rilevare sorgenti con periodo di rotazione inferiore ai 50 millisecondi, quindi era necessario adottare nuovi criteri per poter osservare questa nuova classe di oggetti. La caratteristica principale, che distingue le *survey* precedenti questa scoperta da quelle che si sono compiute in seguito, è l’abbandono delle tradizionali frequenze di 400-600 MHz per passare a quelle di 1400 MHz. La scelta è stata compiuta per riuscire a minimizzare gli effetti della dispersione e dello scattering associati con il plasma interstellare: questi risultano infatti molto

accentuati nelle direzioni di osservazione, il disco galattico. E' stato un compromesso tra lo spettro di potenza delle pulsar, che favorisce le osservazioni a basse frequenze, e gli effetti che impediscono l'esame di queste zone del cielo a ricerche condotte a basse frequenze. Un altro motivo per cui le *survey* del passato sono state inadatte alla rilevazione delle *millisecond pulsar* è anche da attribuire alla inadeguatezza degli strumenti a disposizione, e alla mancanza di quei dispositivi che potevano permettere di analizzare la grande quantità di dati che una *pulsar survey* moderna richiede. E' proprio la disponibilità di nuove risorse che ha offerto l'opportunità di intraprendere nuovi tipi di ricerche che in passato non sarebbero state possibili.

La *survey* compiuta da *Clifton & Lyne (1986) (Jodrell Bank B)* è stata una delle prime ad effettuare osservazioni ad alte frequenze (1400 MHz), indirizzate verso il piano galattico. Ha conseguito come risultato la scoperta di 40 nuove pulsar, ma non ha rilevato nessuna *millisecond pulsar*; ha dimostrato inoltre la maggiore efficienza di questo tipo di osservazioni rispetto a quelle effettuate, come in passato, a basse frequenze. Lecito è a questo punto un raffronto con le ricerche eseguite da *Stokes et al. (1986) (Green Bank 3, Arecibo 2)*, che hanno esaminato quasi la stessa area di cielo a più basse frequenze (390 MHz), ma non riuscendo però ad osservare le pulsar rilevate dalla *survey Jodrell Bank B*; i risultati conseguiti a *Green Bank* e ad *Arecibo* comunque non sono stati inferiori, infatti sono state rilevate 25 nuove pulsar, compresa la *millisecond pulsar* PSR 1855+08 con un periodo di 5.362 millisecondi. Per quanto riguarda le osservazioni condotte da *Biggs & Lyne (1992) (Jodrell Bank C)* esse differiscono da quelle in precedenza analizzate, sia per un tempo di campionamento del segnale molto inferiore, 0.3 millisecondi, contro i 2 millisecondi, che ha dato la possibilità, almeno teorica, di rilevare oggetti con periodo di 0.6 millisecondi, ma anche per l'utilizzo di tre frequenze differenti per osservare le varie zone del disco galattico: quella più alta 1420 MHz per le parti più centrali della galassia, quella intermedia e la più bassa, 928 e 610 MHz, per le zone via via più lontane dal centro galattico. Nessuna nuova pulsar è stata rilevata da questa *survey*, che ha così evidenziato che le *millisecond pulsar* sono poco comuni nel disco galattico; anche le osservazioni, condotte con il *Molonglo Synthesis Telescope (Molonglo 3)*, hanno confermato questa ipotesi, infatti hanno scoperto una nuova pulsar ma nessuna *millisecond pulsar*. La *survey* condotta ad *Arecibo* da *Nice et al. (1995)* sono state molto più fruttuose perché hanno rilevato un totale di 24 nuove pulsar, di cui ben due *millisecond pulsar*: B1957+20 con periodo di

1.61 millisecondi e J2019+2425 di periodo 3.93 millisecondi. La ricerca ha evidenziato la tendenza a trovare le pulsar con periodo di rotazione più lento verso il centro galattico: infatti la distanza delle pulsar più rapide è molto minore di quelle lente, il fenomeno però è più da ascrivere alla bassa luminosità intrinseca di questi oggetti che ad altro. La ricerca condotta a *Parkes* ha utilizzato una frequenza di osservazione attorno ai 1500 MHz, riducendo molto gli effetti di selezione dovuti allo scattering ed alla dispersione, grazie al basso tempo di campionamento 0.3 millisecondi e 1.2 millisecondi, e ha scoperto 46 nuove pulsar (ma nessuna *millisecond pulsar*) che hanno la particolarità di essere oggetti ad alta misura di dispersione e, quindi, molto difficili da rilevare a basse frequenze. La ricerca che insieme a quella condotta da *Clifton & Lyne (1986)* di cui è complementare, ha prodotto un campione di oggetti apprezzabile per la distribuzione radiale delle pulsar, e per la distribuzione della luminosità di questi oggetti.

Le Figure 8 e 9 mostrano la variazione della sensibilità, o meglio il flusso minimo rilevabile, delle *survey* appena analizzate. Come si può notare dai grafici quasi tutte le ricerche, a parte le osservazioni effettuate con il *MOST* e a *Jodrell Bank (Jodrell Bank C)* che hanno avuto $S_{\min} \geq 8 \text{ mJy}$, hanno raggiunto limiti di sensibilità inferiori dei 3 mJy e quindi hanno avuto la possibilità di rilevare oggetti molto deboli impossibili da osservare dalle *pulsar survey* storiche, la *DM* adottata è quella di $64 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{pc}$.

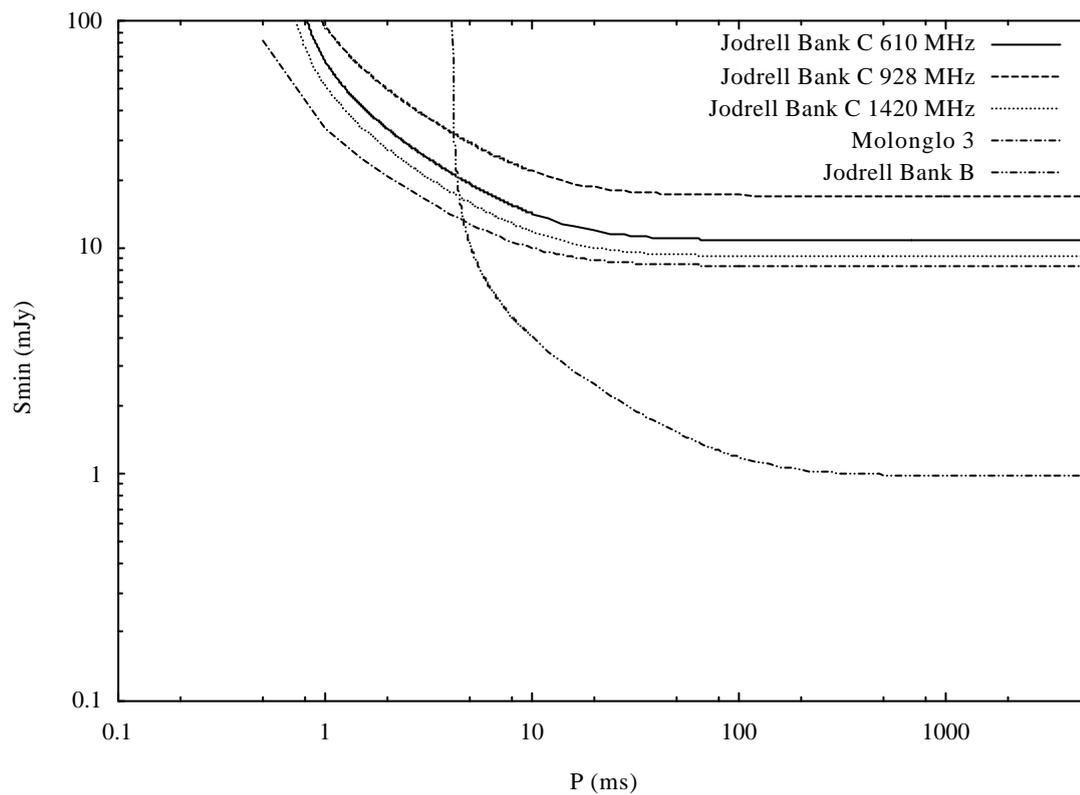


Figura 9 Variazione della sensibilità con il periodo di alcune ricerche indirizzate alla rilevazione di pulsar (si è adottata come misura di dispersione il valore di $DM = 64 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$).

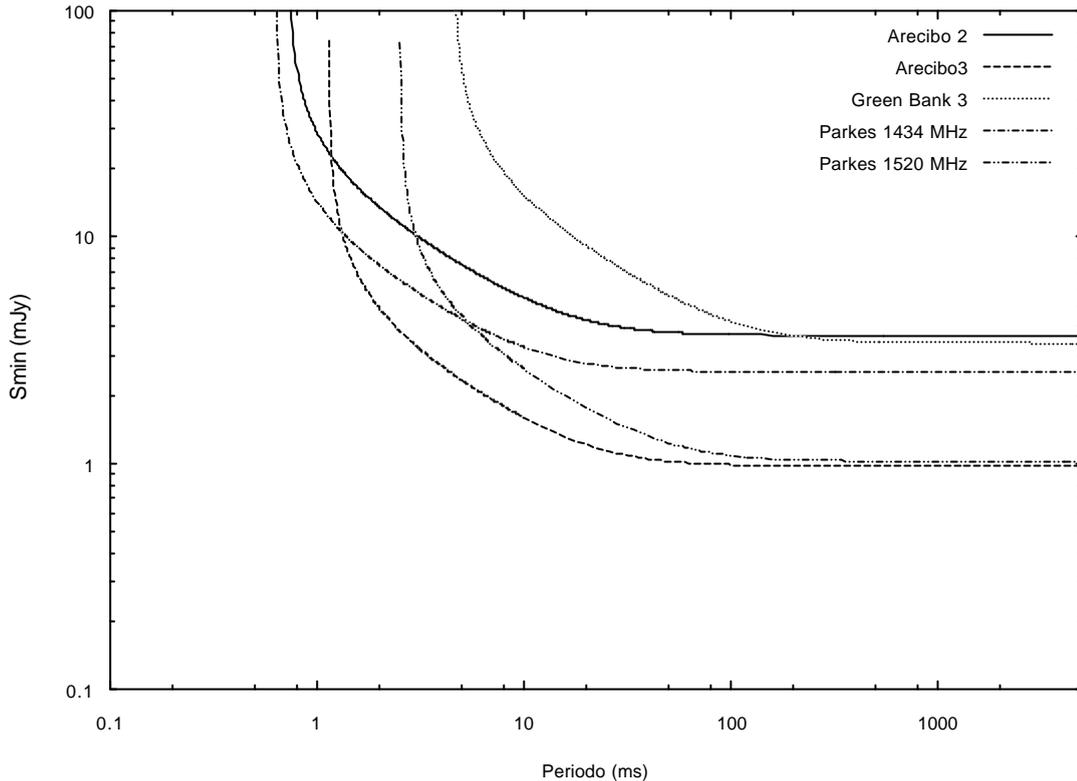


Figura 10 Variazione della sensibilità in funzione del periodo di alcune ricerche.

3.3 Pulsar survey dirette verso le alte latitudini galattiche

Nel febbraio del 1990 *Wolszczan A.* e i suoi collaboratori, osservando 150 gradi quadrati di cielo ad alte latitudini con il radio telescopio di *Arecibo*, hanno rilevato due nuove pulsar: PSR B1257+12, una *millisecond pulsar* con un sistema planetario, e PSR B1534+12, una pulsar in un sistema binario. Queste scoperte hanno indirizzato i gruppi di ricerca ad effettuare osservazioni verso quelle zone di cielo situate ad alte latitudini galattiche. Convenzionalmente indicheremo come pulsar *survey* dirette verso le alte latitudini quelle ricerche che si sono susseguite dopo le scoperte effettuate ad *Arecibo* da *Wolszczan A.* Qui di seguito analizzeremo alcune delle più importanti.

I. Jodrell Bank 3

Le osservazioni, eseguite con il radio telescopio *Lovell* di 76 metri a *Jodrell Bank*, hanno portato alla scoperta di una nuova *millisecond pulsar* PSR J1012+5307. Questa pulsar, il cui periodo di rotazione è di 5.26 millisecondi, appartiene ad un sistema binario; il periodo orbitale è di 14.5 ore e la stella compagna, la cui massa è approssimativamente $\geq 0.11M$ masse solari, si suppone sia una nana bianca. La

particolarità di questo sistema è quella di trovarsi ad una distanza di soli 520 pc, valore ottenuto mediante il modello di distanze proposto da *Taylor&Cordes (1993)*, conoscendo la misura di dispersione che è di circa $9\text{cm}^{-3}\text{pc}$, e ad una latitudine di $50^{\circ}.9$, e ad una longitudine di $160^{\circ}.4$, che possono permettere anche uno studio nell'ottico. La ricerca, compiuta ad una frequenza di 411 MHz, su una banda la cui larghezza è di 8 MHz, campionando il segnale ogni 0.3 millisecondi, è indicata proprio alla rilevazione di oggetti rotanti molto velocemente. I canali in cui è stata suddivisa la banda di osservazione sono 64 ognuno di 125 KHz. L'area di cielo che è stata osservata è quella con declinazione compresa tra i valori $35^{\circ} < \mathbf{d} < 90^{\circ}$, mentre il tempo di campionamento è stato di 157.5 secondi. Il flusso minimo raggiunto dalla ricerca, per pulsar di corto periodo, si è aggirato intorno a 4 mJy.

| |
|--|
| Nuove Pulsar 1 |
| n 411 MHz |
| Δn 8 MHz |
| dn 0.125 MHz |
| dt_{sample} 0.3 ms |
| Δt 157.5 secondi |
| Sensibilità \approx 4 mJy |
| $35^{\circ} < \mathbf{d} < 90^{\circ}$ |

Tabella I Parametri osservativi della ricerca Jodrell Bank 3.

Referenze

Nicastro L., Lyne A. G., Lorimer D. R., Harrison P. A., Bailes M., Skidmore B. D., 1995, MNRAS, 273, L68

II. Parkes 70

La ricerca realizzata a *Parkes* è stata indirizzata alla rilevazione di oggetti con periodo di rotazione dell'ordine dei millisecondi e con bassa luminosità. Le osservazioni hanno riguardato l'intero cielo sud e sono state compiute alla frequenza di 436 MHz. La banda di frequenza di 32 MHz è stata suddivisa in 256 canali di 125 KHz ognuno. Il tempo di campionamento è stato di circa 0.3 millisecondi, quello di integrazione di 157.3 secondi. Lontano dal piano galattico e per pulsar con periodo elevato il flusso minimo rilevato dalla ricerca si è aggirato intorno ai 3 mJy. La *survey* ha ottenuto buonissimi

risultati scoprendo un totale di 102 nuove pulsar, delle quali ben 17 sono delle *millisecond pulsar*. In pratica si può dire essa ha fornito ai teorici un campione apprezzabile di oggetti dai quali desumere dati statistici. Precedenti studi sulla popolazione delle *millisecond pulsar* ne avevano stimato un numero molto maggiore di quello che il campione ottenuto dalla presente *survey* ha indicato; questa discrepanza di valori si spiega con l'aumentato numero di oggetti rilevati, che permettono una migliore analisi statistica, ma è dovuta anche alla porzione di volta celeste esaminata. Si sono ridotti in questo modo notevolmente le incertezze e gli errori sistematici nei calcoli. Delle 17 nuove *millisecond pulsar* ben 12 fanno parte di sistemi binari.

| |
|--|
| Nuove Pulsar 102 |
| n 436 MHz |
| Δn 32 MHz |
| dn 0.125 MHz |
| dt_{sample} 0.3 ms |
| Δt 157.3 secondi |
| Sensibilità \approx 3 mJy |
| $d \leq 0^\circ$ |

Tabella II Parametri osservativi della ricerca condotta a Parkes.

Referenze

Bailes M., Harrison P. A., Lorimer D. R., Johnston S., Lyne A. G., Manchester R. N., D'Amico N., Nicastro L., Tauris T. M., Robinson C., 1994, *ApJ*, 425, L41.
D'Amico N., Stappers B. W., Bailes M., Martin C. E., Bell J. F., Lyne A. G., Manchester R. N., 1998, *MNRAS*, 297, 28.
Lorimer D. R., Nicastro L., Lyne A. G., Bailes M., Manchester R. N., Johnston S., Bell J. F., D'Amico N., Harrison P. A., 1995, *ApJ*, 439, 933.
Lyne A. G., Manchester R. N., Lorimer D. R., Bailes M., D'Amico N., Tauris T. M., Johnston S., Bell J. F., Nicastro L., 1998, *MNRAS*, 295, 743.
Manchester R. N., Lyne A. G., D'Amico N., Bailes M., Johnston S., Lorimer D. R., Harrison P. A., Nicastro L., Bell J. F., 1996, *MNRAS*, 279, 1235.

III. Green Bank 4

La *survey* è stata effettuata con il radio telescopio di *Green Bank* usando una frequenza di osservazione di 370 MHz ; lo scopo principale è stato quello di scoprire le più forti *millisecond pulsar* dell'emisfero nord. L'area di cielo osservata è quella che si estende a declinazioni $d \geq 0^\circ$, quasi il 77% dell'emisfero nord. Il flusso minimo rilevabile dalla *survey*, considerando oggetti situati ad alte latitudini galattiche e con periodo di

rotazione molto lungo, si è aggirato sul valore di circa 8 mJy. Il limite di sensibilità abbastanza elevato giustifica in pieno gli scopi principali della ricerca. Il tempo di campionamento è stato di 256ms ed ha permesso, anche se solo nominalmente, di rilevare pulsar con periodo di 512ms , considerando il teorema di *Nyquist*. La banda di osservazione di larghezza 40 MHz , è stata suddivisa in 512 canali ugualmente spaziati, di larghezza 0.078 MHz . Il tempo di integrazione si è aggirato intorno ai 134 secondi. Un totale di 8 nuove pulsar sono state rilevate, tra le quali di estremo interesse vi sono la PSR J1022+1001 una *millisecond pulsar* con periodo di rotazione di 16.5 millisecondi, appartenente ad un sistema binario con una stella compagna che si suppone sia una nana bianca, e PSR J1518+4904 che, pur non essendo una *millisecond pulsar*, infatti il suo periodo è di 40.9 millisecondi, fa parte di un sistema binario, uno dei pochi conosciuti, con una stella compagna che si suppone anch'essa neutroni. La scoperta di sistemi di questo genere permette di avere a disposizione laboratori di fisica dove sperimentare, per esempio, gli effetti predetti dalla relatività generale. Come scopo secondario la ricerca si è proposta la ri-osservazione di oggetti già rilevati nel corso di altre *survey*, per poter comparare le loro caratteristiche, come per esempio la densità di flusso, con quelle catalogate nel corso delle *survey* che hanno portato alla loro scoperta. Si è così verificata la ripetibilità di un ricerca indirizzata alla rilevazione di nuove pulsar. E' necessario ricordare infatti che questi oggetti hanno una elevata variabilità di intensità, cosicché una stessa ricerca può rilevarne uno in una determinata sessione di osservazione e non osservarlo più nelle seguenti.

| |
|--|
| Nuove Pulsar 8 |
| n 370 MHz |
| Δn 40 MHz |
| dn 0.078 MHz |
| dt_{sample} 0.256 ms |
| Δt 134 secondi |
| Sensibilità $\approx 8\text{ mJy}$ |
| d $\geq 0^\circ$ |

Tabella III Parametri principali della ricerca condotta a Green Bank.

Referenze

Sayer R. W., Nice D. J., Taylor J. H., 1997, *ApJ*, 474, 426.

IV. Princeton Arecibo 4a

Le osservazioni condotte ad una frequenza di 430 MHz sono state effettuate con il radio telescopio di *Arecibo* ed hanno riguardato zone del cielo la cui latitudine galattica era compresa tra i valori $-50^\circ < b < -20^\circ$. La sensibilità della ricerca è stata molto bassa (di soli 0.5 mJy) che ha permesso di ispezionare oggetti di bassa luminosità come sono per esempio le *millisecond pulsar*. Naturalmente il valore di questa grandezza è andato via via aumentando a seconda delle zone della galassia che venivano osservate (infatti è passata dal valore di 0.5 mJy a quello di 0.7 mJy passando dalle declinazioni intermedie a quelle estreme), e degli intervalli di periodo che venivano considerati. La larghezza della banda di osservazione è stata di 8 MHz suddivisa in 32 canali contigui di 250 KHz ognuno, mentre il tempo di campionamento è stato di 0.25 millisecondi e quello di integrazione di circa 40 secondi. La *survey* nel corso delle sue osservazioni è riuscita a scoprire un totale di 12 nuove pulsar tra le quali 3 nuove *millisecond pulsar* PSR J2229+2643, PSR J2317+1439 e PSR J2322+2057. Tra le tre pulsar appena menzionate merita una maggiore attenzione la pulsar PSR J2229+2643 che essendo uno degli oggetti scoperti con la variazione del periodo più corto, $\dot{P} = (1.9 \pm 0.2) \times 10^{-21}$, ha permesso di stabilire un nuovo limite superiore alla possibile variazione del valore della costante di gravitazione universale G ; la variazione tra G e \dot{G} è stata calcolata essere inferiore al valore di $3 \times 10^{-11} \text{anni}^{-1}$ (Camilo et al., 1996).

| |
|---|
| Nuove pulsar 12 |
| n 430 MHz |
| Δn 8 MHz |
| dn 250 KHz |
| dt_{sample} 0.25 ms |
| Δt 40 secondi |
| Sensibilità \approx 0.5 mJy |
| $-50^\circ < b < -20^\circ$ |

Tabella IV Parametri caratteristici della ricerca effettuata ad Arecibo.

Referenze

Camilo F., Nice D. J., Taylor J. H., 1996, *ApJ*, 461, 812.

Camilo F., Nice D. J., Taylor J. H., 1993, *ApJ*, L37.

Camilo F., Nice D. J., 1995, *ApJ*, 445, 756.

Nice D. J., Taylor J. H., 1995, *ApJ*, 441, 429.

V. Second Cambridge pulsar survey

Questa *survey* che è stata effettuata con il radio telescopio di *Cambridge*, strumento con il quale nel 1967 era stata scoperta la prima pulsar, ha avuto un differente approccio nella ricerca di stelle di neutroni. Infatti, ha impiegato una frequenza molto inferiore a quella di tutte le *survey* compiute fino ad allora, quella di 81.5 *MHz*. Le osservazioni sono state dirette verso le zone di cielo con declinazione $d = -20^\circ$, il tempo di campionamento si è aggirato sui 1.3 millisecondi ed ha consentito così la possibilità di rivelare oggetti con periodo di rotazione dell'ordine di qualche millisecondo; il tempo d'integrazione invece è stato di 100 secondi. Lontano dal piano galattico la sensibilità della ricerca è stata dell'ordine dei 200 mJy. La larghezza di banda è stata di 1 *MHz* mentre quella dei canali di 4 *KHz*. Nessuna nuova pulsar è stata osservata.

Nuove pulsar nessuna

n 81.5 *MHz*

Δn 1 *MHz*

dn 4 *KHz*

dt_{sample} 1.3 ms

Δt 100 secondi

Sensibilità \approx 200 mJy

$-20^\circ < d < 86^\circ$

Tabella V Parametri principali della *second Cambridge survey*.

Referenze

Camilo F., *millisecond pulsar searches, Millisecond pulsar: a Decade of Surprise*, ed. A. S. Fruchter, M. Tavani & D. C. Backer, *ASP conference series* 72, 1995.

Shrauner J. A., Taylor J. H., Woan G., 1998, *ApJ*, 509, 785.

VI. Princeton Arecibo 4b

Le osservazioni condotte ad *Arecibo* utilizzando una frequenza di osservazione di 430 *MHz* hanno portato alla scoperta di 21 nuove pulsar. Due di queste (PSR J0621+1002 una stella avente periodo di rotazione pari a 28.9 millisecondi, e PSR 1022+1001 il cui periodo di rotazione è di 16.5 millisecondi) fanno parte della classe delle *millisecond*

pulsar ed ognuna fa parte di un sistema binario le cui stelle compagne hanno una massa abbastanza più elevata, (0.43 è 0.74 masse solari rispettivamente), di quelle delle stelle classiche appartenenti a questi tipi di sistemi. Si è prospettata allora l'idea dell'appartenenza di questi sistemi di stelle ad una classe intermedia di pulsar binarie, che viene denominata come $IMBP_s$ ⁶, dato che la funzione di massa di questi è più alta di quella delle $LMBP_s$, per giustificare questo valore, ($f > 0.015M_\odot$ che implica una massa della stella compagna superiore a 0.45 masse solari, mentre il valore delle stelle appartenenti alle $LMBP_s$ è inferiore) si suppone che la stella compagna sia una nana bianca di carbonio-ossigeno e non una classica nana bianca di elio che al di sopra delle 0.45 masse innescherebbe il cosiddetto *flash* dell'elio. Come è possibile immaginare, l'evoluzione di questo sistema di oggetti, ancora non ben capito, si suppone diversa da quello delle $LMBP_s$ ⁷, e quindi vi è la possibilità anche di un differente meccanismo di 'spin-up'. Il cielo coperto dalle osservazioni è stato quello che si è esteso all'intervallo di declinazione $-1^\circ < \mathbf{d} < +39^\circ$; la larghezza della banda di osservazione è stata di 8 MHz ed è stata suddivisa in 32 canali di 250 KHz ciascuno. Il tempo di campionamento del segnale di 0.25 millisecondi, ha dato la possibilità alla ricerca di poter osservare oggetti con periodo inferiore al millisecondo, anche se questi dovevano avere una bassa misura di dispersione ed essere abbastanza forti. Il limite di sensibilità raggiunto è stato di 0.4 mJy mentre il tempo di integrazione è stato di circa 40 secondi.

| |
|------------------------------------|
| Nuove Pulsar 21 |
| \mathbf{n} 430 MHz |
| $\Delta \mathbf{n}$ 8 MHz |
| \mathbf{dn} 250 KHz |
| \mathbf{dt}_{sample} 0.25 ms |
| Δt 40 secondi |
| Sensibilità \approx 0.4 mJy |
| $-1^\circ < \mathbf{d} < 39^\circ$ |

Tabella VI Parametri caratteristici della Princeton Arecibo 4b.

⁶ $IMBP_s$ Intermediate-mass binari pulsars, cioè sistemi binari con stella compagna di massa intermedia, per distinguerli dalle $LMBP_s$ e $HMBP_s$.

⁷ Per una spiegazione più dettagliata di questi sistemi si rimanda al Capitolo 1.

Referenze

Camilo F., Nice D. J., Shrauner J. A., Taylor J. H., 1996, *ApJ*, 469, 819.

VII. Penn.State-NRL

Le osservazioni sono state eseguite con il radio telescopio di 305 metri di *Arecibo* alla classica frequenza di 430 *MHz* ed hanno esplorato le zone di cielo ad alte latitudini la cui declinazione cadeva nell'intervallo $-2^\circ < \mathbf{d} < 38^\circ$. La ricerca ha portato alla scoperta di 19 nuove pulsar delle quali ben cinque nuove *millisecond pulsar*. La ricerca ha utilizzato una larghezza di banda di 8 *MHz* suddivisa in 32 canali contigui, ognuno della larghezza di 250 *KHz*. Il tempo di campionamento è stato di 0.25 millisecondi, mentre quello d'integrazione di circa 40 secondi. La sensibilità minima raggiunta dalla *survey* si è aggirata intorno al mJy ed ha permesso di osservare pulsar molto deboli. Questo valore si può raggiungere solo se i periodi degli oggetti osservati è superiore ai 3 millisecondi. Tra le nuove pulsar scoperte, oltre alle *millisecond pulsar*, il cui periodo è compreso tra i 3.16 millisecondi e 6.22 millisecondi, speciale menzione spetta alla pulsar PSR J0538+2817 che, pur appartenendo alla classe di oggetti lenti (infatti il suo periodo di rotazione è di circa 0.143 secondi), ha la particolarità di avere una posizione coincidente con il resto di *supernova* S147, ed una età stimata consistente con quella di questo. Questa scoperta aumenta il numero di associazioni stelle di neutroni SNR_s , contribuendo alla spiegazione dei possibili scenari evolutivi delle pulsar.

| |
|------------------------------------|
| Nuove pulsar 19 |
| \mathbf{n} 430 <i>MHz</i> |
| $\Delta \mathbf{n}$ 8 <i>MHz</i> |
| \mathbf{dn} 0.25 <i>MHz</i> |
| \mathbf{dt}_{sample} 0.25 ms |
| Δt 40 secondi |
| Sensibilità \approx 1 mJy |
| $-2^\circ < \mathbf{d} < 38^\circ$ |

Tabella VII Parametri caratteristici di P.S.-NRL.

Referenze

Foster R. S., Cadwell B. J., Wolszczan A., Anderson S. B., 1995, *ApJ*, 454, 826
Foster R. S., Wolszczan A., Camilo F., 1993, *ApJ*, 410, L91

VIII. *Arecibo surveys*

Con *Arecibo surveys* consideriamo un insieme di ricerche che hanno utilizzato il radiotelescopio di *Arecibo*, che sono state effettuate nell'arco di tempo che va dal 1988 al 1993 e che hanno riguardato l'ispezione del cielo posto ad alte latitudini. Tutte le osservazioni sono state caratterizzate dalla stessa frequenza di osservazione, 430 MHz, ma si sono distinte per tipo di apparecchiatura utilizzata, tempo di campionamento, tempo d'integrazione, e zona di cielo osservata. Analizzeremo ora in modo più dettagliato questo insieme di ricerche.

- *DHL surveys*. Questa ricerca ha utilizzato un *filterbank* ed un tempo di campionamento di 0.25 millisecondi; la larghezza di banda di 8 MHz è stata suddivisa in 32 canali contigui di 250 KHz ciascuno, il tempo di integrazione è stato di 32 secondi. Il limite di sensibilità raggiunto è stato di circa 0.7 mJy. La zona di cielo ispezionata è quella che ha avuto la declinazione nell'intervallo $19.5^\circ < \mathbf{d} < +22^\circ$.

- *SHL surveys*. La ricerca ha utilizzato un *filterbank* ed un tempo di campionamento di 0.25 millisecondi, la banda di osservazione è stata di 8 MHz suddivisa in 32 canali di 0.25 MHz ciascuno. Il tempo di integrazione è stato in questo caso di soli 8 secondi, mentre il limite di sensibilità raggiunto è stato di 1.5 mJy. La zona di cielo osservata è stata quella di declinazione $22^\circ < \mathbf{d} < 35^\circ$.

- *AC survey*. Questa ricerca ha utilizzato un autocorrelatore ed è stata diretta verso anticentro galattico. Le osservazioni hanno utilizzato un tempo di campionamento che è variato durante le sessioni di osservazione, passando da 67 secondi a 32 secondi. Il tempo di campionamento, che è stato più alto di quello delle altre ricerche che fanno parte di questo gruppo, si è aggirato sui 0.5 millisecondi. La larghezza di banda è stata di 10 MHz mentre i canali di 78.125 KHz. Il flusso minimo rivelato è stato di 0.7 mJy. La zona di cielo ispezionata è stata quella di declinazione $11^\circ < \mathbf{d} < 25^\circ$.

- *CBHL survey*. In questo caso si è utilizzato un *filterbank* ed il tempo di campionamento del segnale è stato invece di 0.18 millisecondi. Il tempo d'integrazione è variato, passando dal valore di 47 secondi a quello di 23 secondi. La banda di osservazione di 8 MHz è stata suddivisa in canali di 0.25 MHz. Il flusso minimo rivelato è stato di 1.5 mJy e la zona di cielo ispezionata dalle osservazioni è stata quella con declinazione compresa nell'intervallo $13^\circ < \mathbf{d} < 18^\circ$.

Tutte queste ricerche nel loro insieme hanno coperto circa il 4 % del cielo accessibile ad *Arecibo* ed hanno aumentato sensibilmente l'area osservata per rilevare le *millisecond pulsar*; pur avendo avuto una buona sensibilità non sono riuscite però nella scoperta di nessun nuovo oggetto. La *survey* ha mantenuto una sensibilità dell'ordine del mJy sull'intervallo di periodi che caratterizza le pulsar "normali" .

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Nuove pulsar nessuna | |
| <i>n</i> 430 MHz | |
| DHL | |
| SHL | |
| AC | |
| CBHL | |
| | Δn |
| | MHz |
| | 8 |
| | 8 |
| | 10 |
| 8 | |
| <i>dn</i> | |
| MHz | |
| | 0.25 |
| | 0.25 |
| | 0.078 |
| | 0.25 |
| | <i>dt</i> _{sample} |
| ms | |
| | 0.25 |
| | 0.25 |
| | 0.5 |
| | 0.18 |
| | Δt |
| secondi | |
| | 32 |
| | 8 |

| | |
|-------------|-------------------|
| | 67,32 |
| | 47,23 |
| | Sensibilità (mJy) |
| 0.7 | |
| | 1.5 |
| | 0.7 |
| | 1 |
| | <i>d</i> |
| [19.5°;22°] | |
| [22°;35°] | |
| [11°;25°] | |
| [13°;18°] | |

Tabella VIII Parametri principali delle varie ricerche effettuate ad *Arecibo*.

Referenze

Ray P. S., Deich W. T. S., Kulkarni S. R., Prince T. A., Thorsett S. E., Vasisht G., Wolszczan A., Backer D. C., Holliman II J. H., Middleditch J., 1995, ApJ, 443, 270.
Ray P. S., 1995, Ph.D., California Institute of Technology.

IX. Caltech-Arecibo 2

Le osservazioni hanno portato alla scoperta di due nuove pulsar con periodo di rotazione abbastanza elevato, intorno al mezzo secondo, e precisamente di: PSR J0943+22 con periodo di 0.5329 secondi e PSR J1246+22 con periodo di rotazione di 0.4738 secondi. Entrambe collocate entro un raggio di due *kpc* dal Sole. Il risultato è stato raggiunto grazie alla conoscenza della loro misura di dispersione, ed utilizzando il modello di distribuzione di elettroni liberi nella galassia proposto da *Taylor&Cordes (1993)*⁸. La ricerca è stata eseguita con il radio telescopio di *Arecibo* impiegando una frequenza di osservazione di 428.5 *MHz* ed ha riguardato zone di alta latitudine galattica, quelle comprese nell'intervallo $24^\circ < b < 87^\circ$, e la cui declinazione tra i valori di $18^\circ < d < 26^\circ$. Come in tutte le ultime ricerche che sono state effettuate ad *Arecibo* (e

⁸ Anche se c'è da aggiungere che essendo le pulsar situate a circa $z=1.3$ *kpc*, e che il modello di Taylor e Cordes include un limite nella scala di altezza dello strato di elettroni liberi, pari a 0.9 *kpc*, la misura di dispersione fornisce solo un limite inferiore della distanza di questi oggetti.

che sono state descritte nei paragrafi precedenti), si è utilizzata una banda di osservazione di larghezza pari a 8 MHz suddivisa in 32 canali adiacenti di 0.25 MHz ; il tempo di integrazione è stato di 47.2 secondi, mentre quello di campionamento di soli 0.18 millisecondi. La sensibilità minima raggiunta dalla *survey* è stata molto buona in quanto si è aggirata intorno al mJy, per oggetti di bassa misura di dispersione e periodo maggiore dei 10 millisecondi. Pur avendo avuto un apparato osservativo che, almeno in potenza, permetteva la possibilità di rivelare *millisecond pulsar*, nessun oggetto di questo tipo è stato osservato. Questo risultato insieme a quelli delle altre ricerche indirizzate allo stesso scopo forniscono i dati necessari per assumere che la distribuzione delle *millisecond pulsar* nelle vicinanze del Sole è isotropa e che la loro densità proiettata è quella di un oggetto di questo tipo ogni 250 gradi quadrati.

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Nuove pulsar | 2 |
| n | 428.5 MHz |
| Δn | 8 MHz |
| dn | 0.25 MHz |
| dt_{sample} | 0.18 ms |
| Δt | 47 secondi |
| Sensibilità | $\approx 0.8\text{ mJy}$ |
| | $18^\circ < d < 26^\circ$ |

Tabella IX Parametri osservativi della ricerca *Caltech-Arecibo II*.

Referenze

Thorsett S. E., Deich W. T. S., Kulkarni S. R., Navarro J., Vasisht G., 1993, *ApJ*, 416, 182.

X. *Caltech-Arecibo 3*

Le osservazioni sono state condotte con lo stesso sistema di quelle condotte nella *survey Caltech-Arecibo 2*, per cui si è utilizzata una frequenza di osservazione di 430 MHz , una larghezza di banda di 8 MHz , un tempo di campionamento di 0.25 ms, e 32 canali di 0.25 MHz ciascuno. La sensibilità minima raggiunta si è aggirata sui 0.7 mJy. I risultati conseguiti da questa ricerca sono stati molto buoni; infatti, sono state scoperte ben 12 nuove pulsar, una delle quali è una *millisecond pulsar* con periodo di rotazione di 5.9 millisecondi PSR J2033+17. Tra queste nuove scoperte vi è quella, inoltre, della pulsar PSR J2043+2740. Questo oggetto, la cui caratteristica è quella di avere un periodo di

rotazione di 96.1 millisecondi, un periodo così corto farebbe supporre che questa stella sia o una pulsar ‘riciclata’ oppure, una pulsar giovane associata con qualche resto di *supernova*. Ma le osservazioni almeno per il momento escludono le due possibilità.⁹

| |
|---|
| Nuove pulsar 12 |
| <i>n</i> 430 MHz |
| Δn 8 MHz |
| <i>dn</i> 0.25 MHz |
| <i>dt</i>_{sample} 0.25 ms |
| Δt 32.8 secondi |
| Sensibilità \approx 0.7 mJy |
| $8^\circ < d < 30^\circ$ |

Tabella X Valori riassuntivi di alcune grandezze che hanno contraddistinto la ricerca.

Referenze

Ray P. S., Thorsett S. E., Jenet F. A., Van Kerkwijk M. H., Kulkarni S. R., Prince T. A., Sandhu J. S., Nice D. J., 1996, *ApJ*, 470, 1103.

XI. Bologna sub-millisecond pulsar survey

Lo scopo principale di questa ricerca è stato quello di osservare pulsar con periodi di rotazione inferiori a 1.5 millisecondi, cioè quello della pulsar con periodo più veloce oggi conosciuta, e quindi di verificare la possibile esistenza di oggetti denominati *sub-millisecond pulsar*. Tutte le ricerche analizzate finora hanno avuto un *cut-off* di sensibilità proprio intorno a 1.5 millisecondi (vedi figure 8 e 9) e perciò non sono state in grado di rilevare oggetti con periodo inferiore a questo. Il flusso minimo rivelabile dalla *survey* per periodi di rotazione lunghi è stato abbastanza elevato aggirandosi intorno ai 9 mJy, quindi si può dire che l’esperimento non è stato molto indicato alla osservazione di pulsar ‘normali’, ma si è mantenuto costante fino a valori al di sotto del millisecondo, dove le ricerche precedenti (più sensibili a pulsar di lungo periodo) non sono state in grado di osservare nessun oggetto. Le osservazioni sono state condotte ad una frequenza di 408 MHz, la banda di larghezza 4 MHz è stata suddivisa in 128 canali adiacenti di larghezza 0.032 MHz, il tempo di integrazione di circa 67 secondi e quello

⁹ In realtà all’inizio si ipotizzava una associazione con il SNR_s denominato *Cignus Loop*, ma la differenza tra l’età caratteristica di questo oggetto e quella del resto di supernovae, unito ad una differenza

di campionamento di 64 ms , il cielo osservato è stato quello di declinazione compresa tra 4° e 42° . Le osservazioni hanno portato alla scoperta di una nuova *millisecond pulsar* PSR J0030+0451, il cui periodo di rotazione è di 4.86 millisecondi.

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Nuove pulsar 1 | |
| n | 408 MHz |
| Δn | 4 MHz |
| dn | 32 KHz |
| dt | 64 ms |
| Δt | 67 secondi |
| Sensibilità $\approx 9 \text{ mJy}$ | |
| $4^\circ < d < 42^\circ$ | |

Tabella 11 Parametri principali della Bologna survey.

Referenze

D'Amico N., 1999, *Pulsar astronomy, ASP conference series*.

D'Amico N., *The experimental determination of the limiting spin period of neutron stars*.

3.3.1 Discussioni

Le prime ricerche indirizzate alla osservazione delle *millisecond pulsar* erano dirette, nella maggior parte dei casi, verso il piano galattico, scelta motivata anche dal fatto che la prima *millisecond pulsar* scoperta, la PSR 1937+21, era situata a basse latitudini galattiche. La scoperta di due nuovi oggetti di questo tipo, avvenuta per opera di *Wolszczan*, ad alte latitudini ha dimostrato l'importanza di *survey* che osservassero non solo zone ristrette del piano galattico, ma la maggior parte del cielo accessibile alla strumentazione, e cioè che diventassero le cosiddette ricerche '*all sky*'. Inoltre vi era l'esigenza di un campione più grande di *millisecond pulsar* per poter eseguire studi statistici e capire l'evoluzione e la formazione di questo tipo di oggetti. Le *survey* condotte ad *Arecibo*, *Jodrell Bank*, *Parkes*, e *Green Bank* sono state sostanzialmente designate per aumentare questo numero. Le ricerche indirizzate verso il piano galattico erano state condizionate ad effettuare osservazioni ad alte frequenze, questo per poter minimizzare gli effetti dovuti al passaggio delle onde elettromagnetiche attraverso il plasma interstellare. Come abbiamo visto, però, nei capitoli precedenti, l'inconveniente

tra la velocità iniziale presunta e quella vera hanno escluso questa possibilità.

dell'osservazione a queste frequenze è che, essendo le pulsar oggetti con indice spettrale ripido, $\alpha = -2$ ($S \propto \nu^{-\alpha}$), la possibilità di raggiungere sensibilità paragonabili a quelle ottenibili a basse frequenze di osservazione si realizzava aumentando i tempi di integrazione e quindi la quantità di dati, cosa che accresceva il numero di operazioni che un computer doveva effettuare. La bassa densità di elettroni liberi presenti ad alte latitudini galattiche, riducendo gli effetti della dispersione e dello *scattering*, ha permesso osservazioni a basse frequenze, di norma 430 MHz. Le ricerche analizzate hanno aumentato notevolmente il campione di *millisecond pulsar* ed hanno dimostrato che, essendo questi oggetti di bassa luminosità, solo quelli più vicini possono essere rivelati; ed inoltre che la loro distribuzione nello spazio potrebbe essere quasi isotropica. Le osservazioni effettuate hanno raggiunto limiti di sensibilità molto bassi (per esempio, le *survey* effettuate ad *Arecibo* quello di 0.7 mJy) ed hanno aumentato anche il campione di pulsar 'normali', cioè quelle giovani e non 'riciclate. Particolare successo ha ottenuto la *survey* denominata *Parkes 70* con la scoperta di 102 nuovi oggetti, un numero maggiore di pulsar 'normali' e *millisecond pulsar* (17), di tutte le altre ricerche compiute fino a quel momento; il suo limite di sensibilità, che è stato di circa 3 mJy, è andato aumentando per osservazioni verso stelle di corto periodo. Questa ricerca è per certi versi complementare a quelle condotte ad *Arecibo* anche se queste ultime hanno raggiunto sensibilità migliori. I risultati delle osservazioni hanno fornito inoltre informazioni sulla densità di *millisecond pulsar*, che si suppone sia in media di un oggetto ogni 200 gradi quadrati. Un differente approccio verso la rivelazione di nuovi oggetti è stato quello della *survey* compiuta con il radiotelescopio di *Cambridge* (*second Cambridge*). Essa è stata realizzata ad una frequenza per così dire anomala, quella di 81.5 MHz. La dispersione e lo *scattering* hanno degradato in modo marcato la sensibilità della ricerca e quindi la rivelazione di oggetti con periodo di rotazione molto corto, anche se pulsar con flusso di 20 mJy a 400 MHz potevano essere comunque osservate. Lo scopo principale di questa ricerca è stato quello di osservare il cielo nord in un periodo di tempo breve, e di osservare oggetti, in particolare *millisecond pulsar* di bassa luminosità. C'è da aggiungere che se pur a 81.5 MHz la sensibilità è stata molto alta questa corrisponderebbe a circa 4 mJy a 400 MHz, risultando quindi dello stesso ordine delle ricerche appartenenti a questo gruppo. Una considerazione a parte bisogna fare per la *survey* eseguita a *Bologna*, essa rappresenta la prima *survey* su larga scala

eseguita con lo scopo di osservare pulsar con periodo di rotazione inferiore al millisecondo. La scoperta di un oggetto di questo genere produrrebbe una restrizione sulle possibili equazioni di stato delle materia 'ultradensa'. Le figure 11 e 12 mostrano come è variata la sensibilità nel corso delle osservazioni per le varie ricerche analizzate in questo paragrafo. Come si può vedere tutte le *survey* hanno avuto una buona sensibilità nell'intervallo di periodi compresi tra 1 e 10 millisecondi. Per la graficazione si è adottata una misura di dispersione di $64 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$.

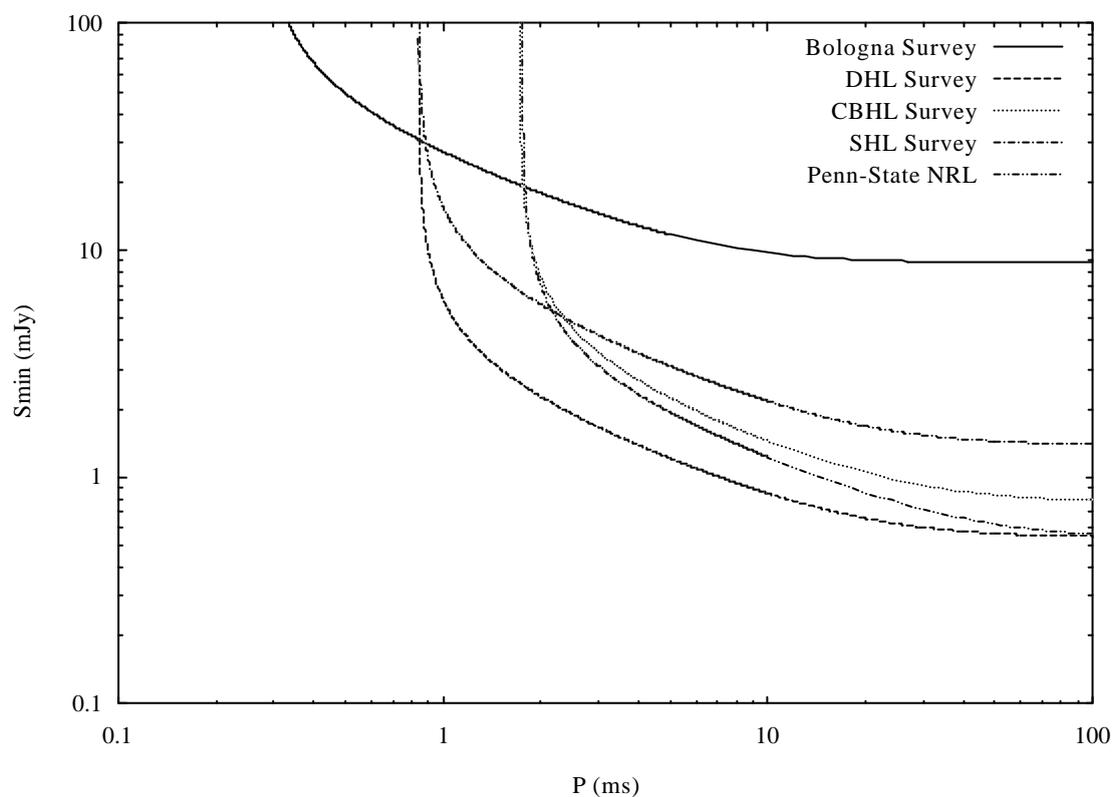


Figura 11 variazione della sensibilità in funzione del periodo per alcune ricerche indirizzate alla rivelazione di pulsar.

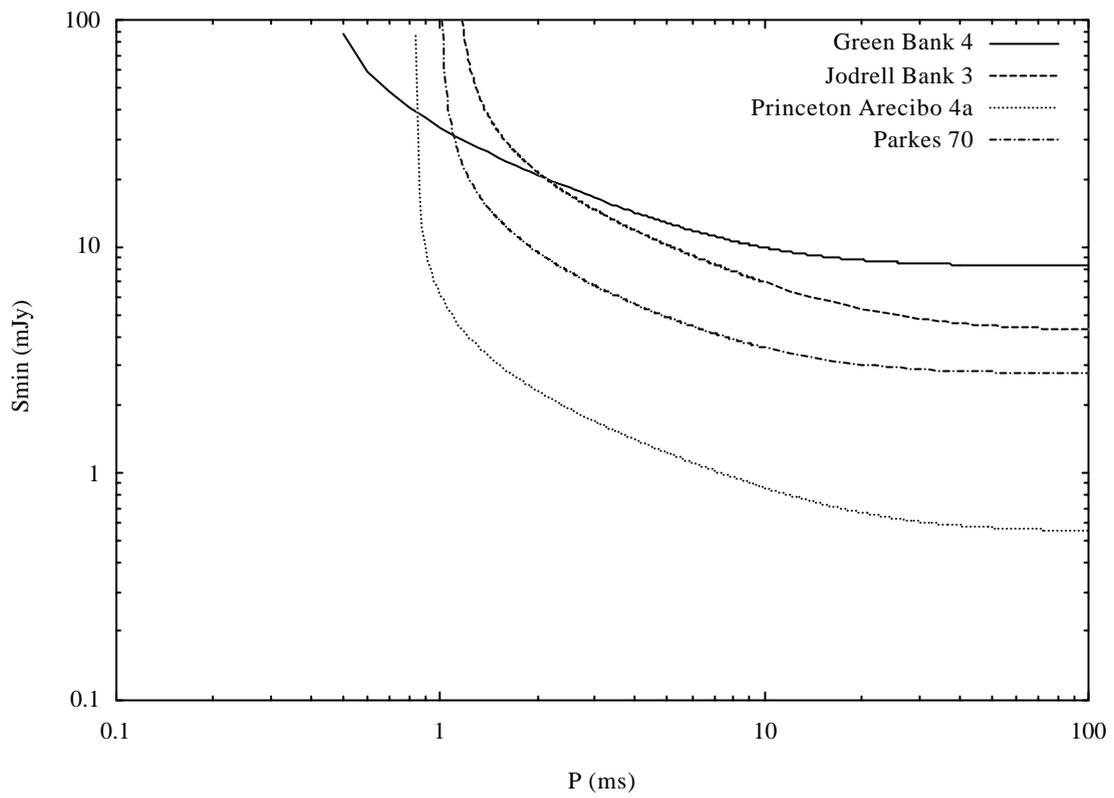


Figura 12 Variazione della sensibilità in funzione del periodo di alcune ricerche indirizzate alla rivelazione di pulsar.

