

**Istituto Nazionale Astrofisica**

**Istituto di Radioastronomia**

**Lo spettrometro SPARKLE (Spectrum Analyzer using maRK 5 for Line Emission)**

F. Schillirò

P. Cassaro

G. Maccaferri

A. Orlati

S. Pluchino

Rapporto Interno n.

## 1. Introduzione

La strumentazione virtuale, intesa come l'insieme di software, hardware e sistemi complessi in grado di elaborare, ridurre e presentare dati di diverso tipo utilizzando una piattaforma PC, si è sempre di più imposta come una valida alternativa low cost ai sistemi dedicati che spesso presentano senza dubbio, prestazioni più elevate ma anche costi meno sostenibili.

Nell'ambito dell'Istituto di Radioastronomia si è in questi anni sviluppato una notevolissima esperienza nella progettazione e nella costruzione di spettrometri per qualsiasi tipo di utilizzo; ultimamente si è presentata la possibilità di sviluppare uno strumento in grado di realizzare l'analisi spettrale di segnali, con lo scopo di migliorare le prestazioni di strumenti costruiti alcuni anni or sono per i radiotelescopi di Medicina e Noto (per es. ARCOS), con un costo pari a zero e con possibilità di utilizzo proporzionali allo sviluppo ed all'impiego di tecniche digitali, che oggi sono un importante motore nella tecnica radio.

Lo strumento in questione è stato chiamato SPARKLE (SPectral Analysis using maRK5 for Line Emission); esso si compone di diversi sistemi distribuiti nati ciascuno per differenti scopi, ma che opportunamente programmati possono essere utilizzati proprio per realizzare gli obiettivi di cui sopra.

D'altra parte il software SPARKLE nasce esso stesso da una evoluzione del software **CHCHK** realizzato da G. Maccaferri ed A.Orlati in ambito VLBI per l'analisi ed il controllo di dati VLBI, e si sviluppa allo scopo di dare un ampio spettro di strumenti di analisi del dato.

Questo rapporto interno si propone di descrivere il sistema nelle sue parti e di guidarne l'utente ad un corretto uso.

Si ringraziano tutti i colleghi dell'Istituto di Radioastronomia per i consigli, gli stimoli e lo scambio di competenze che devono sempre essere il motore della ricerca.

## 2. SPARKLE: IL sistema.

Lo strumento si struttura in due sottosistemi principali, rispettivamente il primo di acquisizione, il secondo di analisi e riduzione dei dati. Entrambi i sottosistemi sono composti da strumentazione già esistente nelle nostre stazioni radioastronomiche, prevalentemente ad uso VLBI ma che si sono dimostrati utili e performanti anche in ambito single dish, come dimostrano i risultati che saranno prodotti più avanti.

Il sistema di acquisizione dati è descritto in figura 1.

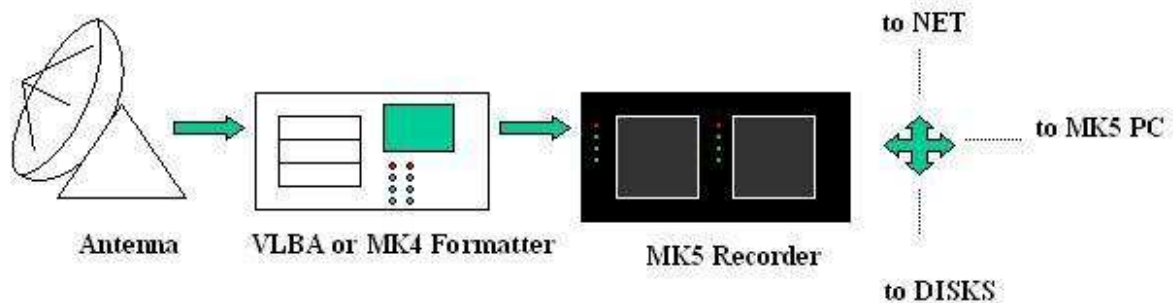


Fig. 1 Sistema di acquisizione e immagazzinamento dati

Il segnale proveniente dal front end del ricevitore in dual polarization, viene elaborato dal formatter Mark 4, il quale realizza una conversione Analogico\Digitale con una velocità variabile fino a 1024 Mbit/sec e con una dinamica di 2 bit di quantizzazione.

L'informazione viene così impacchettata in frame o VSI word che contengono anche riferimenti temporali, controlli di errore con parità e analisi di qualità del segnale elaborato. Quindi ogni word viene immagazzinata nel Recorder MARK 5, che in genere si compone di 2 pacchi disco di capacità variabile (fino ad un massimo di 3.2 TB), con una velocità di scrittura anche essa variabile fino a 1024 Mbit/sec.

Fino a questo punto le procedure eseguite sono le stesse di un normale esperimento VLBI, fermo restando che tali procedure non passano per il drudg ma vengono appositamente scritte per il telescopio in uso, operazione che come vedremo sarà trasparente per l'operatore.

Ogni scan registrato viene quindi immagazzinato nei pacchi disco, oppure viene smistato in rete in un qualsiasi altro server Mk5, oppure viene portato sul Server Mk5 locale e da qui immagazzinato in un qualsivoglia supporto di memoria, oppure processato in tempo reale.

La quantità di memoria allocabile per ogni scan è relativa al numero di canali che si vogliono utilizzare, alle polarizzazioni in questione ed alla risoluzione spettrale richiesta; le grandezze in

questione sono non indifferenti per cui è sempre bene progettare un esperimento in modo tale da minimizzare l'occupazione di memoria dei dati.

### 3. SPARKLE: Interfaccia grafica.

Non esiste un'unica interfaccia grafica per il software realizzato; in realtà essa può essere di volta in volta adattata in base alle esigenze di analisi e di visualizzazione del dato; di fatto sono state realizzate decine di interfacce diverse, anche in base alle funzioni implementate, proprio allo scopo di rendere il software modulare e adattarlo a diversi scopi ed esperimenti.

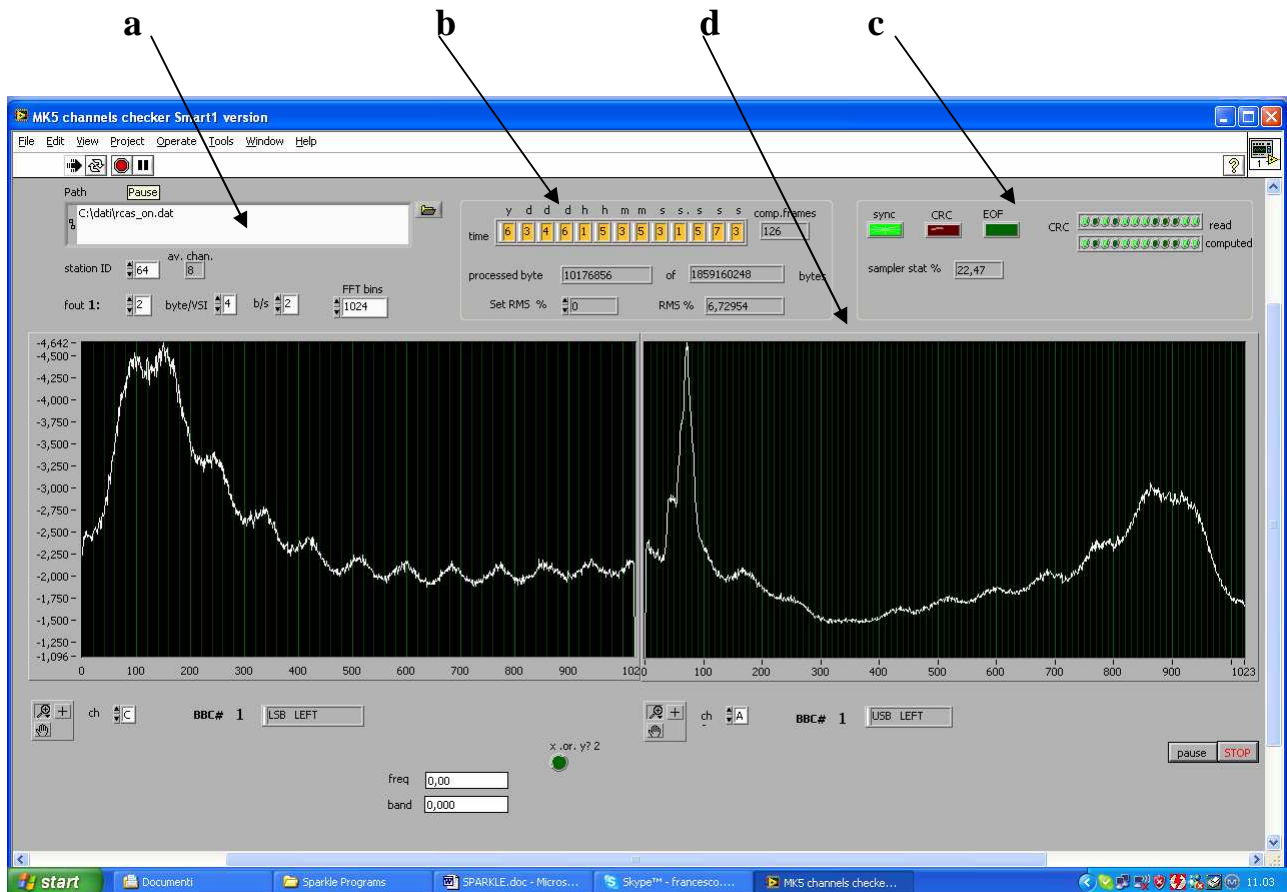


Fig. 2 Interfaccia Grafica di SPARKLE

In figura 2 per esempio è rappresentata una applicazione di doppia visualizzazione dei canali LSB (sinistra) ed USB (destra) di un BBC (Base Band Converter) nei quali è stato registrato una riga di emissione a 43 GHz di R Cassiopeia; come si vede è possibile visualizzare tutta la banda disponibile fino a 32 MHz nel caso in cui ogni Side Band del BBC in questione viene fissato a 16 MHz di banda; chiaramente ogni spettro viene poi salvato in files, viene effettuata la correzione ON-OFF e la calibrazione per il valore di marca, in modo da avere una rappresentazione definitiva del segnale in tutta la banda. Nel caso in questione è anche possibile visualizzare il processo di integrazione dello spettro acquisito, fermarlo manualmente quando esso è arrivato ad un punto

opportuno, oppure scegliere un valore opportuno di RMS, arrivato al quale il software si interrompe automaticamente.

Nel pannello è possibile in generale identificare 4 sezioni principali:

- a) Sezione di impostazione dati: si impostano i dati di registrazione MK4-MK5 tramite i quali vengono stabiliti il file in uscita al Mark5 contenente i dati che si vogliono analizzare la velocità di riproduzione dei dati, i bit di quantizzazione del segnale ed il numero di canali della FFT che si vogliono visualizzare; non è richiesta all'utente nessuna conoscenza del formato dati MK4 ne dei dati da immettere per il funzionamento del software (per es. Fan out, byte x VSI, etc.) in quanto come vedremo più avanti , è stato realizzato un altro software per pianificare una esperimento con SPARKLE che rende trasparente all'utente tutto ciò.
- b) Sezione di controllo avanzamento file; da le informazioni temporali dell'esperimento, le frames ed i byte processati ed il valore di RMS raggiunto rispetto a quello impostato.
- c) Sezione di sincronizzazione; è una sezione nella quale è visualizzata l'informazione di fine file, di CRC e di Formatter Sync, tutte informazioni che garantiscono la correttezza della registrazione e della riproduzione.
- d) Sezione di visualizzazione: si visualizza il contenuto di ogni BBC nelle sue sottobande, selezionabili da operatore oppure da programma Plan; ogni pannello grafico ha un tool di zoom, ed eventualmente è possibile realizzare altri strumenti di analisi, quali per esempio cursori interattivi. In altre applicazioni è stato implementato anche un tool di spettrogramma, che è stato fondamentale nelle applicazioni di Space Debris nelle quali è coinvolto l'Istituto di Radioastronomia.

Naturalmente è possibile aggiungere altri pannelli grafici o altri strumenti di analisi e di visualizzazione, in base alle esigenze dell'utente, in modo da costruire volta per volta uno strumento versatile, modulare e quindi adattabile al tipo di applicazione e di funzioni che si vogliono implementare.

Nel paragrafo seguente sono descritte alcune applicazioni disegnate ad hoc per alcuni esperimenti di rilievo.

### 3. SPARKLE: Esempi di sviluppo

#### a. SPARKLE SPECGRAM

Il software è stato sviluppato e concepito in ambito Space Debris per il monitoraggio di eventi di Debris spaziale; in questo caso non vi è integrazione di segnale, si ha solo una decodifica dei dati di segnale quantizzato a 2 bit, quindi si realizza uno spettro di Fourier in modulo ogni 5 millisecondi, e si visualizza ogni spettro in uno spettrogramma che registra gli spettri (asse y in frequenza) al variare del tempo (in asse x).

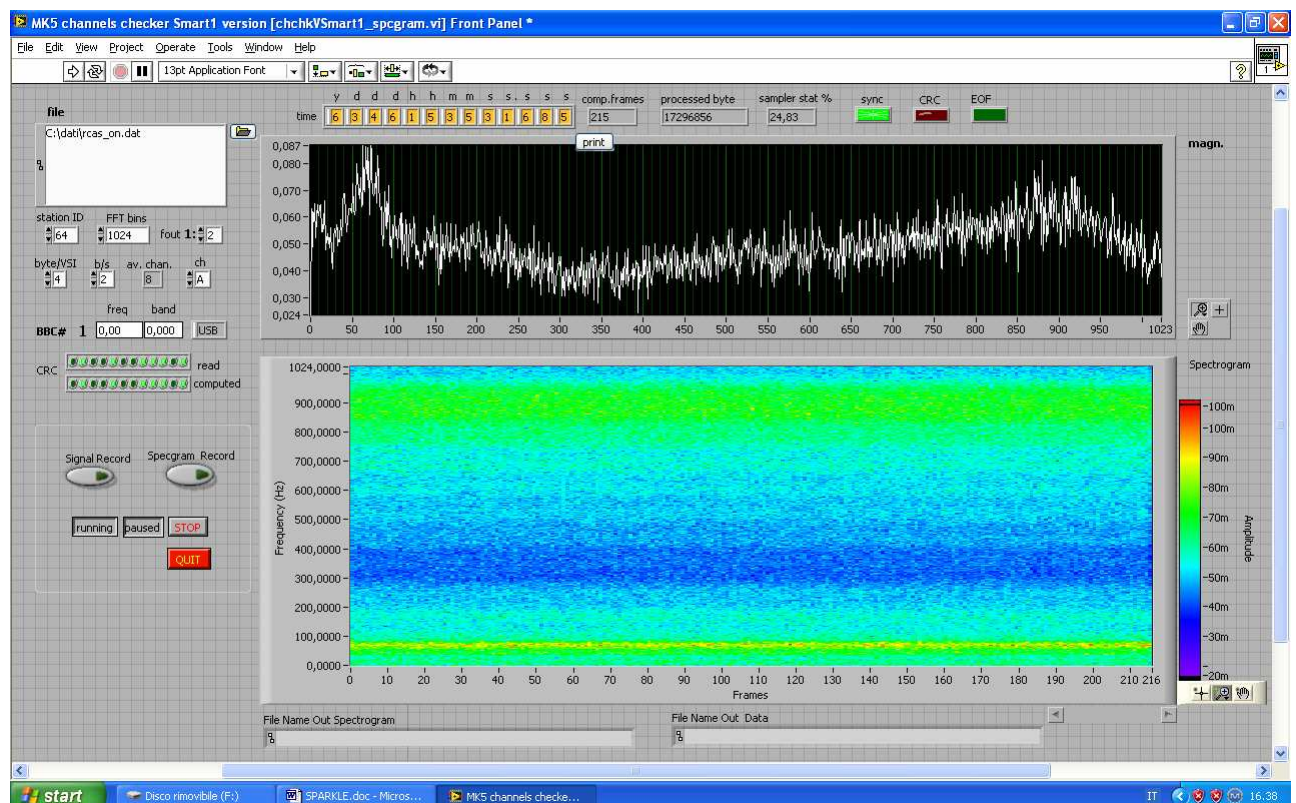


Fig. 3 SPECGRAM per Space Debris.

Naturalmente è possibile anche integrare gli spettri in modo da avere uno spettro mediato nel tempo, oppure oltre al modulo è possibile visualizzare anche la fase dello spettro, o comunque fare una qualsiasi elaborazione, essendo l'ambiente versatile. Grazie a questo software è stato possibile registrare alcuni eventi Debris, avendo a disposizione una risoluzione temporale adeguata per seguire ogni evento in modo preciso.

## b. SPARKLE SMART 1

Il software è stato sviluppato nell'ambito dell'esperimento SMART 1 condotto a fine 2006 al fine di monitorare il sottile strato ionosferico lunare; il segnale ricevuto dalla sonda SMT1 in orbita polare intorno alla luna viene registrato ed analizzato realizzando uno spettro di Fourier nel quale si studia la portante principale emessa dalla sonda, in particolare l'andamento in ampiezza di tale portante mentre la sonda si occultava oppure emerge dal lembo lunare. Viene prodotto quindi il classico pattern di diffrazione di una sorgente in moto parallelo ad uno schermo opaco, il disco lunare appunto. In base a tale pattern di diffrazione si è studiato quale è il momento in cui l'ampiezza raggiunge un quarto del picco massimo, e le coordinate della sonda proprio in questo istante.

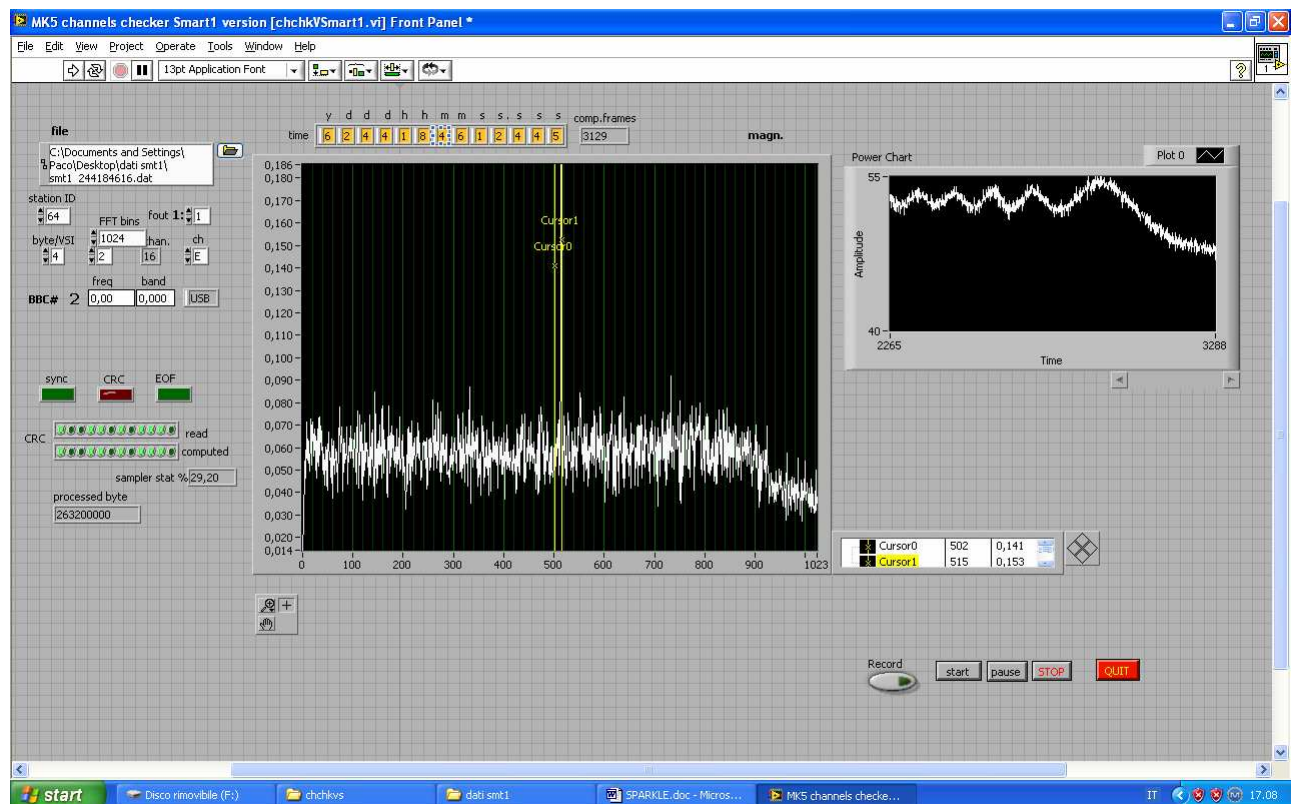


Fig. 4 SPARKLE per SMART 1

La posizione ricavata è ben al di sotto di circa 3' rispetto al bordo lunare, il che sta a provare la presenza di una shell ionosferica che deforma il cammino del raggio portante principale. I dati comunque sono ancora in fase di analisi, proprio per cercare di misurare la densità e l'altezza della shell, che tuttavia appare abbastanza debole.

Altri esperimenti sono stati condotti con la sonda Venus Express ed in futuro con altre sonde che dovrebbero occultarsi con la luna, per cercare di avere dati che provino i dati fino ad ora

raccolti. Da notare che è stato inserito uno strumento in grado di calcolare la potenza istantanea della portante, in grado poi di visualizzarne il valore nel grafico a sinistra che dimostra in modo evidente il pattern di diffrazione. Questa operazione è una delle tante che possono essere fatte in real time sul segnale, il che dimostra quanto potente sia SPARKLE come ambiente di sviluppo di metodi di analisi e visualizzazione del dato.

### **c. SPARKLE POLAR**

Il software permette di misurare i parametri di Stokes di segnali radio, realizzando una cross correlazione tra le due polarizzazioni, ed una correzione in real time dei parametri spuri di contaminazione di una polarizzazione rispetto all'altra, contaminazioni dovute essenzialmente a caratteristiche strumentali dei ricevitori in questione.

Le correlazioni sono realizzate mediando il le FFT del segnale ricevuto sia in fase che in ampiezza e moltiplicandoli tra loro con prodotto complesso, oppure semplicemente realizzare delle correlazioni del segnale nel dominio del tempo e da queste determinare i parametri ed i coefficienti spuri con complesse procedure implementabili in tempo reale. Anche questo lavoro è in progress e comunque anche qui SPARKLE si dimostra essere uno strumento utile e performante al fine di realizzare uno strumento di misura delle componenti di polarizzazione.

### **d.SPARKLE CORR**

Si tratta di un vero e proprio autocorrelatore software in grado di raggiungere prestazioni confrontabili in termini temporali con i crosscorrelatori in dotazione a Noto e Medicina (ARCOS) , ma tuttavia fornire determinate informazioni capaci di portare a termini altri tipi di studi. Si pensi per esempio alla possibilità di studiare fino a 32768 canali di spettro da autocorrelazione, oppure alla possibilità di visualizzare spettri ampi fino a 32 MHz di banda, oppure ancora quella di analizzare un numero indefinito di canali sorgenti, limitato solo dalla capacità di 14 BBC del sistema MK4 o VLBA4, alla possibilità di salvare i dati in formati testo , FITS e via dicendo. Il sistema è meno versatile e l'ingombro di memoria dei dati è non indifferente, ma esso si può affermare come una valida alternativa nel momento in cui per una osservazione siano indispensabili le caratteristiche di cui sopra.

### **e. SPARKLE KLT**

E' stato implementato un software per l'analisi KLT (Karhunen Loeve Transform) di segnali a banda stretta con rapporto segnale rumore molto basso; anche qui il lavoro è in progress, ed in ogni caso è il primo tentativo di analisi di segnali in real time con trasformata KL.



## f. SPARKLE VLBI CORR

Un'idea potrebbe essere quella di sviluppare un software in grado di correlare i segnali di diverse antenne, in modo da creare un array distribuito (per esempio italiano) ed ottenere dei risultati con tempi e modalità che non sono quelli della rete VLBI attuale.

## 4. SPARKLE PLAN

Spesso utilizzare il software SPARKLE può risultare non semplice, soprattutto per coloro che non sono specialisti nella conduzione di esperimenti con terminale MARK4-VLBA4 e recorder MK5; risulta quindi necessario realizzare un software intermedio tra l'operatore e SPARKLE in grado di pianificare un determinato esperimento, impostarne le caratteristiche ed i parametri, realizzare il trasferimento dati predisporre questi ultimi per la riduzione. Tale software è stato chiamato SPARKLE PLAN e vuole essere un importante strumento da affiancare a qualsiasi versione dello spettrometro in fase di realizzazione di un determinato esperimento.

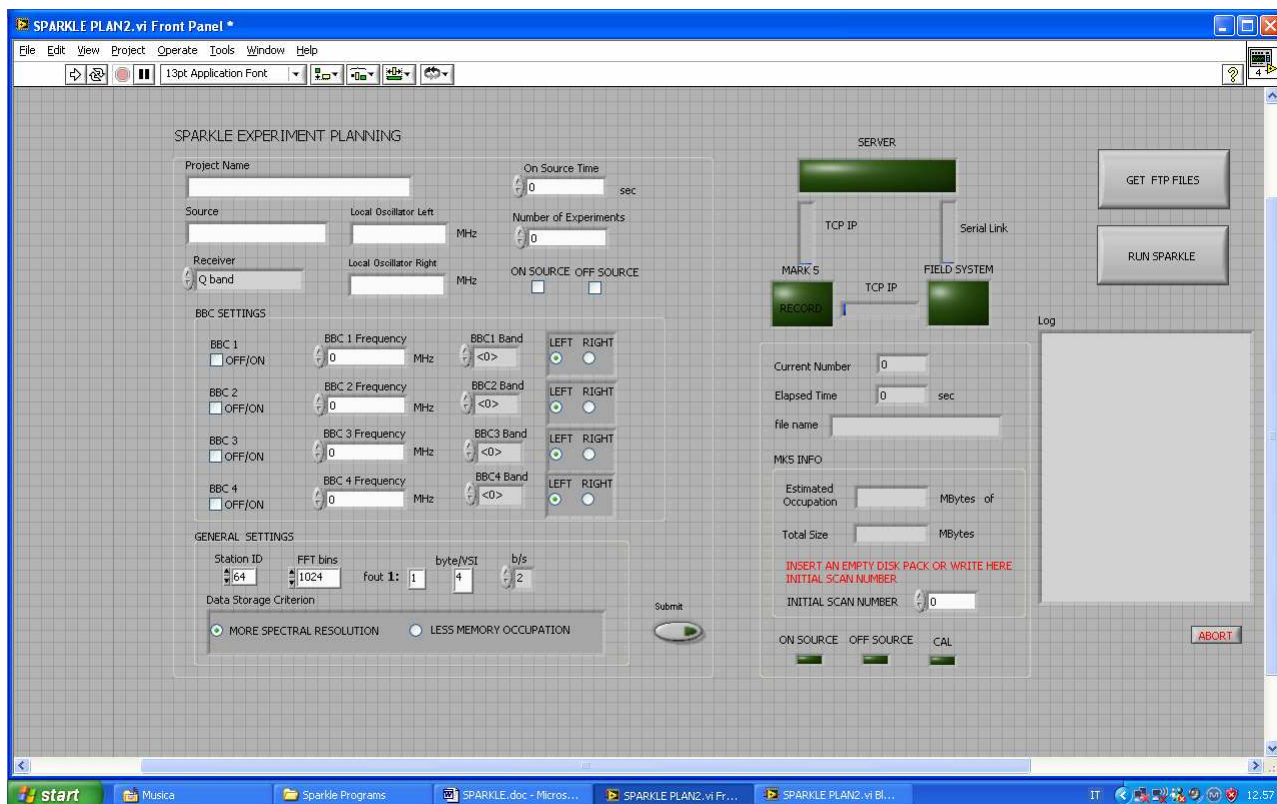


Fig. 5 SPARKLE PLAN

Il pannello ha diversi campi che permettono di stabilire le proprietà dell'esperimento da pianificare quali ad esempio sorgente, numero di BBC di input da impostare, loro frequenza ampiezza di banda e polarizzazione, tempo di integrazione necessario ad ottenere un determinato rms, ricevitore da utilizzare ed valore dell'oscillatore locale, numero di canali fft da realizzare.

Inoltre il pannello è dotato di controlli per seguire il flusso dati, per es. da Mark5 a PC di servizio via ftp, oppure flusso di controllo da Field System a Mark5 e via dicendo.

Infine esiste un campo che permette la scelta tra un registrazione con minore occupazione di memoria ed una con maggiore risoluzione spettrale, a seconda delle esigenze dell'operatore; questa scelta permette di completare il quadro dei settaggi da dare al terminale MK4-VLBA4 ed al recorder MK5 per la registrazione dei dati.

Una cosa fondamentale è quella di assicurarsi che i collegamenti tra le diverse unità del sistema siano funzionanti; in particolare:

- 1) collegamento PC SERVER- Field System; connessione seriale con il programma fs2com funzionante on board al Field System; si gestisce l'invio dei comandi dal PC al FS e tramite questi si comanda anche il Mark5; è dunque un canale di servizio e di comandi.
- 2) collegamento PC SERVER-MARK 5; connessione FTP per il flusso dati; permette di avere il flusso dei dati che vengono poi ridotti con SPARKLE.
- 3) Collegamento FS- MK5; uguale al collegamento usato in ambito VLBI utilizzando tecniche e procedure interne ai due protocolli.

## 5. Conclusioni.

Il software SPARKLE è uno spettrometro digitale che permette di affiancare ed a volte sostituire strumenti già datati (come per esempio ARCOS a Noto) per l'analisi spettrale di segnali radioastronomici. La modularità, la flessibilità e la semplicità lo rendono uno strumento dinamico ma anche affidabile visto che non ha un vera e propria struttura Hardware residente , ma si compone di strumenti già esistenti ed utilizzati per fare VLBI. In definitiva le vengono sintetizzate le caratteristiche di questo strumento che, ricordiamo, è stato realizzato con un costo pari a zero:

- a) Tempo di riduzione dati confrontabile (purtroppo in alcuni casi maggiore) di ARCOS;
- b) Numero di Segnali in ingresso pari a 8 (4 bbc con le loro doppie polarizzazioni)
- c) Banda totale osservabile fino a 32 MHz.
- d) Fino a 79360 canali fft;
- e) Data Storage in formato FITS, ma anche in formato testo.

- f) Conservazione dei dati Mk5 grezzi quantizzati a 2 bit per ulteriori applicazioni;
- g) Controllo in real time degli spettri ottenuti;
- h) Interfaccia di controllo e monitoraggio in real time del flusso dati tra le diverse unità coinvolte;
- i) Pianificazione degli esperimenti;
- j) Modularità nelle funzionalità e negli strumenti di analisi per applicazioni di diverso tipo;
- k) Remotizzazione di tutto il sistema per consentire il lavoro da qualsiasi postazione collegata in rete.

## **Bibliografia**

- [1] **Mark5 channels checker** - G. Maccaferri, A. Orlati, Radiotelescopio di Medicina, IRA-INA F
  
- [2] **Mark IIIA /VLBA tape formats, recording modes and compatibility** – Revision 1.12 Mark IV MEMO #230.2 , A. Whitney, MIT Haystack Observatory.
  
- [3] **Mark5A command set v2.5**, MIT Haystack Observatory