

# Ricerca di controparti ottico IR del fast radio burst FRB180301

Maria Vittoria Di Miceli<sup>1</sup>, Martina Matteuzzi<sup>2</sup> e Emanuele Turbanti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Liceo M. Malpighi

<sup>2</sup> Liceo F. Arcangeli

<sup>3</sup> Liceo E. Fermi

## Sommario

In questo scritto riportiamo il risultato del nostro stage che consisteva nella ricerca di controparti del Fast Radio Burst (FRB) scoperto il 1 Marzo 2018 (180301) rivelate in immagini ottiche e infrarosse. Le immagini sono state ottenute nel corso di due notti di osservazioni con i telescopi VST (ottico) e VISTA (infrarosso) situati in Cile. In particolare abbiamo cercato oggetti che fossero variati tra le due notti o che coincidessero con galassie di tipo 'green pea'. È infatti da uno di questi oggetti che è stata accertata la provenienza di un altro FRB, FRB121102, l'unico ad essersi ripetuto. Abbiamo in particolare investigato una regione di spazio di circa 15 minuti d'arco di raggio nella zona delle immagini che corrisponde alla regione di incertezza di provenienza del burst. Il risultato del nostro lavoro è stata la produzione di grafici e tabelle utili a questa indagine

## Introduzione

- **Fast Radio Burst.** Il fenomeno astrofisico FRB si manifesta come un impulso radio transitorio, con durata di pochi millisecondi. Trattasi di lampi estremamente luminosi nella banda radio provenienti da regioni esterne alla nostra galassia. Fino ad ora sono stati osservati circa 20 FRB, rilevati grazie a telescopi che effettuano indagini su regioni di cielo molto ampie, ma con una scarsa risoluzione spaziale. Questo rende estremamente complesso individuare la loro zona di provenienza. FRB121102, rilevato dal radiotelescopio Arecibo (Fig. 1), ha suscitato particolare scalpore in quanto è l'unico di cui sono state osservate delle ripetizioni. Questo ha permesso ai ricercatori di individuarne una possibile sorgente. Sembra infatti che questa sia situata in una galassia lontana 3 miliardi di anni luce caratterizzata da alta formazione stellare e con uno spettro tendente al verde.

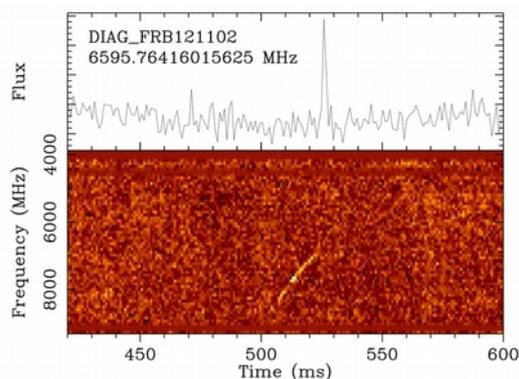


Figura 1: FRB121102, Spettro tempo-frequenza e profilo dell'impulso nel radio come osservato dal radiotelescopio di Arecibo.

- **Magnitudine degli oggetti celesti.** La magnitudine numero che esprime la luminosità di un oggetto celeste, secondo una scala logaritmica crescente per valori decrescenti di luminosità; il termine è oggi preferito a quello, più ambiguo, di grandezza stellare, in uso nel passato.
- **Istituto Nazionale di Astrofisica.** L'INAF ([www.inaf.it](http://www.inaf.it)) svolge un ruolo fondamentale nella ricerca astronomica e astrofisica mondiale, con 18 sedi nel suolo nazionale più il Telescopio Nazionale Galileo a La Palma (Isole Canarie). Partecipa a diversi progetti di enorme portata scientifica e tecnologica, come quello della ricerca sulle onde gravitazionali.
- **Seeing.** E' il parametro che si usa per definire la qualità osservativa di un luogo. Esso può cambiare anche a distanza di minuti perché dipende soprattutto dalla “trasparenza”, “stabilità” e “umidità” dell'aria. Viene tipicamente misurato usando strumenti specifici.

Avendo fatto scalpore ultimamente la scoperta degli FRB, è su di essi che si è concentrato il nostro stage *Sperimestate* 2018. L'obiettivo era quello di trovare nelle immagini prese da due telescopi puntando la regione da cui era stato rivelato FRB180301 e individuare le galassie presenti, identificare gli oggetti variati da una notte all'altra e analizzare i risultati attraverso grafici e statistiche.

## Osservazioni

Le immagini analizzate sono state fornite dai telescopi VST (VLT Survey Telescope) e VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) che osservano il cielo attraverso filtri e strumentazione nelle bande ottico ed infrarosse, rispettivamente. Sono entrambi situati nel nord del Cile.

VST (Fig. 2) ha un diametro di 2.6 metri accoppiato ad una fotocamera CCD di 268 megapixel, che gli consentono di coprire un ampio intervallo di lunghezza d'onda, dall'ultravioletto all'ottico. Il VST è stato progettato per fotografare velocemente grandi aree di cielo e con alta sensibilità. In particolare le immagini che sono state prese in considerazione dalla ricerca eseguita coprono una regione di  $1^\circ \times 1^\circ$  ma noi abbiamo usato solo la zona centrale di raggio pari a 15 minuti d'arco ( $0.25^\circ$ ).

VISTA (Fig. 3) ha uno specchio principale di 4.1 metri di diametro e può fornire immagini della grandezza di 67 megapixel coprendo un'area di cielo di  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ . All'interno della camera, sensibile alle frequenze infrarosse, ci sono 16 rilevatori, con un peso complessivo di 3 tonnellate. Questa caratteristica consente di osservare oggetti difficili da vedere con una strumentazione ottica, come quelli coperti da polveri. Inoltre il seeing migliora notevolmente con questo tipo di telescopi, che richiede tuttavia particolare manutenzione e condizioni climatiche specifiche. Per questo motivo è stato costruito in Cile, vicino agli edifici del VLT. Anche in questo caso noi abbiamo considerato soltanto la regione di  $0.25^\circ$  intorno al centro delle immagini.



Figura 2: il telescopio VST



Figura 3: il telescopio VISTA

## Analisi dati

Il procedimento utilizzato è stato suddiviso in due branche:

- **Studio 1.** Ricerca delle galassie presenti nel campo, eventualmente aventi caratteristiche simili a quelle dei cosiddetti ‘Green Pea’ (oggetti con spiccata emissione nel colore verde), attraverso l’utilizzo di software quali ‘GAIA’ (Fig. 4) e ‘TOPCAT’ rispettivamente per ricavare informazioni sulle caratteristiche degli oggetti presenti nelle immagini e per confrontarle con i cataloghi (*Panstarrs* e *SDSS9*) ricavandone dei grafici.
- **Studio 2.** Confronto fra la magnitudine degli oggetti rivelati nelle immagini delle due notti per la ricerca di oggetti in cui questa risulta variata, sempre con l’utilizzo dei programmi e dei cataloghi sopra elencati.

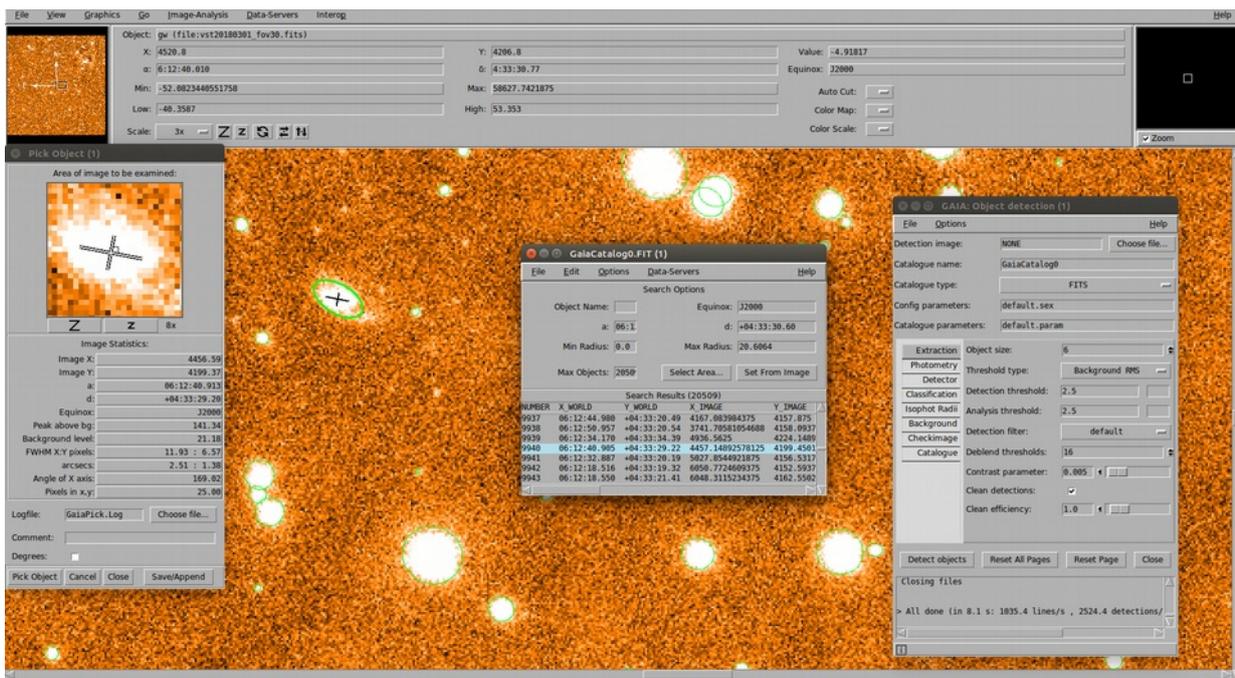
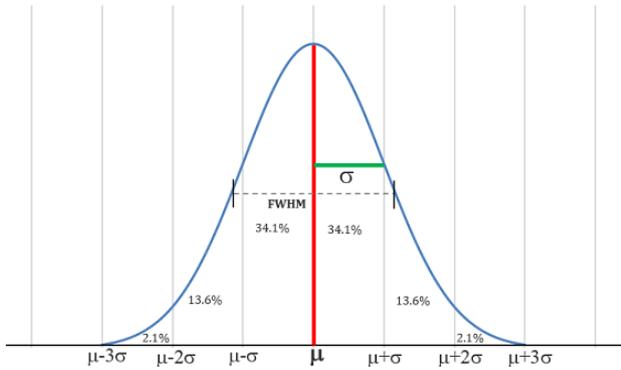


Figura 4: Utilizzo del programma GAIA nell’analisi della prima notte di VST.

## STUDIO 1

Il procedimento seguito per l’analisi delle immagini di VISTA e VST è il medesimo. Innanzitutto è necessario, attraverso il terminale, aprire GAIA. Per poter individuare gli oggetti desiderati il programma richiede l’inserimento di alcuni parametri, diversi per VST e VISTA, di cui la maggior parte erano reperibili tramite l’header dell’immagine. L’unico parametro da calcolare è stato l’‘Aperture Size’ (l’area in pixel su cui misurare la magnitudine), che in questo caso, per convenienza, si è fatto corrispondere a  $3\sigma$  della PSF. Per calcolare  $\sigma$  è stata utilizzata l’equazione derivata da una gaussiana (Fig. 5) in quanto i conteggi misurati per ogni sorgente nell’immagine seguono circa questo andamento. La misura del  $\sigma$  riportata qui di seguito si riferisce alla prima notte VST, ma è analogo per tutte le altre immagini.



$$FWHM = \sqrt{2\ln(2)} \times \sigma$$

$$\sqrt{2\ln(2)} = 2.354$$

$$3.2 = 2.354\sigma$$

$$\sigma = 1.359$$

$$3\sigma = 4.07$$

Figura 5: Definizione di FWHM e  $\sigma$  per una gaussiana

La tabella degli oggetti trovati, salvata in formato FITS, è stata poi caricata sul programma TOPCAT (Fig. 6).

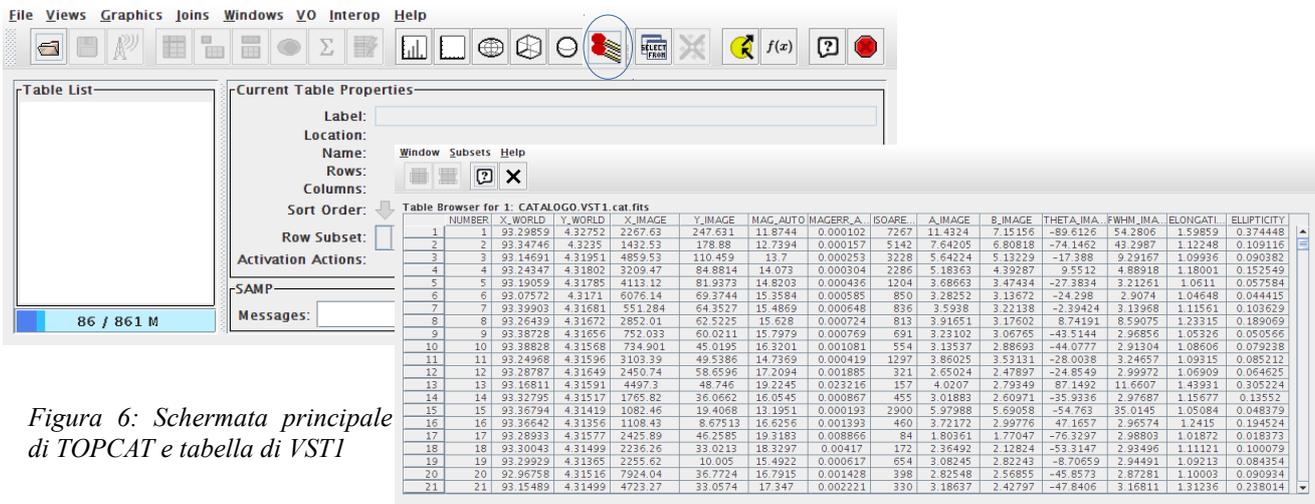


Figura 6: Schermata principale di TOPCAT e tabella di VST1

Per escludere gli oggetti non ricercati si sono messe delle condizioni sui valori della magnitudine e della FWHM, creando dei sottoinsiemi con la funzione 'Subset'. In particolare abbiamo cercato gli elementi che potevano essere galassie escludendo gli oggetti troppo luminosi e i pixel troppo saturati applicando la selezione  $\text{Mag} > 16$  e  $\text{FWHM} < 2.8$  (Fig. 7). A questo punto è stato possibile distinguere le probabili galassie ( $\text{FWHM} > 3.6$ ) dalle probabili stelle.

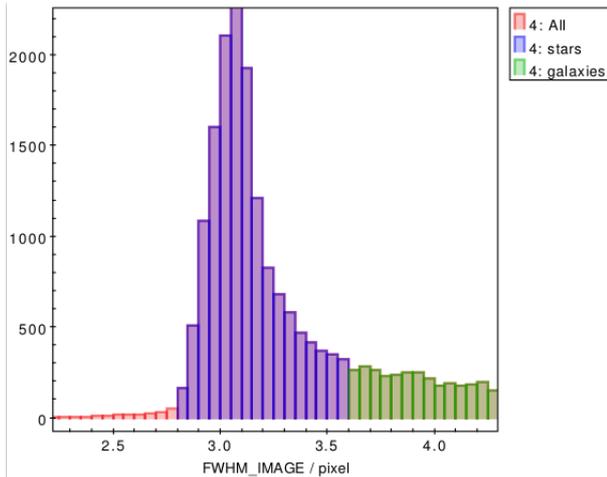


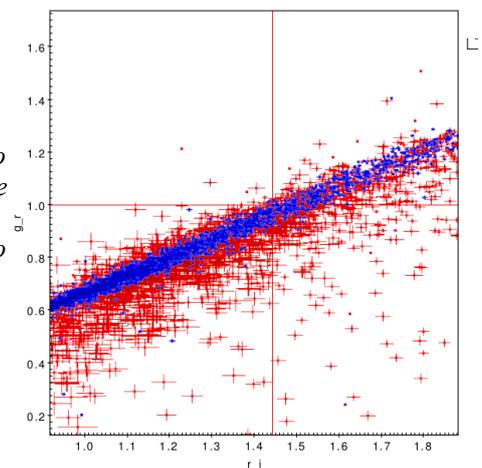
Figura 7: TOPCAT: istogramma della FWHM degli oggetti individuati; la regione in verde identifica le possibili galassie.

È stato necessario eseguire un match (opzione che consente di confrontare due o più tabelle) fra il catalogo ‘Panstarrs’ e i dati ottenuti, per verificare che questi ultimi fossero conformi al catalogo stesso. Successivamente si sono aggiunte alla tabella due colonne che descrivono l’indice di colore delle galassie (proprio per vedere se ce ne fossero alcune più “verdi”) che sono poi state utilizzate per realizzare un grafico (Fig. 8-9). Nel catalogo sono tuttavia presenti valori non corretti, poiché talvolta il telescopio Panstarrs non effettua misurazioni con alcuni filtri o si manifesta il fenomeno del ‘blurring’, che consiste nell’eccessiva saturazione dei pixel e nel conseguente errore di conteggi. È stato dunque necessario ‘ripulire’ i dati inserendo delle limitazioni attraverso un subset. Realizzato il grafico sono stati aggiunti gli errori, sulle ascisse e sulle ordinate, della magnitudine grazie al valore ‘MAGERR\_AUTO’ dato dalla tabella.

g	r	i	z	colore_r_i	colore_g_r
-999	22.1956	21.5938	-999	0.601801	-1021.2
-999	21.3559	-999	-999	1020.36	-1020.36
-999	-999	21.5387	18.7558	-1020.54	0
20.9355	-999	-999	-999	0	1019.94
19.1825	17.8455	17.0466	16.6275	0.798901	1.337
20.8084	20.1584	19.6824	19.4677	0.476	0.65
-999	22.0418	21.6255	20.8242	0.4163	-1021.04
21.7892	20.8892	20.3237	19.9036	0.5655	0.9
20.92	20.1628	19.7784	19.4048	0.384399	0.7572
-999	21.4198	-999	20.2769	1020.42	-1020.42
18.7168	18.0118	17.6458	17.4354	0.366001	0.705
18.9551	18.2827	17.959	17.7966	0.3237	0.6724
20.2954	18.9591	18.2705	17.9615	0.688601	1.3363
-999	19.7488	-999	-999	1018.75	-1018.75
21.6826	20.8275	20.0846	19.7221	0.742899	0.855101
17.3231	16.6547	16.3216	16.1849	0.333099	0.6684
19.3616	18.645	18.3345	18.1892	0.310501	0.7166
21.7734	21.1341	20.6678	20.4841	0.466299	0.639299

Figura 8: Tabella con le magnitudini ottenute da Panstarrs tramite l’acquisizione di immagini con diversi filtri. Le ultime due colonne riportano il cosiddetto “indice di colore” e sono state ottenute dalla sottrazione delle magnitudini: nel primo caso di ‘r’ ed ‘i’, nel secondo di ‘g’ ed ‘r’.

Figura 9: Grafico raffigurante le due colonne di cui sopra. In rosso sono rappresentati tutti i valori ottenuti, in blu solo quelli del subset con le restrizioni (e quindi ‘puliti’). L’immagine è stata ricavata grazie ai dati forniti da VST. Il procedimento è stato analogo per i dati di VISTA.



## STUDIO 2

Il procedimento seguito per il confronto delle due notti con VISTA e VST è il medesimo che per lo Studio 1. Innanzitutto sono stati estratti i dati delle quattro immagini con il programma GAIA. Utilizzando TOPCAT è stato possibile, sempre attraverso l'opzione 'match', confrontare le due notti.

L'obiettivo era quello di considerare gli oggetti apparsi o scomparsi da una notte all'altra. Per farlo è stata usata la funzione '1 xor 2' di 'match', che consente di estrarre gli oggetti della prima tabella non presenti nella seconda e viceversa. Inoltre è stato effettuato un'ulteriore match tra una tabella precedentemente trovata che selezionava, le galassie e il match appena trovato. Dato che tutti gli oggetti rilevati rientravano nel catalogo *Panstarrs* possiamo concludere che nessuno di tali oggetti è apparso o scomparso improvvisamente; dunque nessuno era particolarmente interessante ai fini della ricerca. La motivazione reale per cui alcuni oggetti sembravano essere presenti solo in una delle due notti è che i singoli CCD delle camere dei telescopi coprono aree di cielo limitate e di conseguenza le immagini vengono sovrapposte lasciando dei 'buchi' dove la visibilità è inferiore.

Figura 10: La funzione '1 xor 2'

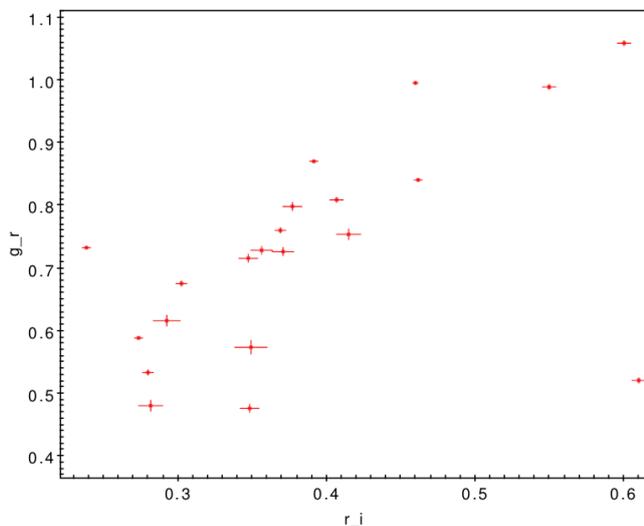
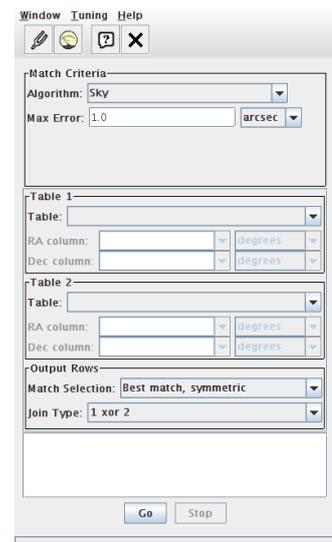


Figura 11: Grafico match tra (galassie) e match (Panstarrs ((VST) e (VISTA))).



Fatto ciò è stato creato un'ulteriore match utilizzando però '1 and 2' fra le due notti e successivamente confrontandolo con il catalogo. Per selezionare gli oggetti con maggiore variazione, è stato realizzato un nuovo subset per cui vale:

$$\text{DeltaM} = \text{abs}(\text{Mag1} - \text{Mag2}) > 3 \times (\text{err\_Mag1} + \text{err\_Mag2})$$

Infine è stata posta un altro limite che imponeva  $\text{DeltaM} > 0.4$ . In questo modo si sono evidenziati gli oggetti che, nelle due immagini, risultavano molto variati.

Confrontando i risultati così ottenuti con il catalogo delle galassie di VST1 da cui abbiamo ottenuto un grafico (Fig. 11).

## **Risultati e conclusioni**

Terminato il lavoro, il nostro gruppo di lavoro ha osservato che:

- Nel primo studio le possibili galassie trovate risultano senza peculiarità, in particolare non dei 'green pea'. Infatti i valori e i grafici delle FWHM e degli indici di colore non presentano valori particolari.
- Nel secondo studio abbiamo notato che molti degli oggetti variabili, ad un confronto visuale si sono scoperti essere stelle molto vicine tra loro, rivelati come un unico oggetto dagli algoritmi per la rivelazione. Non ci sono criteri giusti o sbagliati per stabilire quali siano gli oggetti di interesse, spesso difatti si va a tentativi. Bisogna poi aggiungere criteri di conseguenza.

In definitiva la nostra indagine non ha trovato possibili controparti per l'evento FRB180301.

## **Bibliografia:**

[https://it.wikipedia.org/wiki/Lampo\\_radio\\_veloce](https://it.wikipedia.org/wiki/Lampo_radio_veloce)

[https://it.wikipedia.org/wiki/VISTA\\_\(telescopio\)](https://it.wikipedia.org/wiki/VISTA_(telescopio))

<https://www.eso.org/public/teles-instr/paranal-observatory/surveytelescopes/vst/>

<http://www.media.inaf.it/2016/11/17/scoperto-il-lampo-radio-piu-brillante-di-tutti/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Radiotelescopio\\_di\\_Arecibo](https://it.wikipedia.org/wiki/Radiotelescopio_di_Arecibo)

<http://cats.iasbo.inaf.it/>

<http://www.treccani.it/vocabolario/magnitudine/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Magnitudine\\_apparente](https://it.wikipedia.org/wiki/Magnitudine_apparente)