



# Calibrazione di fase per array E/W a bassa frequenza

*G. Pupillo<sup>1</sup>, A. Mattana<sup>1</sup>, G. Naldi<sup>1</sup>*

IRA 467/13

*Istituto di Radio Astronomia, Bologna, INAF*

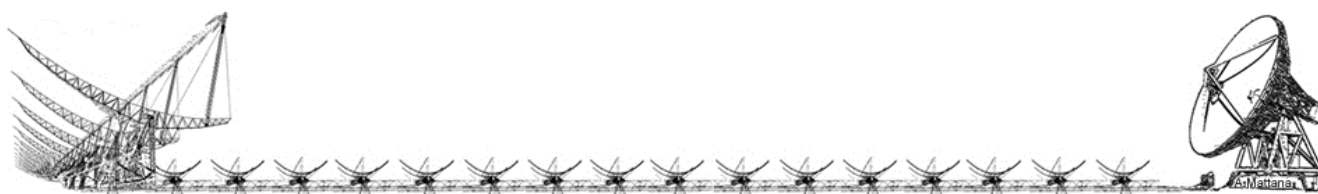


Referee: S. Montebugnoli



---

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>CALCOLO DELLA CORREZIONE DI FASE</b> .....	<b>5</b>
ALGORITMO .....	5
INDIVIDUAZIONE DEL MASSIMO "CENTRALE" DI FRANGIA .....	8
FILTRI .....	12
<b>ESEMPIO DI CALIBRAZIONE DI LOFAR (BEST-LO)</b> .....	<b>14</b>
<b>MANUALE UTENTE DEL SOFTWARE DI CALIBRAZIONE</b> .....	<b>18</b>
CONFIGURA.TXT .....	19
OBSERVATION.TXT.....	20
BASELINE.TXT .....	21
DEFAULT_FILTER.TXT.....	22
INTERFACCIA UTENTE .....	23
AVVIO DELL'ELABORAZIONE.....	24
VISUALIZZAZIONE GRAFICA DEI DATI .....	25
OUTPUT DELL'ELABORAZIONE .....	26
<b>ACRONIMI</b> .....	<b>27</b>



## Introduzione

Tutte le operazioni che coinvolgono i radiointerferometri (sintesi del fascio, beamforming, ecc.) presuppongono che siano stati corretti i ritardi e gli errori di fase strumentali delle singole catene riceventi. In queste note si considera che i ritardi siano stati equalizzati, prendendo quindi in considerazione solo le fasi. Alcuni errori di fase hanno un carattere non deterministico o sono difficili da stimare a priori. A titolo di esempio si considerino i cambiamenti di fase causati dalle variazioni di temperatura nelle diverse sezioni della linea di trasmissione del segnale. Tali errori devono essere misurati e corretti con una frequenza che dipende dalla stabilità di fase di ogni catena ricevente.

Questo documento descrive l'algoritmo e il software sviluppato per la calibrazione di fase in array lineari (E/W) a bassa frequenza.

Il software di calibrazione è stato testato con successo su differenti configurazioni strumentali:

1. Interferometro con 4 canali originali del ramo E/W della Croce del Nord
2. Array BEST-1 (dimostratore SKADS)
3. Singoli cilindri dell'array BEST-2 (dimostratore SKADS)
4. Array di antenne BEST3-LO (LOFAR) installate sul secondo cilindro del ramo E-W

Durante la calibrazione, gli array sopra indicati hanno operato in singola polarizzazione con una banda passante compresa tra 2 MHz e 4.5 MHz.

I segnali provenienti dalle antenne sono stati preamplificati, filtrati e trasmessi ai backend mediante link in fibra ottica per BEST-1, BEST-2, BEST3-LO e attraverso cavo coassiale per i canali originali della Croce del Nord. Per il campionamento e l'elaborazione dei segnali di BEST-2 e BEST3-LO sono stati usati i backend digitali IBOB-BEE2 operanti su schede basate su FPGA sviluppate dal consorzio CASPER.

Il design delle FPGA che calcola e produce i file delle baseline sono state realizzate in collaborazione con il Dott. Marco Bartolini.

La misurazione delle correzioni di fase qui descritta è stata condotta mediante un metodo di calibrazione astronomico, basato sulla misura delle frange di interferenza prodotte durante il transito di opportune radiosorgenti (calibratori) considerate puntiformi rispetto alle dimensioni del beam.



# Calcolo della correzione di fase

## Algoritmo

Esponiamo ora l'algoritmo che abbiamo implementato per la determinazione della correzione di fase. Da ora in avanti con il termine fase si intenderà la fase strumentale, ossia la fase relativa alle catene riceventi (antenna, ricevitore, linea di trasmissione, ecc.). Errori di fase fuori dalla catena ricevente (ad esempio prodotti dalla ionosfera) potranno essere corretti solo successivamente alla calibrazione di fase strumentale, mediante altre procedure (es. self-calibration).

Date due antenne disposte in direzione E-W, sia  $\phi_E$  la fase dell'antenna a est della coppia e  $\phi_W$  la fase dell'antenna a ovest. Prendiamo come riferimento di fase, ad esempio, l'antenna a est. La differenza di fase tra le due antenne sarà:  $\Delta\phi = \phi_W - \phi_E$ .

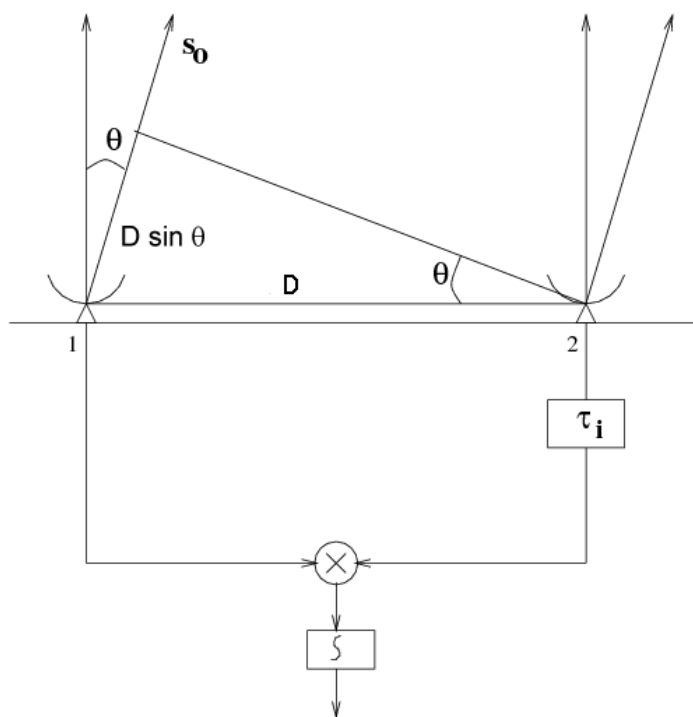


Fig. 1 – Schema di un interferometro semplice.  $\tau_i$  indica il ritardo strumentale dell'antenna 2 rispetto all'antenna 1 scelta arbitrariamente come riferimento.



Nel caso in cui  $\Delta\phi > 0$  si avrà un ritardo, aggiuntivo a quello geometrico  $\tau_g = \frac{D \cdot \sin(\theta)}{c}$ , nel segnale che arriva al correlatore proveniente dalla catena ricevente dell'antenna a ovest rispetto a quello dell'antenna a est. I segnali delle due antenne risulteranno in fase (massimo della frangia interferometrica) quando la posizione della sorgente sarà tale da produrre un ritardo geometrico  $\tau_g$  sull'antenna a est che compenserà il ritardo strumentale  $\tau_i$  (Fig. 1). Pertanto, il massimo di interferenza avverrà in ritardo rispetto al passaggio della sorgente al centro del beam dell'interferometro.

Viceversa, nel caso in cui  $\Delta\phi < 0$  il massimo di interferenza anticiperà il transito al meridiano della sorgente, mentre quando  $\Delta\phi = 0$  le antenne sono già in fase e non c'è alcuna correzione da applicare.

Se definiamo  $\Delta\tau = t_{\max} - t_{\text{trans}}$  la differenza tra il tempo in cui viene registrato il massimo interferometrico più prossimo al centro del beam e il tempo in cui transita la sorgente al centro dello stesso beam, si ha:

$$\Delta\phi > 0 \Rightarrow \Delta\tau > 0 \quad (\text{massimo ritardato})$$

$$\Delta\phi < 0 \Rightarrow \Delta\tau < 0 \quad (\text{massimo anticipato})$$

La velocità angolare  $\dot{\theta}$  di una sorgente che attraversa con moto siderale il beam dell'antenna è data da:

$$\dot{\theta} = \frac{2\pi \cos(\delta)}{86164.0905} \quad [\text{rad/s}] \quad (1.1)$$

In cui la costante al denominatore è il numero di secondi in un giorno siderale e  $\delta$  è la declinazione della sorgente.

La differenza di cammino ottico del segnale incidente sulle due antenne è (Fig. 1):

$$\Delta L = D \sin(\theta) \quad (1.2)$$

in cui, sostituendo l'espressione dell'angolo  $\theta$  come funzione del tempo  $\Delta\tau$  trascorso dal transito della sorgente al meridiano, si ha:



$$\Delta L = D \sin\left(\frac{2\pi \cos(\delta) \Delta \tau}{86164.0905}\right) \quad (1.3)$$

Il 1° zero interferometrico si ha quando  $\frac{\Delta L}{\lambda} = \frac{1}{2}$ , caso in cui le onde interferiscono distruttivamente con una differenza di fase di  $\pi$  radianti (opposizione di fase). Quindi è possibile esprimere la variazione di fase in funzione del tempo trascorso dal transito al meridiano della sorgente attraverso la relazione:

$$\Delta \phi = 2\pi \frac{D}{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi \cos(\delta) \Delta \tau}{86164.0905}\right) \quad (1.4)$$

La correzione di fase da apportare al segnale proveniente dall'antenna a ovest è quindi:

$$\Delta \phi_{corr} = -2\pi \frac{D}{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi \cos(\delta) \Delta \tau}{86164.0905}\right) \quad (1.5)$$

Nel caso in cui si fosse presa l'antenna a ovest come riferimento, la correzione di fase da apportare al segnale proveniente dall'antenna ad est avrebbe avuto segno opposto, cioè:

$$\Delta \phi_{corr} = 2\pi \frac{D}{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi \cos(\delta) \Delta \tau}{86164.0905}\right) \quad (1.6)$$

Le relazioni precedenti sono state calcolate assumendo che la sorgente fosse animata da moto siderale apparente.

Nel caso particolare in cui si scelga il Sole come sorgente di calibrazione, nel calcolo della velocità angolare nel beam è necessario considerare che il moto apparente solare si discosta da quello siderale. In tal caso la costante al denominatore 86164.0905 può essere sostituita, con buona approssimazione, da 86400, che è il numero di secondi in un giorno solare medio.

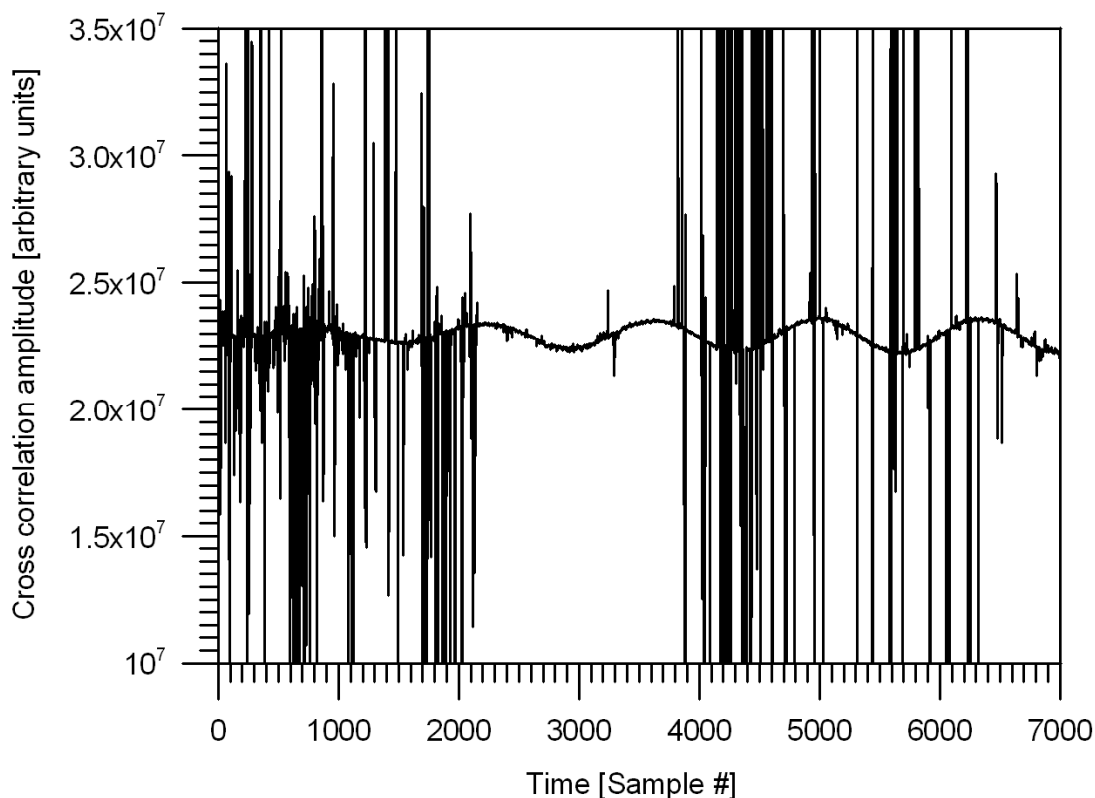
Per essere precisi, a causa della variazione della velocità orbitale della Terra e dell'obliquità dell'eclittica, la durata del giorno solare vero cambia nel corso dell'anno, ma la differenza di durata tra giorno solare medio e giorno solare vero non supera i 30 secondi.



## Individuazione del massimo “centrale” di frangia

Da quanto si è detto è chiaro che per calcolare la correzione di fase occorre determinare quando si verifica il massimo di frangia più prossimo al centro del beam. Nel caso ideale, se le frange interferometriche fossero esenti da interferenze e avessero un elevato rapporto S/N, basterebbe individuare il massimo assoluto delle frange stesse.

Nei casi reali le frange interferometriche, specialmente se si opera con array a bassa frequenza e a banda larga, sono fortemente contaminate da interferenze di origine antropica e naturale che rendono difficile l’identificazione della figura di interferenza (Fig.2).



*Fig. 2 – Correlazione dei segnali ricevuti dalla coppia di antenne 1-3 di LOFAR installate sulla Croce del Nord. La sorgente di cui si osserva il transito è il Sole. Si notino le forti interferenze che si sovrappongono alle frange di interferenza.*





Per il riconoscimento automatico delle frange e l’identificazione del massimo principale si è scelto un metodo di fitting multiparametrico che utilizza la procedura MPFIT e le sue subroutine (autore Craig B. Markwardt) sviluppate per l’ambiente IDL. Le librerie di MPFIT sono reperibili sul sito del suo autore:

<http://cow.physics.wisc.edu/~craigm/idl/idl.html>

MPFIT è una procedura robusta, basata sull’algoritmo di Levenberg-Markwardt, che è stata sviluppata per risolvere un problema dei minimi quadrati. In generale, data una funzione multiparametrica (il “modello”) definita dall’utente, MPFIT calcola i parametri del modello che meglio si accordano, nel senso dei minimi quadrati, con i dati sperimentali. Rispetto ad altre procedure di fitting più semplici, essa permette, ad esempio, di congelare o di imporre dei constraints ai parametri del modello.

Come modello abbiamo scelto la risposta simulata di un interferometro semplice, in funzione del tempo trascorso dal transito della sorgente al meridiano locale. In altre parole l’origine dell’asse dei tempi è l’istante in cui il tempo siderale locale (LST) coincide con l’ascensione retta attualizzata (corretta quindi per la precessione e la nutazione) della sorgente di calibrazione.

Dopo alcuni test abbiamo selezionato tre modelli:

- modello con un parametro libero (traslazione sull’asse dei tempi)
- modello con 2 parametri liberi (traslazione sull’asse dei tempi e ampiezza massima di frangia)
- modello con 3 parametri liberi (traslazione sull’asse dei tempi, ampiezza massima di frangia, traslazione sull’asse d’ampiezza)

Tali modelli contengono anche altri parametri fissati dall’utente in base alla configurazione geometrica dell’interferometro, al tipo di antenne che lo compongono e di correlatore utilizzato.

La risposta di un interferometro semplice ad una sorgente puntiforme posta in campo lontano (diffrazione di Fraunhofer) è data dal prodotto della componente di frangia con il beam pattern della singola antenna dell’interferometro.



Nell'interferometro a prodotto la componente di frangia ha come espressione:

$$fringe(t, \Delta\tau) = \cos \left\{ 2\pi \cdot \frac{D}{\lambda} \sin \left[ \dot{\theta} \cdot (t + \Delta\tau) \right] \right\} \quad (1.7)$$

in cui:

$D$  = baseline proiettata sul fronte d'onda piano [m]

$\lambda$  = lunghezza d'onda [m]

$\dot{\theta}$  = velocità angolare della sorgente [rad/s]

$t$  = tempo contato a partire dall'istante di transito della sorgente [s]

$\Delta\tau$  = shift temporale della frangia causato dalla fase strumentale [s]

Come pattern d'antenna è stata scelta la figura di diffrazione di un'apertura rettangolare, poiché essa si adatta abbastanza bene alla risposta delle antenne che compongono gli interferometri su cui è stata applicata questa procedura di calibrazione.

L'utente, nel file di configurazione del software, definisce le ampiezze del lobo principale a metà potenza (HPBW) lungo i piani E ed H.

In funzione del tempo  $t$ , il programma calcola le coordinate altazimutali della sorgente e per mezzo di esse determina le separazioni angolari orizzontale  $\varphi_x(t)$  e verticale  $\varphi_y(t)$  della sorgente rispetto al centro del beam.

Nell'ipotesi di apertura rettangolare, la risposta normalizzata dell'antenna in funzione della direzione della sorgente può essere calcolata attraverso la relazione:

$$P_n(\varphi_x, \varphi_y) = \left\{ \frac{\sin[k \cdot a \cdot \sin(\varphi_x)]}{k \cdot a \cdot \sin(\varphi_x)} \right\}^2 \left\{ \frac{\sin[k \cdot b \cdot \sin(\varphi_y)]}{k \cdot b \cdot \sin(\varphi_y)} \right\}^2 \quad (1.8)$$



che, per  $\varphi_x \ll 1$  rad e  $\varphi_y \ll 1$  rad, può essere approssimata con:

$$P_n(\varphi_x, \varphi_y) = \left[ \frac{\sin(k \cdot a \cdot \varphi_x)}{k \cdot a \cdot \varphi_x} \right]^2 \left[ \frac{\sin(k \cdot b \cdot \varphi_y)}{k \cdot b \cdot \varphi_y} \right]^2 \quad (1.9)$$

in cui:

$$k \cdot a = \frac{3.79}{HPBW_x} \quad [\text{rad}]$$

$$k \cdot b = \frac{3.79}{HPBW_y} \quad [\text{rad}]$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \text{numero d'onda} \quad [m^{-1}]$$

2a = apertura della fenditura nella direzione x [m]

2b = apertura della fenditura nella direzione y [m]

Per altri tipi di antenne oppure nel caso fosse necessaria una maggiore precisione nella descrizione del beam, sarebbe possibile implementare il programma per ricevere in input il file ASCII contenente il pattern d'antenna ottenuto dalle simulazioni elettromagnetiche

Come modello a un parametro della risposta interferometrica abbiamo posto:

$$R(t, \Delta\tau) = \text{fringe}(t, \Delta\tau) \cdot P_n(\varphi_x(t), \varphi_y(t))$$

per il modello a 2 parametri:

$$R(t, \Delta\tau, R_{\max}) = R_{\max} \cdot \text{fringe}(t, \Delta\tau) \cdot P_n(\varphi_x(t), \varphi_y(t))$$

ed infine per il modello a 3 parametri:

$$R(t, \Delta\tau, R_{\max}, R_{\text{offset}}) = R_{\max} \cdot \text{fringe}(t, \Delta\tau) \cdot P_n(\varphi_x(t), \varphi_y(t)) + R_{\text{offset}}$$

A MPFIT viene indicata, a seconda dei casi, una di queste funzioni come modello da adattare ai dati osservativi. Indipendentemente dal modello utilizzato, l'unico parametro che viene effettivamente impiegato nella calibrazione è  $\Delta\tau$  che, sostituito nella (1.5) o nella (1.6), permette di determinare la correzione di fase  $\Delta\phi_{\text{corr}}$ .



## Filtri

Per la calibrazione di BEST-1 e BEST-2 la procedura di fitting dei dati osservativi non ha posto particolari problemi perché, osservando in una banda di frequenze protetta, le interferenze sono estremamente ridotte e le frange risultano pulite e ben identificabili.

Al contrario, i dati di BEST3-LO, operando tale interferometro ad una frequenza più bassa, con antenne relativamente poco direttive e su una banda non riservata alla radioastronomia, risultano fortemente contaminati dalle RFI. In queste condizioni, il fitting dei dati grezzi spesso non converge oppure restituisce valori dei parametri poco accurati.

Per questo motivo è stato necessario implementare nel software di calibrazione una serie di filtri per ripulire i dati prima che questi siano inviati alla procedura di fitting.

I filtri implementati, in ordine di applicazione, sono:

- Selezione del subset di dati
- Min-Max
- Sigma rejection
- Running average

### Selezione del subset di dati

Spesso solo una parte dello stream di dati acquisiti dall'interferometro risulta utilizzabile per la calibrazione. Per questo è possibile indicare al programma di selezionare solo tale porzione del vettore dati. A tale scopo, è sufficiente che l'utente specifichi l'indice inferiore e quello superiore della porzione del vettore dati da considerare. La successiva elaborazione (dal filtraggio al fitting) sarà eseguita solo sul subset di dati selezionato.

### Min-Max

È un filtro che rigetta i dati interferometrici che sono inferiori o superiori a un valore minimo e massimo, rispettivamente. Tali valori sono fissati dall'utente nella configurazione del filtro e servono per eliminare le RFI più forti o i dati spuri che potrebbero creare problemi durante l'esecuzione del filtro Sigma Rejection.



## Sigma Rejection

E' un filtro molto efficace, la cui procedura IDL è stata sviluppata da Gianluca Li Causi (licausi@mporzio.astro.it). Esso consiste nell'eliminare dal vettore dati quegli elementi che superano la soglia di un certo numero di sigma calcolato in un intorno fissato del dato considerato.

L'utente può stabilire:

- la soglia di sigma (sigma threshold) oltre la quale eliminare il dato
- il numero di dati (box), intorno all'elemento considerato, su cui calcolare il sigma
- il numero di iterazioni (iter) da eseguire

Inoltre, nel nostro caso, abbiamo indicato al filtro di usare la mediana, anziché la media, nel calcolo della deviazione standard.

## Running average

E' un filtro che esegue una media mobile sul vettore dei dati. L'utente può definire la dimensione del box in cui eseguire la media mobile. Ed è l'ultimo dei filtri ad essere applicato prima della procedura di fitting.



## Esempio di calibrazione di BEST3-LO

Come esempio di applicazione del software di calibrazione, consideriamo i risultati ottenuti sull'array BEST3-LO (LOFAR) installato nella stazione radioastronomica di Medicina. L'array è costituito da 18 antenne Log-periodiche poste sulla linea focale di una sezione del ramo E/W della Croce del Nord. Delle 18 antenne disponibili, nei test osservativi vengono usate solo le 16 centrali, da 1B a 9A (Fig. 3).

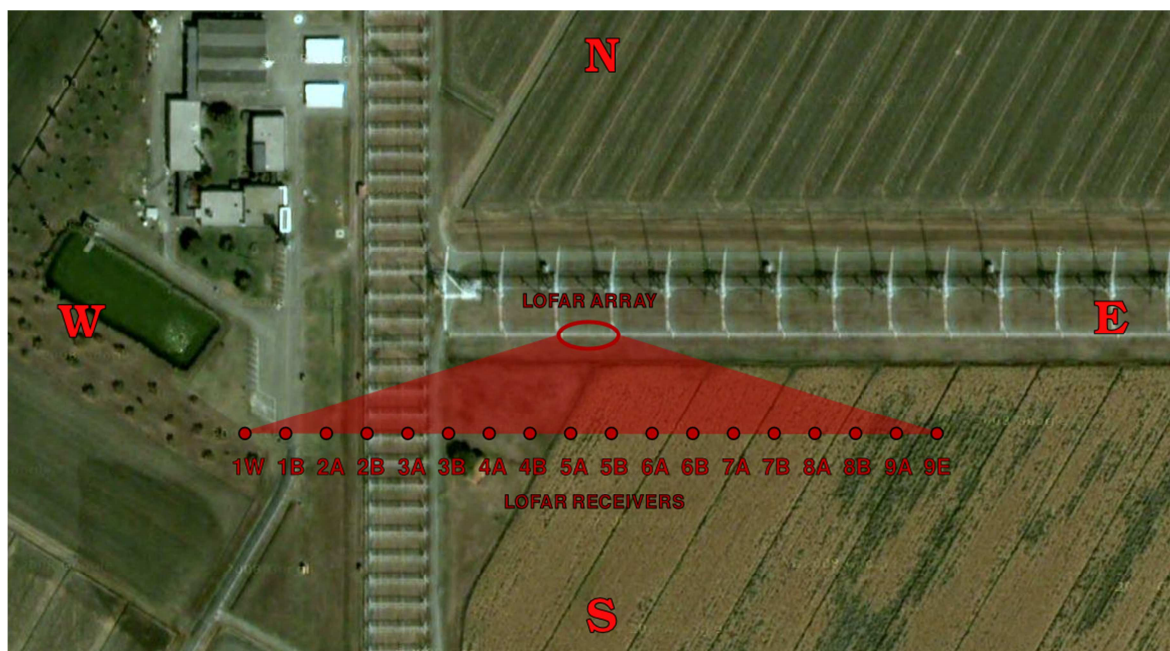


Fig. 3 - Denominazione convenzionale delle antenne logperiodiche di BEST3-LO installate sulla Croce del Nord.

Un array composto da  $N$  antenne ha  $\frac{N(N-1)}{2}$  coppie interferometriche distinte, ma per la calibrazione sono sufficienti  $N-1$  correlazioni. Nel nostro caso, le coppie interferometriche utilizzate per la calibrazione di BEST3-LO, con le relative baseline, sono elencate in Tab. 1.



<b>BASELINE</b>	<b>Receiver 1</b>	<b>Receiver 2</b>	<b>Distance [m]</b>
0	1B	9A	18.75
1	2A	9A	17.50
2	2B	9A	16.25
3	3A	9A	15.00
4	3B	9A	13.75
5	4A	9A	12.50
6	4B	9A	11.25
7	5A	9A	10.00
8	1B	8B	17.50
9	1B	8A	16.25
10	1B	7B	15.00
11	1B	7A	13.75
12	1B	6B	12.50
13	1B	6A	11.25
14	1B	5B	10.00

*Tab. 1 – Coppie interferometriche usate per la calibrazione di BEST3-LO (LOFAR)*

Le frange di interferenza relative alle baseline in Tab. 1 sono mostrate in Fig. 4 per il sistema non calibrato. Le frange sono state ottenute sfruttando il transito del Sole in data 28 Aprile 2010.



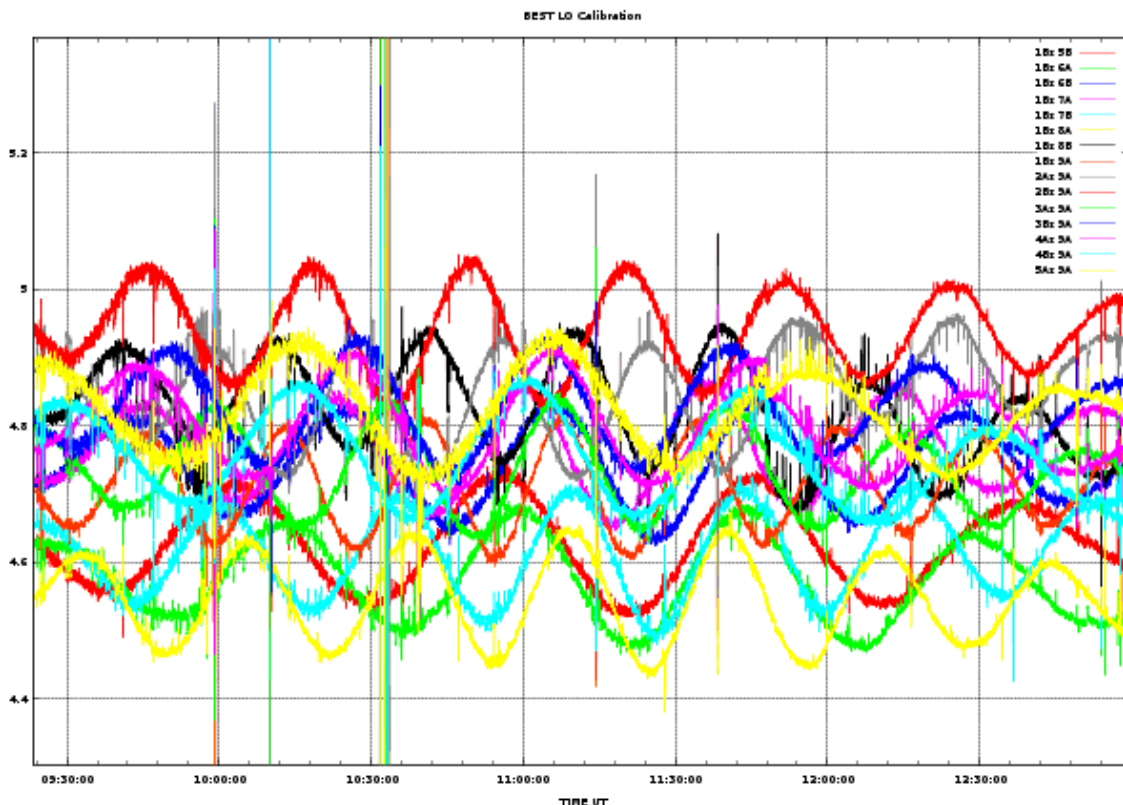


Fig. 4 - Frange interferometriche delle coppie di antenne di BEST3-LO acquisite durante il transito del Sole in data 28 Aprile 2010, prima della calibrazione.

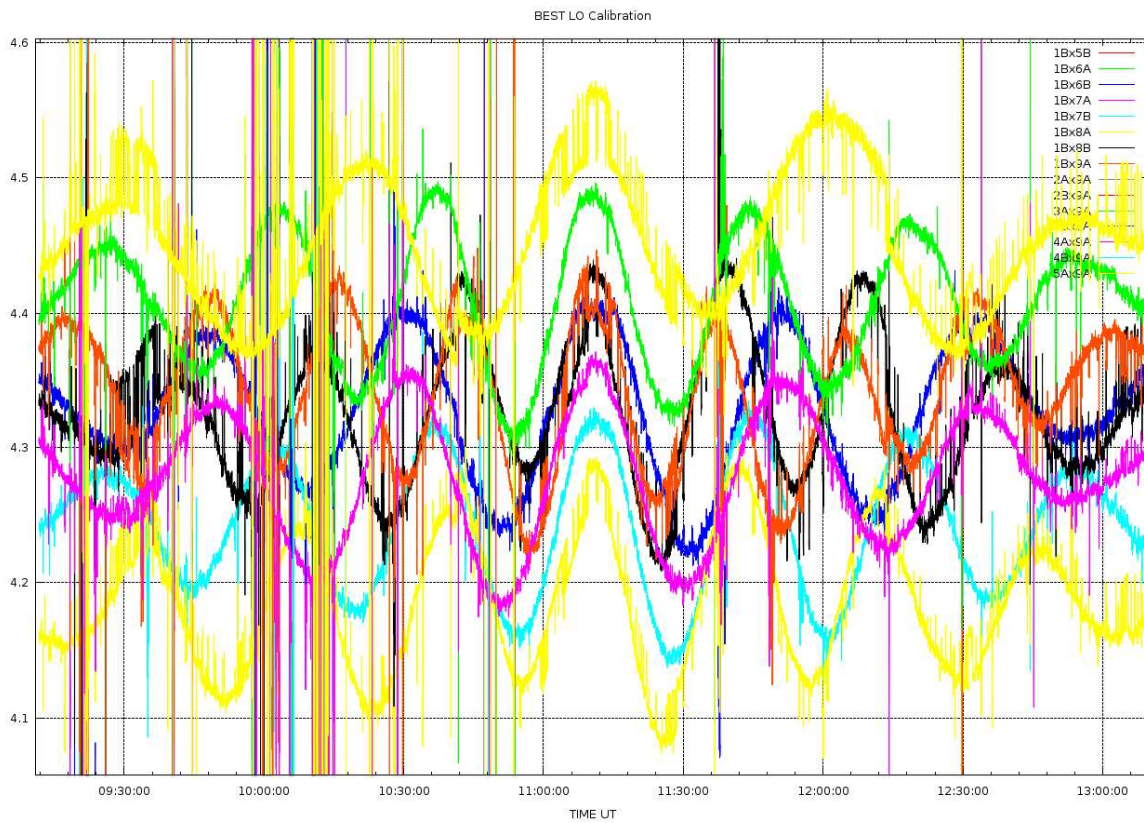
I dati relativi a queste frange sono stati elaborati con il software di calibrazione descritto nel presente report, prendendo l’antenna 9A come antenna di riferimento. Come risultato dell’elaborazione sono state ottenute le correzioni di fase, espresse in gradi, mostrate nella seguente tabella.

1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B	7A	7B	8A	8B
+43.63	-180.12	-114.97	+41.69	+66.98	+47.01	+88.74	+37.93	-70.37	-56.87	-4.96	-68.56	+25.19	+24.12	+37.02

Tali correzioni sono state applicate dai backend digitali ai segnali provenienti da ciascuna antenna. Per verificare la calibrazione dell’array, il giorno successivo è stata effettuata una nuova osservazione del calibratore, che ha prodotto le frange mostrate in Fig. 5.







*Fig. 5 - Frange interferometriche delle coppie di antenne di BEST3-LO acquisite durante il transito del Sole in data 29 Aprile 2010, dopo la calibrazione dell'array.*

E' possibile constatare che con l'array calibrato, i massimi principali di frangia delle diverse baseline risultano perfettamente allineati al momento del transito del Sole al meridiano.



## Manuale utente del software di calibrazione

Il software di calibrazione descritto nei paragrafi precedenti è stato sviluppato in ambiente IDL.

IDL (Interactive Data Language) è un linguaggio di programmazione molto usato nell'analisi dati, numerici e vettoriali, comunemente utilizzato per elaborare interattivamente dati di grandi dimensioni. Il codice per essere eseguito necessita dell'esecuzione in background della IDL Runtime Machine per cui, essendo un interprete di comandi, la maggior parte dei controlli sul codice non vengono effettuati a livello di compilazione bensì a livello di run-time.

IDL Development Environment (in breve anche IDLDE) include strumenti predefiniti di editing e debug tra cui: un editor di testo, un log dell'output, una finestra di ispezione delle variabili locali e globali, un prompt dei comandi e il GUIBuilder che permette di creare facilmente dei widget (interfacce grafiche a finestre) conosciute anche comunemente col nome di GUI (graphic user interfaces).

Il software di calibrazione è suddiviso in più procedure e funzioni che devono essere compilate da IDL in un ordine determinato. L'ordine di compilazione è definito nel file di progetto che ha estensione ".prj".

Quando viene eseguito il codice del progetto, viene creata e visualizzata la finestra principale, dalla quale vengono caricati i parametri contenuti nei file ASCII di configurazione principale e ausiliari.

Il file CONFIGURA.txt (situato nella stessa directory del progetto), contiene informazioni sulla convenzione usata per i nomi degli altri file ausiliari di INPUT/OUTPUT.

La seguente tabella mostra i valori di default e le funzioni dei file ausiliari:

CONFIGURA.txt	IN	File di configurazione principale
BASELINE.txt	IN	Definisce l'antenna di riferimento, le baseline e le loro lunghezze
DEFAULT_FILTER.txt	IN	Definisce i parametri dei filtri
OBSERVATION.txt	IN	Definisce il target e le coordinate dell'osservatore
OUTPUT.txt	OUT	File di testo che conterrà le correzioni di fase



Di seguito viene mostrato un esempio dei file di configurazione:

## CONFIGURA.txt

```
# File di configurazione
#
# La lista delle baseline si trova in questo file
# (controllare al suo interno la sua sintassi)
BASELINE_LIST_FILE=BASELINE.txt

# Le baseline (es. 1Ax5B) possono avere un prefisso
# (es. bl_1Ax5B.dat) ed hanno estensione 'dat'
BASELINE_PREFIX=bl_

# Il carattere/stringa separatore di antenne nel nome del file
# (es. bl_1Ax5B.dat) il separatore è x
#ANT_SEPARATOR=x
ANT_SEPARATOR=x

# Il prefisso degli output per ogni baseline
# (es. OUTPUT_PREFIX=output_ risulterà in
#   output_bl_1Ax5B.txt)
OUTPUT_PREFIX=output_

# Il file dei parametri della baseline
# (conf. dei filtri, coordinate, etc)
# si chiamerà come la baseline ma con estensione 'par'
# (es. bl_1Ax5b.par
#   controllare al suo interno la sua sintassi)

#
# File dei parametri di default dei filtri
#
DEF_FLT=DEFAULT_FILTER.txt

# Il nome del file di output riepilogative di tutte le nuove fasi
FILE_FASI=FASI_DA_APPLICARE.txt
```

Come si evince dal contenuto di questo file, la convenzione dei nomi dei file delle baseline non è rigida, il correlatore che produce le baseline può assegnare dei nomi alle baseline senza dover conoscere il formato che si aspetta il software di calibrazione poiché completamente reimpostabile ad alto livello senza modificare il codice IDL.

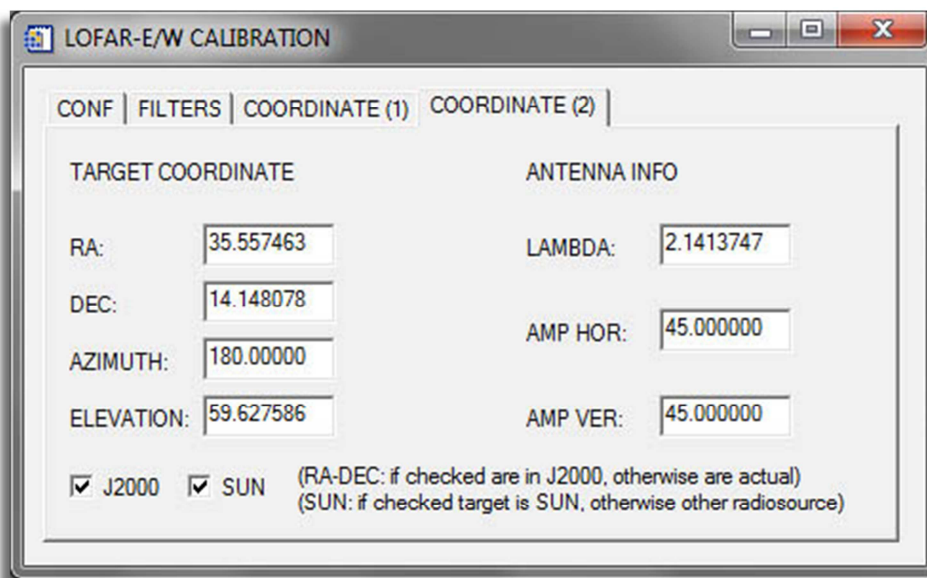


## OBSERVATION.txt

```
#
# Coordinates in decimal of the observing station
#
LAT 44.52049174d0
LON 11.64693185d0
ALT 67.192d0

#Coordinate J2000 of SOLE the 01/06/2010:
# RA = 04h 36m 31.224s DEC = +22° 03' 03.90"
#
raj2000 35.557463d0
decj2000 14.148078d0
azim_cb 180.0d0
elev_cb 59.627586d0
Lambda 2.1413747d0
amp_hor 45.0d0
amp_ver 45.0d0
```

Questo file contiene le coordinate geografiche dell'array da calibrare (Latitudine, Longitudine, Altitudine), le coordinate equatoriali (J2000.0) della sorgente di calibrazione, il puntamento dell'array (Azimut ed Elevazione del centro beam), la lunghezza d'onda a centro banda, l'ampiezza a metà potenza (HPBW) orizzontale e verticale del beam della singola antenna. Questi dati saranno caricati in memoria e visualizzati nella tabella "Coordinate (2)" quando l'utente selezionerà il file OBSERVATION.



La stessa directory in cui è presente il file OBSERVATION.txt dovrà contenere anche il file delle baseline (BASELINE.txt) e quello della configurazione dei filtri (DEFAULT\_FILTER.txt).



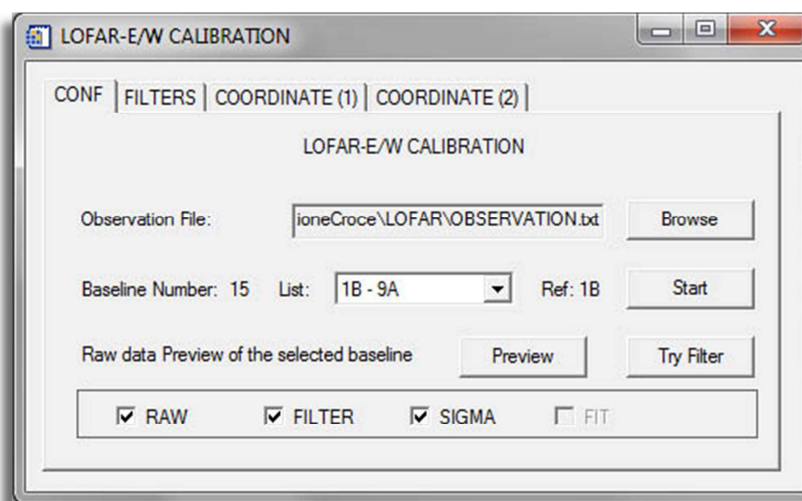
## BASELINE.txt

```
# Define the reference antenna
# Syntax:
#   RefAntenna=nomeantenna
RefAntenna=1B

# Baseline List
#
# Syntax:
# Receiver-1 Receiver-2 Distance[m]

1B   9A   -18.75
2A   9A   -17.50
2B   9A   -16.25
3A   9A   -15.00
3B   9A   -13.75
4A   9A   -12.50
4B   9A   -11.25
5A   9A   -10.00
1B   8B   -17.50
1B   8A   -16.25
1B   7B   -15.00
1B   7A   -13.75
1B   6B   -12.50
1B   6A   -11.25
1B   5B   -10.00
```

Il file BASELINE.txt contiene il nome dell'antenna di riferimento, l'elenco delle coppie di antenne selezionate per la calibrazione dell'array e la lunghezza delle baseline corrispondenti espressa in metri. Anche queste informazioni verranno caricate nella finestra principale del programma appena sarà stato selezionato dall'utente un file OBSERVATION.txt



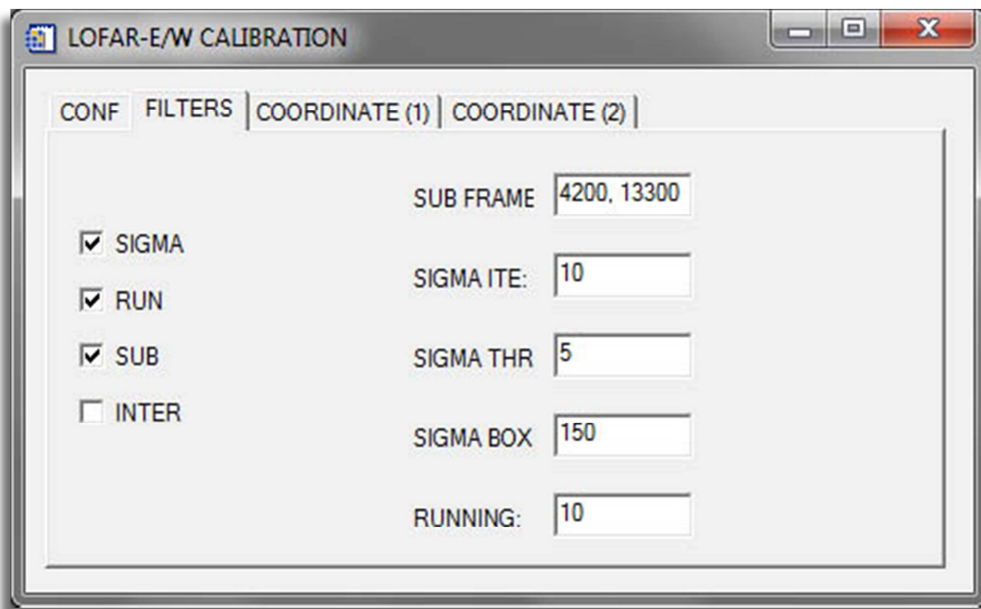
## DEFAULT\_FILTER.txt

```
# Default filter parameters
flgsigma 1
flgrun 1
flgsub 1
flginter 0

subframe 4200L
subframe 13300L

sigmaite 10
sigmathr 5
sigmabox 150

running 10
```



SUB FRAME = definisce l'indice inferiore e superiore del subset del vettore dati da estrarre e da considerare nell'elaborazione

SIGMA ITE = numero di iterazioni del filtro Sigma Rejection

SIGMA THR = soglia del filtro Sigma Rejection

SIGMA BOX = dimensioni del box (numero di dati) intorno al dato considerato utilizzati per il calcolo del sigma

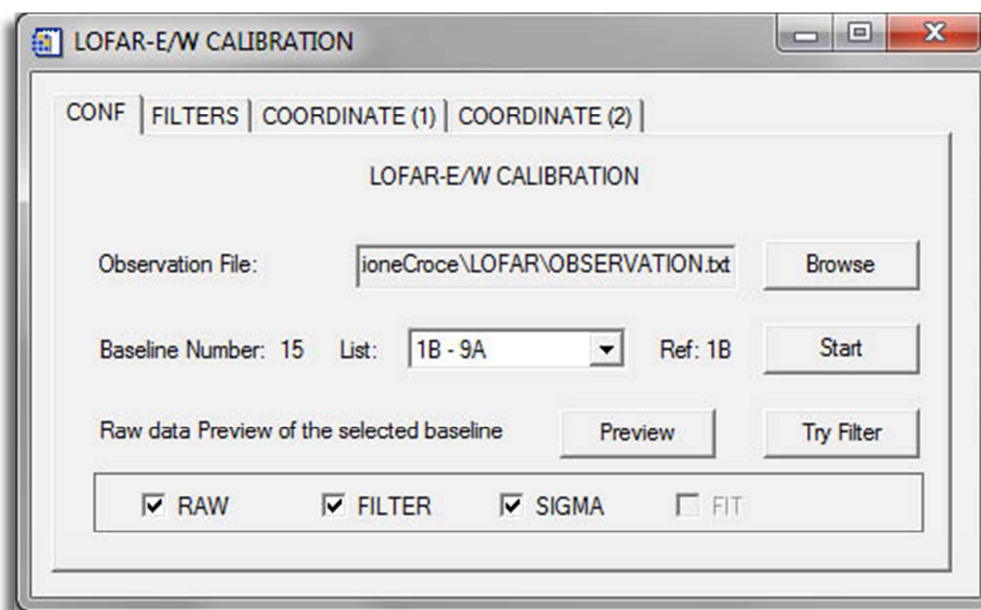


RUNNING = dimensioni del box (numero di dati) su cui eseguire il filtro running average

Una volta che siano state caricate le informazioni dai file di configurazione, questi valori possono essere eventualmente modificati dall'utente editando le finestre di input. Le modifiche apportate in questo modo sono temporanee, poiché non saranno salvate alla chiusura del programma. Per rendere le modifiche definitive occorre editare i file di configurazione.

## Interfaccia utente

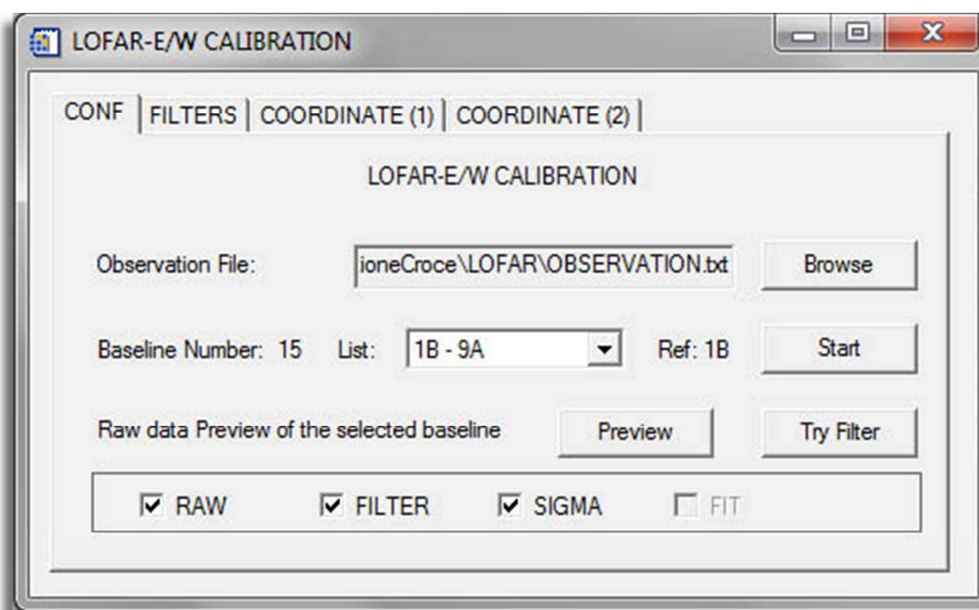
Il programma si presenta all'utente con una finestra composta da quattro Tab (pagine) in cui è possibile configurare i parametri che definiscono le baseline, il setup dei filtri, le coordinate del calibratore e selezionare i grafici da visualizzare durante elaborazione.



## Avvio dell'elaborazione

Per prima cosa occorre selezionare un file OBSERVATION.txt cliccando sul tasto BROWSE. Il file OBSERVATION dovrà trovarsi in una sottocartella contenente, come sottolineato in precedenza, tutti gli altri file ausiliari per quella specifica elaborazione. All'apertura del file OBSERVATION saranno caricate automaticamente nei diversi Tab i dati dei file ausiliari.

Il menu a tendina posto al centro della finestra principale mostrerà la lista delle baseline. Questo menu ha principalmente scopo illustrativo anche se, selezionando una particolare baseline, è possibile avere una visualizzazione dei dati raw cliccando sul pulsante "Preview". Inoltre, sui dati della baseline selezionata è possibile testare i diversi filtri cliccando sul pulsante "Try Filter". Il test dei filtri può risultare molto utile se, al termine dell'elaborazione complessiva, l'algoritmo di calibrazione è stato poco efficace sui dati di una determinata baseline. In tal caso è possibile ripetere il calcolo solo su tale baseline impostando parametri diversi al set di filtri.



Nel caso in cui si renda necessaria l'applicazione di un setup particolare di filtri su una determinata baseline, è possibile creare un file di configurazione specifico per quella baseline. Tale file dovrà avere lo stesso formato standard del file DEFAULT\_FILTER.txt e come nome la denominazione della baseline considerata, con estensione ".par".



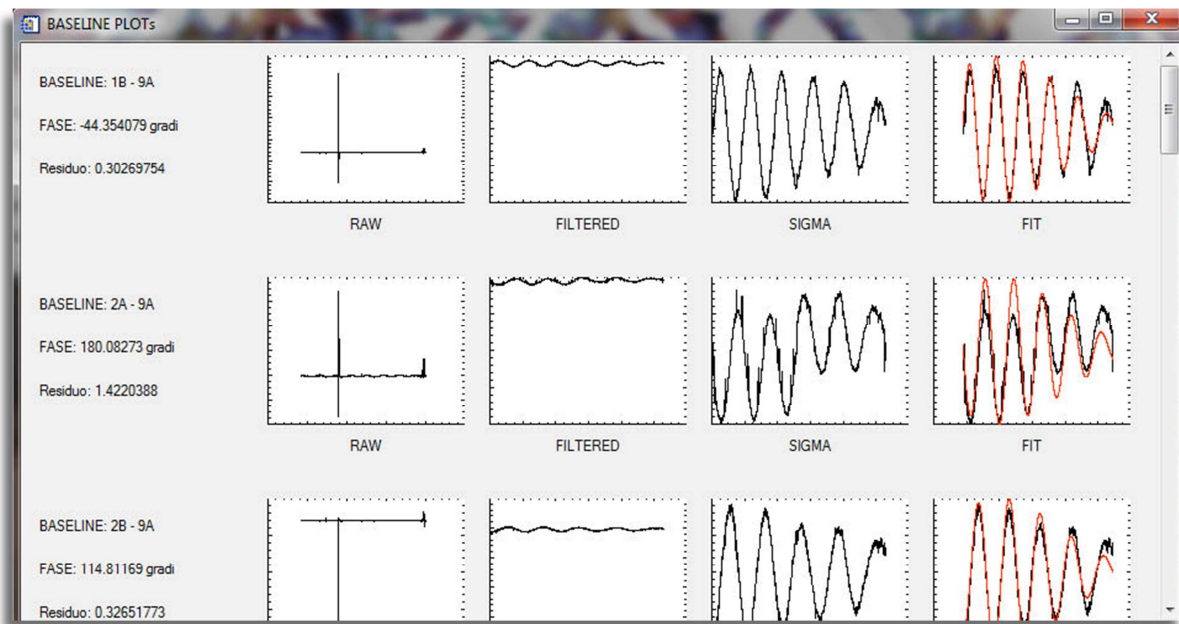


Per avviare la procedura del calcolo dei coefficienti di calibrazione (correzioni di fase) si deve cliccare sul pulsante **START**. Il tempo di elaborazione può variare, in modo rilevante, a seconda della potenza di calcolo del computer utilizzato.

## Visualizzazione grafica dei dati

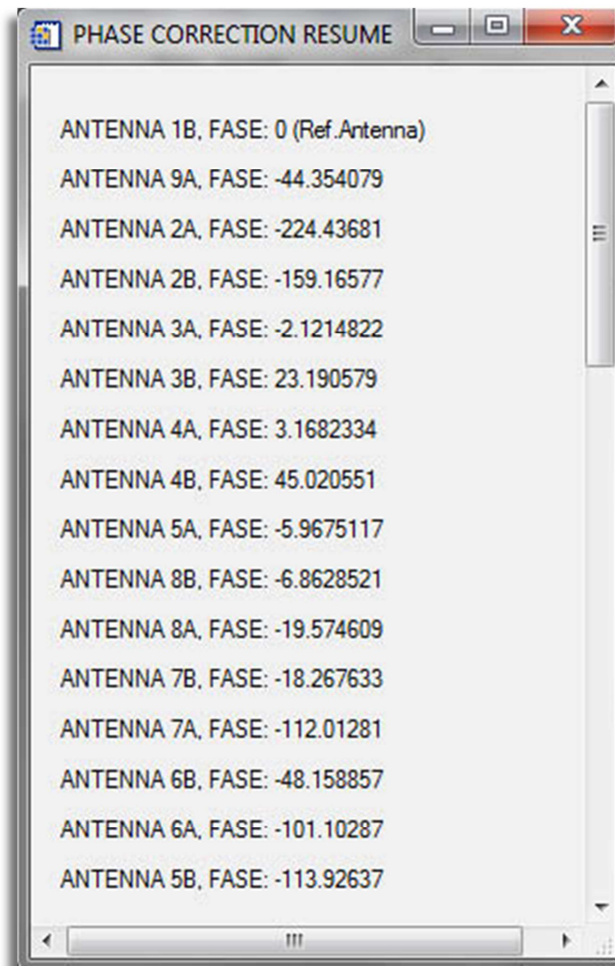
La finestra dei grafici viene visualizzata all'avvio della procedura di elaborazione attivata con il pulsante **START**. La finestra dei grafici dispone di una **SCROLLBAR** (barra di scorrimento sul lato destro) poiché la sua dimensione verticale dipende dal numero di baseline dell'array considerato.

Ogni baseline sarà rappresentata da una riga contenente nell'ordine da sinistra verso destra: le informazioni della baseline (nomi delle antenne, correzione di fase risultante, residuo del fit multiparametrico) e, se abilitati, i grafici dei dati raw, del subset di dati selezionato, dei dati filtrati con il Sigma-Rejection e la sovrapposizione del grafico dei dati filtrati con il risultato del fit polinomiale.



## Output dell'elaborazione

Al termine dell'elaborazione sarà visualizzata una nuova finestra che mostrerà il riepilogo delle correzioni di fase da applicare. Queste stesse informazioni vengono salvate in un file di testo il cui nome è stato definito nel file CONFIGURA.txt.



# Acronimi

BEE2	Berkeley Emulation Engine 2
BEST	Basic Elements for SKA Training
CASPER	Collaboration for Astronomy Signal Processing and Electronics Research
E/W	East West arm of the Northern Cross radiotelescope
FPGA	Field Programmable Gate Array
GUI	Graphic User Interface
IDE	Integrated Development Environment
IDL	Interactive Data Language
LOFAR	Low Frequency Array
N/S	North South arm of the Northern Cross radiotelescope
RFI	Radio Frequency Interference
ROACH	Reconfigurable Open Architecture Computing Hardware
SKA	Square Kilometer Array
SKADS	Square Kilometer Array Design Studies

