

SRT: SISTEMI RICEVENTI MULTIFEED

Settembre 2005

E. Cenacchi, A. Orfei

INAF - Istituto di Radioastronomia - Bologna

Rapporto interno IRA 384/06

File: d/ProgettiInCorso/SRT/GAI_RX/MULTIFEED/MULTIFEED_RapInt384_06.doc

INDICE

1.	Introduzione.....	3
2.	Campionamento di sorgenti estese.....	5
3.	Configurazione del Multibeam	7
	3.1 Dimensione del piano focale (fuoco gregoriano).....	7
	3.2 Dimensione del piano focale (fuoco primario)	8
	3.3 Numero di beam	8
	3.4 Disposizione geometrica dei feed	9
	3.4.1 Esagoni.....	10
	3.4.2 Griglie	12
	3.5 Caratteristiche del Multibeam a 22 GHz	13
4.	Tecniche di mappatura: Raster scan	14
5.	Tecniche di mappatura : On-The-Fly.....	16
6.	Rotazione del campo di vista.....	17
	6.1 Movimento della volta celeste	17
	6.2 Puntamento delle sorgenti	18
	6.3 Angolo parallattico.....	19
	6.4 Parametri del derotatore di SRT	21
7.	Backend.....	24
	7.1 Dotazione di SRT	24
	7.2 Schema complessivo per l'elaborazione delle bande del Multibeam	27
8.	Conclusioni.....	30

1. Introduzione

E' emersa dal documento redatto dal Scientific Working Group di SRT (Rap. int. IRA 371/05 del Gennaio 2005) la richiesta massiccia di array di ricevitori, soprattutto alle frequenze >20GHz.

L'emissione da parte del mezzo interstellare si estende infatti su scale molto maggiori del beam di un'antenna come SRT, soprattutto alle alte frequenze (si ha infatti : $HPBW \approx 1.2 \frac{\lambda}{D}$), e lo stesso vale per le radiogalassie vicine. Ciò implica che per studiare questo tipo di sorgenti occorre puntare più volte l'antenna, al fine di coprire con il beam a disposizione l'area desiderata.

L'uso di feed-array (sistemi composti da più feed uguali adiacenti) ha come scopo principale la velocizzazione della mappatura di aree estese, di cielo o di sorgenti, per scopi di vario tipo: survey nel continuo (osservabili total power e polarizzazione), in spettroscopia (osservabile spettro di potenza), per ricerca pulsar (osservabili periodo e ritardo) e anche in situazioni miste quali misure di proprietà di polarizzazione di righe di emissione maser nell'H₂O (spettropolarimetria).

Il tempo necessario a realizzare una mappa di area A in modalità "raster scan" (ovvero utilizzando un certo numero di puntamenti adiacenti), considerando il solo tempo speso sulla sorgente, con un sistema monofeed è stimabile con la seguente :

$$t_{ON} \approx N_p \cdot t_{esp}$$

$$N_p = \frac{A}{\left(\frac{HPBW}{2}\right)^2}$$

N_p = numero di puntamenti necessari a coprire una data area

t_{esp} = tempo di una singola esposizione (funzione della sensibilità desiderata)

Dove si è approssimato il campionamento di Nyquist con uno spostamento di $\frac{1}{2}$ beam in due direzioni (verticale e orizzontale, v. cap. 2).

Esempio : $\nu = 22$ GHz

$HPBW = 50''$

$A = 1^\circ \times 1^\circ$

$t_{esp} = 10$ s

$t_{ON} = 20736 \cdot 10 \approx 60$ h

La possibilità di utilizzare n beam contemporaneamente abbassa questa cifra, ma, per contro, origina nuove difficoltà.

Una prima limitazione nasce dal campionamento di Nyquist: date le dimensioni degli horn, anche la spaziatura minima possibile sarà sempre superiore alla distanza ottimale per il campionamento, la configurazione geometrica del multibeam andrà studiata in modo da limitare il più possibile gli effetti del "sottocampionamento" caratteristico di tutti i sistemi multibeam.

Un'altra limitazione nasce dalla rotazione del campo di vista, subita da tutti i telescopi con montatura alt-azimutale e trascurabile solo per osservazioni non polarimetriche di sorgenti discrete. Il sistema multibeam dovrà essere dotato di un meccanismo hardware di compensazione, noto come de-rotatore, che gli consenta di inseguire correttamente la sorgente durante il suo percorso sulla volta celeste.

Queste note cercheranno di puntualizzare dunque i seguenti argomenti:

- Numero massimo di feed di cui il multifeed può essere costituito
- Parametri del de-rotatore di campo
- Strategia di copertura dell'area da mappare e numero minimo di puntamenti richiesti

- d. Tempo necessario per ogni puntamento, valutato non dal punto di vista del tempo di integrazione (variabile da ricerca a ricerca) ma dal punto di vista del più efficiente metodo osservativo (raster scan, on the fly mapping,...)
- e. Considerazioni sul back-end disponibile.

2. Campionamento di sorgenti estese

Per campionare correttamente una sorgente lungo una direzione occorre una distanza tra i singoli puntamenti data dalla formula di Nyquist (Johansson, 1986 ; Whyborn, 1995) :

$$\Delta\vartheta = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{D}$$

Sul piano focale questa si traduce in una distanza tra i centri dei pixel pari a :

$$\Delta x = \frac{1}{2} \lambda \frac{f}{D}$$

f = lunghezza focale effettiva

Il campionamento di Nyquist è indipendente dal beam dell'antenna e in particolare dal livello di taper utilizzato, è comunque prassi comune esprimere il campionamento in frazioni di beam

$$\Delta\vartheta = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{D} \approx 0.43 \text{HPBW}$$

A 22 GHz, con SRT, il campionamento di Nyquist si ha per :

$$\Delta\vartheta = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{D} \approx 21''$$

Considerando che le dimensioni interne caratteristiche della bocca di un horn sono :

Fuoco primario $\approx \lambda$

Fuoco gregoriano $\approx 5\lambda + 8\lambda$

è evidente che è impossibile disporre fisicamente più beam nel piano focale dello strumento ottenendo automaticamente un'area proiettata in cielo correttamente campionata.

Infatti la distanza minima d_{min} tra i centri degli horn la si ottiene nell'ipotesi di riuscire a collocarli perfettamente adiacenti l'uno all'altro, e sarà sempre superiore alla distanza necessaria a ottenere il campionamento di Nyquist.

Non solo, come si può vedere in figg. 2.1 e 2.2 il rapporto tra la distanza angolare dei beam proiettati e la loro dimensione (un fattore circa 3) è molto maggiore del rapporto tra la distanza lineare e la dimensione degli horn (un fattore 1 nella migliore delle ipotesi) .

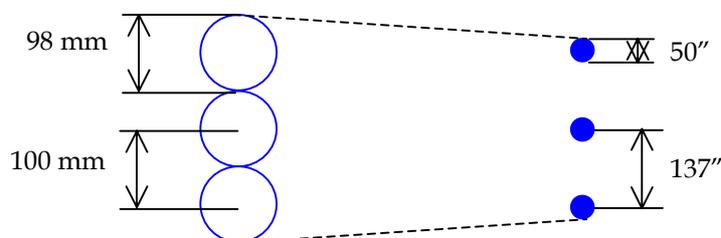


Fig. 2.1 : A 22 GHz 3 horn del diametro di 98 mm affiancati proiettano 3 beam da 50'' a una distanza reciproca di 137''

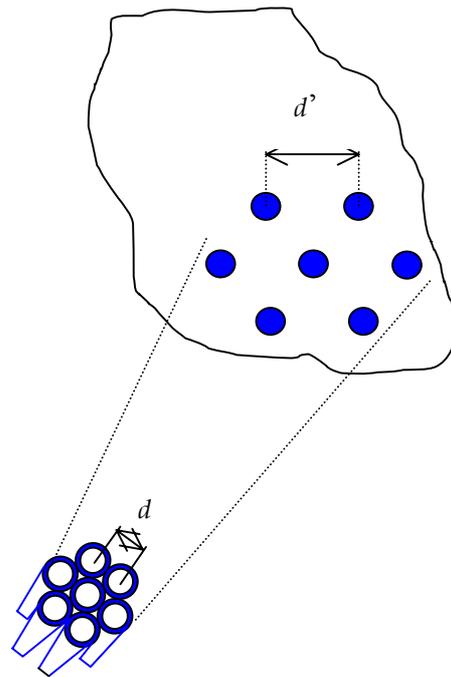


Fig. 2.2 : Multibeam in configurazione esagonale, proiezione su un'ipotetica sorgente estesa.

In Tabella 1 sono riportati i valori ideali delle distanze, in termini di λ .

	f/D	d_{Nyquist}	d_{min}
Fuoco Primario	0.33	0.165λ	λ
Fuoco Gregoriano	2.34	1.17λ	5λ

Tabella 1 : Confronto tra la distanza ideale di Nyquist e la distanza minima ottenibile tra i centri degli horn

Poiché non è ovviamente utilizzabile un'opzione che preveda una "sovrapposizione fisica" delle bocche degli horn, si può cercare di ovviare ai limiti imposti dalle dimensioni strumentali in due modi :

- 1) Disporre gli horn in una configurazione geometrica tale per cui tutte le distanze dei beam proiettate lungo la direzione della scansione risultino pari al doppio della distanza di Nyquist (il che, in prima approssimazione, corrisponde ad avere dei beam proiettati adiacenti, la sovrapposizione la si ottiene con due puntamenti).
- 2) Utilizzare una configurazione geometrica che, abbinata a un qualche algoritmo di puntamento, fornisca un'area ben campionata.

Il metodo 1 è il più semplice concettualmente e si abbina perfettamente alla tecnica di mappatura On-The-Fly (attualmente la più efficiente in termini di tempo di osservazione), con la quale la sorgente viene scansionata con continuità: se la configurazione è ben studiata, è possibile utilizzare gli N elementi del multibeam riducendo esattamente di N volte il tempo di osservazione rispetto a una scansione eseguita con un beam singolo.

Con il metodo 2 è necessario studiare una combinazione di puntamenti che porti alla corretta copertura di un'area "campione", la scansione viene poi eseguita su "aree campione" contigue, ripetendo la combinazione. Questo metodo è utilizzabile solo effettuando una serie di puntamenti "discreti", quindi in modalità Raster Scan. Il vantaggio che se ne ottiene dipende fortemente dalla combinazione adottata.

3. Configurazione del Multibeam

3.1 DIMENSIONI DEL PIANO FOCALE (FUOCO GREGORIANO)

Il numero di feed usabili in un array dipende da quanto si è disposti ad accettare in termini di perdita di guadagno d'antenna per il fatto che il feed più esterno è fuori fuoco. Limitandosi al momento al solo fuoco gregoriano di SRT, P. Bolli ha valutato la perdita di guadagno, rispetto al valore relativo al feed centrale, in funzione di spostamenti laterali (relativamente al centro di fase degli horn) di feed parametrizzati alla lunghezza d'onda. Fissando il classico numero di -0.5dB come valore di perdita accettabile (fattore 0.89 per cui moltiplicare il guadagno del feed centrale) le simulazioni fatte diedero i seguenti risultati :

100 GHz : spostamento massimo $\approx 21\lambda$ (63 mm)

22 GHz : spostamento massimo $\approx 19\lambda$ (247 mm)

Per il caso del multifeed 18-26GHz una nota di R. Nesti (vedi GAI-04-TM-8.0FeedTaperKband.pdf) suggerisce l'uso del horn "ottimizzato" sul G/T con le seguenti dimensioni :

Diametro interno, $D_i = 68.8\text{mm}$ ($\approx 5.3\lambda$)

Diametro esterno, $D_e = 98\text{mm}$

Spaziatura minima tra horn $d_{min} = 100\text{mm}$.

In fig. 3.1 si vede che si potrebbero racchiudere, in un cerchio di 247mm di raggio ($=R_{FOV}$), fino a 31 horn in disposizione esagonale (evidenziati in blu i 7 effettivamente costruiti).

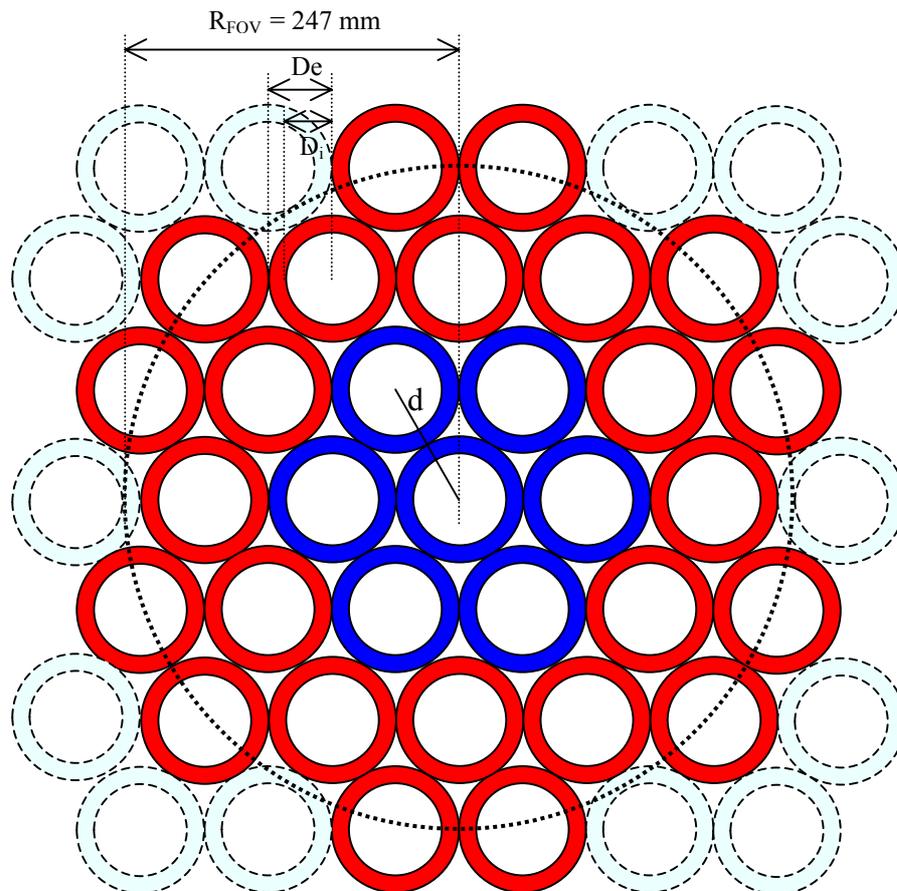


Fig. 3.1 Campo di vista di SRT a 22GHz a -0.5dB , numero massimo di horn posizionabili.

Per fare una stima su un array a 100GHz si supponga di scalare il feed a 22GHz :

$D_i = 5.3\lambda$ (limite inferiore) ≈ 15.9 mm

$D_e = 22$ mm

Spaziatura minima tra horn $d_{min} = 24$ mm.

Con questi parametri si ha che in un piano focale di 126 mm di diametro sono collocabili da 19 a 30 feeds, a seconda che D_i passi da 8λ a 5.3λ .

3.2 DIMENSIONI DEL PIANO FOCAL (FUOCO PRIMARIO)

Per ciò che concerne il campo di vista in fuoco primario è stato verificato con simulazioni elettromagnetiche (Olimi, Bolli) che il diametro del FOV (relativamente al centro di fase degli horn) è pari a 2λ , del resto misure su antenne esistenti (Medicina e Noto) hanno confermato a due frequenze diverse (2 e 32GHz) che uno spostamento del feed di 1λ sul piano perpendicolare all'asse della antenna con specchio parabolico fa perdere circa l'11% di efficienza, che equivale proprio a -0.5 dB.

Ne consegue che se ad esempio si volesse disporre un multifeed in banda L ($\lambda=20$ cm) si avrebbe :

Diametro esterno $D_e \approx 200$ mm ($=\lambda$)

Spaziatura minima tra horn $d_{min} = 200$ mm.

$R_{FOV} = 200$ mm

In figura 3.2 si vede come, con questi parametri, si potrebbero disporre nel campo di vista fino a 7 horn in configurazione esagonale.

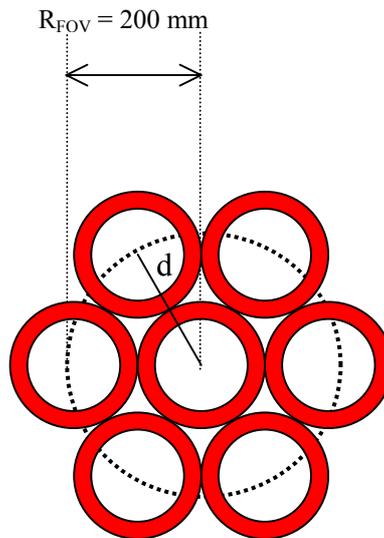


Fig. 3.2 Campo di vista di SRT a 1.5 GHz a -0.5 dB e disposizione horns.

3.3 NUMERO DI BEAM

Note le dimensioni del piano focale a disposizione, è possibile calcolare il numero ideale di feed necessario a ricoprirne la proiezione.

Nuovamente è facile vedere che, pur lavorando con i beam proiettati, è comunque impossibile soddisfare il criterio di Nyquist : a 22 GHz si ha che il diametro totale del piano focale (rispetto ai bordi dei feeds), proiettato, vale :

$$D_{FOV} = 206265 \cdot \frac{(19\lambda \cdot 2)}{f} + HPBW \approx 729''$$

$$N_{feed} = \frac{D_{FOV}}{d_{Nyquist}} = \frac{729}{21''} \approx 35$$

Analogamente, a 100 GHz :

$$D_{FOV} = 206265 \cdot \frac{(21\lambda \cdot 2)}{f} + HPBW \approx 183''$$

$$N_{feed} = \frac{D_{FOV}}{d_{Nyquist}} = \frac{183''}{5''} \approx 37$$

In fuoco primario ($f = 21m$), a 1.5 GHz si ha:

$$D_{FOV} = 206265 \cdot \frac{(\lambda \cdot 2)}{f} + HPBW \approx 4573''$$

$$N_{feed} = \frac{D_{FOV}}{d_{Nyquist}} = \frac{4573''}{322''} \approx 14$$

Come anticipato nel cap. 2, un buon compromesso lo si può ottenere considerando di proiettare una distanza maggiore di quella di Nyquist, e coprendo poi questa distanza con un secondo puntamento.

In pratica, essendo la distanza di Nyquist approssimativamente $\frac{1}{2}$ beam e dovendo spostare rigidamente un sistema multiplo, la condizione ottimale è quella per cui tutti i beam proiettati risultano a una distanza doppia rispetto a quella di Nyquist. Con questa soluzione è poi necessario un solo puntamento, dopo uno spostamento di circa $\frac{1}{2}$ beam e quindi parzialmente sovrapposto al primo, per ottenere il campionamento corretto.

Rifacendo i calcoli si ottiene :

$$1.5 \text{ GHz} : N_{feed} = \frac{D_{FOV}}{2 \cdot d_{Nyquist}} = \frac{4573''}{644''} \approx 7$$

$$22 \text{ GHz} : N_{feed} = \frac{D_{FOV}}{2 \cdot d_{Nyquist}} = \frac{729''}{42''} \approx 17$$

$$100 \text{ GHz} : N_{feed} = \frac{D_{FOV}}{2 \cdot d_{Nyquist}} = \frac{183''}{10''} \approx 18$$

Una volta stimati la dimensione del campo di vista e il numero di feed necessario a proiettare la distanza voluta lungo la direzione della scansione, occorre stabilire la configurazione geometrica dei feed che realizzi la proiezione.

Tra le varie possibilità, le più utilizzate sono : quadrati "pieni", esagoni concentrici (in genere con un elemento centrale).

3.4 DISPOSIZIONE GEOMETRICA DEI FEED

Nei paragrafi precedenti si è visto come, nell'affrontare il progetto di un array di ricevitori, occorra considerare due problematiche : una di tipo tecnico (qual è il numero massimo di feed che si possono fisicamente disporre nel campo di vista) e una di tipo astronomico (qual è il numero massimo di feed che realizza una proiezione uniforme del campo di vista).

La soluzione al primo problema nasce da una disposizione dei feed che massimizzi la copertura geometrica dell'area a disposizione, il che è ottenibile affiancando gli horn il più possibile.

Trattando con horn circolari questa condizione è soddisfatta realizzando delle file sfasate e adiacenti (v. fig. 3.1).

Per risolvere il secondo problema occorre invece lavorare con la proiezione dell'array lungo la direzione della scansione. La condizione da ricercare è quella per cui i beam risultano equidistanti (e possibilmente affiancati) lungo la direzione della scansione, evitando sovrapposizioni.

3.4.1 ESAGONI

La disposizione esagonale, come quella mostrata in fig. 3.2, nasce dall'ipotesi di collocare i feed perfettamente affiancati nel piano focale, come si vede in fig. 3.1.

Con riferimento alla fig. 3.2 occorre valutare con quanti beam è possibile coprire la distanza (proiettata) tra due feed contigui : il numero che si ottiene è pari alle file adiacenti, in direzione dell'asse y (direzione della scansione), necessarie.

Si ha :

$$N_{file} = \frac{8\lambda}{f} \cdot \frac{D}{\lambda} \approx 3$$

N_{file} = numero di file adiacenti necessarie.

Anche facendo i calcoli per il fuoco primario si ottiene il medesimo risultato.

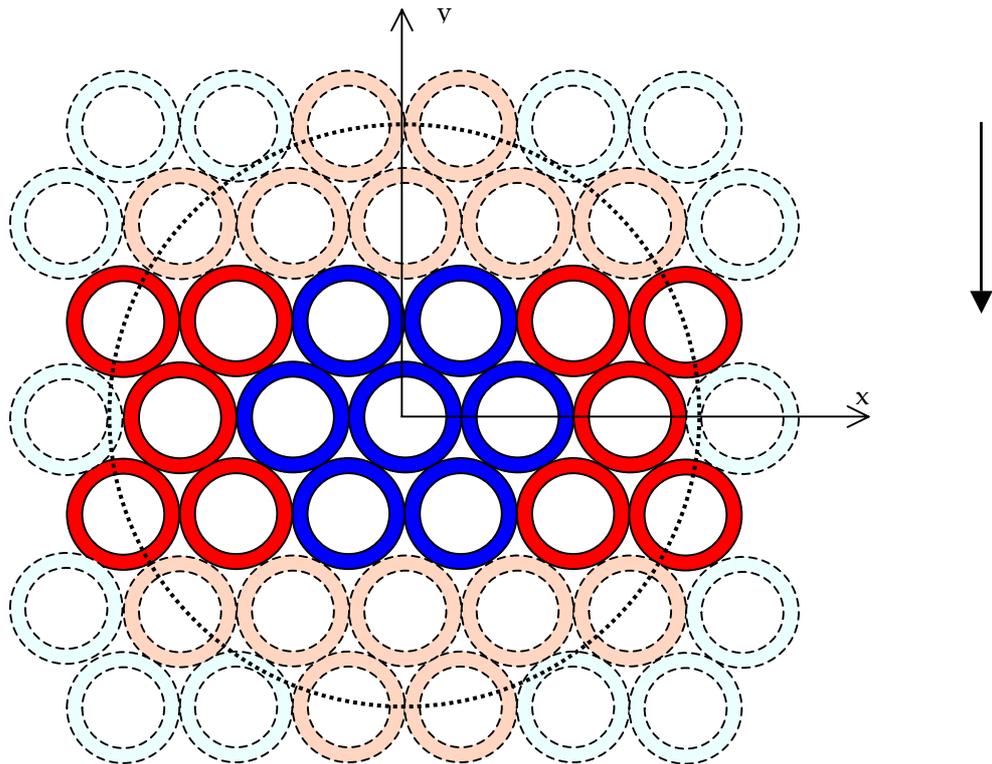


Fig. 3.3 : Disposizione dei 17 feed utili a coprire il FOV a 22 GHz

Questa configurazione deve essere ruotata per realizzare l'equidistanza tra i beam lungo la scansione. (v. fig. 3.4, 3.5).

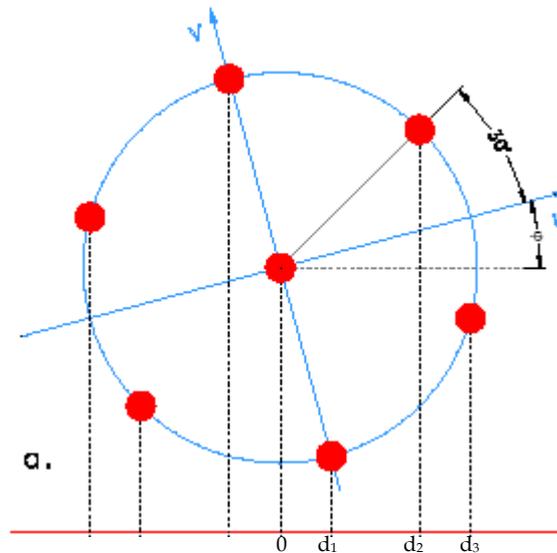


Fig. 3.4 : Configurazione del multibeam

Considerando che la configurazione è a simmetria di rotazione, questo si traduce nelle seguenti (v. fig. 3.4) :

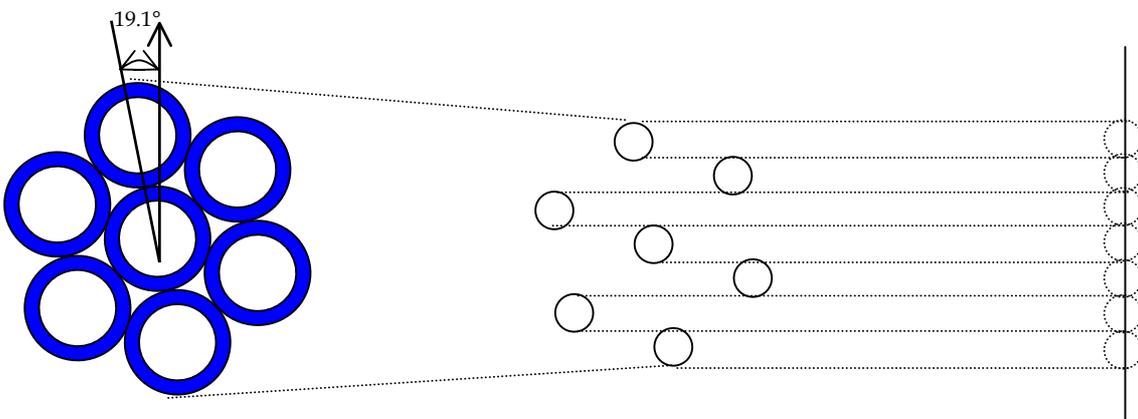
$$\begin{aligned} d_3 &= 3d_1 \rightarrow d_3 + d_2 = 5d_1 \\ d_2 &= 2d_1 \end{aligned}$$

Rispetto all'angolo di rotazione φ si ottiene :

$$\begin{aligned} r \cos(30^\circ - \varphi) + r \cos(30^\circ + \varphi) &= 5r \cos(90^\circ - \varphi) \\ \cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \sin \varphi + \cos 30^\circ \cos \varphi - \sin 30^\circ \sin \varphi - 5 \sin \varphi &= 0 \\ 2 \cos 30^\circ \cos \varphi - 5 \sin \varphi &= 0 \\ 1.732 \cos \varphi - 5 \sin \varphi &= 0 \end{aligned}$$

Il primo zero della funzione si ha per :

$$\varphi \approx 19.1^\circ \rightarrow d_1 = 138 \sin 19.1^\circ \approx 45''$$

Fig. 3.5 : Multibeam a 22 GHz, 7 elementi esagonali, $D_{FOV} \approx 294''$

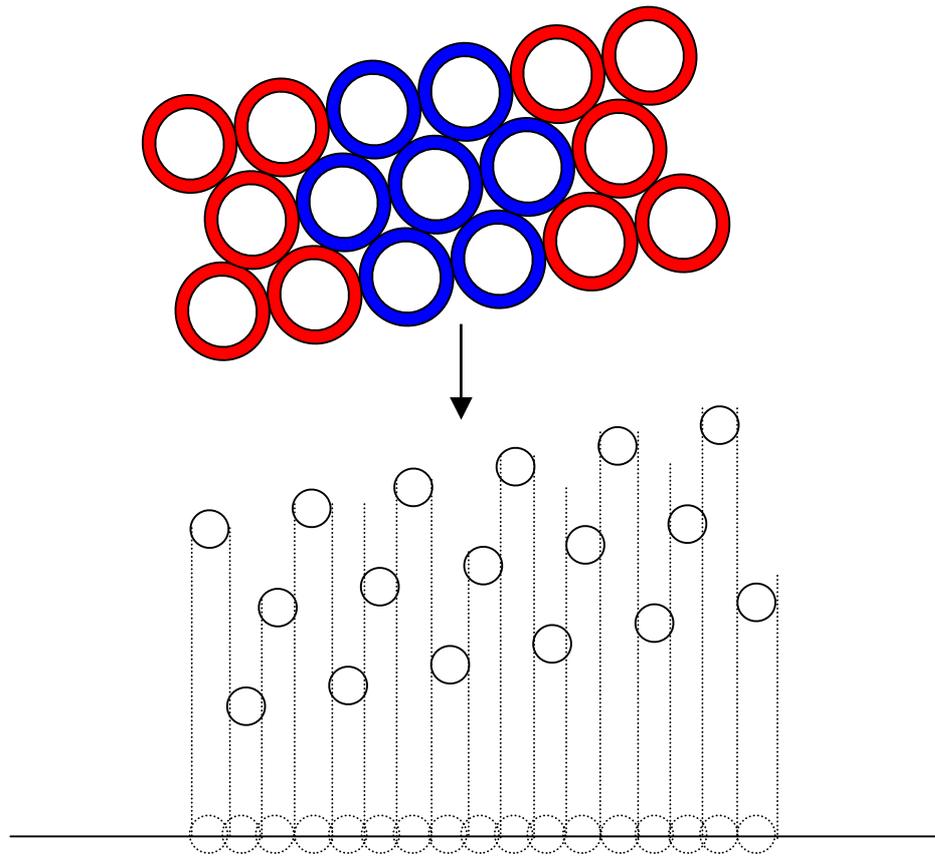


Fig. 3.6 : Multibeam a 22 GHz, 17 elementi, $D_{FOV} \approx 729''$

3.4.2 GRIGLIA

Rinunciando ad avere i feed perfettamente adiacenti (condizione del resto non necessaria) è possibile valutare disposizioni geometriche alternative, che permettano di sfruttare in modo più simmetrico il piano focale utilizzando però un numero inferiore di feed.

Una soluzione frequente è quella che vede i feed disposti secondo una griglia regolare quadrata. In questo caso il numero di feed collocabili in ogni lato coincide con il numero di file calcolato in precedenza (quadrati 3x3).

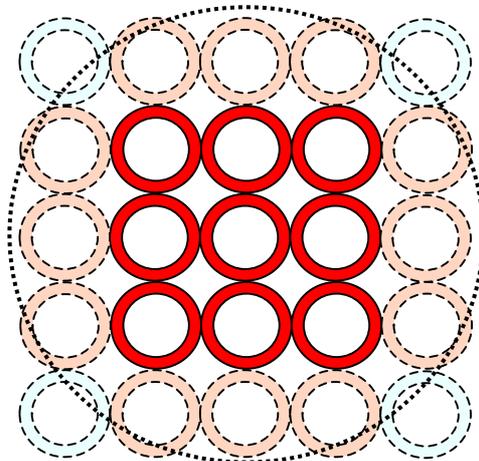


Figura 3.7 : Multibeam a 9 elementi, disposizione a griglia

Naturalmente è possibile scegliere una soluzione che preveda una griglia rettangolare (3x4), tuttavia questo caso è simile alla griglia esagonale, che ha in più il vantaggio di permettere l'utilizzo del numero ideale di feed.

In questa configurazione l'angolo che realizza l'equidistanza rispetto alla direzione della scansione è pari a 19.4°

3.5 CARATTERISTICHE DEL MULTIBEAM A 22 GHz

Il sistema multibeam a 22 GHz attualmente in costruzione ha le seguenti caratteristiche :

Configurazione : 7 elementi disposti ad esagono in fuoco gregoriano

Perdita dei feed esterni rispetto al centrale : - 0.18 dB (\approx 96%)

Focale f : 150 m

Diametro interno degli horn : 6.88 cm (\approx 5.3 λ)

Diametro esterno degli horn : 9.8 cm

Distanza tra i centri d : 10 cm

Distanza tra i centri proiettata d' : $d/f = 138''$

Taper T : - 9 dB

HPBW : $(1.02 - 0.0135T) * \lambda / D = 50''$ (\approx 3.6 cm)

In tabella 2 sono riportati, per confronto, i parametri principali dei multibeam operativi presso alcune delle antenne estere.

Antenna	$\frac{v}{\lambda}$	R_{FOV}	Elementi	Configurazione	Distanza	Drift Angle	Distanza proiettata
Pico Veleta 30 m - f_c 291.9m	230 GHz 1.3 mm	29λ	2x9	2 Quadrati da 3x3	24''	18.4°	7.6'' 1.7 d_N
Nobeyama 45 m	43 GHz 7 mm	-	6	Rettangolo 2x3	80''	-	-
Nobeyama 45 m	100 GHz 3 mm	-	25	Quadrato da 5x5	42.4''	-	-
Nobeyama 45 m	150 GHz 2 mm	-	7 bol.	Esagono + Horn centrale	16''	19.1°	5.3'' 1.1 d_N
Arecibo 305 m- f_c 131.2m	1.5 GHz 21 cm	1.2λ	7	Esagono + Horn centrale	26 cm	19.1°	2.2' 1.9 d_N
Parkes 64 m - f 26 m	1.5 GHz 21 cm	$2.4 \lambda^*$	13	2 Esagoni Concentrici + Horn centrale	25 cm	16.5°	14' 2.5 d_N^*

*Per mezzo di simulazioni effettuate da P. Bolli usando GRASP8 SE si è visto che il FOV di Parkes è compatibile con una perdita massima di -1 dB in efficienza (circa il 20% rispetto al feed centrale). Se applicassero le specifiche di SRT (perdita massima -0.5 dB) disporrebbero di un R_{FOV} di 2λ (un valore doppio di quello di SRT per via di un rapporto focale maggiore : 0.4 contro 0.33).

* Nelle relazioni tecniche di Parkes è utilizzata come distanza di Nyquist la seguente :

$$d_N = \frac{\lambda}{\sqrt{3D}} \approx 7'$$

In questa ipotesi la distanza proiettata vale circa $2 d_N$ (L. Staveley-Smith "HI Multibeam survey Techniques")

Tabella 2 : Configurazione di alcuni sistemi multibeam e distanza tra i feeds

4. Tecniche di mappatura : Raster Scan

In modalità "RASTER SCAN" le mappe vengono eseguite "per punti" successivi, in ogni punto l'antenna viene fermata e si acquisiscono i dati per il tempo necessario a raggiungere la sensibilità voluta.

Alla tecnica di mappatura si associa di solito un qualche sistema di correzione di tipo ON-OFF condotto su una sorgente di riferimento.

In questa modalità a ogni osservazione sulla sorgente (punto ON) è associata un'osservazione sul riferimento (punto OFF), che richiede il medesimo tempo di esposizione.

Il tempo di spostamento dell'antenna tra le due posizioni incide notevolmente sul tempo totale (circa 10 secondi per ogni coppia ON-OFF) e rende questa modalità consigliabile solo per mappe non molto estese (circa una decina di beam in entrambe le direzioni).

La scansione più semplice è quella lineare, e viene effettuata semplicemente "guardando" punti adiacenti nella direzione in cui i beam sono equidistanti (19.1° rispetto all'asse del multibeam). In fig. 4.1 si può osservare la successione dei puntamenti (ciascuno con un colore differente), ottenuti dal moto rigido dell'esagono.

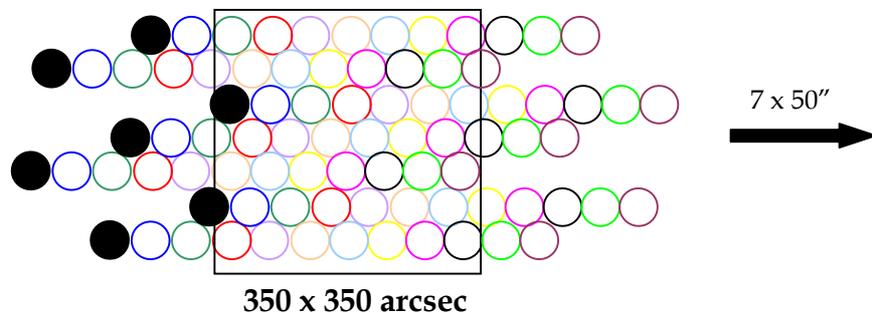


Fig. 4.1 : Scansione lineare, rappresentazione schematica

Per soddisfare il criterio di Nyquist, non è sufficiente operare degli spostamenti di un singolo beam e sono dunque necessari ulteriori puntamenti "intermedi" per campionare correttamente il riquadro in figura 4.1

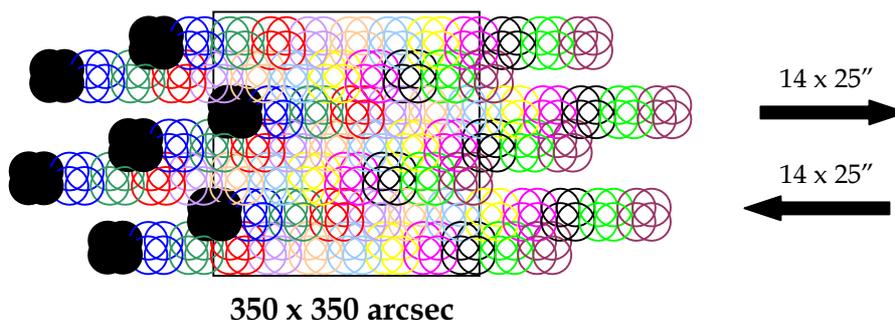


Fig. 4.2 : Scansione lineare con campionamento corretto

La figura 4.2 si ottiene considerando di campionare una prima striscia con spostamenti di circa mezzo beam (una buona approssimazione del criterio di Nyquist) e di campionarne una seconda nello stesso modo dopo uno spostamento in verticale della stessa quantità.

E' possibile quindi calcolare con buona approssimazione il numero di puntamenti necessari per ottenere una mappa in modalità Raster Scan, utilizzando dei percorsi lineari nel rispetto del campionamento di Nyquist :

Area	N° di puntamenti "on source"
350" x 350"	24
1° x 1°	≈ 3000

Tabella 3 : Puntamenti in raster scan, scansioni lineari

Come si può notare il numero di puntamenti stimato nel Capitolo 1 si è ridotto di un fattore 7.

5. Tecniche di mappatura : On-The-Fly

La tecnica di mappatura "On-The-Fly" consiste nell'acquisire i dati in modo continuo mentre l'antenna si sposta a velocità costante lungo la sorgente, tipicamente con percorsi a "righe" o "colonne".

I dati acquisiti vengono elaborati ogni pochi secondi (questi "pacchetti" di dati vengono definiti "OTF dumps"), cui corrispondono escursioni di pochi arcsec (a seconda della velocità dell'antenna) lungo la scansione. Per ottenere sensibilità apprezzabili occorre ripercorrere più volte gli stessi punti, preferibilmente lungo direzioni diverse (in genere si utilizzano direzioni perpendicolari, da cui la definizione "cross scan"). Oltre a evitare i tempi "morti" di spostamento dell'antenna tra posizioni adiacenti, con questa modalità è possibile ridurre il numero di osservazioni sulla sorgente di riferimento :

$$\text{Raster Scan : } t_{OFF} = n \cdot t_{ON}$$

$$\text{On-The-Fly : } t_{OFF} = \sqrt{n} \cdot t_{ON}$$

n = numero di dumps (OTF) o puntamenti (Raster Scan) lungo una riga

Questo tipo di scansione è caratterizzato da tempi molto veloci, dunque si tratta di un sistema molto efficiente anche dal punto di vista delle fluttuazioni atmosferiche, e andrebbe utilizzato per tutte le sorgenti che abbiano estensioni sufficienti a giustificare un movimento continuo dell'antenna (alcuni beam).

La scansione On-The-Fly è perfettamente campionata lungo la direzione della scansione.

Per quanto riguarda la direzione verticale, il multibeam di SRT, opportunamente ruotato, proietta una distanza di 44.4" tra i beam, dunque per ottenere un buon campionamento in entrambe le direzioni occorre "ripassare" ogni riga con uno spostamento di circa 1/2 beam in verticale.

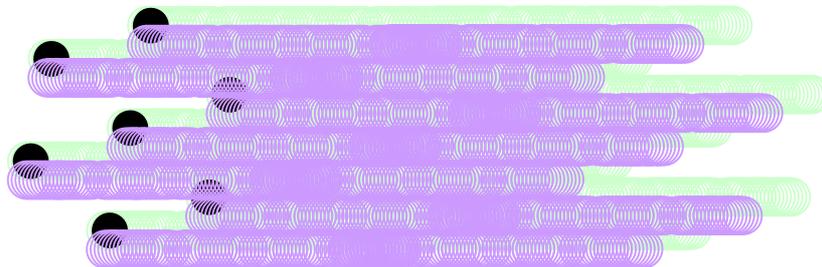


Figura 5.1 : Scansione di una riga "On-The-Fly"

6. Rotazione del campo di vista

6.1 MOVIMENTO DELLA VOLTA CELESTE

Alle nostre latitudini, un osservatore con il viso rivolto verso Sud vede gran parte degli astri sorgere alla sua sinistra (a Est), salire obliquamente sull'orizzonte fino a raggiungere il meridiano, quindi scendere e tramontare alla sua destra (a Ovest). Avvicinandosi con lo sguardo al polo Nord celeste (proiezione del polo Nord terrestre e in prima approssimazione coincidente con la Stella Polare) vede gli astri compiere degli archi di circonferenza, il cui centro è sempre la Stella Polare, la quale appare praticamente ferma.

Se la volta celeste fosse visibile per tutto l'arco delle 24 ore si noterebbe che tutti gli astri percorrono delle traiettorie circolari parallele tra loro (paralleli di declinazione) la cui mutua distanza si mantiene (all'occhio di un osservatore) inalterata nel tempo (da cui l'appellativo di "stelle fisse").

E' noto che in realtà questo movimento è solo apparente ed è conseguenza della rotazione della Terra attorno al proprio asse, tuttavia chi pratica osservazioni astronomiche da terra si riferisce sempre, per maggiore semplicità, al sistema di riferimento geocentrico.

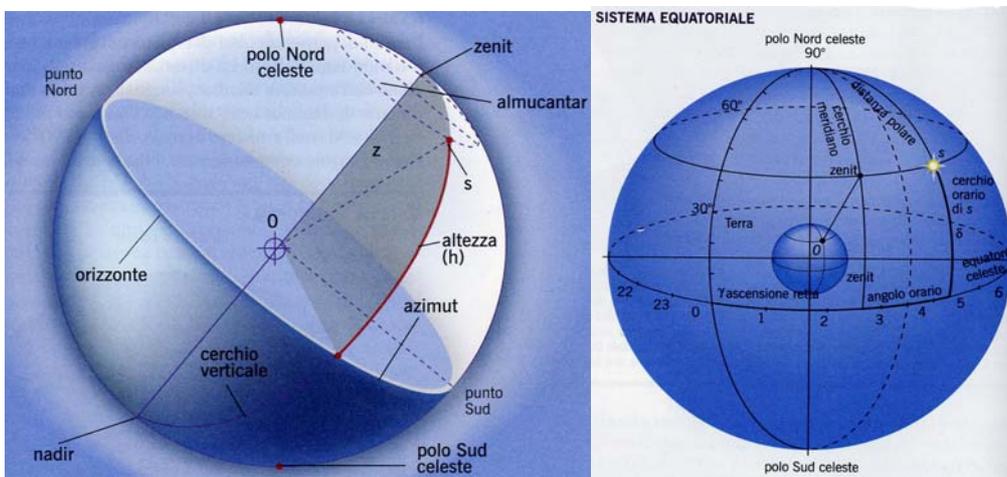


Figura 6.1a : Sistemi di riferimento alt-azimutale ed equatoriale (sfera celeste eliocentrica)

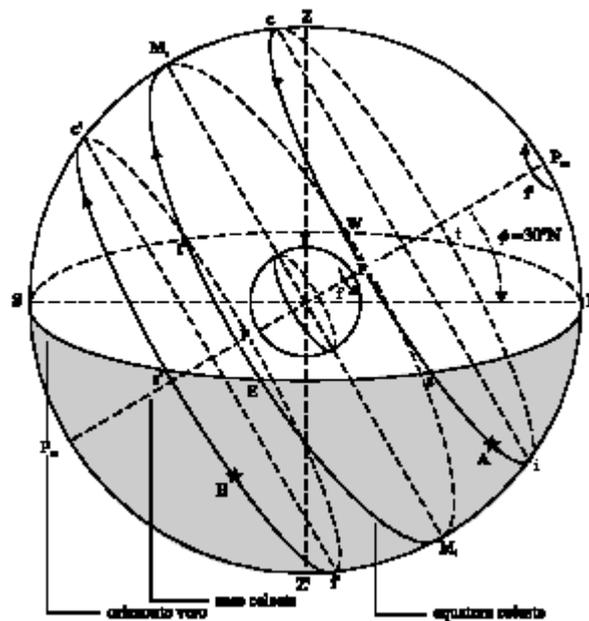


Fig. 6.1.b : Sfera celeste geocentrica

In questo sistema di riferimento la volta celeste è assimilabile a un rotatore rigido, che ha come asse di rotazione l'asse passante per i poli Nord-Sud celesti.

Qualche utile definizione, con riferimento alle figure 6.1 :

- . Verticali : archi massimi passanti per lo Zenith e il Nadir
- . Meridiano dell'osservatore : verticale passante per i cardinali Nord-Sud.
- . Primo verticale : verticale passante per i cardinali Est-Ovest
- . Orari : archi massimi passanti per i poli Nord-Sud celesti
- . Primo orario : orario passante per i cardinali Est-Ovest

Come si può notare dalla figura 6.1, solo le stelle con declinazione minore della latitudine attraversano il primo verticale, per gli astri con declinazione maggiore si definiscono :

- . Punti di massima digressione : punti di minima distanza, orientale e occidentale, dal primo verticale (coppia simmetrica rispetto al meridiano)

Con la strumentazione adeguata è possibile scattare una foto a lunga esposizione alla volta celeste in movimento. Se la foto è centrata sulla Stella Polare il risultato, ben noto agli appassionati di astrofotografia, permette di visualizzare il percorso circolare che compiono gli astri durante il loro transito in cielo (v. fig. 6.2).



Fig. 6.2 : Cielo notturno, 12h di esposizione sulla Stella Polare

6.2 PUNTAMENTO DELLE SORGENTI

Come si può notare dalla fig. 6.2 se il nostro osservatore fosse interessato non più a un singolo oggetto puntiforme, ma a un insieme di stelle (una costellazione, o sistemi multipli in genere) o a un oggetto esteso (nubi o galassie vicine), vedrebbe l'insieme ruotare rigidamente attorno all'asse polare.

Passando dalle semplici osservazioni a occhio nudo all'uso dei telescopi si hanno a disposizione una moltitudine di soluzioni che permettono di puntare una sorgente per lungo tempo e di inseguirla durante il suo moto, in particolare le soluzioni più note sono :

- Montatura equatoriale : il telescopio ruota intorno a un'asse puntato verso la Stella Polare e simula esattamente il movimento delle stelle (soluzione adottata per strumenti di dimensioni contenute).
- Montatura alt-azimutale : il sistema di riferimento è quello locale dell'osservatore, il telescopio ruota in azimut e in elevazione, il puntamento lo si realizza mediante la combinazione delle due rotazioni.

Rispetto a un telescopio con montatura equatoriale, un telescopio con montatura alt-azimutale, pur puntando correttamente una sorgente, non insegue l'arco di circonferenza che questa compie sulla volta celeste (v. fig. 6.3).

Il campo di vista di questi strumenti dunque subisce una rotazione intrinseca che, qualora si utilizzi un array per le osservazioni, va in qualche modo compensata. Si ricorre a un sistema meccanico (de-rotatore) che ruota l'array opportunamente, in modo da mantenere il sistema di riferimento dell'array solidale con il sistema di riferimento della sorgente per tutto il tempo necessario a mapparla.

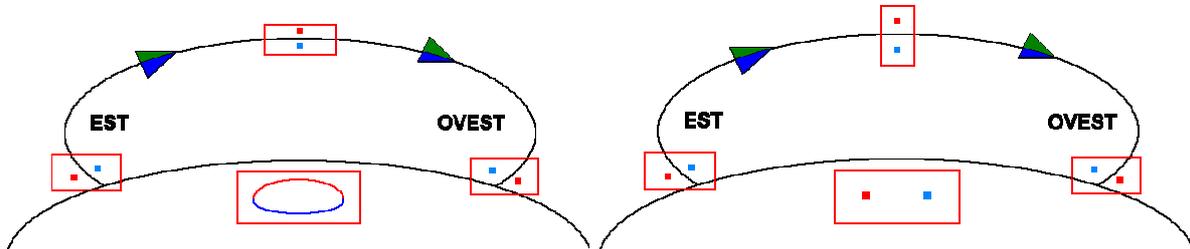


Fig. 6.3 : Immagine di una coppia di stelle ottenuta con un array (CCD, multibeam, ecc...) nel fuoco di un telescopio alt-azimutale senza e con derotatore, durante una lunga esposizione.

Qualora si osservi una sorgente puntiforme (puntamento con un singolo beam, o con il pixel centrale di un CCD) la rotazione del campo di vista è trascurabile (per piccoli errori di puntamento la sorgente si mantiene sempre all'incirca al centro del campo) a meno che non si facciano misure polarimetriche.

6.3 ANGOLO PARALLATTICO

La rotazione che compiono le sorgenti dipende dalla loro declinazione δ e dalla latitudine φ da cui le si osserva. Prendendo come asse del sistema che si vuole osservare quello diretto lungo la Polare, l'entità della rotazione è stimabile utilizzando l'angolo parallattico delle sorgenti (v. fig. 6.4):

$$\operatorname{tg} p = \frac{\operatorname{sen} HA}{\operatorname{tg} \varphi \cos \delta - \operatorname{sen} \delta \cos HA}$$

HA = angolo orario

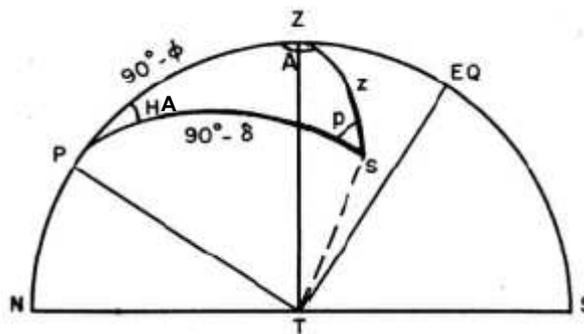


Fig. 6.4 : Coordinate di una stella S
(A = azimut, HA = angolo orario, z = distanza zenitale, p = angolo parallattico)

Il calcolo del range di rotazione va fatto con cautela sommando la variazione che subisce l'angolo parallattico nei vari quadranti.

Inoltre i quadranti stessi vanno considerati nella loro interezza solo per le declinazioni corrispondenti alle sorgenti circumpolari. Per tutte le altre sorgenti occorre determinare l'ampiezza dei quadranti attraversata effettivamente durante il moto.

Per quanto riguarda SRT le condizioni di visibilità sono :

Latitudine : $\varphi = 39.5^\circ$
 Elevazione : $h > 5^\circ$
 Sorgenti circumpolari : $\delta > 50.5^\circ$
 Sorgenti che sorgono/tramontano : $- 50.5^\circ < \delta < 50.5^\circ$

Per tutte le sorgenti l'Angolo Orario corrispondente a un'elevazione di 5° corrisponde a :

$$HA = \arccos\left(\frac{\sin h - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}\right) = \arccos\left(\frac{0.09 - 0.64 \sin \delta}{0.77 \cos \delta}\right)$$

Declinazione ($^\circ$)	Escursione in angolo orario ($^\circ$)	Tempo di transito (h)
60	± 180	24
50	± 144	19
40	± 123	16
30	± 110	15
20	± 100	13
10	± 92	12

Tabella 4 : Percorso delle sorgenti viste da SRT e tempo di transito

Con riferimento alle figure 6.4 e 6.5, qualche considerazione sull'angolo parallattico :

- L'andamento è simmetrico rispetto al meridiano dell'osservatore.
- Il triangolo ZSP (detto "triangolo di posizione") degenera in un arco massimo quando l'astro passa per il meridiano dell'osservatore, pertanto nei passaggi a Nord (meridiano inferiore) e Sud (meridiano superiore) l'angolo p vale 0° per le sorgenti con declinazione inferiore alla latitudine e vale rispettivamente 0° e 180° per le sorgenti con declinazione maggiore della latitudine.
- Per le sorgenti con declinazione maggiore della latitudine, l'angolo p vale 90° nei due punti di massima digressione.

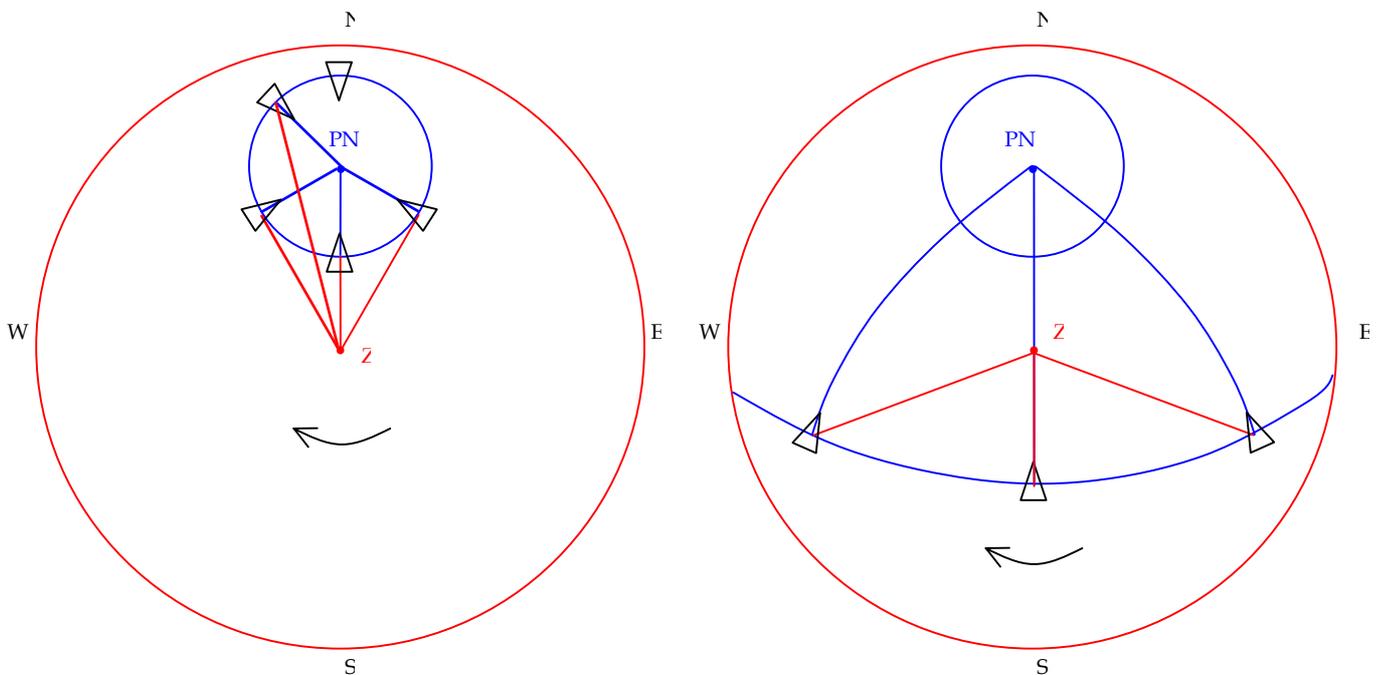


Fig. 6.5 : Proiezione piana della sfera celeste locale (in blu orari e parallelo di declinazione, in rosso verticali e orizzonte) per una sorgente con declinazione maggiore della latitudine e per una con declinazione inferiore

La velocità di rotazione del campo di vista è data da :

$$\frac{dp}{dHA} = -\frac{\cos \varphi \cos A}{\cos h} \rightarrow \frac{dp}{dt} = \frac{dp}{dHA} \frac{dHA}{dt} = -15 \frac{\cos \varphi \cos A}{\cosh} \left[\frac{\circ}{hr} \right]$$

La velocità di rotazione aumenta all'aumentare dell'elevazione e diventa teoricamente infinita durante il passaggio allo zenit. A parità di elevazione, la velocità è massima nei passaggi al meridiano.

6.4 PARAMETRI DEL DEROTATORE DI SRT

Al fine di individuare i parametri caratteristici (range e velocità di rotazione) di un derotatore per SRT, appare evidente dalle precedenti considerazioni che non è tanto importante il valore assunto dall'angolo parallattico istante per istante, quanto la sua variazione lungo il tragitto sulla volta celeste.

In particolare le sorgenti non circumpolari sorgono e raggiungono i 5° di elevazione a un ben determinato angolo parallattico, ma non è necessario che il derotatore, all'inizio dell'osservazione, sia ruotato del medesimo angolo ! Ciò che serve è che il derotatore, durante un'osservazione, sia in grado di variare la posizione angolare del multifeed di una quantità pari alla variazione angolare che subisce la sorgente durante il suo tragitto.

L'escursione angolare del derotatore deve dunque essere pari alla variazione totale dell'angolo parallattico durante il transito utile (dal punto di vista di SRT) di una sorgente.

Declinazione (°)	p_i (°)	p_{max} (°)	p_f (°)	Range di rotazione (°) $\pm (p_{max} - p_i)$
60	0 HA = 180°	180 HA=0°	0 HA = -180°	± 180
50	27 HA = 144°	180 HA=0°	-27 HA = -144°	± 153
40	41 HA = 123°	180 HA=0°	-41 HA = -123°	± 139

Tabella 5 : Andamento dell'angolo parallattico e range di rotazione al variare della declinazione (sorgenti con declinazione maggiore della latitudine)

Declinazione (°)	p_i (°)	p_{max} (°)	p_{min} (°)	p_f (°)	Range di rotazione (°) $\pm [p_{max} + (p_{max} - p_i)]$
30	47 HA = 110°	63 HA = 46°	-63 HA = -46°	-47 HA = -110°	± 79
20	50 HA = 100°	55 HA = 64°	-55 HA = -64°	-50 HA = -100°	± 60
10	51 HA = 92°	52 HA = 78°	-52 HA = -78°	-51 HA = -92°	± 52

Tabella 6 : Andamento dell'angolo parallattico e range di rotazione al variare della declinazione (sorgenti con declinazione minore della latitudine)

Le tabelle 5 e 6 mostrano i valori principali assunti dall'angolo parallattico per alcune declinazioni :

p_i, p_f = angolo parallattico all'inizio e alla fine dell'osservazione, considerando un'elevazione minima di 5°
 p_{min}, p_{max} = valori minimo e massimo assunti durante il transito della sorgente.

Considerando che per avere un transito utile di almeno un'ora occorre che :

$$\delta = \text{asen}(\text{sen}\varphi \text{sen}h + \cos\varphi \text{cosh} \cos A)$$

$$HA \approx \pm 8^\circ \rightarrow A = 174.4^\circ, \delta = -45.2^\circ$$

si ha che se ad esempio il range del derotatore di SRT fosse pari a $\pm 120^\circ$, si potrebbero inseguire in modo continuo sorgenti corrispondenti a :

$$-45.2^\circ < \delta < 38^\circ$$

$$HA = \pm 120^\circ$$

lungo tutto il loro tragitto visibile da SRT.

Analogamente con un range di $\pm 60^\circ$:

$$-45.2^\circ < \delta < 20^\circ$$

$$HA = \pm 100^\circ$$

Le sorgenti con declinazione superiore possono essere inseguite solo per il tempo in cui la sorgente ruota di un angolo pari al range di rotazione.

Nel valutare questo tempo occorre considerare che la velocità di rotazione varia al variare dell'elevazione della sorgente (raggiungendo il massimo nel passaggio al meridiano), pertanto la durata di un'osservazione continua, concessa dal derotatore, dipende dalla declinazione della sorgente.

In Tabella 7 sono elencati i tempi di osservazione massimi a disposizione considerando di osservare la sorgente in modo continuo e nell'intervallo di angolo orario in cui la velocità di rotazione è minore (in modo cioè da sfruttare per più tempo possibile il range di rotazione del derotatore).

Declinazione (°)	Transito (h)	Tempo max di osservazione (h) Range di rotazione $\pm 60^\circ$
20°	13	13 HA = +100° ÷ -100°
30°	15	8 HA = +11° ÷ -110°
40°	16	8 HA = +123° ÷ 0°
50°	19	9 HA = +144° ÷ +9°
60°	24	10 HA = +180° ÷ +33°

Tabella 7 : Tempo osservativo concesso dal derotatore per diverse declinazioni considerando un range di rotazione pari a $\pm 60^\circ$

Per quanto riguarda la velocità di rotazione, in Tabella 8 sono elencati i valori massimi di elevazione raggiunti per alcune declinazioni, e le corrispondenti velocità massime di rotazione (passaggio al meridiano).

$$h = \text{asen}(\text{sen}\varphi \text{sen}\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos HA)$$

$$h_{\max} \rightarrow \frac{dp}{dt} = \max$$

$$HA = 0 \rightarrow A = 180^\circ$$

Declinazione δ [°]	Elevazione massima h [°]	Velocità di rotazione massima [°/hr]= ["/sec]
-40	10.5	11.8
-30	20.5	12.4
-20	30.5	13.4
0	50.5	18.2
20	70.5	34.8
30	80.5	70.8
40	89.5	1326

Tabella 8 : Velocità massima di rotazione di una sorgente al variare della declinazione

La velocità di rotazione è abbondantemente al di sotto di ciò che le possibilità odierne possono fornire : la meccanica di derotazione può infatti agevolmente raggiungere velocità di svariati gradi al secondo !

Per quanto riguarda il range di rotazione. Un'escursione di $\pm 120^\circ$ può dare problemi di fattibilità dal punto di vista della gestione della torsione dei cavi del ricevitore, in particolare quelli dell'elio per la criogenia. Un range di $\pm 60^\circ$ sarebbe invece compatibile con la struttura già in fase di costruzione.

Con questa scelta esistono quindi due possibilità :

- 1) Inseguire una sorgente in modo "continuo" per tutto il tempo consentito dal derotatore (circa 8÷13 ore al massimo a seconda della declinazione della sorgente).
- 2) Inseguire una sorgente componendo più rotazioni : sfruttando la simmetria del multifeed è possibile, giunti a fine corsa, riavvolgere rapidamente tutto il sistema e ripartire osservando il FOV con feed diversi.

La possibilità 2 prevede naturalmente che in fase di elaborazione, dopo ogni riavvolgimento, si compongano i dati provenienti dai vari feed in modo opportuno.

Inoltre occorre considerare che il riavvolgimento implica necessariamente una pausa nell'acquisizione dei dati (circa 12 secondi considerando una velocità di rotazione di $10^\circ/\text{s}$).

7. Backend

7.1 DOTAZIONE DI SRT

Il multibeam a 22 GHz prevede 7x2 IF da 2 GHz ciascuna.

L'elaborazione dei dati da parte di un unico sistema che serva tutte le esigenze astronomiche sembra attualmente una strada difficilmente percorribile.

Una possibile dotazione che sia conveniente in termini economici e di versatilità d'uso, potrebbe essere la seguente :

Backend "Multifunzione": 5 moduli ciascuno con 16 ingressi IF da 50 MHz , in totale 4 GHz suddivisibili nelle due polarizzazioni,

Risoluzione variabile fino a un numero massimo di canali pari a 250.000.

Max Data Rate verso il mondo esterno stimato per modulo : 3.38 Gbit/s

Un backend di questo tipo potrebbe servire tutte le applicazioni astronomiche dei ricevitori monofeed (in questo caso le bande massime previste per SRT sono 2x2 GHz). Come si può notare dai calcoli sotto riportati è possibile utilizzare questo backend anche in combinazione con il ricevitore multifeed (2x7 IF).



Fig. 7.1 Un modulo Backend "Multifunzione"

Nel backend in questione infatti suddividendo propriamente i 14 canali del multifeed in sottobande da 50MHz è possibile gestire acquisizioni su tutti i canali con banda ridotta, rispetto ai 2GHz massimi, oppure un sottoinsieme dei canali con banda più larga, oppure solo 2 canali (utilizzo monofeed) con 2GHz di banda. Per prendere familiarità con la logica che è permessa da questa architettura si vedano i vari esempi riportati nelle figure 7.2.

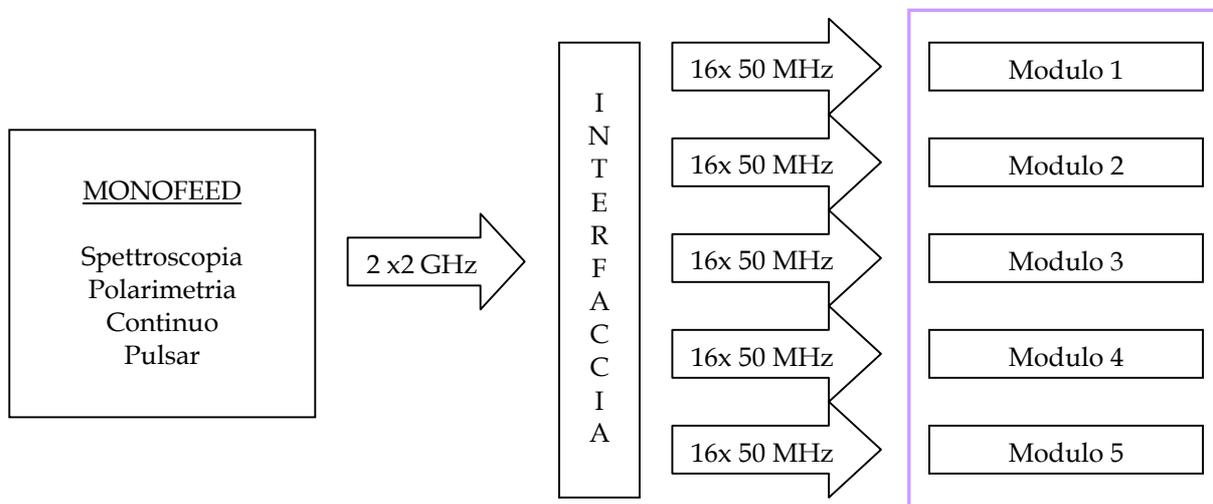


Fig. 7.2a Uso monofeed, 2 canali ampi 2GHz ciascuno

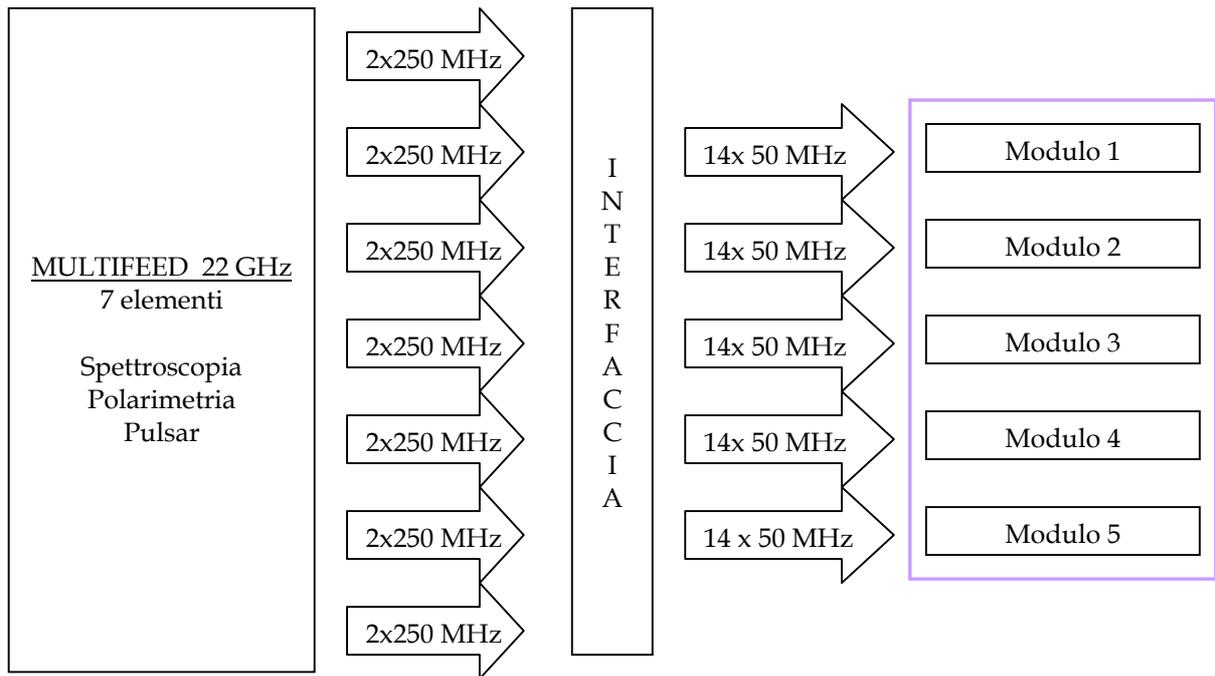


Fig. 7.2b Multifeed completo, 14 canali ampi 250MHz max ciascuno

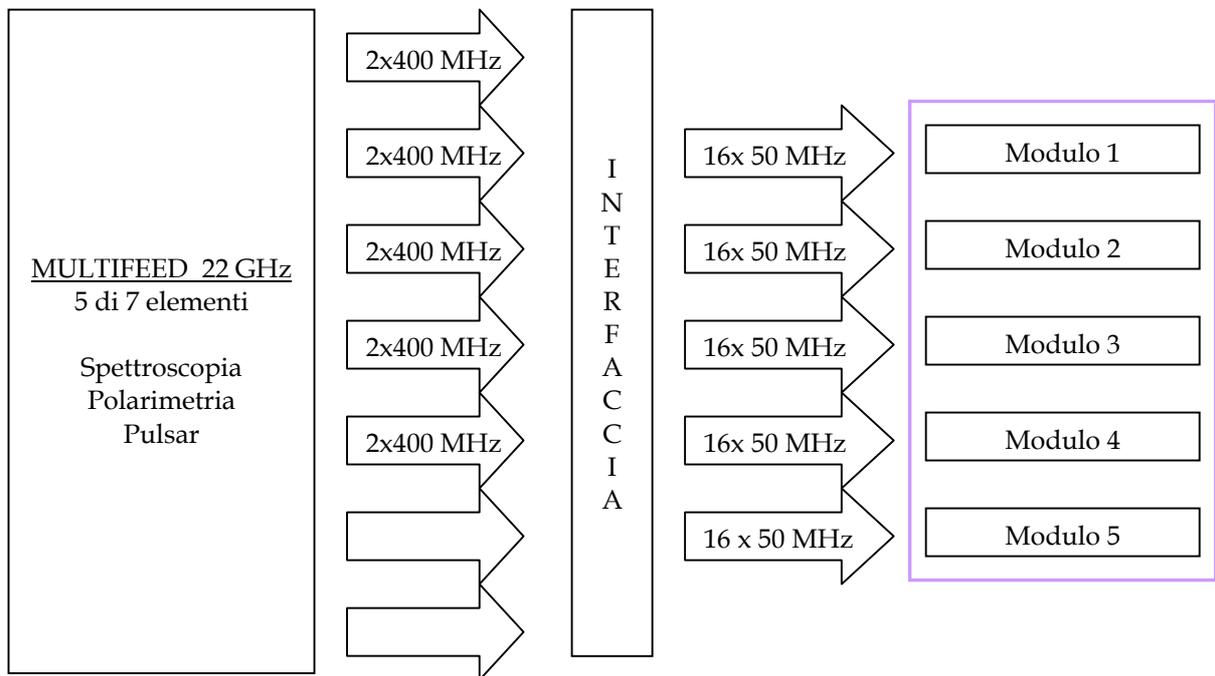


Fig. 7.2c Multifeed parziale, 10 canali ampi 400MHz max ciascuno

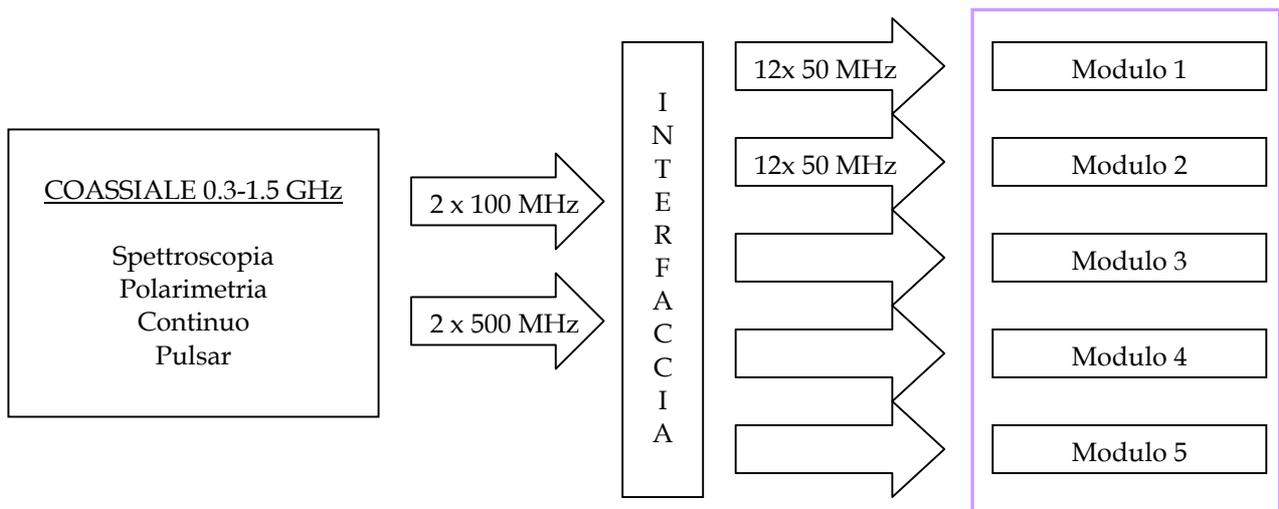


Fig. 7.2.d : Sistema coassiale, 2 canali da 100 MHz e 2 canali da 500 MHz

Il tempo di acquisizione di uno spettro è in generale stimabile con la seguente :

$$t = \frac{1}{2.1 \cdot IFbw} \cdot N_{ch}$$

$IFbw$ = larghezza della banda in ingresso da elaborare

N_{ch} = numero di canali utilizzati

Esempi :

$IF = 1 \times 100 \text{ MHz}$

$N_{ch} = 10.000$ (ris. 20 kHz)

$t = 0.04 \text{ ms}$

$IF = 1 \times 100 \text{ MHz}$

$N_{ch} = 250.000$ (ris. 0.4 kHz)

$t = 1 \text{ ms}$

Tempo di elaborazione di un singolo spettro : $\approx 1 \text{ ms}$

L'elaborazione matematica dei dati (per esempio accumulazione di spettri) viene fatto a bordo delle schede di ogni modulo, che hanno una capacità di elaborazione dati di 16bit a 400MHz.

Per visualizzare gli spettri occorre trasferire i dati elaborati a un pc esterno, la velocità di trasferimento è data dal massimo data rate ammesso dal bus PCI (3.38 Gbit/s).

Qualche esempio :

Frequenza (GHz)	Input (moduli x canali x banda [MHz])	Campionamento (bit)	Tempo di trasferimento (s)
0.3-1.5	2x12x50	16	6
22	5x14x50	4	2
22	5x16x40	4	2
32	5x16x50	2	1

Tabella 9 : Tempo necessario alla visualizzazione dei dati

La rapidità di elaborazione e trasferimento consente di visualizzare i dati praticamente in tempo reale anche durante la scansione in modalità "Spectral On-The-Fly" .

Rimane da precisare la necessità dell'interfaccia che avrà in ingresso i canali analogici dei ricevitori e fornirà al backend fino a 80 bande ampie 50MHz. Un primo modo di realizzare tale interfaccia è costituito da tante conversioni in bandabase con filtro d'uscita largo 50 MHz, saranno poi gli A/D dei moduli (4 per ogni scheda, quindi 16 per modulo) a campionare e digitalizzare tale banda.

In alternativa si può ricorrere a una realizzazione tutta digitale. Attualmente sono in fase di sviluppo per ALMA delle schede costituite da insiemi campionatore-A/D , con banda d'ingresso pari a 2GHz. Tali schede sono anche in grado di produrre la banda digitale in uscita già convertita in bandabase e sono dotabili di filtri digitali con la larghezza voluta.

Utilizzando questo tipo di interfaccia, il backend avrebbe in ingresso le 80 bande da 50 MHz già digitalizzate (i convertitori A/D presenti nei moduli verrebbero quindi by-passati).

Backend "Continuo" : 1 modulo con 14 ingressi da 2000 MHz ciascuno.

Poiché il backend "Multifunzione" non è in grado di elaborare le 14 bande del Multibeam nella loro interezza, SRT sarà dotato di un backend ad-hoc per le osservazioni in total-power condotte con il Multibeam a 22 GHz.

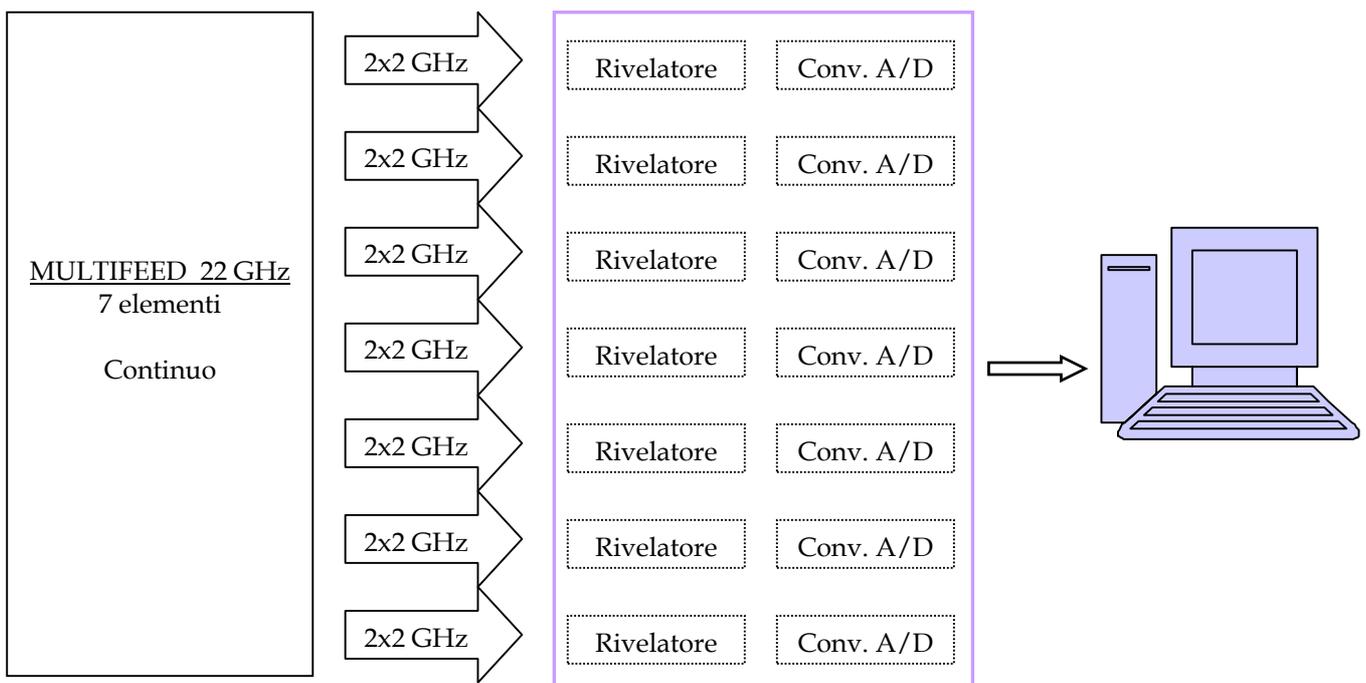


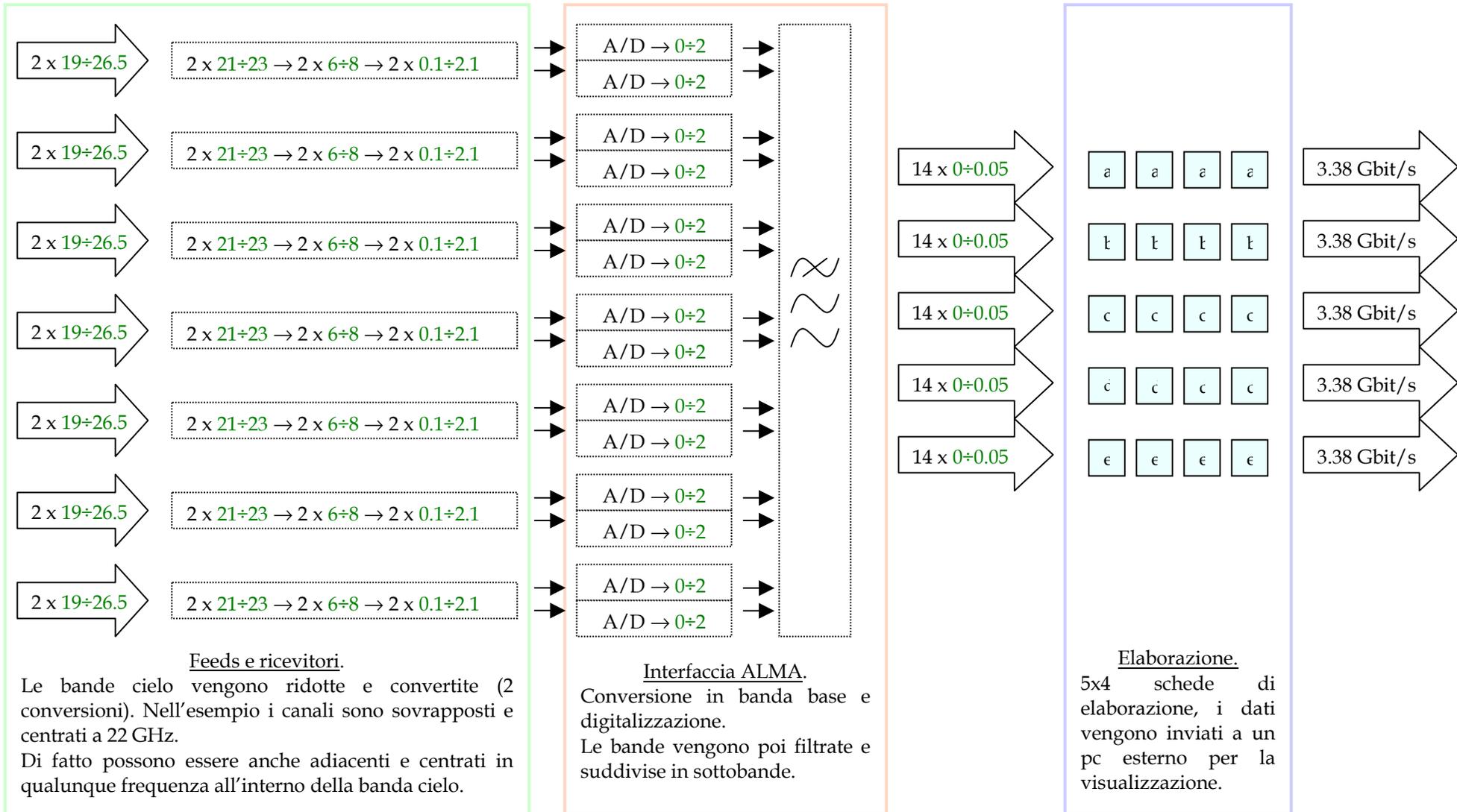
Figura 7.3 : Schema del backend per il continuo su 28 GHz di banda

L'elaborazione dei dati (correzioni ON-OFF, ecc...) in questo caso verrà eseguita da un calcolatore esterno al modulo di backend.

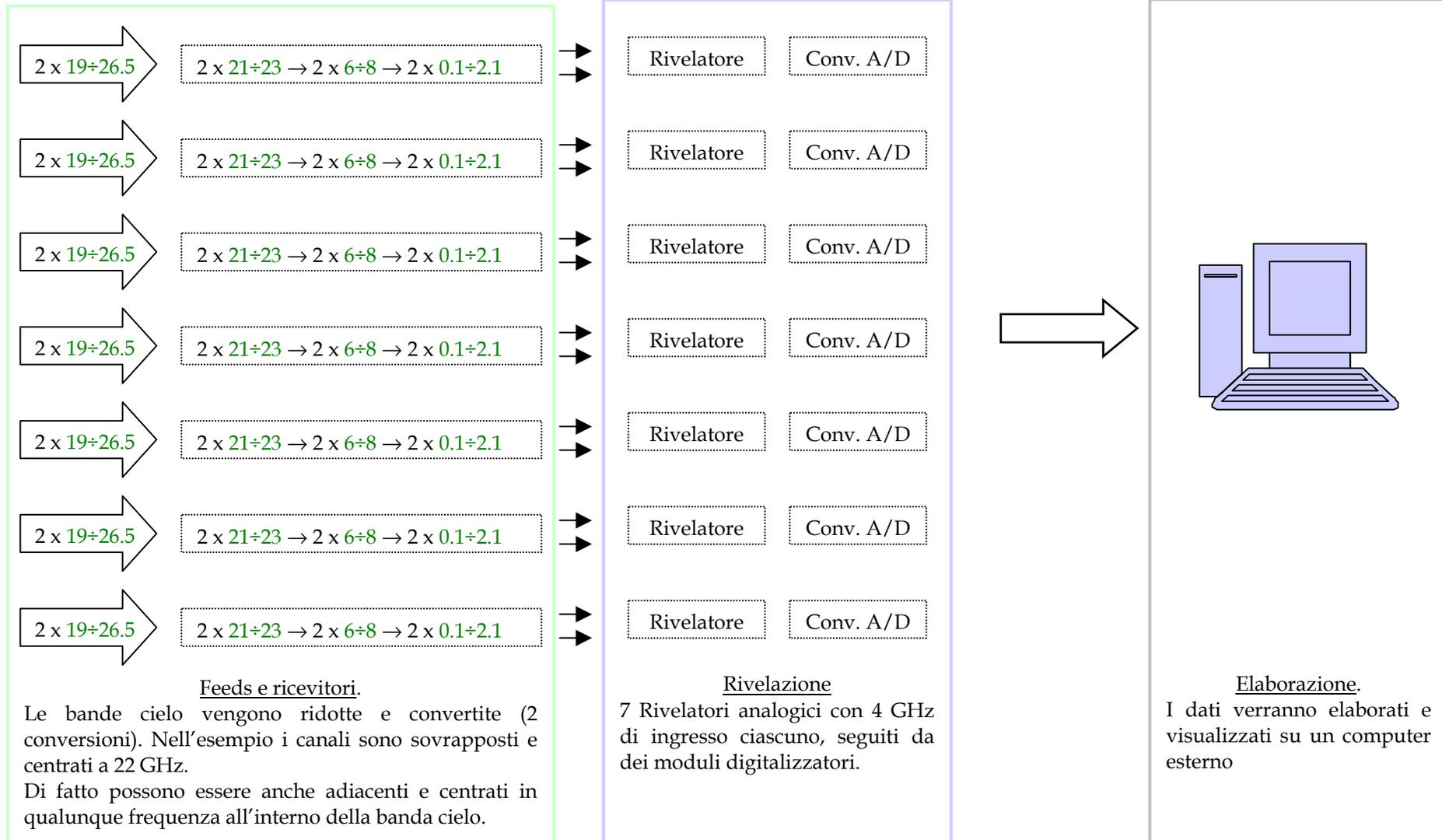
7.2 SCHEMA COMPLESSIVO PER L'ELABORAZIONE DELLE BANDE DEL MULTIBEAM

Nello schema successivo sono riassunti i due sistemi di elaborazione e l'applicazione al sistema Multibeam a 22 GHz in fase di realizzazione (le bande, se non indicato diversamente, sono sempre in GHz).

MULTIFUNZIONE 2x7x250 MHz (Spettroscopia, Polarimetria, Pulsar)



Continuo 2x7x2000 MHz (Total Power)



8. Conclusioni

Si sono valutati tutti i diversi aspetti di cui tenere conto durante la progettazione di un sistema multifeed per SRT.

- Numero ideale di feed

Si è definita una procedura per valutare il numero ideale di feed horn necessario a campionare il campo di vista a una distanza doppia di quella di Nyquist, in modo da ottenere, con un successivo puntamento, il campionamento uniforme dell'area da mappare.

La procedura, da eseguire per ciascuna frequenza, è riassumibile come segue :

- 1) Definire la perdita massima accettabile allontanando i feed dal centro del piano focale (-0.5 dB nei nostri conteggi).
- 2) Calcolare il numero massimo di feed collocabili all'interno del diametro utilizzando un massimo di 3 file (lungo la direzione della scansione) sfasate e adiacenti, ottenendo una disposizione esagonale "allargata" lungo la direzione perpendicolare a quella della scansione.

Dal confronto tra la disposizione esagonale e la disposizione a griglia risulta infatti preferibile la prima, in quanto permette una maggiore copertura del piano focale.

I calcoli, a 1.5, 22, 100 GHz hanno portato ai seguenti risultati :

1.5 GHz : 7 elementi

22 GHz : 17 elementi

100 GHz : 18 elementi

I calcoli a 100 GHz sono da considerarsi puramente indicativi, in quanto le dimensioni dell'horn sono state definite estrapolando i dati corrispondenti a 22 GHz.

-Tecniche di mappatura

Si sono valutate le tecniche Raster Scan e On-The-Fly per stimare il vantaggio, in termini di tempo osservativo, che si ottiene utilizzando un sistema Multifeed.

La seconda tecnica è da preferirsi ogni volta che la sorgente abbia un'estensione sufficiente a giustificare il movimento continuo dell'antenna (tipicamente alcuni beam), in questo caso si ottiene infatti un'ulteriore riduzione del tempo osservativo, per via dei minori tempi OFF- Source necessari.

-Parametri del derotatore

Si sono stimati il range e la velocità di rotazione che un derotatore ideale per SRT dovrebbe avere. Di fatto le caratteristiche tecniche del Multifeed in costruzione pongono un limite di 120° alla rotazione massima utilizzabile.

Con questo range di rotazione si è calcolata la declinazione massima, osservabile continuamente, pari a 20°, cui corrispondono circa 13 ore di osservazione.

Alle declinazioni superiori il tempo a disposizione è inferiore (sino a circa 8 ore) per via della velocità variabile dell'angolo parallattico.

E' in fase di valutazione una soluzione che sfrutti la combinazione di più rotazioni di 120°, intervallate dal riavvolgimento del derotatore (circa 12 secondi di sospensione dell'osservazione).

-Backend

Si è tracciata l'architettura di due backend che possano elaborare i 14 canali del Multifeed attualmente in costruzione, uno dei quali dedicato esclusivamente alle osservazioni in "total power" con Multifeed (14 canali da 2 GHz ciascuno) e un secondo "general purpose" utilizzabile anche per osservazioni Monofeed, in grado di essere usato per spettroscopia, polarimetria, pulsar con una banda istantanea massima di 4GHz.

Le valutazioni sono state fatte basandosi sul Multifeed a 22 GHz a 7 elementi.

Nell'ipotesi di sviluppare in un futuro sistemi con un numero maggiore di feed andrebbero considerate architetture alternative o, se possibile, andrebbero replicate quelle proposte.