

Medicina, Marzo 1993

*PROPOSTA OPERATIVA PER UN AGGIORNAMENTO
DELLE PRESTAZIONI DELLA PARABOLA VLBI DI
MEDICINA*

*A. Orfei, G. Maccaferri, S. Mariotti
M. Morsiani, G. Zacchioli*

CNR - Istituto di Radioastronomia, Bologna
IRA 206/95

File: upgrade.doc

Word2000

INTRODUZIONE

Nel seguito vengono descritte alcune idee e proposte operative inerenti ad un miglioramento delle prestazioni della parabola VLBI di Medicina.

L'esigenza di affrontare queste problematiche sorge da varie motivazioni.

a) L'ingresso in rete osservativa del sistema VLBA minaccia di spiazzare la rete europea di telescopi e, per quanto ci riguarda, i nostri di Noto e Medicina: la possibilità di osservare a frequenze via via più alte e in particolar modo la capacità di commutare frequenza in brevissimo tempo fornisce una alta flessibilità ed ottimizzazione d'uso del telescopio che a tutt'oggi noi non abbiamo.

b) L'uso intensivo dell'antenna per svariati progetti radioastronomici e geodinamici, sia in VLBI che ad antenna singola, determinano la necessità di cambiare continuamente il ricevitore in uso. Ciò comporta tempi lunghi, una logistica e impegno di personale che, seppure migliorati negli ultimi anni tramite alcuni progetti sviluppati, rimane pur sempre su tempi scala dell'ordine di qualche ora uomo e dunque lontana dall'obiettivo di tempi scala totali dell'ordine dei minuti. Per lo stesso motivo le operazioni sul subriflettore sono affidate alla clemenza del clima, il che a volte può rendere impossibile la partecipazione in tempo utile ad esperimenti internazionali.

La tecnica moderna e l'esperienza maturata in questi anni di operatività di Medicina consentono alcune varianti nel "sistema Parabola", senza le quali si rischia da un lato di non rimanere al passo con le prestazioni, dall'altro l'obsolescenza di alcune parti del sistema.

Nel seguito vengono descritti i dettagli della proposta, analizzando più soluzioni plausibili dettate sia dalla nostra esperienza, sia da ciò che altre antenne hanno realizzato. Ove è possibile, allo stato attuale della nostra indagine, è allegata anche una stima dei costi previsti cercando di separare ciascuna parte del nuovo sistema. La scelta poi delle effettive soluzioni sarà dettata da compromessi riguardanti costi, prestazioni, fattibilità, tempi di realizzazione, know-how acquisibile.

Particolare enfasi si vuole mettere indicando che, seppure l'impegno di risorse è notevole, il miglioramento è stato pensato sempre tenendo in mente che esso verrà sviluppato in tempi successivi, compatibilmente con i finanziamenti disponibili e con la forza-lavoro via via a disposizione. E' decisivo quindi che ciascuna parte sia ideata in modo da armonizzarsi e integrarsi con le successive. Ciò vuol dire che l'"upgrade" deve essere pensato fin dall'inizio da un lato come un tutto unico, dall'altro in modo tale che ciascuna parte sia di per sé un progresso immediatamente sfruttabile.

Il contenuto di questa proposta è il frutto di ripetute discussioni e studi del gruppo composto da

A. Orfei, G. Maccaferri, S. Mariotti, M. Morsiani; P. Zacchioli,
e dalla collaborazione di
G.Grueff,R.Ambrosini,G.Tomassetti,M.Catarzi,G.Tofani,F.Mantovani.

PROPOSTA

Indichiamo subito due lavori da effettuarsi quanto prima,

a) verniciatura antenna. La Parabola presenta ormai ampie zone di ruggine che devono essere eliminate.

b) lavori sulla rotaia. Come è noto il "grout" sottostante la rotaia su cui l'antenna si muove in azimut ha, in diversi punti, perso la sua capacità di sostegno del carico. Questo ha determinato la perdita delle specifiche di allineamento della rotaia che vanno ripristinate. Oltre a ciò la superficie della rotaia stessa presenta erosioni.

I lavori possibili sono:

- b1) rifacimento completo del "grout"
- b2) tamponamento delle falle mediante speciali resine epossidiche (metodo utilizzato all'antenna di Effelsberg)
- b3) sostituzione rotaia e riallineamento

Essenzialmente sono due gli interventi di miglioramento delle prestazioni:

- 1) aumentare la f_{max} di lavoro a 43GHz
- 2) predisporre per un cambio veloce e automatico dei ricevitori

Cosa significhi realizzare questi due obiettivi è schematicamente descritto nel riassuntivo di fig.1. Ciascun argomento verrà delineato nelle pagine successive.

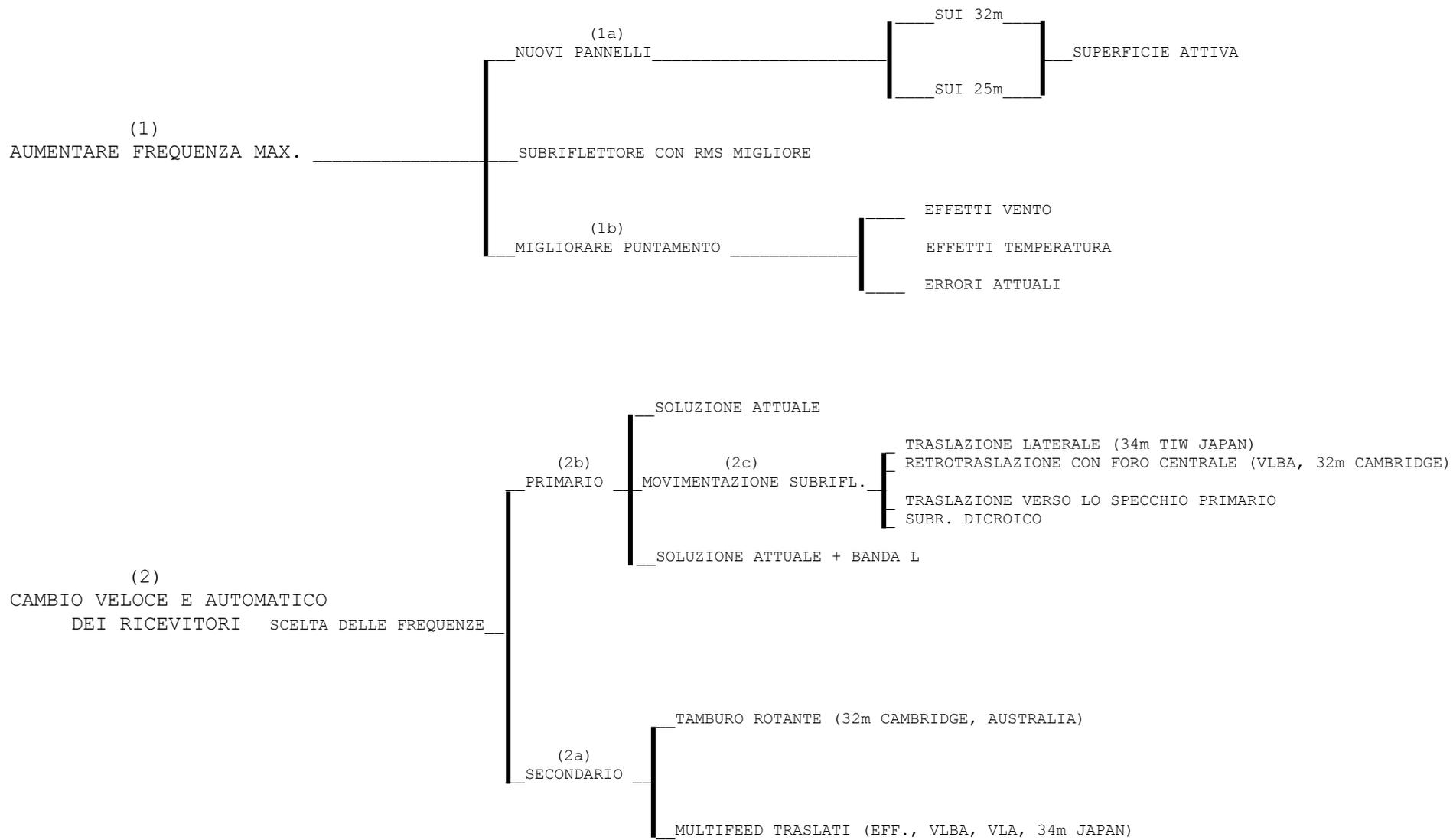


Fig. 1

AUMENTO DELLA FREQUENZA DI LAVORO

Aumento della frequenza massima di osservazione significa 43GHz.

In prima istanza l'efficienza dell'antenna alle varie frequenze è determinata dal rms con cui il paraboloide è ritenuto tale.

1a) le componenti dell'rms sono

- a) rms costruttivo e di allineamento dei pannelli costituenti lo specchio primario
- b) rms del subriflettore
- c) rms della deformazione per gravità dello specchio primario alle varie elevazioni

Attualmente si ha,

- rms costruttivo: 0.4 mm
- rms allineamento: 0.08 mm a 45° El (J. Browne)
- rms subriflettore: 0.25 mm
- rms gravità: max circa 3 mm sulla parabola di best fit, alle elevazioni estreme e su alcuni punti dell'anello esterno.

L'efficienza a 43GHz teorica prevedibile è allora (si parte da un massimo teorico del 55%),

- a 45° di El $rms_{totale}=0.48mm, e=26\%$
- la gravità può essere tenuta in conto in vari modi, per esempio pesando il fatto che le elevazioni più alte e più basse sono le meno usate, oppure più semplicemente considerando un rms medio su tutte le elevazioni. Seguendo quest'ultima metodologia si ha, rms def. Gravità=0.5mm, perciò $rms_{totale}=0.69mm, e=12\%$

Queste sono stime teoriche che sicuramente verranno peggiorate dal fattore puntamento quanto meno. Se si vuole una efficienza plausibile il primo passo è sostituire i pannelli con più accurati. Si hanno tre accuratezze possibili,

- i1) 0.25mm di rms
- i2) 0.18mm
- i3) 0.12mm

per i costi si veda l'Appendice. Nei tre casi ricalcoliamo le stime delle efficienze,

- | | | |
|--------------|------------------------|----------|
| i1) a 45° El | $rms_{totale}=0.36mm,$ | $e=36\%$ |
| con gravità | $rms_{totale}=0.61mm,$ | $e=16\%$ |
| i2) a 45° El | $rms_{totale}=0.32mm,$ | $e=40\%$ |
| con gravità | $rms_{totale}=0.52mm,$ | $e=18\%$ |
| i3) a 45° El | $rms_{totale}=0.29mm,$ | $e=42\%$ |
| con gravità | $rms_{totale}=0.57mm,$ | $e=19\%$ |

Con questi valori di rms dei pannelli l'effetto limitante è l'rms del subriflettore che maschera gli effetti benefici e di costo di pannelli più accurati.

Ipotizzando di avere un subriflettore con superficie 0.1mm anziché 0.25mm si avrebbe (caso i3),

a 45° El	rms _{totale} =0.18mm,	e=50%
con gravità	rms _{totale} =0.52mm,	e=23%

proseguendo ulteriormente nella piramide delle possibilità si vede da quest'ultima previsione che a questi livelli di rms ciò che limita è la deformazione per gravità. Come ridurre questo effetto?

a) utilizzare a questa frequenza solo i 25m più interni dell'antenna. In questo modo il numero di pannelli da sostituire sarebbe inferiore, così come l'rms per gravità diminuirebbe passando da 0.5mm a 0.33mm. Con questa eventualità si avrebbe,

con gravità	rms _{totale} =0.37mm,	e=36%
-------------	--------------------------------	-------

b) uso di superficie attiva
in questo modo l'effetto di gravità potrebbe essere notevolmente riassorbito col che avvicinandosi al valore massimo che tipicamente si ha a 45° di El. Per contro si aggiunge il costo della implementazione (vedi Appendice).
Tuttavia si potrebbe pensare di rendere attivi solo i 25m più interni, oppure, al contrario, rendere attivi solo quelli eccedenti i 25m nel caso in cui si voglia utilizzare tutti i 32m della antenna. Le possibilità sono varie.

1b) estremamente critico è il puntamento a 43GHz

Il beam sarebbe 51" (HPBW) usando 32m,
sarebbe 65" usando 25m.

Le prestazioni attuali della nostra antenna in termini di puntamento sono (specifiche TIW),

15" rms in condizioni operative di precisione (*)
30" rms normali (**)

(*) RH 0÷50%, Tamb -25÷+30°C, vento fino a 25Km/h con folate fino a ±5Km/h, radiazione solare 950Kcal/m²/h, pioggia 0.5cm/h max

(**) RH 0÷90%, Tamb -30÷+50°C, vento fino a 65Km/h con folate fino a ±8Km/h, radiazione solare 950Kcal/m²/h, pioggia 5cm/h max.

Questi sono errori non ripetibili. Si assume infatti che quelli ripetibili siano completamente riassorbiti dalle campagne di calibrazione di puntamento.

Da queste campagne noi attualmente non otteniamo meglio di $18'' \div 21''$ di residuo rms.

E' uso dire che il degrado sul puntamento è accettabile se l'errore è HPBW/5, è ottimo se è HPBW/10.

Il secondo caso non è, attualmente, alla nostra portata.

Posto che si riuscisse ad ottenere un residuo come a 22GHz, a 43GHz si sarebbe nella situazione HPBW/2.5, considerando appunto un residuo di $20''$.

Il degrado di efficienza è

-per i 32m	0.65
-per i 25m	0.77

questi coefficienti vanno moltiplicati per le efficienze prima calcolate in ciascuno dei casi esposti.

Il degrado come si vede è notevole, rendendo il puntamento di importanza strategica se si vuole aumentare f_{max} . Tra l'altro il degrado è peggiore punto per punto nel cielo perché un rms di $20''$ implica $60''$ max.

Per inciso si fa notare come, da questo punto di vista, usare solo 25m è meglio perché il beam è più largo.

Un aspetto importante degli errori di puntamento riguarda

effetti termici

abbiamo misurato una notevole dipendenza di come l'antenna devia dalla sua posizione nominale di puntamento allorquando sussiste una differenza di temperatura tra le gambe. In inverno si ha un coefficiente pari a $17''/^{\circ}C$ di differenza tra le gambe in direzione elevazione (più complessa la dipendenza in direzione cross-elevazione che comunque è di entità inferiore). Ciò avviene però in giornate di sole e terse.

In estate, al contrario, si ha un coefficiente più basso (trascurabile in cross-elevazione), tuttavia ogni giorno la deformazione è sicura, cioè esiste una ciclicità del fenomeno dovuto alla presenza certa di soleggiamento.

Vi è da aggiungere che le misure sono state effettuate con l'antenna permanentemente in stow position, che è la situazione peggiore.

effetti del vento

li trascuriamo in quanto la zona in cui è inserita Medicina è quella a minore frequenza di vento (vedi Colombo, manuale dell'ingegnere). Così è nei fatti.

Dalle considerazioni esposte la soluzione ai problemi del puntamento è quella che si incammina sulla strada di una misura real time dell'errore.

Attualmente la strada intrapresa è quella dell'utilizzo di livelle elettroniche, in grado di valutare l'inclinazione che subisce la struttura su cui sono poste. Le nostre attuali non hanno la necessaria ripetibilità a lungo termine, tuttavia si deve sondare la possibilità di correzioni rispetto a uno zero relativo fatto poco prima dell'osservazione o comunque ogni certo numero di ore. In questo caso servirebbe una ripetibilità solo a breve termine.

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti di temperatura la strada è l'utilizzo di sensori di temperatura disseminati nei punti importanti dell'antenna (gambe, quadripode) e un sistema di acquisizione dati.

Le possibilità potrebbero essere,

a) fare campagne di misura di temperatura e inclinazione e cercare se esiste un modello che descriva il comportamento della deformazione.

b) rifarsi ai coefficienti di deformazione termica dei materiali (per l'acciaio 6 ppm/°C) e modellare la deformazione con opportuno software di analisi di strutture (NASTRAN).

CAMBIO VELOCE E AUTOMATICO DEI RICEVITORI

Questo aspetto implica una riflessione su,

- a) quali ricevitori in fuoco secondario
- b) quali in primario
- c) come movimentare il subriflettore

La situazione attuale è,

-1.4-1.6GHz;5GHz;12GHz;22GHz;43GHz in secondario

-S/X;22GHz in primario

-subriflettore da rimuovere dalla struttura della antenna ogni volta che si usa un Rx primario.L'operazione necessita di quattro persone, la gru, e un tempo totale di circa tre ore.

-cambio Rx in secondario effettuato scambiando i ricevitori già tutti collocati nella vertex room(non c'è più bisogno della gru).L'operazione necessita di tre-quattro persone, tre ore max di cambio più il tempo del raffreddamento (circa 4 ore).

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto il tempo di raffreddamento è aggirabile utilizzando un compressore criogenico multitesta in modo da mantenere raffreddati tre ricevitori contemporaneamente.A questo proposito, con l'installazione di questo apparecchio, che necessita peraltro anche di un impianto di raffreddamento ad acqua, diventa necessaria una ristrutturazione dell'insieme compressori, che finora erano tenuti all'aperto di fianco alla vertex.

L'idea è quella di alloggiarli in ambiente chiuso al primo piano dell'antenna.

Nessun problema invece, dal punto di vista dei tempi, in fuoco primario ove il passaggio tra S/X e 22GHz è fattibile in qualche minuto.

Come si vede provvedimenti per migliorare i tempi sono stati già presi, tuttavia il tempo di cambio ricevitore rimane generalmente alto e soprattutto la logistica del subriflettore lo renderebbe impossibile in condizioni meteo avverse.

2a)Il numero di ricevitori allocabili in secondario è limitato da,

- a) presenza del 18-21cm, di dimensioni considerevoli (60% dello spazio disponibile).
- b) dimensione dei rack ricevitori grande
- c) necessità di garantire comunque,
 - c1) interventi agevoli di manutenzione
 - c2) smontaggio di ciascun Rx indipendentemente dagli altri
 - c3) disponibilità di spazio per muoversi e per collocare almeno un rack di elettronica
- d) possibilità di richiesta di nuove frequenze

I vincoli a), b), c), d) ora come ora non consentono una espansione futura di nuove frequenze che sia convincente, se vogliamo perseguire la logica di cambio veloce e automatico.
Passi verso possibili soluzioni potrebbero essere,

a) feed a larga banda, per esempio

3÷4.5GHz	
4.5÷7GHz	
7÷10GHz	
10÷15GHz	fmax/fmin=1.5
15÷22GHz	
22÷34GHz	
34÷51GHz	

L'idea è di porre le basi per convogliare in un unico rack più frequenze. Il rapporto 1.5 non è stato scelto a caso, infatti,

- a1) feed con questo rapporto sono realizzabili, con tecniche consolidate
 - a2) gli accoppiatori direzionali non sono limitanti
 - a3) il polarizzatore. Lo stato dell'arte consente di fare OMT ottimizzati su due o tre sottobande nella banda del feed
 - a4) i preamplificatori. In alcune bande esistono amplificatori commerciali larghi anche un'ottava che nessuno ha provato a temperature criogeniche. NRAO ha progetti di larga banda per la nuova antenna di Greenbank.
- b) per le frequenze più alte si può pensare a un paio di feed per rack così da utilizzare stesso dewar e stessa IF. La commutazione avverrebbe a livello di IF
- c) è fattibile, anche sugli attuali ricevitori con non molto lavoro e poca spesa, ridurre le dimensioni dei rack.

Le dimensioni attuali dei feed e rack sono riportati in Tab.1: la filosofia è un ricevitore-un feed-un rack; la larghezza di banda è il 10% della frequenza di cielo.

d) coesistenza contemporanea di tutti i ricevitori, spostati assialmente (giacenti nel piano di fase), inclinati verso il subriflettore che a sua volta si inclina verso il feed. Per il progetto effettivo è comunque da valutare attentamente come variano

MISURE APPROSSIMATIVE DEI RICEVITORI E DEI FEEDS

misure in millimetri con tolleranza di ± 5 mm sulle lunghezze assiali e sulle dimensioni più grandi.

Ricev.	largh.	lungh.	Sporgenza bocca feed	Diam. bocca feed int.	ext.	lungh.ax. feed	Diam. centro di fase
22	590	1300	-50	109	120	330	80
12	590	710	+490	210	240	735	180
5 FEED	590	1450	+20	514	630	1470	500
5 RIC.	590	1600+70 (wg)					
18 cm	590	N/A	1130	N/A	1400	2670	1150

Tab. 1

- guadagno d'antenna
- puntamento
- spillover
- crosspolarizzazione
- lobi secondari

in letteratura spostandosi di alcuni beamwidth (4 o 5)

- la perdita di guadagno è irrisoria
- il puntamento cambia di un angolo fisso e facilmente calcolabile
- lo spillover è contenuto a qualche Kelvin
- i lobi secondari non subiscono apprezzabili effetti di coma e quello principale rimane immutato
- la crosspolarizzazione non è dato sapere.

La soluzione d) necessiterebbe di una variante alle corse meccaniche dello specchio secondario perché insufficienti.

e) L'alternativa al punto d) è un tamburo rotante in vertex room che posiziona ciascun ricevitore nel centro di fase, cioè assialmente come ora.

Questa soluzione dà però dei problemi perché sfrutterebbe solo metà della stanza, con conseguente limitazione sul numero di feed allocabili, necessiterebbe di un sistema di movimentazione e una struttura di sostegno più onerosa e complicata. Porrebbe delle complicazioni sui tubi di raffreddamento criogenico a causa della rotazione.

e) un miglioramento decisivo in termini di spazio lo si avrebbe se si potesse eliminare l'enorme 18/21cm. Ciò lo si può ottenere costruendo un ricevitore in banda L per fuoco primario. A questo proposito si ricorda che l'attuale S/X/K è previsto per poter connettere un ricevitore esterno che usa la medesima elettronica di IF, cosicché occorrerebbe realizzare la parte dal feed al mixer e basta.

2b) Come detto le frequenze in primario sono interdipendenti con le decisioni che si prendono per il secondario. Si può avere,

a) soluzione attuale, cioè con bande S/X e K

b) qualcuno ha adottato (Westerbork) la soluzione di una scatola rotante in fuoco primario ove su ciascuna faccia è collocato un feed. Tuttavia questa soluzione è poco attraente dal nostro punto di vista perché comporta una totale ristrutturazione della scatola ricevitori e nega il ricevitore appena costruito. Per non parlare di costi, che aumenterebbero notevolmente.

c) portare in primario il banda L, anche qui con diverse possibili soluzioni.

2c) La movimentazione del subriflettore è indispensabile se si vuole un cambio veloce dei ricevitori posti in fuoco primario. Tuttavia pare anche la più critica da affrontare. In linea di principio questa parte d'antenna può fare posto al ricevitore primario in vari modi,

- a) traslazione laterale
- b) retrotraslazione con foro centrale ove è allocato il feed
- c) traslazione verso il centro dello specchio primario
- d) subriflettore dicroico

Non è ancora completamente chiaro qual'è la strada da percorrere, comunque le soluzioni b) e d) sono ben poco attraenti perché o negano il nuovo S/X/K o necessitano di cambiare totalmente l'attuale specchio secondario, con i relativi problemi di costo.

La soluzione a) sembra, allo stato attuale, la più indolore perché garantirebbe l'uso dell'attuale ricevitore. Certo, in ogni caso modifiche alla parte movimentazione del subriflettore sarebbero necessarie, ma queste in realtà sono di attualità anche per altri motivi: per poter realizzare la disposizione descritta in 2a-d) le corse meccaniche dello specchio secondario sono insufficienti; la parte movimentazione è estremamente pesante (circa 600kg su un totale di 800) e ciò potrebbe essere un problema per la traslazione laterale; la precisione della meccanica attuale del secondario può essere insufficiente per il 43GHz.

Per poter capire gli effetti della movimentazione occorre una indagine di tipo meccanico e una indagine su come influenza la ricezione, nelle bande S, X, K ed eventualmente L, la presenza laterale del secondario.

APPENDICE

-Costi sostituzione pannelli

sostituire tutti i pannelli a 0.25mm di rms.....445Ml

sostituire solo i primi 25m a 0.25mm di rms.....300Ml

sostituire tutti i pannelli a 0.18mm di rms.....512Ml

sostituire solo i primi 25m a 0.18mm di rms.....342Ml

sostituire tutti i pannelli a 0.12mm di rms.....538Ml

sostituire solo i primi 25m a 0.12mm di rms.....358Ml

A queste cifre occorre aggiungere,

costo smontaggio vecchi pannelli e montaggio
nuovi (SAE) + riallineamento (J. Browne).....150Ml

N.B.:prezzi pannelli al gennaio '92 prezzi SAE e J. Browne al '89

Questi sono prezzi della ditta Cospal, si contatterà anche la
americana RSi (VLBA) per confronto.

-Stima di costo di un attuatore per rendere attiva la superficie dello specchio primario.....1.2Ml

n.ro totale pannelli.....240

n.ro pannelli dei primi 25m.....144

il numero degli attuatori è circa come il numero dei pannelli
movimentati, perciò

per tutta la superficie.....280Ml

per i soli primi 25m.....170Ml

per i soli 7m eccedenti.....110Ml

-Stima di costo di un ricevitore

I costi che si elencheranno sono estremamente grossolani in quanto il
totale effettivo cambia da ricevitore a ricevitore, per esempio per
quanto riguarda la parte feed, polarizzatore e preamplificatori

Feed+polarizzatore.....	20M1
Accop. direzionale.....	2M1
Preamplificatori.....	2*10M1
Mixers, elettronica di media frequenza.....	2*7.5M1
Testa fredda.....	15M1
Dewar.....	5M1
Alimentatori, gen. di rumore, ant. unit.....	5M1
Totale.....	82M1

-Stima dei costi per realizzare l'insieme fisso di ricevitori in fuoco secondario.

Comprende la struttura di sostegno dei ricevitori nella vertex, il rifacimento della attuale copertura metallica e la caratterizzazione delle prestazioni nella configurazione adottata. Non comprende il costo per ridurre le dimensioni meccaniche dei rack.....20M1

-Stima di costo di feed a larga banda.

Come detto dipende dal feed (frequenza e tecnica costruttiva). Comunque, comprendendo anche il polarizzatore, l'insieme progetto, costruzione, misura del prodotto finito.....25-30M1