

PROPOSTA PER IL RADDOPPIO DELLA SENSIBILITA' DEL RAMO
EW DELLA "CROCE DEL NORD"

R. Ambrosini, G. Tomassetti

LRA 21/77

RAPPORTO INTERNO

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

LABORATORIO DI RADIOASTRONOMIA

c/o ISTITUTO DI FISICA «A. RIGHI»
Via Irnerio, 46 - 40126 BOLOGNA (Italy)

SOMMARIO

Viene presentato lo studio di fattibilità del miglioramento della sensibilità del ramo Est-Ovest della "Croce del Nord".

Assieme ai fattori che possono determinarne la scelta, vengono illustrate quattro soluzioni operative diverse, in parte verificate sperimentalmente in laboratorio.

INTRODUZIONE

Per la ricerca statistica di radiosorgenti (survey) l'attuale sensibilità della Croce del Nord è compatibile con il potere risolutivo dello strumento.

D'altra parte, in alcune ricerche specifiche come lo studio delle Pulsars o l'analisi di strutture di sorgenti deboli, è necessario spingere la sensibilità del sistema anche oltre il limite della confusione determinato dalla risoluzione angolare dello strumento.

La sensibilità di un radiotelescopio (1) è inversamente proporzionale al rumore proprio del sistema, riferito al "dipolo", ovvero all'antenna priva di attenuazione. Tale rumore può essere scomposto nella somma di tre termini: il primo raccolto dall'antenna, il secondo introdotto dal ricevitore, il terzo introdotto da ogni possibile attenuazione resistiva interposta fra essi (in pratica, la linea di trasmissione che collega l'antenna al ricevitore).

Esprimendo le potenze di rumore come temperature equivalenti, la temperatura totale del sistema (T_{SYS}) vale:

$$T_{SYS} = T_A + T_R + T_L$$

ove T_A = temperatura d'antenna

T_R = temperatura effettiva d'ingresso di rumore del ricevitore

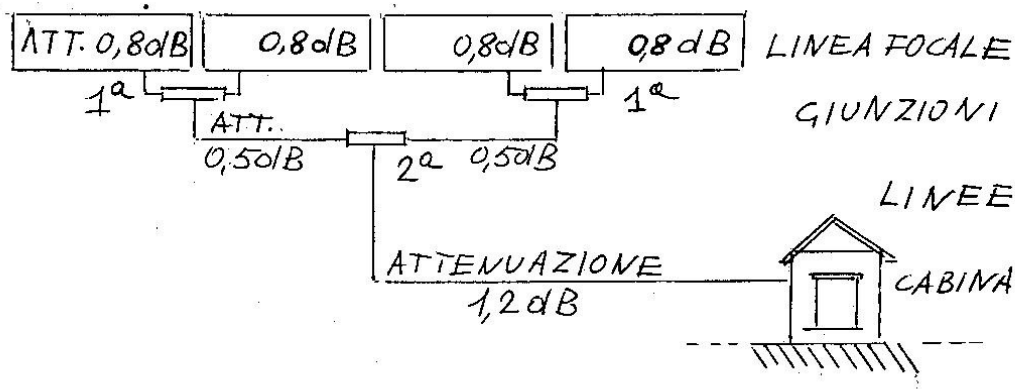
T_L = contributo di rumore della linea di trasmissione. Esso comprende due termini: uno legato all'attenuazione del segnale, l'altro al contributo della temperatura fisica della linea.

Nel caso attuale della Croce del Nord le stime dei corrispondenti valori numerici sono:

$$\begin{aligned}
 T_A &= 40^{\circ}\text{K} \\
 T_R &= 90^{\circ}\text{K} \\
 T_L &= 300^{\circ}\text{K} \\
 \hline
 T_{\text{SYS}} &= 430^{\circ}\text{K}
 \end{aligned}$$

Dalle cifre precedenti risulta che l'attenuazione della linea di trasmissione è il fattore che limita maggiormente la sensibilità dello strumento. Tale contributo può essere ridotto montando il ricevitore, o un preamplificatore, più a monte, lungo la linea di trasmissione che congiunge i dipoli al ricevitore.

I rami Est-Ovest e Nord-Sud del radiotelescopio differiscono tra loro nel modo di sommare i segnali provenienti dai singoli elementi dell'antenna. Nel caso limite di voler eliminare tutta l'attenuazione possibile, nel ramo N-S sarebbero necessari 64 preamplificatori contro i 12 del ramo E-W. Ci limiteremo pertanto a considerare solo quest'ultimo caso. Dal punto di vista elettrico la struttura del ramo E-W è riportata in Fig. 1



La necessità di determinare rapidamente la sensibilità del sistema ricevente in funzione dell'attenuazione interposta tra dipoli e ricevitore e degli altri parametri, ha indotto gli autori (2) a costruire il grafico di Fig. 2. In ordinata compare il deterioramento in dB del rapporto segnale disturbo del caso reale, rispetto alla situazione ideale di una linea di trasmissione priva di attenuazione e di un ricevitore con temperatura di rumore nulla.

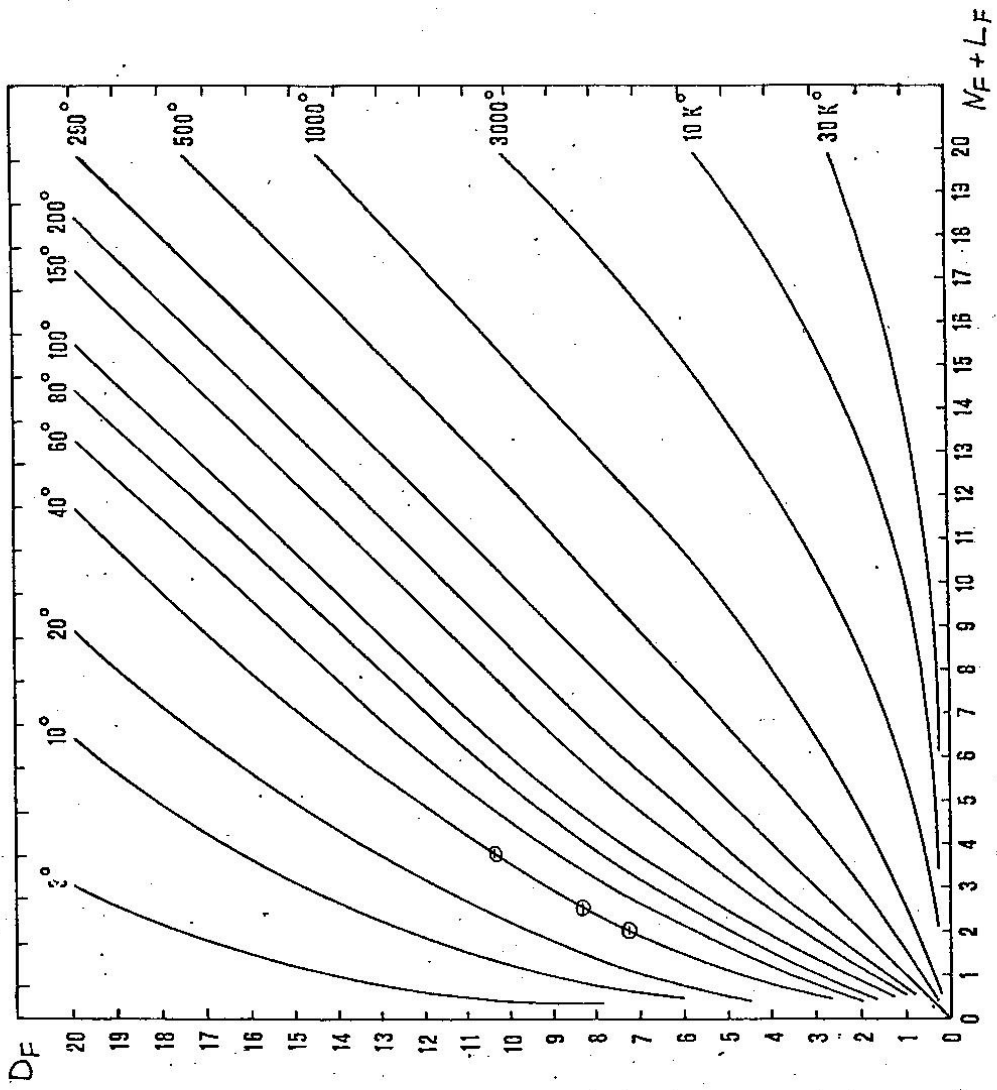


FIG. 2

Il caso reale è individuato dal valore effettivo di attenuazione della linea (in dB) e dalla cifra di rumore del ricevitore (pure in dB) la somma dei quali compare in ascissa.

La temperatura d'antenna risulta il parametro che determina la convenienza di migliorare la sensibilità del sistema: più essa è bassa, maggiore è l'incremento del rapporto segnale disturbo per la stessa diminuzione di attenuazione della linea o di cifra di rumore del ricevitore.

Nel caso del ramo E-W della 'Croce del Nord' si presentano due possibili soluzioni per migliorare la sensibilità del sistema. La prima prevede un preamplificatore per canale posto all'uscita della seconda giunzione (vedi Fig. 1) con la eliminazione di 1,2 dB di attenuazione della linea (valore misurato sperimentalmente). La seconda, invece, prevede due preamplificatori per canale, posti all'uscita della prima giunzione con la eliminazione di 1,7 dB di attenuazione della linea stessa.

Poichè la temperatura d'antenna viene stimata in 40°K e l'attenuazione della linea attuale in 2,5 dB, il miglioramento del rapporto segnale-disturbo rispetto a quello presente vale 2,1 dB nel primo caso e 3,1 dB nel secondo

Nella tabella 1 sono riportati per esteso questi valori numerici:

	atten. linea (dB)	N_F (dB)	$N_F + L$ (dB)	D_F (x)	D_F (dB)	T_{SYS} (°K) (x)	fattore numerico miglior.
situazione attuale	2,5	1,2	3,7	10,3	-	428	-
1 preampl./canale	1,3	1,2	2,5	8,2	2,1	264	1,6
2 preampl./canale	0,8	1,2	2,0	7,2	3,1	210	2,0

TABELLA 1

(x) temperatura d'antenna = 40°K

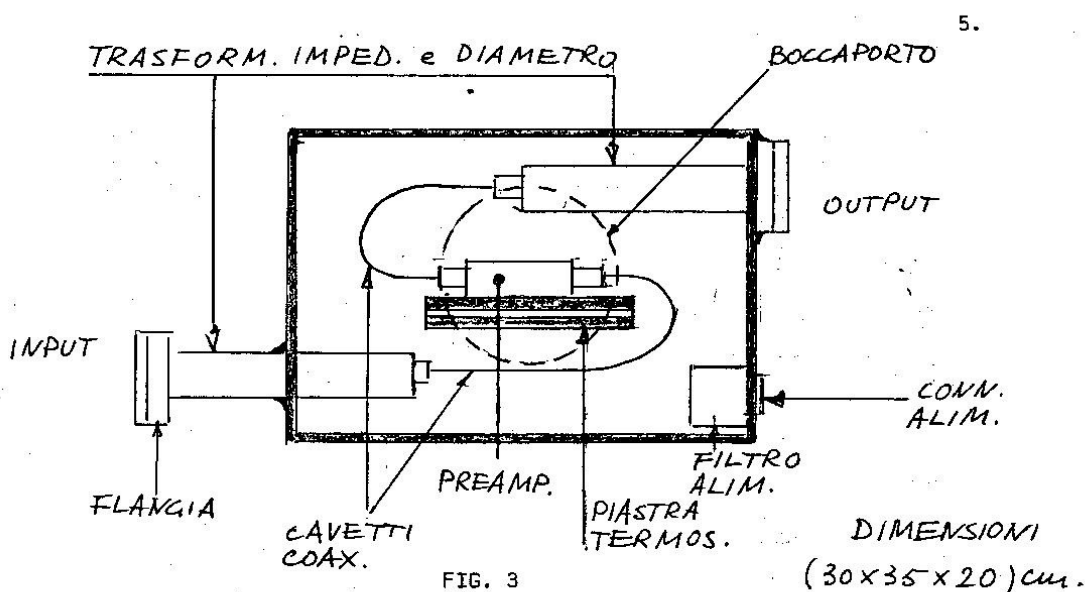
Nella Tabella 1 si è assunto per la cifra di rumore totale del ricevitore un valore costante pari a 1,2 dB. Tale valore, conservativo rispetto alla media dei ricevitori attuali di 1,15 dB, dipende però dalla scelta circuitale del nuovo assetto come sarà mostrato in seguito.

CRITERI DI PROGETTO

L'esigenza prioritaria da rispettare è la compatibilità con la sistemazione attuale al fine di mantenerne la stabilità di fase e d'ampiezza e l'affidabilità di funzionamento.

E' noto infatti che la sensibilità del radiotelescopio è anche funzione della stabilità di guadagno delle catene di ricezione e del tempo dedicato alla osservazione del cielo (surveying sensitivity) (3). Attualmente le deviazioni standard delle variazioni di fase ed ampiezza del ramo N-S sono circa 3 volte maggiori di quelle ottenibili in E-W, mentre le catene di ricezione sono praticamente identiche. Appare logico quindi imputare alle antenne esterne e non alla elettronica la maggior parte dell'instabilità.

Inoltre se il circuito del preamplificatore è simile a quelli oggi in funzione è lecito supporre che, a meno di infinitesimi di ordine superiore (vedi Appendice 1), il deterioramento della stabilità sia proporzionale al rapporto fra il guadagno aggiuntivo (10:30 dB) e quello totale (circa 120 dB). In prima approssimazione si può pertanto ritenere trascurabile il contributo del preamplificatore alla instabilità complessiva. Si ritiene pertanto superfluo includerlo nel "loop" di calibrazione semplificando in modo determinante il circuito elettrico. In definitiva dovrà allora essere realizzata una unità, schizzata in Fig. 3, con le seguenti caratteristiche elettrico-meccaniche:



- 1) Il contenitore esterno deve essere a tenuta stagna con boccaporto circolare, pure a tenuta, per la rapida sostituzione del preamplificatore.
- 2) Per ragioni di compatibilità tra connettori coassiali, sono necessari due trasformatori di impedenza - diametro (da cavo di 60 ohm con $\varnothing = 40$ mm a 50 ohm dei connettori N standard). In questo modo il preamplificatore può essere facilmente sostituito da un normale cavo coassiale per ripristinare la configurazione attuale senza un significativo deterioramento della sensibilità del sistema (l'attenuazione aggiuntiva di circa 0,1 dB va confrontata coi 2,5 dB attuali; vedi grafico di Fig. 2).
- 3) Il preamplificatore deve essere accuratamente isolato termicamente e termostato ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). A tal fine sembra ovvio riprodurre il sistema in funzione negli attuali ricevitori, in cui il contenitore è riempito di palline di polistirolo espanso. La connessione tra i trasformatori di impedenza e il preamplificatore deve avere bassa attenuazione per il segnale a 408 MHz ma elevata resistenza termica per permettere un efficace isolamento termico del preamplificatore stesso. La soluzione più semplice è quella di usare un cavetto coassiale sottile ma di ottima qualità.
- 4) E' necessario schermare e filtrare i cavi di alimentazione del modulo preamplificatore per evitare interferenze da radiodiffusione, ma soprattutto

sovratensioni indotte o scariche di fulmini che potrebbero danneggiare i dispositivi attivi.

- 5) E' necessario prevedere un "by-pass" dell'azoto che potrà essere indifferentemente entro contenuto o esterno rispetto all'unità in esame.

PROGETTO ELETTRICO

Sono state individuate quattro soluzioni distinte derivate sostanzialmente dal progetto del ricevitore "Mark 3". Per ogni soluzione vengono elencate:

- a) la compatibilità con la situazione attuale;
- b) la possibilità di montare due preamplificatori per canale;
- c) la cifra di rumore totale nel nuovo assetto (preamplificatore + linea + ricevitore). Il valore numerico è quello misurato sperimentalmente in laboratorio con il PANFI 75, con 1,5 dB di attenuazione tra preamplificatore e ricevitore per simulare la linea reale. La seconda cifra decimale della N_F permette di stimare le piccole differenze tra le soluzioni proposte e dà quindi un valore relativo e non assoluto;
- d) l'ondulazione della curva di risposta nella banda 406-410 MHz ("ripple" in banda in dB). La misura è stata effettuata in laboratorio con il Polyskop. Un cavo lungo circa 40 metri ($\approx 100 \lambda$) con una attenuazione di 6 dB a 408 MHz simulava la linea reale lunga 60-80 metri ($\approx 100 \lambda$) con attenuazione molto minore (1,2-1,7 dB). I valori numerici ottenuti nella misura risultano pertanto ottimistici rispetto alla situazione reale. La maggiore attenuazione del cavo utilizzato in laboratorio tende infatti ad adattare il sistema;
- e) comportamento all'intermodulazione rispetto alla situazione attuale. Per l'intermodulazione in banda viene mostrata la variazione dell'"intercept point" (Δ_{IP}); per quella fuori banda si indicano i circuiti accordati alla

- frequenza di lavoro;
- f) difficoltà di taratura;
- g) costo comparativo fra le differenti soluzioni.

Nella descrizione delle diverse soluzioni viene utilizzata la simbologia introdotta in (4). Lo stadio preamplificatore dell'attuale ricevitore viene quindi indicato come modulo (A) e la restante parte come modulo (B). Si ricorda che l'attuale ricevitore è costituito dall'unione dei due moduli (A) e (B). Con "preamplificatore" si intende il circuito da inserire lungo la linea di trasmissione, mentre con "cabina" si intende il tipo di ricevitore da installare nelle cabine distribuite sotto l'antenna E-W.

SOLUZIONI PROPOSTE

————— I —————

Preamplificatore: (A) - In cabina: (B)

- a) Compatibilità: minima. Il sistema deve essere integralmente ritarato ogni volta che si passa da una configurazione all'altra.
- b) Due preamplificatori: impossibile, a meno di riprogettare la seconda giunzione come anello ibrido. Infatti per poter collegare in parallelo le uscite di due amplificatori neutralizzati come (A) è necessario un isolamento fra loro di almeno 20 dB. Senza tale isolamento i due amplificatori danno luogo ad una violenta autooscillazione in banda.
- c) N_F : 1,22 dB
- d) Ripple: $\pm 0,3$ dB, ritarando il circuito di uscita di (A) e l'ingresso di (B) in cui viene sostituita la resistenza in parallelo all'ingresso di 120 ohm con una di 48 ohm.
- e) Intermodulazione: in banda $\Delta_{IP} = 0$. Fuori banda: sostanzialmente identica all'attuale.

sovratensioni indotte o scariche di fulmini che potrebbero danneggiare i dispositivi attivi.

- 5) E' necessario prevedere un "by-pass" dell'azoto che potrà essere indifferentemente entro contenuto o esterno rispetto all'unità in esame.

PROGETTO ELETTRICO

Sono state individuate quattro soluzioni distinte derivate sostanzialmente dal progetto del ricevitore "Mark 3". Per ogni soluzione vengono elencate:

- a) la compatibilità con la situazione attuale;
- b) la possibilità di montare due preamplificatori per canale;
- c) la cifra di rumore totale nel nuovo assetto (preamplificatore + linea + ricevitore). Il valore numerico è quello misurato sperimentalmente in laboratorio con il PANFI 75, con 1,5 dB di attenuazione tra preamplificatore e ricevitore per simulare la linea reale. La seconda cifra decimale della N_F permette di stimare le piccole differenze tra le soluzioni proposte e dà quindi un valore relativo e non assoluto;
- d) l'ondulazione della curva di risposta nella banda 406-410 MHz ("ripple" in banda in dB). La misura è stata effettuata in laboratorio con il Polyskop. Un cavo lungo circa 40 metri ($\approx 100 \lambda$) con una attenuazione di 6 dB a 408 MHz simulava la linea reale lunga 60-80 metri ($\approx 100 \lambda$) con attenuazione molto minore (1,2-1,7 dB). I valori numerici ottenuti nella misura risultano pertanto ottimistici rispetto alla situazione reale. La maggiore attenuazione del cavo utilizzato in laboratorio tende infatti ad adattare il sistema;
- e) comportamento all'intermodulazione rispetto alla situazione attuale. Per l'intermodulazione in banda viene mostrata la variazione dell'"intercept point" (Δ_{IP}); per quella fuori banda si indicano i circuiti accordati alla

- f) Taratura: praticamente possibile solo visualizzando all'analizzatore di spettro il rumore proprio del sistema. La regolazione del modulo (A) dovrebbe essere "comandata" a distanza.
- g) Costo: limitato alla costruzione della scatola stagna ed a quello del cavo di alimentazione.

————— II —————

Preamplificatore: (A) - In cabina: attenuatore da 5 dB e (A+B).

- a) Compatibilità: ottima.
- b) 2 preamplificatori: impossibile, a meno di riprogettare la seconda giunzione come anello ibrido. L'uso di attenuatori (≈ 10 dB) in uscita ai preamplificatori deteriora sensibilmente la cifra di rumore totale del ricevitore (da 1,2 a 1,5 dB).
- c) N_F : 1,22 dB - con 1,5 dB di linea + attenuatore resistivo da 5 dB davanti al modulo A+B.
- d) Ripple: ± 1 dB con 5 dB resistivi all'ingresso del ricevitore in cabina (A+B). Per avere un ripple di $\pm 0,1$ dB, l'attenuazione totale prima e dopo il cavo deve essere 12:15 dB.
- e) Intermodulazione: in banda $\Delta_{IP} = -15$ dB (con attenuatore da 5 dB davanti al ricevitore in cabina). Fuori banda: due circuiti risonanti in più.
- f) Taratura: standard nel caso di un preamplificatore per canale.
- g) Costo: oltre a quello della soluzione precedente, comprende la realizzazione di sette esemplari (almeno uno di scorta) uguali al modulo (A).

————— III —————

Preamplificatore: (C), appositamente realizzato. In cabina: modulo (B).

- a) Compatibilità: sufficiente. Il ripristino della configurazione attuale implica "l'apertura" del ricevitore in cabina per collegare (A) con (B).

- b) 2 preamplificatori: possibile, senza problemi.
- c) N_F : 1,12 dB
- d) Ripple: praticamente non misurabile se la resistenza in parallelo all'ingresso di B viene sostituita con una di 48Ω .
- e) Intermodulazione: in banda $\Delta_{IP} = -10$ dB. Fuori banda: tre circuiti risonanti in più, di cui due accoppiati a filtro di banda.
- f) Taratura: standard nel caso di un preamplif./canale. Nel caso di due preamplificatori per canale la taratura deve essere particolarmente accurata, ma realizzabile in laboratorio. Quest'ultima soluzione potrebbe richiedere una verifica radioastronomica del puntamento dell'antenna.
- g) Costo: il modulo (C) equivale sostanzialmente a due moduli (A), pertanto il costo sarà proporzionalmente più elevato.

————— IV —————

Preamplificatore: (C) - In cabina: (A+B) preceduto da un filtro-attenuatore.

- a) Compatibilità: ottima, se il filtro-attenuatore è tanto stabile da non dover essere termostato.
- b) 2 preamplificatori: possibile, senza problemi.
- c) N_F : 1,18, calcolato in base alla soluzione III e con 14 dB di attenuazione in banda del filtro attenuatore.
- d) Ripple: praticamente non misurabile (stimato).
- e) Intermodulazione: in banda $\Delta_{IP} = -20$ dB. Fuori banda: vengono aggiunti tre circuiti risonanti di cui due collegati a filtro di banda, oltre al filtro-attenuatore.
- f) Taratura: stesse difficoltà del caso III.
- g) Costo: come la soluzione III, più il costo dell-attenuatore ed eventualmente del filtro.

Il valore di 14 dB massimi di attenuazione è calcolato per avere il 2% di peggioramento della sensibilità del sistema rispetto alla soluzione III.

CONCLUSIONE

Gli Autori ritengono utile un incremento di sensibilità del ramo E-W della "Croce del Nord".

Fra le soluzioni realizzative studiate ovviamente la più economica risulta essere la prima.

Gli Autori, d'altra parte, preferiscono la terza soluzione per ragioni di affidabilità ed efficienza di funzionamento.

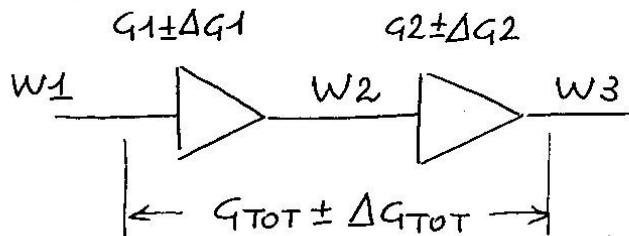
Nel caso in cui sia ritenuta irrinunciabile la compatibilità totale con la sistemazione attuale è da preferirsi, secondo gli Autori, la soluzione quarta.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Kraus "Radioastronomy", McGraw Hill, 1966, p. 244.
- (3) Christiansen "Radiotelescopes", Cambridge University Press, 1969, p. 209.
- (2) R. Ambrosini, G. Tomassetti "Ottimizzazione di sistemi radioriceventi: il coefficiente D_F " (inviato per la pubblicazione su ALTA FREQUENZA).
- (4) R. Ambrosini, L. Bentivogli, F. Magaroli, G. Minarelli, G. Sinigaglia, G. Tomassetti "Il ricevitore radioastronomico MARK 3 per la CROCE DEL NORD", Rapporto Interno n. 19/76 del Laboratorio di Radioastronomia, C.N.R., Bologna.

APPENDICE 1

DUE STADI IN CASCATA CON INSTABILITA'
DI GUADAGNO:



$$W_2 = (G_1 \pm \Delta G_1) W_1$$

$$W_3 = (G_2 \pm \Delta G_2) W_2 = (G_1 G_2 \pm G_1 \Delta G_2 \pm G_2 \Delta G_1 + \Delta G_1 \Delta G_2) W_1 \\ = (G_{TOT} \pm \Delta G_{TOT}) W_1$$

Posto $G_{TOT} = G_1 G_2$ e trascurando $\Delta G_1 \Delta G_2$,
infinitesimi di 2° ordine si ha:

$$\Delta G_{TOT} = G_1 \Delta G_2 + G_2 \Delta G_1 \quad e$$

$$\frac{\Delta G_{TOT}}{G_{TOT}} = \frac{\Delta G_2}{G_2} + \frac{\Delta G_1}{G_1}$$

Moltiplicando per $\frac{\log G_{TOT}}{\log G_{TOT}} = 1$ il 1° termine:

$$\frac{\Delta G_{TOT}}{G_{TOT}} \left(\frac{\log G_1 + \log G_2}{\log G_{TOT}} \right) = \frac{\Delta G_1}{G_1} + \frac{\Delta G_2}{G_2}$$

Infine

$$\frac{\Delta G_1}{G_1} = \frac{\Delta G_{TOT}}{G_{TOT}} \cdot \frac{10 \log G_1}{10 \log G_{TOT}} = \frac{\Delta G_{TOT}}{G_{TOT}} \cdot \frac{G_1 \text{ (dB)}}{G_{TOT} \text{ (dB)}}$$