

Goliardo Tomassetti

Hanno fattivamente collaborato: C. Bortolotti; S. Mariotti; M. Roma

## **Il nuovo interferometro didattico per il Centro Visite dell' Osservatorio Radioastronomico di Medicina**

### GENERALITA' E INFORMAZIONI TECNICHE DI BASE

Nei pochi anni di uso, l' interferometro didattico pre-esistente si e' dimostrato utile ed efficace per completare, con una dimostrazione pratica, la descrizione teorica del fenomeno interferometria che, notoriamente, trova ampio e proficuo impiego nella scienza radioastronomica.

Per problemi provocati da troppo frequenti guasti e per i necessari aggiornamenti tecnici, si e' deciso di "rivedere" l'intera struttura, nota come " l'interferometro del Centro Visite", adattandola alle nuove esigenze, semplificandone ed ottimizzandone l' impiego pratico.

Tra le specifiche della nuova versione 2009, domina quella che prevede la possibilita' di mostrare contemporaneamente ed in tempo reale, le tracce dovute al prodotto ed alla somma dei due canali interferenti oltre a quella "total power", con rivelazione quadratica di uno solo dei due.

La semplificazione del sistema inizia con l' abbandono della complessa e ridondante acquisizione digitale, operazione che consente, tra l' altro, di piu'che dimezzare lo hardware in uso.

Il "display" su monitor delle tre tracce post rivelazione o di quella singola, a scelta dell' istruttore, potra' avvenire tramite una scheda di acquisizione "AD-DA" commerciale, di un "data logger" multicanale o altro da decidere.

Con l' assistenza dei tecnici dello staff di Medicina si tentera' inoltre di ridurre i tempi di transito della radio sorgente campione dalle "naturali" due ore, ai piu' ragionevoli 10 o 15 minuti, facendo "velocemente" transitare l' antenna davanti alla radio-sorgente e non viceversa come avviene attualmente.

Restano inalterati i limiti tecnici relativi alla sensibilita' ed al potere risolutore: avendo scelto il Sole quale sorgente campione, la sua buona ricezione e' comunque scontata anche nel caso di antenna singola come dimostrato dall'analisi riportata in appendice. Viene confermata la buona qualita' delle tracce e la stabilita' elettrica del ricevitore che non deve pero' essere considerato oltre lo stato di prototipo. I dati che se ne possono trarre sono pertanto validi didatticamente ma risultano e vanno considerati "qualitativi".

Sul pannello frontale mostrato in Fig. 1A sono simmetricamente posizionati 3 piccoli connettori coassiali dai quali si prelevano tensioni in corrente continua (d.c.) originate da ed indicate con:

1-**TOTAL POWER** ( per il transito del Sole davanti ad una sola delle due antenne)

2-**SOMMA** (per il transito del Sole con somma vettoriale delle uscite I.F. dei due canali)

3-**PRODOTTO** (per il transito del Sole con prodotto vettoriale delle uscite I.F. dei due canali)

Sulla quarta, analogo ma asimmetrica uscita coassiale, tramite un analizzatore di spettro, sara' possibile osservare e denunciare la presenza di eventuali segnali "man made" presenti in media frequenza e quindi provenienti dalla antenna.

Uno schema di principio semplificato di tutto l' impianto e' riportato in Fig.1 ove si indicano con le lettere A, B e C i tre fondamentali blocchi che lo costituiscono e di cui si da ora una sommaria descrizione:

**A-** comprende le antenne, il filtro di ingresso e gli amplificatori a basso rumore (front-ends) che operano alla frequenza di ingresso (sky frequency) centrata nominalmente a 1296 MHz. La struttura risulta installata sul prato antistante il Centro Visite (C.V.).

Fa parte di questo blocco anche un dispositivo elettromeccanico, il "rotore", attraverso il quale e' possibile variare il puntamento delle antenne sia in Azimut che in Elevazione (AZ-EL mount);

**B-** e' la scatola metallica riportata come "il ricevitore" che e' sostenuta in un rack, posto nella sala museo del C.V., di fronte ad una finestra attraverso la quale risulta visibile il sistema della antenne. La scatola contiene tutti i dispositivi a radio frequenza, dalla conversione della frequenza di ingresso alla amplificazione di quella intermedia (I.F.) a cui segue la rivelazione ("detection") a diodi e uscita in corrente continua (d.c.) con integrazione ed amplificazione via amplificatori operazionali (O.P.).

Il *correlatore analogico* con il quale si ottiene il prodotto complesso dei due canali, e' parte integrante di questo settore. Le tre uscite d.c. derivano da somme e partizioni passive ottenute in I.F. tramite sommatore/divisori di potenza commerciali.

**C-** questa parte dell' impianto mette essenzialmente a disposizione dell' operatore, oltre al ricevitore stesso, un computer, il comando per ottenere la rotazione delle antenne e un dispositivo da definire, che indicheremo genericamente come unita' "display".

I settori A (sul prato del V.C.) e B(sala interna del V.C.) sono collegati con due cavi coassiali interrati lunghi diverse decine di metri. Sui 23 cm, ognuno introduce una considerevole attenuazione (13.5 dB) di cui si e' dovuto tenere ben conto durante la progettazione del ricevitore. Analogo percorso e' dovuto ai cavi elettrici necessari per la movimentazione delle antenne.

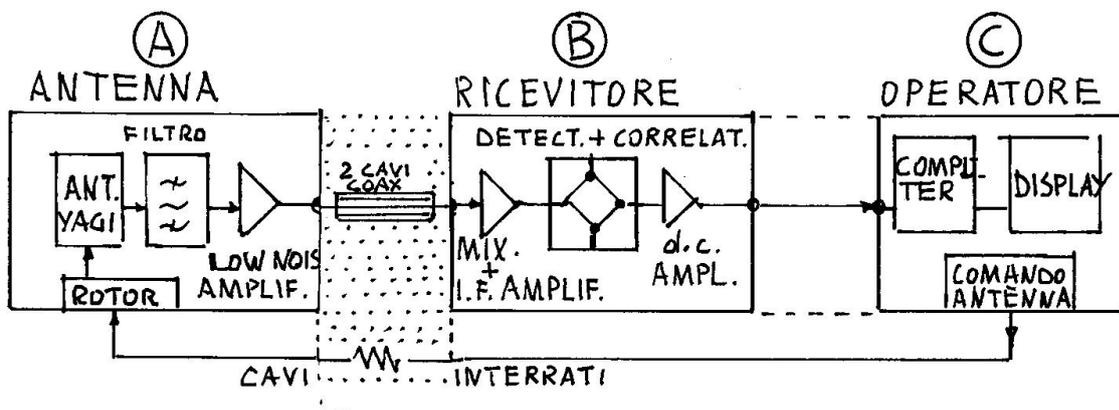


Fig.1

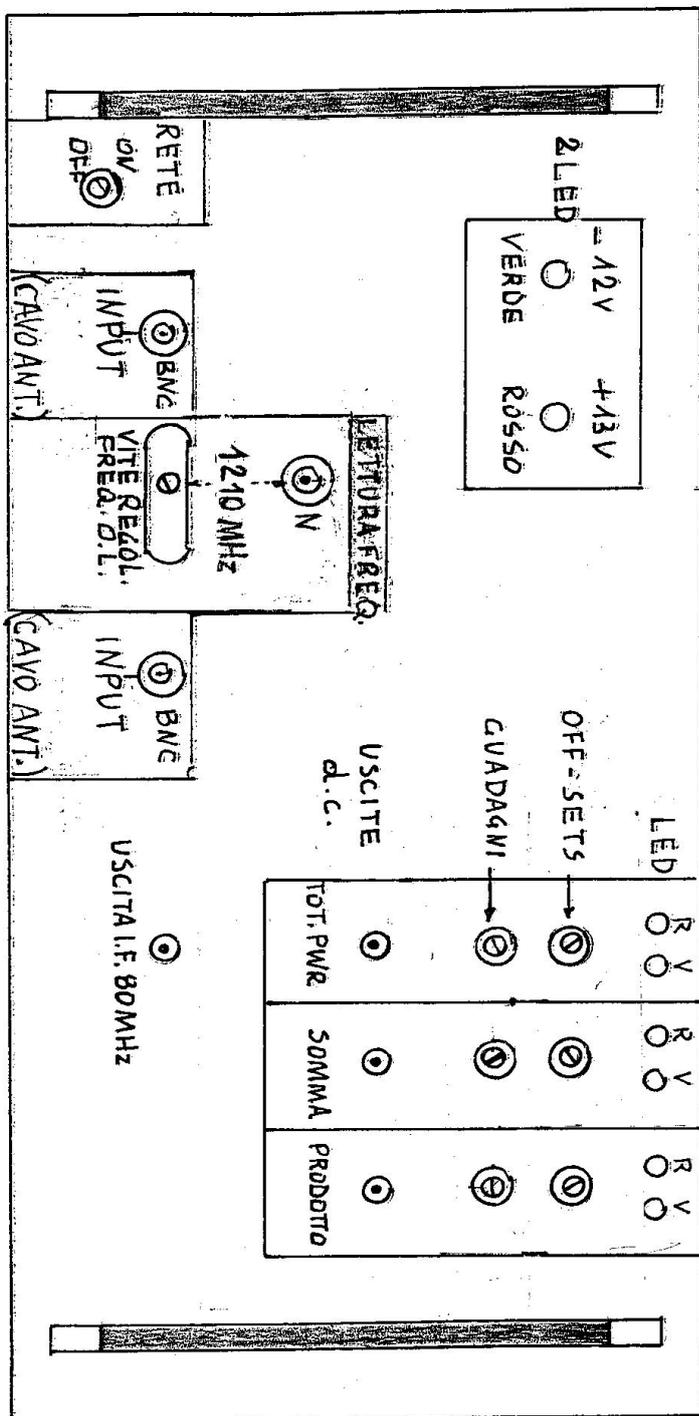


Fig. 1A

## DETTAGLI PER IL SERVIZIO TECNICO

### MODULO A - ANTENNA

Le due antenne YAGI in uso, fissate alle estremità del palo orizzontale del sistema che le fa ruotare sia in elevazione che in azimut (AZ-EL mount), risultano spaziate di 4 metri realizzando così, sui 23 cm, una "base line" di oltre 17 • con cui potranno essere osservate una decina di frange di interferenza. Le antenne, polarizzate linearmente, sono del tipo Yagi a 35 elementi, hanno un beam a -3 dB, dichiarato dal costruttore, di circa 16 gradi su entrambi i piani di polarizzazione, a cui corrisponde un guadagno calcolato di circa 20 dB. .

Come dimostrato in APPENDICE la ricezione del Sole con una sola di queste antenne, risulta possibile ma senza margine il che impone di limitare al massimo la temperatura di rumore di tutto il front-end. Il filtro d'antenna introduce di per se quasi 200K a cui si dovranno aggiungere i quasi 100K degli amplificatori. Questo a giustificazione dei 300K di temperatura di sistema, usato nel calcolo teorico menzionato. Filtri ed amplificatori a basso rumore sono contenuti in scatole metalliche stagne al cui rispettivo ingresso sono connesse le uscite delle due antenne. Entrambe le scatole stagne sono meccanicamente solidali con la struttura meccanica e sono posizionate in prossimità del centro del sistema per ridurre lo stress meccanico al momento di avvio ed allo stop della rotazione azimutale.

Il filtro d' antenna, essenziale per evitare interferenze e rumore spurio "man made", ingloba 4 cavità risonanti a 1296 MHz con cui si realizza una banda passante di circa 50 MHz, sufficiente per ottenere una agevole attenuazione anche della frequenza immagine.

Lo stadio a seguire impiega un amplificatore commerciale tedesco di elevata qualità e di cui si mostra lo schema elettrico in Fig.2. Il suo guadagno misurato è risultato però sensibilmente inferiore a quello originale di targhetta per cui è stato deciso di aumentarlo fin oltre i 40 dB, installando in serie ad esso un altro amplificatore commerciale ricavato, dopo una nostra laboriosa trasformazione, da un "amplificatore di linea" usato nella TV satellitare. In Fig. 3 vengono mostrate le risposte frequenza-ampiezza e frequenza-cifra di rumore dei due front end completi di filtri di ingresso.



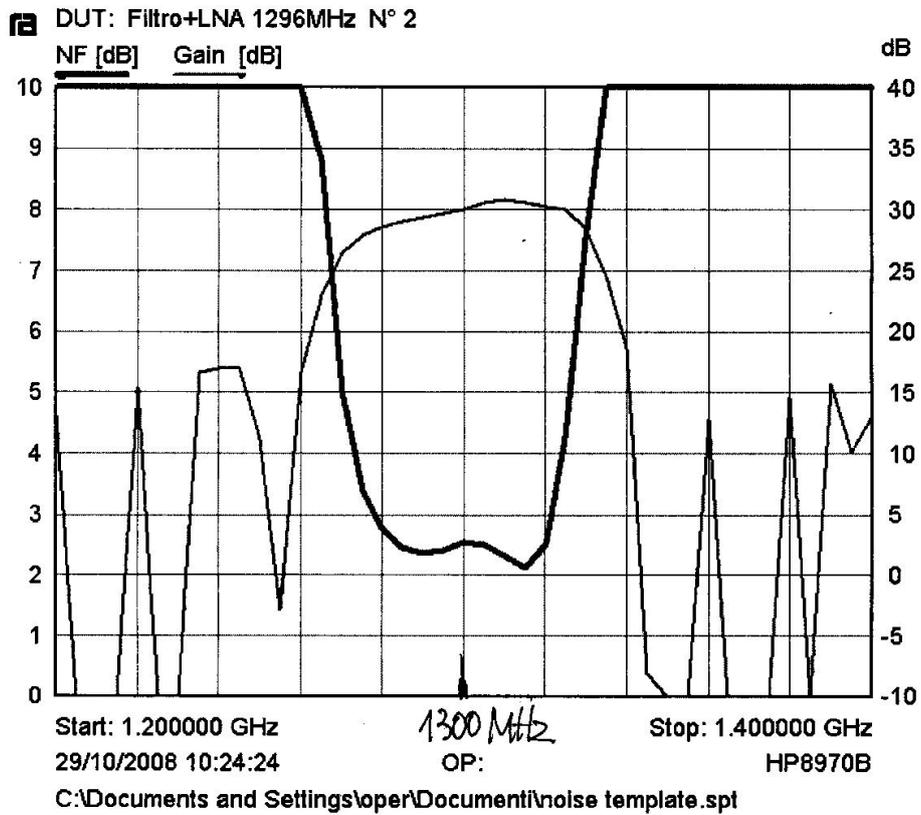
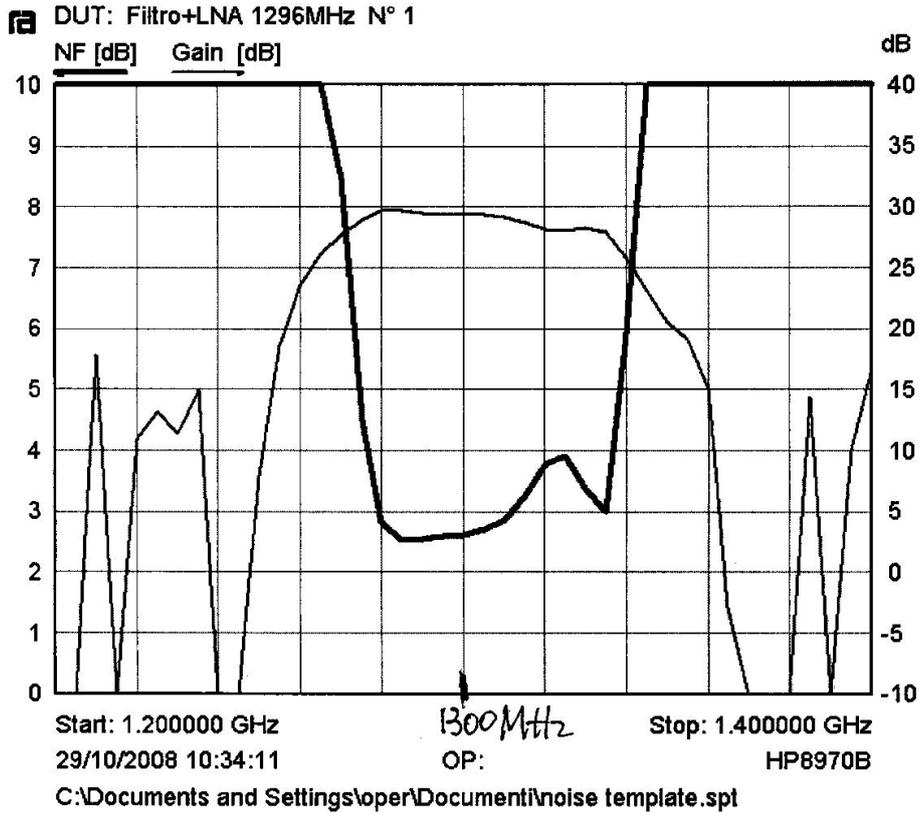


Fig. 3

## MODULO B – RICEVITORE

Le uscite a 1296 MHz dei contenitori dei due front-end esterni vengono connesse a due cavi coassiali di impedenza caratteristica pari a  $50 \Omega$  per essere trasferite all' ingresso del ricevitore alloggiato nella sala-museo del Centro Visite. L' attenuazione di potenza di entrambi, misurata a 1300 MHz, e' di 13.5 dB. A tali cavi coassiali e' anche demandato il compito di alimentare a corrente continua gli amplificatori dei moduli " Antenna" .

Tale operazione di "mixaggio" avviene usando dei dispositivi chiamati "bias tees" che noi abbiamo facilmente costruito ed indicato con TOM nello schema di Fig. 4.

Il ricevitore ha il compito di traslare la banda di ingresso il cui centro nominale e' 1296 MHz, a quella di media frequenza (I.F.) centrata ad 80 MHz. La scelta di quest' ultimo valore e' stata banalmente dettata dalla sua comodita': risulta infatti abbastanza alta da rendere facile l'attenuazione della frequenza immagine ma non troppo alta da rendere difficoltosa la realizzazione dei necessari filtri a banda stretta in I.F..

La conversione di frequenza si ottiene tramite un oscillatore locale (O.L.) commerciale indicato col no.3 nello schema generale (Fig.4), la cui frequenza di operazione e' scelta con la rotazione a giravite di un potenziometro accessibile dal pannello frontale. Essendo comune ai due canali dell' interferometro e dovendo ricevere una banda invece che una esatta frequenza, non e' necessario stabilizzarne la frequenza di oscillazione.

La sua frequenza e' comunque misurabile con adatto frequenzimetro connesso al connettore di tipo N disponibile sul pannello frontale. Il valore teorico risultera' essere 1216 MHz ( $1296 \text{ MHz} - 80 \text{ MHz} = 1216 \text{ MHz}$ ). In pratica si e' verificato che il valore a cui si ha miglior funzionamento risulta essere 1210 MHz.

La frequenza immagine di cui si diceva prima vale:  $1216 \text{ MHz} - 80 \text{ MHz} = 1136 \text{ MHz}$ , sufficientemente lontana dalla banda passante del filtro. Il divisore di potenza (D1) suddivide la potenza O.L. disponibile in parti uguali tra i due mixer indicati col numero 4 in Fig. 4.

I mixer sono seguiti dalle catene amplificatrici dei segnali I.F. a 80 MHz. Per ottenere i 70 dB di guadagno complessivo richiesti, si sono posti in serie tra loro amplificatori e filtri collegati tramite cavetti coassiali di identica lunghezza e terminati su connettori BNC per facilitare l' eventuale scambio dei componenti o la loro sostituzione in caso di guasto o di innovazione tecnologica. La serie comprende l'amplificatore (5), un singolo stadio con un transistor 2N3866 seguito dal filtro di banda (6) non particolarmente selettivo di nostra costruzione. Gli amplificatori (7) ad alto guadagno (48 dB nominali) sono invece commerciali.

I canali a questo punto hanno bisogno di essere ben definiti e limitati come banda passante ai 5 MHz di progetto. I filtri di banda indicati con (8) realizzano agevolmente tali specifiche.

Per completare le catene e raggiungere il guadagno prefissato sono stati aggiunti altri due singoli stadi (9) di 2N3866 che operano per massima linearita' a corrente relativamente elevata come 50 mA.

Il progetto prevede che a questo punto la potenza del rumore sui canali a 80 MHz venga suddivisa con appositi divisori/sommatori commerciali per soddisfare le specifiche tecniche programmate. Si ricorda che ad ogni singola suddivisione corrisponde una riduzione di potenza utile di 3 dB.

Per ottenere il prodotto dei canali tramite il correlatore/mixer (10) si utilizzano le uscite dei divisori (D5) e (D6). Attenuazione di ogni canale = 3 dB

Per ottenere la somma dei canali si utilizzano le uscite dei divisori (D5), (D2), per un canale e (D6), (D4) per l' altro per poi convergere su (D3) ove avviene la loro somma complessa. Attenuazione di ogni canale prima della somma = 6 dB

Per ottenere l' uscita "total power" si ricorre alternativamente alle uscite dopo (D5) e (D2) o dopo (D6) e (D4). L' uscita non selezionata viene connessa al piccolo connettore coassiale disponibile su pannello frontale da cui si possono avere informazioni, tramite un analizzatore di spettro, su eventuali segnali interferenti in antenna.

Osservando il pannello frontale in Fig. 1A si evidenziano 2 LED molto luminosi che attestano la presenza delle tensioni di alimentazione di 13 V (rosso) e -12V (verde). Gli altri 6 LED ( 2 per ogni canale d.c. di uscita) sono associati alle corrette regolazioni dei loro off-sets come si puo' desumere osservando lo schema elettrico della basetta "operazionali" di Fig.6 Normalmente i 6 LED risultano spenti. Si approfondira' sulla utilita' del dispositivo nelle ISTRUZIONI PER L' USO. All' interno del ricevitore e' installato un alimentatore stabilizzato che fornisce le necessarie tensioni di alimentazione. Quella negativa riguarda essenzialmente gli amplificatori operazionali.

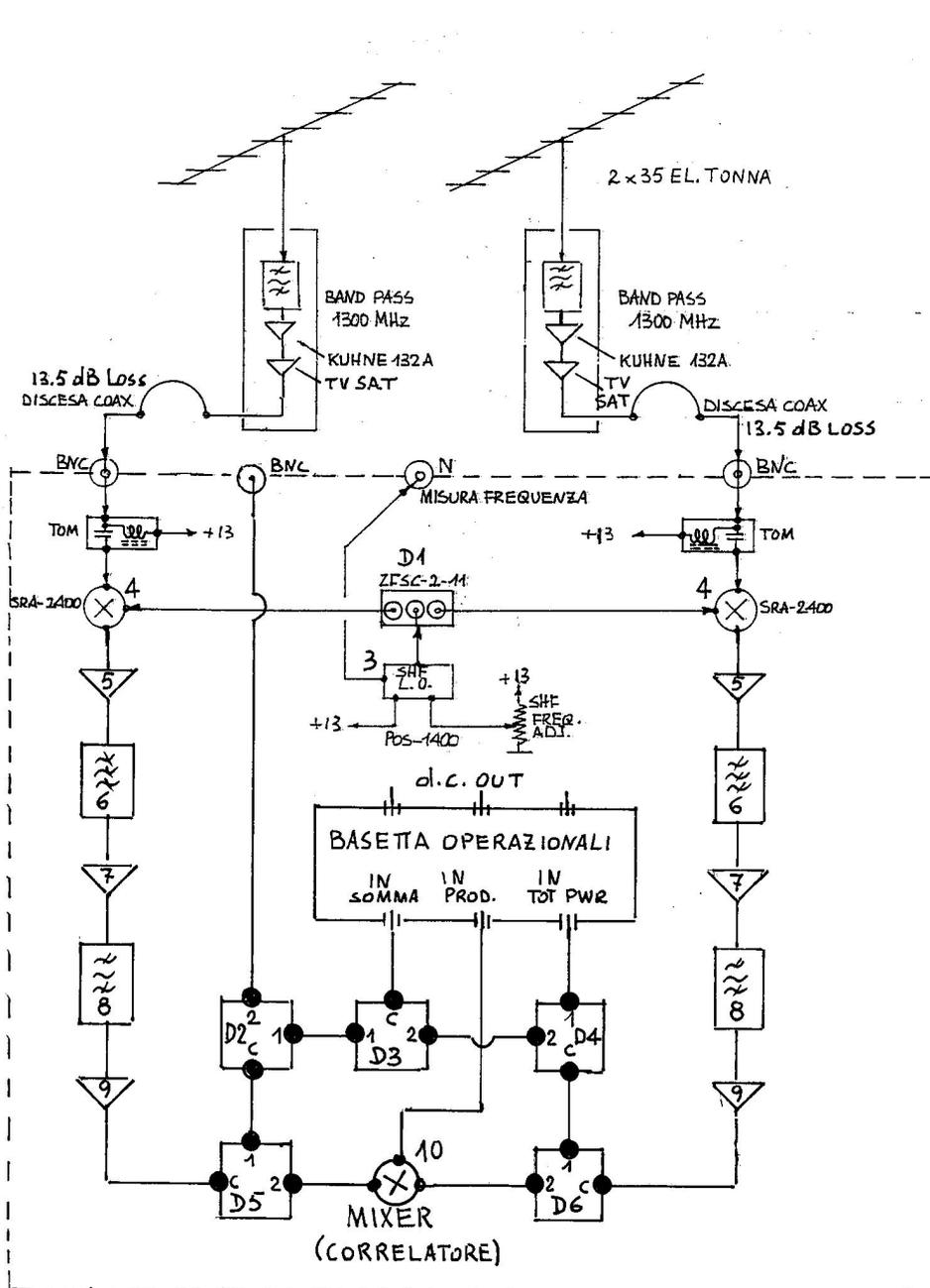


Fig.4



## BASSETTA AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

Il rumore presente in antenna, dopo un centinaio di dB di amplificazione risulterà a livello del mW (0 dBm) o di più ma è quanto necessario per ottenere una efficiente resa in corrente continua (d.c.) dopo la sua rivelazione (detection) all'uscita dalle due catene di I.F.

Con i livelli indicati in precedenza ci si attendono uscite d.c. rivelate dell'ordine del Volt o meno che potrebbero non essere sufficienti per pilotare il successivo dispositivo elettronico che abbiamo genericamente definito il DISPLAY.

Risulta pertanto necessario amplificare di alcune volte i livelli disponibili ma allo stesso tempo, come dimostrato in APPENDICE, è necessario implementare una loro integrazione con una costante di tempo di alcuni secondi. Entrambe le funzioni si realizzano usando amplificatori operazionali di tipo selezionato, ben noti nei laboratori di Medicina, come gli INA 110.

Lo schema elettrico del circuito realizzato che comprende anche i diodi rivelatori e le integrazzioni è mostrato in Fig. 7. Riveste grande importanza la possibilità offerta agli operatori del C.V. di poter agire sugli OFF-SET con cui si posiziona al meglio la registrazione sul monitor.

Suggerimenti dettagliati verranno proposti nel capitolo "ISTRUZIONI PER L'USO".

Il guadagno degli operazionali diverso nei tre casi, andrà scelto "una tantum" dal tecnico che installerà l'impianto al C.V. Nella sottostante figura 6 si mostra una videata a conclusione di un transito del Sole. La traccia bianca senza frange riguarda l'uscita "total power".

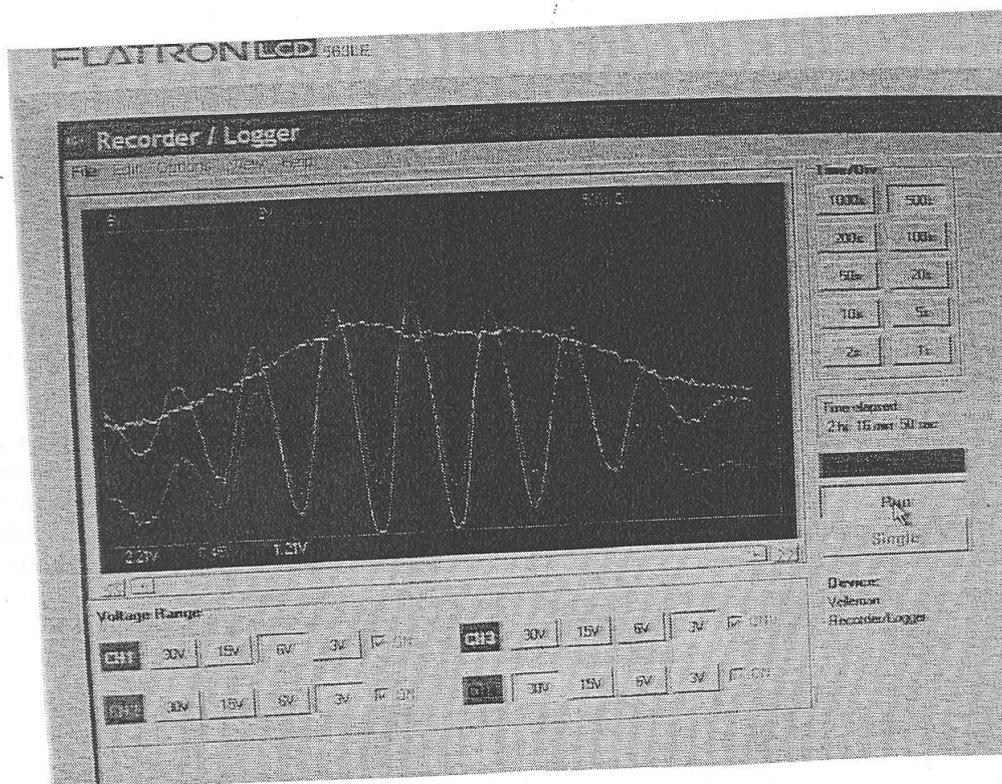


Fig. 6

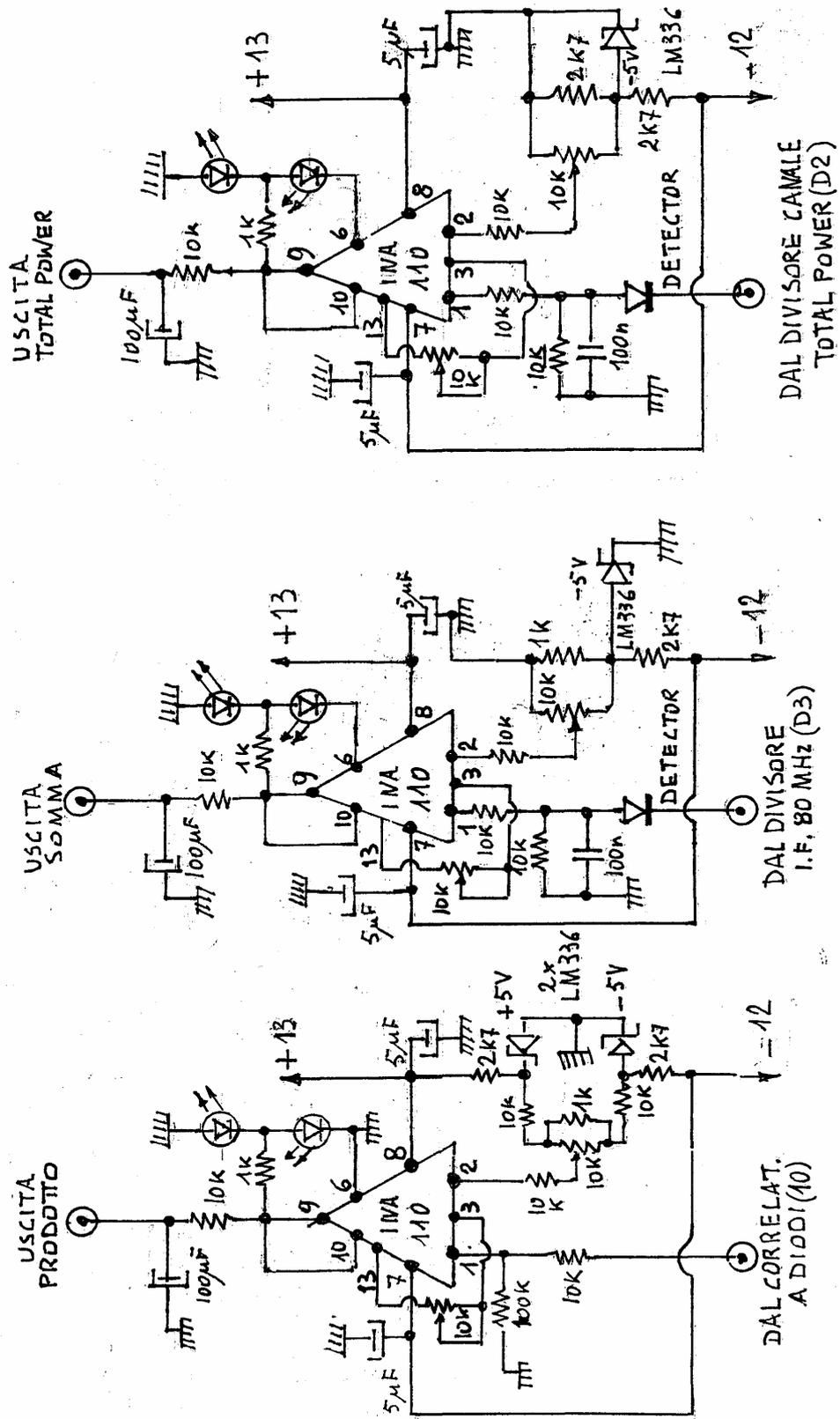


Fig 7

## APPENDICE: verifica teorica

DATI:

### ANTENNA

Antenna Yagi Tonna a 35 elementi, opera con centobanda a 1296 MHz ( $\bullet = 0.23 \text{ m}$ )

Antenna beam a -3 dB = 16° sui piani E ed H. Area beam =  $(16^\circ \times 16^\circ) = 256 \text{ gradi}^2$

D = Direttività dell'antenna =  $41259 / (16^\circ \times 16^\circ) = 161 \text{ volte} = 22 \text{ dB}$

G = Guadagno stimato (circa uguale alla direttività) ~ 100 volte = 20 dB

Ae = Area efficace =  $G \bullet^2 / 8 = 100 \times 0.053 / 8 = 0,66 \text{ m}^2$

### RICEVITORE

$T_{\text{sys}}$  = Temperatura di rumore • 300 K°

B = Banda passante della I.F. = 5 MHz

### SOLE

d = dimensione angolare = 0.5 gradi

Area del Sole =  $\bullet^2 / 4 = 3.14 \times (0.5)^2 / 4 = 0.2 \text{ gradi}^2$

Flusso a 1300 MHz •  $5 \times 10^{-21} \text{ W / m}^2 \text{ Hz}$

Rapporto aree: Antenna beam / area Sole =  $256 \text{ gradi}^2 / 0,2 \text{ gradi}^2 = 1300 = 31 \text{ dB}$

Flusso corretto per rapporto aree:  $5 \times 10^{-21} / 1300 = 3.8 \times 10^{-24} \text{ W / m}^2 \text{ Hz}$

Potenza Sole ricevuta in antenna = Flusso x Area efficace x Banda passante =

$$= 3.8 \times 10^{-24} \times 0.66 \times 5 \times 10^6 = 12.7 \times 10^{-18} \text{ W} \bullet 1.3 \times 10^{-17} \text{ Watt}$$

Temperatura equivalente del Sole corretta per rapporto aree:  $T_s = W_{\text{Sole}} / k B =$

$$= 1.3 \times 10^{-17} / 1.38 \times 10^{-23} \times 5 \times 10^6 = 0,18 \text{ K}^\circ$$

Potenza del rumore input del ricevitore =  $k T_{\text{sys}} B =$

$$= 1.38 \times 10^{-23} \times 3 \times 10^2 \times 5 \times 10^6 = 2.07 \times 10^{-15} \text{ Watt}$$

Lo sfavorevole rapporto fra potenza ricevuta dalla antenna e quella già presente come rumore proprio all'ingresso del ricevitore ( $T_{\text{sys}}$ ) impone l'implementazione di una costante di tempo di integrazione di qualche secondo nel circuito post rivelazione del ricevitore. Con  $\bullet = 5 \text{ sec}$  la temperatura minima detettabile diventa: :

$$\bullet T_{\text{min}} = T_{\text{sys}} / \bullet (\bullet B) = 300 / \bullet (5 \times 5 \times 10^6) = 300 / 5000 = 0,06 \text{ gradi}$$

Il rapporto  $0.18 / 0.06 = 3 = 5 \text{ dB}$  garantisce la necessaria buona ricezione del Sole anche con una sola delle due antenne utilizzate dall'interferometro, quella al momento disponibile alla sua uscita "total power".

## ISTRUZIONI PER L'USO

Riferimento: PANNELLO FRONTALE dell'interferometro didattico del Centro Visite dell'IRA-  
INAF

1- Accendere subito il ricevitore appena si arrivi in Sede col proposito di usarlo (RETE 220V - ON in basso a sinistra)

La deriva termica provocata a seguito della accensione provocherà una iniziale analogica deriva dei tracciati sul display. Di norma una accettabile stabilità si raggiunge dopo 4/5 minuti dalla accensione ma è meglio esagerare.

2- Acceso il computer si selezioni il programma EME per verificare la corretta indicazione di DATA e TEMPO. Predisporre il puntamento dell'antenna per il transito del Sole in accordo con le indicazioni di EME e delle proprie esigenze.

3- Scegliere tra i due programmi proposti nelle videata iniziale quello che si intende utilizzare per ottenere il DISPLAY delle tracce. I criteri di scelta vanno discussi in altro ambito ma essenzialmente con:

**“ Inizio Osserv.”**

E possibile registrare uno solo dei 3 canali disponibili.  
Con la scelta:

**“ Versione Data Logger “**

si ottiene la simultanea registrazione dei tre canali disponibili.

4- Scelta e cliccata l'icona 'Versione Data Logger' si accerti che alla sua seconda videata "Pc-lab 2000" siano state date le corrette risposte che sono:

Oscilloscope *none*  
Function generator: *none*  
LPT Port Address :*Demo Mode*  
Recorder/Logger : *USB*

A verifica avvenuta cliccare OK. Nella successiva seconda videata scegliere:

Voltage Range: *3 V* (per tutti i canali).  
Time/Div.: *500s* (circa 2 ore di registrazione);  
*1000s* (4 ore abbondanti di registrazione)

La registrazione inizia cliccando SINGLE. Trascorso il tempo prefissato per la registrazione, l'immagine rimane memorizzata sullo schermo per tempi lunghi a piacere.

Per reiterare automaticamente le registrazioni, cancellate trascorso il tempo prefissato, si clicca RUN invece di SINGLE.

Si noti che in ascissa del reticolo sono indicate numericamente e con colore assegnato, le tensioni dei livelli d.c. corrispondenti ai nostri tre canali, livelli che potranno essere variati agendo sugli OFF-SETS, con il giravite in dotazione.

Come tensioni iniziali si consigliano:

1.4 V per interferometro a prodotto

0.6 V per uscita interferometro somma

2.2 V per uscita total power

La tracce di uscita senza segnale dovrebbero variare di livello seguendo quelle naturali del rumore quindi risultare di livello mediamente costante nel tempo. E' invece prevedibile un 'drift' del canale singolo (total power) che non fruisce della 'mediazione' con l'altro canale.

Intendendo scegliere "Inizio Osserv.", si dovrà accertare la presenza dello scatolino aggiuntivo connesso sull'ingresso parallelo del computer e del suo annesso e unico cavo coassiale che andrà collegato alla appropriata uscita del ricevitore ( di solito l'uscita "prodotto"). Acceso il computer bisogna decidere entro 10 secondi se si vuole registrare un singolo o consecutivi transiti del Sole. Per fermare la registrazione, subito iniziata, digitare ESC e nella conseguente videata inserire i valori richiesti premettendo con un SI (S) che si vogliono modificare i dati precedenti memorizzati ed elencati. Indicativamente sono da preferire:

Fattore Scala = 100

Base dei Tenpi = 30000 per durata di registrazione superiore ai 30 minuti

Posizione verticale traccia = 0,5

Ripetere gli stessi valori nel sottostante gruppo di analoghe richieste.

Per uscire dal programma digitare come da note procedure.

5- Su ogni allineamento verso l'alto delle 3 uscite rivelate (USCITE d.c.) sono presenti 2 LED (R e V) che normalmente dovranno risultare spenti. Ad un LED acceso corrisponde la assenza della corrispondente traccia sul display (per off-scale). La normalita', salvo un grave guasto, si raggiunge regolando l'appropriato OFF-SET. Ad una eventuale 'over' regolazione, si spegne il LED acceso per accendersi quello che era spento. La corretta regolazione e' quella che vede entrambi i LED spenti. Ovviamente la regolazione fine dei livelli avviene *sempre* osservando le loro tracce sullo schermo Attenzione al ritardo nella efficacia delle regolazioni dovuto alla costante di tempo di integrazione presente nei tre canali!

6- Dai fori sottostanti gli OFF-SETS, con voluta maggiore difficoltà e solo tramite giravite di dotazione, sono accessibili le regolazioni dei guadagni d.c. dei 3 amplificatori operazionali (uno per uscita). E' raramente necessario intervenire e in ogni caso se ne sconsiglia l'uso a chi non abbia specifica esperienza tecnica. L'uso di amplificatori operazionali e' ben noto a quasi tutti i tecnici elettronici che operano all'Osservatorio di Medicina.

7- Si sconsigliano ritocchi della frequenza di O.L. (Oscillatore Locale). E' invece prudente misurarla ogni tanto e riportarla, dopo una prolungata pre-accensione, al valore che sembra ottimale di circa 1210 MHz, sorvolando sui decimali.

8- La presenza di segnali interferenti potrà essere accertata con un analizzatore di spettro collegato alla uscita coassiale indicata con 'USCITA I.F. 80 MHz'.

9- I due LED molto brillanti, lato alto a sinistra del pannello frontale, indicano che le tensioni di alimentazione positiva di +13V (ROSSO) e negativa di -12V (VERDE) sono regolarmente presenti. L'attacco alla rete luce 220 Vac avviene invece con cavo standard connesso sul retro dell'interferometro.

10- Nelle attuali condizioni (Gennaio 2009) un completo transito del Sole (da frange in formazione a frange in dissolvimento) passano circa 2 ore. Si ricordi che il flusso del Sole sui 23 cm non e' costante nel tempo per cui una minor ampiezza delle frange non implica necessariamente un deterioramento delle prestazioni del sistema ricevente. Inoltre, la temperatura del cielo a 23 cm, con SOLE off-beam, non e' costante nel tempo. Puo' banalmente dipendere dalla presenza di nubi o pioggia e nebbia che possono provocare una sensibile deriva delle tracce della registrazione, specie di quella 'total power'.

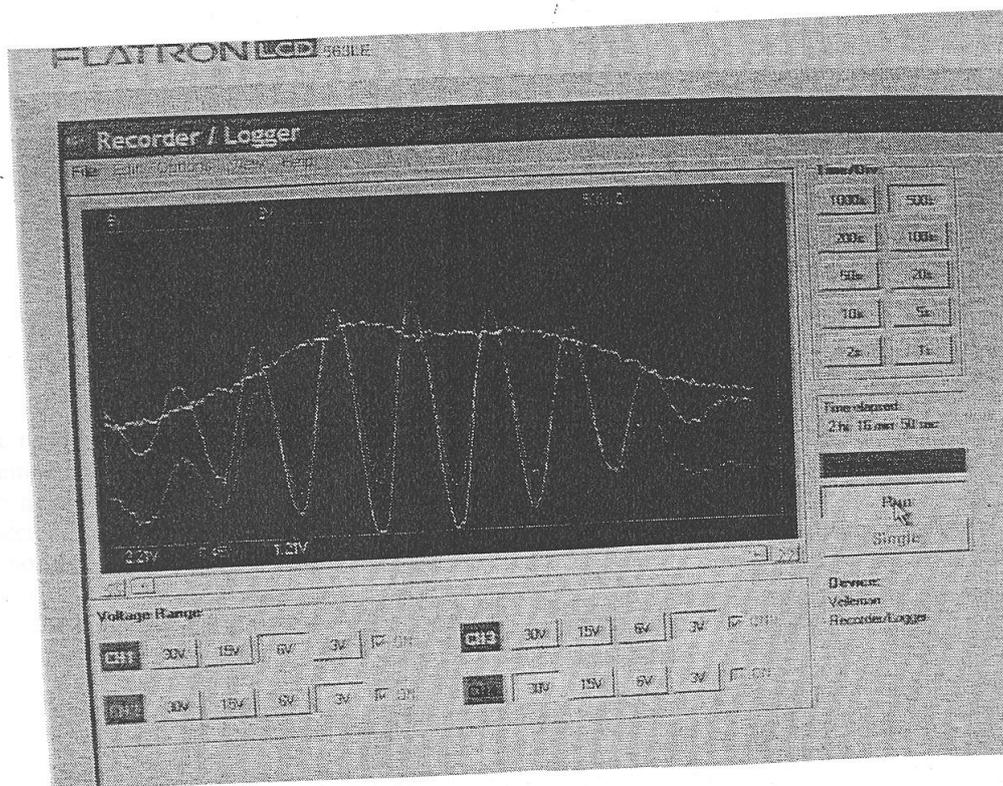


Fig. 8

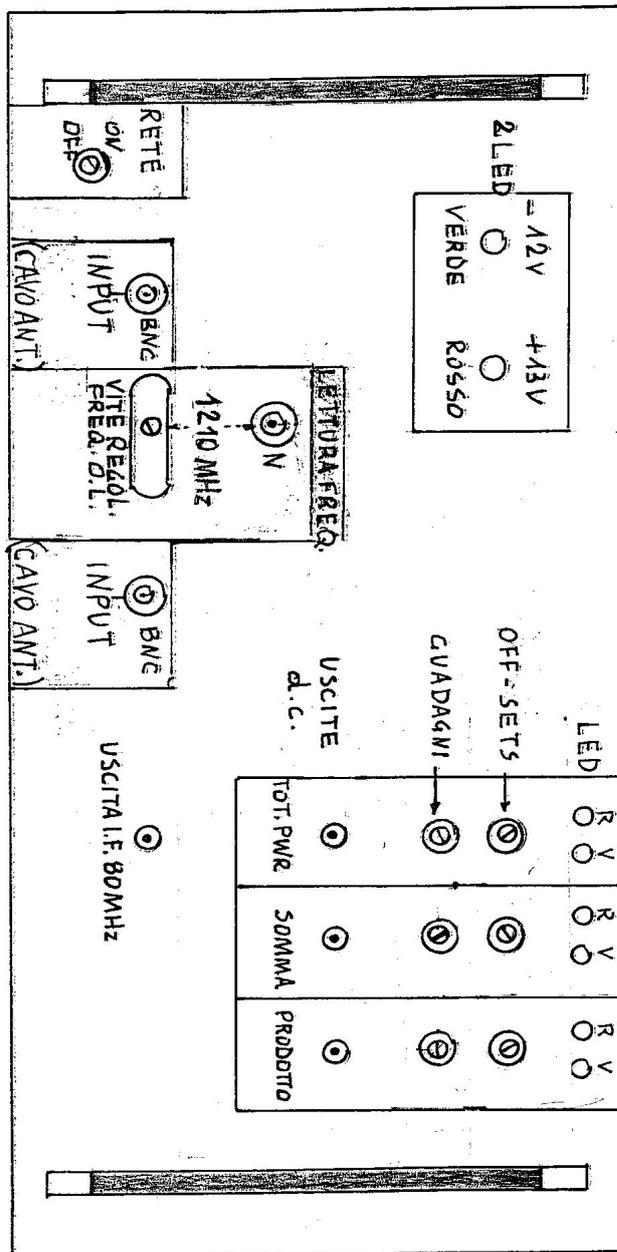


Fig. 9