

ESPERIMENTI RADIOASTRONOMICI: la costruzione del primo radiotelescopio

Flavio Falcinelli

(articoli pubblicati sui numeri 174 e 175 di ELETTRONICA FLASH – Luglio/Agosto/Settembre 1998)

La costruzione di un radiotelescopio dilettantistico utilizzando moduli TV commerciali è semplice ed economica. Questo strumento, ampliabile all'aumentare delle disponibilità economiche, di spazio e delle esigenze di osservazione, è utilizzabile per verificare, registrare e studiare la radiazione incoerente emessa dalle principali radiosorgenti accessibili alle nostre latitudini.

Concretizzando quanto si è detto nel numero di Novembre '96 di E.F., illustreremo la realizzazione di un radiotelescopio dilettantistico, cioè un radiometro calibrato in grado di stimare il valore della temperatura di brillantezza associata allo scenario celeste puntato dall'antenna. E' ovvio come le caratteristiche di questo strumento non possano essere paragonabili a quelle dei grandi radiotelescopi utilizzati per la ricerca ufficiale: con il nostro impianto si rendono tuttavia accessibili interessanti esperienze con le quali è possibile riprodurre e verificare di persona le scoperte delle prime storiche osservazioni radioastronomiche, misurando la radiazione hertziana proveniente dalle radiosorgenti più intense.

Le reali possibilità a disposizione di un dilettante per effettuare interessanti osservazioni radioastronomiche dipendono da numerosi fattori interagenti tra loro: l'abilità e l'esperienza dell'osservatore, le caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato e le caratteristiche ambientali del luogo di osservazione che deve risultare libero da qualsiasi tipo di disturbo elettromagnetico in grado di soffocare i deboli segnali cosmici. L'intensità dei disturbi naturali ed artificiali, come quella delle interferenze radioelettriche in genere, aumenta in media al diminuire della frequenza operativa e con l'altezza del sistema di antenna dal suolo. Questo problema, oggi molto sentito a causa della massiccia occupazione dello spettro radio, se non adeguatamente fronteggiato può invalidare o rendere addirittura impossibili le osservazioni radioastronomiche, annullando gli sforzi fatti per la costruzione e la messa a punto dell'apparecchiatura. Il luogo adatto per questo tipo di esperienze è quindi una zona situata in aperta campagna, meglio ancora in montagna, schermata da rilievi naturali e sufficientemente lontana da aree urbane od industriali, da strade trafficate, da ferrovie e da linee elettriche aeree. C'è inoltre da tener conto che, in contraddizione con le esigenze radiometriche che mirano ad ottimizzare la sensibilità del sistema, tanto più la banda passante del radiotelescopio è ampia, tanto maggiore è l'esposizione al rischio di interferenze.

La radiosorgente più facilmente ricevibile è sicuramente il Sole, al punto che anche in campo radioamatoriale le sue emissioni sono spesso utilizzate per calibrare le antenne (determinando il loro diagramma di radiazione) ed i ricevitori per quanto riguarda la figura di rumore. La nostra stella, a causa della sua relativa vicinanza, emette una forte radiazione hertziana con intensità notevolmente variabile nell'intervallo delle lunghezze d'onda decametriche: queste fluttuazioni emissive sono generalmente associate a fenomeni ottici peculiari sul disco come le macchie solari ed i brillamenti, insieme ad altri effetti osservabili sulla Terra come le aurore boreali ed i vari disturbi alle radiotrasmissioni in onda corta, ben noti

a chi si occupa di radiotrasmissioni. Essendo legati al ciclo undecennale di attività solare, i diversi tipi di emissioni rapidamente variabili hanno una struttura molto complessa la cui origine fisica si può trovare in qualsiasi trattato di astrofisica. Per i nostri scopi (e nell'intervallo di frequenze utilizzabili dal nostro strumento) è sufficiente suddividere le radioemissioni solari in due componenti fondamentali, una stazionaria ed una variabile, chiamate rispettivamente radiazione del "Sole quieto" e radiazione del "Sole disturbato". In funzione del grado di attività dell'astro l'intensità delle emissioni (con durata variabile fra qualche secondo e qualche settimana) può passare da un valore di flusso dell'ordine di 10^4 Jy (corrispondente a $10^4 \cdot 10^{-26}$ W/(m²Hz)) tipico della radiazione del Sole quieto, a valori pari a quasi 10^8 Jy relativi alla radiazione del Sole disturbato (valutate alla frequenza di 100 MHz). Entro questo intervallo di valori si verificano tutte le complesse radioemissioni della stella che rappresenta senza dubbio uno degli oggetti celesti più adatti per iniziare l'attività di radioastronomo dilettante, oltre che per "farsi le ossa" con la costruzione e la messa a punto della strumentazione di base: lo studio costante della radioemissione solare e dei suoi effetti sullo strato ionosferico e sul complesso fenomeno della radiopropagazione costituisce argomento di grande interesse in campo radioamatoriale (e per le telecomunicazioni in genere).

La Luna è un altro oggetto interessante: emette una densità di flusso apprezzabile per gli strumenti amatoriali solo alle frequenze delle microonde (tipicamente nella banda dei 10 GHz), con radiazione di origine termica caratterizzata da intensità crescente con la frequenza. I pianeti invece, a causa dei bassi livelli di emissione, sono virtualmente inaccessibili agli strumenti dilettantistici, eccetto Giove che risulta una radiosorgente di straordinaria potenza alle lunghezze d'onda metriche. Le sue radiazioni (burst) a carattere sporadico sembrano il risultato di violenti processi che hanno luogo nell'atmosfera del pianeta collegati (e modulati) al moto del suo satellite Io. La potenza della radiazione decametrica di Giove è tale (dell'ordine di milioni di Jy) da poter essere rivelata senza difficoltà da ordinari impianti per radiocomunicazioni amatoriali: essendo tuttavia a carattere sporadico, possono verificarsi giorni successivi di osservazione senza alcun risultato. A causa della particolarità e della intensità delle emissioni, lo studio costante e sistematico delle radioemissioni di Giove (che richiede una certa pazienza!) nell'intervallo di frequenze da 10 MHz a circa 40 MHz costituisce una delle attività più accessibili ed affascinanti per il radioastronomo dilettante.

Trascurando gli oggetti di piccolo diametro angolare detti "radiostelle" (ad esempio pulsars, etc.) probabilmente troppo deboli e distanti per essere rivelati con antenne a ridotta area efficace, vale la pena menzionare i cosiddetti resti di supernova, radiosorgenti intrinsecamente molto intense: il più potente di essi è la sorgente posta nella Crab Nebula, caratterizzata da un'intensità di flusso a 100 MHz pari a circa 1500 Jy, rivelabile anche da strumenti relativamente semplici come quello che descriveremo in seguito. La radiosorgente più potente del cielo dopo il Sole è Cassiopeia A (17000 Jy a 100 MHz) la cui radiazione, costante ed intensa, viene utilizzata come sorgente di calibrazione primaria per tarare "la scala" degli strumenti radioastronomici ed è molto utile come beacon per studi sulle caratteristiche di variabilità della ionosfera terrestre. Anche il centro della nostra galassia, Sagittarius A, è una radiosorgente di notevole potenza (dell'ordine di 1000 Jy a 100 MHz, la prima ad essere stata scoperta da Jansky), relativamente facile da captare con i nostri strumenti.

È interessante notare come, soprattutto nella gamma delle VHF, le sorgenti più vicine non sono necessariamente quelle più potenti: eccetto il Sole e Cassiopeia A, le più intense radiosorgenti del cielo sono tra gli oggetti più distanti dell'universo. La radiosorgente extragalattica più attiva è certamente Cygnus A, galassia molto distante che emette una straordinaria quantità di energia apparentemente come risultato di una o più esplosioni che ne hanno modificato profondamente la struttura, assai complessa. Le quasars e le pulsars sono oggetti intrinsecamente molto potenti ma quasi certamente inaccessibili ai semplici strumenti dilettantistici.

IL RICEVITORE

A causa dell'intensità assai debole che caratterizza la radiazione cosmica, un ricevitore radioastronomico si distingue per un elevato livello di amplificazione ottenuto ottimizzando la

rumorosità e la stabilità del sistema rispetto alla larghezza di banda necessaria. Il raggiungimento dei requisiti ottimali è conseguito, nella maggioranza dei casi, adottando la struttura del ricevitore a conversione di frequenza, detto sistema supereterodina: nella fig. 1 è riportato il suo schema a blocchi. L'emissione radio proveniente dalla sorgente celeste è raccolta dall'antenna che produce un debole segnale di tensione immediatamente amplificato dal front-end: l'ottimizzazione delle caratteristiche di questo stadio è molto importante per ridurre l'inevitabile deterioramento causato dal contributo di rumore della linea di trasmissione (cavo coassiale) che alimenta il ricevitore vero e proprio. Se il guadagno del front-end è sufficiente (almeno 15-20 dB), la figura di rumore dell'intero ricevitore è determinata unicamente dalle caratteristiche di rumorosità di questo stadio. Una volta giunto al ricevitore il segnale è traslato in banda (verso il basso) tramite un convertitore di frequenza (mixer+oscillatore locale) ed inviato alla catena amplificatrice a frequenza intermedia (IF): in questo blocco si definiscono la larghezza di banda e l'amplificazione principale del sistema. La maggior parte del guadagno complessivo di un radiotelescopio, dell'ordine di 80÷110 dB, è localizzato nella catena amplificatrice IF. Analogamente a quanto avviene nei tradizionali apparati per radiocomunicazioni, si eseguono spesso diverse conversioni di frequenza con lo scopo di ottimizzare le prestazioni del sistema soprattutto alle frequenze più elevate e per minimizzare gli effetti delle interferenze sulla banda immagine. Il successivo stadio è un rivelatore a caratteristica quadratica all'uscita del quale si misura una tensione proporzionale alla potenza del segnale applicato, quindi alla potenza della radiazione incidente.

Lo schema finora tracciato non differisce sostanzialmente da quello di un classico ricevitore AM per comunicazioni radioamatoriali, eccetto per la larghezza di banda del sistema e per il guadagno complessivo, per la particolare cura impiegata nell'ottimizzare la figura di rumore dello stadio d'ingresso. Importante differenza che caratterizza gli apparati radioastronomici (che sono essenzialmente radiometri per la misura della radiazione incidente) è la mancanza del circuito di controllo automatico del guadagno (AGC), sempre presente ed indispensabile negli apparati per telecomunicazioni. Questo circuito consente di regolare automaticamente il guadagno del sistema in funzione del livello di segnale ricevuto: oltre ad ottimizzare la dinamica dell'apparato si garantisce una corretta ricezione anche in presenza di forti variazioni nel livello del segnale d'ingresso dovute a fluttuazioni del mezzo propagativo (fading) o del segnale trasmesso. E' facile immaginare come nelle misure radiometriche il circuito AGC introduca ambiguità nella valutazione della potenza del segnale e fluttuazioni spurie all'ingresso del rivelatore che causano errate indicazioni di uscita. La corretta regolazione del guadagno richiesto per la catena IF avverrà inserendo attenuatori passivi calibrati.

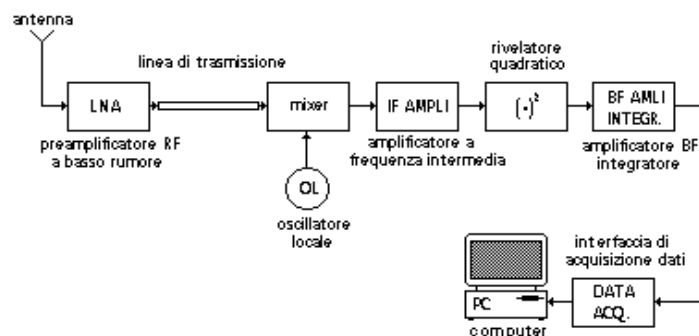


Fig. 1: Schema base di un ricevitore radioastronomico a conversione di frequenza.

Come si è detto, al rivelatore quadratico è assegnato il compito estrarre "l'informazione" utile (potenza) dalla radiazione cosmica incidente: il dispositivo più comune (e semplice) adatto allo scopo utilizza un diodo semiconduttore funzionante nella zona della sua caratteristica diretta che approssima una parabola, nell'intorno cioè dell'origine. Ciò impone l'applicazione di segnali a basso livello, tipicamente dell'ordine di 0.1 V (largamente inferiori alla tensione di soglia del diodo), con alcune limitazioni sulla dinamica e sulla precisione della risposta, soprattutto rispetto alle variazioni di temperatura. E' possibile realizzare un rivelatore molto più preciso ed affidabile utilizzando i moderni circuiti integrati moltiplicatori analogici: sono

attualmente disponibili dispositivi con bande passanti fino a 500 MHz che eseguono la moltiplicazione su quattro quadranti delle tensioni applicate. Questa tecnica é largamente utilizzata nello stadio demodulatore AM dei circuiti integrati amplificatori IF per telecomunicazioni. Dettagli sull'impiego di tali dispositivi si possono trovare in [1].

Un amplificatore-integratore BF di post-rivelazione, caratterizzato da una banda passante molto inferiore a quella del ricevitore, convoglia il segnale rivelato verso un sistema di visualizzazione e registrazione dei dati. L'integratore, essenzialmente un filtro passa-basso, effettua la media secondo una prefissata (e programmabile) costante di tempo con valori che vanno da frazioni di secondo a centinaia di secondi: lo scopo é quello di ridurre le fluttuazioni aleatorie del segnale rivelato ed aumentare la sensibilità del sistema. Si scelgono piccoli valori della costante di tempo per registrare correttamente fenomeni rapidamente variabili (come i segnali delle pulsar o i burst rapidi emessi da Giove), elevate costanti di tempo per la registrazione di fenomeni a lenta variabilità (misure radiometriche della radiazione termica e compilazione di radiomappe del cielo). In questo stadio deve essere possibile sommare al segnale rivelato una stabile e regolabile tensione continua di contropolarizzazione che serve a cancellare il valore medio del rumore di fondo: si amplifica solo la variazione utile dovuta alla radiazione incidente e si sposta lo zero di riferimento dell'uscita in qualsiasi punto desiderato della scala. Lo schema appena tracciato ricalca la struttura basilare di un ricevitore per radioastronomia. La potenza di rumore ricevuta é la somma della potenza di rumore captata dall'antenna e di quella interna generata dallo strumento. Il rumore d'antenna è, d'altra parte, la combinazione del contributo relativo allo scenario osservato e dei contributi indesiderati dovuti ai lobi secondari, al rumore termico e alle perdite ohmiche dell'antenna stessa. A causa del basso livello dei segnali in gioco le misure radiometriche sono molto sensibili agli errori, introdotti principalmente a causa delle instabilità e delle fluttuazioni casuali dei parametri (principalmente il guadagno) dovuti alle variazioni di temperatura e alle fluttuazioni della tensione di alimentazione; esiste inoltre la necessità di calibrare lo strumento in modo da correlare l'ampiezza del segnale rivelato ad opportuni valori di scala (espressi in gradi °K) della temperatura di brillantezza della zona di cielo osservata.

Se indichiamo la potenza del segnale incoerente dovuto alla radiosorgente captata e quella del rumore di fondo del sistema in termini di temperatura equivalente di rumore, é possibile dimostrare che la sensibilità teorica di un radiotelescopio é data dalla seguente espressione:

$$\Delta T = \frac{T_a + T_o(A-1) + T_r}{\sqrt{BN\tau_o}} \quad [^\circ\text{K}] \quad (1)$$

dove ΔT é la minima differenza di temperatura di rumore (dovuta alla radiosorgente) che lo strumento é in grado di registrare, $T_o \approx 290^\circ\text{K}$ é la temperatura ambiente di riferimento, A é l'attenuazione (non in dB) delle perdite fra antenna e ricevitore (connettori+cavo coassiale), $T_r = T_o(F_r - 1)$ é la temperatura equivalente di rumore del ricevitore (caratterizzato da una figura di rumore F_r , non in dB), B é la banda passante del ricevitore, τ_o é la costante di tempo dell'amplificatore-integratore di post-rivelazione ed N é il numero di registrazioni di uno stesso fenomeno successivamente mediate. Dalla precedente espressione si ricava il limite di sensibilità dello strumento in termini di densità di flusso:

$$S_{\min} = \frac{2k}{A_e} \frac{T_a + T_o(A-1) + T_r}{\sqrt{BN\tau_o}} \quad [\text{Jy}] \quad (2)$$

con $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/°K costante di Boltzmann ed A_e area efficace (in metri quadrati) dell'antenna ricevente utilizzata. Le (1) e (2) consentono il calcolo teorico della sensibilità del radiotelescopio stimando quali oggetti celesti si rendono accessibili all'impianto. E' possibile sensibilizzare lo strumento diminuendo la temperatura equivalente di rumore del sistema, aumentando l'area efficace dell'antenna, la banda passante del ricevitore, la costante di tempo

dell'integratore ed il numero delle medie fatte su registrazioni successive della stessa radiosorgente. Per tenere conto di altre variabili che degradano le prestazioni del sistema é prudente peggiorare di un buon 20% i valori ottenuti applicando la (1) e la (2). Il parametro N può essere ottimizzato a livello software disponendo di un adatto sistema di acquisizione e registrazione automatica dei dati tramite PC: effettuando la media di numerose registrazioni della stessa radiosorgente si riesce a migliorare notevolmente il rapporto segnale/rumore all'uscita del ricevitore.

Il sistema proposto in questo articolo é adatto per chi desideri tentare una prima serie di esperimenti senza cimentarsi in problematiche tecniche ed economiche eccessivamente impegnative. In tale ottica ritengo assai interessante l'utilizzo di apparecchi TV commerciali opportunamente modificati per adattarli, per quanto possibile, alle esigenze della ricerca radioastronomica dilettantistica. Come fatto notare in [1] e in [3] un televisore presenta alcune caratteristiche interessanti per poter essere utilizzato con successo: l'economicità, la possibilità di essere sintonizzato su un vasto intervallo di frequenze, una elevata banda passante e la disponibilità commerciale, a prezzi molto vantaggiosi, di una estesa gamma di accessori utili per l'ampliamento della stazione (antenne, sistemi meccanici di fissaggio e di supporto, preamplificatori RF, cavi coassiali, etc.). Se si considera che reperire presso un laboratorio di riparazioni TV un moderno televisore BN con le parti relative alla formazione dell'immagine fuori uso é praticamente gratuito, diventa stimolante l'idea della costruzione di un piccolo ma efficiente radiotelescopio. Un ricevitore televisivo presenta, d'altra parte, alcune caratteristiche non ideali per un buon apparecchio radioastronomico, ma ad alcune di esse é possibile porre parzialmente rimedio. La forma della banda passante (vedi fig. 2) non é ottimale per l'uso previsto e la figura di rumore complessiva non risulta particolarmente buona. Il guadagno del sintonizzatore e della catena IF inoltre, insieme alla figura di rumore degli stadi d'ingresso, presentano ampie variazioni con la frequenza (in parte compensate dall'azione dell'AGC) e non sono previste efficaci contromisure per garantire un'elevata stabilità del guadagno soprattutto rispetto alle variazioni di temperatura: nei televisori queste precauzioni non servono, essendo piuttosto elevato il livello medio del segnale ricevuto, comunque compensato dal circuito AGC. Un problema che crea serie limitazioni nei circuiti che adottano un rivelatore video a diodo (al germanio) riguarda la sensibilità di questo componente rispetto alle variazioni di temperatura: si verifica una deriva nel livello del segnale rivelato che produce instabilità a lungo termine dello zero di riferimento. Queste lente fluttuazioni introducono errori nella misura mascherando le piccole variazioni della radiazione celeste captata dalle antenne ed impedendo una stabile amplificazione del segnale utile. Il problema é notevolmente ridotto nei moderni apparecchi televisivi impieganti amplificatori IF con rivelatore video integrato che, essendo di tipo moltiplicativo, risultano assai meno sensibili alle variazioni di temperatura e presentano una dinamica ben più estesa. Vedremo successivamente le contromisure che si possono adottare per risolvere, o almeno minimizzare, questi problemi.

Lo strumento proposto é stato costruito sulle "ceneri" di un televisore BN Philips mod.12 TX 1002/00Z dopo aver ottenuto, presso un amico riparatore, lo schema elettrico (fig. 4) indispensabile per "muoversi" all'interno del circuito da modificare. L'apparecchio é stato completamente demolito conservando solo la scheda madre. Come illustrato nello schema a blocchi di fig. 3, i circuiti che interessa ripristinare e modificare per uso radioastronomico riguardano il sintonizzatore VHF - UHF (tuner), la catena amplificatrice a frequenza intermedia (IF) ed il rivelatore video; il resto é stato pazientemente eliminato dissaldando i componenti inutili e segando la piastra del circuito stampato rimasta libera in quanto eccessivamente ingombrante. Per compiere questa delicata operazione é indispensabile tenere a vista lo schema elettrico del TV, individuando con sicurezza i circuiti utili rispetto a quelli da eliminare e ripristinando con ponticelli gli eventuali collegamenti interrotti sulle piste dello stampato opportunamente "ridimensionato". Ho ritenuto importante, anche se un pò noioso, eliminare i componenti non utilizzati in quanto probabili fonti di instabilità. Si é preferito demolire anche l'alimentatore originale in quanto, a causa del deterioramento di alcuni componenti, non offriva sufficienti garanzie di stabilità e di filtraggio. Per lo stesso motivo ho sostituito tutti i condensatori elettrolitici con componenti nuovi maggiorando la tensione di lavoro rispetto agli originali e, ove possibile, inserendo dispositivi al tantalio. In alcune parti del circuito

(polarizzazione dei dispositivi attivi nella catena IF) sono stati rimpiazzati i resistori originali con equivalenti ad elevata stabilità (strato metallico con tolleranza 1%).

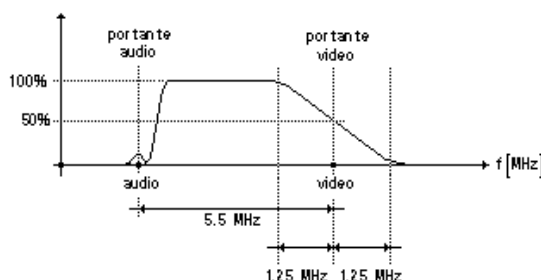


Fig. 2: Curva di risposta tipica della catena a frequenza intermedia IF video di un apparecchio televisivo.

La scelta degli apparecchi televisivi da utilizzare é molto ampia: in tutti i casi si preferiscono i moderni ricevitori o videoregistratori con la meccanica non funzionante ma con i circuiti del sintonizzatore e della media frequenza video efficienti. Indispensabile é la disponibilità dello schema elettrico originale dato che senza questo é impossibile effettuare gli interventi e le modifiche richieste. E' anche possibile utilizzare tuner TV e moduli IF commerciali nuovi acquistati separatamente presso i distributori di ricambi TV. Qualunque sia la strada scelta, rimane inalterata la filosofia delle modifiche da effettuare sui circuiti originali, volte ad ottimizzare le prestazioni per l'impiego radioastronomico. E' certamente necessaria un pò di attenzione e di pazienza per studiare, sul particolare schema a disposizione, gli interventi equivalenti a quelli descritti: in caso di difficoltà nell'interpretazione dello schema elettrico del TV e nell'individuazione dei principali blocchi funzionali, può tornare utile l'aiuto di un amico riparatore. Terminata l'operazione di rimozione sulla scheda madre dei componenti inutili si possono prendere in esame le modifiche da fare:

- ripristino delle alimentazioni con i necessari collegamenti fra il nuovo circuito dell'alimentatore principale (vedi fig. 6, realizzato su un circuito stampato a parte) ed i corrispondenti punti sulla scheda madre. I regolatori di tensione integrati dello schema di fig. 6 devono essere abbondantemente dissipati per garantire un funzionamento continuo e sicuro.
- La tastiera cambio-gamma e di selezione dei canali del televisore originale deve essere sostituita con un commutatore rotativo a 3 posizioni 1 via. Le gamme di funzionamento sono (vedi schema delle connessioni relative al tuner di fig. 5):

1)	VHF 1:	VHF banda 1 ^a :	52.5-68 MHz
2)	VHF 3:	VHF banda 3 ^a :	174-230 MHz
3)	UHF 4, 5:	UHF banda 4 ^a :	470-606 MHz
		UHF banda 5 ^a :	606-862 MHz.

Nella scheda madre deve essere modificato il valore del resistore di polarizzazione R155 per adattarlo alle nuove tensioni di alimentazione (sostituire il valore originale da 10 kΩ con 1.5 kΩ). Dai terminali di antenna del tuner (VHF e UHF) é opportuno eliminare il circuito di filtraggio relativo al demiscelatore d'ingresso: come indicato dagli schemi di fig. 3 e 5, occorre inserire un preamplificatore d'antenna a basso rumore prima dell'ingresso UHF a 75 Ω in modo da migliorare le non eccellenti caratteristiche in sensibilità e in rumore del ricevitore nella banda UHF (quella dove, per il momento, interessa condurre le

osservazioni). Un modulo analogo deve essere inserito a monte della presa d'antenna VHF nel caso si optasse per l'utilizzo di queste frequenze.

Il preamplificatore adottato è un amplificatore d'antenna (da palo) a larga banda commerciale (mod. ES2/Q Fracarro) in grado di amplificare la gamma 174÷862 MHz con un guadagno massimo di 22 dB ed una figura di rumore inferiore a 4 dB. Si possono utilizzare prodotti di altre marche con caratteristiche simili. Il circuito stampato del preamplificatore è stato privato dell'involucro plastico esterno ed inserito all'interno di una scatoletta stagnata Teko per montaggi RF: l'alimentazione a 12 V, originariamente fornita attraverso il cavo coassiale di discesa, è stata applicata direttamente sui morsetti di uscita inviando il segnale RF all'ingresso del tuner tramite un condensatore ceramico a disco da 470 pF. Effettuare i collegamenti fra preamplificatore RF e tuner utilizzando corti spezzoni di cavo coassiale da 75 Ω di ottima qualità.

- Comando di sintonia tramite un potenziometro lineare multigiri da 100 k Ω corredato di apposita manopola demoltiplicata graduata (collegamenti effettuati in base allo schema di fig. 5).
- Disattivazione del controllo automatico di guadagno (AGC) dal tuner e dalla catena amplificatrice IF. Questa operazione richiede due interventi. Il primo consiste nell'eliminare tutti i componenti preposti al controllo dell'AGC relativo al tuner: il diodo D154, TS366, D366, R366, R365, C365, R367. Collegare tra il pin 13 (ed un capo della resistenza R153) e massa un trimmer multigiri da 10 k Ω . Sostituire inoltre il trimmer R216 da 220 Ω con una resistenza fissa di identico valore da 1/4 W. Il secondo intervento consiste nell'eliminare tutti i componenti dell'AGC che agiscono sulla polarizzazione del primo transistor amplificatore IF: TS351, R354, D351, R353, C350, D350, R352, R351. Occorre collegare il terminale di R355 (originariamente collegato al collettore del transistor TS351) al terminale centrale di un trimmer multigiri da 10 k Ω : l'altro terminale del trimmer deve risultare a massa (vedi schema di fig. 4). In questo modo si svincolano le tensioni di polarizzazione dei circuiti AGC del tuner e del primo stadio della catena amplificatrice IF dalle variazioni del segnale ricevuto. Le modifiche sono evidenziate per maggior chiarezza sugli schemi elettrici di fig. 5 e fig. 8 relativi rispettivamente ai collegamenti del tuner e dello stadio amplificatore IF. La larghezza di banda del ricevitore si può ritenere pari a $B=5$ MHz.
- Ulteriori modifiche devono essere apportate al circuito rivelatore video racchiuso in una scatolina stagnata che funge da schermo: rimuovere il coperchio ed eliminare i componenti inutili effettuando le modifiche circuitali chiaramente suggerite dallo schema. Oltre al diodo rivelatore (del tipo OA90 o AA117 al germanio, ricollocato come da schema) rimarranno solo i componenti C250, S256, C256 e R250 dai quali sarà prelevato il segnale da inviare allo stadio amplificatore-integratore BF.
- Costruzione dell'amplificatore-integratore BF di post-rivelazione su un circuito stampato aggiuntivo con i comandi di selezione del guadagno di tensione, della costante di tempo per l'integrazione e della regolazione dello zero del segnale in uscita (fig. 7). Per semplificare la regolazione ed ottenere una maggiore stabilità il potenziometro da 10 k Ω per l'offset del segnale di uscita deve essere del tipo multigiri di precisione. Il commutatore per la selezione del guadagno BF è del tipo rotativo a 5 posizioni 1 via, mentre quello relativo alla selezione della costante di tempo è del tipo a levetta con posizione centrale. E' possibile selezionare 5 differenti valori per il guadagno di tensione BF, pari a x1, x5, x10, x50 e x100, mentre è prevista la scelta fra 3 valori della costante di tempo dell'integratore: 10 millisecondi, 1 secondo, 2.2 secondi. Se occorrono valori superiori si può modificare la capacità C sullo schema, oppure gestire attraverso il software che controlla la scheda di acquisizione dati il numero N delle registrazioni successive che sono

mediate. Il segnale d'uscita é inviato ad un connettore coassiale da pannello BNC (USCITA REG.).

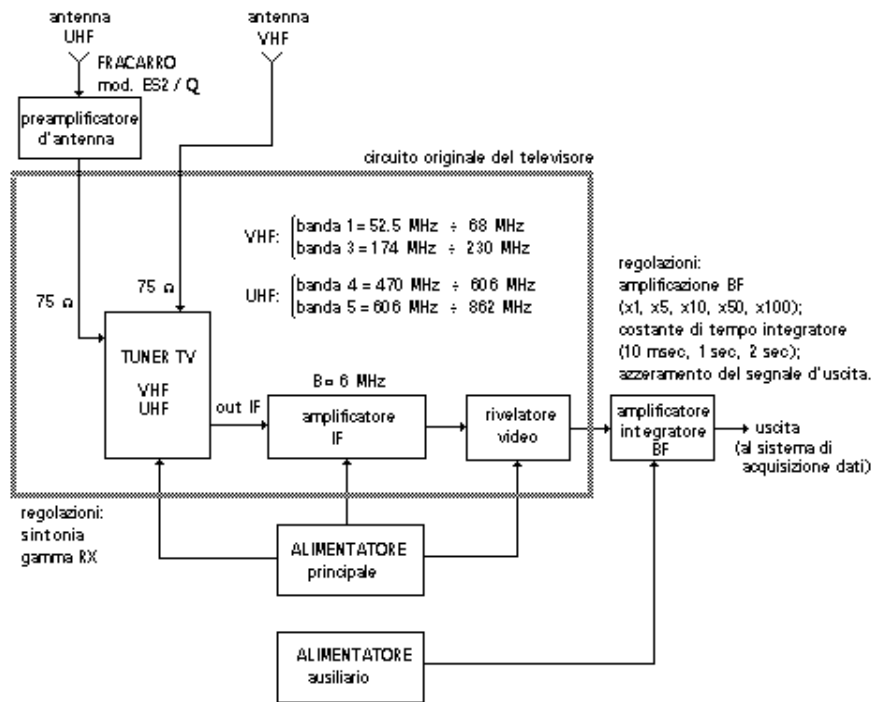


Fig. 3: Schema a blocchi delle sezioni utilizzate (e modificate) di un ricevitore televisivo per impiego radioastronomico.

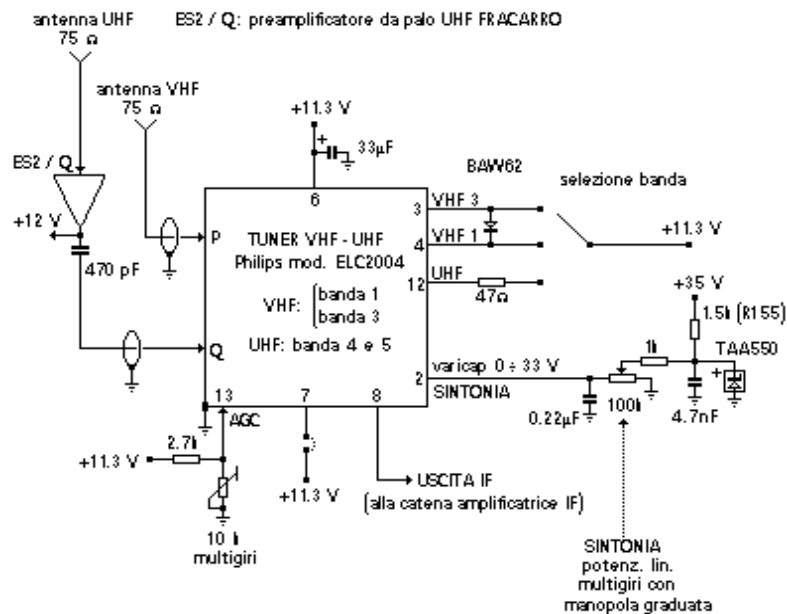


Fig. 5: Schema dei collegamenti relativi al tuner VHF-UHF.

Il circuito stampato può incorporare anche l'alimentatore ausiliario. Stante la semplicità dello schema i circuiti aggiuntivi sono stati cablati su basetta millefori eseguendo un montaggio

accurato ed ordinato: nulla vieta di sviluppare il disegno di un circuito stampato che raccolga su una singola piastra tutti i circuiti.

Come già detto, il segnale rivelato é prelevato, tramite un cavetto schermato per BF, ai capi del resistore R250 (la calza del cavo coassiale deve essere collegata a massa): in parallelo all'ingresso dell'amplificatore-integratore di post-rivelazione é prevista un'uscita ausiliaria (connettore BNC da pannello USCITA OSCILL.) molto utile, in fase di installazione e messa a punto, per monitorare eventuali segnali interferenti. Collegando questa uscita ad un oscilloscopio é possibile visualizzare la presenza di segnali interferenti dovuti, per esempio, ad emittenti televisive vicine. Come ulteriore monitor del segnale rivelato può essere utile lasciare in funzione lo stadio di amplificazione audio originale (quello che fa capo al circuito integrato IC310 TBA120).

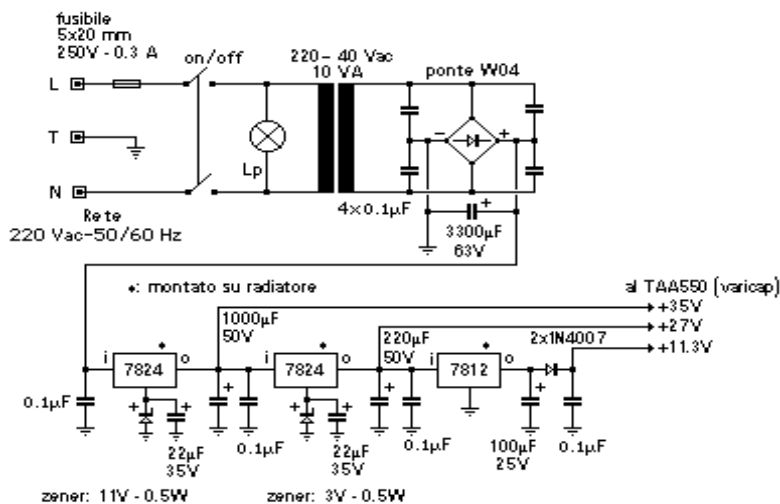


Fig. 6: Schema elettrico dell'alimentatore principale.

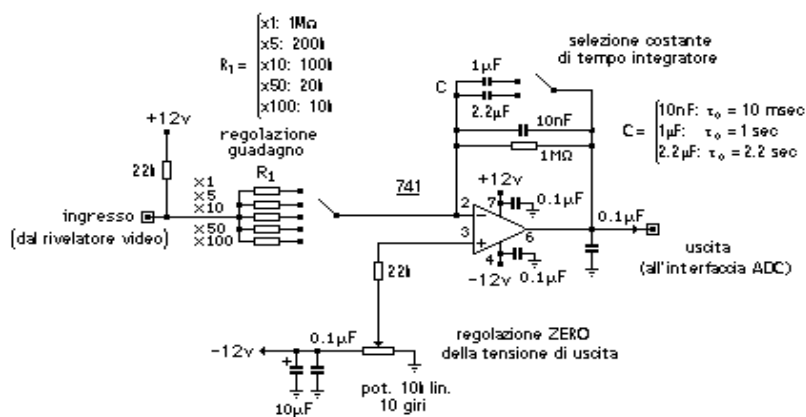


Fig. 7: Schema elettrico dell'amplificatore BF-integratore di post-rivelazione con relativo alimentatore.

- Per chi dispone della necessaria strumentazione (generatore RF modulato ed oscilloscopio) o può appoggiarsi ad un attrezzato laboratorio TV, è consigliabile ottimizzare la forma della curva di risposta (fig. 2) della catena a frequenza intermedia video ritoccando le tarature delle bobine IF (siglate nello schema di fig. 4 come U202, U203, U204, U208 e U212) e/o quelle di carico dei transistor amplificatori IF fino ad ottenere una forma della banda passante il più possibile rettangolare e simmetrica rispetto al valore di centro-banda.
- Dato che il rivelatore video (diode al germanio D246 OA90 o AA117) è particolarmente sensibile alle variazioni termiche, è necessario creare un efficace isolamento tra questo e l'ambiente esterno: nel prototipo abbiamo riempito lo schermo metallico che racchiude questo stadio con polistirolo espanso. Il ricevitore è stato inoltre montato su un contenitore plastico per materiale elettrico da esterni tipo GEWISS isolando accuratamente i circuiti interni con polistirolo. E' anche possibile (e desiderabile) termostatare l'elettronica mediante un controllo di tipo proporzionale che regoli la temperatura interna ad un valore pari a circa 35-40 °C (per motivi di stabilità sono da evitare termostati a bimetallo). Rispetto al problema della sensibilità del circuito rivelatore nei confronti degli sbalzi termici, da numerose prove effettuate si sono ottenuti risultati decisamente migliori utilizzando schede TV equipaggiate con circuiti rivelatori di tipo moltiplicativo integrati nello stesso chip dello stadio amplificatore video a FI.

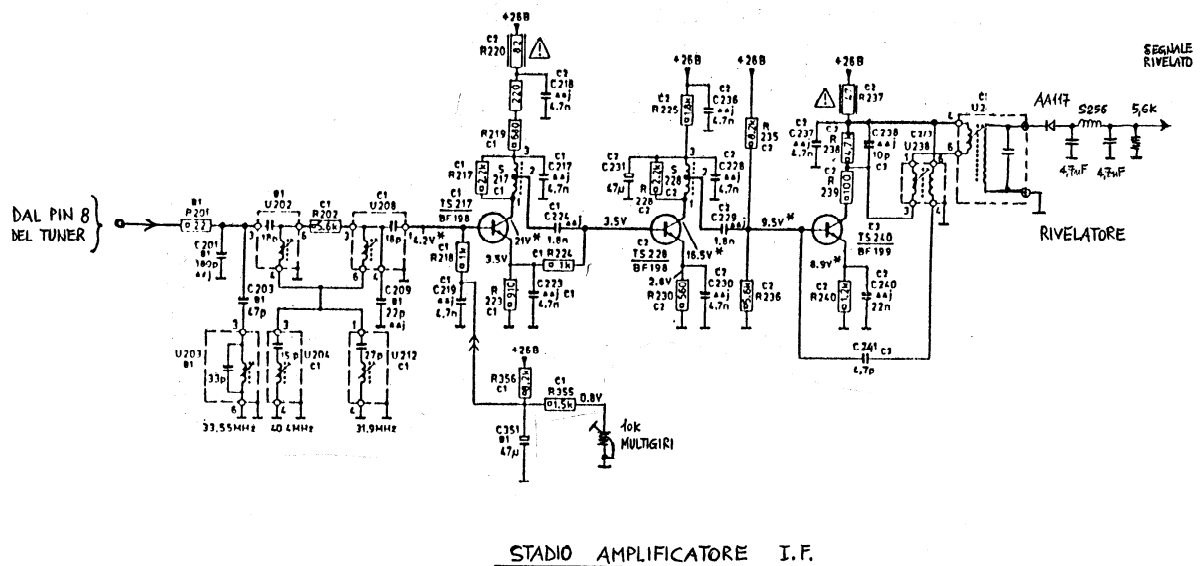


Fig. 8: Schema elettrico dello stadio amplificatore IF e dello stadio rivelatore con le modifiche suggerite nel testo.

I valori dei componenti relativi ai circuiti aggiuntivi sono riportati negli schemi elettrici. La costruzione del ricevitore si conclude con la taratura dei trimmer multigiri da 10 kΩ collegati rispettivamente sul pin 13 del tuner e su un terminale della resistenza R355: il primo deve essere

regolato in modo da rilevare una tensione dell'ordine di 2.5 V sul pin 13 del tuner, il secondo in modo da misurare una tensione pari a circa 1.3 V fra il suo terminale in comune con la resistenza R355 e la massa. Le regolazioni devono essere tali da produrre la massima sensibilità del sistema in tutte le gamme, verificabile iniettando un segnale di prova all'ingresso (ad esempio il segnale captato da qualsiasi emittente TV) ed osservando la massima escursione del segnale rivelato. E' possibile testare il corretto funzionamento del ricevitore collegando al suo ingresso una semplice antenna a stilo o il cavo di antenna proveniente dall'impianto TV domestico: con l'aiuto di un oscilloscopio (USCITA OSCILL.) e dopo aver selezionato la banda di ricezione scelta deve essere possibile visualizzare il segnale video delle emittenti TV ricevibili nella zona. Tale operazione non dovrebbe presentare alcuna difficoltà, considerando l'elevato livello dei segnali televisivi e l'accresciuta sensibilità del ricevitore in seguito alle modifiche suggerite. Una prova simile risulta persino indispensabile per monitorare la località prescelta per l'installazione del radiotelescopio, alla frequenza di osservazione desiderata, con lo scopo di individuare le interferenze esterne: la cosa ideale sarebbe quella di effettuare una serie di misure per stimare il livello di occupazione dello spettro elettromagnetico utilizzando un analizzatore di spettro collegato ad un'antenna a larga banda, effettuando i test nell'arco di 24 ore e per una durata di tempo sufficientemente lunga (tipicamente una settimana). In questo modo si evidenzieranno chiaramente eventuali cause di disturbo elettromagnetico che renderebbero difficoltosa, se non impossibile, l'osservazione radioastronomica.

SISTEMA DI ANTENNA

Il sistema di antenna di un radiotelescopio é la parte più delicata e costosa dell'impianto: essa svolge un ruolo cruciale avendo il compito di raccogliere la maggior quantità possibile di flusso proveniente dalle radiosorgenti osservate. Due sono i parametri principali che caratterizzano un'antenna ricevente: l'area efficace, quando sia utile evidenziare le sue caratteristiche in sensibilità, la direttività (o guadagno) quanto interessi evidenziare l'ampiezza del suo fascio (lobo principale del diagramma di radiazione) ed in definitiva il potere risolutivo del sistema. Questi parametri, tra loro correlati, esprimono il concetto che un'antenna é utile nella ricerca radioastronomica solo se é in grado di poter discriminare la direzione di arrivo della radiazione incidente. Il potere risolutivo di un'antenna, strettamente legato alle sue dimensioni massime, é la capacità che possiede il sistema nel distinguere come separate due sorgenti angolarmente molto vicine. Questo parametro é inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda: per raggiungere il potere risolutivo dell'occhio umano, un'antenna radio dovrebbe avere dimensioni dell'ordine di 700 metri. Si comprendono facilmente le ragioni delle enormi proporzioni (e costi) degli impianti radioastronomici destinati alla ricerca di punta: per effettuare studi scientificamente competitivi occorre disporre di strumenti in grado di esibire sensibilità e potere risolutivo particolarmente spinti. Altra caratteristica molto utile é la possibilità di orientare l'antenna verso qualsiasi punto della sfera celeste in modo da seguire un oggetto nel corso del suo moto apparente: i radioamatori dediti al meteor-scatter sono ben a conoscenza delle difficoltà meccaniche che occorre affrontare per realizzare una robusta ed affidabile struttura completamente orientabile. Tali problematiche trovano soluzione accettabile solo per radiotelescopi funzionanti a frequenze abbastanza elevate (UHF e SHF), dove si riescono ad ottenere grossi guadagni con strutture non troppo ingombranti e pesanti. E' utile tener presente che, nel caso degli accoppiamenti di numerose antenne elementari, é generalmente possibile effettuare una scansione del lobo principale del sistema senza muovere fisicamente la struttura, regolando opportunamente gli sfasamenti tra i diversi elementi che compongono la schiera (phased array).

L'antenna é quindi il componente cruciale di qualsiasi impianto: le sue dimensioni, l'installazione, la messa a punto e di conseguenza il costo costituiscono sicuramente l'impegno più gravoso da superare nella realizzazione di uno strumento radioastronomico anche di modeste pretese. In questo progetto si propone una soluzione di partenza, tecnicamente ed economicamente vantaggiosa, adottando per i primi esperimenti una singola antenna direttiva UHF commerciale a larga banda TV (4^a e 5^a banda, frequenze da 470 MHz a 850 MHz) mod. LS90/U della SEL Elettronica di Lugo (RA): é naturalmente possibile utilizzare modelli

equivalenti di altre case. Nella Tab. 1 e nella fig. 9 sono elencate le caratteristiche fornite dal costruttore, utili per dimensionare l'impianto e determinare le prestazioni del radiotelescopio. La possibilità di utilizzare prodotti commerciali TV a prezzi vantaggiosi consente di estendere le prestazioni dell'impianto in base alla disponibilità economica e di spazio accoppiando diverse antenne di questo tipo in forma di array con lo scopo di incrementare in maniera significativa l'area efficace del sistema: un primo ampliamento consiste nel disporre 4 antenne ai vertici di un quadrato di lato pari a $\lambda/2$ alla frequenza operativa, collegate con spezzoni di cavo coassiale di identica lunghezza ed anelli ibridi. Come é ovvio, l'incremento nell'area efficace del sistema di antenna conduce ad un corrispondente incremento nella sensibilità e nella risoluzione del radiotelescopio, consentendo la sicura osservazione di radiosorgenti caratterizzate da un'emissione di flusso relativamente bassa. Dal punto di vista teorico non esistono limiti al numero di elementi che é possibile collegare per formare un allineamento anche se, in pratica, occorre tener presente che una volta risolti gli inevitabili problemi di costo, di spazio e strutturali, dall'accoppiamento di un elevato numero di elementi (ciascuno dotato di propria direttività) possono sorgere problemi di larghezza di banda e di criticità negli adattamenti di impedenza lungo le varie sezioni della struttura, risolvibili adottando un'attenta filosofia costruttiva ed eseguendo delicate e pazienti misure.

CARATTERISTICHE ESSENZIALI Antenna UHF larga banda SEL Elettronica mod. LS90/U

- Rapporto avanti/dietro: >27 dB
- Larghezza media del fascio orizzontale: 30° (con l'antenna montata in polarizz. orizz.)
- Larghezza media del fascio verticale: 33° (con l'antenna montata in polarizz. orizz.)

GUADAGNO ed AREA EFFICACE in funzione della frequenza

frequenza [MHz]	G [dB]	A _e [m ²]
470	13	0.647
500	13.6	0.656
550	15	0.749
600	16	0.792
650	17	0.849
700	17.8	0.880
750	18	0.803
800	18	0.706
850	17.6	0.570

Tab. 1

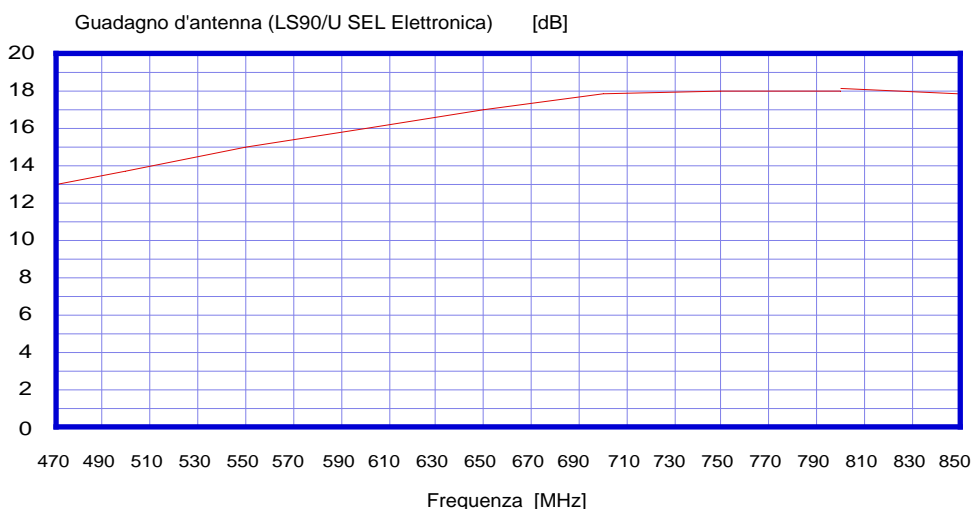


Fig. 9: Andamento del guadagno d'antenna in funzione della frequenza.

IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE E DI REGISTRAZIONE DEI DATI

Per la misura dei dati all'uscita del ricevitore (cioè dell'amplificatore-integratore di post-rivelazione) è in linea di principio utilizzabile qualsiasi strumento in grado di visualizzare variazioni di tensione: un semplice voltmetro analogico è utile allo scopo, ma non consente la registrazione automatica. Preferibile ed interessante è l'utilizzo degli attuali mezzi che l'informatica e la tecnologia dei personal computer mette a disposizione: sono disponibili a prezzi vantaggiosi numerosi dispositivi per l'acquisizione automatica e l'elaborazione dei dati (data-logger) collegabili alla porta seriale o parallela dei PC e corredati del necessario software di gestione. Il mercato dell'acquisizione dati è letteralmente esploso in seguito alla massiccia diffusione dei PC e all'affermarsi del concetto di "strumentazione e controllo virtuali" anche nel settore industriale: tramite opportune interfacce è possibile simulare e controllare con facilità gli strumenti di misura che sono normalmente presenti in un laboratorio elettronico ben attrezzato (misure e visualizzazioni di tensioni e forme d'onda, analisi spettrali, etc.). Per lo sperimentatore-costruttore è possibile e vantaggioso realizzare un sistema di acquisizione dati per PC adatto all'utilizzo radioastronomico: si tratta di impostare alcuni parametri di base come l'intervallo di campionamento, il tempo di integrazione ed il formato di salvataggio dei file di dati su disco in modo da ottimizzare il tempo di risposta del sistema e l'occupazione di memoria in funzione delle caratteristiche di variabilità del segnale disponibile all'uscita del radiotelescopio. In questo caso si ha il non trascurabile vantaggio di personalizzare il software in base alle proprie esigenze, rendendo il sistema potente, flessibile e adatto all'applicazione della ricerca radioastronomica. In un prossimo articolo sarà descritto un semplice ed economico data-logger utilizzabile per i nostri esperimenti: si collega alla porta parallela di qualsiasi PC e consente di acquisire, visualizzare e registrare l'andamento nel tempo del segnale rivelato.

CALIBRAZIONE DEL RICEVITORE

La calibrazione del ricevitore, preceduta dalle misure necessarie a caratterizzarne le prestazioni, è una delle fasi più delicate ed importanti della messa a punto del sistema. Lo scopo è quello di ottenere una precisa relazione fra l'ampiezza delle variazioni del segnale rivelato ed il corrispondente incremento della temperatura equivalente di rumore d'antenna, realizzando un vero e proprio strumento di misura (radiometro) che consente di stabilire il valore assoluto dell'intensità di radiazione captata dallo scenario celeste osservato, piuttosto che un semplice ricevitore in grado di stimare solo variazioni di potenza del segnale incidente rispetto ad un riferimento incognito.

Si descriverà una semplice ed economica procedura di calibrazione effettuata con il metodo della terminazione riscaldata, particolarmente adatta al laboratorio dello sperimentatore dilettante e sufficientemente precisa per i nostri scopi. Prima di affrontare questo problema è necessario stabilire una relazione fra la posizione della manopola graduata di sintonia e l'effettiva frequenza ricevuta, determinando, con l'aiuto di un generatore RF esterno a frequenza variabile e sufficientemente preciso, la curva di sintonia del ricevitore. Per queste prove si è adottato lo schema di collegamento rappresentato in fig. 10. Sulla presa di antenna del ricevitore è stato collegato un generatore sintetizzato RF (abbiamo utilizzato lo strumento NE LX1300) predisposto per fornire un segnale di uscita di livello pari a $2.24 \mu\text{V}$ su un carico di 50Ω .

Considerando che l'impedenza d'ingresso del ricevitore è di 75Ω , si verificherà un disadattamento del tutto insignificante ai fini della determinazione della curva di sintonia. Il ricevitore è stato impostato per un guadagno in tensione dell'amplificatore-integratore BF di post-rivelazione pari a x5 con una costante di tempo di 1 secondo e la manopola di zero del livello di riferimento del segnale di uscita regolata in un punto opportuno all'inizio della scala. Il segnale, prelevato dal connettore USCITA REG., è stato misurato con un oscilloscopio digitale TEKTRONIX TDS210 impostato per una misura di valore medio (su 4 acquisizioni). Con questo set di misura e con un pò di pazienza si è ottenuta la curva di sintonia del ricevitore

riportata in fig. 11 e nella Tab. 2: il guadagno in potenza complessivo del sistema (dell'ordine di 130 dB nelle condizioni specificate) é sensibilmente variabile con la frequenza (l'assenza del circuito AGC fa sentire il suo peso!) e l'intervallo di maggior sensibilità del ricevitore si verifica a centro banda in corrispondenza della frequenza di 677.07 MHz (manopola della sintonia in posizione 4).

In radioastronomia [1] si é soliti esprimere i livelli delle indicazioni di uscita in termini di temperatura equivalente di rumore d'antenna: la tensione di segnale rivelato, proporzionale alla potenza della radiazione cosmica incidente, sarà quindi proporzionale alla temperatura equivalente di corpo nero della regione di cielo osservata. Completata l'operazione di calibrazione del ricevitore disporremo di un radiometro in grado di misurare la "temperatura della zona di cielo osservata" e valutare quindi la temperatura di brillantezza delle radiosorgenti puntate dal lobo principale dell'antenna.

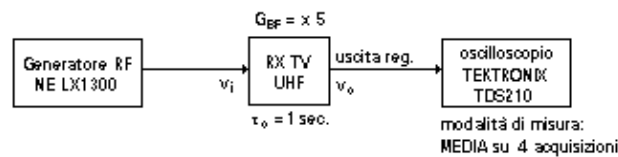


Fig. 10: Schema di valutazione del guadagno complessivo del ricevitore.

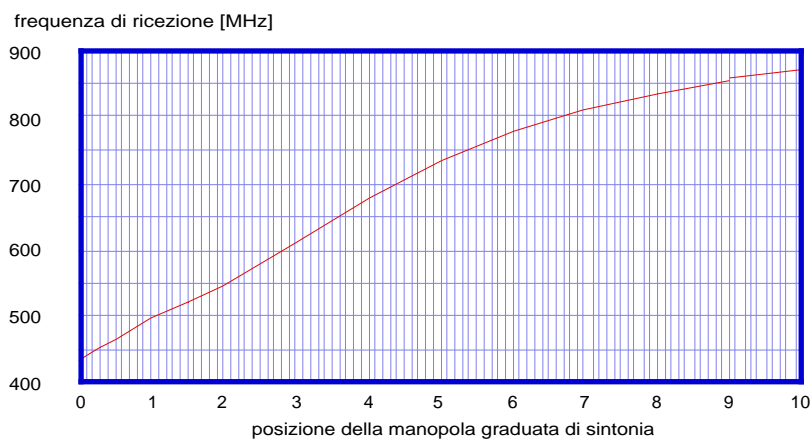


Fig. 11: Curva di sintonia del ricevitore.

posizione della manopola di sintonia	frequenza di ricezione [MHz]
0	431.26
0.5	465.63
1	493.55
1.5	521.19
2	547.75
3	609.65
4	677.07
5	735.29
6	778.34
7	812.40
8	838.27
9	857.27
10	868.88

Tab. 2

La misura consiste nel collegare il carico di prova all'ingresso del ricevitore e registrare il corrispondente salto di tensione all'uscita (utilizzando un adatto voltmetro) dovuto al gradiente

di temperatura fisica che si localizza sul carico adattato d'ingresso. Si tratta di determinare, in corrispondenza di una specifica frequenza di lavoro, la seguente relazione:

$$\gamma = \frac{\Delta v_o}{\Delta T} \quad [V / ^\circ K] \quad (3)$$

Dal punto di vista operativo é opportuno sottolineare la delicatezza di questa procedura in quanto suscettibile a disadattamenti, disturbi ed instabilità, con conseguenti difficoltà ed incertezze nella valutazione dell'indicazione di uscita, soprattutto per piccole differenze di temperatura fisica del carico che, d'altra parte, sono insostituibili nella stima della sensibilità del sistema e nel verificare la sua idoneità per impieghi radioastronomici. E' bene iniziare le misure dopo un'ora dall'accensione, attendendo che il ricevitore e lo strumento collegato all'uscita abbiano raggiunto la temperatura a regime e la necessaria stabilità di funzionamento; é inoltre buona norma eseguire numerose rilevazioni per effettuare una media dei risultati, ponendosi al riparo da qualsiasi tipo di interferenza o disturbo in grado di falsare le misure. Per la valutazione del segnale all'uscita del ricevitore (USCITA REG.) si é collegato un oscilloscopio digitale TEKTRONIX TDS210 impostato per la misura e la visualizzazione del valore medio (su 128 misure) dopo aver selezionato un guadagno BF x10 ed una costante di tempo di 2 secondi sul ricevitore. La manopola dell'offset d'uscita é stata posizionata in un punto opportuno dell'inizio-scala facendo ben attenzione a non spostarla nel corso delle misure. Si riempie un recipiente di vetro sufficientemente grande con acqua calda ad una temperatura intorno 40°C e, dopo aver posizionato al suo interno la sonda di un termometro digitale, si immerge completamente la resistenza di carico osservando il relativo incremento Δv_o nell'indicazione di uscita proporzionale al gradiente termico Δt subito dalla terminazione (differenza fra la temperatura ambiente e la temperatura dell'acqua): questa variazione di segnale é indice di buon funzionamento del sistema, caratterizzato da sufficiente sensibilità per utilizzi radioastronomici dilettantistici. Con il progressivo raffreddamento dell'acqua, si registreranno i corrispondenti valori della tensione in uscita ad ogni grado di diminuzione della temperatura: per ottenere misure attendibili é importante ripetere più volte la procedura riscaldando nuovamente l'acqua e registrando pazientemente le corrispondenti indicazioni dell'uscita al variare della temperatura fisica della terminazione d'ingresso. Lo strumento si può considerare calibrato solo dopo che si é certi della ripetibilità della procedura. Le misure eseguite sul prototipo, effettuate alla frequenza di 677.07 MHz (manopola di sintonia in posizione 4), hanno fornito i seguenti risultati:

	Temperatura [°C]	Tensione misurata v_o [mV]
<u>1° serie di misure:</u>	42	420
	41	400
	40	382
	39	360
<u>2° serie di misure:</u>	41	140
	39.5	130
<u>3° serie di misure:</u>	36	20
	35	0
	34	-20
	33	-40
	32	-60

Tab. 3

I dati riportati in Tab. 3 sono stati registrati in tempi diversi e con differenti regolazioni della manopola di zero dell'uscita: utilizzando questi risultati é stato possibile determinare la seguente relazione di calibrazione:

$$\gamma = \frac{\Delta v_o}{\Delta T} = 20 \text{ mV / } ^\circ\text{K}. \quad (4)$$

Può verificarsi qualche errore a causa del leggero disadattamento all'ingresso (il valore della resistenza di carico adottato non é rigorosamente uguale all'impedenza d'ingresso del ricevitore e, soprattutto, é difficile essere sicuri che la terminazione si comporti come una resistenza pura a tutte le frequenze). Per i nostri scopi, in rapporto alle prestazioni effettivamente offerte dal sistema, questa procedura sembra soddisfacente. Dall'espressione (4) é possibile dedurre che il ricevitore, con le impostazioni effettuate e alla frequenza di 677.07 MHz, esibisce una variazione di tensione all'uscita pari a 20 mV per ogni grado di incremento nella temperatura di antenna. Dato che la potenza di rumore termico prodotta da un resistore é perfettamente equivalente alla potenza della radiazione cosmica, é possibile in questo modo valutare e testare la sensibilità del nostro sistema ricevente che adeguata per condurre con successo alcuni semplici esperimenti. Vale la pena osservare come la radiosorgente Cassiopeia A (frequentemente utilizzata nelle calibrazioni dei ricevitori radioastronomici) produca alla frequenza di 677 MHz un flusso pari a circa 4162 Jy [1]: utilizzando un'antenna di area efficace dell'ordine di 0.8 m² (classica yagi larga banda per TV UHF descritta precedentemente) si ottiene all'ingresso del ricevitore una variazione di temperatura $\Delta T \approx 1.2^\circ\text{K}$ sopra il rumore di fondo, corrispondente ad una variazione di tensione all'uscita pari a circa:

$$\Delta v_o = \gamma \cdot \Delta T = 20 \cdot 1.2 = 24 \text{ mV}.$$

Raddoppiando l'area efficace del sistema di antenna (costruendo un allineamento di 2 elementi) si ottiene una variazione doppia della tensione di uscita: per avere un sufficiente margine di sicurezza negli esperimenti radioastronomici é opportuno realizzare un impianto di antenna caratterizzato da un'area efficace (guadagno) adeguata, problema, come si é visto, non sempre di facile ed economica soluzione. Vorrei infine evidenziare un semplice test che é possibile (e consigliabile) effettuare per una verifica circa la correttezza della procedura di calibrazione ottenuta con il metodo della terminazione riscaldata. Si tratta di misurare la componente termica della radiazione del Sole quieto a 677 MHz: a questa frequenza la densità di flusso prodotta dal Sole calmo é valutabile intorno a 270000 Jy, emissione in grado di far variare la temperatura di antenna (con 0.8 m² di area efficace) di 78°K: il corrispondente incremento nel segnale rivelato dovrebbe essere dell'ordine di 1.5-1.6 V.

In base alla relazione (1) e al valore dei seguenti parametri stimati per il nostro ricevitore:

$$\left\{ \begin{array}{ll} B = 5 \text{ MHz} & \text{banda passante del ricevitore} \\ (F_r)_{\text{dB}} = 5 \text{ dB} & \text{figura di rumore del ricevitore} \\ T_r = T_o(F_r - 1) = 290(3.16 - 1) \approx 627^\circ\text{K} & \text{temperatura di rumore del ricevitore} \\ T_a \approx 300^\circ\text{K} & \text{temperatura di fondo di antenna} \\ A_{\text{dB}} = 1 \text{ dB} & \text{attenuazione del cavo coassiale} \end{array} \right.$$

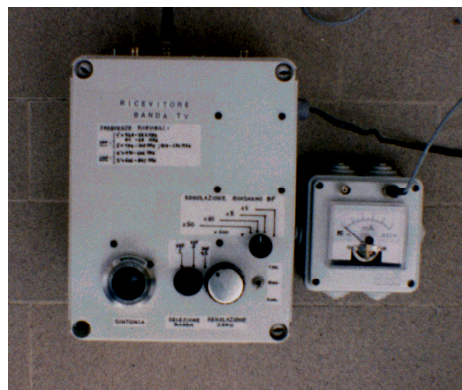
si dovrebbe ottenere una sensibilità teorica dello strumento dell'ordine di

$$\Delta T = \frac{T_a + T_o(A - 1) + T_r}{\sqrt{BN \tau_o}} = \frac{300 + 290(1.26 - 1) + 627}{\sqrt{5 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}} \approx 0.45^\circ\text{K}.$$

Tale valore é in pratica irraggiungibile a causa delle inevitabili instabilità del sistema e dei disadattamenti presenti nella catena ricevente.

Bibliografia essenziale:

- [1] F. Falcinelli - "SUSSURRI DAL COSMO" - Società Editoriale Felsinea S.r.l. (Bologna)
- [2] J.D. Kraus - RADIO ASTRONOMY (2° ed.) - ed. Cygnus-Quasar Books (Powell, Ohio)
- [3] G. Sinigaglia - ELEMENTI DI TECNICA RADIOASTRONOMICA - ed. C e C (Faenza)
- [4] Swenson, Jr. - "AMATEUR RADIO TELESCOPE" - Sky & Telescope, Maggio 1978
- [5] F. Falcinelli - RADIOASTRONOMIA DILETTANTISTICA: principi di base -Elettronica Flash, Novembre 1996



Pannello frontale del ricevitore con lo strumento indicatore della potenza associata al segnale rivelato.



Vista del sistema ricevente utilizzato per i primi test.