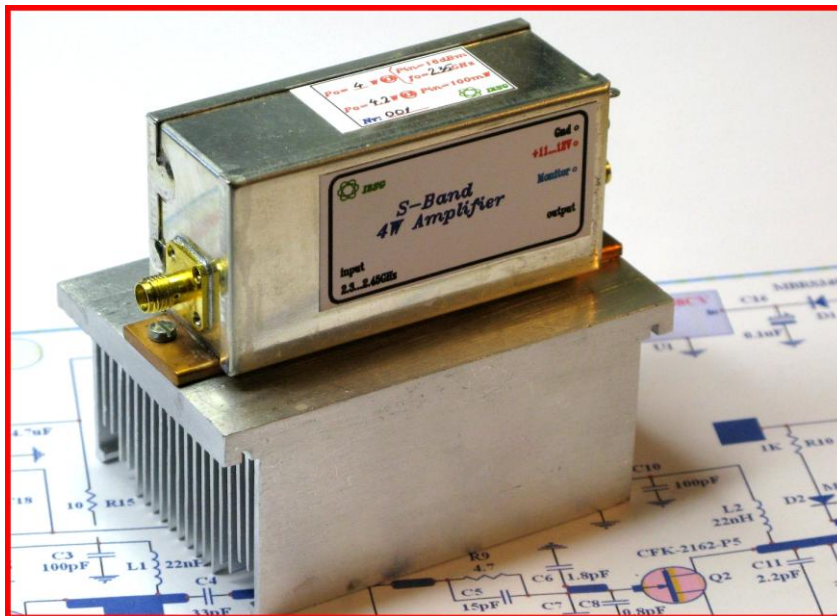


# Amplificatore lineare da 4W @ 2,4GHz

(Gianfranco Sabbadini - I2SG)



## 1- UN PICCOLO AMPLIFICATORE PER I 13 CENTIMETRI

In questa nota è descritto un amplificatore di piccola potenza e dimensioni contenute per la banda dei 13cm, realizzato con MESFET GaAs ad alta efficienza per un impiego particolarmente adatto in stazioni portatili con alimentazione da batteria a 12 volt. Anche in questo caso l'obiettivo raggiunto è dipeso dall'utilizzo di alcuni moderni dispositivi RF per telecomunicazioni, associati a materiali di ottima qualità. L'amplificatore copre il segmento di frequenza 2300...2450MHz, dedicato al traffico radiantistico terrestre e via satellite, con tutti i modi d'emissione. In sintesi le prestazioni sono:

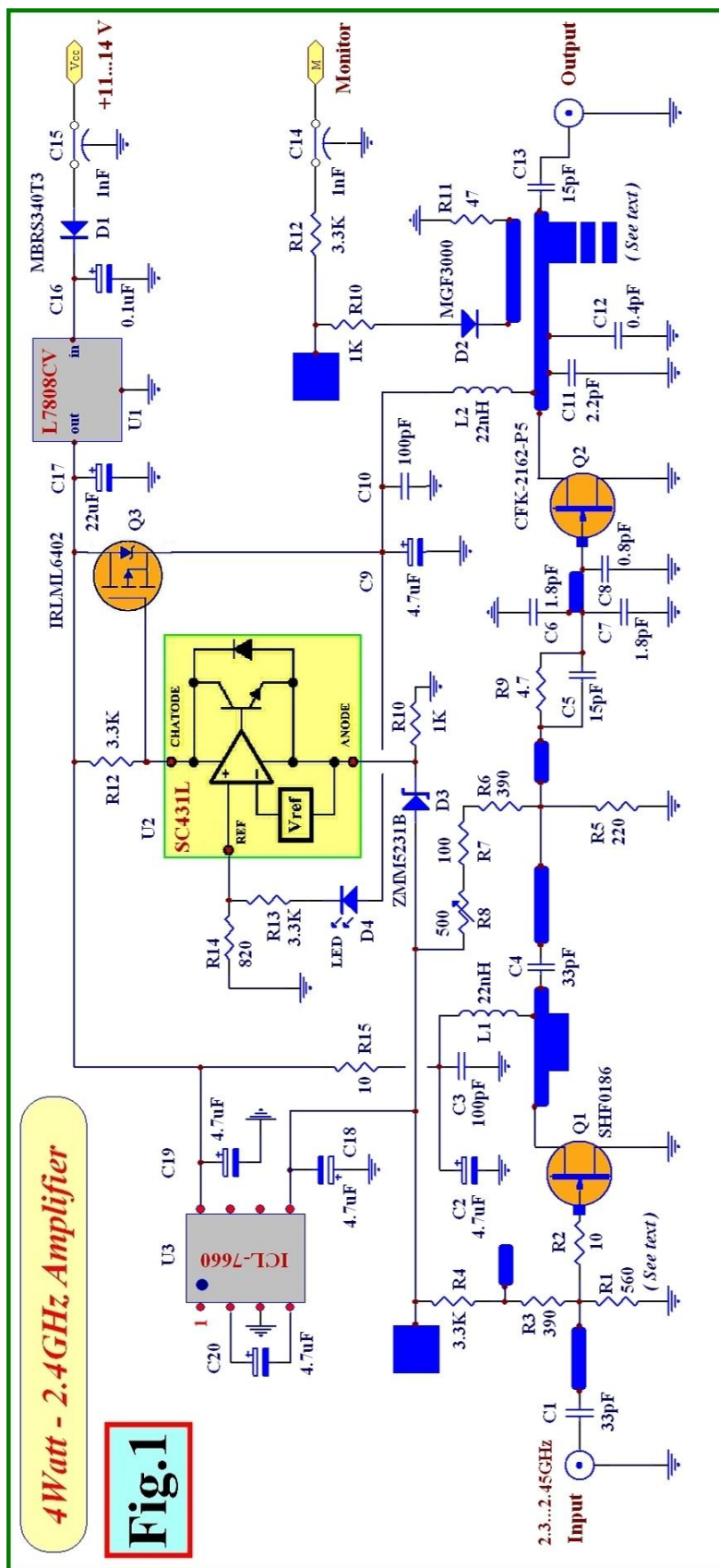
**Frequenza di lavoro =2300...2450MHz, Pout=4W (@2350MHz,Pin=40mW), Psat>4.2W (@Pin=100mW), Guadagno 20dB @ 2350MHz, Alimentazione Vcc=11...12V, Efficienza totale =33% (@ Pout=Psat , Vcc=11V)**

## 2- IL CIRCUITO

Lo schema elettrico dell'amplificatore è riportato in Fig1, ove i tratti in grassetto di colore blu indicano le linee di trasmissione in *microstrip* del circuito stampato. Notiamo che l'amplificatore è strutturato in due stadi con i MESFET GaAs **Q1** e **Q2**, polarizzati in classe AB ed alimentati al "drain" con tensione stabilizzata di 8V fornita dal regolatore standard a 3 terminali **U1**. La tensione negativa di polarizzazione alle "gates" dei MESFET è generata dal convertitore **U3**, tipo ICL-7660. Il dispositivo **Q3** è un MOSFET a canale P, pilotato come interruttore dal circuito integrato a tre terminali **U2**, tipo SC431L. **U2** è un regolatore "shunt" in contenitore SOT-23, essenzialmente costituito da un amplificatore operazionale che pilota un transistor e un generatore di tensione di riferimento connesso all'ingresso invertitore. L'impiego di questi componenti consente di realizzare un efficiente e compatto circuito che impiega un singolo C.I. regolatore di potenza e che svolge le seguenti funzioni:

- 1) Ciclo d'accensione (*turn-on*) con sequenza delle tensioni d'alimentazione del MESFET **Q2**.

- 2) Ciclo di spegnimento (*turn-off*) con sequenza nella rimozione delle tensioni al MESFET **Q2**.
- 3) Protezione MESFET in caso di sovracorrente o intervento della protezione termica di **U1**.



Notiamo che il catodo di (**U2**) è praticamente un circuito aperto sino a che la tensione al terminale

“REF” assume valori inferiori a quella di riferimento “Vref”: in queste condizioni tra catodo ed anodo scorre solo una debole corrente. Se la tensione negativa erogata da (U3) è inferiore alla tensione d’innescò del diodo Zener (D3), entrambi i terminali “REF” ed “ANODE” sono al potenziale di massa (con R10, R14).e la corrente d’alimentazione dell’operazionale, trovandosi in condizioni d’interdizione, è minore di 0,5µA. Se la tensione negativa supera il valore d’innescò del diodo Zener, l’ingresso “REF” dell’operazionale assume valori positivi rispetto il terminale “ANODE” essendo questo trascinato a tensione negativa rispetto la massa. Trascorrendo la piccola tensione differenziale, allorquando il potenziale al terminale REF eguaglia o supera “Vref” l’uscita dell’amplificatore operazionale porta velocemente in conduzione il transistor NPN d’uscita e la resistenza dinamica catodo-anodo Rz scende a meno di 0,4ohm, con la conseguente chiusura istantanea di Q3 e tensione d’alimentazione applicata al MESFET Q2. Chiudendosi Q3, la tensione al terminale “REF” sale di circa 1V rispetto la soglia di intervento per effetto del partitore costituito da D4, R13, R14. Questa reazione positiva induce un ciclo di isteresi per cui il ciclo di spegnimento (*turn-off*) dell’amplificatore avviene per una tensione negativa - erogata da U3 - minore rispetto il valore di “*turn-on*”. La tensione Vref vale 1,24V: pertanto l’alimentazione ai *drain* dei MESFET è applicata quando la tensione ai capi di R10 vale 1,24V. Le due tensioni negative d’intervento erogate da U3 nei due casi sono:

**Tensione di “turn-on” :  $V_{on}=V_{ref} +V_{zener}= -(1,24 + 5,1)= -6,34V$**   
**Tensione di “turn-off” :  $V_{off}= (V_{ref} +V_{zener}) / K+1= -5,53V$**

La tensione di “turn-off” è ricavata da una coppia di equazioni che descrivono il circuito: “K” è il rapporto del partitore di reazione e l’isteresi (cioè Von – Voff) vale circa 0,8V.

I dati indicati sono tipici e la dispersione dei valori di “*turn-on e turn-off*” dipende essenzialmente dalla sola precisione della tensione di Zener. L’isteresi, con tensioni d’intervento sufficientemente differenziate, evita possibili effetti di pendolazione (*On-Off*) allorquando la tensione d’alimentazione dell’amplificatore (Vcc ) scende a valori inferiori a quella minima di funzionamento (11V) e/o in presenza di sistemi di alimentazione con elevata resistenza interna come nel caso di batterie o accumulatori prossimi all’esaurimento della carica. Il diodo D4 provvede ad un’indicazione dello stato di funzionamento dell’amplificatore.

Il MOSFET Q3 ha una elevata tranconduttanza:  $G_m=6S @ I_d=3,7A$  , per cui, quando è chiuso, ha una resistenza serie  $R_{DS(on)}=0,065ohm$  massimi. Ne consegue che il dispositivo consente di gestire correnti sino a 3A anche se in contenitore miniatura SOT-23. Nel nostro caso la potenza dissipata è sempre inferiore a 100mW. Ciò è possibile solo se il circuito di comando provvede ad una rapida transizione al “*turn-on*” e “*turn-off*”, come nel caso in esame. La rapida transizione è garantita dall’alto guadagno dell’amplificatore e dalla bassa tensione di soglia  $V_{gs(on)}$  di Q3. In Fig2 è riportata la corrente di catodo in funzione della tensione “ $V_Z$ ” al terminale REF.

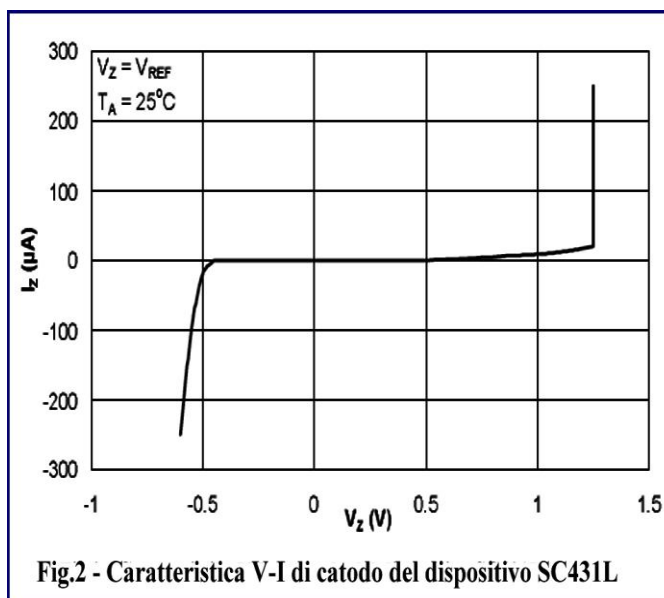


Fig.2 - Caratteristica V-I di catodo del dispositivo SC431L

La sequenza nell’applicazione delle tensioni di *gate* e *drain* all’accensione ed allo spegnimento

(ovvero alla rimozione dell'alimentazione  $V_{cc}$ ) è affidata alla costante di tempo del circuito della tensione negativa che è più di due ordini di grandezza elevata, sia della velocità di commutazione, sia di quella del carico al *drain* di **Q3**. Il primo stadio **Q1** dell'amplificatore ha il circuito *drain* direttamente alimentato dal regolatore **U1**. La resistenza **R15** ha una doppia funzione: il disaccoppiamento dallo stadio finale **Q2** e la protezione nel ciclo di *turn-on*. La corrente nominale di riposo dello stadio è 100mA ed è controllata dal partitore **R1,R3,R4** che polarizza la *gate* del MESFET. Non è prevista alcuna regolazione avendo osservato che la dispersione dei valori è contenuta ma, ove necessario, la corrente di riposo può essere modificata cambiando il valore di **R4**. In queste condizioni **Q1** eroga una potenza massima di circa +26dBm (0,4W), sufficiente a pilotare con margine lo stadio finale ed inferiore a quella massima d'ingresso indicata dal costruttore per **Q2**. I circuiti di adattamento d'ingresso, interstadio e d'uscita impiegano tronchi di *microstrip* e condensatori. Per l'ottimizzazione della potenza, all'uscita di **Q2** è inserito un tronco *microstrip* aperto (*stub*), modificabile con saldatura di piazzole metallizzate. I valori indicati dei condensatori d'adattamento sono quelli risultanti per l'ottimizzazione del circuito alla frequenza di 2350MHz: questi sono tipo SMD in porcellana di ottima qualità. L'elevato  $Q_0$  dei condensatori (particolarmente **C6, C7, C8, C11, C12**) è richiesto anche perché sono in gioco correnti reattive elevate. La corrente di riposo di **Q2** può essere regolata, con il *trimmer* **R8**, al valore nominale  $I_0=0,8A$  indicato dal costruttore per un funzionamento molto lineare - quale ad esempio richiesto per talune modulazioni digitali - o a livelli inferiori per l'impiego in SSB o FM. In SSB un basso livello di intermodulazione è mantenuto anche con corrente di riposo ridotta a 200...250mA (con prova a 2 toni,  $IMD_3 = -20... -25dB$ ). L'amplificatore è ottimizzato con  $I_0=200mA$ : se la corrente è incrementata a 0,8A il guadagno complessivo dell'amplificatore sale di circa 1dB, mentre si riduce circa della medesima entità con  $I_0=50mA$ . Le resistenze **R2** ed **R9** assicurano la stabilità dinamica di entrambi gli stadi, anche in presenza di SWR al carico. All'uscita dell'amplificatore è disposto un accoppiatore direzionale col diodo rivelatore **D2** che fornisce una tensione in funzione della potenza erogata. Allo scopo è necessario collegare al terminale "Monitor" un microamperometro (100 $\mu A$  f.s.). Disponendo di un bolometro od un wattmetro, lo strumento può essere tarato per una lettura in watt, regolando anche l'indicazione a fondo scala con la modifica del valore di **R12**, o meglio, sostituendola con un *trimmer*.

## 2- COSTRUZIONE DELL'AMPLIFICATORE

L'amplificatore è costruito con circuito stampato (54 x 35 mm, Fig3) su laminato Rogers RO-4350 da 30 *mils* di spessore e metallizzazione in rame di 30 micron da entrambi i lati. Il contenitore è standard in lamierino stagnato (56 x 37 x 30 mm).

I ritorni a massa sono con rivetti cavi da 1,5 mm e con piazzole metallizzate tangenti e saldate alle pareti laterali dal contenitore. Il circuito è vincolato col piano delle *microstrip*, spaziato 12 millimetri dal bordo superiore del contenitore. In Tab1 è riportato l'elenco completo dei componenti: questi sono inseriti dal lato delle *microstrip* ad eccezione di **C14, R12, U1**. I *bypass* passanti **C14** e **C15** ( $\Phi=3mm$ ) sono saldati sulla parete laterale del contenitore.

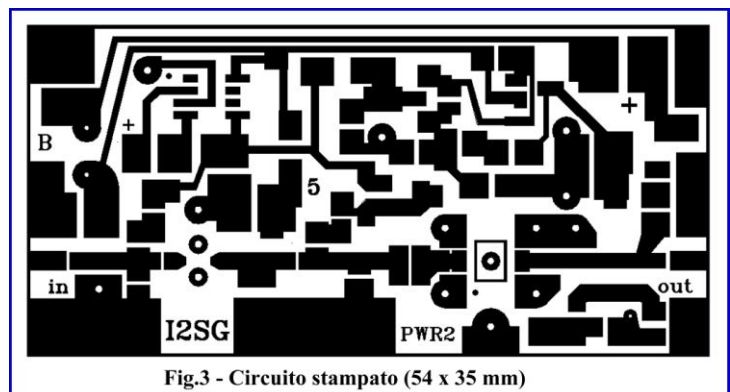


Fig.3 - Circuito stampato (54 x 35 mm)



TAB.1	Componenti
C1,C4	33pF Ceramic SMD
C2,C9,C18,C19	4.7uF/16V Tantalum (AVX)
C3,C10	100pF Ceramic SMD
C5,C13	15pF Porcellain SMD (ATC)
C6,C7	1.8pF Porcellain SMD (ATC)
C8	0.8pF Porcellain SMD (ATC)
C11	2.2pF Porcellain SMD (ATC)
C12	0.4pF Porcellain SMD (ATC)
C14,C15	1nF feed-through Ceramic
C16	0.1uF/50V Tantalum (AVX)
C17	22uF/16V Tantalum (AVX)
D1	MBS340T3 Schottky diode
D2	MGF3000 Mitsubishi
D3	ZMM5231B Zener MELF
D4	LED (red) SMD
L1	22nH Coilcraft 1008HQ22HX
L2	22nH Coilcraft 1812SMS22N
Q1	SHF0186 Sirenza
Q2	CFK-2162-P5 Celeritek
Q3	IRLML6402 IR
R1	560Ω SMD
R2	10Ω SMD
R3,R6	390Ω SMD
R4	3.3kΩ SMD
R5	220Ω SMD
R7	100Ω SMD
R8	500Ω Trimmer 5x5mm, SMD
R9	4.7Ω SMD
R10,R16	1kΩ SMD
R11	47Ω SMD
R12	3.3kΩ 1/8W axial
R13	3.3kΩ SMD
R14	820Ω SMD
R15	10Ω 1/8W axial
U1	L7805CV STM
U2	SC431L Semtech
U3	ICL7660 Intersil 8pin uPack.

Molti sono i dispositivi alternativi per U2, essenzialmente uguali al tipo SC431L, prodotti da diversi costruttori con ampia gamma di contenitori e/o diversa marcatura (LMV431, AMS431L, LX432, etc.). Da notare che il circuito stampato di Fig3 è predisposto per inserire sia i tipi in contenitore SOT-23, sia quelli in SOT-89, ed altri come il TO-92 sono adattabili facilmente. Tutti i condensatori al tantalio sono SMD con dimensione "B" (3,5x2,8x1,9 mm). Le dimensioni degli altri SMD non sono critiche. La Fig4 illustra il piano di montaggio dei componenti sul circuito stampato. Dopo la saldatura al contenitore del circuito stampato (rivettato e con cava rettangolare in corrispondenza di Q2), le prime operazioni d'assemblaggio sono la saldatura di bandelle in rame, per l'asportazione del calore dissipato da U1 e Q2. Il MESFET Q2 è saldato a "sandwich" come illustrato in Fig5; in sequenza le operazioni sono:

- Saldatura dei terminali di Q2 alle *microstrip* ed ai ritorni a massa.
- Inserzione della piastrina rettangolare, del "preform" PbSn e bandella piegata ad "L".
- Saldatura del "sandwich" dal lato massa.

In tal modo l'inserito metallico del "case" di Q2 trasmette il calore dissipato alla bandella in rame che costituisce una via di trasporto sino alla parete laterale del contenitore alla quale è avvitata, esternamente, una barra di rame per un contatto a bassa resistenza termica col dissipatore (vedere Fig6a e Fig6b). Anche la bandella di U1 è saldata, unitamente al regolatore, alla parete laterale del contenitore. Il "preform" è costituito da due sottili rettangoli di lega saldante (3x4 mm con spessore <0,1mm) ritagliati da un comune filo di lega saldante (PbSn con resina disossidante integrata) appiattito serrandolo in una morsa con ganasce lisce.

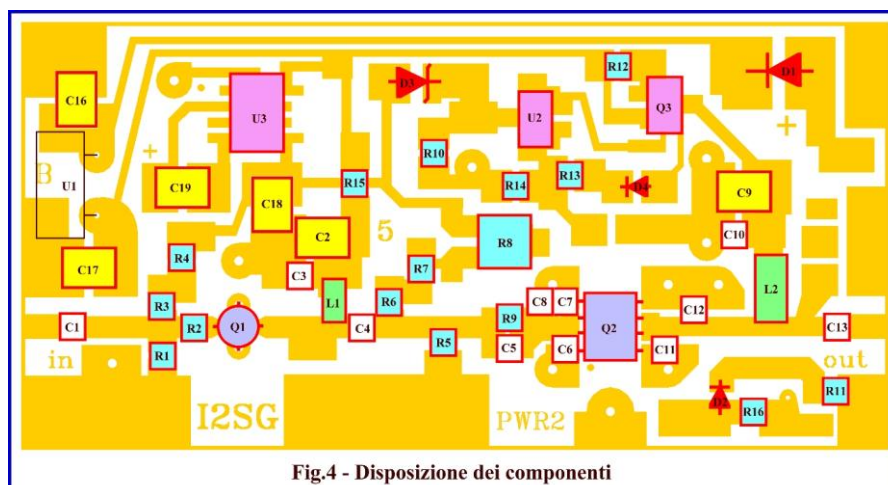
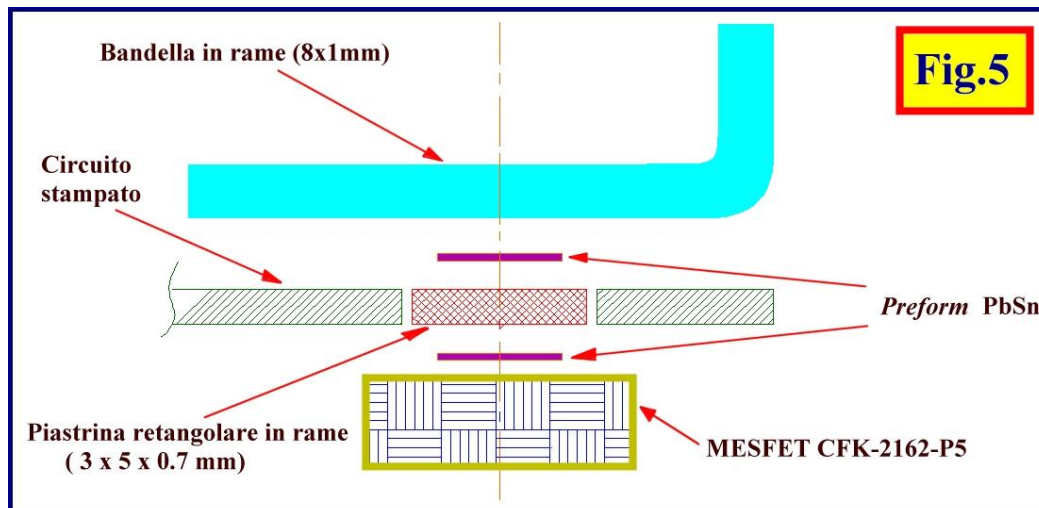


Fig.4 - Disposizione dei componenti

Il foglio tecnico de MESFET CFK-2162-P5 indica una potenza massima dissipabile di 10W ed una efficienza in classe AB maggiore del 40%: pertanto, il sistema adottato consente un funzionamento continuativo, anche a temperature ambiente elevate, pur con radiatori di modeste dimensioni e senza l'impiego di ventilatori.



Le rimanenti operazioni per l'assemblaggio hanno una sequenza analoga a quella dei progetti alle Ref 2, 3. In Fig6a e Fig6b è illustrato uno dei primi esemplari costruiti. La barra di rame dispone all'estremità di due fori per il fissaggio al dissipatore. In questa operazione è opportuno interporre un velo di grasso silicone per garantire un buon collegamento termico col dissipatore. Per il servizio continuo ed impiegando un dissipatore di modeste dimensioni – come nell'esempio illustrato in Fig7 - è raccomandabile una tensione d'alimentazione non superiore 12V o meglio 11V, nel caso di temperature ambiente elevate. Piccoli dissipatori efficienti sono quelli impiegati per i microprocessori e che possono essere acquisiti a basso costo nel mercato del *surplus*.

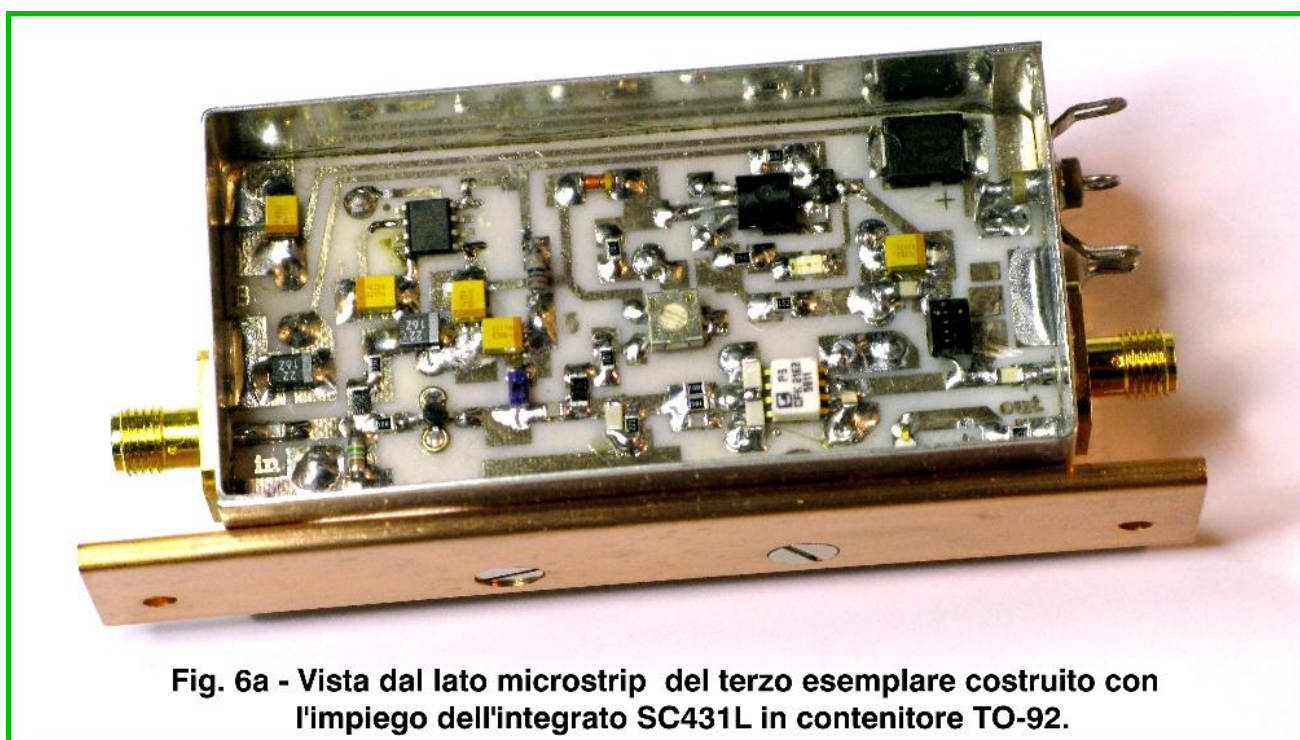






Fig. 6b - Vista dal lato massa del terzo esemplare. La barra di rame è vincolata con viti in corrispondenza delle bandelle rame saldate a massa ed alla parete laterale del contenitore, per un'efficiente trasporto del calore.



Fig.7

### 3 - LE PRESTAZIONI

Le caratteristiche principali dell'amplificatore, misurate sui primi 5 esemplari costruiti, sono riportate in Tab2.

TAB 2	Caratteristiche @ 2,35 GHz , Vcc=12V			
	Parametro	Valore		
		Min	Tipico	Max
Potenza d'uscita @Pin=16dBm	4	4.2	4.5	W
Potenza max @Pin=20dBm	4,2	4,5	5	W
Banda passante @ -3dB, Pin=10dBm		> 150	-	MHz
Corrente d'alimentazione @Pmax	1,1	1,15	1,35	A
Corrente d'alimentazione @Pin=0	-	250	-	mA
'Return Loss' in @Pin=16dBm	-	-12	-	dB
Tensione d'alimentazione	11	12	14	V

Da notare che la potenza d'uscita con 40 mW d'ingresso (i.e. 16dBm), corrisponde ad un guadagno di 20dB dell'amplificatore che pertanto si presta bene per sistemi (eccitatori, transverter, trasmettitori) di piccola potenza. La banda passante supera, con margine l'intero segmento 2300...2450MHz dedicato al traffico radiantistico – in statuto secondario- in Italia e nella Regione1. (vedere pag.281,282 Ref.1)

Rimango a disposizione di tutti coloro che desiderassero ulteriori chiarimenti, via e-mail ([i2sg@hotmail.com](mailto:i2sg@hotmail.com)) o in occasione di manifestazioni radiantistiche alle quali parteciperò.

Per lo sviluppo, la taratura e le misure sono stati utilizzati gli strumenti : *Spectrum Analyzer* Avantek R3361B, Bolometro HP435A, Generatore Rohde & Schwarz SME03, Attenuatore Weinschel 24-20-34, Accoppiatore di precisione Narda No 3022.

73 ES CUAGN DE I2SG , Gianfranco

### BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI

- 1) "Compendium UHF e Microonde" I2SG - Edizione 8/2001
- 2) "Transverter lineare NO-TUNE 23cm/70cm" I2SG - Radiokit 9/10/11/ 2007
- 3) "Downconverter per ATV in 6cm" I2SG - Radiokit 7/8/9/ 2006
- 4) " International Microwave Handbook" ARRL/RSGB