

WS_P1



PCB a 8 canali a singola
conversione a reiezione
d'immagine sintonizzabile.
Primo prototipo.

*Alessandro Scalambra, Alessandro Navarrini, Juri Roda,
Marco Poloni, Federico Perini, Alessandro Cattani, Andrea
Maccaferri, Sergio Mariotti, Pierluigi Ortu, Andrea Saba,
Pasqualino Marongiu*

Referee: Alessandro Orfei

30 Novembre 2018

IRA 520/18

INDICE

1) Descrizione progetto Pharos2	pag.2
2) Descrizione sistema di conversione RF, PCB WS_1	pag.4
3) Schema circuitale e elenco componenti, WS_1	pag.7
4) Descrizione e problemi riscontrati della zona "RF"	pag.11
5) Descrizione e problemi riscontrati della zona "Mixer"	pag.13
6) Descrizione e problemi riscontrati della zona "IF"	pag.14
7) Descrizione e problemi riscontrati della zona "distribuzione OL"	pag.16
8) Descrizione e problemi riscontrati della zona "alimentazione"	pag.18
9) "Banda sintonizzabile a reazione d'immagine"	pag.19
10) Misure di guadagno con filtro stretti, PBF "b", "c" e "d"	pag.22
11) Misure di isolamento tra i canali, CH3 con CH2 e CH4	pag.23
12) Pilotaggio mixer con diverse potenze in ingresso alla scheda	pag.24
13) Guadagno di un canale in funzione dell'alimentazione	pag.25
14) Stabilità di fase in funzione delle variazioni della temperatura	pag.26
15) Foto primo prototipo	pag.29
16) Conclusioni del primo prototipo	pag.32
17) Modifiche future, produzione di serie WSP2	pag.32
ALLEGATO_1, costruzione splitter 8 vie	pag.33
ALLEGATO_2, costruzione splitter 4 vie	pag.35

1) Descrizione progetto PHAROS2

PHAROS2 è l'aggiornamento del progetto PHAROS, un nuovo PAF con beamformer digitale. Quest'ultimo riutilizza parte dell'hardware di PHAROS esistente, incluso il criostato e l'array di antenne Vivaldi. PHAROS2 è in fase di sviluppo nell'ambito del Programma di strumentazione avanzato PAF (Square Kilometer Array) come collaborazione tra le seguenti istituzioni: l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF, Italia), l'Osservatorio Jodrell Bank (Università di Manchester, Regno Unito), l'Istituto olandese di radioastronomia (ASTRON, Paesi Bassi), l'Osservatorio spaziale di Onsala (OSO, Svezia) e l'Università di Malta (Malta). In PHAROS2 un beamformer digitale (a temperatura ambiente) sostituisce i quattro beamformer analogici di PHAROS.

La principale novità di PHAROS2 sarà la capacità di formare digitalmente quattro fasci indipendenti in cielo utilizzando 24 elementi di antenna. La larghezza di banda istantanea IF coperta sarà di ≈ 275 MHz su 375-650 MHz.

L'obiettivo è completare e installare PHAROS2 sul radiotelescopio Lovell da 76 m di diametro presso l'osservatorio Jodrell Bank (Regno Unito) e attuare la validazione tecnica dello strumento. Questa comprende l'ottimizzazione dell'antenna e le osservazioni scientifiche multi-beaming per la dimostrazione delle tecnologie adottate che possono trovare applicazione nello SKA.

L'architettura di PHAROS2 (vedi schematico in Fig. 2) consiste in tre blocchi principali:

- a) il "criostato PHAROS2": che sarà dotato di nuovi LNA e di una nuova finestra del vuoto;
- b) la "Sezione Calda" (Warm Section): posizionata nella stanza del ricevitore di messa a fuoco primaria del telescopio Lovell, accanto al criostato;
- c) il "backend digitale iTPM": da collocare nella sala controllo dell'Osservatorio Jodrell Bank (a poche centinaia di metri dal telescopio Lovell).

La Warm Section (WS) è collegata al backend digitale tramite collegamenti WDM in fibra ottica analogici che consentono di trasportare due segnali IF su una singola fibra. Le specifiche dettagliate di PHAROS2 sono riassunte in Tabella. 1.

RF range:	4.0-8.0 GHz
Frequency downconversion type:	Single, with sideband separation mixer (2SB), LSB tuning
LO frequency range:	4.650-8.375 GHz
IF frequency range:	375-650 MHz (275 MHz instantaneous bandwidth)
N. of active antenna elements:	24 (out of 220 Vivaldi antenna elements)
N. of compound beams:	4 (using 24 antenna elements)
N. of polarizations:	1 (single-polarization)
Selectable RF filters, frequency ranges and LO tuning frequencies:	Selection of one Band Pass Filter (BPF) out of four possible ones: BPF a: 4.0-8.0 GHz (LO tuning range 4.650-8.375 GHz); BPF b: 4.775-5.050 GHz (fixed LO, tuned at 5.425 GHz); BPF c: 5.78-6.055 GHz (fixed LO tuned at 6.43 GHz); BPF d: 6.445-6.720 GHz (fixed LO tuned at 7.095 GHz);
IF signal transportation:	Two IF signals transported over a single mode optical fiber (IFoF) using DFB laser with the Wavelength Division Multiplexing technique (1270 nm and 1330 nm)
Backend and beamforming:	iTPM digital backend capable of digitizing 32 inputs, 512 frequency channels;

Tab.1 Specifiche progetto WS_1

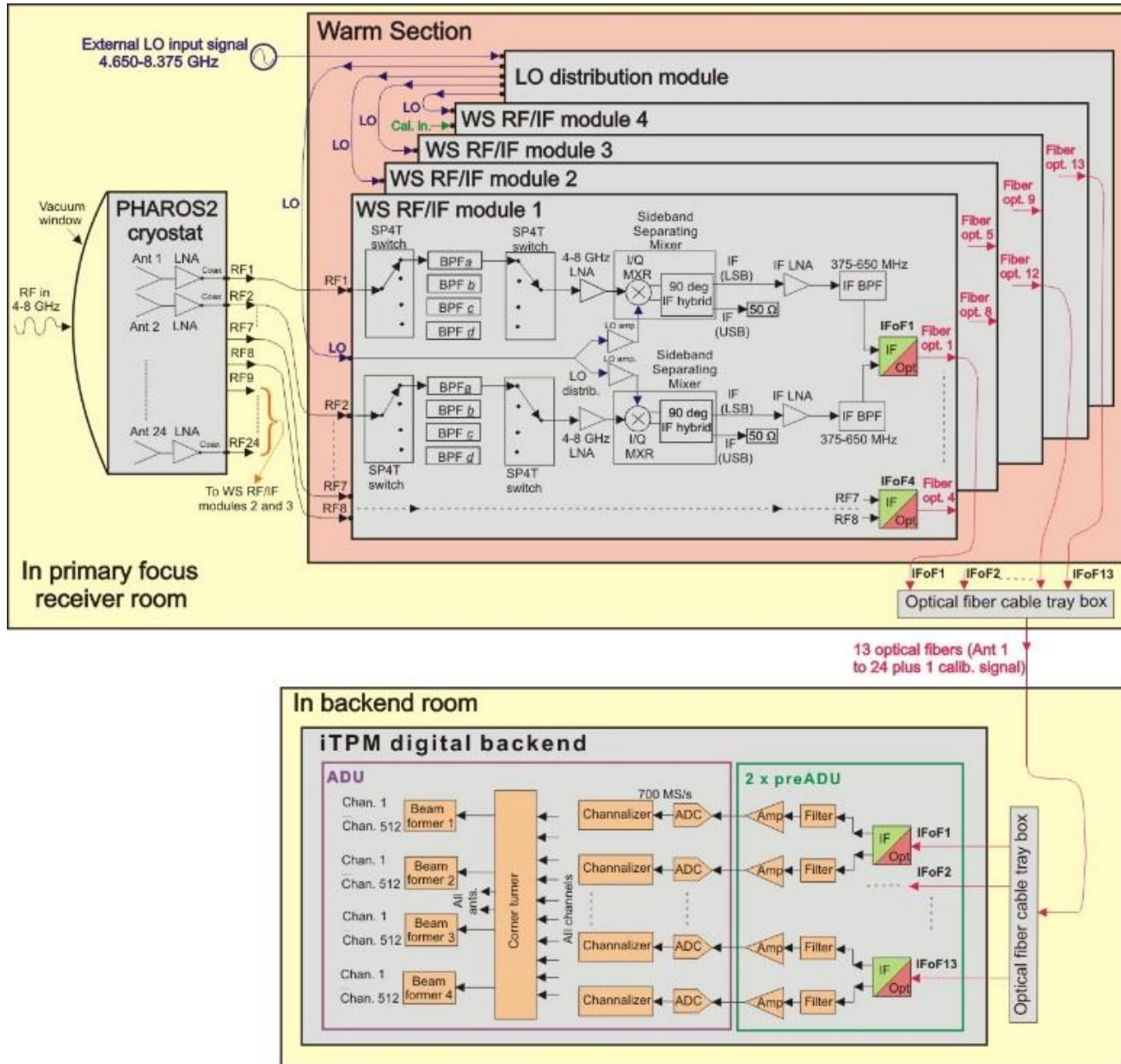


Fig. 2 Schema a blocchi di PHAROS2.

2) Descrizione sistema di conversione RF, PCB WS_1

In questo rapporto interno verrà illustrata la parte "Calda" del ricevitore, ovvero il cestello che converte i 24 e più canali in banda IF=375-650MHz.

Vista la molteplicità dei canali del dimostratore e facendo tesoro dell'esperienza acquisita nella progettazione dei PCB di conversione RX5GHz per SRT e del DF15GHz per Medicina, l'architettura scelta si basa su un sistema di conversione su circuito stampato.

Tramite una sola scheda viene eseguita la conversione LSB di 8 canali con un sistema a reiezione di banda sintonizzabile; inoltre la parte di distribuzione dell'OL è posta nella medesima PCB.

Questo ha portato a ridurre notevolmente i costi di realizzazione e a ridurre gli ingombri senza sacrificare "l'isolamento dei canali".

Il primo prototipo è stato chiamato WS_1.

- Il substrato scelto per la realizzazione è il RG4003 con spessore 0.508mm a 4 Layers, doppia Europa profondità 162mm.

- Un coperchio fresato copre e scherma tutte le zone RF, tutti i componenti sono montati sul lato top.

- Tutti i canali risultano essere uguali, montano gli stessi componenti e hanno la stessa lunghezza di piste.

- Prima della conversione è posto un banco di filtri realizzati in "circuito stampato".

- La distribuzione del segnale di pilotaggio OL dei mixer è diramato tramite splitter, anche questo su circuito stampato.

- E' possibile avere una banda IF sintonizzabile con reiezione d'immagine (maggiore o uguale a -28dB) utilizzando il filtro largo "BPF a". Questo sistema sfrutta

l'eliminazione della banda USB grazie al mixer I/Q accoppiato con l'ibridocollegato a valle.

- N°8 cavetti coassiali portano il segnale in uscita della PCB ai trasmettitori ottici che sono fissati al coperchio schermante.

- La scheda utilizza un'unica alimentazione a 5V sia per la PCB che per il trasmettitore ottico.

- Il cestello è predisposto per 8 schede, ma nella versione attuale ne alloggia 4.

- Uno splitter 4 (oppure o 8 vie) realizzato su PCB, fornisce il segnale alle 8 schede; su di esso viene montato un sistema di verifica del segnale OL.

- Tutti gli ingressi (compresa la 220ac) e le uscite sono poste sul pannello frontale.

- Il progetto è ottimizzato in termini di NF e di dinamica.

- Vista la possibilità di gestire un elevato numero di canali è stato indispensabile contenere al massimo gli spazi. Il compromesso raggiunto è quello di 8 canali su un unico PCB, senza sacrificare in alcun modo le specifiche di progetto.

La simulazione SCW di fig.3 mostra il guadagno di catena dal LNA fino al link ottico.

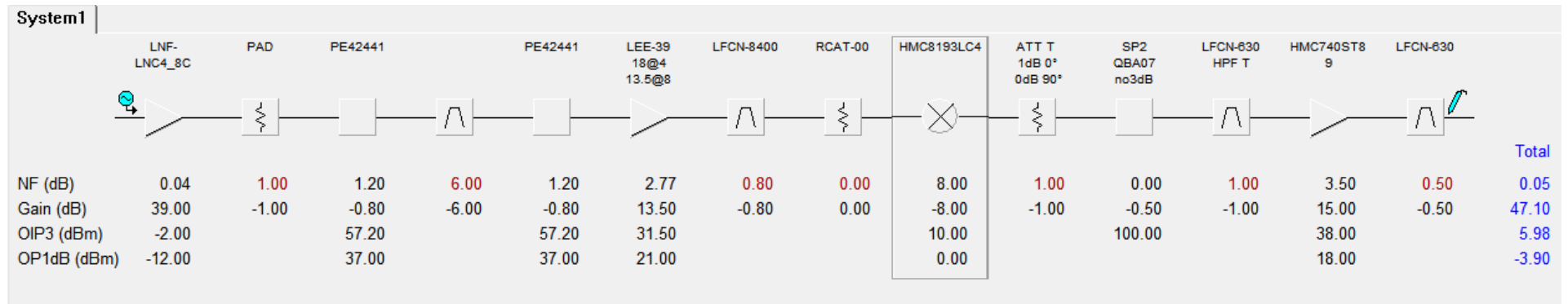


Fig. 3 Schema SCW di una delle 8 catene di ricezione.

Il primo componente della catena (LNF-LNC4_8C) è l'amplificatore criogenico a basso rumore posto in cascata con una delle antenne Vivaldi (non rappresentata nello schema). Tutti gli altri componenti a valle di tale LNA, inclusi i due switch PE42441, sono integrati sul circuito stampato WS_1.

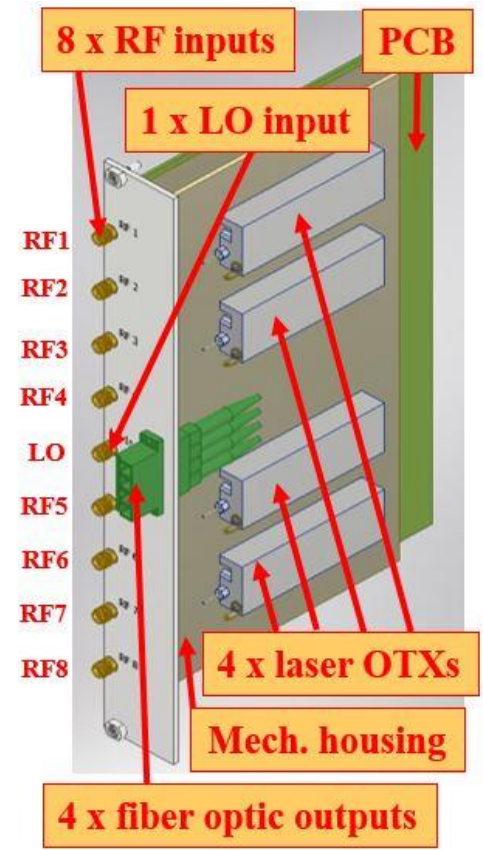
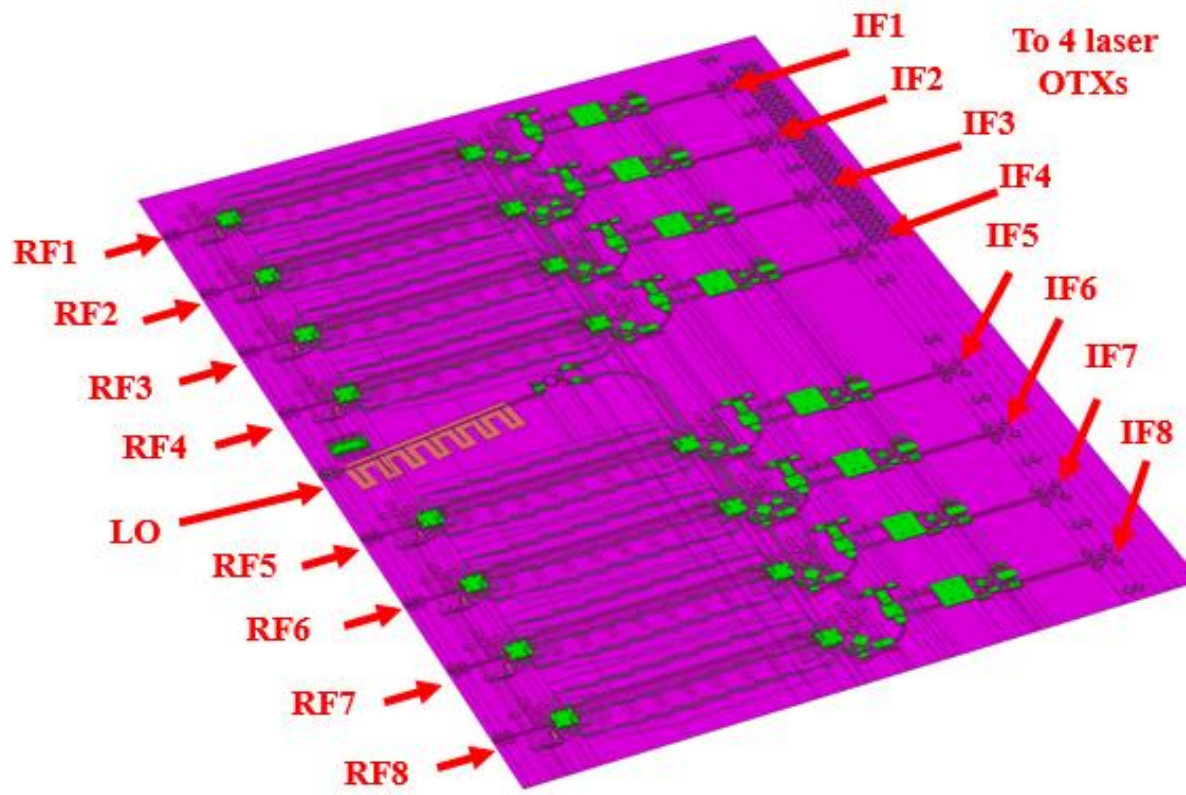


Fig. 4 Layout della PCB ad 8 canali con componenti (sinistra) e frontalino con moduli ottici integrati (destra).



Fig. 5 Design del cestello rack con 4 PCB WS ed uno splitter a 4 vie per l'oscillatore locale (fra due PCB WS).

3) Schema circuitale e elenco componenti, WS_1

Lo schema circuitale della PCB è illustrato in Fig. 6. Nella Tab. 7 è presente la lista dei componenti utilizzati.

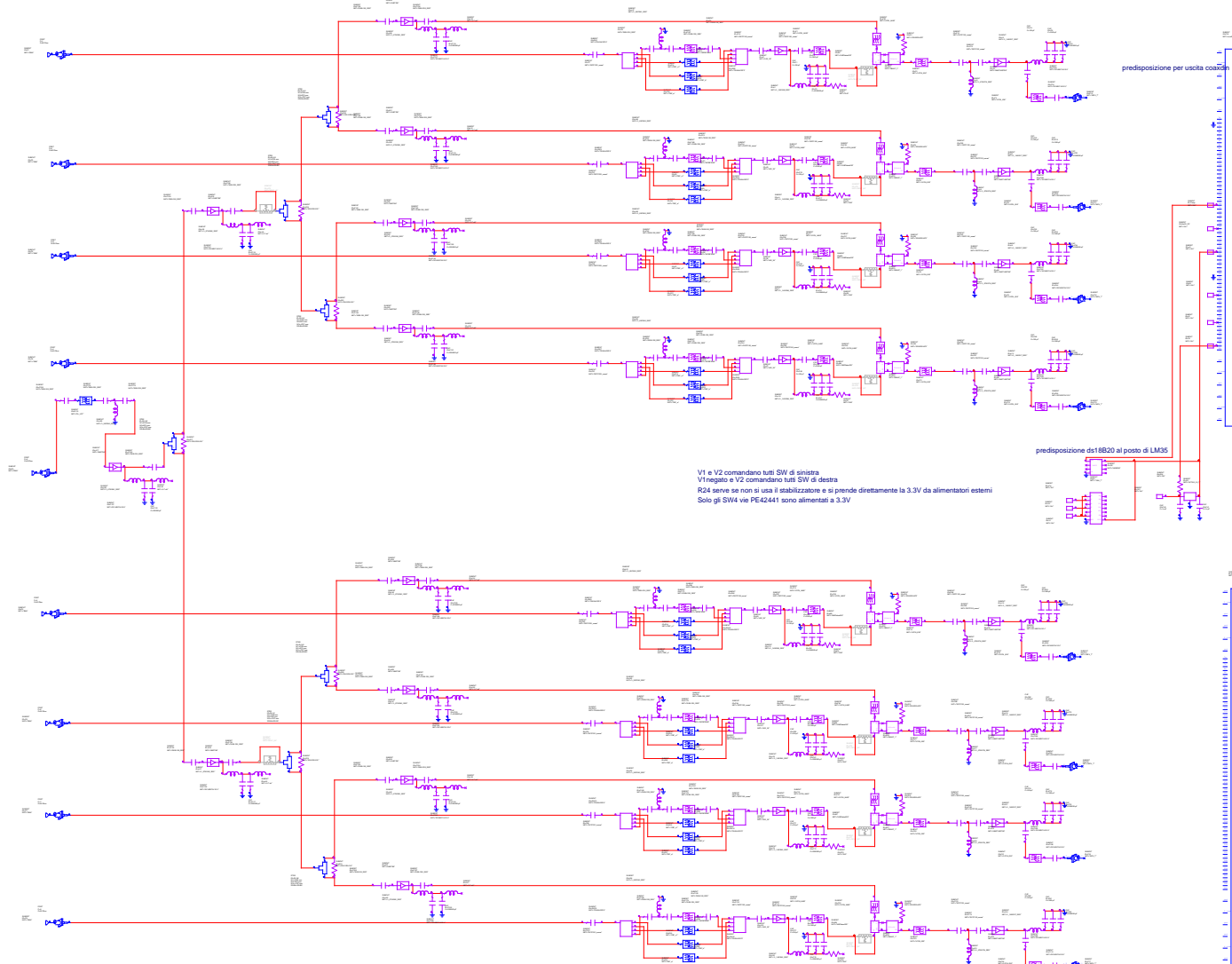


Fig. 6 Schema totale PCB WS_1

nome	package	valore	descrizione	X	Y	angle	bottom	nome	package	valore	descrizione	X	Y	angle	bottom	nome	package	valore	descrizione	X	Y	angle	bottom
F1			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	210.257	0	no	SP2			QBA07 MiniCircuit	96.326	194.652	90	no								
F2			LFCN_630 MiniCirc	118.211	219.655	90	no	SP3			QBA07 MiniCircuit	96.326	169.652	90	no								
F3			LFCN_630 MiniCirc	124.614	215.909	0	no	SP4			QBA07 MiniCircuit	96.326	144.652	90	no								
F4			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	185.257	0	no	SP5			QBA07 MiniCircuit	96.326	94.652	90	no								
F5			LFCN_630 MiniCirc	118.211	194.655	90	no	SP6			QBA07 MiniCircuit	96.326	69.652	90	no								
F6			LFCN_630 MiniCirc	124.614	190.909	0	no	SP7			QBA07 MiniCircuit	96.326	44.652	90	no								
F7			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	160.257	0	no	SP8			QBA07 MiniCircuit	96.326	19.652	90	no								
F8			LFCN_630 MiniCirc	118.211	169.655	90	no	K1			SN74LVC04AD	10.141	124.019	-90	no								
F9			LFCN_630 MiniCirc	124.614	165.909	0	no	K2			AP7333_33	103.094	120.649	0	no								
F10			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	135.257	0	no	K3		soic8pin	LM35DM/NOPB	11.6	122.2	0	no								
F11			LFCN_630 MiniCirc	118.211	144.655	90	no	M1			HMC525LC4 Analog	96.3359	219.402	90	no								
F12			LFCN_630 MiniCirc	124.614	140.909	0	no	M2			HMC525LC4 Analog	96.3359	194.402	90	no								
F13			LFCN_8400 MiniCirc	124.614	85.257	0	no	M3			HMC525LC4 Analog	96.3359	169.402	90	no								
F14			LFCN_630 MiniCirc	118.211	94.655	90	no	M4			HMC525LC4 Analog	96.3359	144.402	90	no								
F15			LFCN_630 MiniCirc	124.614	90.909	0	no	M5			HMC525LC4 Analog	96.3359	94.402	90	no								
F16			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	60.257	0	no	M6			HMC525LC4 Analog	96.3359	69.402	90	no								
F17			LFCN_630 MiniCirc	118.211	69.655	90	no	M7			HMC525LC4 Analog	96.3359	44.402	90	no								
F18			LFCN_630 MiniCirc	124.614	65.909	0	no	M8			HMC525LC4 Analog	96.3359	19.402	90	no								
F19			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	35.257	0	no																
F20			LFCN_630 MiniCirc	118.211	44.655	90	no	P1		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F21			LFCN_630 MiniCirc	124.614	40.909	0	no	P2		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F22			LFCN_8400 MiniCirc	89.686	10.257	0	no	P3		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F23			LFCN_630 MiniCirc	118.211	19.655	90	no	P4		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F24			LFCN_630 MiniCirc	124.614	15.909	0	no	P5		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F25			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	224.143	90	no	P6		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F26			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	199.143	90	no	P7		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F27			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	174.143	90	no	P8		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F28			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	149.143	90	no	P9		142-0761-88	JOHNSON				montaggio a mano con scatola								
F29			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	99.143	90	no	P10		133-3701-22	JOHNSON												
F30			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	74.143	90	no	P11		133-3701-22	JOHNSON												
F31			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	49.143	90	no	P12		133-3701-22	JOHNSON												
F32			LFCN_8400 MiniCirc	96.5858	24.143	90	no	P13		133-3701-22	JOHNSON												
SW1			PE42441 Peregrine	16.8495	216.955	-90	no	P14		133-3701-22	JOHNSON												
SW2			PE42441 Peregrine	79.8762	216.955	90	no	P15		133-3701-22	JOHNSON												
SW3			PE42441 Peregrine	16.8495	191.955	-90	no	P16		133-3701-22	JOHNSON												
SW4			PE42441 Peregrine	79.8762	191.955	90	no	P17		133-3701-22	JOHNSON												
SW5			PE42441 Peregrine	16.8495	166.955	-90	no	P18		09 03 260 69	Harting												
SW6			PE42441 Peregrine	79.8762	166.955	90	no	P19		09 03 260 69	Harting												
SW7			PE42441 Peregrine	16.8495	141.955	-90	no																
SW8			PE42441 Peregrine	79.8762	141.955	90	no																
SW9			PE42441 Peregrine	16.8495	91.955	-90	no																
SW10			PE42441 Peregrine	79.8762	91.955	90	no																
SW11			PE42441 Peregrine	16.8495	66.955	-90	no																
SW12			PE42441 Peregrine	79.8762	66.955	90	no																
SW13			PE42441 Peregrine	16.8495	41.955	-90	no																
SW14			PE42441 Peregrine	79.8762	41.955	90	no																
SW15			PE42441 Peregrine	16.8495	16.955	-90	no																
SW16			PE42441 Peregrine	79.8762	16.955	90	no																
SP1			QBA07 MiniCircuit	96.326	219.652	90	no																

Tab. 7 Posizionamento componenti per montaggio automatico

4) Descrizione e problemi riscontrati della zona "RF"

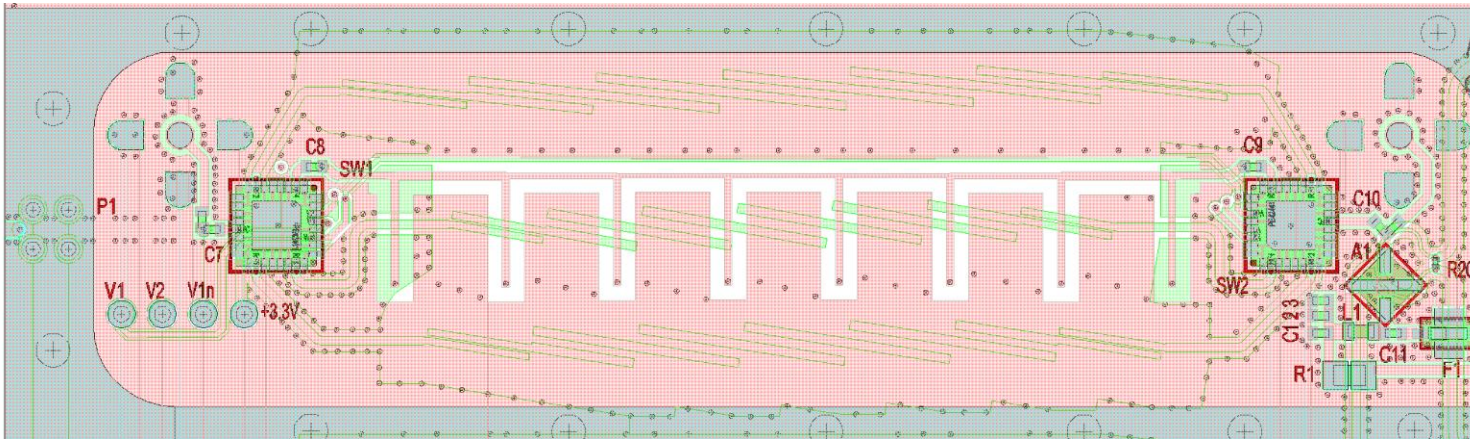


Fig. 8 Zona RF, layer top e layer3

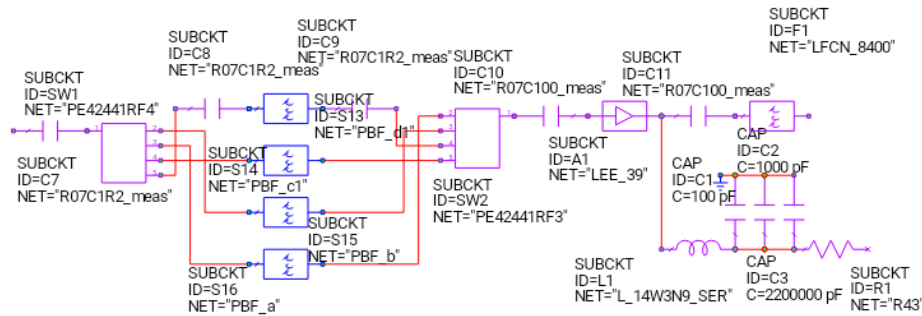


Fig. 9 Schema componenti, particolare zona RF canale n°1

- E' possibile, se necessario, bypassare il banco di filtri tramite i condensatori C7 e C11 (e analoghi per gli altri 7 canali). Inoltre, tramite appositi connettori ad innesto (MMBX con corpo interno snodabile) è possibile inserire un nuovo piccolo PCB "banco di filtri" esterno I componenti della nuova scheda devono essere montati verso il basso e la nicchia del coperchio deve essere fresata. Un connettore a 4 pin passo 2.54mm porterà i segnali e l'alimentazione ai commutatori.

- Il filtro largo a "pettine" visibile sul layer top, nel primo prototipo ha avuto problemi di metallizzazione dei viaholes verso GND. Per ovviare al problema sono stati utilizzati dei filettini saldati a massa con l'inconveniente di uno spostamento in frequenza, non più 4-8GHz ma 4.5-8.5GHz.

- Nel primo prototipo, a causa del layer di massa interrotto che passava sotto l'amplificatore A1, quest'ultimo tendeva ad oscillare. Questo comportamento è sparito a seguito della risoluzione del problema.

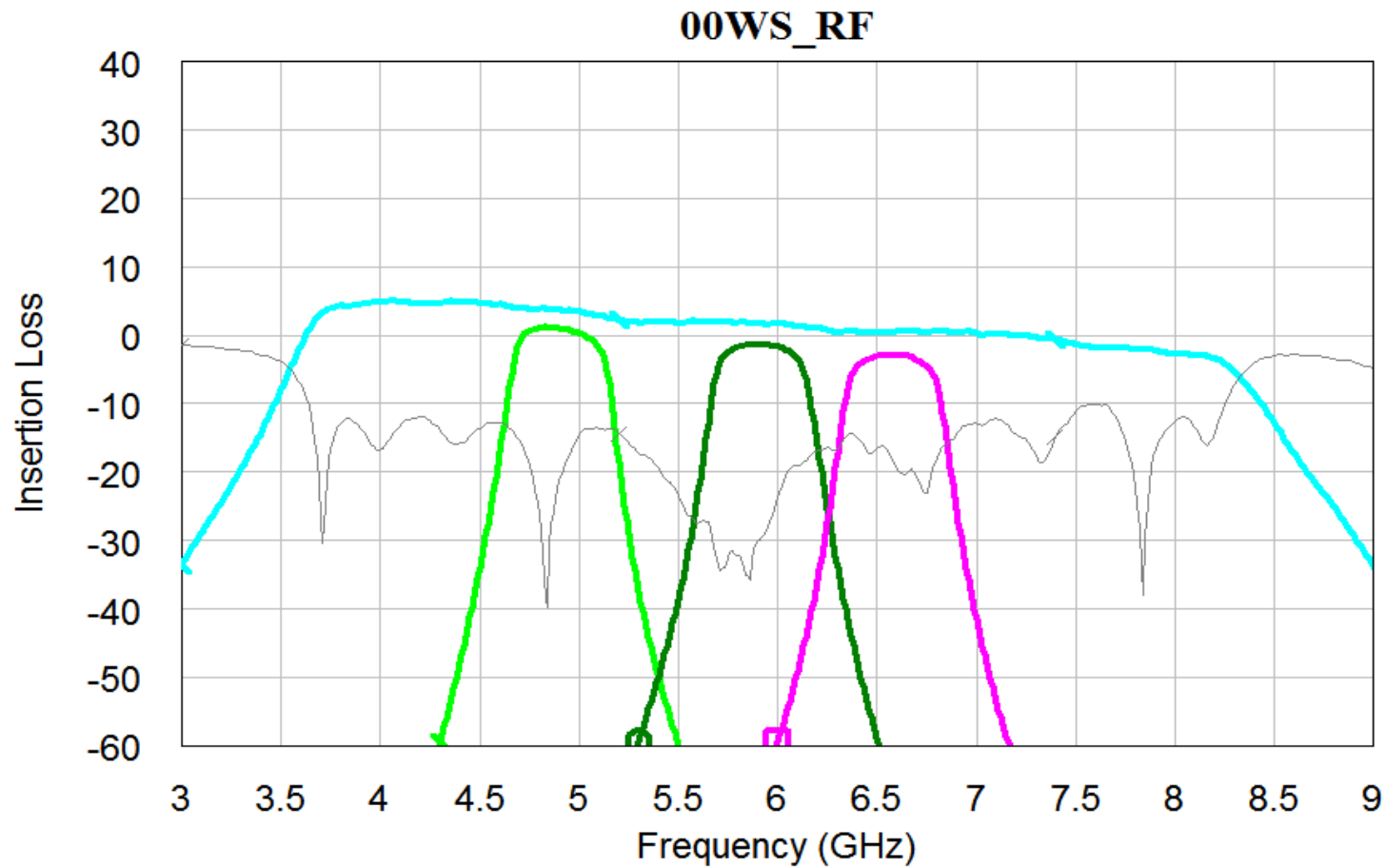


Fig. 10 Simulazione del guadagno di catena (compresa attenuazione mixer) dei quattro filtri commutabili

- La progettazione dei filtri su circuito stampato, che rappresentano gli elementi più ingombranti, è stata fatta con AWR. Le specifiche di progetto sono state: "il massimo di sezioni in uno spazio ragionevole". Le curve del grafico **comprendono anche l'attenuazione del mixer.**

5) Descrizione e problemi riscontrati della zona "Mixer"

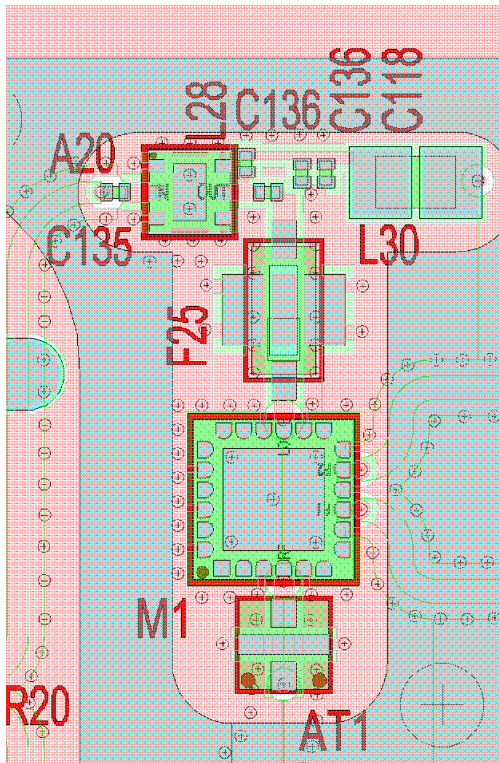


Fig. 11 Zona mixer e amplificatori LO, layer top

E' prevista un'unica conversione con possibilità di avere una banda sintonizzabile grazie alla reiezione d'immagine data dal mixer I/Q in contrapposizione con l'ibrido che segue.

- Il mixer selezionato inizialmente era il HMC525ALC4, ma per problemi di reperibilità abbiamo optato per il HMC8193 (presenta una banda più larga che parte da 2.5GHz). Pensiamo di utilizzare lo stesso componente anche nelle versioni successive.

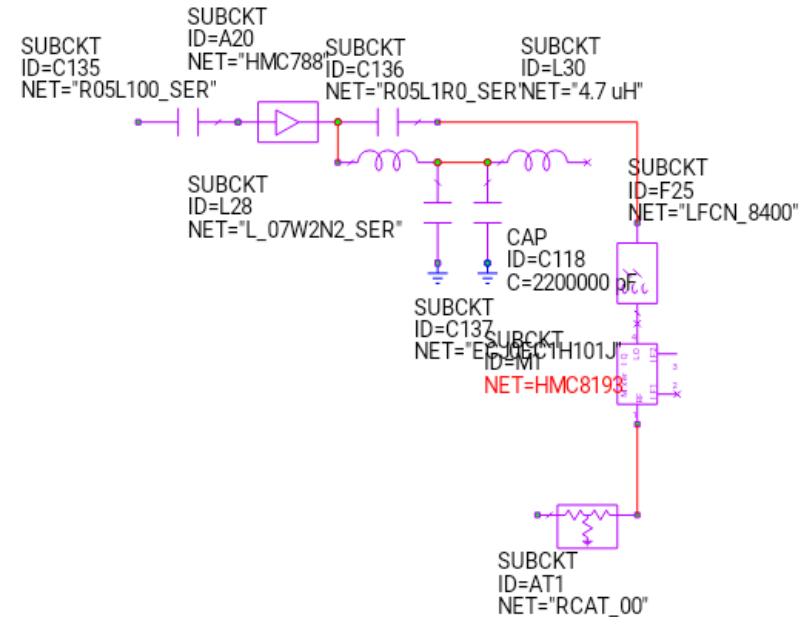


Fig. 12 Schema componenti, particolare OL mixer canale n°1

- La zona mixer, come anche quella RF e quella di IF è ben isolata grazie al coperchio metallizzato schermante opportunamente fresato.

- In fase di test e verifica rottura componenti con sovralimentazioni e corti, abbiamo scoperto una certa fragilità dell'induttanza da 4,7uH.

- L'attenuatore AT1 posto sull'ingresso RF del mixer è stato montato male a causa della serigrafia sbagliata, nel prossimo prototipo si pensa di toglierlo lasciando la predisposizione (con annotation corretta) e la pista RF cortocircuitata.

6) Descrizione e problemi riscontrati della zona "IF"

La zona IF è progettata per avere una banda passante "un po' più larga" di quella necessaria per il BE, sarà poi il trasmettitore ottico a modellarla meglio.

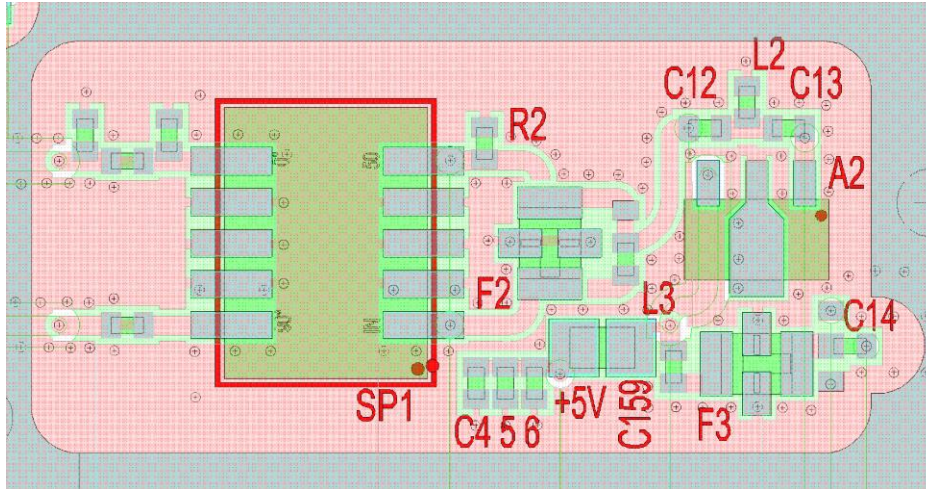


Fig. 13 Zona IF, layer top e relativo e schema componenti, canale n°1

- La scheda è predisposta per poter ospitare gli ibridi SP1 della serie QBA MiniCircuit che lavorano in range di frequenza diversi per avere così il massimo della reiezione immagine nel range desiderato. Dovranno essere adeguati anche i filtri LPF (F3 e F2 della serie LFCN della MiniCircuit) e il filtro HPF (composto da una sezione a "T", C12 L2 C13). Sarà quindi possibile "modellare" la banda simulata in fig.15 a proprio piacere, allargandola e spostandola in frequenza.

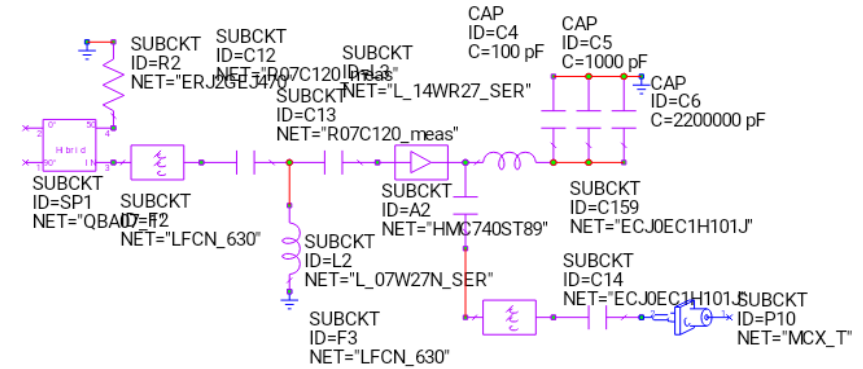


Fig. 14 Particolare di un canale, zona RF e IF

- E' possibile anche avere una conversione USB non invertente (tagliando e cortocircuitando le piste predisposte), prelevando dall'ibrido il segnale dalla pista che dovrebbe essere terminata su 50ohm (R2) e terminando invece l'uscita somma.
- Il ramo 0° dell'ibrido è predisposto per inserire piccole resistenze o condensatori per migliorare eventualmente la reiezione d'immagine. Visto il comportamento ottimale non è stato necessario.

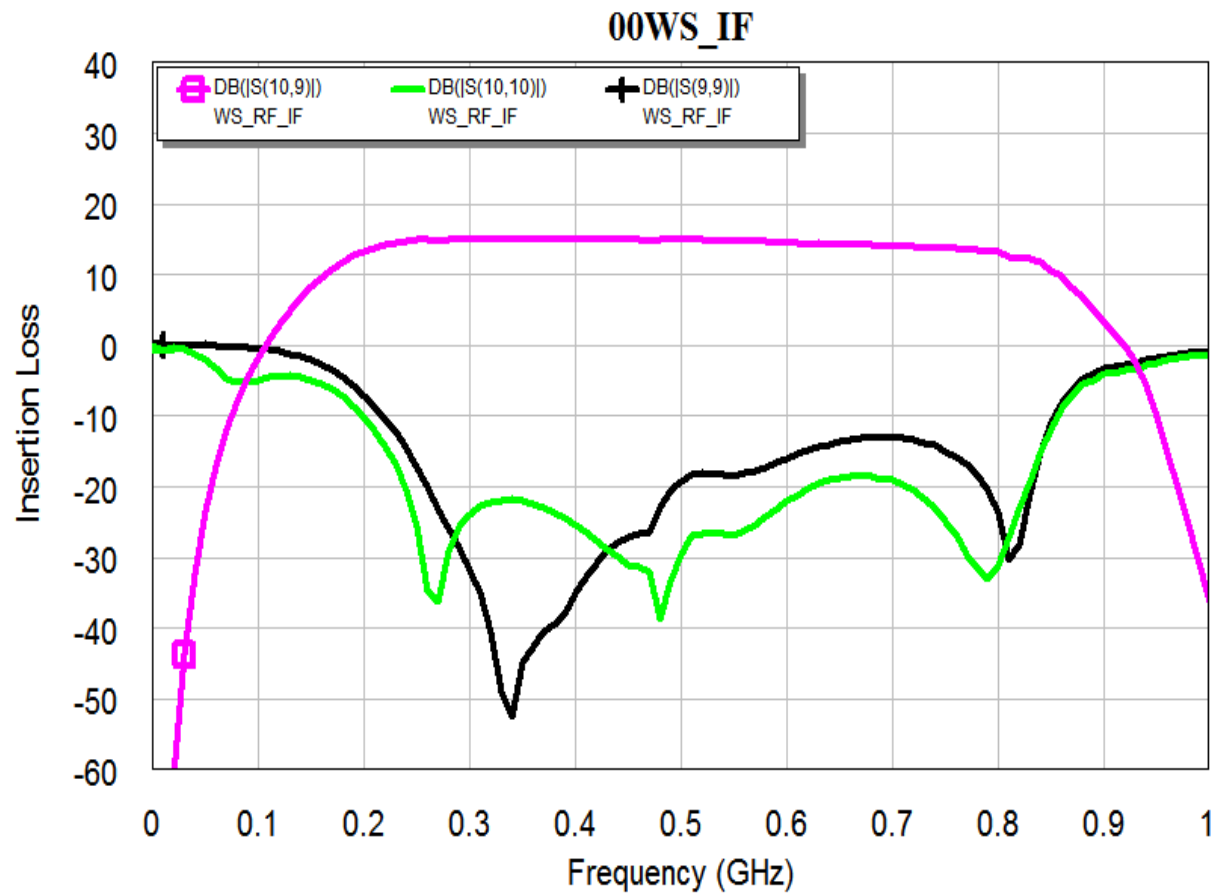


Fig. 15 Simulazione del guadagno di catena della zona IF

Il layout dei componenti scelti permette di avere anche BW che si spingono oltre ai 3 GHz (per esempio: il mixer HMC8193 ha IF DC-4GHz, l'amplificatore HMC740 ha DC-3GHz, svariati filtri LPF serie LFCN); l'unico componente che limita la "banda sintonizzabile con reazione d'immagine" è l'ibrido.

- Si pensa di inserire nel prossimo PCB la possibilità di montare anche la serie QCN della MiniCircuit aumentando così la scelta.

7) Descrizione e problemi riscontrati della zona “distribuzione OL”

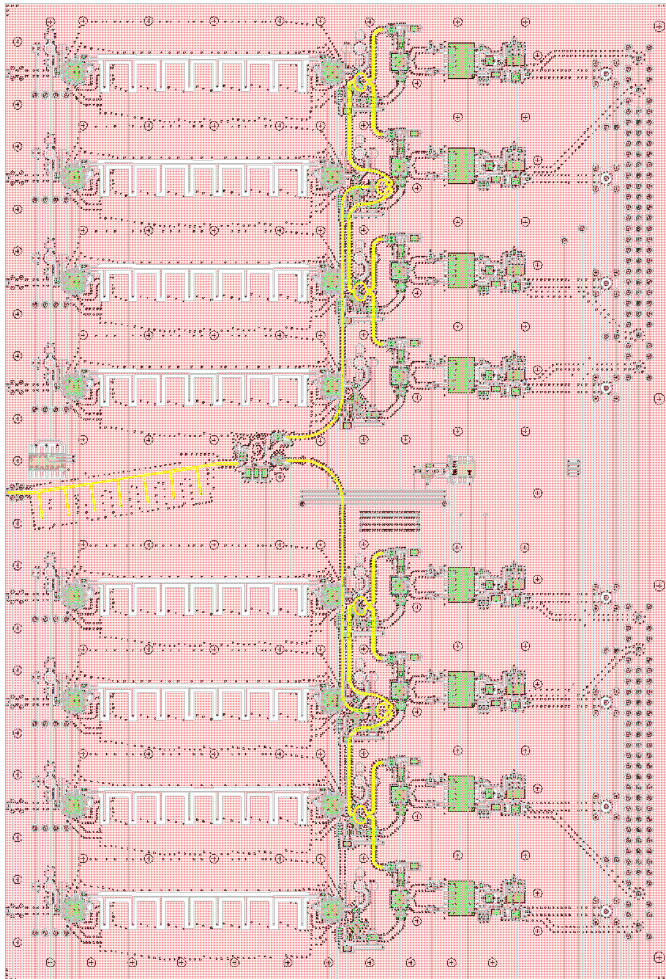


Fig. 16 In giallo è evidenziata la zona distribuzione LO dei layer 2-3

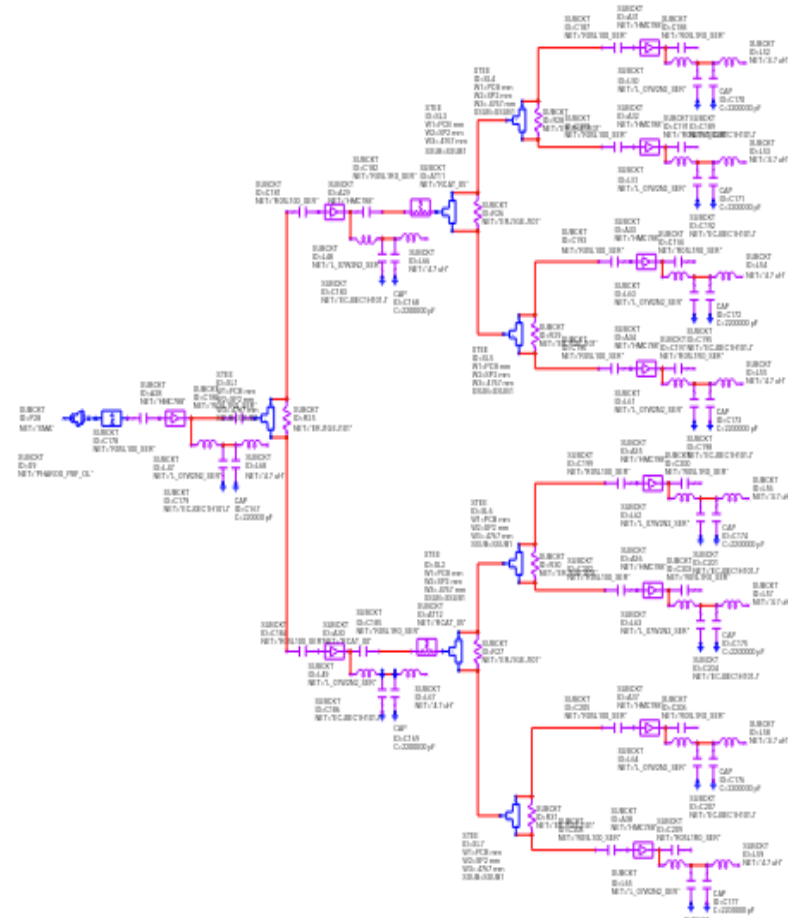


Fig. 17 Schema elettrico “zona OL”

- Anche in questo caso gli attenuatori AT9 e AT10 sono stati montati al contrario causa serigrafia inesatta. Nel prossimo prototipo sarà tenuta la predisposizione ma con pista RF cortocircuitata.

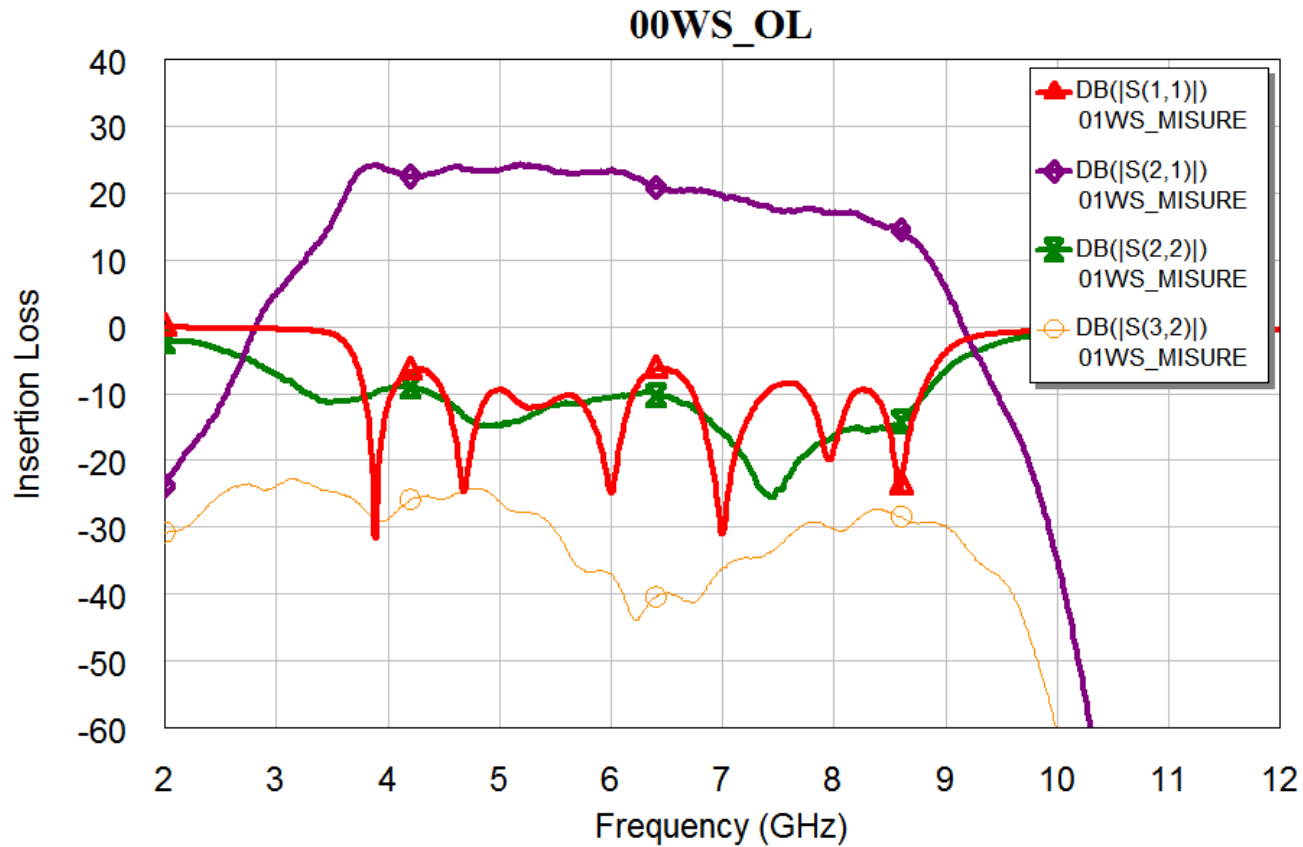


Fig. 18 Simulazione del guadagno di catena della zona OL (S11 connettore ingresso e S22 porta OL del mixer)

- Il corretto posizionamento degli amplificatori nella catena di distribuzione fa sì che questi possano lavorare tutti in "leggera compressione distribuita".
 L'amplificatore HMC788 è un ottimo ed economico componente abbastanza piatto in frequenza ma tende a guadagnare meno alle alte frequenze
 Per garantire il massimo delle prestazioni sarebbe bene fornire alla scheda in ingresso +0dB minimo fino a 7GHz e poi aumentare fino ad arrivare anche a +7dBm a 8.5GHz (vedi fig.23).

- Le misure in fig.23 dimostrano che il sistema a reiezione d'immagine funziona egregiamente anche alle alte frequenze applicando anche solo +0dBm.

8) Descrizione e problemi riscontrati della zona "alimentazione"

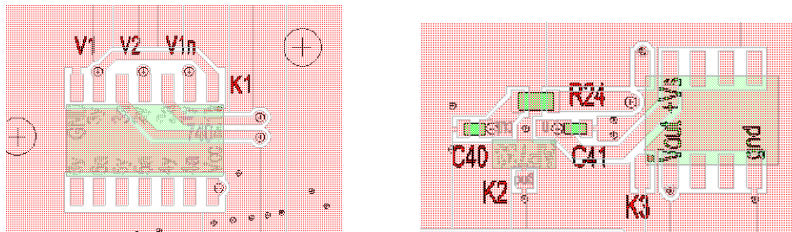


Fig. 19 Inverter buffer, regolatore di tensione 3V e sensore di temperatura

Le porte dei componenti SW1 e SW2 (e rispettivi degli altri canali) non presentano le stesse porte RF sui rispettivi filtri, si è infatti preferito favorire "il percorso più corto" a scapito di quello più "razionale". Per questo motivo l'inverter buffer esegue anche una "operazione logica".

Sotto è riportata la tabella di commutazione dove **V1 e V2** sono i bit da fornire al connettore scheda.

V1=0	V2=0	PBF layer top	4-8 GHz	A
V1=0	V2=1	PBF layer3	4.775-5.050 GHz	B
V1=1	V2=1	PBF layer3	5.78-6.055 GHz	C
V1=1	V2=0	PBF layer3	6.445-6.720 GHz	D

- Il sensore di temperature K3 LM35 analogico può essere sostituito con uno digitale DS18B20 (spostando il componente verso sinistra). E' stato preferito quello analogico in quanto dovrebbe produrre meno segnali indesiderati.

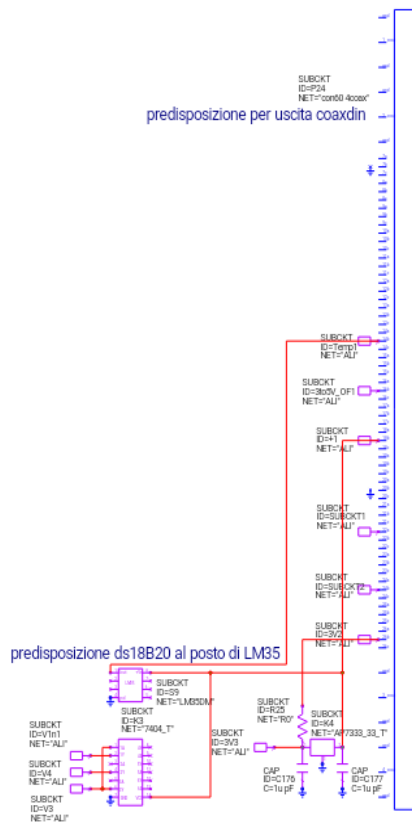


Fig. 20 Schema elettrico "zona alimentazioni e digitale"

9) "Banda sintonizzabile a reazione d'immagine"

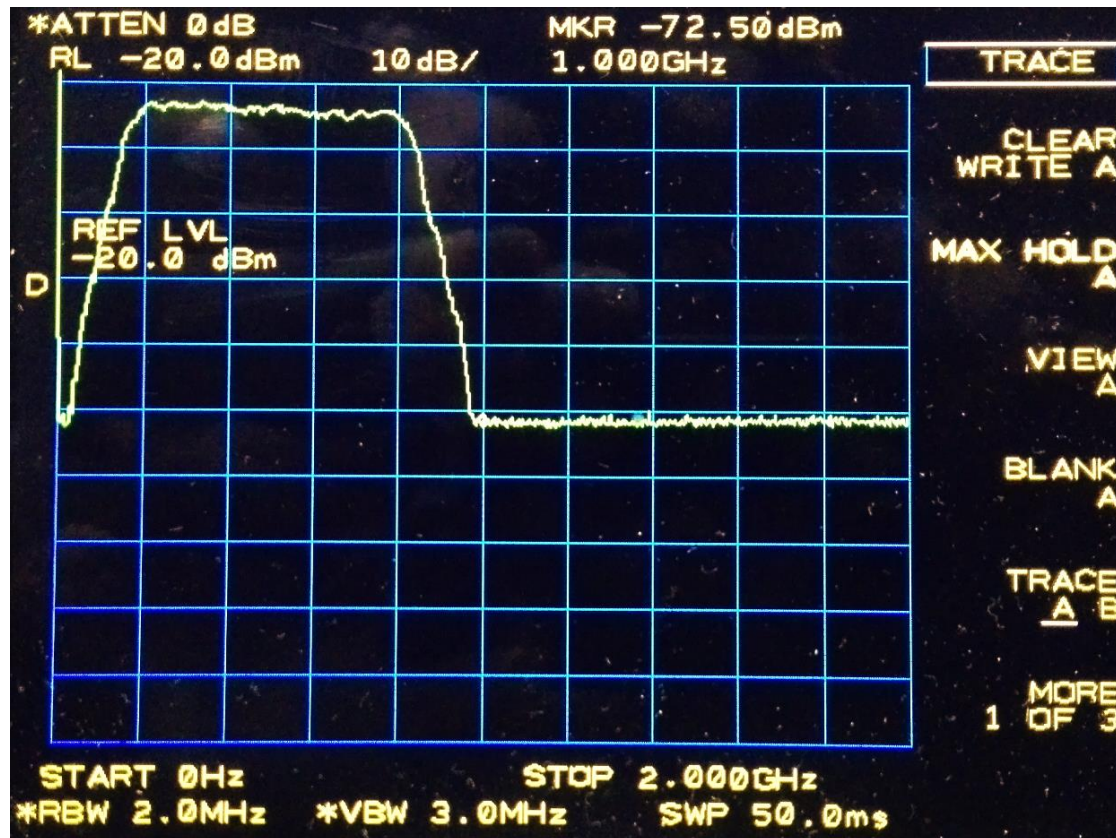


Fig. 21 Schermata analizzatore di spettro dopo una swippata in "maxold".

Vista l'impossibilità di avere a disposizione un VectorAnalyzer capace di eseguire misure su catene a conversione, abbiamo utilizzato il metodo classico:

- Generatore di Segnali Wiltron per fornire LO scheda WS_1
- Generatore di Segnali HP83640A per eseguire la swippata in ingresso RF
- Analizzatore di spettro HP8564E per rilevare la swippata di IF convertita.

Grazie ad un software sviluppato in LabView, questa procedura è stata automatizzata consentendo così un notevole risparmio di tempo.

I dati salvati in Excel sono poi stati utilizzati per costruire svariati grafici.

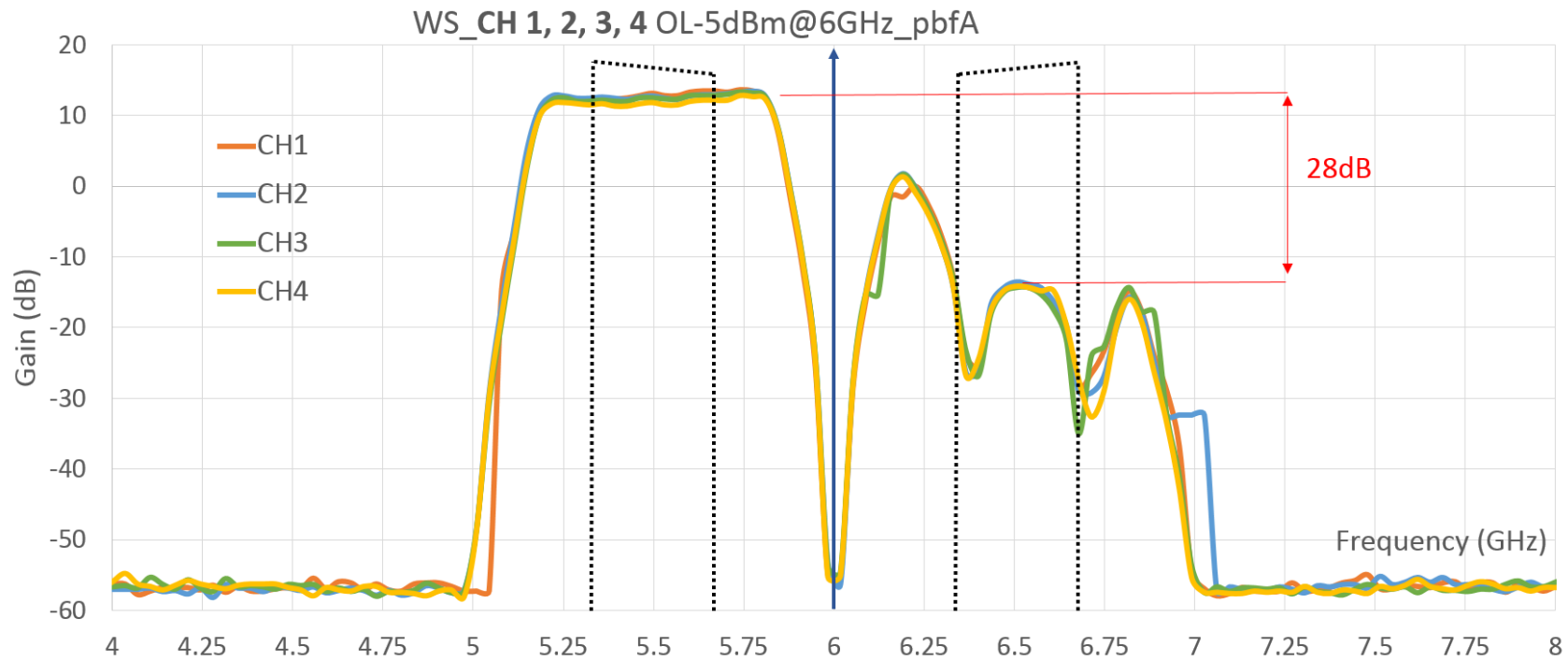


Fig. 22 Guadagno misurato e reiezione d'immagine per i primi 4 canali della scheda con switch impostato per selezionare il filtro PBF a (filtro a banda larga).

Sono stati presi in esame i primi 4 canali della PCB.

- Il livello del segnale RF in ingresso è 4-8GHz / -30dBm e quello di pilotaggio LO@6GHz / -5dBm. Il filtro utilizzato è quello largo "PBFa".

- La "zona" tratteggiata in nero rappresenta l'effettiva banda richiesta dal BE. Si può constatare **che la reiezione della banda d'immagine è oltre i 28dB**, un ottimo risultato.

- Il comportamento dei 4 canali è praticamente identico.

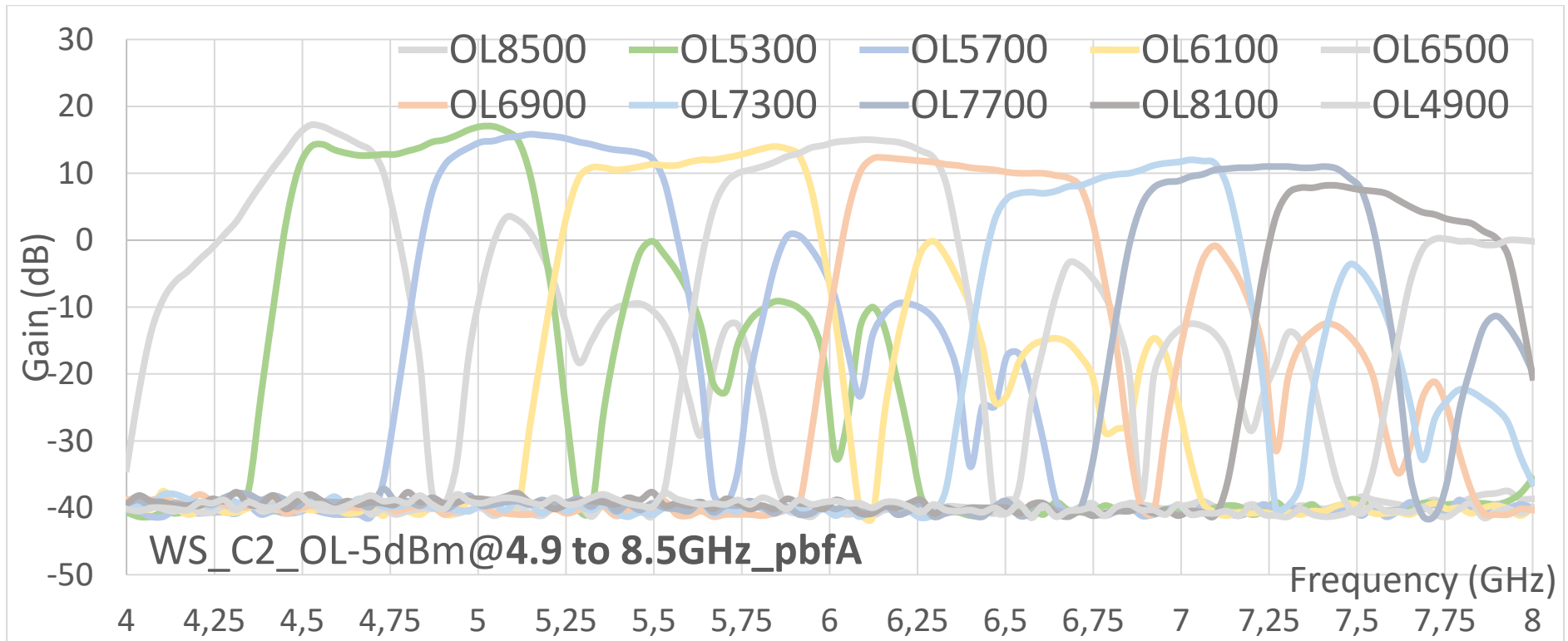


Fig. 23 Curve misurate di guadagno di uno degli 8 canali della scheda con switch impostato per selezionare il filtro PBFa al variare della frequenza dell'oscillatore locale. Le 8 curve corrispondono a 8 valori distinti di OL (4.9 GHz, 5.4 GHz, 5.9 GHz, 6.4 GHz, 6.9 GHz, 7.4 GHz, 7.9 GHz, 8.4 GHz) e mostrano l'effettivo utilizzo della banda sintonizzabile.

Analogamente a quanto fatto in precedenza abbiamo eseguito le misure con diversi LO alla potenza di -5dBm.

- Il filtro largo taglia prima del dovuto a 4.5GHz
- Il pilotaggio LO delle ultime bande ad alta frequenza sembra essere un po' scarso in potenza. Si ricorda che le misure sono state fatte con solo -5dBm, in questo caso avere un segnale di pilotaggio LO (in ingresso scheda) a +5dBm nella zona 7.5-8.5GHz aiuterebbe ad aumentare il guadagno.

10) Misure di guadagno con filtro stretti, BPF "b", "c" e "d"

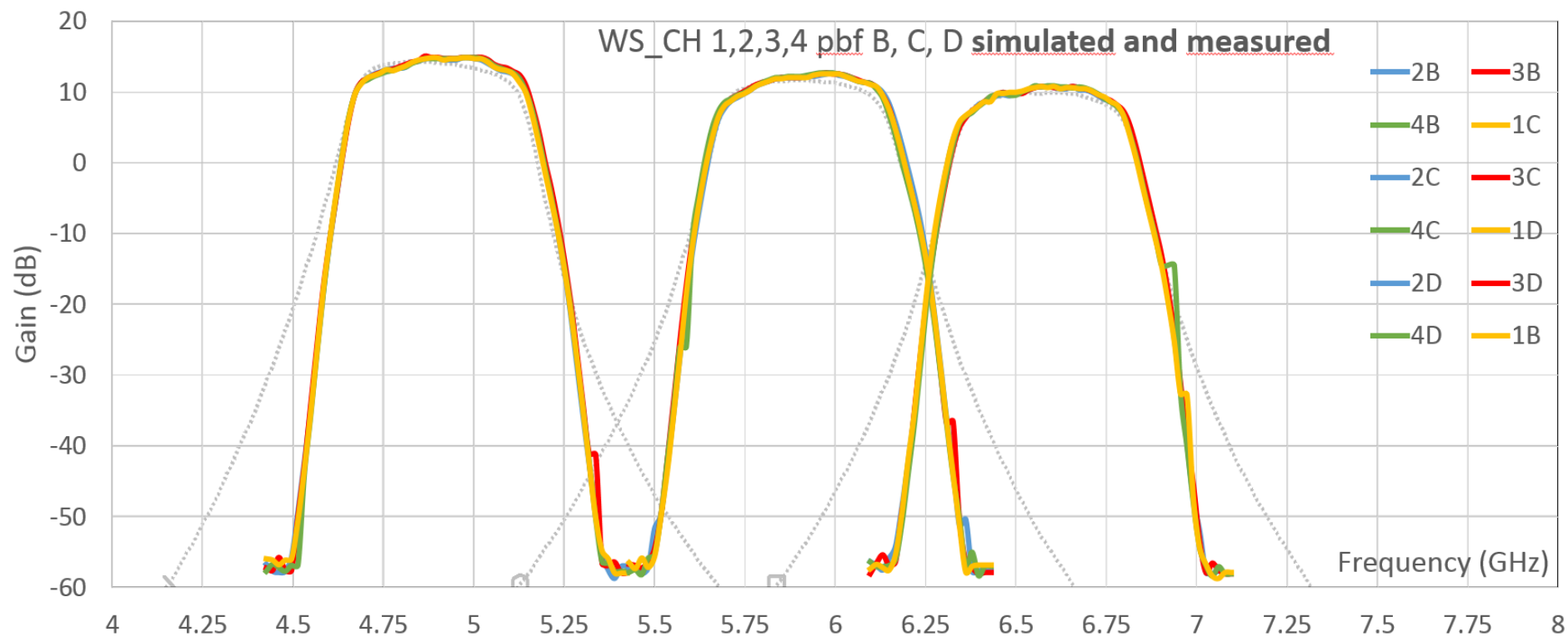


Fig. 24 Confronto fra simulazioni elettromagnetiche e misure dei 3 filtri a banda stretta (BPFb, BPFc, BPFd). Le misure si riferiscono a 4 dei canali (1-4) della scheda.

Per meglio garantire le osservazioni in bande cielo ritenute di particolar interesse si è scelto di inserire anche dei filtri stretti per "escludere" meglio eventuali interferenze fuori banda. Queste bande usufruiscono quindi del duplice effetto: "reiezione d'immagine" + reiezione del filtro posto prima della conversione.

-Il valore degli LO impostati sono: BPFb a 5.45GHz, BPFc a 6.43GHz e BPFd a 7.095GHz
 - Il misurato risulta essere spostato verso destra di non più di 10MHz. Questo non è un problema in quanto la banda passante è stata progettata a 275MHz@1dB di taglio.

11) Misure di isolamento tra i canali, CH3 con CH2 e CH4

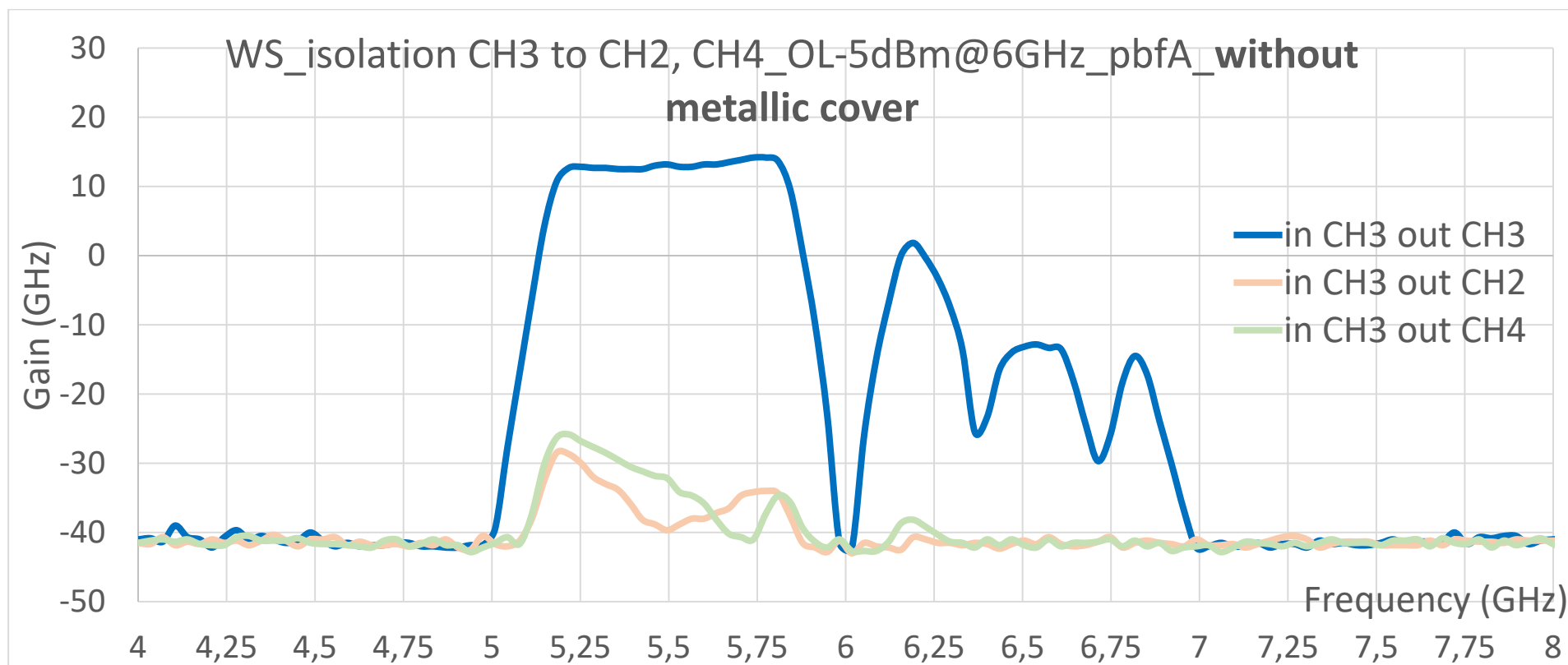


Fig. 25 Isolamento misurato tra i canali vicini (3-2 e 3-4).

Il guadagno del canale CH3 viene messo a confronto con il segnale "spifferato" che esce dal canale alla sua sinistra CH2 e quello alla sua destra CH4.

- Le misure sono state eseguite senza copertura metallica schermante, nella condizione peggiore.

12) Pilotaggio mixer con diverse potenze in ingresso alla scheda

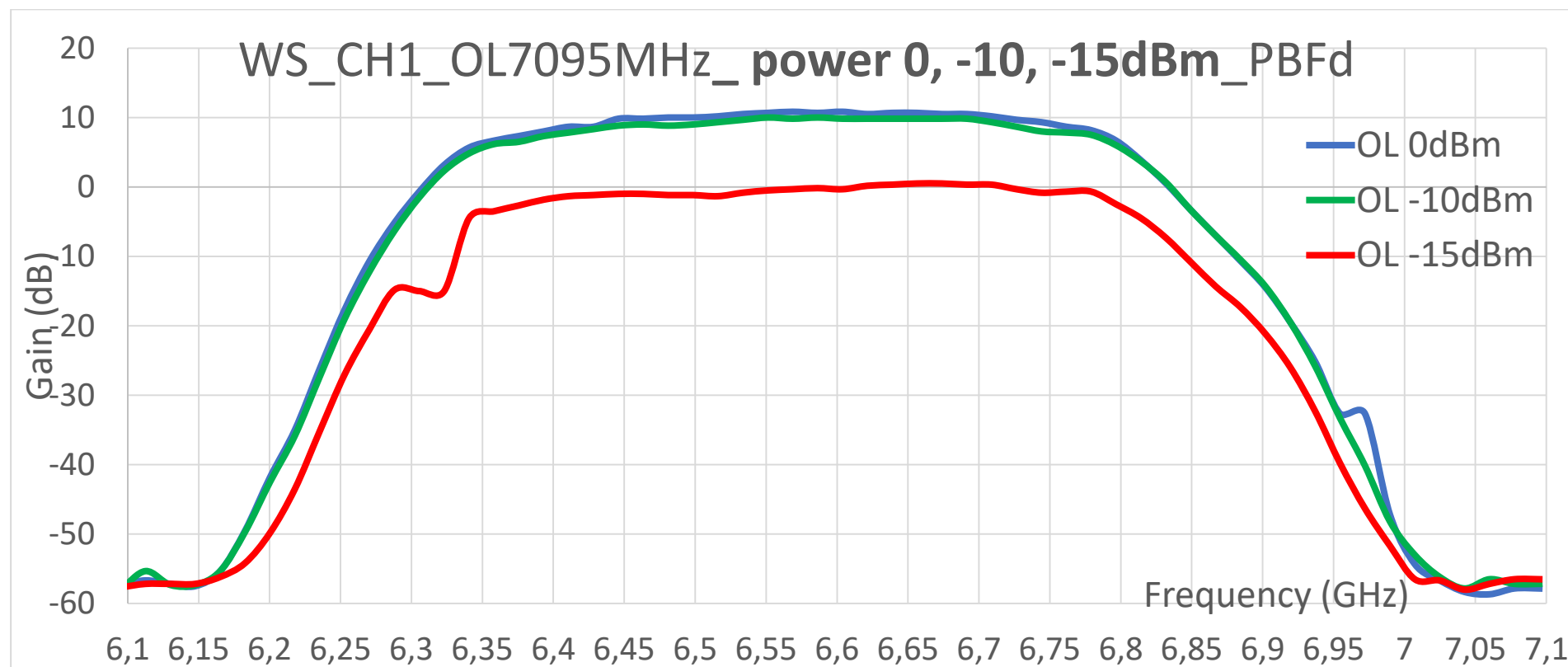


Fig. 26 Guadagno misurato in funzione della potenza del segnale OL (per il canale 1, filtro PBFd).

Le misure sono state fatte con l'ultimo dei filtri stretti (PBFd) nella zona "alta in frequenza", quella dove il segnale di pilotaggio sembra essere più debole. Normalmente la scheda è pilotata fra +5 e -10dBm (non andare oltre +7dBm!!), se si va oltre è bene inserire una piccola resistenza (att.4dB) a massa 0201 R47-68hom prima di C127 o semplicemente un attenuatore in ingresso porta LO della PCB.

- Si può concludere che i mixer sono adeguatamente pilotati con un segnale in ingresso scheda porta LO mixer che va da **+5 fino a -10dBm**.

- Se le specifiche del segnale in uscita al moltiplicatore di Jodrell Bank sono di +10dBm e se si considera la perdita di uno splitter a 8 vie per la distribuzione del segnale (WSP8 perde circa 10dB), ne segue che il pilotaggio della scheda a 0dBm è ottimale.

13) Guadagno di un canale in funzione dell'alimentazione

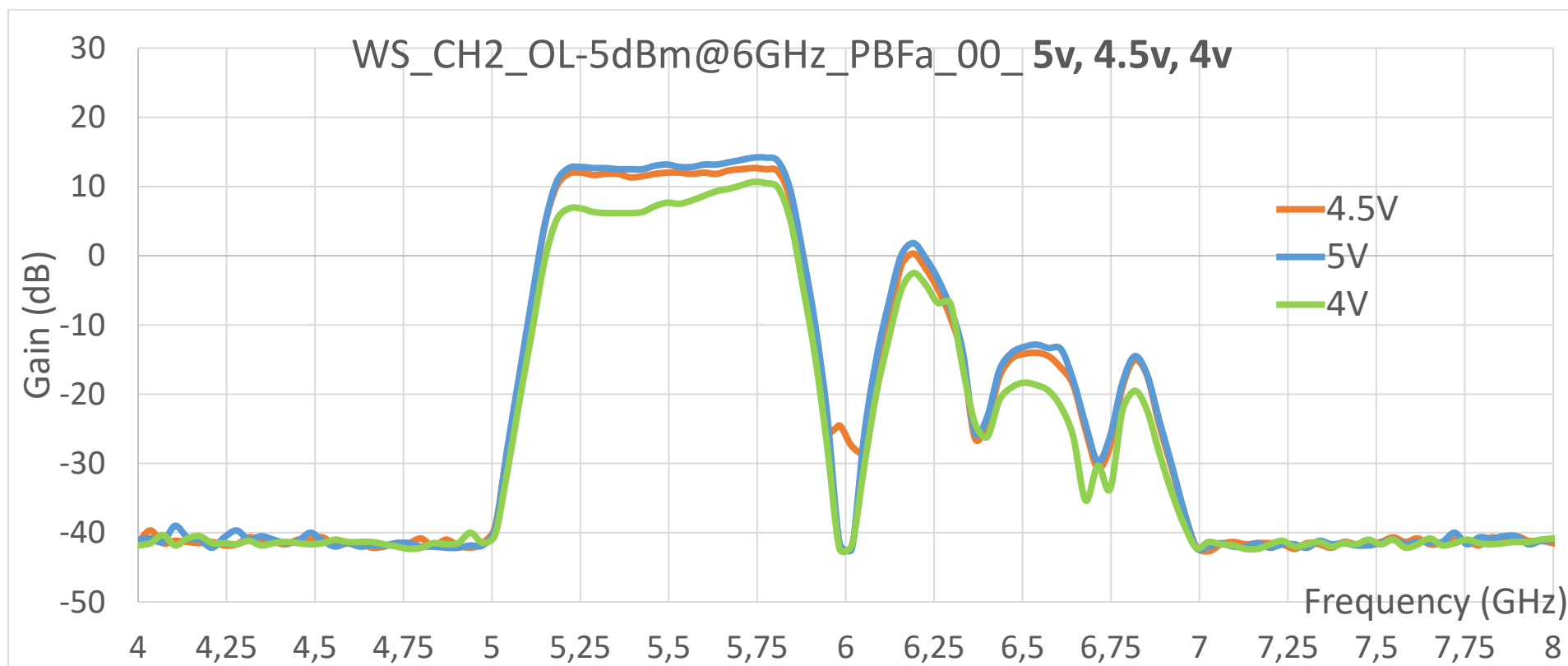


Fig. 27 Guadagno misurato in funzione del valore di alimentazione della scheda. Le 3 curve si riferiscono a tensioni di alimentazione pari a 5 V, 4.5 V, 4 V.

Le misure sono state fatte sottoponendo la scheda anche ad alimentazioni inferiori per verificarne il funzionamento fuori specifica. Queste prove sono state eseguite con filtro largo BPFa con LO=6GHz.

- Si può affermare che la tensione di alimentazione può essere anche leggermente inferiore ai 5 V, da 5 a 4.5V.

14) Stabilità di fase in funzione delle variazioni della temperatura

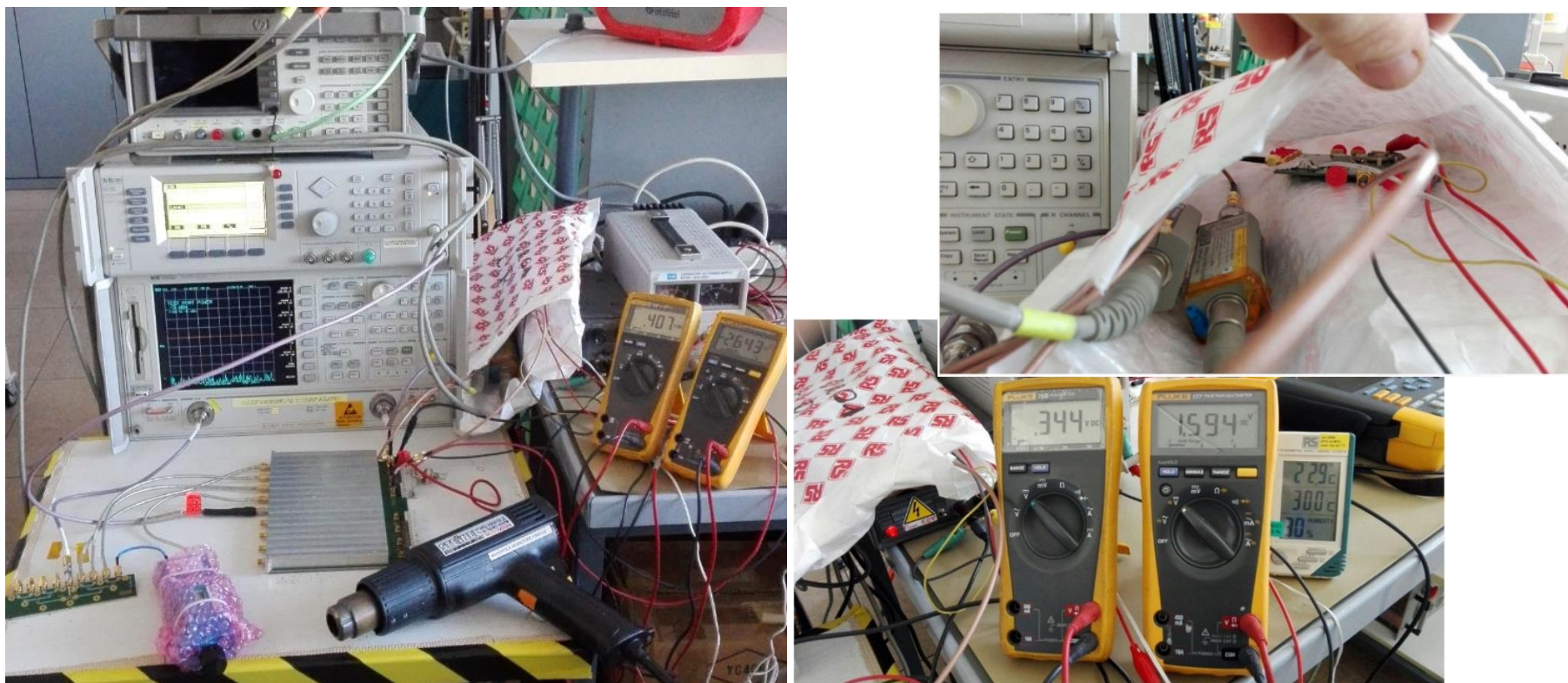


Fig.28 Foto del banco di misure della stabilità di fase in funzione della temperatura.

Le misure di stabilità sono state eseguite “battendo due segnali uguali” in ingresso ai canali CH3 e CH4 e “rilevando la continua” tramite un moltiplicatore dell’AnalogDevice ADL5391 amplificato (il segnale viene letto dal volmetro di destra in fig.28). Il segnale CH4 è prima portato ad un sfasatore variabile che ci permette di descrivere una sinusoide e di conoscere quindi la “zona più sensibile” (pochi gradi provocano grosse variazioni di tensione), proprio quella dove è meglio eseguire le misure.

Contemporaneamente il medesimo segnale in uscita dai canali CH1 e CH2 viene mandato a due testine del power meter. Per far ciò ci siamo serviti dello splitter

SP8WS (costruito per distribuire OL) ora usato per distribuire il segnale RF ai primi 4 canali della scheda (in power -5dBm).

Il moltiplicatore e le due testine del PowerMeter vengono messe dentro una rudimentale busta da imballaggio di carta per renderle un minimo insensibili ai cicli di riscaldamento della PCB.

Su ogni scheda (posto quasi al centro) è montato un rilevatore di temperatura, la lettura moltiplicata per 100 è rilevata dal volmetro di sinistra. Un semplice termometro da tavolo controlla che la temperatura del laboratorio non subisca grosse variazioni.

Tacche sfasatore	Gradi corrispondenti	@6GHz	Letture Voltmetro
20		10	-2.59
37		20	-1.879
56		30	-1.445
70		40	-1.206
89		50	-0.958
104		60	-0.791
120		70	-0.628
138		80	-0.434
155		90	-0.28
171		100	-0.101
188		110	0.085
204		120	0.326
221		130	0.553
237		140	0.707
254		150	0.733
270		160	0.539
286		170	0.123
302		180	-0.434
319		190	-1.008
335		200	-1.488
351		210	-1.861
368		220	-2.158
384		230	-2.369
401		240	-2.558
418		250	-2.73
434		260	-2.88
451		270	-3.05
468		280	-3.21
485		290	-3.434
502		300	-3.643
518		310	-3.817
535		320	-4
551		330	-4.03
569		340	-3.874
585		350	-3.435
601		360	-2.924
619		370	-2.374

Tab. 29 Letture per determinare il coefficiente di correzione gradi / V

- La zona più sensibile dove eseguire le misure di stabilità è intorno a -2V (fra -1 e -3V). Nel grafico viene riportato il fattore di correzione della linea di tendenza ricavato dalle letture comprese fra -1 e -3V.

- Il coperchio fresato posto sulla scheda, pesa circa 1.3Kg e presenta una notevole inerzia termica. Posizionato lo sfasatore variabile nella "zona sensibile" e iniziando a scaldare il coperchio, cercando di non scaldare i sensori di potenza e il moltiplicatore, fino ad arrivare a 50° gradi celsius, eseguiamo le letture in "raffreddamento", raggiungendo la temperatura di 30° (con ventilatore acceso per accelerare il processo).

- In fig.33 viene riportata la linea di tendenza della variazione in gradi dei due canali in funzione della temperatura.

- In fig.35 viene riportata la differenza di variazione di potenza fra CH1 e CH2, sempre in funzione della temperatura

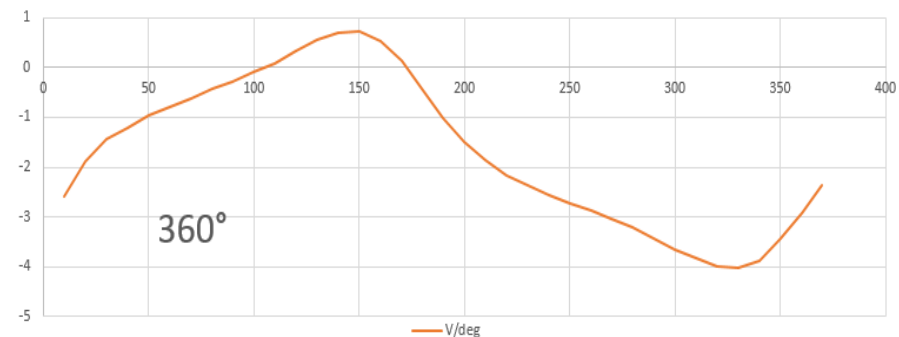


Fig.30 Descrizione della sinusoide V / gradi misurata.

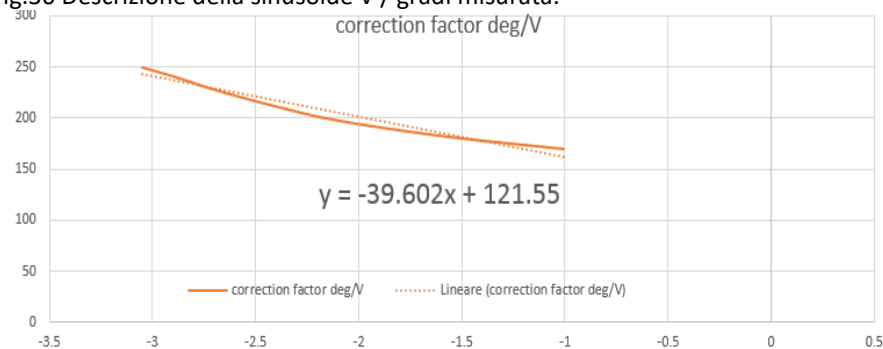


Fig.31 Linea di tendenza gradi / V

Letture T°	Letture V	V x 39.6	d°/d°C	W CH1	W CH2	CH1 - CH2
50	-2.455	97.218	-0.5544	0.246	0.22	0.026
49.5	-2.462	97.4952	-0.792	0.246	0.22	0.026
49	-2.472	97.8912	-0.8712	0.247	0.221	0.026
48.5	-2.483	98.3268	-0.5544	0.248	0.221	0.027
48	-2.49	98.604	-0.3168	0.248	0.223	0.025
47.5	-2.494	98.7624	-0.3168	0.25	0.223	0.027
47	-2.498	98.9208	-0.1584	0.251	0.224	0.027
46.5	-2.5	99	0	0.253	0.225	0.028
46	-2.5	99	-0.7128	0.254	0.226	0.028
45.5	-2.509	99.3564	-0.5544	0.255	0.226	0.029
45	-2.516	99.6336	-0.1584	0.256	0.227	0.029
44.5	-2.518	99.7128	-0.3168	0.257	0.228	0.029
44	-2.522	99.8712	-0.2376	0.258	0.228	0.03
43.5	-2.525	99.99	-0.3168	0.26	0.229	0.031
43	-2.529	100.1484	-0.3168	0.261	0.23	0.031
42.5	-2.533	100.3068	-0.4752	0.262	0.23	0.032
42	-2.539	100.5444	-0.4752	0.262	0.23	0.032
41.5	-2.545	100.782	-0.6336	0.264	0.23	0.034
41	-2.553	101.0988	-0.2376	0.264	0.23	0.034
40.5	-2.556	101.2176	-0.3168	0.265	0.231	0.034
40	-2.56	101.376	-0.3168	0.265	0.231	0.034
39.5	-2.564	101.5344	0	0.266	0.231	0.035
39	-2.564	101.5344	-0.6336	0.267	0.231	0.036
38.5	-2.572	101.8512	-0.2376	0.267	0.231	0.036
38	-2.575	101.97	-0.3168	0.268	0.231	0.037
37.5	-2.579	102.1284	-0.2376	0.269	0.232	0.037
37	-2.582	102.2472	-0.3168	0.27	0.232	0.038
36.5	-2.586	102.4056	-0.792	0.271	0.233	0.038
36	-2.596	102.8016	-0.5544	0.271	0.233	0.038
35.5	-2.603	103.0788	-0.1584	0.272	0.233	0.039
35	-2.605	103.158	-0.2376	0.273	0.234	0.039
34.5	-2.608	103.2768	0	0.274	0.234	0.04
34	-2.608	103.2768	-0.0792	0.275	0.235	0.04
33.5	-2.609	103.3164	-0.1584	0.276	0.235	0.041
33	-2.611	103.3956	0	0.277	0.236	0.041
32.5	-2.611	103.3956	-0.1584	0.278	0.236	0.042
32	-2.613	103.4748	0.1584	0.279	0.237	0.042
31.5	-2.611	103.3956	-0.1584	0.28	0.237	0.043
31	-2.613	103.4748	-0.396	0.281	0.238	0.043
30.5	-2.618	103.6728	-0.1584	0.282	0.238	0.044
30	-2.62	103.752	-0.3168	0.283	0.238	0.045

Tab. 32 Letture moltiplicatore e sensori di potenza

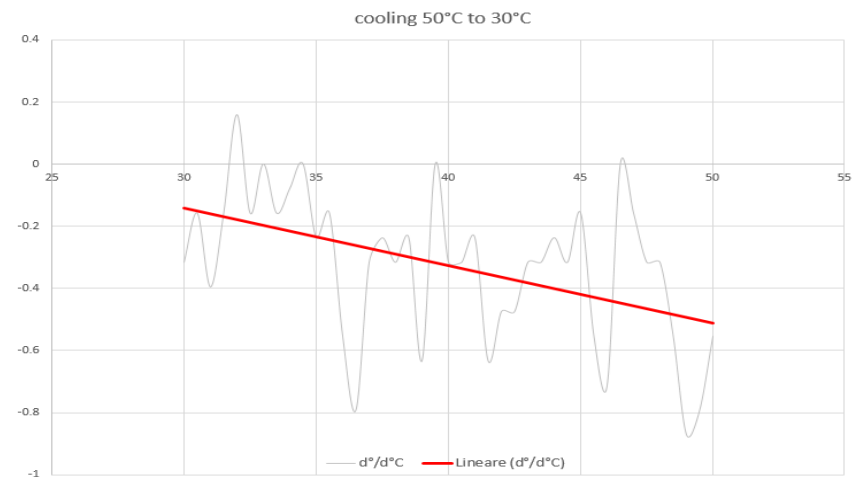


Fig.33 Linea di tendenza dei gradi di sfasamento in funzione della temperatura

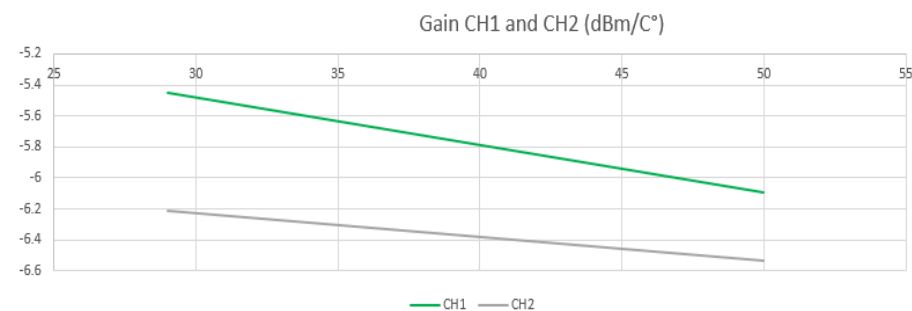


Fig.34 Variazione della potenza dBm in funzione della temperatura

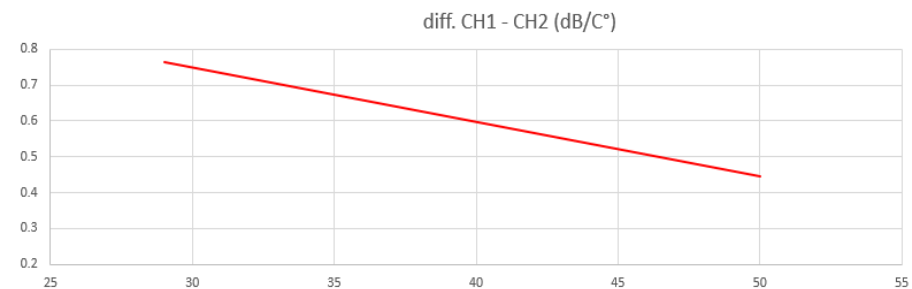


Fig.35 Variazione della differenza di potenza dBm in funzione della temperatura

15) Foto primo prototipo



Fig.36 Carter di chiusura con nicchie fresate

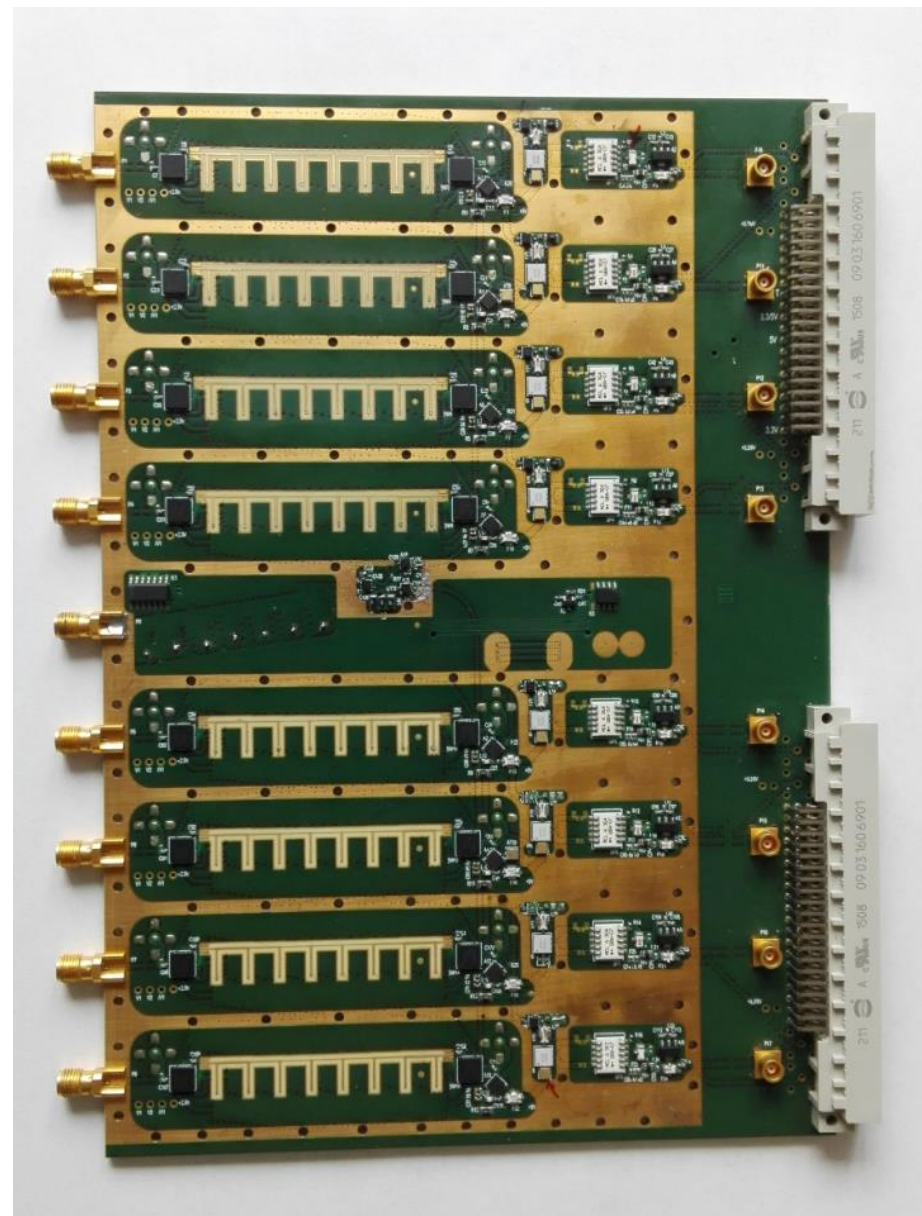


Fig.37 Circuito stampato montato

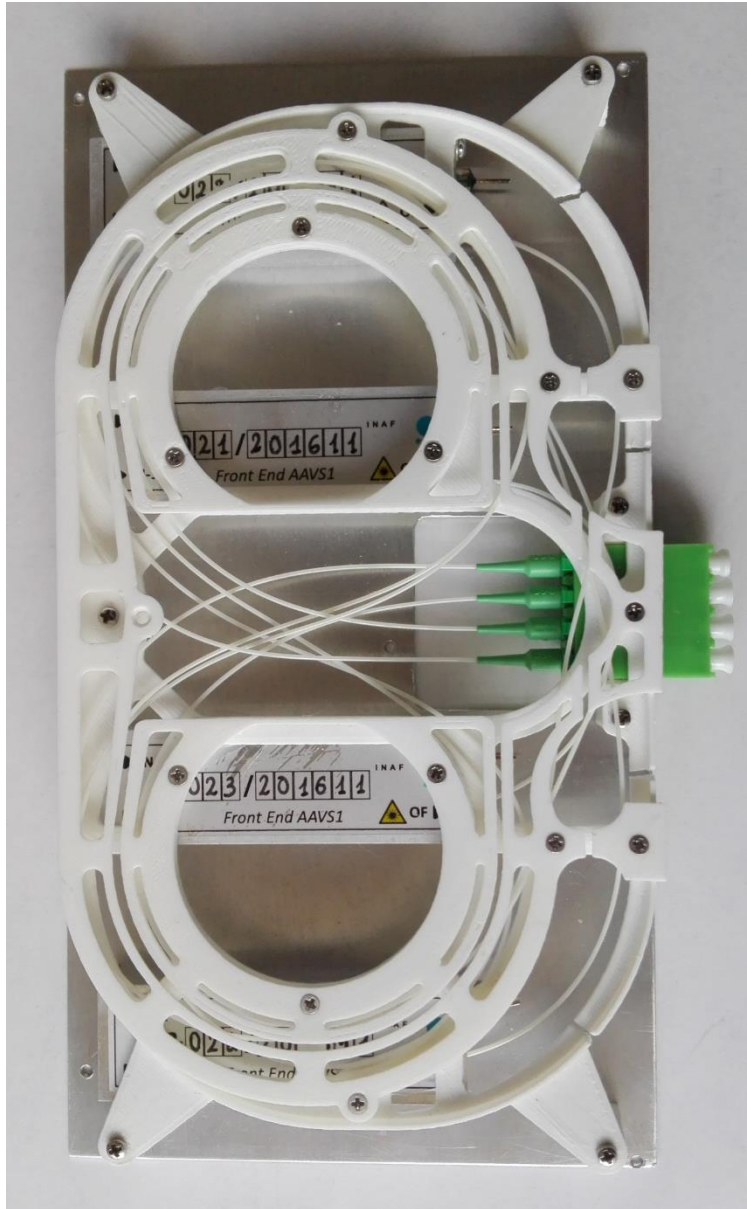


Fig.38 N4 trasmettitori ottici e fissaggio fibre ottiche

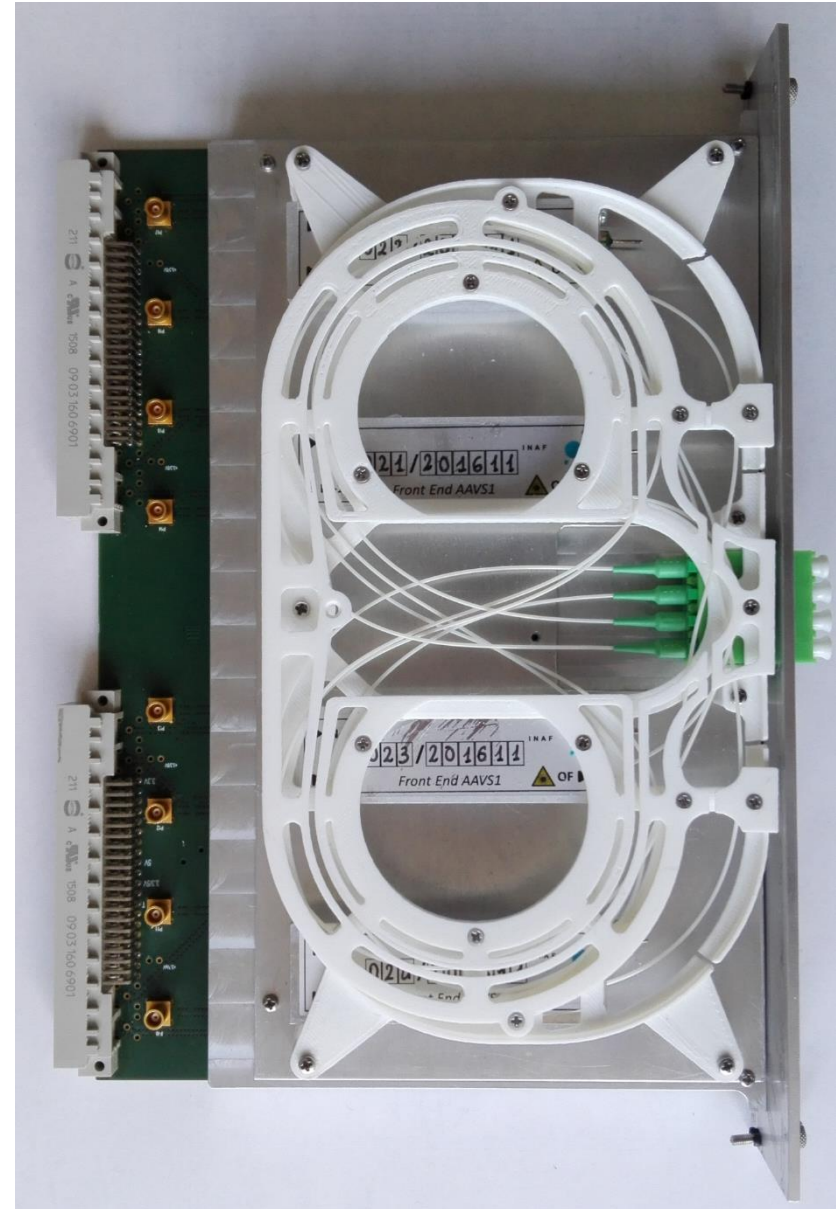


Fig.39 Scheda completa WS

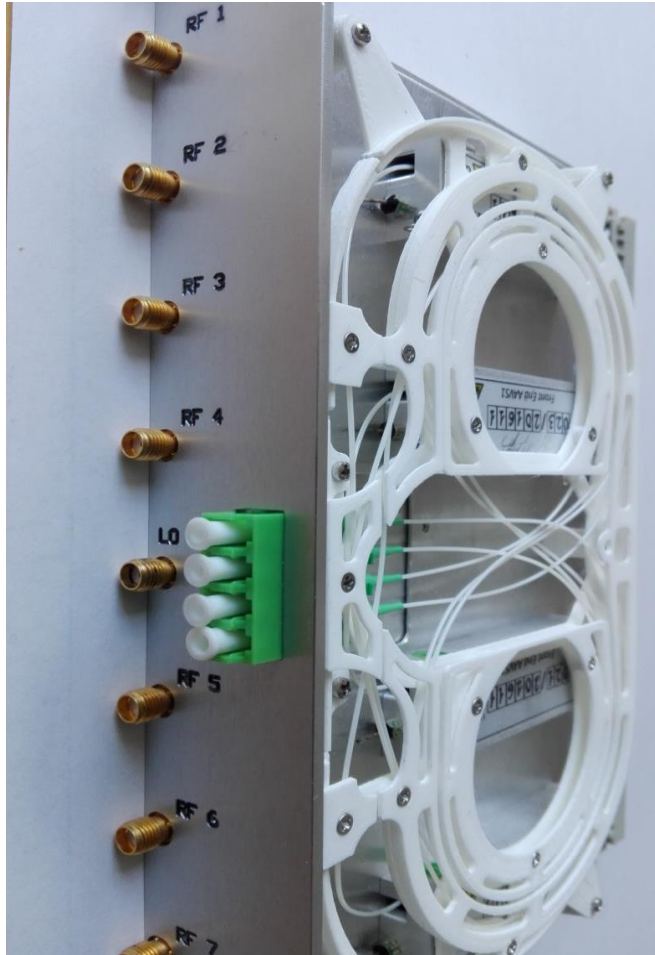


Fig.40 Vista frontale

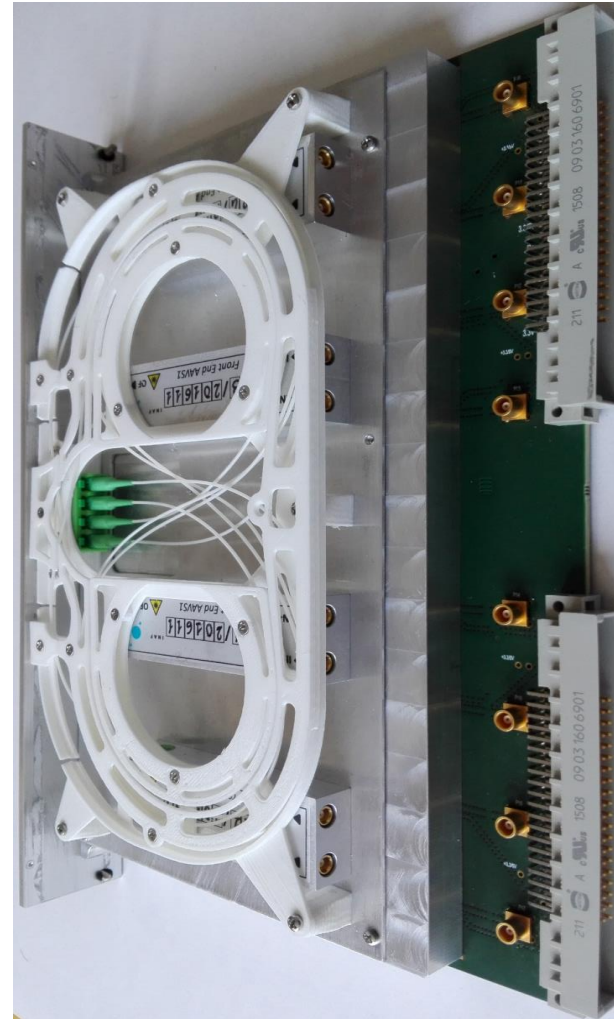


Fig.41 Vista retro

16) Conclusioni del primo prototipo

Il primo prototipo WS_1 è stato prodotto in soli 2 esemplari.

- Il sistema a una conversione a reiezione d'immagine reietta di quasi 30dB.
- I filtri stretti posti in RF sono centrati e particolarmente selettivi.
- l'isolamento dei canali è maggiore di 40dB.
- Si può pilotare la scheda con segnali OL in ingresso compresi fra +5 e -10dBm.
- Variazioni di oltre 20°C hanno provocato piccole variazioni di fase e di guadagno fra i canali.

Visti i pochi "veniali errori" si è prima pensato di eseguire, senza modifiche, la produzione; ma le 9 schede prodotte avranno necessitato di alcune leggere modifiche. Il nuovo progetto è stato chiamato WSP2.

17) Modifiche future, produzione di serie WSP2

Le modifiche apportate sono:

- 1) Vista la richiesta di funzionamento della scheda anche in banda "S", a partire da RF 2,5GHz, il filtro largo "PBFa" della WS (quello a pettine che ci ha dato problemi

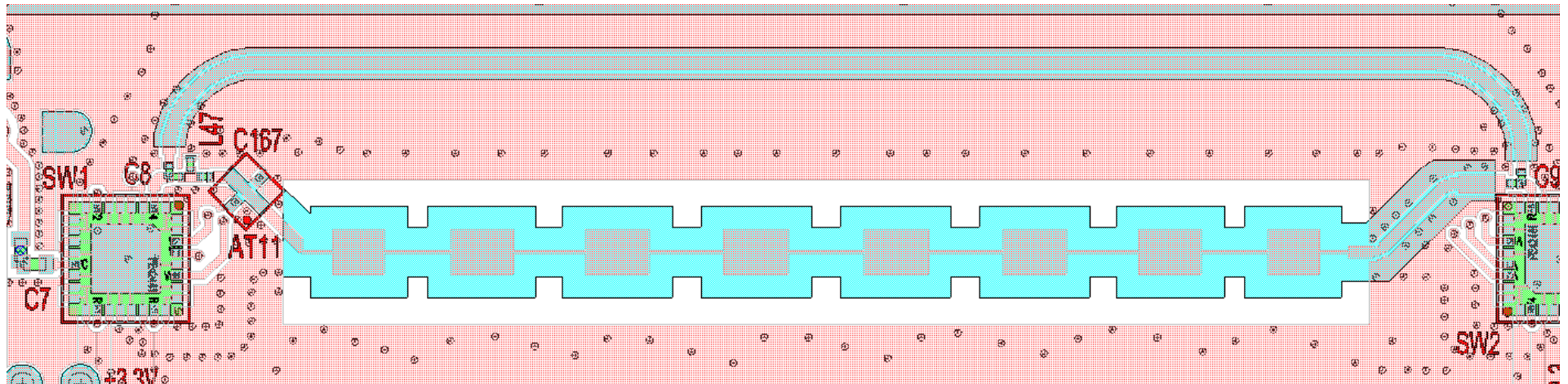


Fig.42 Banco di filtri con il filtro largo "PPFa" composto da LPF in circuito stampato e HPF (C8 L47 C167).

di metallizzazione dei fori) è stato sostituito nella WSP2 da un LPF e un blando HPF C,L,C con componenti smd 0201. Il mixer HMC8193 è in specifica. E' stata inserita una predisposizione (tagliando la pista RF) per montare un attenuatore.

Volendo è possibile, cambiando posizione a C8 e C9, passare semplicemente da una linea adattata senza passare per il "PBFa".

In fig. 43 si può apprezzare in ciano la zona di lavoro del sistema a reiezione di immagine (simulazione).

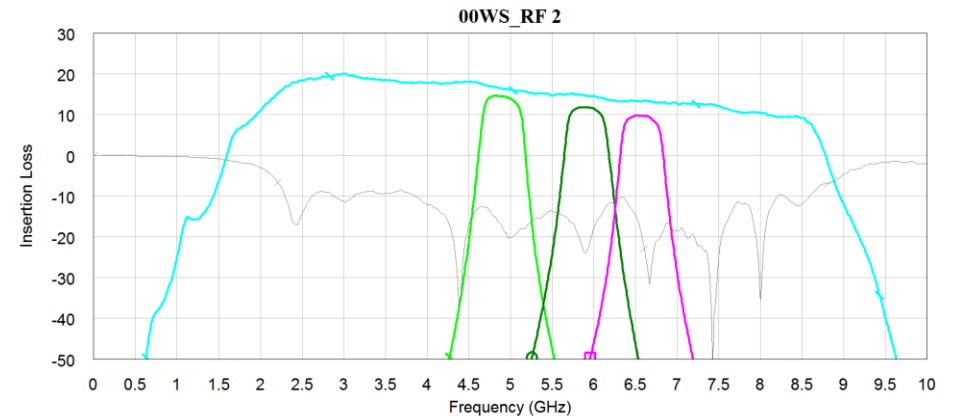


Fig.43 Simulazione S21 catena WSP2 (compresa attenuazione mixer) zona RF

Anche il filtro posto su OL è stato allargato, per riuscire ad avere un segnale OL disponibile da 3 a 8.5GHz.

E' composto anch'esso da un PBF costruito in PCB e da un HPF a 3 celle con componenti smd C176, L55, C175 in formato 0201.

In alternativa, cambiando posizione dei condensatori C126 e C146, è possibile selezionare una pista adattata al posto del filtro.

Tali aggiunte non hanno cambiato la grandezza delle nicchie fresate del coperchio d'alluminio; il disegno meccanico del primo prototipo è quindi confermato anche per il secondo.

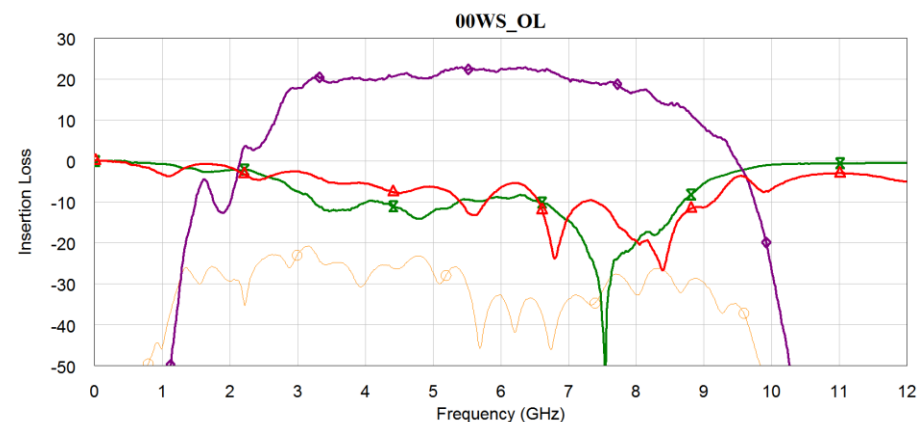


Fig.45 Simulazione S21 catena completa OL

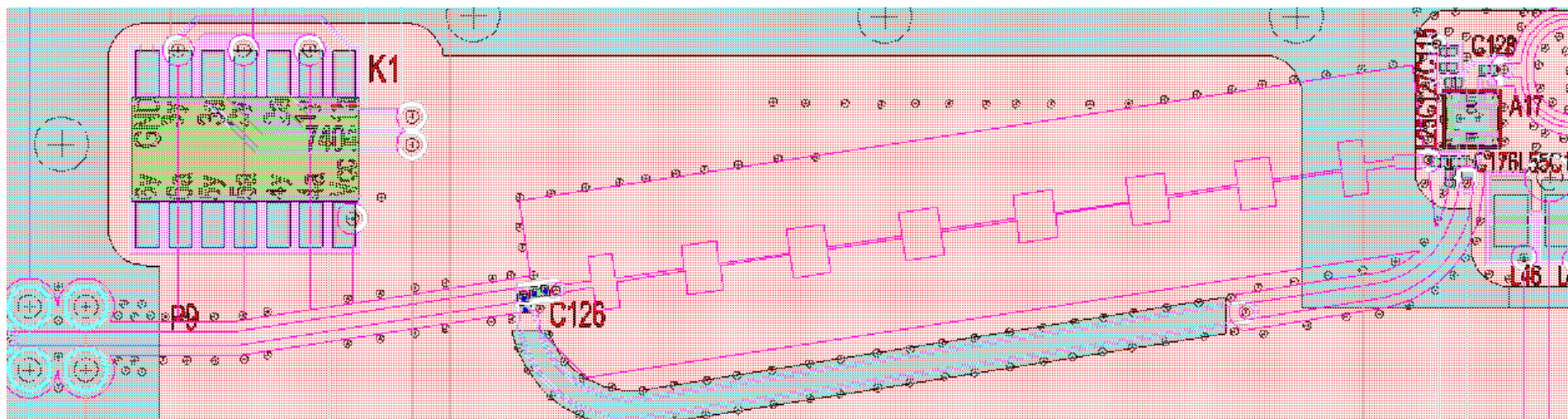


Fig.44 Filtro OL composto da LPF più HPF (C176, L55, C175)

2) Si pensa di inserire nel prossimo PCB la possibilità di montare anche la serie con layer "QCN" della MiniCircuit aumentando così la scelta soprattutto per le "alte frequenze". Vedi cap 6.



Fig.46 Zona IF, predisposizione serie QCN

3) Sono stati tolti ATT. 0dB posti sulla distribuzione OL (ritenuti superflui). E' stata lasciata tuttavia la predisposizione con linea RF cortocircuitata. Se un domani dovesse essere montato uno di questi attenuatori, è necessario avere cura di tagliare con un piccolo cutter le piste RF con l'aiuto di un microscopio.



Fig.47 Predisposizione AT9 e AT2 e rispettivi canali.

3) E' possibile evitare i filettini d'alimentazione che portano l'alimentazione +5V al trasmettitore ottico utilizzando lo stesso cavetto coassiale.

Il modulo ottico è infatti predisposto per alimentare tramite cavo coassiale un LNA, allo stesso modo può ricevere anche l'alimentazione da un apparato esterno. Tutto ciò è possibile inserendo una induttanza (blocca il segnale la RF) che immette la continua +5V. Il connettore MCX è stato scelto appositamente con reoforo centrale che "non sbucca dal bottom"; in questo modo è possibile avere una piazzola per l'induttanza che vi poggia sopra.

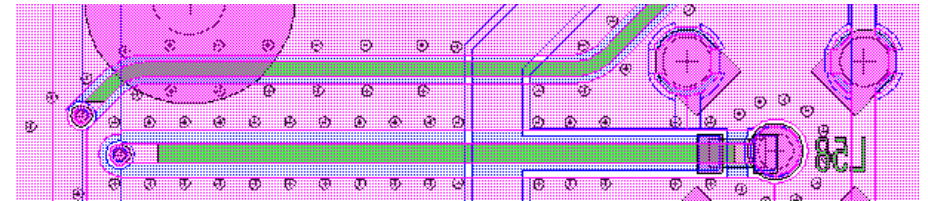


Fig.48 Induttanza sul Bottom L56,57,58 e 59 per "immissione DC"

4) L'induttanza 4.7uH posta sull'alimentazione degli amplificatori OL si è rotta troppo facilmente in fase di test (corrente max 180mA). Si pensa di sostituirla con 74479776247 della WurthElectronics che ha 1A di corrente massima.

ALLEGATO_1, costruzione splitter 8 vie

Nell'esecuzione del "quadrotto1" era presente, a fianco della scheda WS, un distributore a 8 vie del segnale OL da fornire alle varie PCB WS. Il primo prototipo, chiamato SP8_WS_01, presenta all'ingresso anche un piccolo accoppiatore direzionale che preleva il segnale (accoppiamento circa -20dB) e lo porta ad un detector monitor AD8317.

E' stato misurato che la potenza del segnale è inversamente proporzionale alla tensione in uscita.

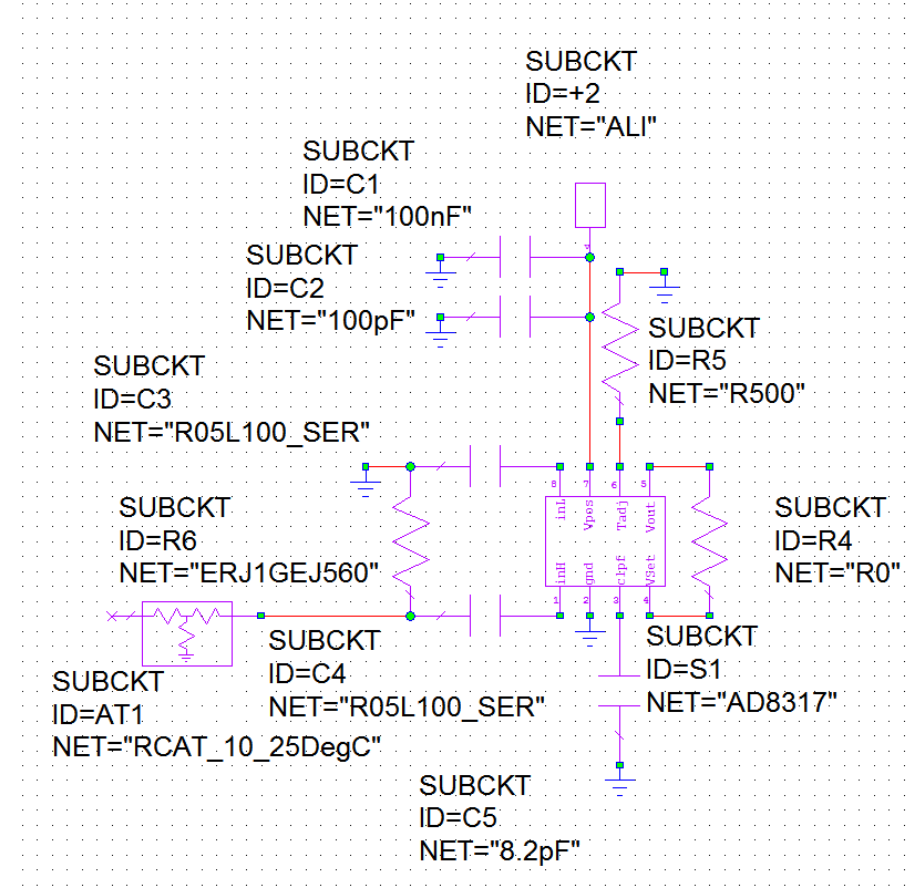


Fig.49 schema circuitale della sola zona Monitor

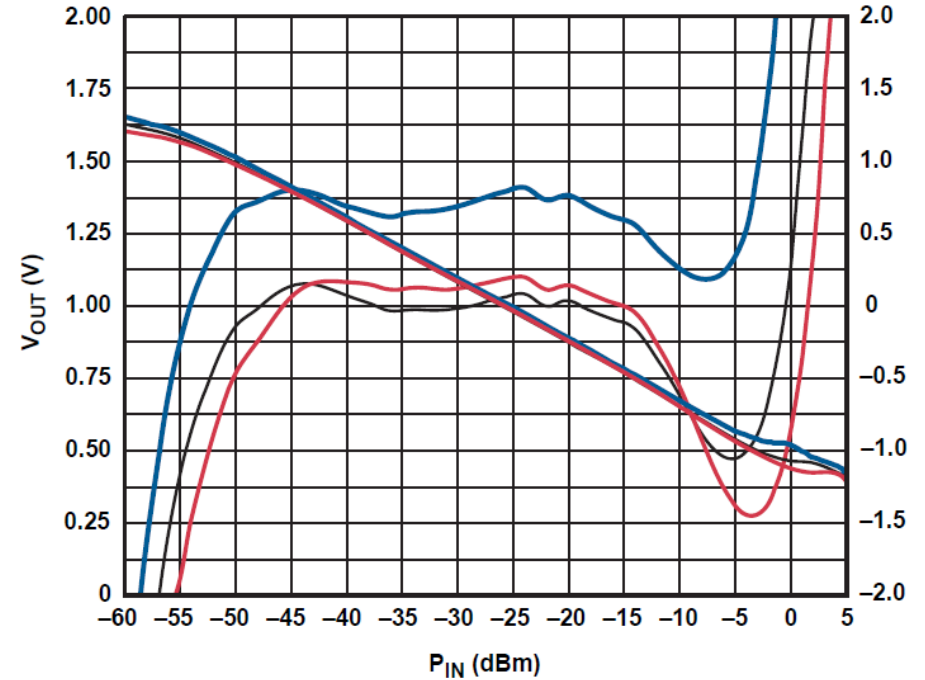


Figure 8. V_{OUT} and Log Conformance vs. Input Amplitude at 8.0 GHz, $R_{TADJ} = Open$, Error Calculated from $P_{IN} = -34 \text{ dBm}$ to $P_{IN} = -16 \text{ dBm}$

Fig.50 V_{out} in funzione della potenza in ingresso al detector AD8317

Per far funzionare il detector nella zona lineare è meglio (non fondamentale dal momento che è solo un monitor errore OL) inserire anche **un attenuatore di almeno 5dB in ingresso.**

Se il segnale OL proveniente dal moltiplicatore presente a Jodrell Bank ha una potenza di +10dBm il segnale in ingresso al detector sarà circa -15dBm (20dB di accoppiamento più 5dB di att.). Ci aspettiamo, per un buon funzionamento del pilotaggio OL scheda, una tensione in uscita al detector compresa fra 0,75V (equivalente inOLWS=-1dBm) e 1V (equivalente inOLWS=-11dBm). Tensioni superiori dovranno segnalare un errore di "mancanza pilotaggio mixer".



Fig.51 Perdita del splitter 8 vie (traccia azzurra) -10dB@4,5GHz e -14dB@8,5GHz

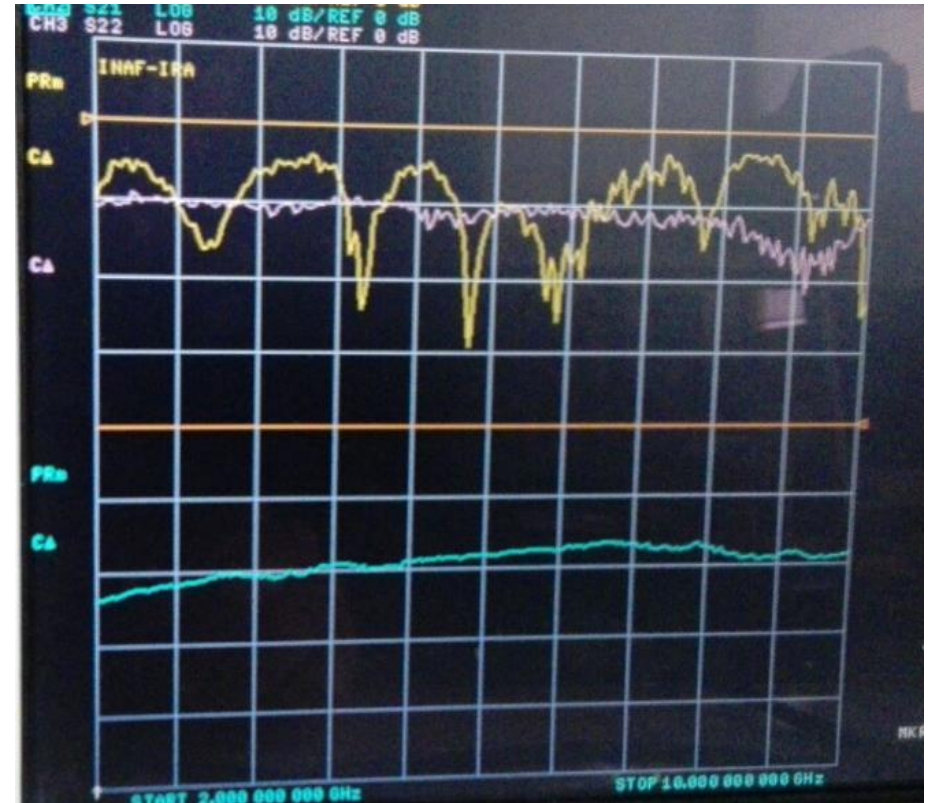


Fig.52 Perdita accoppiamento (traccia azzurra) -20dB@4,5GHz e -18dB@8,5GHz

Come si può vedere dalle misure fig.51 e 52 lo splitter sembra rispecchiare quanto simulato a parte alcuni "avvallamenti" nella parte alta dove la perdita è sui 14dB invece che 11dB. Sono "brutti" da vedere ma per un utilizzo di distribuzione di frequenza monocromatica OL può essere tollerato.

ALLEGATO_2, costruzione splitter 4 vie

Sebbene il cestello completo possa essere popolato da 8 schede (spostando gli alimentatori), è stato scelto di inserirne solo 4. Per questo motivo è stato progettato (simile al precedente SP8_WS_01) e inserito nel prossimo “quadrotto2”, uno splitter a 4 vie (SP4_WSP2) in circuito stampato.

Sul PCB è presente anche un piccolo accoppiatore direzionale che preleva il segnale (accoppiamento circa -20dB) per portarlo ad un detector monitor proprio come nel precedente progetto. Vedi fig.43.

In fig.46 è visibile il piccolo circuito stampato. Il segnale potrà essere portato a pannello con 4 cavetti coassiali.

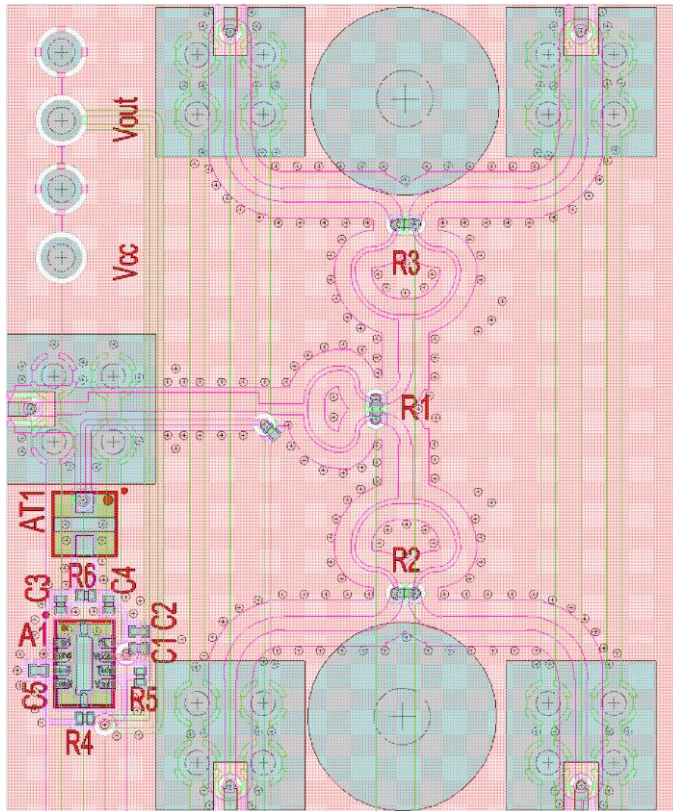


Fig.53 PCB SP4_WSP2.

In fig.47 è riportata la simulazione dello splitter SP4_WSP2. In blu è presente la perdita diretta e in verde quella dell'accoppiatore direzionale (simulazione).

Una volta montato il circuito si può procedere nel tararlo in maniera empirica nella zona di lavoro. Se il monitor si reputerà affidabile, è possibile utilizzarlo anche per monitorare il corretto pilotaggio delle schede in quanto nella zona 6-8.5GHz il segnale tende a diminuire (anche di -8dB). Se si riesce a pilotare il moltiplicatore con più o meno segnale potrebbe essere possibile un miglioramento delle prestazioni con il filtro “PBFa” nelle zone alte, vedi fig.22.

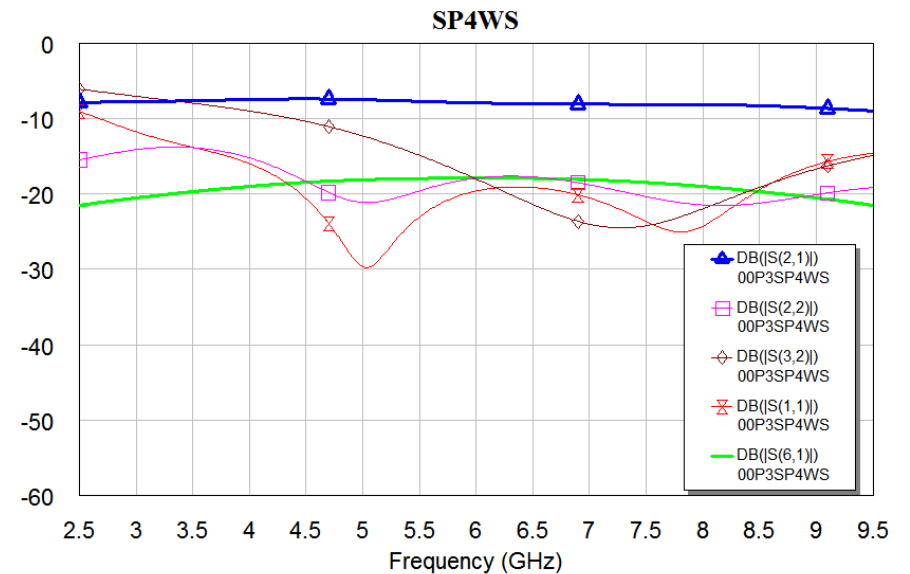


Fig.54 Simulazione PCB SP4_WSP2.

Se il segnale OL proveniente dal moltiplicatore presente a Jodrell Bank ha una potenza di +10dBm, sottraendo la perdita dello splitter il pilotaggio delle schede avverrà a +3dBm. Questo valore è ancora in specifica (+5, -10dBm). **Tuttavia è meglio controllare, soprattutto alle basse frequenze, che non si vada oltre i +5dBm** (a +7dBm secondo manuale potrebbe rompersi il secondo amplificatore in cascata; in fase di test siamo arrivati a 10dBm senza rottura).

Ci aspettiamo quindi, per un buon funzionamento del pilotaggio OL scheda, una tensione in uscita al detector compresa fra **0,75V** (equivale inOLWS=+3dBm) e **1.1V** (equivale inOLWS=-11dBm). Tensioni superiori dovranno segnalare un errore di “mancanza pilotaggio mixer”.