

# **Finestre A Vuoto 5 GHz : Misure RF, Simulazioni e Commenti**

*S. Mariotti , M. Poloni, J. Roda, G. Zacchioli*

**Rapporto Interno IRA N° 312 /2001**

Revisori: M. Morsiani, A. Orfei

1. Caratteristiche dei materiali dielettrici utilizzati .....	3
1.1 Le finestre: HR500/2S <sup>®</sup> .....	3
1.2 Le finestre: Kapton <sup>®</sup> .....	4
1.3 Il foam: Styrodur <sup>®</sup> 3035 (BASF) .....	5
1.4 Le colle: Armstrong <sup>®</sup> A12 .....	7
1.5 Le colle: 3M <sup>®</sup> DP190 .....	7
2. Il Gruppo Finestra – Gap .....	8
3. Le misure.....	10
3.1 Lanciatori e Cal Kit.....	10
3.2 Assemblaggio.....	11
3.3 Misure Di Rete .....	12
3.4 Discussione misure di $ s_{21} ^2$ e di $ s_{11} ^2$ : .....	17
3.5 Misure di Potenza irradiata dal GAP (spill-over) .....	18
3.6 Discussione misura di spill-over: .....	20
4. Modellazione CAD .....	21
5. Conclusioni .....	23
6. References.....	24

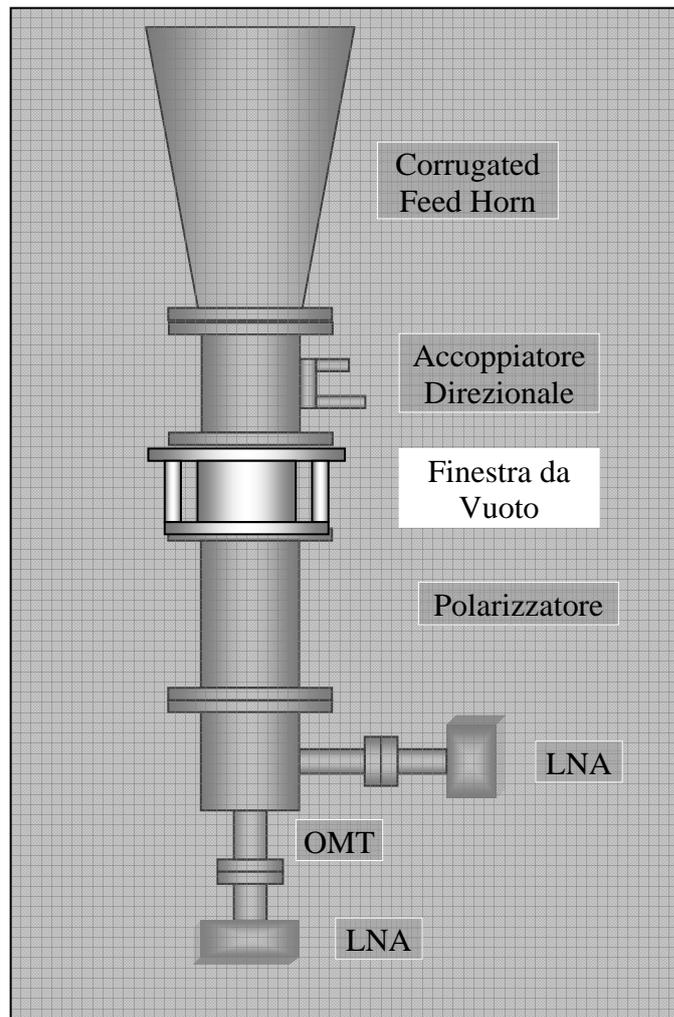


Figura 1: Il front-end a radiofrequenza di un ricevitore radioastronomico.  
E' evidenziato il componente descritto in questo Rapporto

## 1. Caratteristiche dei materiali dielettrici utilizzati

Per quello che riguarda i materiali da utilizzare per realizzare la finestra in guida d'onda, sono appetibili allo scopo i seguenti film plastici: HR500/2S® della Hercules , Kapton® e Mylar® della Du Pont. In questo lavoro sono stati impiegati i primi due mentre, del terzo ne verranno esclusivamente fornite solo alcune caratteristiche (solo a titolo di confronto).

Il foam è un cilindro di “poliestirene rigido estruso monostrato”, Styrodur® 3035 della Basf.

### 1.1 Le finestre: HR500/2S®

Materiale plastico composto da un laminato di prolipropilene bi-orientato (BOPP, Bi-Oriented Poly-Propilene), avente buona stabilità delle proprietà meccaniche nell'utilizzazione a temperatura ambiente, compreso tra due strati di cloruro di polivinildene. Tale materiale nasce per essere

utilizzato per confezionare cibi nell'industria alimentare. Lo spessore della finestra è di  $19\mu\text{m}$ . Questi due strati sono fondamentali altrimenti il BOPP potrebbe consentire l'assorbimento di ossigeno e di altri gas atmosferici. Tra le sue caratteristiche esso possiede anche una buona barriera ai raggi UV.

La quantità di gas che passa attraverso l'HR500/2S aumenta quando le finestre realizzate hanno dimensioni molto grandi ( es. Diametri di 100 mm.) e per tempi di funzionamento superiori ad alcuni mesi, quindi potrebbero insorgere problemi di accumulo di acqua e gas che, passati tramite la finestra, sublimerebbero all'interno del ricevitore creando un pericoloso strato di ghiaccio (si lavora con la parte in vuoto a temperatura criogenica) che deteriorerebbe le prestazioni complessive del sistema.

## 1.2 Le finestre: Kapton®

E' un film di materiale polimerico ad elevate prestazioni meccaniche ed elevata stabilità termica.

Il colore varia fra ocra chiaro e marrone man mano che lo spessore aumenta.

Gli spessori a disposizione sono: 25, 50, 75 e  $125\mu\text{m}$ . Fra gli spessori più sottili, è disponibile una versione a strati PTFE-Kapton-PTFE che, per effetto della modulazione della costante dielettrica, può produrre l'interessante risultato di minimizzare le perdite RF per riflessione.

Lo spessore scelto per le prove effettuate è di  $25\mu\text{m}$ , in modo da avvicinarsi il più possibile allo spessore del materiale concorrente HR-500. Le caratteristiche elettriche di tale materiale sono molto simili a quelle del Mylar ma in più esso possiede una maggiore robustezza meccanica e la capacità di lavorare all'interno un più vasto range di temperatura (da temperature criogeniche fino a temperature maggiori di  $400^{\circ}\text{C}$ ) . Le ottime prestazioni del kapton sono però associate ad un elevato costo del prodotto. Comunque sono disponibili gratuitamente campionature sufficientemente abbondanti da produrre le finestre a vuoto per tutti i ricevitori in progetto presso il Radiotelescopio di Medicina.

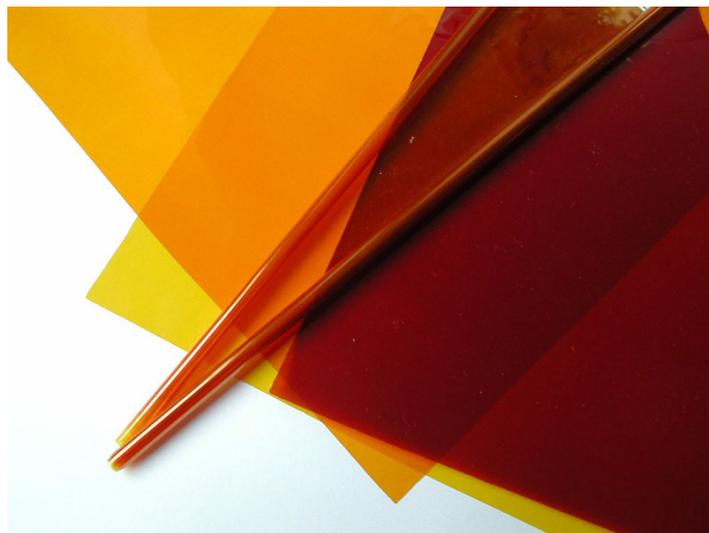


Figura 2 : Fogli di Kapton di diverso spessore.

La Tabella 1 fornisce, da fonti documentali, alcune caratteristiche di rilievo dei materiali appena citati:

	KAPTON	HR500/2S	Mylar
Costante Dielettrica	3.5	~2.6	3.0
Tan $\delta$	0.001 – 0.01 <sup>(1)(2)</sup>	$\gamma$ <sup>(2)</sup>	~0.003 <sup>(1)(2)</sup>
Resistenza Meccanica (psi)	25000 <sup>(3) (4)</sup>	25000 <sup>(4)</sup>	>20000
Permeabilità al Vapore Acqueo <sup>(5)</sup>	5.4	0.3	1.8
Permeabilità all'Ossigeno <sup>(6)</sup>	25	<1	6
Permeabilità all'Azoto <sup>(6)</sup>	6	-	1

(1) Dipende dalla temperatura e da %RH dell'ambiente

(2) Test condotti da NRAO dimostrano che l'attenuazione per riflessione domina di fatto l'attenuazione dissipativa almeno fino a 220 GHz. Quindi tan  $\delta$  è trascurabile

(3): a 296K e 50% di umidità.

(4) Questi dati sono quantomeno curiosi: di fatto la resistenza a taglio del Kapton è estremamente superiore ad HR500/2S, le fonti documentali sono: Data sheet per il Kapton e [1] (il quale riferisce a comunicazioni verbali) per HR500/2S

(5): gm/100in<sup>2</sup>/mil/24hrs

(6): cc/100in<sup>2</sup>/mil/24hrs.

### 1.3 Il foam: Styrodur<sup>®</sup> 3035 (BASF)

E' un materiale che nasce per utilizzi edili, da impiegare come isolante termico per gli edifici. Presenta una conducibilità termica estremamente bassa quindi risulta essere un cattivo conduttore di calore ed inoltre, presenta una notevole impermeabilità all'acqua. E' piuttosto resistente alla compressione, ben di più del classico polistirolo espanso, di conseguenza mantiene anche una buona stabilità dimensionale.

Lo Styrodur 3035 è un prodotto BASF. Il tipo da utilizzare per realizzare spezzoni radiotrasparenti, non è più in produzione da alcuni anni perché il gas utilizzato per l'espansione non è ecologico. Tutti i materiali spugnosi (foam) espansi/estrusi di moderna produzione da noi testati presentano attenuazioni dissipative misurabili ( se pur di modesta entità). Lo Styrodur prodotto alcuni anni fa presenta una attenuazione al limite della misurabilità.

Le scorte di magazzino presso il Radiotelescopio, sono sufficientemente abbondanti e consentono di produrre supporti per le finestre da vuoto per i ricevitori progettati.



**Figura 3: I due cilindretti di Styrodur che verranno inseriti nelle guide in alluminio. Nel riquadro: pannelli di Styrodur.**

La lavorabilità alle macchine utensili è stata dimostrata praticamente ed è possibile ottenere tolleranze dimensionali ed una finitura superficiale dell'ordine del 1/10 mm.

Alcuni numeri:

- 1- Resistività termica: a 10°C di temperatura media a seconda del tipo, dello spessore e della struttura degli spigoli varia da  $29 \cdot 10^3$  a  $34 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>·°K/W .
- 2- Assorbimento d'acqua: dopo 28 cicli giornalieri con variazione della temperatura a seconda del tipo, dello spessore e della struttura degli spigoli varia da 0,1-0,2 Vol%.
- 3- Temperatura limite di esercizio: 75°C.
- 4- Percentuale delle celle chiuse: 98%.
- 5- Carico meccanico 0.15-0.70 N/mm<sup>2</sup>

Alcuni materiali foam, fra il comune polistirolo espanso, il Polipan® (ottimo candidato ma non più in produzione per motivi ecologici) riducono drasticamente ( - 10 % ) e permanentemente le proprie dimensioni quando sono posti sotto vuoto con un processo asintotico con costante di tempo compresa fra 1 gg e 1 mese.

Per tale ragione è necessario verificare sperimentalmente eventuali variazioni dimensionali dei foam candidati nel lungo termine.

Per il montaggio della finestra e del foam nelle rispettive sedi vengono impiegate particolari colle. Per il fissaggio del foam alle pareti della guida (di alluminio) si utilizza la Armstrong A12 mentre, per l'incollaggio della finestra (quando tale operazione è necessaria) si usa la DP190 di 3M. Le caratteristiche di tali colle vengono descritte qui di seguito.

## 1.4 Le colle: Armstrong® A12

La Armstrong A12, una colla a due componenti ciascuna avente diverse viscosità. Queste, opportunamente miscelate, consentono di ottenere un fissaggio più o meno rigido in base alla quantità del componente meno viscoso (di colore grigio e indicato con Part B). Un rapporto 1:1 tra i due componenti (situazione più frequentemente usata) fornisce un fissaggio rigido mentre, secondo le specifiche della casa produttrice, per applicazioni criogeniche o quando è richiesto un cordone di colla “gommoso” è consigliabile un mix 1:4 (4 parti di Part B). Questa colla inoltre presenta dei tempi di essiccazione a temperatura ambiente molto lunghi (circa 1 settimana per arrivare alla situazione ottimale) anche se buone prestazioni possono essere ottenute già dopo 12÷14 ore.

La colla Armstrong A12 è considerato un prodotto tipicamente utilizzato dagli esperti di camere da vuoto.

## 1.5 Le colle: 3M® DP190

La colla impiegata per fissare la finestra di HR500/2S sulla sede prevista nella guida è la DP190 di 3M. Anche questa colla è una bi-componente. Il mix viene fatto in rapporto 1:1 utilizzando un apposito dispenser (EPX37/50 di 3M). I tempi di consolidamento delle prestazioni di questa colla sono lunghi: in una settimana, secondo i dati del produttore, si raggiunge la piena efficienza.

L'applicazione degli adesivi viene effettuata seguendo una precisa procedura. Per quello che riguarda il foam, la superficie della guida viene dapprima resa rugosa utilizzando della carta vetrata (150). Si procede alla sua pulizia inizialmente con alcool metilico completando l'operazione con etere di petrolio. Si applica la A-12 con un mix di 1:1 assicurandosi che la scanalatura presente sulla guida, realizzata per trattenere la colla, sia adeguatamente riempita. La colla viene spalmata con cura anche sulle pareti laterali del cilindro di foam. Si inserisce il foam applicando una leggera rotazione affinché la colla si distribuisca nel miglior modo possibile e si eviti la formazione di riccioli di colla. Questi potrebbero essere infatti fonte di attenuazione. Eventualmente si esegue una accurata pulizia per eliminare i residui di colla.

Per quello che riguarda invece le finestre, è solo nel caso dell'HR500/2S che si procede all'incollaggio sulla guida. L'operazione avviene subito dopo aver inserito il foam ed utilizzando la colla DP190. Anche in questo caso ci si assicura che la scanalatura realizzata per trattenere la colla sia adeguatamente riempita. La finestra viene pulita con alcool isopropilico e quindi viene montata sulla guida. Si lascia asciugare per almeno 24 ore prima di cominciare a effettuare le prove di tenuta del vuoto. Nel caso della finestra in kapton non si applica il procedimento di incollaggio poiché è stata prevista sulla flangia una sede nella quale inserire un o-ring (una guarnizione in gomma).

## 2. Il Gruppo Finestra – Gap

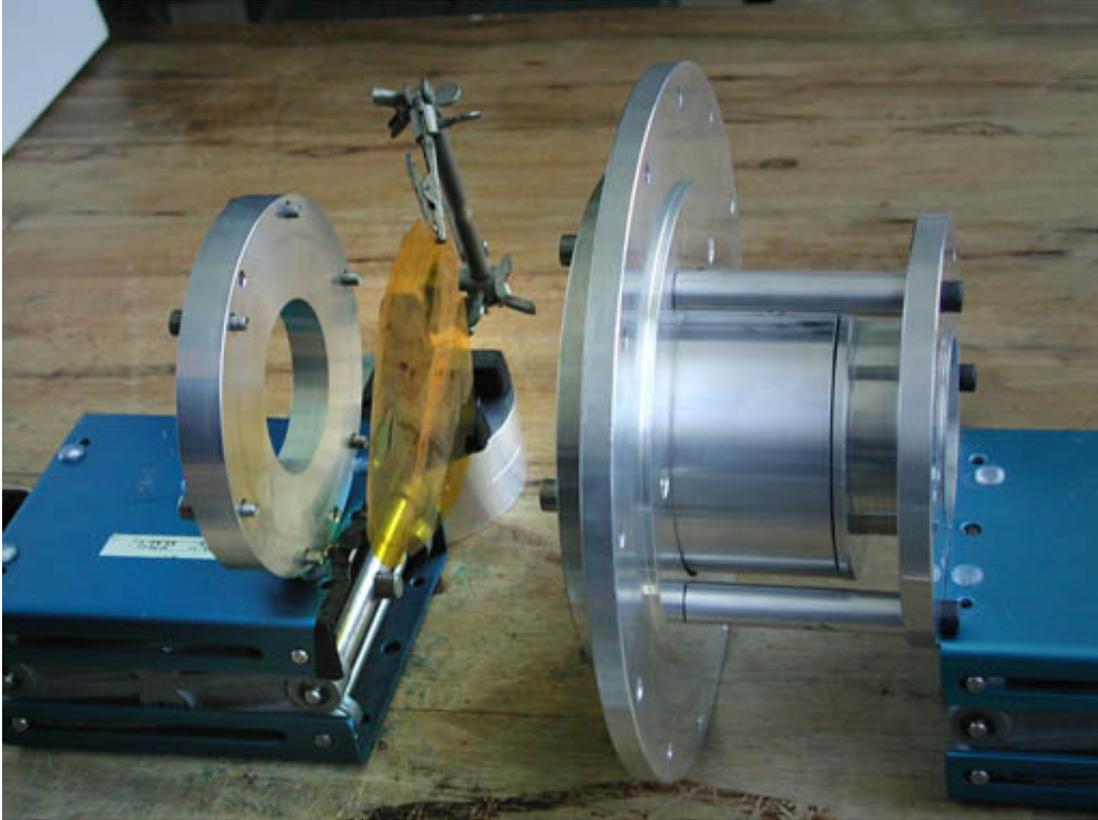


Figura 4: Spaccato della finestra a vuoto: al centro si nota la finestra in kapton di 25  $\mu\text{m}$  di spessore.



Figura 5: Assemblaggio finestra Kapton (sinistra) e HR500/2S (destra)

Per le prove di attenuazione, riflessione, spill-over è stato realizzato un “gruppo finestra-Gap”, un assemblaggio di guida d’onda circolare (Diam. 59.5mm) modulare.

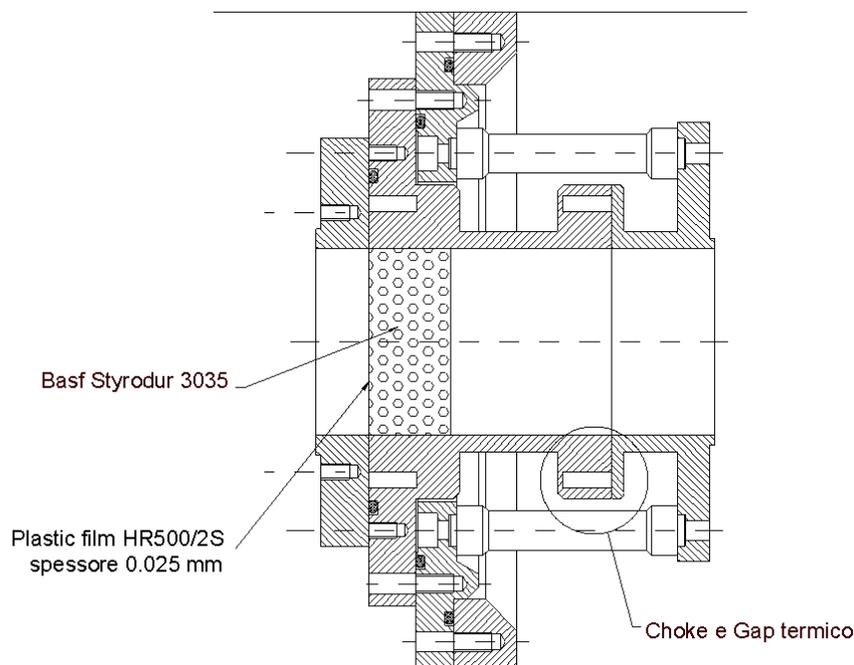
Il kit di componenti sciolti permette di realizzare un insieme finestra-gap con gap di dimensioni variabili; pure il tipo di tenuta a vuoto può essere scelto fra incollaggio o guarnizione OR.

Combinazioni possibili:

		Accoppiamento delle guide d’onda	
		Con Choke	Plain (senza choke)
Dimensioni del GAP termico	0.25 mm	X	X
	0.5 mm	X	X

Il montaggio comprende sempre due GAP, uno di questi, riconoscibile chiaramente guardando l’assemblaggio del DUT, è il gap termico vero e proprio; l’altro è l’inevitabile e sottilissimo (19-25 micron) GAP che si viene a realizzare dove si inserisce la finestra da vuoto.

Al fine di differenziare chiaramente le varie realizzazioni possibili, quindi per eliminare qualsiasi confusione nelle misure RF, si è deciso che la realizzazione che prevede il choke nel gap termico, comprende anche un choke nel gap-finestra, per contro, la realizzazione che comprende un accoppiamento “plain” nel gap termico, comprende anche un accoppiamento “plain” anche nel gap-finestra.



**Figura 6: Gruppo finestra – Foam – Gap Termico. (versione con chokes)**

### 3. Le misure

La campagna di misure effettuate prevede di testare le varie finestre dapprima dal punto di vista meccanico, verificando la tenuta del vuoto, quindi dal punto di vista elettromagnetico.

#### 3.1 Lanciatori e Cal Kit

I lanciatori sono costituiti da 3 pezzi da considerare indissolubili durante tutta la campagna di misure.

Essi sono:

##### Lanciatore coax-WR187

I.L. < 0.05 dB

R.L.< - 30 dB

Giudizio di qualità : prestazioni molto buone

##### Transizione WR 187 – Guida Quadra

Progetto: CSELT

Realizzazione: IRA

Misure RF: IRA

I.L. non misurabile (< 0.05 dB)

R.L non misurabile (< - 40 dB)

Giudizio di qualità: prestazioni eccellenti, lavorazione eccellente.

##### Transizione Guida Quadra – Guida Tonda $\Phi$ 59.5mm

La funzione di “transizione” non è realizzata da un componente meccanico, bensì dall'accoppiamento di una bocca quadra con una bocca tonda.

La lunghezza pari ad  $1 \lambda$  della parte cilindrica serve a ridurre “modi” di propagazione non voluti.

R.L. fortemente increspato (*ripple* notevole)  $\leq - 24$  dB

Giudizio di qualità: prestazioni scarse, lavorazione eccellente.



Figura 7: Transizioni Coax -WR187 -□ - ○

**Short : Corto circuito in guida circolare**

Giudizio di qualità: lavorazione eccellente.

**Line ( per calibrazione TRL)**

Lunghezza fisica misurata: 19 mm

Giudizio di qualità: lavorazione eccellente.



**Figura 8: Short & Line per calibrazione TRL**

### 3.2 Assemblaggio

Contrariamente a quanto ci si può aspettare, la risposta di attenuazione e adattamento d'impedenza del gruppo finestra ha una scarsa dipendenza dalla cura con il quale viene eseguito il serraggio delle viti.

Non si è notata nessuna differenza fra un serraggio a 2 viti (diametralmente opposte) rispetto al serraggio con 6 oppure 8 viti.

Si è preferito seguire una strategia che riducesse il più possibile il drift, quindi è stato prediletto il serraggio rapido, con 2 o 3 viti a seconda del caso, sia per “muovere” il meno possibile il DUT e i cavi che lo collegano al VNA, sia per minimizzare i tempi fra una misura e l'altra.



**Figura 9: Assemblaggio del gruppo Finestra-Gap**

### 3.3 Misure Di Rete

#### SNA

La sessione preliminare di misure ha riguardato il cal Kit stesso.

E' Stata condotta con SNA ed un ingombrante accoppiatore direzionale in WR 187 ad altissime prestazioni ( Flann, direttività > 40 dB).

La scelta di usare il SNA anziché VNA è dovuta al fatto che per minimizzare l'errore nelle misure di rete uno dei criteri da adottare è conoscere a priori l'ordine di grandezza del misurabile. Una volta conosciuto il valore della misure, si può affinare la misura stessa, riducendo l'errore, con l'ausilio di VNA. Con SNA, meno sensibile all'accuratezza della calibrazione, è meno difficile commettere quei tipici errori di misura dovuti ad inesperienza.

La misura con SNA, è risultata problematica a causa di un ripple residuo che non si è riusciti ad eliminare.

La causa di tale effetto può essere analizzata da vari punti di vista. Uno di questi, è partire dalle differenze fra le varie definizioni di Guadagno di Rete.

Il Guadagno di rete misurato dal SNA è 'Insertion Gain" che è definito diversamente da "Available Gain" solitamente utilizzato nei calcoli di Temperatura di rumore.

D'altronde il guadagno misurato dal VNA calibrato full-two port è  $|s_{21}|^2$ , anch'esso diverso da Available Gain.

Tutte le definizioni coincidono quando i coefficienti di riflessioni del Network Analyzer e del DUT sono uguali a 0. Nel nostro caso, per effetto della transizione  $\square \leftrightarrow \bigcirc$ , i coeff. di riflessione delle porte  $\bigcirc$  dei blocchi in guida d'onda sono particolarmente alti e tali da fornire risposte con un ripple superiore alla misura che ci si aspetta.

Ci si aspetta di misurare attenuazioni dell'ordine di 0.02 – 0.05 dB ed il ripple è dell'ordine di 0.1 dB<sub>p-p</sub>

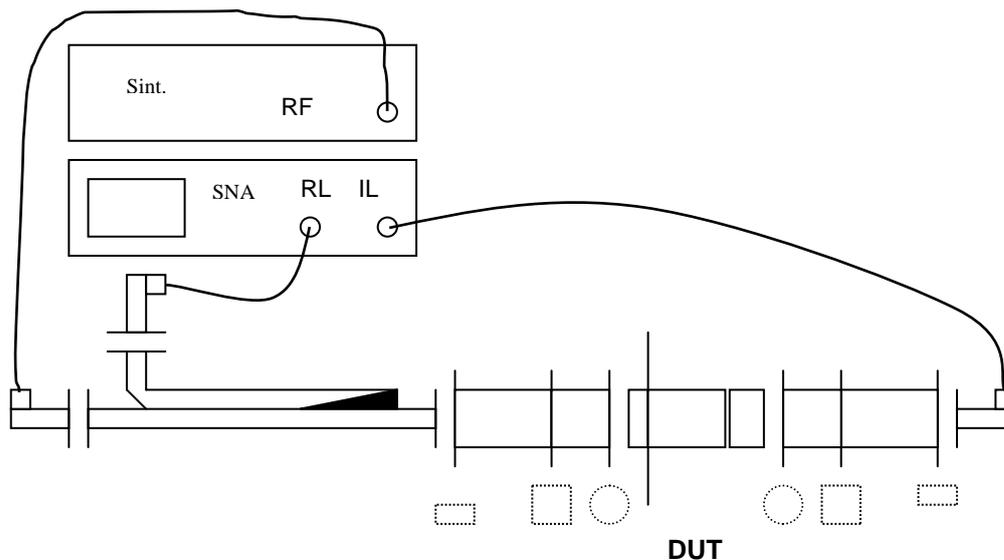


Figura 10: Schema di misura con SNA. Si noti la presenza di Accoppiatore Direzionale ad alte prestazioni

## VNA

Le misure a radiofrequenza sono state eseguite con un HP8720D Network Analyzer, calibrato con il metodo **TRL\*** (Thru-Reflect-Line-Star). Il procedimento TRL\* non è “full-error correction”, ciononostante ritenendo che il  $\Gamma$  delle porte del N.A. sia costante si può assimilare la calibrazione TRL\* alla TRL. Tale operazione è stata tentata in due modi, si sono inseriti due attenuatori coassiali SMA da 6 dB con basso  $\Gamma$  a ridosso delle transizioni Coax-WR187, poi viste le difficoltà di calibrazione TRL\* dovute ad un ripple residuo, probabilmente dovuto al passaggio  $\square \leftrightarrow \circ$  si è tentato, con successo, di ridurre tali riflessioni “nascondendo” gli spigoli vivi dei pezzi in Alluminio con piccoli ritagli “tapered” di Eccosorb® CR 117 incollati.

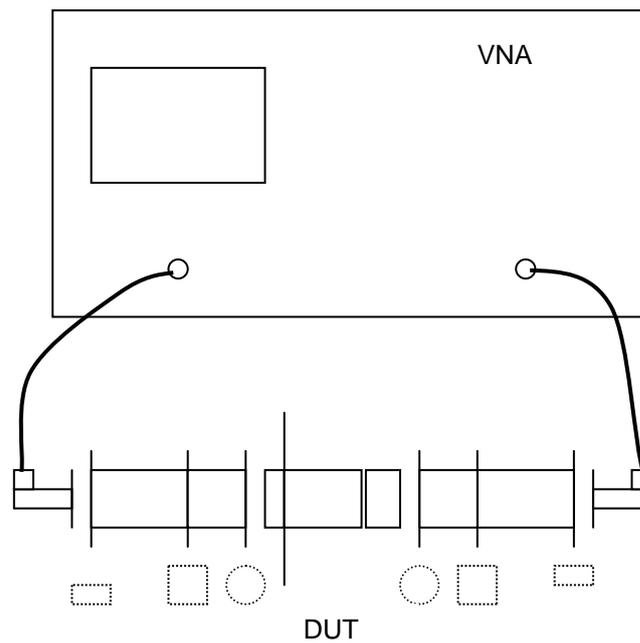
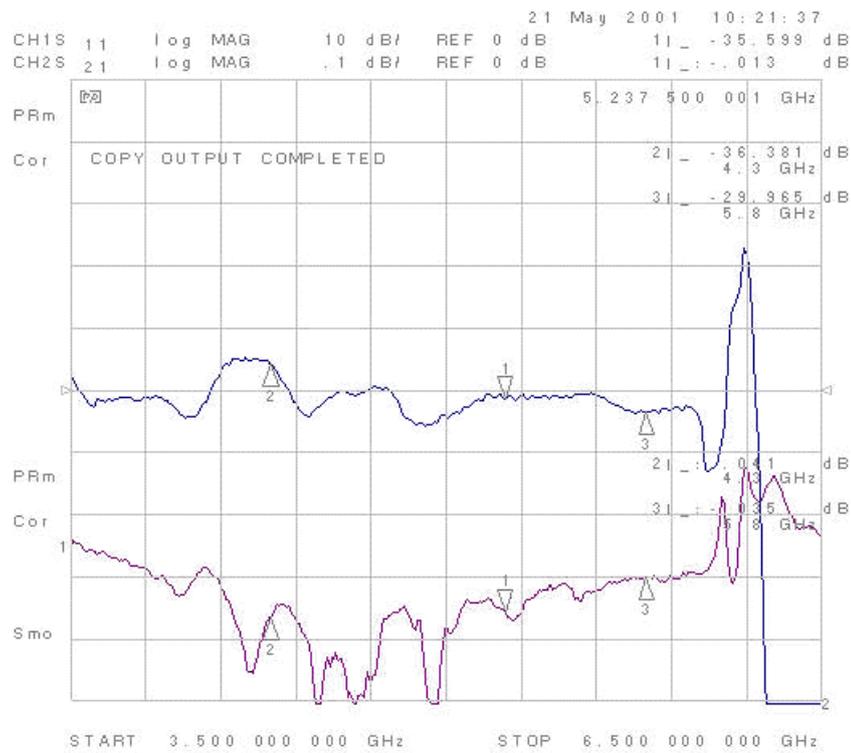


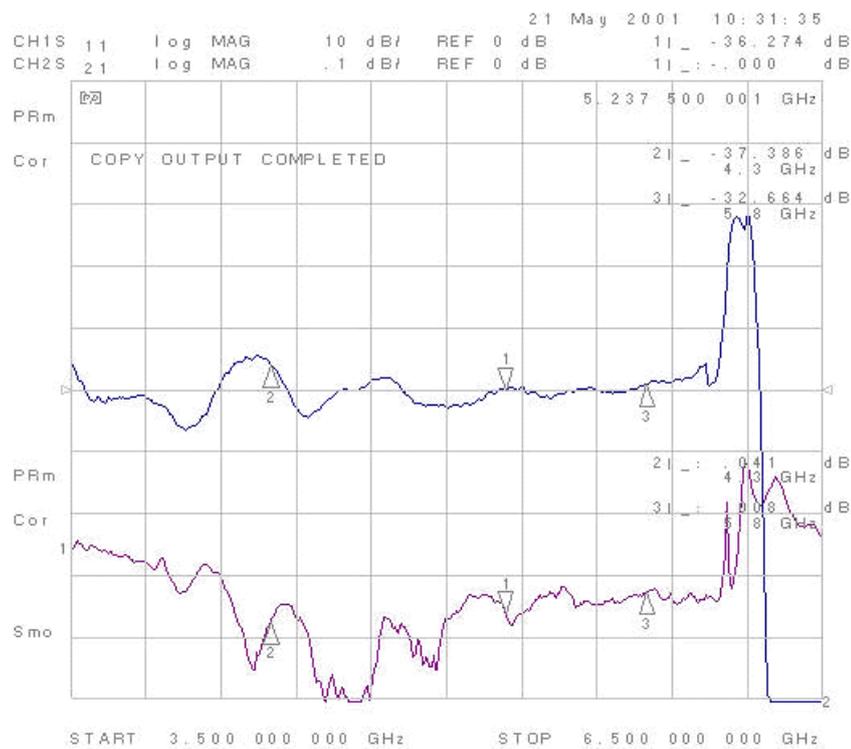
Figura 11: Schema di misura con VNA

## Risultati

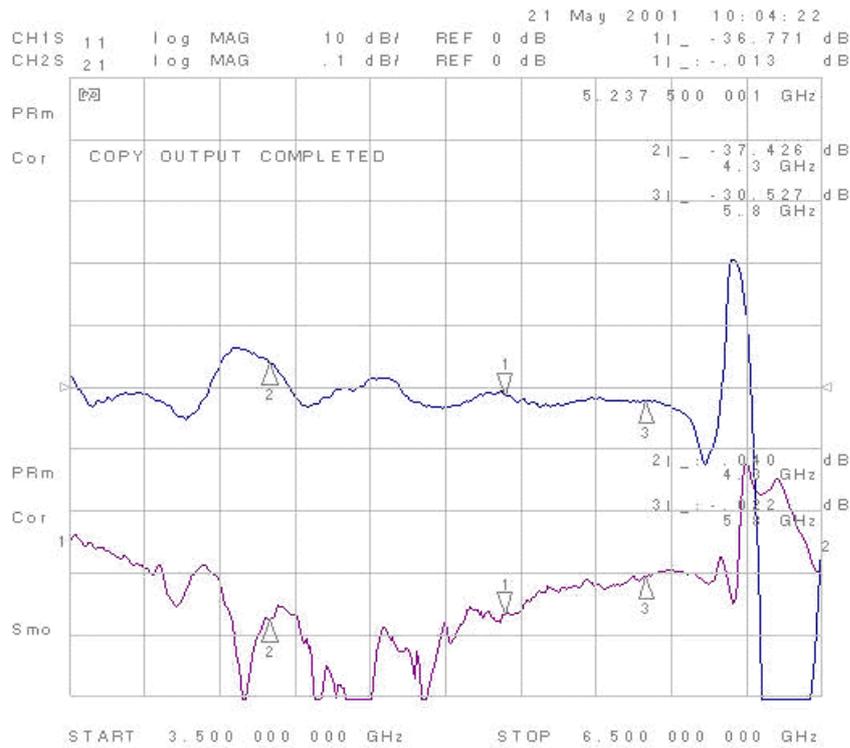
Di seguito vengono riportati i grafici delle misure di attenuazione:



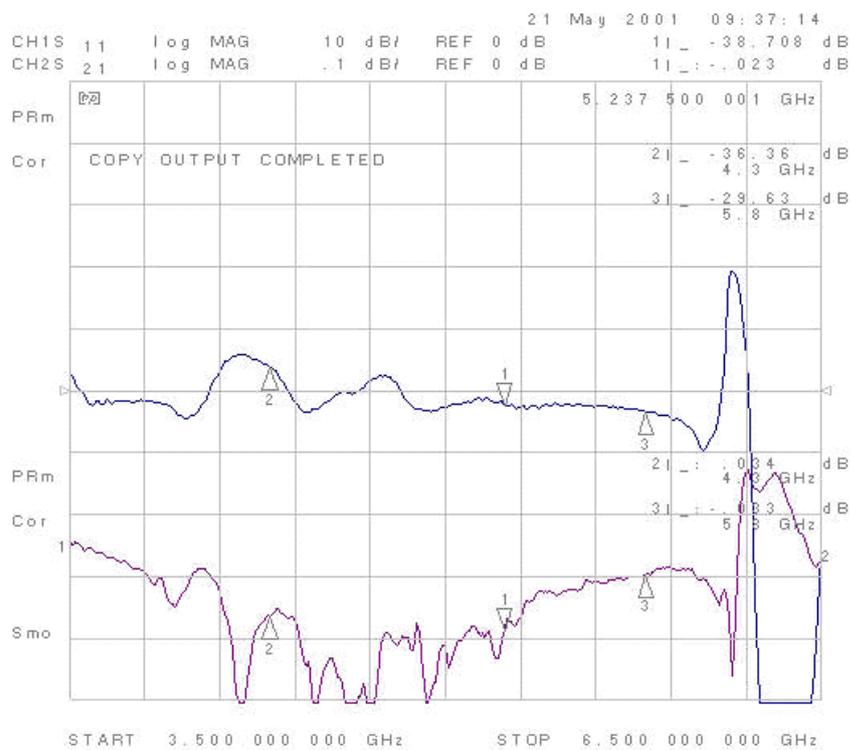
**Figura 12 attenuazione e RL con choke e gap 0.25mm (At-chk25.gif)**



**Figura 13 Attenuazione e Return Loss con choke e Gap 0.5 mm (at-chk50.gif)**



**Figura 14** Attenuazione e Return Loss senza choke con gap 0.25mm (at-nchk25.gif)



**Figura 15** Attenuazione e Return Loss senza choke, gap 0.5 mm (at-nchk50.gif)

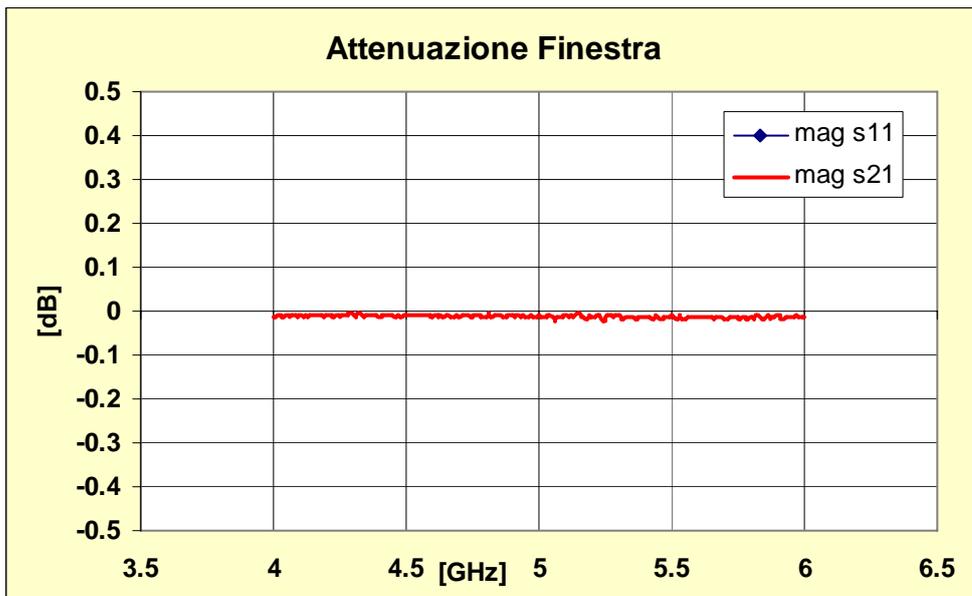


Figura 16: Attenuazione misurata da TiLab, Finestra, Foam, Gap, Choke 0.25mm

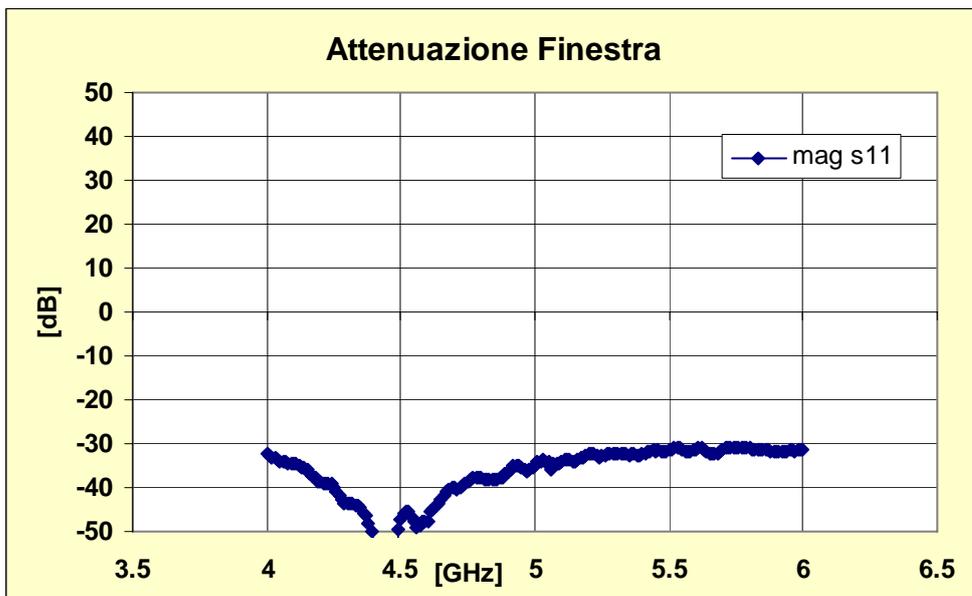


Figura 17: Return Loss misurato da TiLab, Finestra, Foam, Gap, Choke 0.25mm

### 3.4 Discussione misure di $|s_{21}|^2$ e di $|s_{11}|^2$ :

La misura di  $|s_{21}|^2$  mostra in un andamento fortemente increspato (“rippoloso”) che addirittura mostra valori positivi che chiaramente sono impossibili. Se si traccia, per ogni grafico, una ipotetica linea media dei valori di  $|s_{21}|^2$  (media mobile in frequenza) si ottengono attenuazioni dell’ordine dei 0.02 – 0.03 dB.

Tutte le misure sono state ripetute in condizioni di ripetibilità (smontato e rimontato il DUT, spento e riaccessi il VNA, ricalibrato il VNA, mossi poi stabilizzati i cavi), i pattern sono totalmente ripetibili; si presenta a volte un piccolo offset di (0.01 – 0.02 dB) sulla curva di attenuazione.

Le condizioni di riproducibilità sono di fatto il confronto fra i risultati delle misure effettuate da IRA e da TelecomItaliaLab.

Misure di  $|s_{21}|^2$ , non riportate in questo rapporto, condotte senza finestra e senza foam, mostrano in media un valore inferiore di circa 0.01 dB rispetto ai valori riportati nei grafici.

Nonostante l’errore residuo particolarmente alto, si può affermare il seguente budget delle attenuazioni:

- Attenuazione dovuta alla lunghezza del pezzo: 0.01 dB
- Foam + HR 500/2S 0.01 dB
- Perdita aggiuntiva per grande GAP senza choke  
Rispetto ad una situazione con choke e piccolo GAP 0.01 dB

La misura di  $|s_{11}|^2$  mostra un valore ottimale alla frequenza di circa 4.7 GHz.

È la frequenza alla quale il foam è lungo  $\lambda_g/2$ .

Compatibilmente con le esigenze di incollaggio e di tenuta meccanica, si suggerisce di realizzare cilindri in foam lunghi  $\lambda_g/2$  alla frequenza centrale.

Le misure eseguite da TiLab non presentano ondulazioni (ripple). Tali misure appaiono più credibili di quelle condotte presso i ns. laboratori. La ragione risiede nel fatto che il misuratore di reti utilizzato da TiLab (Agilent 8510) consente una totale “error correction” in fase di calibrazione mentre il misuratore di reti utilizzato da IRA (Agilent 8720) non consente la totale rimozione degli errori sistematici.

Si suggerisce l’up-grade della necessaria opzione affinché tali misure risultino possibili anche nei laboratori IRA.

### 3.5 Misure di Potenza irradiata dal GAP (spill-over)

Le misure di potenza irradiata dal Gap (spill-over) sono state condotte con il DUT alimentato da un lato, chiuso su carico adattato dall'altro. Il probe è costituito da una transizione WR187-coax, e sostenuto a mano, puntato verso il gap, a contatto con questo, e posizionato nella stessa polarizzazione di  $\vec{E}$  incidente.

Il rivelatore è uno Spectrum Analyzer con traccia in Max-hold.

Il generatore è uno sweeper con scansione rallentata per poter "essere visto" dallo S.A.

L'osservatore dovrebbe considerare il livello dell'involuppo dei seguenti grafici.

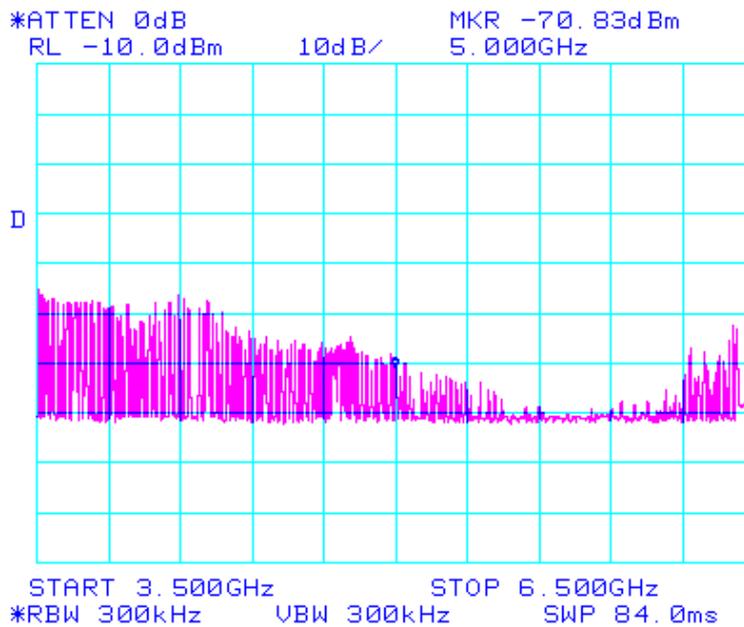


Figura 18: Spillover con choke e gap 0.25mm

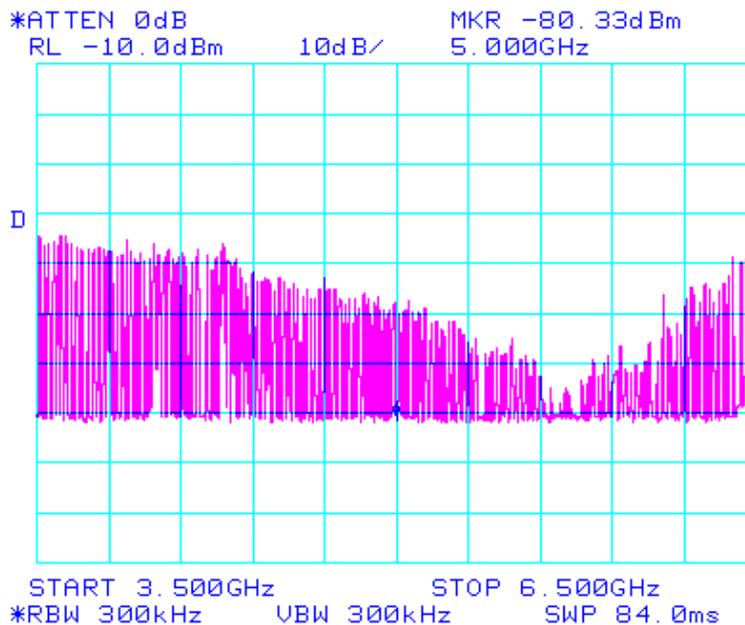
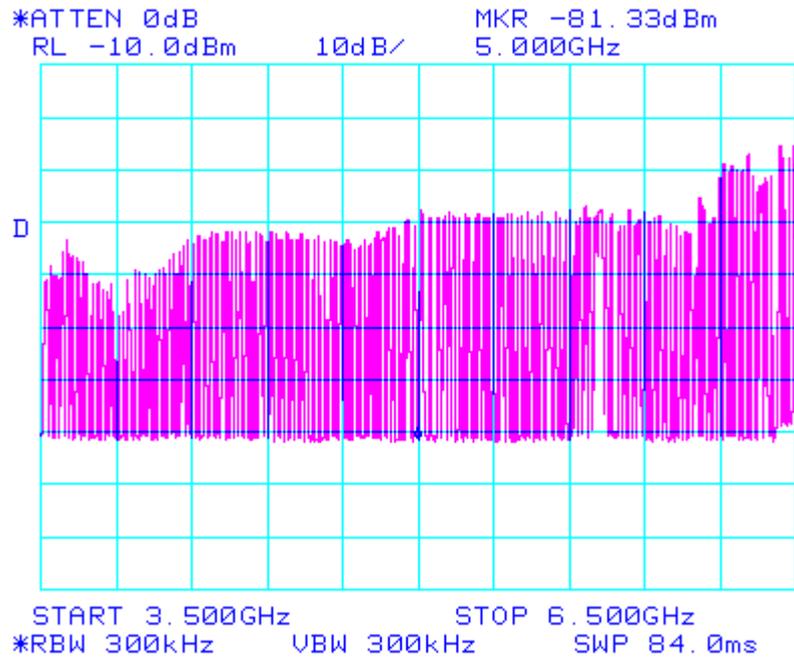
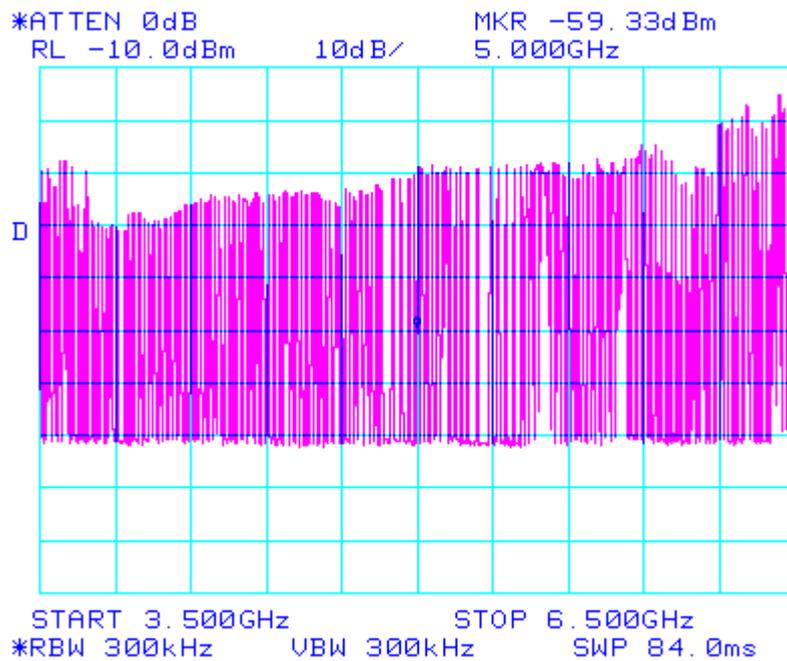


Figura 19: Spillover con choke e gap 0.5 mm



**Figura 20: spill-over senza choke (plain), gap 0.25mm**



**Figura 21: spill-over senza choke (plain), gap 0.5mm**

### **3.6 Discussione misura di spill-over:**

Il tipo di misura ha chiaramente solo un valore qualitativo.

Ciononostante il confronto fra i 4 grafici assume un valore quantitativo.

È evidente che quando la dimensione del GAP passa da 0.25 mm a 0.5 mm vengono irradiati ben 10 dB in più.

È evidente anche che a parità di dimensioni del GAP, la presenza del choke riduce la potenza irradiata di almeno 20 dB.

È evidente che il choke utilizzato è sintonizzato alla frequenza di circa 5.7 GHz, si suggerisce di “scalarlo” alla frequenza centrale (5 GHz).

## 4. Modellazione CAD

Presso IRA è a disposizione un CAD di simulazione “*Microwave Harmonica*” che permette di simulare attenuazione e coeff. di riflessione di una guida d’onda rettangolare.

Benché la propagazione guidata in guida rettangolare ( $TE_{10}$ ) sia formalmente diversa dalla propagazione guidata in guida circolare ( $TE_{11}$ ) si può pensare che ci possa essere una certa analogia fra i due modi di propagazione quando la guida rettangolare e circolare hanno lo stessa frequenza di taglio. In particolare l’effetto di dispersione è il medesimo, sono identiche le costanti di fase ( sfasamento/lunghezza) e le attenuazioni sono estremamente simili.

Si può supporre che per simulare riflessioni e attenuazione di un blocco dielettrico che riempie una guida circolare si possa eseguire la stessa simulazione per una guida rettangolare.

In base ai dati in ns. possesso, si è eseguita una simulazione di analisi di rete di un blocco di dielettrico riempiente una WG rettangolare con la stessa frequenza di taglio della guida circolare  $F=59.5 \text{ mm}$  ( 2.953 GHz); le dimensioni di tale guida sono:  $a=50.55 \text{ mm}$  ,  $b= 25.27 \text{ mm}$

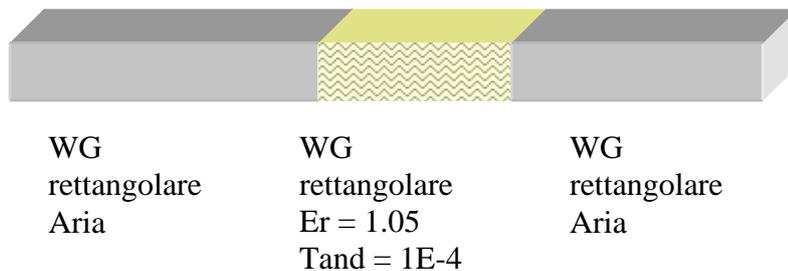


Figura 22: Elemento simulato

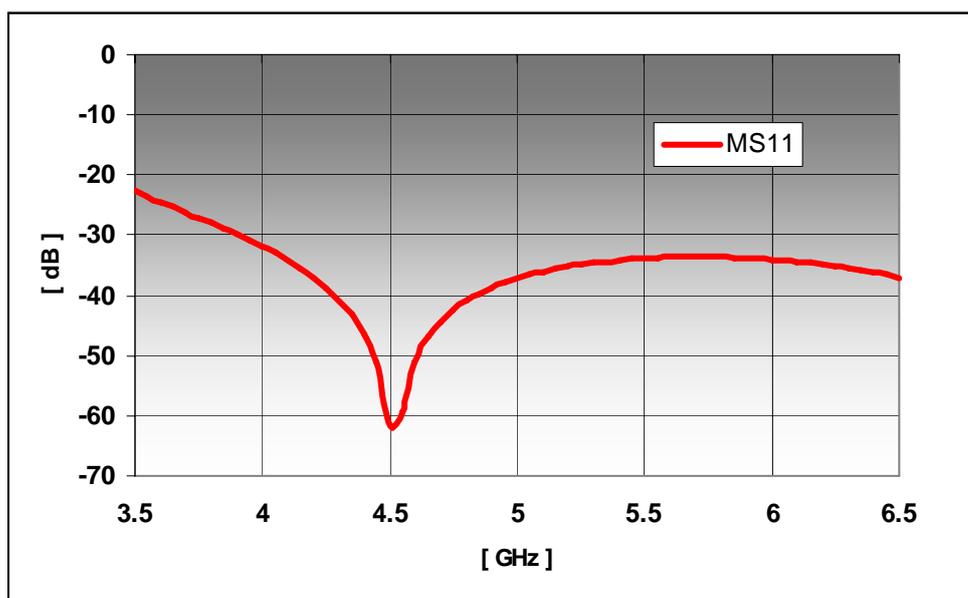


Figura 23: Simulazione di parallelepipedo di Styrodur

Come si può notare dal confronto fra il risultato della simulazione (fig. 23) è sorprendentemente simile al misurato (fig. 12, 13, 14, 15 e 16)

La stessa netlist di simulazione adottata per il caso precedente può essere utilizzata anche per simulare, in free-space, la riflessione ed attenuazione dissipativa della sottile finestra

Le perdite per riflessione dominano quantitativamente le perdite dissipative.  
Nel seguente grafico si riportano le perdite per riflessione di 3 materiali.

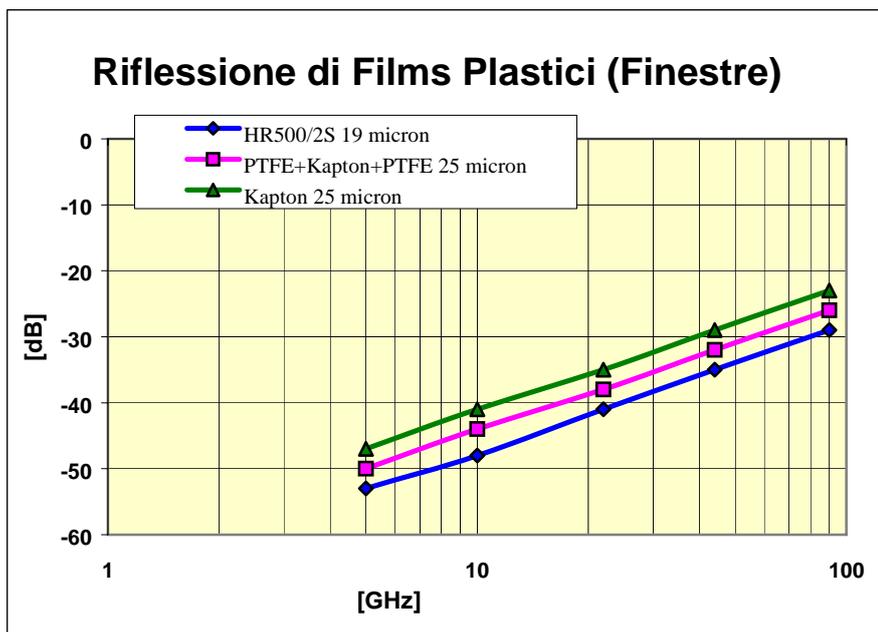


Figura 24: R.L. per riflessione di alcuni films plastici

Si può notare che fino alla frequenza 22 GHz l'utilizzo di una finestra di Kapton puro 25 $\mu$  non pregiudica il Return Loss se non per valori inferiori a - 35 dB.

## 5. Conclusioni

L'informazione che risulta è la seguente:

- L'effetto dissipativo del foam è trascurabile.
- L'effetto riflettivo del foam è minimo ma misurabile e prevedibile con un simulatore CAD economico.
- Se la lunghezza del foam è  $\lambda_g/2$ , il suo effetto può essere totalmente trascurato in tutto il range di frequenza (4.3 – 5.8 GHz) commettendo un errore minore di 100 ppm ( - 40 dB). Pertanto si può omettere di modellarlo nell'insieme "feed-system".
- L'effetto di 1 o 2 chokes, se sintonizzati in centro banda, hanno un effetto, sui parametri s, totalmente trascurabile in tutto il range di frequenza (4.3-5.8 GHz) ed il loro effetto non necessita di essere modellato nell'insieme "feed-system". La stessa potenza irradiata è minima. Nella realizzazione dei ricevitori, si suggerisce di utilizzare un gruppo finestra-gap con la presenza di chokes.
- La finestra ( il film HR-500/2S oppure Kapton 25  $\mu$ ) non presenta effetti riflettivi o dissipativi misurabili.

## 6. References

- [1]: “A STUDY OF MATERIALS FOR A BROADBAND MILLIMETER-WAVE QUASI-OPTICAL VACUUM WINDOW”, A.R. Kerr, N.J. Bailey, D.E. Boyd and N. Horner, N.R.A.O.
- [2] LESURF J. C. G.: “Millimetre-wave Optics, Devices and Systems ”. *Adam Hilger*
- [3] “KAPTON Polymide film SUMMARY OF PROPERTIES” (Depliant informativo di caratteristiche fisico – meccanico – chimico) , *Du Pont*