

Effetti della finestra da vuoto in Styrodur per ricevitori da fuoco secondario

L. Carbonaro, L. Cresci, R. Nesti, D. Panella

INAF-Arcetri Astrophysical Observatory, Largo E. Fermi 5, I-50125 Florence (Italy)

Arcetri Technical Report N° 4/2011
Firenze 2011



Sommario

Nel presente rapporto tecnico si evidenzia l'effetto che la finestra da vuoto produce sulle prestazioni dei ricevitori radio. Lo studio è focalizzato sui ricevitori da fuoco secondario impiegati in ambito radioastronomico, analizzando in particolare le variazioni del diagramma di radiazione di un feed a 22GHz, progettato per l'ottica Cassegrain del radiotelescopio di Medicina. Per questa applicazione, la finestra da vuoto è necessaria per garantire adeguato raffreddamento del front-end del ricevitore, alcune parti del quale sono tenute alla temperatura di circa 20K, altre, feed e finestra compresi, alla temperatura di circa 70K. Dei vari materiali che, stratificati, formano la finestra da vuoto, lo Styrodur è quello che, per spessore e permittività dielettrica, produce l'effetto dominante sul beam. I dati riportati sono derivati da misure dirette sul feed in assenza ed in presenza di Styrodur in prossimità della sua apertura.

1 Introduzione

Nei ricevitori criogenici per radioastronomia una parte importante e delicata è garantire trasparenza radio ed isolamento termico e meccanico ad una parte del criostato, detta finestra da vuoto. Questa ha il compito di essere trasparente al segnale radio da analizzare, permettendo adeguato accoppiamento fra il *feed* e gli specchi, filtrare la radiazione termica per non caricare eccessivamente il doppio stadio interno al criostato ed infine fornire elevata resistenza meccanica al carico generato dalla differenza di pressione tra ambiente esterno e vuoto interno.

Negli attuali *array* da piano focale, la finestra da vuoto presenta problematiche crescenti, legate essenzialmente alla maggiore superficie da coprire che, in alcune recenti applicazioni, sono dell'ordine dei 10dm².

In assenza di schermi, a tali dimensioni è associato un notevole ingresso termico dall'esterno, circa 15W, ed un carico sulla finestra di circa 10⁴N, come risultante di una pressione di circa 10N/cm² distribuita sulla superficie della finestra ed applicata sul suo strato più esterno, tipicamente costituito da Mylar [1].

Nella banda delle microonde il Mylar presenta buona trasparenza elettromagnetica ed elevata tenuta del vuoto per spessori tra i 20µm ed i 100µm: per questi tipi di applicazioni, spessori diversi fanno degradare sensibilmente o la trasparenza radio (> 100µm) o la resistenza meccanica (< 20µm)

Per finestre grandi non è tuttavia sufficiente solo il Mylar a garantire resistenza meccanica adeguata ma è richiesto un ulteriore supporto meccanico. La soluzione oggetto di questo studio prevede l'utilizzo di materiale poroso che, pur con scarsa tenuta ermetica, comunque garantita dal Mylar, presenta elevata trasparenza radio ed elevata resistenza meccanica; il materiale con queste caratteristiche è lo Styrodur [2], un tipo di polistirolo espanso ed estruso con pori fini, principalmente utilizzato come isolante termico per l'edilizia. L'adozione di questa soluzione contribuisce inoltre ad evitare che la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno del ricevitore faccia condensare l'umidità dell'aria sulla finestra rendendola praticamente opaca alle frequenze radio.

2 Caratterizzazione elettromagnetica del dielettrico

L'esigenza di installare a Medicina [3] un ricevitore criogenico *multifeed* a 22GHz in sostituzione dell'attuale versione a 7 elementi [4], attualmente in fase di test e destinato ad operare nel nuovo *Sardinia Radio Telescope* (SRT) [5], ha consentito di replicare le parti del ricevitore migliorandone gli aspetti critici evidenziati nel periodo di prova. Una di queste riguarda la deformazione del disco di Styrodur (Fig. 1) che, a causa del carico dovuto al differenziale di pressione tra interno ed esterno del criostato, si è incurvato nella parte superiore ed inferiore ed è stato su quest'ultima anche parzialmente estruso in corrispondenza di 7 fori circolari, ricavati sulla piastra metallica di supporto dello Styrodur per evitare l'oscuramento dei 7 *feed* del *front-end* del ricevitore.

Per ovviare a questo problema, la soluzione adottata nel nuovo ricevitore a 2 *feed* prevede l'utilizzo di due finestre separate, una per ciascun *feed*, a forma di tronco di cono rovesciato, in maniera da ridurre il carico e distribuire la reazione vincolare sullo Styrodur in maniera più omogenea e meno critica. In Fig. 2 è riportato il disegno della sezione di *front-end* del ricevitore all'interno del criostato, con la parte di Styrodur ed il relativo supporto conico in evidenza per quanto riguarda la finestra.



Fig. 1: Lato inferiore del supporto di Styrodur della finestra da vuoto del ricevitore *Multifeed* a 22GHz dopo circa 2 anni di lavoro.

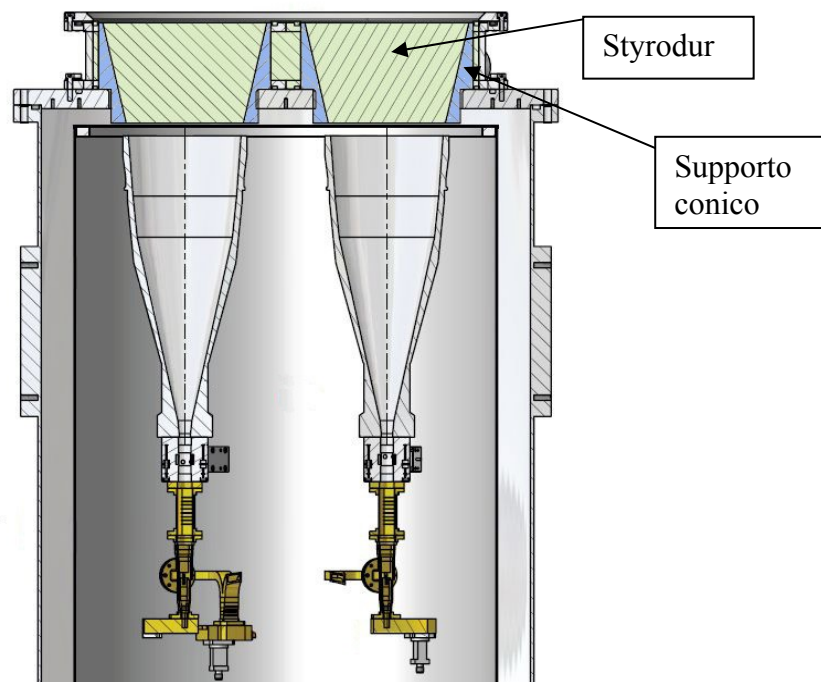


Fig. 2: Disegno del *front-end* del ricevitore a 2 *feed* a 22GHz.

Le proprietà elettriche dello Styrodur sono molto importanti per garantire la trasparenza radio della finestra. Tramite misure di laboratorio si è pertanto deciso di caratterizzare la costante dielettrica relativa (ϵ_r) e la tangente di perdita ($\tan\delta$) dello Styrodur. Tali parametri sono infatti ricavabili con buona accuratezza dall'analisi di misure comparative dei coefficienti di diffusione (*scattering*) di una guida rettangolare prima vuota e successivamente riempita di Styrodur. Sulla base infatti del modello teorico di propagazione guidata è possibile ricavare le proprietà elettriche del dielettrico minimizzando lo scarto tra analisi teorica e misure elettromagnetiche [6].

I dispositivi di misura sono riportati in Fig. 3. I dielettrici utilizzati sono lo Styrodur 3035 e 5000. Mediante lo strumento di misura, l'analizzatore vettoriale Anritsu 37277C, sono stati misurati direttamente, mediante una calibrazione in standard rettangolare WR42, i coefficienti di *scattering* sia della guida in aria che della guida riempita di dielettrico nella banda 18-26GHz. La guida in aria è stata misurata due volte, una all'inizio ed una alla fine, per verificare eventuali *drift* di misura.

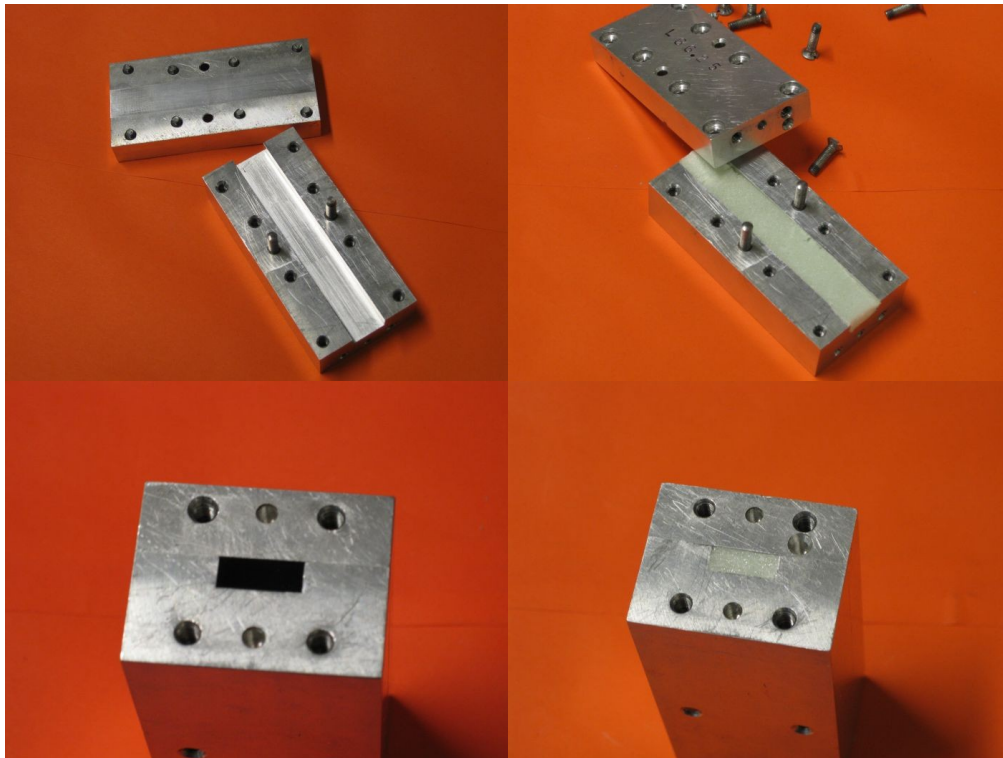


Fig. 3: Dispositivi utilizzati per i test di caratterizzazione del dielettrico: guida vuota (a sinistra) e con dielettrico (a destra)

Le misure effettuate sono riportate nei grafici di Fig. 4, 5. Dal grafico di Fig. 4 si nota come non si apprezzano differenze tra i livelli di trasmissione in guida d'onda vuota o riempita di dielettrico, indice di valori molto bassi di $\tan \delta$.

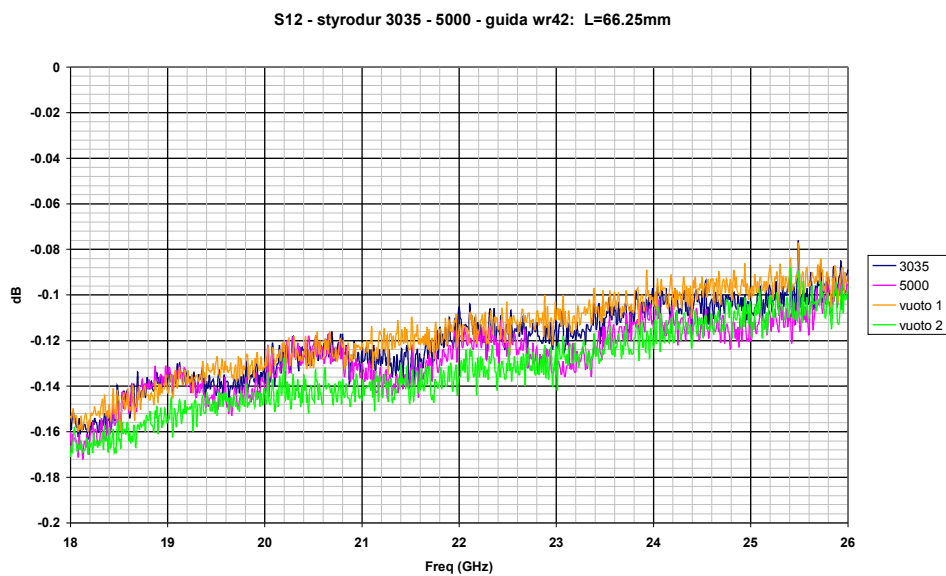


Fig. 4: Coefficiente di trasmissione della guida rettangolare WR42 nei 4 casi: inizio e fine (vuoto 1, 2) e con dielettrico Styrodur (3035, 5000);

Diversamente, dal grafico di Fig. 5 si nota una sostanziale differenza fra le misure con e senza dielettrico; mentre quest'ultime presentano un coefficiente di riflessione inferiore a -40dB (che può essere considerato il limite di misura), le curve relative ai casi con dielettrico, in cui si riesce ad apprezzare la differenza dovuta alla differente densità fra i due dielettrici, mostrano il tipico andamento delle finestre dielettriche con spessore di qualche lunghezza d'onda, evidenziando un *return loss* meglio di 23dB per il 5000 e meglio di 26dB per il 3035.

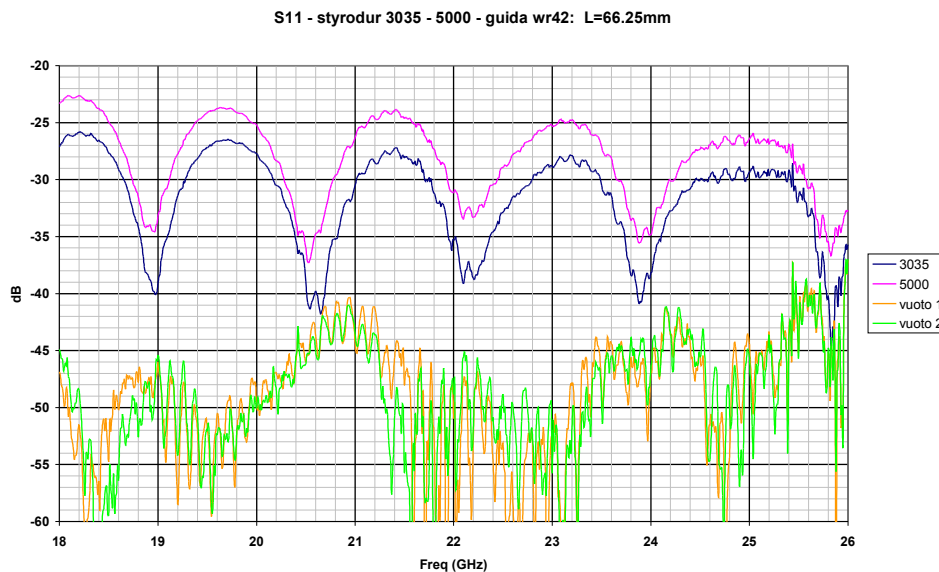


Fig. 5: Coefficiente di riflessione della guida rettangolare WR42 nei 4 casi: inizio e fine (vuoto 1, 2) con dielettrico Styrodur (3035, 5000);.

Da tali misure è stato possibile ricavare le caratteristiche elettriche dei due tipi di Styrodur, riportati in Tabella I insieme ad analoghi dati ricavati per il Mylar. Tali caratterizzazioni sono state fatte nella banda 18-26GHz ove sono state assunte uniformi sia la costante dielettrica sia la tangente di perdita.

TABELLA I

Materiale	Proprietà elettriche	
	ϵ_r	$\tan\delta \cdot 10^2$
Mylar	3.5	8.0
Styrodur 3035CS	1.05	0.003
Styrodur 5000CS	1.07	0.003

3 Misure del lobo di radiazione del feed

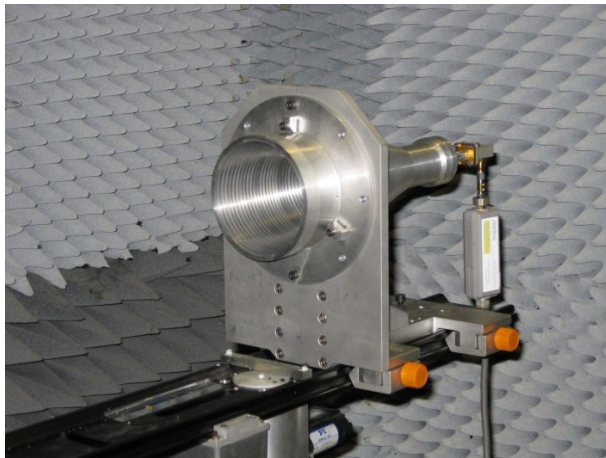
Per il ricevitore a 2 *feed* a 22GHz per Medicina sono state progettate due finestre identiche e separate, una per ciascun *feed*, come mostrato nel disegno in sezione di Fig. 2. Per ciascuna finestra è evidenziata la parte interessata allo Styrodur ed il relativo supporto conico in alluminio.

In fase di test sul diagramma di radiazione, effettuato in camera anecoica (Fig. 6), sono state considerate due configurazioni: *feed* senza finestra (Fig. 6a) e *feed* con la riproduzione fedele della finestra progettata per il 2 *feed* (Fig. 6a).

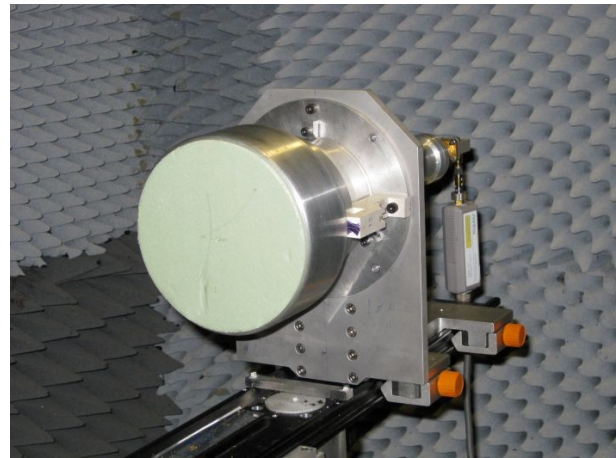
I test elettromagnetici sul diagramma di radiazione in banda K sono stati eseguiti sui due piani principali.

I grafici delle misure dei lobi di radiazione del *feed* alle frequenze di 19, 22 e 25GHz sono riportati nelle Figg. 7-10.

Dai dati si può evidenziare come l'effetto di tale finestra sia trascurabile nel caso del lobo principale ed in genere fino a livelli di circa -20dB sotto il massimo.



a)



b)

Fig. 6: Test del *Feed* a 22GHz: senza finestra a); con finestra di Styrodur di spessore 90mm e supporto di alluminio b)

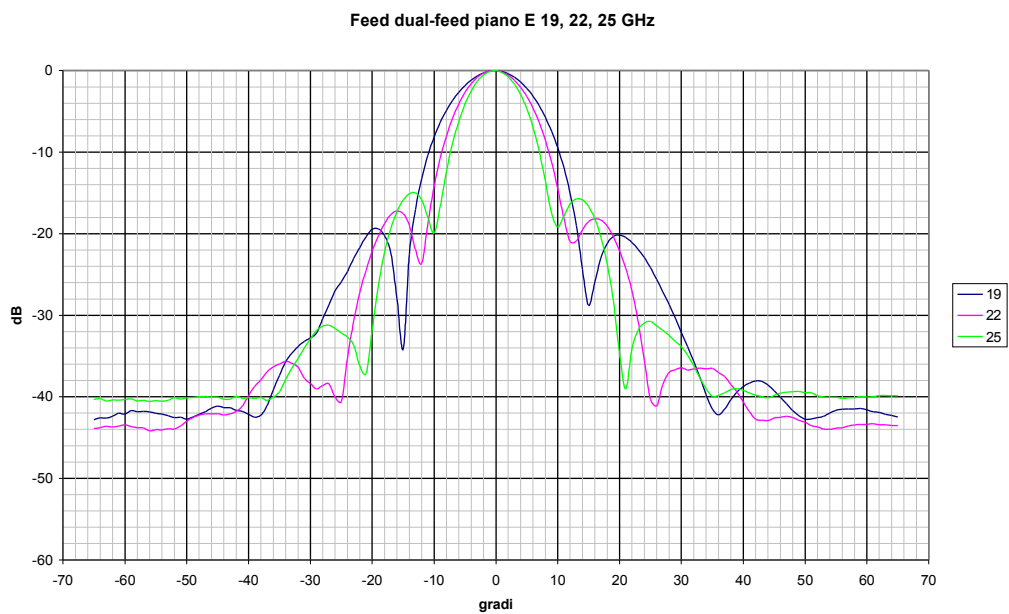


Fig. 7: Misure del diagramma di radiazione sul piano E del *feed* senza finestra

Feed dual-feed piano E 19, 22, 25 GHz - finestra styrodur

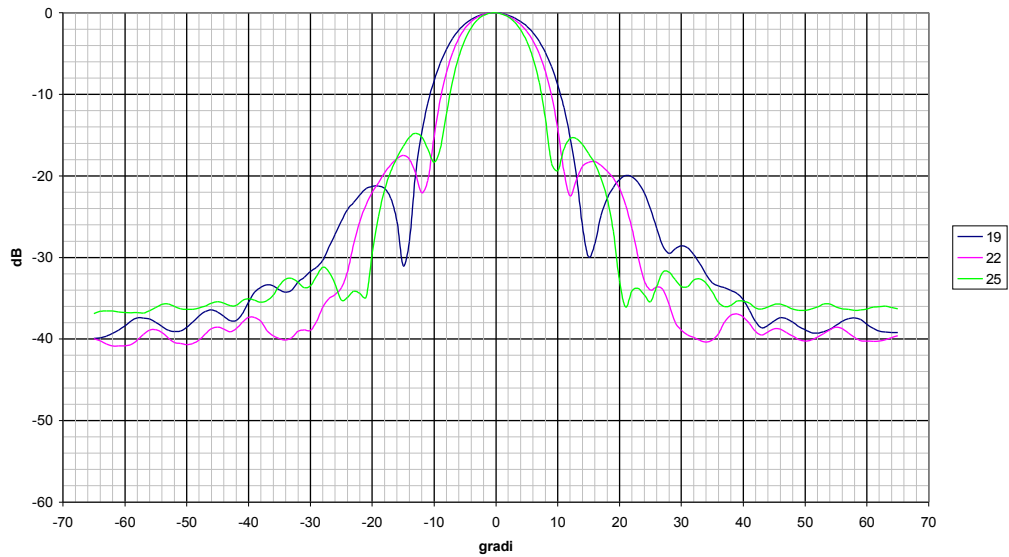


Fig. 8: Misure del diagramma di radiazione sul piano E del *feed* con finestra

Feed dual-feed piano H 19, 22, 25 GHz

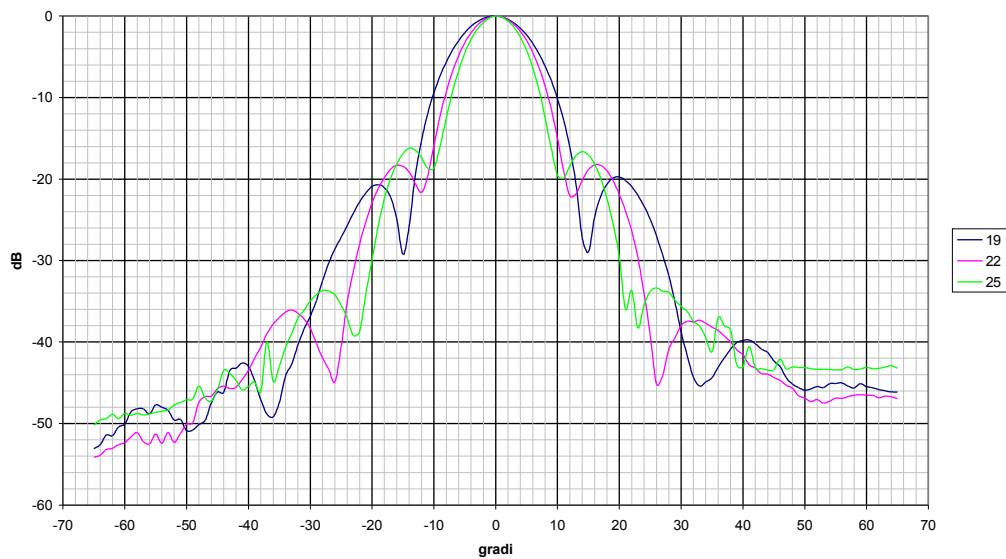


Fig. 9: Misure del diagramma di radiazione sul piano H del *feed* senza finestra

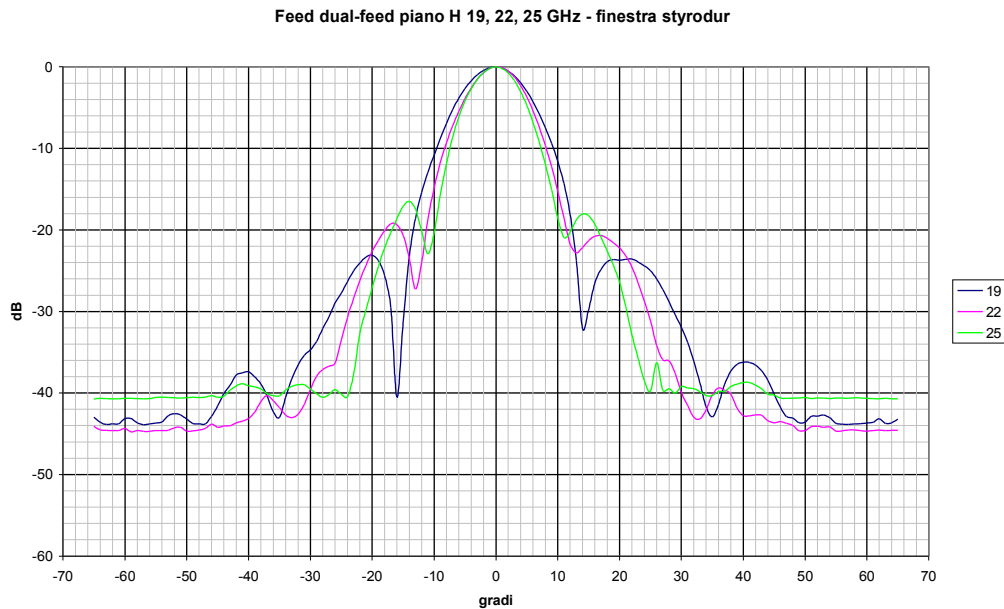


Fig. 10: Misure del diagramma di radiazione sul piano H del *feed* a 22GHz con finestra

4 Test di trasparenza dello Styrodur

Per avere informazioni dirette sulla trasparenza dello Styrodur a radiofrequenza in condizioni operative sono state fatte delle misure in camera anecoica (Fig. 11).



Fig. 11: Test di trasparenza dello Styrodur a 22GHz: lastra di Styrodur di fronte al *feed* ricevente in camera anecoica.

I dati raccolti, relativi a misure della potenza ricevuta nella banda 18-26GHz sul collegamento tra i due *feed* in presenza di lastre di Styrodur con spessori compresi fra 30mm e 100mm, sono stati confrontati con l'analoga misura in assenza di ostacoli; le differenze con quest'ultima configurazione sono riportate in Fig. 12.

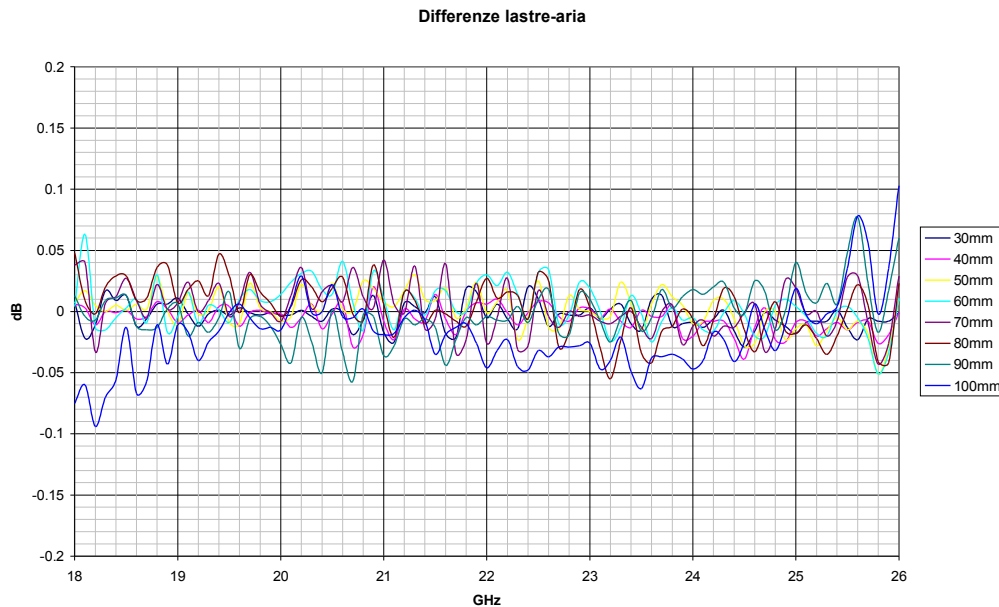


Fig. 12: Differenziale di potenza dovuto alla presenza di lastre di Styrodur sul collegamento tra due *feed*.

Dai grafici si può notare una variazione rispetto allo zero caratterizzata da picchi, essenzialmente simmetrici, dell'ordine di 0.05dB, che evidenziano il fenomeno dell'onda stazionaria come effetto prevalente rispetto all'assorbimento, stimato essere al massimo un ordine di grandezza inferiore su tutta la banda e per ogni spessore.

Per evitare problemi legati a *drift* strumentali ed a disallineamenti tra i *feed*, ogni misura con Styrodur è stata preceduta o seguita da una senza, in maniera da minimizzare il numero di misure complessive. La risultante sequenza delle misure è riportata in Tabella II.

TABELLA II

N. Misura	Materiale e spessore	N. Misura	Materiale e spessore
1)	Aria	8)	Styrodur 70mm
2)	Styrodur 30mm	9)	Styrodur 80mm
3)	Styrodur 40mm	10)	Aria
4)	Aria	11)	Styrodur 90mm
5)	Styrodur 50mm	12)	Styrodur 100mm
6)	Styrodur 60mm	13)	Aria
7)	Aria		

I vari spessori sono stati ottenuti utilizzando combinazioni di pannelli di Styrodur di 30mm, 40mm e 50mm.

5 Test di valutazione degli effetti della finestra conica sul feed

La stessa configurazione utilizzata in uno dei paragrafi precedenti per la misura dei diagrammi di radiazione (Fig. 6) è stata utilizzata per valutare direttamente la trasparenza della finestra. Come nel paragrafo precedente relativo allo studio della trasparenza dello Styrodur, ci si è limitati a fare delle misure di potenza ricevuta nel collegamento tra *feed*, relazionando in maniera differenziale quattro misure, relative ad altrettante configurazioni del sistema ricevente: tali configurazioni sono nell'ordine il solo *feed* (Fig. 13 in alto a sinistra), il *feed* con il solo supporto conico in alluminio (Fig. 13 in alto a destra), il *feed* con supporto conico in alluminio riempito parzialmente con Styrodur per uno spessore di 40mm (Fig. 13 in basso a sinistra) ed infine il *feed* con supporto conico in alluminio riempito completamente (90mm di spessore) con Styrodur (Fig. 13 in basso a destra).

Durante la misura, le parti metalliche di supporto (binario e montatura del *feed* ricevente) sono stati opportunamente coperti con materiale assorbente per minimizzare disturbi dovuti a riflessioni spurie.

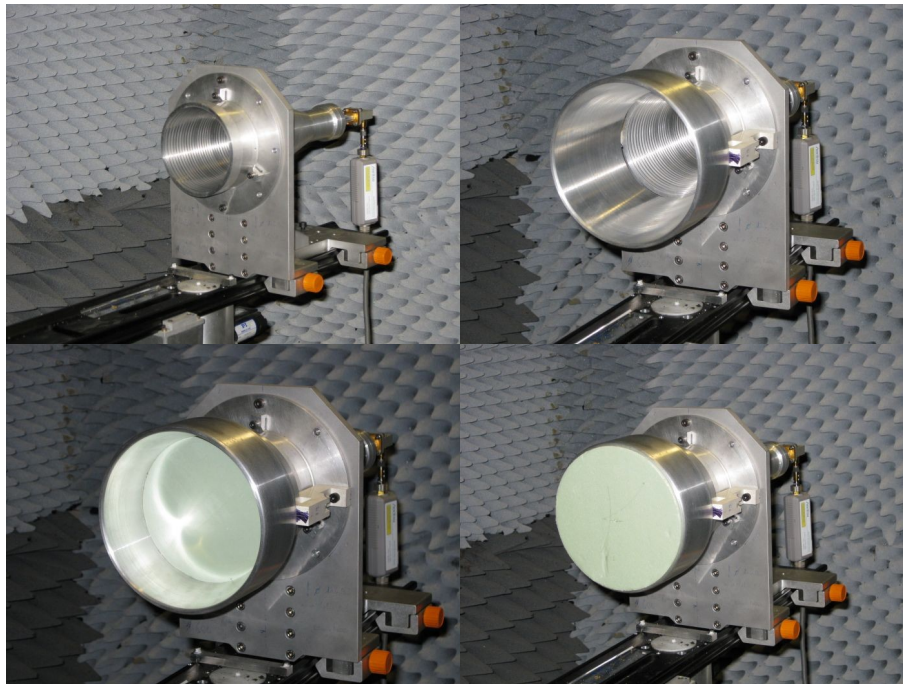


Fig. 13: Configurazioni in ricezione per la valutazione degli effetti della finestra.

Nelle operazioni di posizionamento delle parti di interesse, come il supporto conico in alluminio della finestra e lo Styrodur, si è cercato di minimizzare spostamenti relativi fra i *feed* in trasmissione e ricezione. Per evidenziare gli effetti di questo errore meccanico, la misura del solo *feed*, effettuata per prima, è stata ripetuta alla fine ed i risultati confrontati nel grafico di Fig. 14.

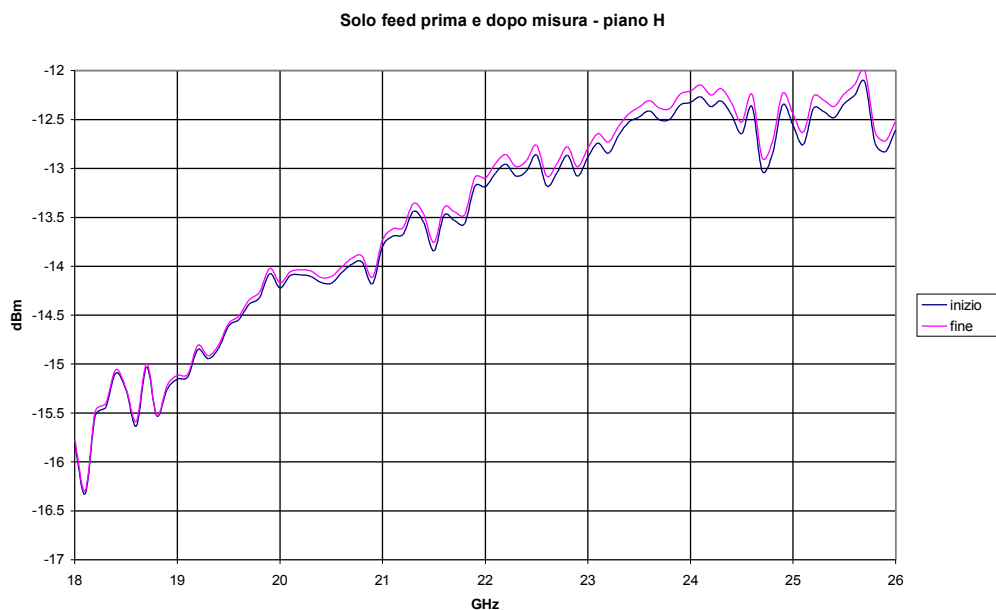


Fig. 14: Confronto in banda tra la potenza ricevuta all'inizio ed alla fine dei test. Il piano H è il piano orizzontale

Le tre misure differenziali delle quattro configurazioni (la prima misura del solo *feed* è il riferimento) sono riportate nei grafici di Fig. 15.

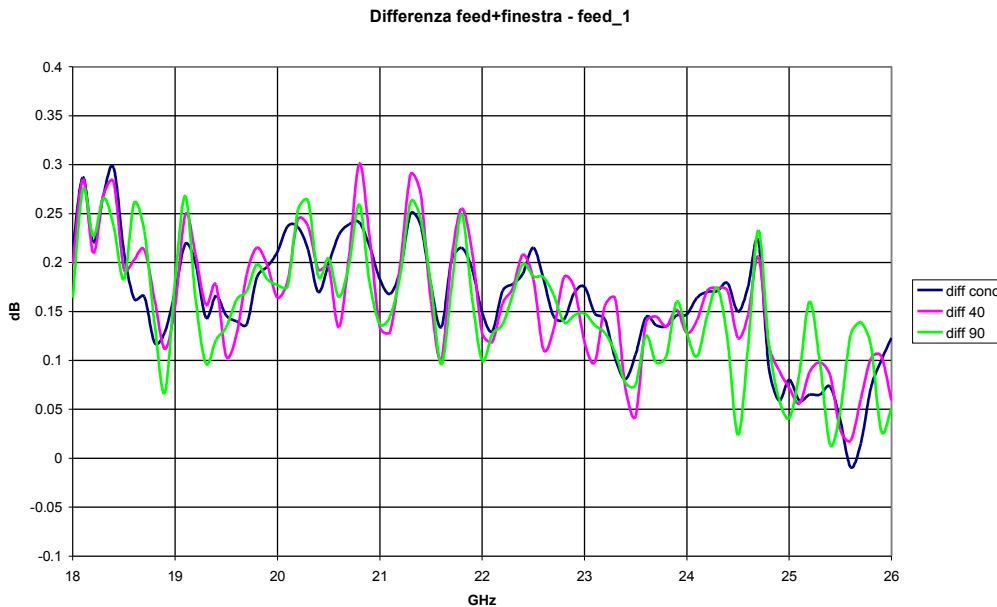


Fig. 15: Confronto in banda tra le misure differenziali di potenza ricevuta nelle diverse condizioni di carico dell'apertura del *feed*. La misura del *feed* non caricato (assenza di supporto conico e Styrodur) è il riferimento.

Si può osservare l'effetto dell'allargamento dell'apertura equivalente del *feed*, nell'aumento del guadagno medio che cresce verso le basse frequenze fino a valori di 0.3dB. Si notano anche gli effetti dell'onda stazionaria nei *ripple* che presentano massimi e minimi localizzati alle stesse frequenze, ad evidenza della predominanza dell'effetto flangia della finestra conica in alluminio sulla variazione di costante dielettrica relativa della zona occupata dallo Styrodur. L'effetto onda stazionaria si apprezza meglio nei grafici di Fig. 16, in cui sono confrontati i differenziali di potenza ricevuta, rispetto alla situazione di carico con il solo supporto conico, relativi a Styrodur di diverso spessore.

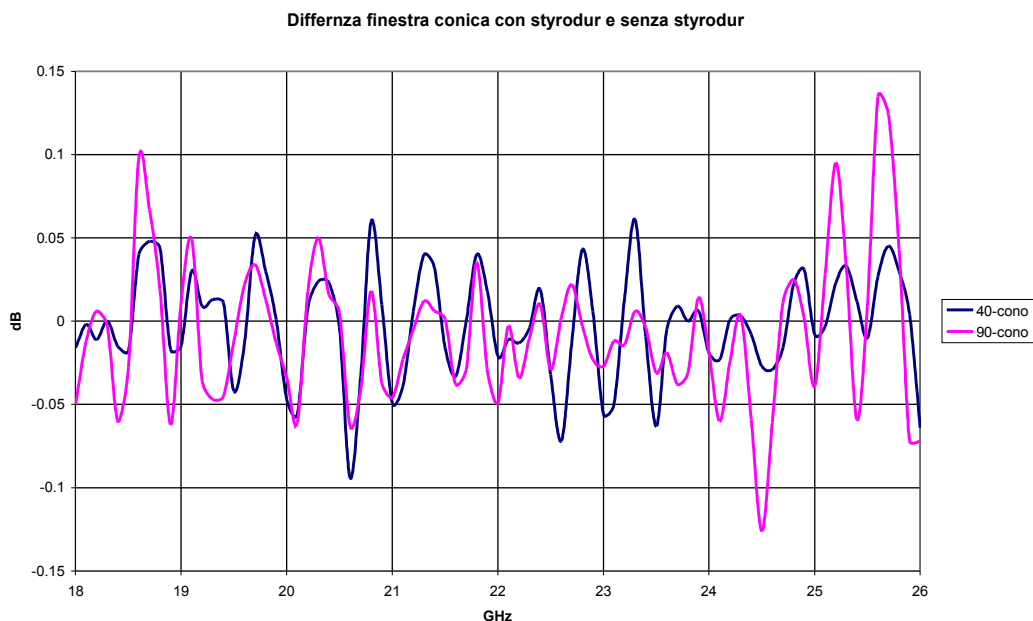


Fig. 16: Confronto in banda tra le misure differenziali di potenza ricevuta nelle diverse condizioni di carico dell'apertura del *feed*. La misura del *feed* con il solo supporto conico è il riferimento.

6 Valutazione degli effetti della finestra sul return loss del feed

Le stesse misure differenziali del paragrafo precedente sono state ripetute per valutare gli effetti della finestra sul *return loss* del *feed*. Rispetto alla misura del *pattern*, data la minor criticità della misura del *return loss* relativamente a diffusi ambientali spurie, il *setup* è stato predisposto nel laboratorio per maggior comodità d'accesso agli strumenti di misura (Fig. 17).

Dai risultati riportati in Fig. 18 si nota come il solo supporto conico non modifichi apprezzabilmente il *return loss* del *feed*, diversamente dai diversi spessori di Styrodur che influenzano sensibilmente tale parametro.

Nella misura del *return loss* del *feed* è incluso anche l'effetto della transizione tra la guida rettangolare WR42, standard con cui è stato calibrato lo strumento, e la guida circolare di alimentazione del *feed*. Tali effetti sono predominanti sulle prestazioni del *feed* soprattutto nella parte inferiore della banda.

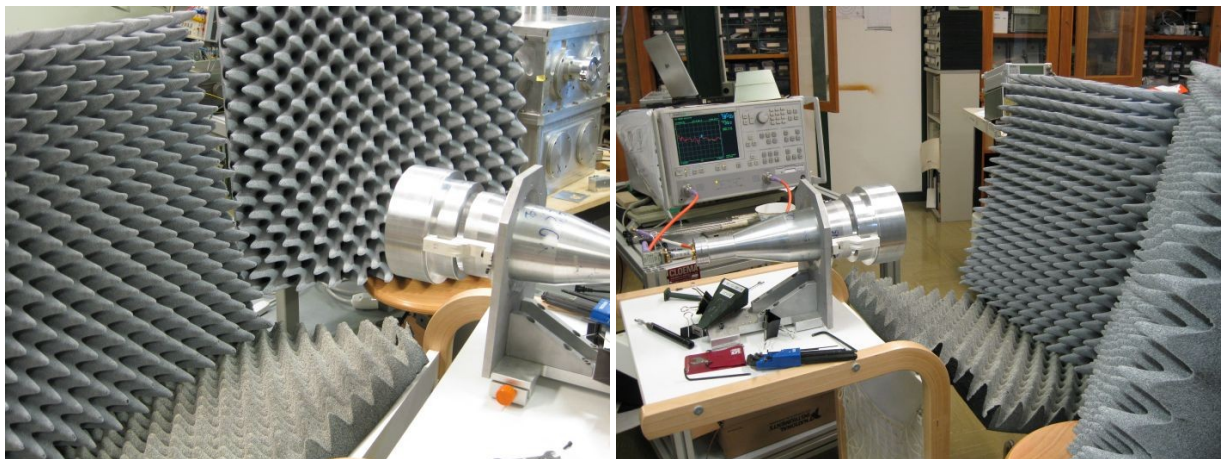


Fig. 17: Setup di misura per la valutazione degli effetti della finestra sul *return loss* del *feed*

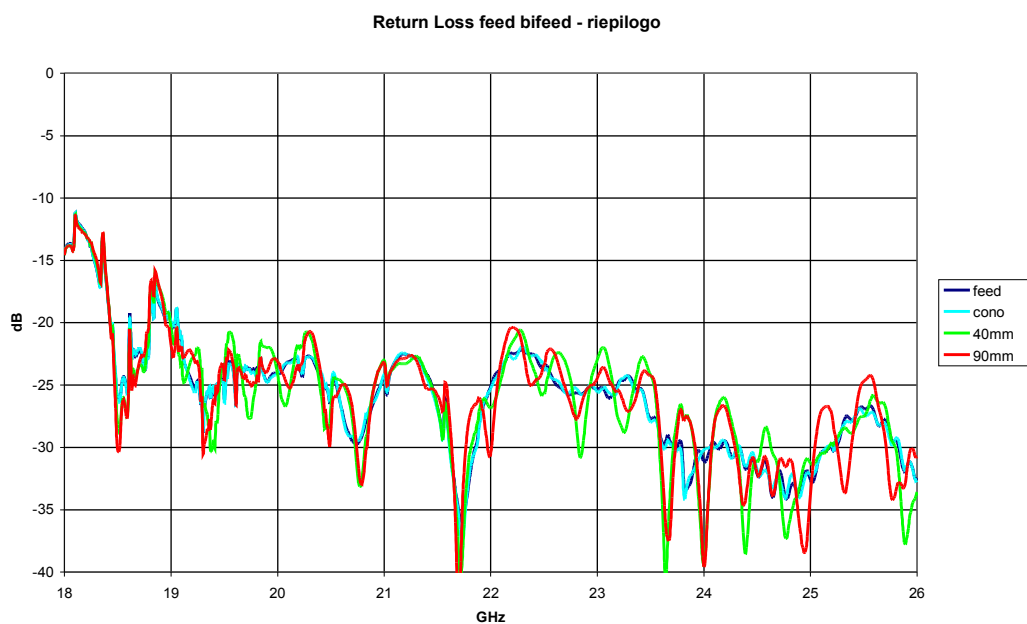


Fig. 18: Misura del coefficiente di riflessione del *feed* con l'apertura radiante diversamente caricata



7 Conclusioni

Possiamo concludere che la finestra conica può introdurre un leggero aumento del guadagno del *feed*, con conseguente diminuzione della larghezza del *beam*, ma non ne influenza apprezzabilmente la trasmissione ed il *return loss*. L'inserimento dello Styrodur di 90mm, come supporto meccanico e filtro termico della finestra, non degrada le prestazioni del ricevitore. È stato evidenziato come la finestra produca differenze sul *return loss* del *feed*, senza tuttavia addurvi apprezzabili effetti negativi sulle prestazioni, introducendo un'attenuazione di circa 0.05 dB, che, alla temperatura operativa di circa 300K, equivale a circa 3K di incremento di temperatura di rumore.

Si ritiene perciò tale soluzione adeguata per la costruzione della finestra da vuoto per il ricevitore criogenico a 2 *feed* nella banda 18-26GHz.

Bibliografia

- [1] http://usa.dupontteijinfilms.com/informationcenter/downloads/Physical_&_Thermal_Properties.pdf
- [2] https://www.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/downloads/IT/Styrodur_Dati_tecnici.pdf
- [3] <http://www.med.ira.inaf.it/>
- [4] A. Orfei, L. Carbonaro, A. Cattani, A. Cremonini, L. Cresci, F. Fiocchi, A. Maccaferri, G. Maccaferri, S. Mariotti, J. Monari, M. Morsiani, V. Natale, R. Nesti, D. Panella, M. Poloni, J. Roda, A. Scalambra, G. Tofani, "A Multi-Feed Receiver in the 18 to 26.5GHz Band for Radio Astronomy," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 52, 4, pp 62-72, Aug. 2010.
- [5] <http://www.srt.inaf.it/>
- [6] L. Carbonaro, L. Cresci, R. Nesti, D. Panella, "Caratterizzazione di Finestre da Vuoto e Radome," Arcetri Technical Report n. 3/2011, Firenze, Jan. 2011.