PROGETTO, REALIZZAZIONE E MISURA DI UNO SPECCHIO DICROICO IN BANDA S E X PER L'ANTENNA DI TERRA DELLA MISSIONE ROSETTA

P. Besso(1), M. Bozzi(2), R. Maddé(1), L. Perregrini(2), L. Salghetti Drioli(3)

(1) European Space Agency, ESOC, Bosch Strasse 5, 64293 Darmstadt (Germany)
(2) Università di Pavia, Dipartimento di Elettronica, Via Ferrata 1, 27100 Pavia
(3) Telecom Italia Lab (TILAB), Via Reiss Romoli 274, 10148 Torino

m.bozzi@ele.unipv.it, l.perregrini@ele.unipv.it

Abstract

This paper presents the design, fabrication, and testing of a dichroic mirror to be operated in the deep space antenna of the European Space Agency in Perth, Australia. The dichroic mirror is designed for combining the signals in the S- and X-band in the beam-waveguide feeding system of the 35 m reflector antenna. The final design consists in a thick metal plate of 2.5 m in diameter, perforated periodically by cross-shaped holes with rounded corners. The design of such a structure required a trade-off between electrical, mechanical, and technological constraints. The design and testing of the mirror are reported in this paper.

INTRODUZIONE

Le antenne ad elevato guadagno utilizzate per il controllo di missioni spaziali sono solitamente del tipo a doppio riflettore, alimentate attraverso un sistema quasi ottico (*beam waveguide*, BWG, Fig. 1) [1,2].

La nuova antenna in configurazione Casse–grain dell'European Space Operations Centre (ESOC) in fase di ultimazione a New Norcia (presso Perth, Australia) funzionante in banda S e X e con un riflettore primario dal diametro di 35 m è una delle più grandi al mondo e sarà utilizzata per la telemetria e il telecomando di future missioni quali Rosetta e Mars Express. Il sistema di alimentazione BWG dell'antenna è mostrato schematicamente in Fig. 1 e include tre riflettori curvi e quattro specchi piani. In particolare, lo specchio M2 è una superficie dicroica progettata per trasmettere la banda X e riflettere la banda S, mentre lo specchio M1 dovrà essere progettato per trasmettere la banda Ka e riflettere le bande S e X nel momento in cui si decidesse di aggiungere un trasmettitore/ricevitore in banda Ka.

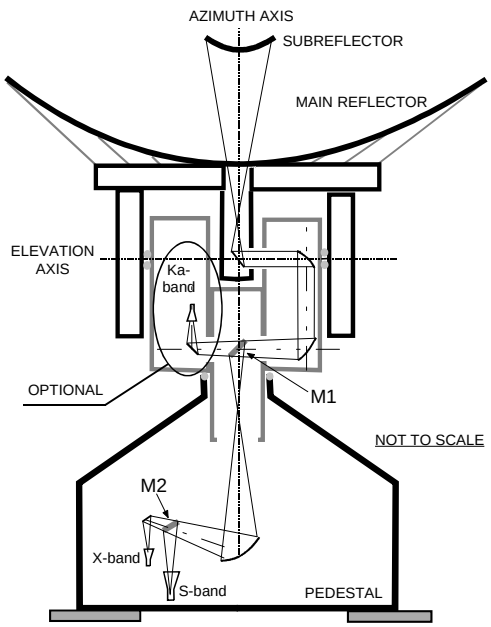

Fig. 1 – Schema del sistema di ali–mentazione dell'antenna

In questo lavoro si presenta il progetto dello specchio dicroico M2 operante in banda S e X,

si discutono i problemi tecnologici legati alla sua realizzazione e si riportano i risultati di misura.

SPECIFICHE DI PROGETTO

Lo specchio dicroico deve soddisfare specifiche stringenti sia di tipo elettrico che di tipo meccanico. In particolare, lo specchio deve operare in doppia polarizzazione circolare, deve riflettere completamente in banda S (2.025-2.3 GHz) e presentare una bassa perdita di inserzione in due sottobande nella banda X (7.145-7.235 GHz per la trasmissione e 8.4-8.5 GHz per la ricezione). A causa dei piccoli segnali ricevuti, questa specifica è particolarmente critica nella banda di ricezione. Inoltre, il contributo di polarizzazione incrociata introdotto dal dicroico deve essere inferiore a -25 dB in entrambe le bande per non compromettere le prestazioni complessive dell'antenna.
L'angolo di incidenza dell'onda sul dicroico è di 30°. Tuttavia, considerando l'angolo sotto cui il dicroico viene visto dall'antenna trasmittente, le suddette specifiche devono essere soddisfatte per un angolo di incidenza 30° ± 5°.
Oltre a queste specifiche, nel progetto del dicroico bisogna anche tenere conto di alcuni problemi di tipo meccanico. In particolare, lo specchio è di grandi dimensioni (un disco con un diametro di 2.5 m e un'area perforata di 1.4 m per 1.2 m) e deve essere montato in posizione inclinata di 30° rispetto alla posizione orizzontale. Pertanto, l'effetto della gravità può causare una flessione del dicroico che deve essere calcolato mediante un'analisi meccanica e tenuto in conto nella valutazione delle prestazioni complessive dell'antenna.

PROGETTO, FABBRICAZIONE E MISURA DELLO SPECCHIO DICROICO

Per soddisfare le specifiche elettriche e quelle meccaniche (soprattutto in termini di rigidità), si è deciso di considerare una singola lastra metallica spessa, perforata periodicamente con aperture. Per il progetto di simili strutture in passato sono state considerate aperture di diversa forma (rettangolare [3], circolare [4], Pyle [5] e a croce [6]). Poiché per evitare l'insorgere di lobi secondari è necessario che i fori siano il più vicino possibile, l'analisi si è concentrata su due possibili strutture, una con fori rettangolari e l'altra con fori a forma di croce.
Per la fabbricazione di una struttura di così grandi dimensioni le tecniche disponibili sono essenzialmente due: la fresatura e il taglio ad acqua. Entrambe le tecniche introducono arrotondamenti nella forma delle aperture che devono essere accuratamente tenuti in conto nell'analisi elettromagnetica, poiché essi possono influenzare in maniera significativa la risposta in frequenza del dicroico [7]. Per selezionare la tecnica più adatta, sono stati costruiti alcuni prototipi con entrambe le tecniche e alla fine si è deciso di utilizzare la tecnica di fresatura, che garantisce un buon compromesso fra accuratezza e costo di realizzazione.
L'analisi elettromagnetica si è avvalsa di un codice che implementa il metodo MoM/BI–RME, il quale si basa sull'ipotesi di schiera infinita ed è in grado di considerare aperture di forma arbitraria [8]. Questo codice è stato inserito in una procedura di ottimizzazione che tiene in conto non solo delle specifiche elettriche ma anche di restrizioni di tipo meccanico, quali il raggio minimo ammesso per gli spigoli (2 mm) e la spaziatura minima fra gli elementi (0.5 mm).

Il confronto fra i risultati ottenuti con la struttura a buchi rettangolari e quella con i fori a croce ha evidenziato come entrambe le soluzioni soddisfino le specifiche in banda S. Per quanto riguarda la banda X, le prestazioni del dicroico con i fori a croce sono risultate migliori, soprattutto per quanto riguarda la polarizzazione incrociata. In particolare, si è visto che nel caso di fori rettangolari le prestazioni si deteriorano quando si considerano angoli diversi dall'angolo di incidenza nominale (30°), mentre esse sono praticamente costanti nel caso di fori a croce.
Si è pertanto deciso di fabbricare con la tecnica di fresatura la struttura perforata periodicamente con fori a forma di croce (Fig. 2), utilizzando una spessa lastra di alluminio (Al 7022–Certal). Dapprima la lastra è stata assottigliata fino allo spessore desiderato (circa 28 mm) con una tecnica di lappatura. Successivamente essa è stata forata con una punta di diametro 6 mm per definire la griglia e la forma dei fori. Quindi ogni foro è stato rifinito con una punta più sottile. La fresa ha lavorato a ciclo continuo per un mese.
Maggiori dettagli sul progetto e sull'impatto delle prestazioni del dicroico sulle prestazioni dell'intera antenna sono riportati in [9].
Le prestazioni del dicroico sono state misurate in camera anecoica (Fig. 2), utilizzando come trasmittente l'antenna a tromba corrugata che verrà utilizzata nell'antenna di Perth. In Fig. 3 sono riportate le misure del coefficiente di riflessione in banda X per un campo incidente con polarizzazione di tipo TE o TM. L'accordo tra le simulazioni e le misure è eccellente.

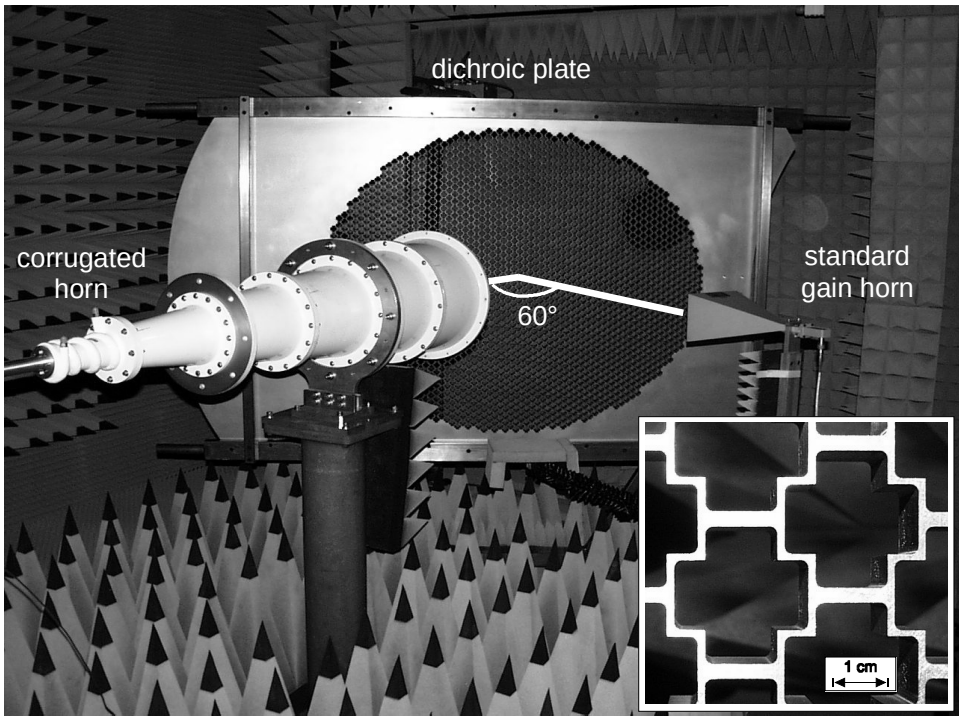

Fig. 2 – Fotografia del dicroico sotto misura in camera anecoica. Nel dettaglio che mostra la forma delle aperture si possono apprezzare gli arrotondamenti degli spigoli dovuti al processo di fabbricazione.

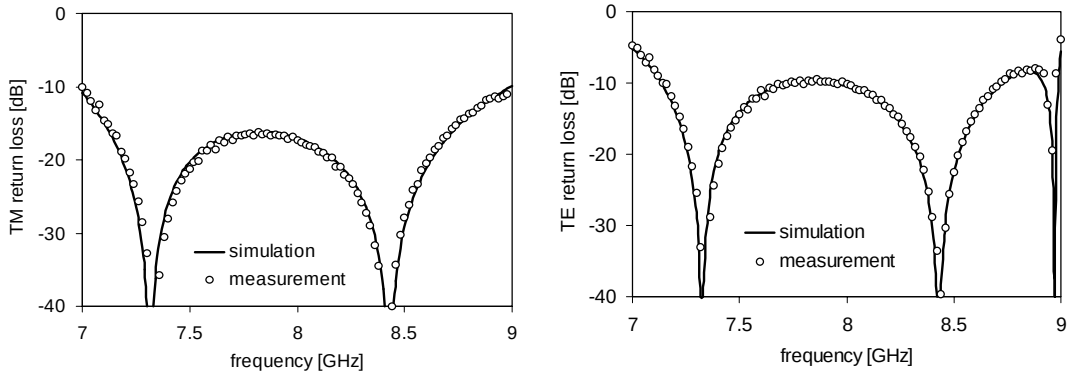

Fig. 3 – Confronto fra le misure e le simulazioni per il coefficiente di riflessione in banda X.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato presentato il progetto di uno schermo dicroico di grandi dimensioni per la combinazione dei segnali in banda S e X nella *beam waveguide* di un'antenna a riflettore. Dopo aver introdotto le specifiche di progetto è stato presentato il metodo di analisi utilizzato e discussa la scelta della tecnologia per la realizzazione del dicroico. Le misure riportate hanno evidenziato ad un tempo l'accuratezza del metodo di analisi, l'adeguatezza della tecnologia di fabbricazione e il soddisfacimento delle specifiche di progetto.

BIBLIOGRAFIA

[1] D. A. Bathker, W. Veruttipong, T. Y. Otoshi, and P. W. Cramer, Jr., "Beam-Waveguide Antenna Performance Predictions with Comparisons to Experimental Results," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-40, No. 6, pp. 1274-1285, June 1992.

[2] W. A. Imbriale, T. Y. Otoshi, and C. Yeh, "Power Loss for Multimode Waveguides and its Application to Beam-Waveguide System," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-46, No. 5, pp. 523-529, May 1998.

[3] J. C. Chen, "Analysis of a Thick Dichroic Plate with Rectangular Holes at Arbitrary Angle of Incidence," *TDA Progress Report 42-104*, JPL, Pasadena, California, pp. 9-16, Feb. 15, 1991.

[4] T. Y. Otoshi and M. M. Franco, "Dual Passband Dichroic Plate for X-band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-40, No. 10, pp. 1238-1245, Oct. 1992.

[5] P. D. Potter, "S- and X-Band Feed System," *JPL Technical Report 32-1526*, Vol. XV, JPL, Pasadena, California, pp. 54-62, June 15, 1973.

[6] L. W. Epp, P. H. Stanton, R. E. Jorgenson, and R. Mittra, "Experimental Verification of an Integral Equation Solution for a Thin-Walled Dichroic Plate with Cross-Shaped Holes," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-42, No. 6, pp. 878-882, June 1994.

[7] M. Bozzi, L. Perregrini, J. Weinzierl, and C. Winnewisser, "Design, Fabrication, and Measurement of Frequency-Selective Surfaces," *Optical Engineering*, Vol. 39, No. 8, pp. 2263-2269, Aug. 2000.

[8] M. Bozzi, L. Perregrini, J. Weinzierl, and C. Winnewisser, "Efficient Analysis of Quasi-Optical Filters by a Hybrid MoM/BI-RME Method," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-49, No. 7, pp. 1054-1064, July 2001.

[9] P. Besso, M. Bozzi, L. Perregrini, L. Salghetti Drioli, and W. Nickerson, "Deep Space Antenna for Rosetta Mission: Design and Testing of the S/X-Band Dichroic Mirror," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-50, No. 12, Dec. 2002 (in print).