

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902010559A1

Publication Date

20130703

Applicant

UNIVERSITA' DEGLI STUDI ROMA TRE

Title

ANTENNA AD APERTURA A BASSA FIGURA DI RUMORE

DESCRIZIONE

del brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:

"ANTENNA AD APERTURA A BASSA FIGURA DI RUMORE"

dell' UNIVERSITA' DEGLI STUDI ROMA TRE

di nazionalità italiana

con sede: VIA OSTIENSE, 159

ROMA (RM)

Inventori: BILOTTI Filiberto, TOSCANO Alessandro, RAMACCIA

Davide, DI PALMA Luca

* * *

SETTORE TECNICO DELL'INVENZIONE

La presente invenzione è relativa ad un'antenna ad apertura a bassa figura di rumore ("low-noise-figure aperture antenna") che può essere vantaggiosamente, ma non esclusivamente, sfruttata nelle comunicazioni satellitari, in particolare nelle comunicazioni satellitari in downlink, cui la seguente descrizione farà esplicito riferimento senza, però, per questo perdere in generalità. Infatti, la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata anche in altri tipi di comunicazioni radio diverse da quelle satellitari ed in sistemi radar.

STATO DELL'ARTE

Attualmente nelle comunicazioni satellitari vengono utilizzati sistemi d'antenna direttivi del tipo a riflettore che tipicamente sfruttano, come sistemi di

illuminazione/ricezione ("feeding/receiving systems"), antenne a tromba ("horn antennas").

Le antenne a tromba rientrano nella categoria delle antenne ad apertura che, com'è noto, sono antenne progettate per irradiare/ricevere segnali radio tramite aperture radianti/riceventi.

In particolare, un'antenna a tromba tipicamente comprende:

- un elemento radiante/ricevente metallico cavo a sezione rettangolare/quadrata/circolare che
 - è detto tromba ("horn"),
 - termina, ad una prima estremità, con un'apertura radiante/ricevente, ed
 - è configurato per irradiare/ricevere segnali radio attraverso detta apertura radiante/ricevente; ed
- una guida d'onda che è accoppiata ad una seconda estremità dell'elemento radiante/ricevente e che è configurata per ricevere i segnali radio ricevuti dall'elemento radiante/ricevente e/o per trasmettere all'elemento radiante/ricevente i segnali radio da irradiare.

Esempi di antenne ad apertura sono le guide d'onda troncate utilizzate in sistemi d'antenna per irradiare/ricevere segnali radio, ad esempio nei sistemi

d'antenna a schiera attiva a scansione elettronica del fascio ("Active Electronically Scanned Array" - AESA). Nel caso di una guida d'onda troncata l'elemento radiante/ricevente risulta essere la porzione finale della guida d'onda in cui è realizzato il troncamento che definisce l'apertura radiante/ricevente.

Com'è noto, le comunicazioni satellitari sono realizzate su canali radio caratterizzati da bande di radiofrequenze che sono tipicamente più strette delle bande operative delle antenne a tromba impiegate. Tali antenne sono tipicamente progettate per funzionare a banda larga, in quanto la banda di funzionamento di un'antenna a tromba è legata direttamente alla larghezza di banda di monomodalità della guida d'onda accoppiata alla tromba.

Pertanto un'antenna a tromba, poiché è caratterizzata da una banda operativa tipicamente più larga delle bande di radiofrequenze dei canali satellitari, riceve sia i segnali radio a banda stretta trasmessi sui canali satellitari sia il rumore presente in tutta la rispettiva banda operativa. Per questo motivo le antenne a tromba sono caratterizzate da un'elevata figura di rumore.

A tal riguardo in figura 1 (in cui le dimensioni mostrate non sono in scala per semplicità di illustrazione) viene mostrata, schematicamente ed a puro titolo d'esempio, una sezione longitudinale di un'antenna a tromba

tradizionale 10.

In particolare, nell'esempio mostrato in figura 1, l'antenna a tromba 10 è utilizzata in ricezione in una comunicazione satellitare in downlink, ovvero una comunicazione satellitare in cui l'antenna a tromba 10 è utilizzata da una stazione di terra disposta sulla superficie terrestre (non mostrata in figura 1 per semplicità di illustrazione) per ricevere segnali radio trasmessi da un sistema d'antenna installato a bordo di un satellite (non mostrati in figura 1 per semplicità di illustrazione).

In dettaglio, come mostrato in figura 1, l'antenna a tromba 10 comprende una tromba 11 che, in uso, capta, ovvero riceve:

- un segnale radio che è stato trasmesso dal sistema d'antenna installato a bordo del satellite (di seguito chiamato, per semplicità di descrizione, segnale utile) e che ha uno spettro $S(f)$ tipicamente a banda stretta; ed
- il rumore che è presente in tutta la banda operativa della tromba 11, è dovuto a diversi fattori ed ha uno spettro $N(f)$ tipicamente a larga banda.

Inoltre, sempre come mostrato in figura 1, l'antenna a tromba 10 comprende anche una guida d'onda 12 che è accoppiata alla tromba 11 e che, in uso, riceve dalla tromba 11 sia il segnale utile che il rumore.

In figura 2 vengono mostrati:

- lo spettro a banda stretta $S(f)$ del segnale utile che è ricevuto dalla tromba 11 e si propaga nella guida d'onda 12; e
- lo spettro a banda larga $N(f)$ del rumore che è presente nella banda operativa B_1 della tromba 11, è ricevuto dalla tromba 11 e si propaga anch'esso nella guida d'onda 12.

Pertanto, l'uso nelle comunicazioni satellitari delle antenne a tromba comporta un aumento indesiderato della temperatura di rumore d'antenna con un conseguente deterioramento del rapporto segnale-rumore.

Quindi, in considerazione dell'elevata distanza tra i satelliti e le stazioni di terra, degli effetti atmosferici, del rumore di terra e dell'elevata figura di rumore delle antenne a tromba, gli attuali sistemi di comunicazione satellitare sono costretti ad utilizzare, in particolare per i collegamenti di downlink, dispositivi filtranti addizionali e specifici sistemi di elaborazione del segnale progettati per massimizzare il rapporto segnale-rumore.

OGGETTO E RIASSUNTO DELL'INVENZIONE

La Richiedente ha sentito la necessità di affrontare il problema dell'elevata figura di rumore delle antenne a tromba attualmente utilizzate per le comunicazioni

satellitari. Pertanto la Richiedente ha condotto uno studio molto approfondito al fine di sviluppare un'antenna ad apertura innovativa a bassa figura di rumore.

Scopo della presente invenzione, quindi, è quello di fornire un'antenna ad apertura a bassa figura di rumore.

Il suddetto scopo è raggiunto dalla presente invenzione in quanto essa è relativa ad un'antenna ad apertura e ad un sistema d'antenna a riflettore, secondo quanto definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, l'antenna ad apertura secondo la presente invenzione comprende:

- un elemento ricevente che include un'apertura ed è configurato per ricevere, attraverso detta apertura, segnali radio aventi frequenze comprese in una data banda di radiofrequenze; ed
- una guida d'onda configurata per ricevere segnali radio dall'elemento ricevente.

L'antenna ad apertura secondo la presente invenzione è caratterizzata dal fatto di comprendere inoltre:

- una struttura selettiva in frequenza basata su metamateriali che è disposta tra l'elemento ricevente e la guida d'onda ed è configurata per far propagare dall'elemento ricevente alla guida d'onda solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese in una predefinita sottobanda della data banda di radiofrequenze.

Convenientemente, la struttura selettiva in frequenza è configurata per riflettere indietro nell'elemento ricevente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze non comprese nella predefinita sottobanda.

Preferibilmente, la struttura selettiva in frequenza comprende strutture in metamateriale che si estendono parzialmente all'interno dell'elemento ricevente e parzialmente all'interno della guida d'onda e che sono configurate per far propagare dall'elemento ricevente alla guida d'onda solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese nella predefinita sottobanda.

Più preferibilmente, la struttura selettiva in frequenza comprende anche una parete metallica che è disposta tra l'elemento ricevente e la guida d'onda, è configurata per riflettere indietro nell'elemento ricevente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze non comprese nella predefinita sottobanda, e comprende una fenditura. Inoltre, le strutture in metamateriale attraversano detta fenditura.

Ancor più preferibilmente, la struttura selettiva in frequenza comprende anche una lamina dielettrica che attraversa la fenditura nella parete metallica e si estende parzialmente all'interno dell'elemento ricevente e parzialmente all'interno della guida d'onda. Inoltre, le strutture in metamateriale comprendono una prima struttura

in metamateriale stampata su una prima faccia della lamina dielettrica ed una seconda struttura in metamateriale stampata su una seconda faccia della lamina dielettrica.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

Per una migliore comprensione della presente invenzione, alcune forme preferite di realizzazione, fornite a puro titolo di esempio esplicativo e non limitativo, verranno ora illustrate con riferimento ai disegni annessi (non in scala), in cui:

- la Figura 1 mostra schematicamente una sezione longitudinale di un'antenna a tromba tradizionale utilizzata in ricezione in una comunicazione satellitare in downlink;

- la Figura 2 mostra schematicamente spettri di frequenza di un segnale utile e del rumore ricevuti in uso dall'antenna a tromba mostrata in figura 1;

- le Figure 3 e 4 mostrano, rispettivamente, una vista prospettica ed una sezione schematica longitudinale di un'antenna a tromba secondo una forma preferita di realizzazione della presente invenzione;

- la Figura 5 mostra schematicamente spettri di frequenza di un segnale utile e del rumore ricevuti in uso dall'antenna a tromba mostrata nelle figure 3 e 4;

- le Figure 6 e 7 mostrano viste frontali di specifici componenti dell'antenna a tromba mostrata nelle

figure 3 e 4; e

- le Figure 8 e 9 illustrano schematicamente confronti tra rispettive caratteristiche elettromagnetiche dell'antenna a tromba mostrata in figura 1 e dell'antenna a tromba mostrata nelle figure 3 e 4.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI FORME PREFERITE DI REALIZZAZIONE DELL'INVENZIONE

La seguente descrizione viene fornita per permettere ad un tecnico del settore di realizzare ed usare l'invenzione. Varie modifiche alle forme di realizzazione presentate saranno immediatamente evidenti a persone esperte ed i generici principi qui divulgati potrebbero essere applicati ad altre forme realizzative ed applicazioni senza, però, per questo uscire dall'ambito di tutela della presente invenzione.

Quindi, la presente invenzione non deve essere intesa come limitata alle sole forme di realizzazione descritte e mostrate, ma le deve essere accordato il più ampio ambito di tutela coerentemente con i principi e le caratteristiche qui presentate e definite nelle rivendicazioni allegate.

La presente invenzione è relativa ad un'antenna ad apertura innovativa a bassa figura di rumore.

In particolare, la presente invenzione nasce dall'idea innovativa della Richiedente di sfruttare una struttura basata su metamateriali per aumentare la selettività in

frequenza di un'antenna ad apertura e, quindi, per diminuire la figura di rumore di tale antenna.

In dettaglio, la Richiedente ha avuto l'idea innovativa di inserire una struttura selettiva in frequenza basata su metamateriali tra un elemento ricevente ed una guida d'onda di un'antenna ad apertura in modo tale da aumentarne la selettività in frequenza e, quindi, diminuire la figura di rumore dell'antenna.

Specificatamente, un'antenna ad apertura secondo la presente invenzione comprende:

- un elemento ricevente che include un'apertura ed è configurato per ricevere, attraverso detta apertura, segnali radio aventi frequenze comprese in una data banda di radiofrequenze;
- una guida d'onda configurata per ricevere segnali radio dall'elemento ricevente; ed
- una struttura selettiva in frequenza basata su metamateriali che è disposta tra l'elemento ricevente e la guida d'onda ed è configurata per far propagare dall'elemento ricevente alla guida d'onda solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese in una predefinita sottobanda della banda di radiofrequenze ricevibile dall'antenna a tromba.

L'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione può essere vantaggiosamente

sfruttata in un sistema d'antenna a riflettore che comprende un sistema di riflessione configurato per riflettere verso una rispettiva zona focale segnali radio provenienti da una o più predefinite direzioni. In particolare, l'antenna ad apertura secondo la presente invenzione può essere disposta nella zona focale del sistema di riflessione in modo tale da ricevere i segnali radio riflessi dal sistema di riflessione.

Nel seguito, per semplicità di descrizione, l'antenna ad apertura secondo la presente invenzione verrà descritta facendo esplicito riferimento alle comunicazioni satellitari, in particolare alle comunicazioni satellitari in downlink. Resta, però, sottinteso che l'antenna ad apertura secondo la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata anche nelle comunicazioni satellitari in uplink, nonché in altri tipi di comunicazioni e sistemi radio diversi da quelli satellitari.

Inoltre, nel seguito la presente invenzione verrà descritta, sempre per semplicità di descrizione, facendo esplicito riferimento ad un'antenna a tromba. Resta, però, sottinteso che la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata per realizzare qualsiasi tipo di antenna ad apertura. Ad esempio, la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata per realizzare guide

d'onda troncate a bassa figura di rumore da usare in sistemi d'antenna per irradiare/ricevere segnali radio, ad esempio in sistemi d'antenna AESA.

Secondo una forma preferita di realizzazione della presente invenzione viene realizzata un'antenna a tromba a bassa figura di rumore.

In particolare, mentre nelle attuali antenne a tromba la tromba è tipicamente accoppiata alla guida d'onda in modo tale che la giunzione tra guida d'onda e tromba non presenti discontinuità, nell'antenna a tromba secondo detta forma preferita di realizzazione della presente invenzione, invece, una parete metallica è inserita in corrispondenza della sezione di giunzione tra la guida d'onda e la tromba.

In dettaglio, la parete metallica è inserita in corrispondenza della sezione di giunzione tra la guida d'onda e la tromba in modo tale da essere perpendicolare alla direzione di propagazione dell'energia, ovvero dei segnali radio, all'interno della guida d'onda e della tromba.

Il passaggio della potenza attraverso la sezione di giunzione è garantito dalla presenza di una fenditura rettangolare verticale realizzata al centro della parete metallica. All'interno della fenditura è inserita una lamina dielettrica di forma rettangolare la cui dimensione maggiore è diretta lungo l'asse di propagazione

dell'energia. La lamina dielettrica è centrata sulla sezione di giunzione e per metà della sua lunghezza si estende all'interno della guida d'onda mentre per l'altra metà all'interno della tromba. In altre parole, un asse di simmetria della lamina dielettrica è disposto in corrispondenza della sezione di giunzione, ovvero della parete metallica disposta in corrispondenza della sezione di giunzione, ed è, quindi, perpendicolare all'asse di propagazione dell'energia.

Su una prima faccia della lamina dielettrica sono stampate due prime strutture metalliche in metamateriale elettricamente piccole (ovvero con dimensioni che sono una frazione della lunghezza d'onda dei segnali radio irradiati/ricevuti dall'antenna a tromba) a forma di omega che sono simmetriche rispetto all'asse di simmetria della lamina dielettrica e sono collegate da una striscia metallica in metamateriale. Una delle due prime metallizzazioni in metamateriale a forma di omega giace sulla parte della lamina dielettrica che si trova all'interno della guida d'onda, mentre l'altra prima metallizzazione in metamateriale a forma di omega giace sulla parte della lamina dielettrica che si trova all'interno della tromba. La striscia metallica in metamateriale che collega le due prime omega si estende lateralmente tra i piedi delle due prime omega affacciati

verso la fenditura nella parete metallica ed attraversa detta fenditura. Inoltre, la striscia metallica in metamateriale che collega le due prime omega è parallela all'asse di propagazione dell'energia ed è perpendicolare all'asse di simmetria della lamina dielettrica.

Inoltre, sulla seconda faccia della lamina dielettrica sono stampate due seconde strutture metalliche in metamateriale a forma di omega che hanno le stesse dimensioni delle prime omega stampate sulla prima faccia della lamina dielettrica, sono simmetriche rispetto all'asse di simmetria della lamina dielettrica e sono anch'esse collegate da una striscia metallica in metamateriale. Una delle due seconde metallizzazioni in metamateriale a forma di omega giace sulla parte della lamina dielettrica che si trova all'interno della guida d'onda, mentre l'altra seconda metallizzazione in metamateriale a forma di omega giace sulla parte della lamina dielettrica che si trova all'interno della tromba. La striscia metallica in metamateriale che collega le due seconde omega si estende lateralmente tra i piedi delle due seconde omega affacciati verso la fenditura nella parete metallica ed attraversa detta fenditura. Inoltre, la striscia metallica in metamateriale che collega le due seconde omega è parallela all'asse di propagazione dell'energia ed è perpendicolare all'asse di simmetria

della lamina dielettrica. Le due seconde omega in metamateriale sono stampate sulla seconda faccia della lamina dielettrica in modo tale che:

- il centro della seconda omega che si trova all'interno della guida d'onda coincida con il centro della prima omega che si trova all'interno della guida d'onda;
- il centro della seconda omega che si trova all'interno della tromba coincida con il centro della prima omega che si trova all'interno della tromba; e
- le seconde omega e le prime omega siano ruotate di 180° le une rispetto alle altre rispetto all'asse di propagazione dell'energia.

L'antenna a tromba così concepita è in grado di funzionare in un intervallo di radiofrequenze ridotto rispetto a quello di un'antenna a tromba tradizionale di pari dimensioni geometriche, mantenendo le caratteristiche di radiazione pressoché invariate.

Per una migliore comprensione della forma preferita di realizzazione della presente invenzione, in figura 3 viene mostrata, a puro titolo d'esempio, una vista prospettica di un'antenna a tromba 20 secondo detta forma preferita di realizzazione della presente invenzione.

In particolare, come mostrato in figura 3, l'antenna a tromba 20 comprende:

- un elemento radiante/ricevente 21 metallico cavo a

forma di tronco di piramide con basi rettangolari che

- termina, ad una prima estremità disposta in corrispondenza della base maggiore del tronco di piramide, con un'apertura radiante/ricevente 21a rettangolare,
- è configurato per irradiare/ricevere segnali radio attraverso detta apertura radiante/ricevente 21a, e
- nel seguito verrà chiamato, per semplicità di descrizione, tromba; ed

- una guida d'onda 22 che è accoppiata ad una seconda estremità della tromba 21, specificatamente all'estremità della tromba 21 disposta in corrispondenza della base minore del tronco di piramide; la guida d'onda 22 e la tromba 21 essendo accoppiate mediante rispettive flange d'accoppiamento 23 in corrispondenza delle quali risulta, quindi, definita una sezione di giunzione tra la guida d'onda 22 e la tromba 21.

In dettaglio, la guida d'onda 22 mostrata in figura 3 è una guida d'onda metallica WR62 che opera in regime unimodale nell'intervallo di frequenze tra i 10 e i 14 GHz e che, in uso, riceve segnali radio ricevuti dalla tromba 21 e/o fornisce alla tromba 21 segnali radio da irradiare.

La sezione di giunzione è parallela all'apertura radiante/ricevente 21a ed entrambe sono perpendicolari alla

direzione di propagazione dell'energia, ovvero dei segnali radio, all'interno della guida d'onda 22 e della tromba 21.

Al fine di descrivere ancor più in dettaglio la forma preferita di realizzazione della presente invenzione, in figura 4 (in cui le dimensioni mostrate non sono in scala per semplicità di illustrazione) viene mostrata, schematicamente ed a puro titolo d'esempio, una sezione longitudinale dell'antenna a tromba 20 quando quest'ultima viene utilizzata in ricezione in una comunicazione satellitare in downlink, ovvero una comunicazione satellitare in cui l'antenna a tromba 20 è utilizzata da una stazione di terra disposta sulla superficie terrestre (non mostrata in figura 4 per semplicità di illustrazione) per ricevere segnali radio trasmessi da un sistema d'antenna installato a bordo di un satellite (non mostrati in figura 4 per semplicità di illustrazione).

In particolare, come mostrato in figura 4, in corrispondenza della sezione di giunzione (in figura 4 indicata con 24) tra la guida d'onda 22 e la tromba 21 è inserito uno schermo metallico 25 (accoppiato alla guida d'onda 22 e la tromba 21 mediante una rispettiva flangia d'accoppiamento 23 che in figura 4 non viene mostrata).

Il passaggio della potenza attraverso la sezione di giunzione 24 è garantito dalla presenza di una fenditura rettangolare verticale 26 praticata al centro dello schermo

metallico 25. All'interno della fenditura 26 è inserita una lamina dielettrica 27 di forma rettangolare la cui dimensione maggiore è diretta lungo l'asse di propagazione dell'energia. La lamina dielettrica 27 è centrata sulla sezione di giunzione 24 e per metà della sua lunghezza si estende nella guida d'onda 22 mentre per l'altra metà nella tromba 21. In altre parole, la lamina dielettrica 27 è inserita nella fenditura 26 in modo tale che un rispettivo asse di simmetria risulti disposto in corrispondenza di detta sezione di giunzione 24, ovvero in corrispondenza dello schermo metallico 25 disposto in corrispondenza della sezione di giunzione 24. Tale asse di simmetria della lamina dielettrica 27 è perpendicolare all'asse di propagazione dell'energia.

Su una prima faccia della lamina dielettrica 27, in particolare sulla faccia della lamina 27 mostrata in figura 4, sono stampate due prime strutture metalliche in metamateriale elettricamente piccole (ad esempio dell'ordine del decimo della lunghezza d'onda dei segnali radio irradiati/ricevuti dall'antenna a tromba 20) a forma di omega 28 che sono simmetriche rispetto all'asse di simmetria della lamina dielettrica 27 e sono collegate da una striscia metallica in metamateriale 29. Una delle due prime metallizzazioni in metamateriale a forma di omega 28 giace sulla parte della lamina dielettrica 27 che si trova

all'interno della guida d'onda 22, mentre l'altra prima metallizzazione in metamateriale a forma di omega 28 giace sulla parte della lamina dielettrica 27 che si trova all'interno della tromba 21. La striscia metallica in metamateriale 29 che collega le due prime omega 28 è costituita dal prolungamento dei bracci delle due prime omega 28 affacciati verso la fenditura 26 dello schermo metallico 25 ed attraversa detta fenditura 26. Inoltre, la striscia metallica in metamateriale 29 che collega le due prime omega 28 è parallela all'asse di propagazione dell'energia ed è perpendicolare all'asse di simmetria della lamina dielettrica 27.

Inoltre, sulla seconda faccia della lamina dielettrica 27, in particolare sulla faccia della lamina 27 non mostrata in figura 4, sono stampate due seconde strutture metalliche in metamateriale a forma di omega che hanno le stesse dimensioni delle prime omega 28 stampate sulla prima faccia della lamina dielettrica 27, sono simmetriche rispetto all'asse di simmetria della lamina dielettrica 27 e sono anch'esse collegate da una striscia metallica in metamateriale. Una delle due seconde metallizzazioni in metamateriale a forma di omega giace sulla parte della lamina dielettrica 27 che si trova all'interno della guida d'onda 22, mentre l'altra seconda metallizzazione in metamateriale a forma di omega giace sulla parte della

lamina dielettrica 27 che si trova all'interno della tromba 21. La striscia metallica in metamateriale che collega le due seconde omega è costituita dal prolungamento dei bracci delle due seconde omega affacciati verso la fenditura 26 dello schermo metallico 25 ed attraversa detta fenditura 26. Inoltre, la striscia metallica in metamateriale che collega le due seconde omega è parallela all'asse di propagazione dell'energia ed è perpendicolare all'asse di simmetria della lamina dielettrica 27.

Le due seconde omega in metamateriale sono stampate sulla seconda faccia della lamina dielettrica 27 in modo tale che:

- il centro della seconda omega che si trova all'interno della guida d'onda 22 coincida con il centro della prima omega 28 che si trova all'interno della guida d'onda 22;
- il centro della seconda omega che si trova all'interno della tromba 21 coincida con il centro della prima omega 28 che si trova all'interno della tromba 21; e
- le due seconde omega e le due prime omega 28 siano ruotate di 180° le une rispetto alle altre rispetto all'asse di propagazione dell'energia.

In uso, come mostrato in figura 4, la tromba 21 capta, ovvero riceve, attraverso l'apertura radiante/ricevente 21a:

- un segnale radio che è stato trasmesso dal sistema d'antenna installato a bordo del satellite (di seguito chiamato, per semplicità di descrizione, segnale utile) e che ha uno spettro $S(f)$ tipicamente a banda stretta; ed

- il rumore che è presente in tutta la banda operativa della tromba 21, è dovuto a diversi fattori ed ha uno spettro $N(f)$ tipicamente a larga banda.

Anche se la tromba 21 capta sia il segnale utile che il rumore, solo il contributo di frequenze del segnale utile causa la risonanza delle prime omega 28 e delle seconde omega e permette al segnale utile di attraversare la fenditura 26 ed essere trasmesso nella guida d'onda 22. Le restanti componenti spettrali dovute al rumore vengono riflesse in corrispondenza dello schermo metallico 25 e, quindi, non sono trasmesse nella guida d'onda 22. La risonanza delle prime inclusioni a forma di omega 28 e delle seconde inclusioni a forma di omega è dovuta all'eccitazione:

- degli anelli, ovvero dei loop, delle prime omega 28 e delle seconde omega da parte del campo magnetico ortogonale all'asse degli anelli stessi; e

- dei bracci delle prime omega 28 e delle seconde omega da parte del campo elettrico parallelo ai bracci stessi.

Infatti, gli anelli ed i bracci delle prime omega 28 e

delle seconde omega si comportano, rispettivamente, come piccoli dipoli magnetici ed elettrici e presentano, dunque, caratteristiche selettive in frequenza.

Sulla base di quanto appena descritto, è evidente che le prime inclusioni ad omega 28 e le seconde inclusioni ad omega risultano sensibili alla polarizzazione del campo elettromagnetico che trasporta il segnale utile. Se l'antenna a tromba 20 è disposta secondo l'orientazione mostrata in figura 4, detta antenna a tromba 20 riceve la polarizzazione verticale, mentre, se si ruota di 90° , riceve la polarizzazione orizzontale.

Utilizzando trombe a sezione quadrata o circolare ed utilizzando due insiemi di inclusioni ad omega disposti ortogonalmente tra loro è possibile ricevere in doppia polarizzazione o in polarizzazione circolare.

Utilizzando due o più insiemi di inclusioni ad omega è possibile inoltre ricevere su più bande di frequenza.

Pertanto, l'antenna a tromba 20 è un'antenna a bassa figura di rumore che, essendo dotata di un filtro integrato in frequenza rappresentato dalle prime e seconde inclusioni a forma di omega, seleziona la porzione di spettro che contiene il segnale utile sommato ad una piccola porzione del rumore, specificatamente la porzione del rumore presente nella stessa banda di radiofrequenze del segnale utile, riducendo drasticamente il contributo del rumore e

permettendo, così, una ricezione ottimale del segnale utile.

A tal riguardo, in figura 5 vengono mostrati:

- lo spettro a banda stretta $S(f)$ del segnale utile che è ricevuto dalla tromba 21, che è fatto passare attraverso la fenditura 26 dello schermo metallico 25 dalle prime omega metalliche in metamateriale 28 e dalle seconde omega metalliche in metamateriale e che, quindi, si propaga nella guida d'onda 22;

- lo spettro a banda larga $N(f)$ del rumore (rappresentato in figura 5 da una linea tratteggiata) che è presente nella banda operativa B_1 della tromba 21, è ricevuto da detta tromba 21 ed è riflesso dallo schermo metallico 25; e

- la porzione dello spettro a banda larga $N(f)$ del rumore che è presente nella stessa banda di frequenze del segnale utile, ovvero in una banda operativa B_2 dell'antenna a tromba 20, che è ricevuto dalla tromba 21, che è fatto passare attraverso la fenditura 26 dello schermo metallico 25 dalle prime omega metalliche in metamateriale 28 e dalle seconde omega metalliche in metamateriale e che, quindi, si propaga nella guida d'onda 22.

In figura 6 viene mostrata una vista frontale dello schermo metallico 25 e della rispettiva flangia

d'accoppiamento 23. Come mostrato in figura 6, la fenditura rettangolare 26 è realizzata al centro dello schermo metallico 25.

Inoltre, la figura 6 mostra anche la lamina dielettrica 27. Come descritto precedentemente, la lamina dielettrica 27 in uso risulta disposta nella fessura 26 in modo tale che il rispettivo asse di simmetria risulti disposto in corrispondenza dello schermo metallico 25 che, a sua volta, in uso è disposto in corrispondenza della sezione di giunzione 24.

In particolare, la figura 6 mostra la seconda faccia della lamina dielettrica su cui sono stampate le seconde omega (in figura 6 indicate con 30) che, come descritto precedentemente, sono collegate da una striscia metallica in metamateriale (in figura 6 indicata con 31) e che sono stampate sulla seconda faccia della lamina dielettrica 27 in modo tale che in uso:

- il centro della seconda omega 30 che si trova all'interno della guida d'onda 22 coincida con il centro della prima omega 28 che si trova all'interno della guida d'onda 22;
- il centro della seconda omega 30 che si trova all'interno della tromba 21 coincida con il centro della prima omega 28 che si trova all'interno della tromba 21; e
- le due seconde omega 30 e le due prime omega 28

siano ruotate di 180° le une rispetto alle altre rispetto all'asse di propagazione dell'energia.

Inoltre, in figura 7 è mostrata la lamina dielettrica 27 (in particolare, in figura 7 viene mostrata la prima faccia della lamina dielettrica 27) insieme con una moneta da dieci centesimi di euro in modo tale da far meglio comprendere le dimensioni reali di tale lamina dielettrica 27.

La Richiedente ha realizzato un prototipo dell'antenna a tromba 20 mostrata nelle figure 3 e 4 e precedentemente descritta al fine di misurarne le caratteristiche elettromagnetiche. In particolare, la Richiedente ha utilizzato un analizzatore di rete vettoriale per ricavare le caratteristiche di adattamento di un'antenna a tromba tradizionale, in particolare, dell'antenna a tromba 10 mostrata in figura 1 e precedentemente descritta, e dell'antenna a tromba 20.

A tal riguardo, in figura 8 è mostrato un confronto tra le caratteristiche di adattamento dell'antenna a tromba tradizionale 10 e dell'antenna a tromba 20.

In particolare, in figura 8 è mostrato un grafico del coefficiente di riflessione alla porta d'ingresso dell'antenna a tromba tradizionale 10 (in figura 8 identificata come antenna tradizionale) e dell'antenna a tromba 20 (in figura 8 identificata come antenna a bassa

figura di rumore) in funzione della frequenza.

In dettaglio, come mostrato in figura 8, l'antenna a tromba tradizionale 10 presenta una larghezza di banda (valutata con soglia tipica a - 10 dB) tra 10 e 13 GHz, mentre l'antenna a tromba 20 secondo la forma preferita di realizzazione della presente invenzione presenta un coefficiente di riflessione minore di -10 dB in una banda stretta centrata intorno a 12.5 GHz (ovvero la banda di funzionamento B_2 di detta antenna a tromba 20). Pertanto, l'antenna a tromba tradizionale 10 non è in grado di selezionare un segnale a banda stretta e capta in maniera efficiente anche il rumore presente al di fuori del segnale utile. L'antenna a tromba 20 secondo la forma preferita di realizzazione della presente invenzione, invece, è in grado di captare il segnale a banda stretta, mentre riflette tutti i contributi spettrali del rumore presenti fuori dalla banda del segnale utile, garantendo un migliore rapporto segnale-rumore e una ricezione migliore del segnale satellitare.

In figura 9 viene mostrato un grafico del guadagno dell'antenna a tromba tradizionale 10 (in figura 9 identificata di nuovo come antenna tradizionale) e dell'antenna a tromba 20 (in figura 9 identificata di nuovo come antenna a bassa figura di rumore) in funzione della frequenza. Come mostrato in figura 9, in una banda stretta

centrata intorno a 12.5 GHz (ovvero nella banda di funzionamento B_2 dell'antenna a tromba 20) i valori di guadagno dell'antenna a tromba 20 sono analoghi a quelli dell'antenna a tromba tradizionale 10.

L'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione può essere vantaggiosamente, ma non esclusivamente, utilizzata come sistema di illuminazione/ricezione in sistemi d'antenna a riflettore per comunicazioni satellitari, ad esempio operanti in banda Ku, K e Ka.

In particolare, l'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione, operando a banda stretta e mantenendo in tale banda di funzionamento le medesime caratteristiche di un sistema di illuminazione/ricezione tradizionale, permette di migliorare il rapporto segnale-rumore nelle comunicazioni satellitari di downlink. La presente invenzione può comunque essere vantaggiosamente utilizzata anche nei collegamenti di uplink utilizzando più strutture a forma di omega di dimensioni diverse in modo da garantire il funzionamento dell'antenna ad apertura in due bande distinte, specificatamente in una prima banda utilizzata per i collegamenti di downlink ed in una seconda banda utilizzata per i collegamenti di uplink. La presente invenzione può inoltre essere vantaggiosamente sfruttata

anche in altri tipi di comunicazioni e sistemi radio diversi da quelli satellitari.

Dalla precedente descrizione si possono immediatamente comprendere i vantaggi della presente invenzione.

In particolare, è importante sottolineare ancora una volta il fatto che l'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione consente di massimizzare il rapporto segnale-rumore mantenendo nella propria banda di funzionamento le stesse caratteristiche elettromagnetiche di un'antenna ad apertura tradizionale.

Inoltre, l'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione presenta le stesse dimensioni e lo stesso ingombro di un'antenna ad apertura tradizionale. Ciò permette una completa interoperabilità con i sistemi d'antenna precedentemente progettati che, con poche modifiche a basso costo, possono essere aggiornati utilizzando la presente invenzione. Infatti, la stampa delle omega in metamateriale richiede tempi e costi di produzione bassi e l'integrazione di tali omega nei sistemi d'antenna esistenti non è particolarmente laboriosa.

L'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione può essere usata per le comunicazioni satellitari in downlink, in uplink, e/o per altri tipi di comunicazioni e sistemi radio diversi da quelli satellitari.

Relativamente alle comunicazioni satellitari, l'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione garantisce un minore costo del sistema di illuminazione/ricezione dei sistemi d'antenna a riflettore per comunicazioni satellitari grazie al fatto che l'antenna a tromba non deve essere seguita da un componente filtrante necessario per eliminare i contributi fuori banda del rumore.

Inoltre, l'antenna ad apertura a bassa figura di rumore secondo la presente invenzione, poiché fa venire meno la necessità di un componente filtrante per eliminare i contributi fuori banda del rumore, garantisce anche una maggiore compattezza del sistema complessivo di comunicazione satellitare con notevoli vantaggi in termini di ingombro e peso.

Peraltro, a parità di dimensioni rispetto ad un sistema di illuminazione/ricezione tradizionale, l'antenna ad apertura secondo la presente invenzione è caratterizzata da una figura di rumore nettamente inferiore.

Infine, risulta chiaro che varie modifiche possono essere apportate alla presente invenzione, tutte rientranti nell'ambito di tutela dell'invenzione come definito nelle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Antenna ad apertura (20) comprendente:

- un elemento ricevente (21) che include un'apertura (21a) ed è configurato per ricevere, attraverso detta apertura (21a), segnali radio aventi frequenze comprese in una data banda di radiofrequenze (B_1); ed

- una guida d'onda (22) configurata per ricevere segnali radio dall'elemento ricevente (21);

caratterizzata dal fatto di comprendere inoltre:

- una struttura selettiva in frequenza basata su metamateriali che è disposta tra l'elemento ricevente (21) e la guida d'onda (22) ed è configurata per far propagare dall'elemento ricevente (21) alla guida d'onda (22) solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese in una predefinita sottobanda (B_2) della data banda di radiofrequenze (B_1).

2. L'antenna ad apertura (20) della rivendicazione 1, in cui la struttura selettiva in frequenza è configurata per riflettere indietro nell'elemento ricevente (21) i segnali radio ricevuti che hanno frequenze non comprese nelle predefinita sottobanda (B_2).

3. L'antenna ad apertura (20) secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la struttura selettiva in frequenza comprende strutture in metamateriale che si estendono parzialmente all'interno dell'elemento ricevente

(21) e/o parzialmente all'interno della guida d'onda (22) e che sono configurate per far propagare dall'elemento ricevente (21) alla guida d'onda (22) solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese nella predefinita sottobanda (B_2).

4. L'antenna ad apertura (20) della rivendicazione 3, in cui la struttura selettiva in frequenza comprende inoltre una parete metallica (25) che:

- è disposta tra l'elemento ricevente (21) e la guida d'onda (22);

- è configurata per riflettere indietro nell'elemento ricevente (21) i segnali radio ricevuti che hanno frequenze non comprese nella predefinita sottobanda (B_2); e

- comprende una fenditura (26);

in cui le strutture in metamateriale attraversano detta fenditura (26).

5. L'antenna ad apertura (20) della rivendicazione 4, in cui la fenditura (26) è disposta al centro della parete metallica (25).

6. L'antenna ad apertura (20) secondo la rivendicazione 4 o 5, in cui la struttura selettiva in frequenza comprende inoltre una lamina dielettrica (27) che attraversa la fenditura (26) nella parete metallica (25) e si estende parzialmente all'interno dell'elemento ricevente (21) e parzialmente all'interno della guida d'onda (22);

ed in cui le strutture in metamateriale comprendono una prima struttura in metamateriale stampata su una prima faccia della lamina dielettrica (27) ed una seconda struttura in metamateriale stampata su una seconda faccia della lamina dielettrica (27).

7. L'antenna ad apertura (20) della rivendicazione 6, in cui la prima struttura in metamateriale comprende:

- un primo elemento in metamateriale (28) stampato su una prima porzione della prima faccia della lamina dielettrica (27) che si estende all'interno dell'elemento ricevente (21);

- un secondo elemento in metamateriale (28) stampato su una seconda porzione della prima faccia della lamina dielettrica (27) che si estende all'interno della guida d'onda (22); ed

- una prima striscia in metamateriale (29) che collega il primo elemento in metamateriale (28) ed il secondo elemento in metamateriale (28) ed è stampata su una terza porzione della prima faccia della lamina dielettrica (27) che attraversa la fenditura (26) nella parete metallica (25) e si estende parzialmente all'interno dell'elemento ricevente (21) e parzialmente all'interno della guida d'onda (22);

ed in cui la seconda struttura in metamateriale comprende:

- un terzo elemento in metamateriale (30) stampato su una prima porzione della seconda faccia della lamina dielettrica (27) che si estende all'interno dell'elemento ricevente (21);

- un quarto elemento in metamateriale (30) stampato su una seconda porzione della seconda faccia della lamina dielettrica (27) che si estende all'interno della guida d'onda (22); ed

- una seconda striscia in metamateriale (31) che collega il terzo elemento in metamateriale (30) ed il quarto elemento in metamateriale (30) ed è stampata su una terza porzione della seconda faccia della lamina dielettrica (27) che attraversa la fenditura (26) nella parete metallica (25) e si estende parzialmente all'interno dell'elemento ricevente (21) e parzialmente all'interno della guida d'onda (22).

8. L'antenna ad apertura (20) della rivendicazione 7, in cui il primo (28), il secondo (28), il terzo (30) ed il quarto (30) elemento in metamateriale sono a forma di omega;

ed in cui

- il centro del primo elemento in metamateriale a forma di omega (28) coincide con il centro del terzo elemento in metamateriale a forma di omega (30);

- il centro del secondo elemento in metamateriale a

forma di omega (28) coincide con il centro del quarto elemento in metamateriale a forma di omega (30); e

- la prima e la seconda struttura in metamateriale sono ruotate di 180° l'una rispetto all'altra rispetto alla direzione di propagazione dei segnali radio all'interno dell'elemento ricevente (21) e della guida d'onda (22).

9. L'antenna ad apertura (20) della rivendicazione 8, in cui il primo (28) ed il terzo (30) elemento in metamateriale a forma di omega comprendono, ciascuno, un rispettivo primo piede affacciato verso la fenditura (26) nella parete metallica (25) ed un rispettivo secondo piede affacciato verso l'interno dell'elemento ricevente (21);

in cui il secondo (28) ed il quarto (30) elemento in metamateriale a forma di omega comprendono, ciascuno, un rispettivo primo piede affacciato verso la fenditura (26) nella parete metallica (25) ed un rispettivo secondo piede affacciato verso l'interno della guida d'onda (22);

in cui la prima striscia in metamateriale (29) collega i primi piedi del primo (28) e del secondo (28) elemento in metamateriale a forma di omega;

ed in cui la seconda striscia in metamateriale (31) collega i primi piedi del terzo (30) e del quarto (30) elemento in metamateriale a forma di omega.

10. L'antenna ad apertura (20) secondo una qualsiasi rivendicazione 3-9, in cui le strutture in metamateriale

sono configurate per far propagare dall'elemento ricevente (21) alla guida d'onda (22) solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese nella predefinita sottobanda (B_2) e che sono polarizzati secondo la polarizzazione orizzontale o verticale.

11. L'antenna ad apertura (20) secondo una qualsiasi rivendicazione 3-9, in cui le strutture in metamateriale sono configurate per far propagare dall'elemento ricevente (21) alla guida d'onda (22) solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese nella predefinita sottobanda (B_2) e che sono polarizzati secondo due diverse polarizzazioni o secondo la polarizzazione circolare.

12. L'antenna ad apertura (20) secondo una qualsiasi rivendicazione 3-9, in cui le strutture in metamateriale sono configurate per far propagare dall'elemento ricevente (21) alla guida d'onda (22) solamente i segnali radio ricevuti che hanno frequenze comprese in una pluralità di predefinite sottobande della data banda di radiofrequenze (B_1).

13. Sistema d'antenna a riflettore comprendente:

- un sistema di riflessione configurato per riflettere verso una rispettiva zona focale segnali radio provenienti da una o più predefinite direzioni; e
- l'antenna ad apertura (20) rivendicata in una qualsiasi rivendicazione precedente; detta antenna ad

apertura (20) essendo disposta nella zona focale del sistema di riflessione in modo tale da ricevere i segnali radio riflessi dal sistema di riflessione.

p.i.: UNIVERSITA' DEGLI STUDI ROMA TRE

Cesare BOSMAN

TITLE: LOW-NOISE-FIGURE APERTURE ANTENNA

CLAIMS

1. An aperture antenna (20) comprising:

- a receiving element (21), which includes an aperture (21a) and is configured to receive, through said aperture (21a), radio signals having frequencies comprised within a given band of radio-frequencies (B_1); and

- a waveguide (22), which is configured to receive radio signals from the receiving element (21);

characterised by further comprising:

- a frequency selective structure based on metamaterials, which is arranged between the receiving element (21) and the waveguide (22) and is configured to cause the propagation, from the receiving element (21) to the waveguide (22), only of the received radio signals that have frequencies comprised within a predetermined sub-band (B_2) of the given band of radio-frequencies (B_1).

2. The aperture antenna (20) according to claim 1, wherein the frequency selective structure is configured to reflect back to the receiving element (21) the received radio signals that have frequencies that are not comprised in the predetermined sub-band (B_2).

3. The aperture antenna (20) according to claim 1 or 2, wherein the frequency selective structure comprises metamaterial structures, which extend partially inside the

Cesare BOSMAN
(Iscrizione Albo N.1092/BM)

receiving element (21) and/or partially inside the waveguide (22) and which are configured to cause the propagation, from the receiving element (21) to the waveguide (22), only of the received radio signals that have frequencies comprised within the predetermined sub-band (B_2)

4. The aperture antenna (20) according to claim 3, wherein the frequency selective structure further comprises a metal wall (25), which:

- is arranged between the receiving element (21) and the waveguide (22);

- is configured to reflect back to the receiving element (21) the received radio signals that have frequencies that are not comprised in the predetermined sub-band (B_2); and

- comprises a slit (26);

wherein the metamaterial structures pass through said slit (26).

5. The aperture antenna (20) according to claim 4, wherein the slit (26) is arranged at the centre of the metal wall (25).

6. The aperture antenna (20) according to claim 4 or 5, wherein the frequency selective structure further comprises a dielectric plate (27), which passes through the slit (26) in the metal wall (25) and extends partially

inside the receiving element (21) and partially inside the waveguide (22);

and wherein the metamaterial structures comprise a first metamaterial structure printed on a first face of the dielectric plate (27), and a second metamaterial structure printed on a second face of the dielectric plate (27).

7. The aperture antenna (20) according to claim 6, wherein the first metamaterial structure comprises:

- a first metamaterial element (28) printed on a first portion of the first face of the dielectric plate (27), said first portion of the first face of the dielectric plate (27) extending inside the receiving element (21);

- a second metamaterial element (28) printed on a second portion of the first face of the dielectric plate (27), said second portion of the first face of the dielectric plate (27) extending inside the waveguide (22);

and

- a first metamaterial strip (29) connecting the first metamaterial element (28) and the second metamaterial element (29), and printed on a third portion of the first face of the dielectric plate (27), said third portion of the first face of the dielectric plate (27) passing through the slit (26) in the metal wall (25) and extending partially inside the receiving element (21) and partially

inside the waveguide (22);

and wherein the second metamaterial structure comprises:

- a third metamaterial element (30) printed on a first portion of the second face of the dielectric plate (27), said first portion of the second face of the dielectric plate (27) extending inside the receiving element (21);

- a fourth metamaterial element (30) printed on a second portion of the second face of the dielectric plate (27), said second portion of the second face of the dielectric plate (27) extending inside the waveguide (22);

and

- a second metamaterial strip (31) connecting the third metamaterial element (30) and the fourth metamaterial element (30), and printed on a third portion of the second face of the dielectric plate (27), said third portion of the second face of the dielectric plate (27) passing through the slit (26) in the metal wall (25) and extending partially inside the receiving element (21) and partially inside the waveguide (22).

8. The aperture antenna (20) according to claim 7, wherein the first (28), the second (28), the third (30) and the fourth (30) metamaterial elements are omega-shaped.

and wherein

- the centre of the first omega-shaped metamaterial element (28) corresponds to the centre of the third omega-shaped metamaterial element (30);

- the centre of the second omega-shaped metamaterial element (28) corresponds to the centre of the fourth omega-shaped metamaterial element (30); and

- the first and the second metamaterial structures are rotated of 180° with respect to one another with reference to the direction of propagation of the radio signals inside the receiving element (21) and the waveguide (22).

9. The aperture antenna (20) according to claim 8, wherein the first (28) and the third (30) omega-shaped metamaterial elements comprise each a respective first foot facing the slit (26) in the metal wall (25) and a respective second foot facing the inside of the receiving element (21);

and wherein the second (28) and the fourth (30) omega-shaped metamaterial elements comprise each a respective first foot facing the slit (26) in the metal wall (25) and a respective second foot facing the inside of the waveguide (22);

wherein the first metamaterial strip (29) connects the first feet of the first (28) and of the second (28) omega-shaped metamaterial elements;

and wherein the second metamaterial strip (31) connects the first feet of the third (30) and of the fourth (30) omega-shaped metamaterial elements.

10. The aperture antenna (20) according to any claim 3-9, wherein the metamaterial structures are configured to cause the propagation, from the receiving element (21) to the waveguide (22), only of the received radio signals that have frequencies comprised within the predetermined sub-band (B_2) and that are polarized according to the horizontal or vertical polarization.

11. The aperture antenna (20) according to any claim 3-9, wherein the metamaterial structures are configured to cause the propagation, from the receiving element (21) to the waveguide (22), of the received radio signals that have frequencies comprised within the predetermined sub-band (B_2) and that are polarized according to two different polarizations or according to the circular polarization.

12. The aperture antenna (20) according to any claim 3-9, wherein the metamaterial structures are configured to cause the propagation, from the receiving element (21) to the waveguide (22), of the received radio signals that have frequencies comprised within a plurality of predetermined sub-bands of the given band of radio-frequencies (B_1).

13. A reflector antenna system comprising:

- a reflecting system, which is configured to reflect

radio signals coming from one or more predetermined directions towards a respective focal area; and

- the aperture antenna (20) claimed in any preceding claim; said aperture antenna (20) being arranged in the focal area of the reflecting system, so as to receive the radio signals reflected by the reflecting system.

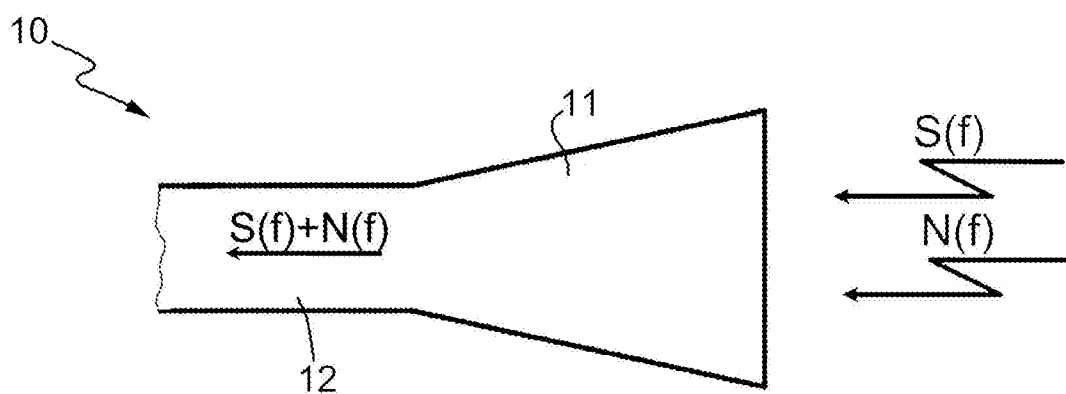


FIG.1

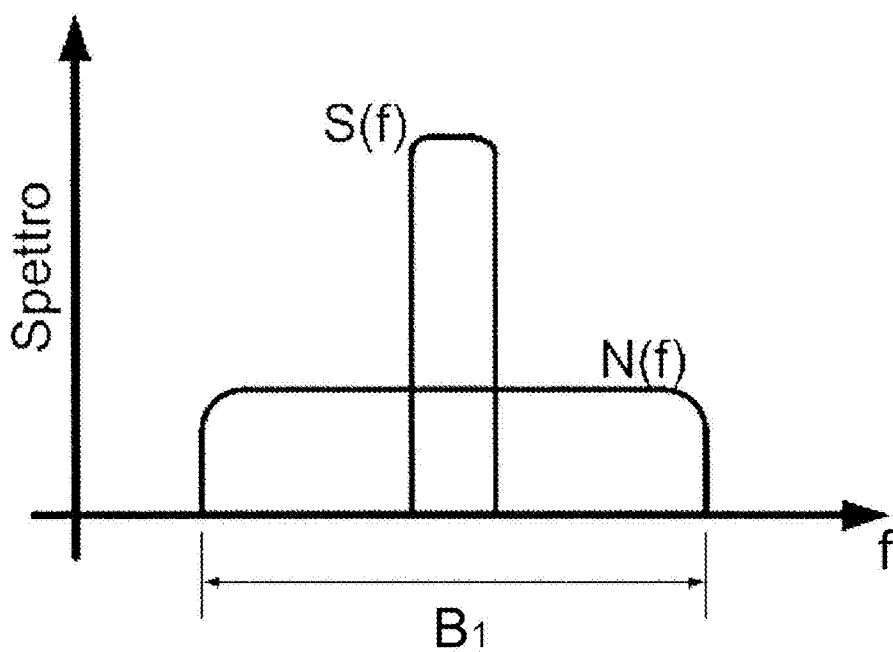


FIG.2

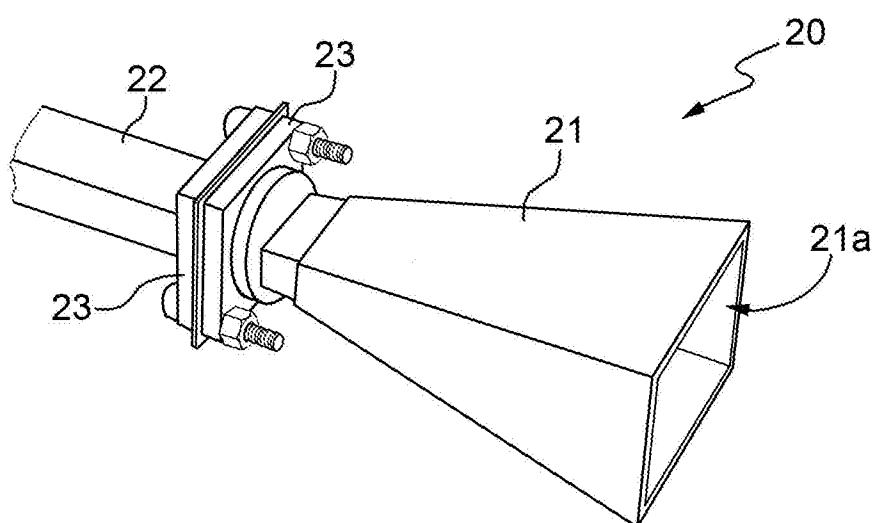


FIG.3

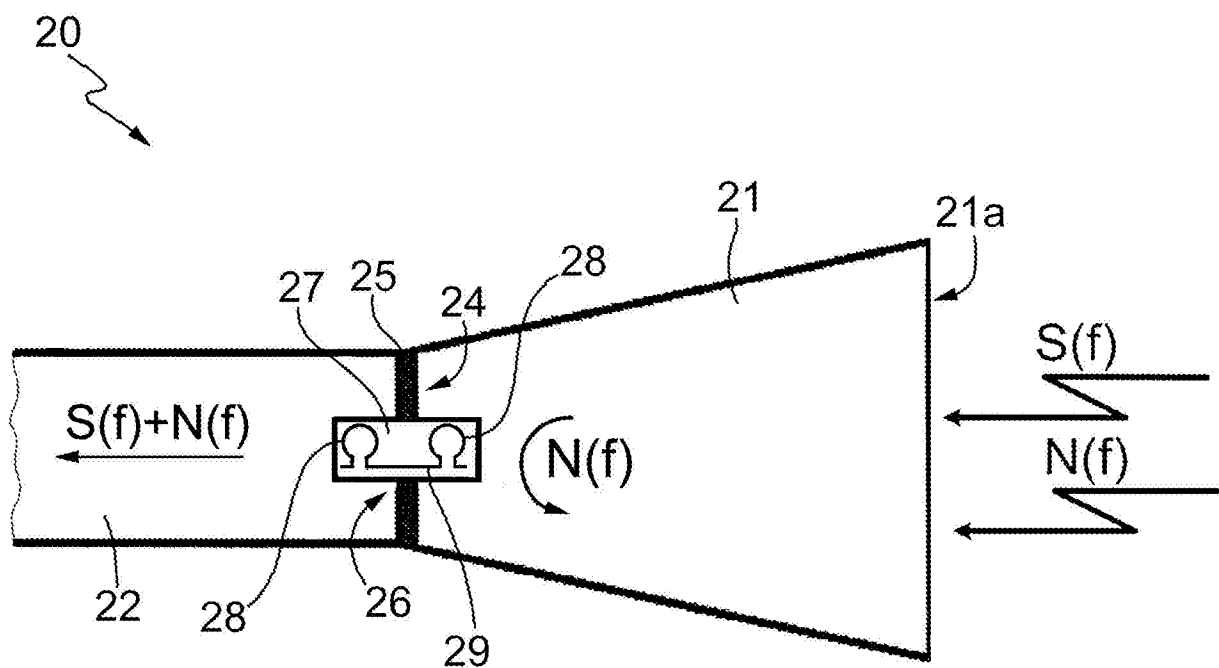


FIG.4

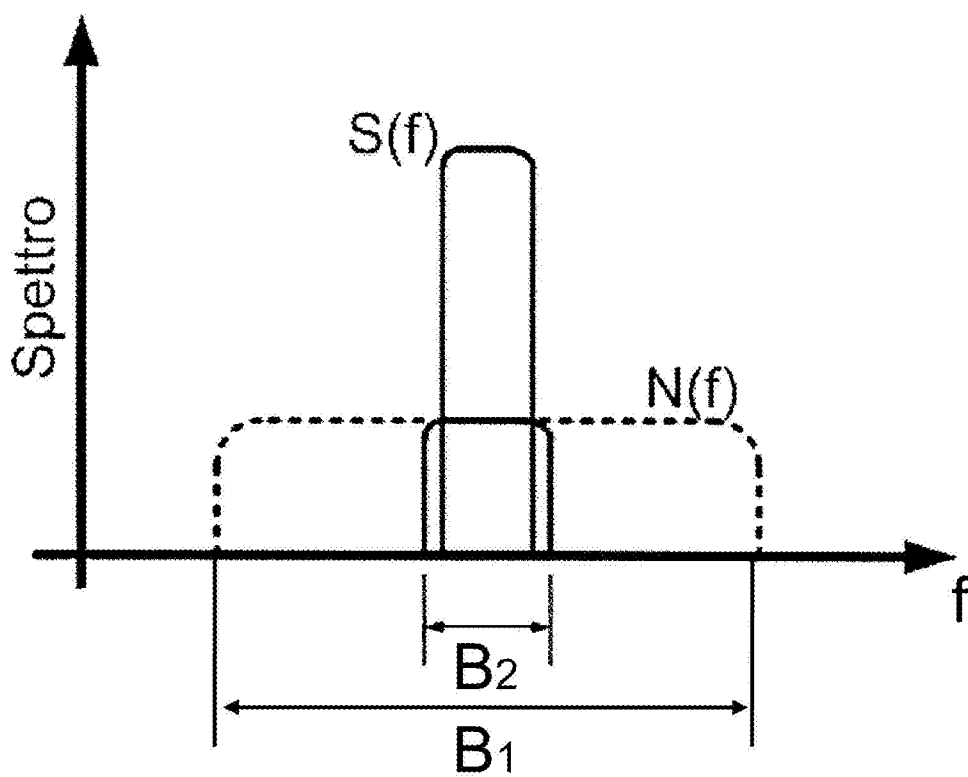


FIG.5

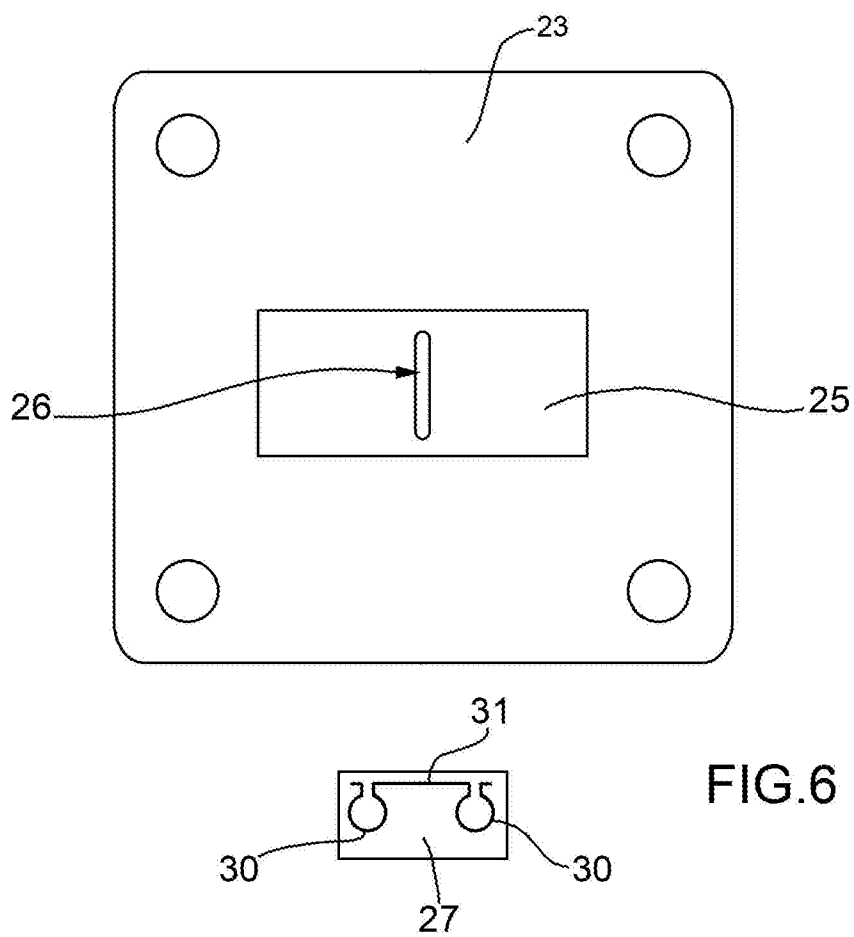


FIG.6

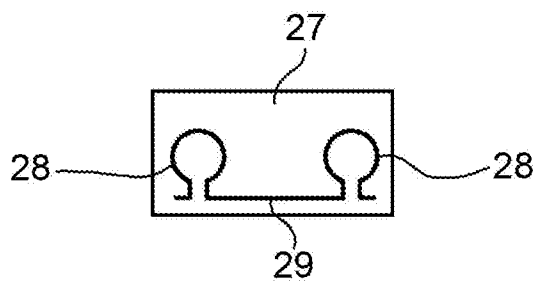
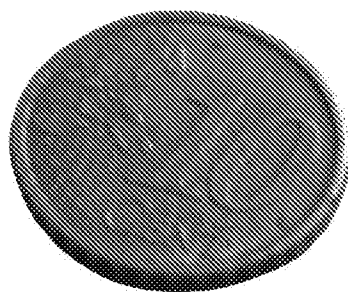


FIG.7

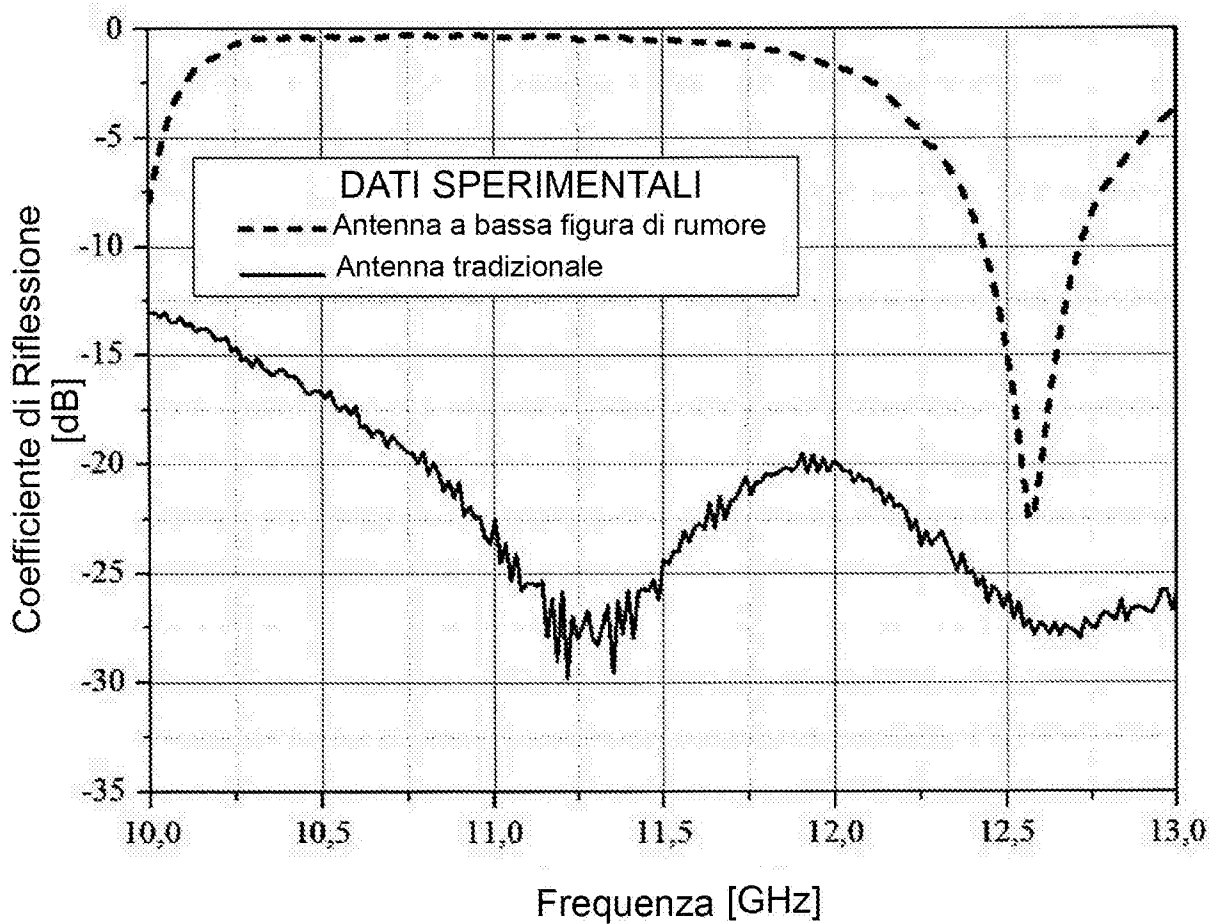


FIG.8

p.i.: UNIVERSITA' DEGLI STUDI ROMA TRE

Cesare BOSMAN
(Iscrizione Albo nr.1092/BM)

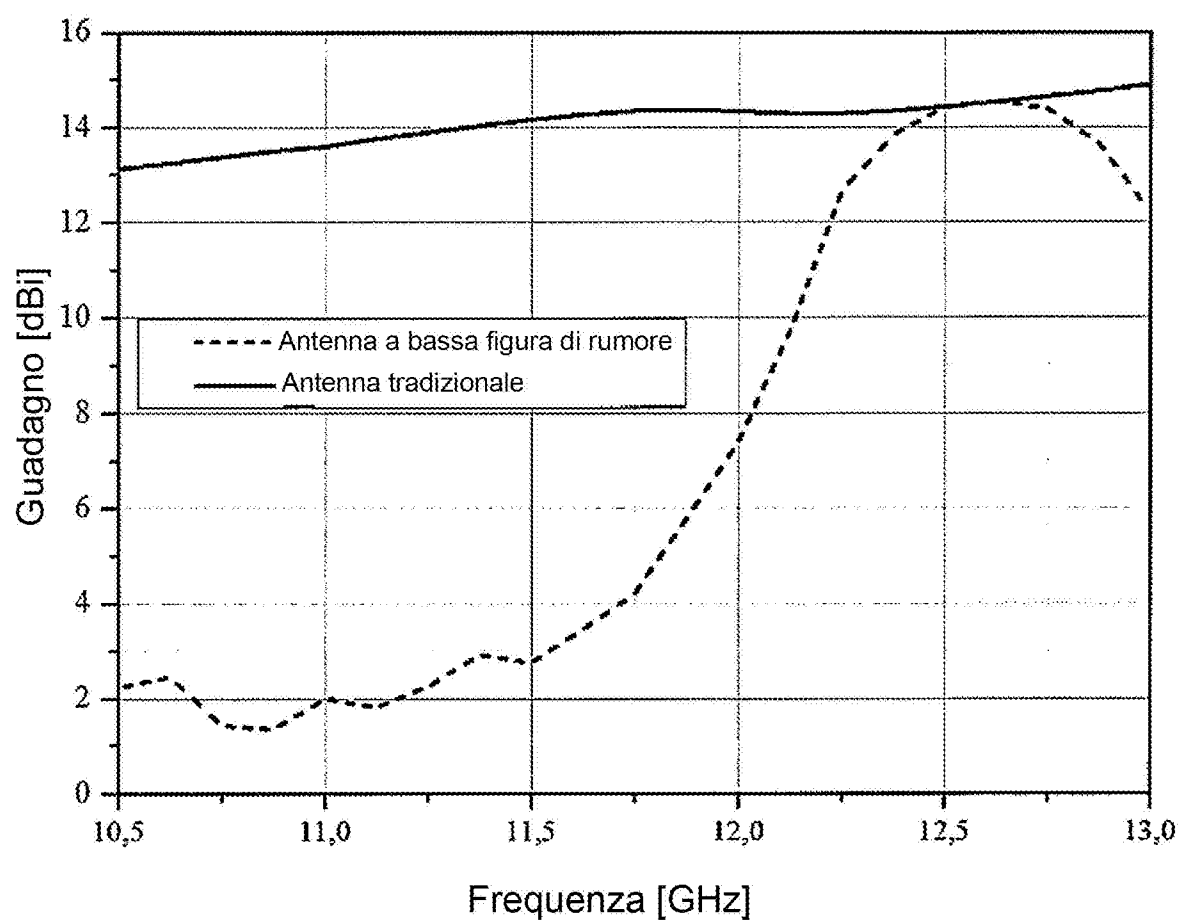


FIG.9