



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102013902151670
Data Deposito	30/04/2013
Data Pubblicazione	30/10/2014

Classifiche IPC

Titolo

FILTRO ELETTRONICO IN GUIDA D'ONDA CON CAVITA' RISONANTI AD ELEVATO ACCOPPIAMENTO.

Titolo: “Filtro elettronico in guida d’onda con cavità risonanti ad elevato accoppiamento”

Descrizione

5 La presente invenzione riguarda un filtro elettronico in guida d’onda particolarmente adatto per applicazioni di elevata potenza, quali i sistemi per telecomunicazioni satellitari.

Dispositivi passivi selettivi in frequenza con struttura in guida d’onda per filtrare segnali nella porzione delle microonde dello spettro elettromagnetico sono
10 diffusamente impiegati. Nel campo delle telecomunicazioni satellitari, la tendenza recente è volta ad un incremento sempre maggiore del numero di canali e della potenza isotropica equivalente trasmessa (EIRP). Le antenne di telecomunicazione a bordo satellite hanno normalmente un *diplexer* all’ingresso della porta comune d’antenna per separare le bande dedicate rispettivamente alla trasmissione ed alla
15 ricezione. In generale, un *diplexer* per antenne per comunicazioni satellitari deve rispettare diversi vincoli sia elettrici sia meccanici. I vincoli elettrici rilevanti comprendono requisiti in banda passante di basse perdite di inserzione (tipicamente inferiori a 0,1 dB) e di basso coefficiente di riflessione (tipicamente inferiore a -25 dB) e in banda rigettata di elevata reiezione (tipicamente maggiore a 60 dB),
20 congiuntamente a valori molto bassi di intermodulazione passiva (tipicamente inferiori a -120 dBm per 2 portanti di 250 W di potenza al terzo ordine) ed a sufficienti margini di confidenza rispetto all’innesco di scariche elettriche nel vuoto, indotte nelle guida d’onda a causa dell’elevato campo elettromagnetico impresso dalle molte portanti che simultaneamente insistono sul componente (e che realizzano

all'interno un involuppo di tensione equivalente a decine di kW in regime a singola portante), quest'ultimo fenomeno indicato anche con il termine inglese *multipaction*. Una banda di frequenze ampiamente utilizzata nei satelliti commerciali, ad esempio per le trasmissioni televisive, è la banda Ku (12-18 GHz).

- 5 P. Sarasa et al. "*Comparative Study of the Power Handling Capability of Space Broadband Antenna Filters in Ku-band*", pubblicato al 5th International Workshop on Multipactor, Corona and Intermodulation in Space RF Hardware, 12-14 settembre 2005, ESTEC (Olanda), forniscono uno studio comparativo di diverse architetture di filtri a larga banda in termini della loro capacità di gestire elevati livelli di potenza.
- 10 Tra le diverse configurazioni analizzate, l'architettura di filtro costituita da cavità risonanti a fessura (*stub*) in cortocircuito nel piano *E* è indicata essere la più adatta a gestire i più elevati livelli di potenza.

Il brevetto US 3.957.710 descrive un filtro passa banda in guida d'onda costituito dalla connessione in serie di iridi capacitive tramite tratti di guida d'onda
15 rettangolare la cui altezza è rastremata lungo l'asse longitudinale. Tale configurazione può essere integrata con fessure longitudinali allo scopo di realizzare un filtro a creperia (*waffle-iron*).

Il brevetto US 6.169.466 è relativo ad una struttura di filtro in guida d'onda in grado di gestire segnali nell'intervallo delle microonde. Il filtro descritto comprende una
20 sezione di adattamento della guida d'onda per ciascuna delle due porte di accesso ed una sezione filtrante tra le due sezioni di adattamento. La sezione filtrante include un canale in guida d'onda rettangolare ribassata ed una pluralità di cavità risonanti accoppiate, in cui ciascuna cavità risonante è costituita da due stub simmetrici o asimmetrici ed è in grado di introdurre uno zero di riflessione e due zeri di
25 trasmissione nella risposta in frequenza del filtro.

Un filtro in guida d'onda avente una pluralità di risonatori a stub asimmetrici è descritto in WO 00/55937. Il filtro in guida d'onda comprende una sezione di ingresso, che include un adattatore di guida d'onda ed un filtro passa basso, una sezione di uscita, che include un filtro passa basso e un adattatore di guida d'onda, ed
5 un filtro passa banda inserito tra le sezioni di ingresso e di uscita. Il filtro passa banda è costituito da una pluralità di risonatori asimmetrici, ciascun risonatore includendo una fessura lunga ed una fessura corta tra loro contrapposte ed essendo in grado di introdurre almeno uno zero di riflessione e due zeri di trasmissione alla risposta in frequenza del filtro.

10 J.R. Montejo-Garai et al., "*In-Line Pure -Plane Waveguide Band-Stop Filter with Wide Spurious-Free Response*", pubblicato in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 21, no. 4, pp. 209-211, 2011, descrivono una struttura di accoppiamento nel piano E tra cavità risonanti e guida d'onda rettangolare atta alla realizzazione di filtri rigetta banda (*stopband*) con disposizione in linea (*in-line*) dei
15 risonatori. Con la finalità di ottenere un ampio margine di valori di accoppiamento, l'iride induttiva convenzionalmente adottata per connettere ciascuna cavità alla guida d'onda rettangolare è stata sostituita da una fessura longitudinalmente asimmetrica. L'articolo afferma che, in questo modo, il campo elettrico è accoppiato sulla larghezza totale della guida d'onda invece che attraverso un iride a larghezza
20 parziale, producendo maggiori valori di accoppiamento. Il filtro rigetta banda aveva una frequenza centrale di 28 GHz ed una larghezza di banda percentuale pari a 2 %.

La Richiedente ha osservato che una struttura in guida d'onda che prevede una serie di cavità dotate di fessure di accoppiamento asimmetriche può risultare di complessa
fabbricazione ed essere difficilmente applicabile in filtri a larga banda per
25 applicazioni di alta potenza.

Piotr Kozakowski, et al. in “*New Resonator Arrangement for Reduced Size E-plane Filters*”, pubblicato in Microwave Symposium Digest (MTT), 2011 IEEE MTT-S, data della conferenza internazionale 5-10 June 2011, presenta un filtro nel piano *E* ad inserto completamente metallico costituito da una serie di risonatori disposti in modo
5 alternato lungo l'alloggiamento di una guida d'onda di tipo *ridge*.

La Richiedente ha capito che l'utilizzo di una guida d'onda di tipo *ridge* può ridurre significativamente il livello di potenza gestita in trasmissione da un filtro.

So Hyeun Yun et al. in “*Design of the Multipaction Free High Power Ka-Band Diplexer with an E-plane T-Junction*”, pubblicato in 2005 Asia-Pacific Conference
10 on Communications (Perth, Western Australia), presentano un *diplexer* in guida d'onda progettato per servizi satellitari operanti nelle bande di frequenze K (18-26 GHz) e Ka (26-40 GHz) e costituito da un filtro a *stub* nel piano E, un filtro con iridi induttive ed una giunzione a T nel piano E. Il *diplexer* descritto è detto essere in grado di gestire livelli di potenza fino a 4.4 kW con sufficienti margini di confidenza
15 rispetto a scariche per *multipaction*.

Secondo un aspetto, la presente invenzione concerne un filtro elettronico in guida d'onda configurato per operare su segnali elettromagnetici in una banda operativa di frequenze, da trasmettere segnali in una banda di frequenze passante B1 e da rigettare segnali all'interno di una banda di frequenze rigettata B2, la banda passante
20 e la banda rigettata essendo comprese nella banda operativa, il filtro comprendendo una struttura di guida d'onda che comprende: un canale in guida d'onda che si estende lungo una direzione principale di propagazione di segnali elettromagnetici nella banda operativa di frequenze ed è delimitato da una prima parete laterale e da una seconda parete laterale opposta alla prima parete laterale, la prima e la seconda
25 parete laterale giacendo su rispettivi piani che definiscono un primo ed un secondo

piano principale di riferimento , e una pluralità di risonatori spazati tra loro lungo la direzione di principale di propagazione, ciascun risonatore comprendendo una cavità risonante formata in una delle prima o seconda parete laterale e avente un'apertura sul canale in guida d'onda, in cui le cavità risonanti sono disposte in sequenza
5 alternata su pareti laterali opposte, e cavità risonanti prossime adiacenti disposte su rispettive opposte pareti laterali sono separate tra loro da una sezione longitudinale di guida d'onda di connessione avente una lunghezza di connessione, definita lungo la direzione principale di propagazione dei segnali, maggiore o uguale a zero e inferiore o uguale a $\lambda_{g,1}/8$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata alla frequenza centrale
10 della banda passante B1, essendo la lunghezza d'onda guidata la lunghezza d'onda del campo elettromagnetico associato al modo fondamentale che si propaga lungo il canale in guida d'onda.

La banda passante del filtro è definita quale intervallo di frequenze nel quale il filtro esibisce un elevato coefficiente di trasmissione tra le porte di ingresso/uscita dei
15 segnali elettromagnetici, preferibilmente maggiore di -0.2 dB, più preferibilmente maggiore o uguale a -0,1 dB.

La banda rigettata del filtro è definita quale intervallo di frequenze nel quale il filtro esibisce un elevato coefficiente di reiezione tra le porte di ingresso/uscita dei segnali elettromagnetici, preferibilmente maggiore o uguale a 40 dB, più preferibilmente
20 maggiore o uguale a 50 dB.

Preferibilmente, il filtro comprende una struttura di guida d'onda rettangolare su piano E.

Preferibilmente, la lunghezza di connessione è maggiore o uguale a zero e inferiore a o uguale a $\lambda_{g,1}/16$.

In alcune forme di realizzazione particolarmente preferite, la lunghezza di connessione è compresa tra 0 e $\lambda_{g,1}/24$.

In alcune forme di realizzazione particolarmente preferite, la lunghezza di connessione è sostanzialmente uguale a zero. Nel presente contesto e in accordo con
5 le forme di realizzazione preferite, per lunghezza di connessione sostanzialmente uguale a zero si intende una lunghezza inferiore a $\lambda_{g,1}/100$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante B1.

Preferibilmente, le cavità risonanti sono *stub*, ciascuno *stub* aventi sezione trasversale sul piano *E* sostanzialmente rettangolare definita da un'altezza di *stub* e
10 una larghezza di *stub*, in cui l'altezza di *stub* è definita con riferimento al piano di riferimento della parete laterale nella quale la cavità risonante è formata e la larghezza di *stub* corrisponde all'apertura della cavità risonante sul canale in guida d'onda. Preferibilmente, la larghezza di ciascuno *stub* della pluralità di *stub* è compresa tra $0,08\lambda_{g,1}$ e $0,35\lambda_{g,1}$.

15 Ciascuno *stub* ha un asse centrale rispetto all'apertura dello stesso sul canale in guida d'onda, l'asse centrale essendo perpendicolare al piano di riferimento della parete laterale nella quale lo *stub* è formato. Preferibilmente, la distanza tra gli assi centrali di due *stub* adiacenti e consecutivi (formati su pareti laterali opposte) è compresa tra $0,15\lambda_{g,1}$ e $0,35\lambda_{g,1}$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata alla frequenza centrale
20 della banda passante B1.

Preferibilmente, la cavità risonante ha altezza definita in una direzione perpendicolare al piano di riferimento della parete laterale nella quale la cavità risonante è formata, l'altezza essendo compresa tra $0,1\lambda_{g,2}$ e $0,8\lambda_{g,2}$, dove $\lambda_{g,2}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda rigettata
25 B2.

Preferibilmente, l'apertura delle cavità risonanti sul canale in guida d'onda è compresa tra $0,08\lambda_{g,1}$ e $0,35\lambda_{g,1}$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante B1.

Nelle forme di realizzazione preferite, ciascun risonatore della pluralità di risonatori
5 comprende un gradino che è formato sulla parete opposta alla cavità risonante dello stesso risonatore e che sporge nel canale oltre al piano di riferimento della parete nella quale è formato, ciascun gradino essendo affacciato ad una rispettiva cavità risonante, i gradini essendo disposti in una corrispondenza uno a uno con le rispettive cavità risonanti.

10 Preferibilmente, ciascun risonatore è costituito da una cavità risonante e da una struttura a gradino formata nella parete laterale opposta alla parete laterale nella quale è formata la cavità risonante e in una stessa sezione longitudinale di guida d'onda rispetto alla direzione principale di propagazione dei segnali, cosicché le cavità risonanti e le strutture a gradino sono disposti in sequenza alternata su parete
15 laterali opposte. Preferibilmente, la cavità risonante è uno *stub*.

Preferibilmente, ciascuna cavità risonante ha una larghezza corrispondente all'apertura della cavità risonante sul canale in guida d'onda e il gradino opposto alla cavità risonante ha una larghezza di gradino lungo la direzione di propagazione dei segnali sostanzialmente uguale alla larghezza di cavità risonante.

20 Preferibilmente, la struttura a gradino ha un'altezza di gradino definita con riferimento al piano di riferimento della parete laterale nella quale il gradino è formato, l'altezza di gradino essendo compresa tra 0 e $0,15\lambda_{g,1}$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante B1.

In alcune forme di realizzazione, ciascuna cavità risonante ha una sezione trasversale nel piano E ripiegata a forma di T o L per minimizzare l'ingombro lungo la direzione del campo E e presenta un'apertura a massimo accoppiamento sul canale in guida d'onda, preferibilmente di larghezza w_k compresa tra $0,08\lambda_{g,1}$ e $0,35\lambda_{g,1}$.

- 5 In alcune forme di realizzazione preferite, il filtro elettronico è un filtro rigetta banda nel quale ciascun risonatore presenta almeno uno zero di trasmissione ad una frequenza compresa nella banda rigettata B2 ed almeno uno zero di riflessione ad una frequenza compresa nella banda passante B1.

In alcune forme di realizzazione, la struttura di guida d'onda comprende una prima
10 porta di ingresso/uscita, una seconda porta di ingresso/uscita dei segnali elettromagnetici, il canale in guida d'onda connettendo la prima con la seconda porta di ingresso/uscita.

Preferibilmente, le pareti laterali e il canale in guida d'onda sono formati in almeno un'unità metallica. Più preferibilmente, le pareti laterali e il canale di guida d'onda
15 sono formati in una prima e una seconda unità metallica, le due unità metalliche costituendo due metà di una struttura a conchiglia che sono unibili tra loro mediante mezzi di chiusura meccanici in modo da formare una struttura di guida d'onda a sezione trasversale rettangolare.

Preferibilmente, i segnali elettromagnetici sono segnali satellitari e la banda
20 operativa è selezionata nel gruppo che consiste in banda C, banda X, banda Ku, banda K, banda Ka e banda Q. In una forma di realizzazione, la banda operativa corrisponde alla banda Ku compresa tra 10 GHz e 18 GHz (i.e. [10, 18] GHz).

In un aspetto consistente con la presente divulgazione, è previsto un *diplexer* che
comprende una sezione comune di accesso per l'ingresso di segnali elettromagnetici
25 nella banda di frequenze operativa, una sezione di filtro di trasmissione e una sezione

di filtro di ricezione, entrambe le sezioni di filtro essendo accoppiate alla sezione comune di accesso in modo da ricevere i segnali elettromagnetici che entrano nella sezione comune, in cui ciascuna sezione di filtro è un filtro che comprende le caratteristiche principali della presente invenzione.

5 In alcune forme di realizzazione, è previsto un *multiplexer* che comprende un canale comune di accesso connesso ad una pluralità di filtri, almeno un filtro dei quali avente le caratteristiche principali del filtro della presente invenzione.

In una forma di realizzazione, è previsto un *multiplexer* che comprende una sezione comune di accesso per l'ingresso di segnali elettromagnetici nella banda di frequenze
10 operativa e una pluralità di sezioni di filtro, ciascuna sezione di filtro essendo configurata per separare una sotto-banda di frequenze compresa nella banda operativa in modo tale che diverse sezioni di filtro siano configurate per separare diverse sotto-bande di frequenze. Ciascuna sezione di filtro del *multiplexer* è accoppiata alla sezione comune di accesso ed almeno una sezione di filtro della
15 pluralità di sezioni di filtro è un filtro che comprende le caratteristiche principali della presente invenzione.

Il filtro secondo la presente invenzione è particolarmente adatto per l'applicazione nelle telecomunicazioni satellitari tramite antenne di bordo a microonde dedicate a servizi FSS (Fixed Satellite Services) o BSS (Broadcast Satellite Services) e/o
20 multimediali operanti in regime multi portante con potenze equivalenti di diverse decine di kilowatt.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno dalla seguente descrizione dettagliata fatta in riferimento ad esempi di realizzazione dell'invenzione dati a titolo non limitativo e alle allegate figure in cui:

25 La figura 1a è una vista prospettica schematica di un filtro rigetta banda in guida d'onda

rettangolare che comprende un risonatore formato da uno *stub* nel piano E .

La figura 1b è una vista dalla porta di ingresso del filtro di figura 1a.

La figura 1c è una sezione longitudinale della figura 1a nel piano AA.

La figura 2 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di
5 riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza ottenuti da una simulazione
numerica per un filtro in guida d'onda avente la struttura di figure 1a-1c.

La figura 3 è una vista di sezione nel piano E di un filtro rigetta banda che comprende
due risonatori a *stub* disposti in serie sulla stessa parete di guida d'onda e connessi
tramite un tratto di guida d'onda rettangolare.

10 Le figure 4, 5, 6 sono grafici che riportano le simulazioni dei coefficienti di
trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della
frequenza per diversi valori dei parametri geometrici del filtro in guida d'onda di figura
3.

La figura 7 mostra una vista di sezione nel piano E di un filtro rigetta banda in guida
15 d'onda rettangolare costituito dalla connessione in serie di due risonatori, ciascuno
comprendente due *stub* simmetrici contrapposti.

La figura 8 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di
riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza simulati per un filtro in guida
d'onda avente la struttura di figura 7.

20 La figura 9 è una vista di sezione nel piano E di un filtro rigetta banda che comprende
due risonatori a *stub* disposti in sequenza alternata su due pareti metalliche opposte e
connessi tramite un tratto di guida d'onda rettangolare.

La figura 10 è un grafico che riporta la simulazione dei coefficienti di trasmissione
(linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza per un
25 filtro in guida d'onda avente la struttura di figura 9.

La figura 11a è una vista prospettica schematica di un filtro rigetta banda in guida d'onda rettangolare che comprende un risonatore formato da uno *stub* ed uno *step* nel piano *E*.

La figura 11b è una vista dalla porta di ingresso del filtro di figura 11a.

5 La figura 11c è una sezione longitudinale della figura 11a nel piano AA.

La figura 12 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza ottenuti da una simulazione numerica per un filtro in guida d'onda avente la struttura di figure 11a-11c.

La figura 13 mostra la vista di sezione nel piano *E* di una struttura di filtro rigetta banda
10 in guida d'onda rettangolare secondo una forma di realizzazione della presente invenzione.

La figura 14 è un grafico che riporta la simulazione dei coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza per un filtro in guida d'onda avente la struttura di figura 13.

15 La figura 15 mostra la sezione nel piano *E* di una struttura di filtro rigetta banda in guida d'onda rettangolare secondo una forma di realizzazione della presente invenzione nella quale la lunghezza di connessione tra risonatori adiacenti è nulla, $L_k=0$.

La figura 16 è un grafico che riporta la simulazione dei coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza per un
20 filtro in guida d'onda avente la struttura di figura 15.

La figura 17 è una rappresentazione schematica di una sezione nel piano *E* di una struttura di *diplexer* in guida d'onda rettangolare in accordo con una forma di realizzazione della presente invenzione.

La figura 18 mostra una vista prospettica di un *diplexer* avente la struttura in guida
25 d'onda di figura 17 costruito con struttura metallica a conchiglia, secondo una forma di

realizzazione della presente invenzione.

La figura 19 è un grafico che riporta la curva simulata (linea continua) e la curva misurata (linea tratteggiata) in funzione della frequenza del coefficiente di riflessione alla porta comune di un *diplexer* in guida d'onda WR75 avente la struttura di figure 17-
5 18.

La figura 20 è un grafico che riporta la curva simulata (linea continua) e la curva misurata (linea tratteggiata) in funzione della frequenza del coefficiente di trasmissione tra le porte Tx e Rx di un *diplexer* in guida d'onda WR75 avente la struttura di figure 17-18.

10 Nel seguito, numeri di riferimento uguali in figure diverse indicano elementi uguali o aventi uguali funzioni.

La figura 1a è una vista prospettica schematica di un filtro rigetta banda esemplificativo in guida d'onda rettangolare che comprende un risonatore formato da una cavità risonante costituita da una fessura (*stub*) in cortocircuito (ovvero, la
15 fessura è terminata su una parete metallica). La figura 1b è una vista dalla porta di ingresso del filtro di figura 1a, mentre la figura 1c è una sezione longitudinale nel piano AA di figura 1b. Il filtro 1 comprende un canale in guida d'onda rettangolare 2 delimitato nel piano AA da una prima parete laterale 3 e da una seconda parete laterale 4, opposta alla prima parete laterale. La prima e la seconda parete laterale
20 sono disposte su due rispettivi piani principali tra loro paralleli. L'onda elettromagnetica è confinata all'interno del canale in guida d'onda e si propaga lungo una direzione principale di propagazione dei segnali elettromagnetici indicata con la freccia 5, quest'ultima corrispondendo ad una direzione sostanzialmente parallela alle prima e seconda pareti laterali della guida d'onda. In figura 1a è indicata la
25 direzione del vettore \vec{E} del campo elettrico incidente e si definisce piano *E* il piano

contenente il vettore \vec{E} ed il vettore direzione di propagazione 5, ovvero, in figura 1b, il piano AA. Il filtro comprende uno *stub* 6 nel piano E di altezza h_k che si apre sul canale in guida d'onda con un'apertura di larghezza w_k che definisce la larghezza w_k dello *stub*. Il canale in guida d'onda ha sezione rettangolare, in un piano perpendicolare al piano E , di larghezza a ed altezza b . I segnali elettromagnetici entrano ad una porta di ingresso 7 della guida d'onda ed escono da una porta di uscita 8, entrambe in un rispettivo piano perpendicolare al piano E . Lo *stub* agisce da cavità risonante introducendo una frequenza di risonanza, ovvero uno zero di trasmissione per il modo fondamentale dei segnali che si propagano lungo la guida d'onda. La frequenza dello zero di trasmissione è determinata principalmente dalle dimensioni dello *stub* nel piano E , ovvero h_k e w_k . Lo zero di trasmissione definisce una banda di frequenze rigettate nella quale la trasmissione è interdetta, ovvero di frequenze alle quali il segnale è fortemente attenuato, indicata nel seguito con banda rigettata. La banda passante del filtro è definita quale l'intervallo di frequenze nel quale il filtro esibisce un elevato coefficiente di trasmissione tra le porte di accesso, preferibilmente maggiore di -0.2 dB.

Gli spigoli interni 9 e 10 dello *stub* (figura 1c) sono arrotondati con un raggio di curvatura r , il cui valore dipende dallo specifico processo di costruzione meccanica adottato. In generale, i risonatori a *stub* sono strutture adatte a gestire elevati livelli di potenza in trasmissione (Tx) senza che si inneschino fenomeni di *multipaction*. Le dimensioni w_k e h_k del risonatore a *stub* sono selezionate in dipendenza della banda passante e della banda rigettata che si desiderano ottenere e della capacità di trasmissione e reiezione dei segnali. La capacità di trasmissione e reiezione di un filtro rigetta banda è usualmente rappresentata dal coefficiente di trasmissione, S_{21} , tra le porte di ingresso e uscita della guida d'onda (rispettivamente, porte 7 e 8 nelle

figure 1a e 1c) e dal coefficiente di riflessione, S_{11} , alla porta di ingresso della guida d'onda.

La figura 2 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza di un filtro con struttura del
5 filtro 1 di figure 1a-1c risultanti da una simulazione numerica. La guida d'onda considerata nella simulazione aveva dimensioni $a \times b$ di 19,05 mm x 9,525 mm, corrispondenti a quelle richieste per una guida d'onda WR75, che rappresenta uno standard di guida d'onda rettangolare usata nella banda [10, 15] GHz. Le dimensioni dello *stub* erano $w_k=4$ mm, $h_k=4,1$ mm e $r=0,5$ mm. Il coefficiente di trasmissione S_{21}
10 ha uno zero ad una frequenza di 14,5 GHz. Nel grafico sono indicate una banda passante B1 nell'intervallo di frequenze da 9 a 12 GHz (28,6 % di banda percentuale riferita alla frequenza centrale della banda passante B1) ed una banda rigettata B2 da 13 a 16 GHz (20,7 % di banda percentuale riferita alla frequenza centrale della banda rigettata B2). La banda percentuale di transizione tra B1 e B2 è pari a 8% (riferita
15 alla frequenza centrale della banda di transizione 12-13 GHz).

Se da una parte all'aumentare della larghezza dello *stub* aumentano le capacità del filtro sia di reiezione (derivante da un maggiore accoppiamento con il canale in guida rettangolare) sia di gestione di potenze elevate in trasmissione (dovuto all'aumento della tensione equivalente necessaria all'innescio delle scariche per *multipaction*), una
20 larghezza elevata dello *stub* comporta valori di coefficiente di riflessione non sufficientemente bassi all'interno della banda passante B1. Con riferimento alla figura 2, il coefficiente di riflessione S_{11} ha ampiezza inferiore a -10 dB nella banda B1. Ad esempio, tale valore cresce a -7 dB per una struttura con $w_k=8$ mm e $h_k=3,8$ e nella quale gli altri parametri strutturali rimangono invariati rispetto all'esempio
25 numerico precedente. Inoltre, in pratica e nell'ambito delle tecnologie di

fabbricazione dei filtri elettronici in guida d'onda comunemente utilizzate (ad esempio, fresatura ed elettroerosione), esiste un limite inferiore sulla larghezza dello *stub*. Tale valore è tipicamente definito dalla dimensione degli utensili impiegati per formare le discontinuità strutturali nelle pareti della guida d'onda.

- 5 Una configurazione di risonatore che presenti un elevato coefficiente di riflessione è particolarmente svantaggiosa per la realizzazione di filtri a larga banda, ottenuti mediante la cascata di più risonatori. Di fatto, livelli di coefficienti di riflessione elevati dei singoli risonatori genera un'elevata onda stazionaria tra i risonatori che costituiscono i filtri, non consentendo di ottenere bassi livelli di coefficiente di
10 riflessione, di perdite e di distorsione di fase su una banda larga e limitando il massimo livello di potenza in trasmissione dei filtri.

La Richiedente ha osservato che la presenza di modi di propagazione di ordine superiore lungo la guida d'onda rettangolare di un filtro a larga banda che prevede due risonatori prossimi e adiacenti può notevolmente deteriorare il livello di
15 rieiezione in banda rigettata a causa dell'interazione elettromagnetica tra i due risonatori attraverso i primi due modi di ordine superiore, TE_{11} e TM_{11} , della guida d'onda che connette i risonatori. Il deterioramento è da intendersi rispetto alle prestazioni che si ottengono a seguito di un'interazione elettromagnetica tra due risonatori prossimi adiacenti tramite unicamente il modo fondamentale (TE_{10}) della
20 guida rettangolare.

La figura 3 mostra una vista di sezione nel piano E di un filtro 17 che comprende due risonatori costituiti da un rispettivo *stub* 18 e 19, ciascuno dei quali, per semplicità di descrizione, avente struttura uguale a quella del risonatore 1 riportato in figura 1a-1c. Lo *stub* 18 ha altezza h_k e larghezza w_k , mentre lo *stub* 19 ha altezza h_{k+1} e larghezza
25 w_{k+1} . Gli *stub* sono connessi in serie lungo la direzione di propagazione 5 dei segnali,

ovvero lungo il canale in guida d'onda delimitato dalle pareti laterali 3 e 4 e avente una porta di ingresso 7 e una porta di uscita 8. I due *stub* 18 e 19 sono spazati tra loro da una sezione longitudinale 20 di guida d'onda di lunghezza L_k , definita lungo la direzione di propagazione dei segnali e di altezza b_k , corrispondente alla distanza
5 tra le pareti laterali nella sezione di guida d'onda tra i due *stub*. La sezione longitudinale di guida d'onda che separa due risonatori prossimi adiacenti verrà indicata nel seguito con sezione di connessione, mentre la sua lunghezza L_k con lunghezza di connessione. Nella struttura di figura 3 la sezione di connessione ha sezione trasversale rettangolare nel piano E.

10 E' da intendersi che l'altezza b_k della sezione di connessione tra i due risonatori 18 e 19 può essere diversa dall'altezza b della guida d'onda alle porte di ingresso e uscita, 7 e 8, del filtro. In particolare, una diminuzione dell'altezza b_k consente di aumentare la reiezione del filtro in banda rigettata, ma a discapito delle altre figure di merito, quali coefficiente di riflessione in banda passante e capacità di gestire potenze
15 elevate in trasmissione, rendendo, quindi, l'architettura non conforme alle specifiche tecniche imposte in molte applicazioni.

La figura 4 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione e di riflessione (linea tratteggiata) risultanti da una simulazione numerica in funzione della frequenza per un filtro con struttura descritta con riferimento alla figura 3. La guida
20 d'onda considerata nella simulazione i cui risultati sono riportati in figura 4 aveva dimensioni $a \times b$ di 19,05 mm x 9,525 mm, corrispondenti a quelle di una guida d'onda WR75, $w_k = w_{k+1} = 4,0$ mm, $h_k = h_{k+1} = 4,1$ mm, $L_k = 3,0$ mm, $b_k = b$ e $r = 0,5$ mm. Il coefficiente di trasmissione S_{21} rappresentato con linea tratto-punto in figura 4 è il risultato di una simulazione in cui si assume che l'interazione elettromagnetica tra i
25 risonatori 18 e 19 avvenga mediante il solo modo fondamentale della guida d'onda

per cui è previsto uno zero doppio di trasmissione a circa 14.5 GHz. Il coefficiente di trasmissione S_{21} rappresentato dalla linea solida in figura 4 è il risultato di una simulazione in cui si assume che l'interazione tra i due risonatori avvenga anche attraverso i modi di ordine superiore. Si può osservare una notevole degradazione della capacità di reiezione del filtro 17 in banda rigettata B2 nel caso di interazione multi-modale tra i risonatori. Questo fenomeno è causato dalla forte interazione multi-modale tra i risonatori 18 e 19 e, in particolar modo, da un'interazione elettromagnetica associata ai primi due modi di ordine superiore della guida d'onda. Quest'interazione viene ad instaurarsi a causa delle non sufficientemente bassa attenuazione dei modi TE_{11} e TM_{11} introdotta dalla sezione di guida d'onda rettangolare 20 che presenta ridotta lunghezza elettrica, dove la lunghezza elettrica è definita come il rapporto tra la lunghezza L_k e la lunghezza d'onda guidata λ_g nella guida d'onda.

La lunghezza d'onda guidata associata al modo fondamentale che si propaga in una guida d'onda rettangolare è pari a

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \quad (1)$$

20

dove λ è la lunghezza d'onda nello spazio libero.

Ad esempio, la lunghezza d'onda guidata $\lambda_{g,0}$ in una guida rettangolare WR75 alla frequenza centrale $f_0=12.5$ GHz della banda operativa [10, 15] GHz è pari approssimativamente a 30 mm, per cui la lunghezza elettrica della sezione di guida d'onda tra i due *stub* adiacenti di figura 3 risulta essere pari a circa 1/10.

25

La Richiedente ha considerato, quale possibile soluzione a questa problematica, un incremento della lunghezza elettrica della sezione di connessione 20 di una quantità pari a $\lambda_{g,2}/2$ (sezione di connessione che lavora alla seconda risonanza). La figura 5 riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza simulati al computer di un filtro come quello di figura 3. Rispetto alla simulazione di figura 4, nella simulazione di figura 5 si è unicamente variata la lunghezza L_k della sezione di guida d'onda rettangolare 20 tra i risonatori 18 e 19, il cui valore è pari a 15 mm, ovvero 5 volte il valore utilizzato nella simulazione di figura 4. In particolare, al valore di L_k della simulazione di figura 4 è stata aggiunta una quantità pari a 12 mm, corrispondente a $\lambda_{g,2}/2$ alla frequenza centrale della banda rigettata $f_2=14.5$ GHz. Dalla figura 5 si nota che l'incremento del valore di L_k consente di attenuare notevolmente l'interazione elettromagnetica tra i risonatori 18 e 19 causata dai modi di ordine superiore della guida rettangolare, ripristinando la presenza, in banda rigettata B2, di due zeri del coefficiente di trasmissione S_{21} .

Tuttavia, la Richiedente ha notato che questa soluzione tecnologica aggrava l'ingombro e la massa dei filtri e riduce la loro larghezza di banda a causa della notevole rotazione di fase introdotta dalla sezione di connessione, risultando, quindi, non praticabile in molte applicazioni di interesse.

E' stata considerata una seconda possibile soluzione atta alla riduzione dell'interazione multi-modale tra i risonatori che prevede l'utilizzo di una guida d'onda rettangolare ribassata, ovvero di una guida d'onda rettangolare nella quale l'altezza b è ridotta. Il grafico di figura 6 riporta i coefficienti simulati di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza di un filtro con struttura come quella di figura 3, nel quale le dimensioni

della guida rettangolare ribassata $a \times b$ sono pari a 19,05 mm x 5 mm e $w_k = w_{k+1} = 4,0$ mm, $h_k = h_{k+1} = 5,4$ mm, $L_k = 3,0$ mm, $b_k = b$ e $r = 0,5$ mm. La variazione dei valori dei parametri h_k rispetto a quelli della geometria a cui si riferiscono le simulazioni riportate nelle figure 4 e 5 compensa la variazione dell'altezza b della guida in cui sono inseriti i due risonatori. Sebbene non siano presenti i due zeri di trasmissione sull'asse reale delle frequenze, il coefficiente di trasmissione S_{21} del filtro in guida d'onda rettangolare ribassata presenta un'adeguata reiezione in banda rigettata con un minimo a livelli di -30 dB in centro banda B2.

La Richiedente ha osservato che questa soluzione tecnologica presenta delle forti limitazioni in termini di massima potenza gestibile in trasmissione, conseguente a livelli di campo elettrico più elevati nella struttura interna del filtro a parità di potenza incidente, di perdite di inserzione, conseguenti a correnti elettriche più elevate che scorrono sulle pareti laterali del filtro, e di coefficiente di riflessione in banda passante.

Una terza possibile soluzione applicabile ai filtri in guida rettangolare per ovviare all'interazione tra risonatori adiacenti che avviene attraverso i modi TE_{11} e TM_{11} prevede di simmetrizzare la struttura dei risonatori. La figura 7 mostra una vista della sezione nel piano E di un filtro rigetta banda in guida d'onda rettangolare nel piano E che comprende due risonatori simmetrici, ciascuno costituito da due *stub* uguali contrapposti. Il filtro comprende un canale in guida d'onda 2 delimitato nel piano E da una prima e una seconda parete laterale 3, 4. Sulla prima parete laterale 3 sono disposti in serie due *stub* 21a e 21b che affacciano due rispettivi *stub* 22a e 22b formati sulla seconda parete laterale 4, opposta alla prima parete laterale. Ciascuna coppia di *stub* contrapposti (i.e. 21a, 22a e 21b, 22b) crea una cavità risonante caratterizzata da una frequenza di risonanza. Le altezze h_k e h_{k+1} e le larghezze w_k e

w_{k+1} dei due *stub* costituenti ciascun risonatore sono identiche e sono determinate, per ciascun risonatore, sulla base della frequenza di risonanza e del fattore di qualità richieste per ciascun risonatore allo scopo di ottenere la risposta in frequenza desiderata del filtro. In una guida d'onda con una pluralità di risonatori a *stub* simmetrici del tipo mostrato in figura 7, l'interazione elettromagnetica tra i risonatori 5 prossimi e adiacenti lungo la direzione di propagazione dei segnali avviene sostanzialmente solo tramite il modo fondamentale in quanto i due modi di ordine superiore TE_{11} e TM_{11} non vengono eccitati per simmetria.

La figura 8 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di 10 riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza risultanti da una simulazione numerica di un filtro avente la struttura di figura 7 e lunghezza di connessione $L_k=3,0$ mm. Le dimensioni della guida d'onda considerata nella simulazione è conforme alle specifiche tecniche WR75 e i due risonatori simmetrici 21a, 22a e 21b, 22b hanno le medesime dimensioni $w_k = w_{k+1}=4,0$ mm, $h_k = h_{k+1}=5,4$ 15 mm, $b_k=b$, e $r=0,5$. Poiché le due cavità risonanti hanno le stesse dimensioni, ciascuna definisce uno zero di trasmissione alla stessa frequenza e pari a 14,5 GHz. Il coefficiente di trasmissione, S_{21} , del filtro è attenuato in banda rigettata presentando un minimo in centro banda B2 di circa -35 dB (equivalente a due zeri di trasmissione nel piano complesso prossimi all'asse reale delle frequenze). Nonostante la presenza 20 di uno zero di riflessione alla frequenza di 11 GHz, il filtro esibisce un significativo coefficiente di riflessione, S_{11} , in banda passante con un valore massimo pari a -4 dB alla frequenza di taglio superiore della banda passante, i.e. 12 GHz. Senza voler essere vincolati da una particolare teoria o spiegazione, tale comportamento è causato da un maggiore disadattamento alle porte di ingresso di ciascun risonatore 25 avente la struttura simmetrica riportata in figura 7 rispetto alla struttura a singolo *stub*

riportata in figure 1a-1c. Conseguentemente, filtri con ampia banda passante possono essere implementati con questa soluzione architeturale ricorrendo ad un numero maggiore di risonatori. In alternativa, il coefficiente di riflessione del filtro di figura 7 può essere diminuito in prossimità della frequenza di taglio superiore della banda passante spostando lo zero del coefficiente di riflessione sull'asse reale delle frequenze, ovvero riducendo la lunghezza di connessione L_k .

La Richiedente ha, tuttavia, osservato che la fabbricazione di guide d'onda metalliche con cavità risonanti simmetriche e lunghezza di connessione inferiore a circa 4-6 mm può diventare problematica dal punto di vista meccanico. Ad esempio, in una realizzazione meccanica formata da due unità metalliche a conchiglia (*clamshell*) non riesce ad essere inserita e/o essere ben serrata una vite tra una cavità e la successiva cosicché non è garantita una buona chiusura tra le parti metalliche che formano la guida d'onda con conseguente aumento di perdite di segnale lungo la guida.

La Richiedente ha capito che una struttura di filtro in guida d'onda che prevede una pluralità di cavità risonanti disposte alternativamente sulla prima parete laterale e sulla seconda parete laterale lungo la direzione di propagazione dei segnali consente di ridurre notevolmente l'influenza dei modi di ordine superiore TE_{11} e TM_{11} sulla reiezione del filtro in banda rigettata senza un apprezzabile deterioramento delle altre figure di merito del filtro.

La figura 9 è una vista di sezione nel piano E di un filtro rigetta banda che comprende due risonatore a *stub* disposti in sequenza alternata su due pareti metalliche opposte e connessi tramite una sezione di guida d'onda rettangolare. La struttura di filtro 23 in guida d'onda prevede due risonatori a *stub* 24 e 25 disposti alternativamente sulla prima parete laterale 27 e sulla seconda parete laterale 28

lungo la direzione di propagazione 5 dei segnali. Le pareti laterali delimitano il canale in guida d'onda 2. I due risonatori 24 e 25 formati sulle due pareti laterali opposte 27 e 28 sono connessi tramite una sezione di guida d'onda rettangolare di altezza b_k e lunghezza L_k , ovvero tramite una sezione di connessione.

5 La figura 10 riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in funzione della frequenza simulati per una struttura di filtro di figura 9 a due *stub* disposti alternativamente sulle pareti opposte di una guida d'onda rettangolare. I parametri geometrici assumono gli stessi valori di quelli dell'esempio di figura 4 per un filtro avente la struttura di figura 3, ovvero $a \times b$ pari a 19,05 mm x
10 9,525 mm, corrispondenti a quelle di una guida d'onda WR75, $w_k = w_{k+1} = 4,0$ mm, $h_k = h_{k+1} = 4,1$ mm, $L_k = 3,0$ mm, $b_k = b$ e $r = 0,5$ mm. Il coefficiente di trasmissione, S_{21} , presenta due zeri sull'asse reale delle frequenze in banda rigettata, rispettivamente a circa 13,75 GHz e a 15,75 GHz. Senza voler essere vincolati da nessuna teoria o spiegazione, lo spostamento degli zeri di trasmissione dalla posizione nominale di
15 14,5 GHz è riconducibile alla ridotta interazione multi-modale residua tra i due risonatori. Contestualmente, il filtro esibisce un coefficiente di riflessione inferiore a -16 dB nell'intera banda passante con uno zero alla frequenza di 11,7 GHz.

La Richiedente ha capito che le lunghezze di connessione L_k tra risonatori successivi ricavati su pareti opposte non presentano criticità dal punto di vista meccanico. E' pertanto possibile dimensionare la lunghezza di connessione in modo da
20 massimizzare le prestazioni elettriche dei filtri a larga banda, in particolare ma non esclusivamente, in modo da minimizzare il coefficiente di riflessione del filtro in banda passante.

Si è osservato che, anche per strutture in cui le lunghezze di connessione sono
25 inferiori a circa 4 mm, non sono presenti elementi meccanici di dimensioni critiche

che possono compromettere la costruzione e l'assemblaggio meccanico in una realizzazione meccanica di tipo *clamshell*. In particolare, si è trovato che un filtro in guida d'onda che comprende una pluralità di cavità risonanti disposte alternativamente sulle pareti laterali opposte lungo il canale in guida d'onda con
5 lunghezza di connessione tra risonatori successivi molto piccola o sostanzialmente nulla permette di ottenere il massimo accoppiamento elettrico tra risonatori adiacenti lungo la direzione di propagazione dei segnali in quanto la larghezza w_k di ciascun risonatore può essere massimizzata. Questo aspetto consente di avere risonatori con larghezza di apertura sul canale in guida d'onda maggiore e, quindi, di gestire un
10 maggiore livello di potenza in trasmissione senza che si inneschino fenomeni di scarica per *multipaction*. Vantaggiosamente, la sostanziale assenza delle sezioni di connessione riduce le dimensioni e il peso della struttura, in generale metallica, del filtro.

Secondo un aspetto principale consistente con la presente divulgazione, la sezione
15 longitudinale di guida d'onda ha lunghezza di connessione lungo la direzione principale di propagazione dei segnali inferiore o uguale a $\lambda_{g,1}/8$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante. Preferibilmente, la lunghezza di connessione è uguale o inferiore a $\lambda_{g,1}/16$.

La Richiedente ha capito che, in alcune forme di realizzazione preferite,
20 l'inserimento di un gradino (*step*) che protrude all'interno del canale in guida d'onda e che affaccia una cavità risonante (*stub*) disposta nella parete laterale opposta aumenta la flessibilità di progettazione del filtri. La Richiedente ha realizzato che la disposizione alternata delle cavità risonanti sulle pareti laterali della guida d'onda è applicabile a filtri con risonatori aventi struttura composita *stub-step*, ottenendo così
25 una flessibilità di fabbricazione meccanica e una riduzione dell'interazione multi-

modale tra risonatori adiacenti, anche per lunghezze di connessione piccole o molto piccole. In particolare, è stato trovato che la lunghezza di connessione può essere ridotta a zero senza introdurre un significativo deterioramento della risonanza complessiva della struttura.

5 Le figure 11a-11c riportano la vista prospettica, la vista frontale e di sezione nel piano E di un esemplificativo filtro rigetta banda 11 in guida d'onda rettangolare la cui struttura di guida d'onda comprende un singolo risonatore costituito da uno *stub* e da uno *step*. Uno *step* 12 è formato in una stessa sezione longitudinale di guida d'onda che comprende uno *stub* 29 formato nella parte laterale opposta 3 rispetto
10 quella alla parete laterale 4 nella quale è formato lo *step*. Lo *step* 12 comprende una prima parete verticale 13 e una seconda parete verticale 14 che lo delimitano lateralmente e definiscono la sua estensione all'interno del canale in guida d'onda lungo la direzione di propagazione dei segnali elettromagnetici. Le pareti verticali 13, 14 dello *step* hanno altezza h_k' rispetto al piano di riferimento della parete laterale
15 4. Preferibilmente, le posizioni delle pareti 13 e 14 dello *step* lungo l'asse di propagazione 5 sono allineate rispettivamente con quelle 15 e 16 dello *stub* per motivi di semplicità meccanica e di progettazione. In queste realizzazioni preferite, quindi, la larghezza w_k' dello *step* 12 coincide con quella w_k dello *stub* 29.

L'inserimento dello *step* 12 accresce la flessibilità progettuale del risonatore, in
20 quanto una variazione della sua altezza h_k' comporta una variazione del coefficiente di riflessione del risonatore in banda passante B1 senza modificare sostanzialmente le caratteristiche di isolamento del risonatore in banda rigettata. In particolare, la Richiedente ha osservato che è possibile configurare un risonatore composito *stub-step* in modo da produrre uno zero di trasmissione in banda rigettata B2 ed uno zero
25 di riflessione in banda passante B1.

La figura 12 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) risultanti da una simulazione al computer in funzione della frequenza di un filtro con struttura del filtro 11 di figure 11a-11c. La guida d'onda considerata nella simulazione aveva dimensioni $a \times b$ di 19,05 mm x 9,525 mm, corrispondenti a quelle di una guida d'onda WR75, $w_k'=w_k=4,0$ mm, $h_k=4,45$ mm, $h_k'=2,0$ mm e $r=0,5$ mm. Il coefficiente di trasmissione S_{21} presenta uno zero in banda rigettata B2 ad una frequenza di 14,5 GHz ed un coefficiente di riflessione S_{11} con uno zero in banda passante B1 ad una frequenza di 9,5 GHz. Si osserva che la struttura composita *stub-step* di figura 11a-11c consente di aumentare la larghezza w_k dello *stub*, migliorando quindi le prestazioni del filtro in termini di gestione di potenza in trasmissione e di reiezione in banda rigettata, pur garantendo valori relativamente bassi di coefficiente di riflessione in banda passante B1, ovvero S_{11} inferiore a circa -15 dB in banda B1 (figura 12).

La figura 13 mostra schematicamente la sezione trasversale nel piano E di una struttura di una guida d'onda rettangolare 40 per un filtro rigetta banda secondo una forma di realizzazione della presente invenzione. La struttura di guida d'onda comprende un canale in guida d'onda rettangolare 2 (i.e. a sezione rettangolare in un piano perpendicolare al piano E) delimitato da una prima parete laterale 39 e da una seconda parete laterale 41, opposta alla prima parete laterale. La prima e la seconda parete laterale di guida d'onda hanno un rispettivo piano di riferimento principale 37 e 38 definito quale il piano principale sul quale giace la rispettiva parete laterale. I segnali elettromagnetici entrano nel canale in guida d'onda 2 lungo la direzione principale di propagazione indicata in figura con la freccia 5, in generale parallela ai piani di riferimento 37, 38 delle pareti laterali che preferibilmente sono tra loro paralleli.

Preferibilmente, il canale in guida d'onda rettangolare ha larghezza a superiore a $\lambda_{\max}/2$, dove λ_{\max} è la lunghezza d'onda nello spazio libero corrispondente alla minima frequenza f_{\min} della banda operativa di frequenze del filtro. La banda operativa è definita quale intervallo di frequenze includente la banda passante B1 e la
5 banda rigettata rigettata B2. La distanza b tra le pareti laterali opposte, definita come distanza tra i piani di riferimento delle rispettive pareti laterali, è preferibilmente uguale o inferiore a $a/2$. In alcune forme di realizzazione, i valori di a e b sono conformi agli standard delle guida d'onda rettangolari usate nei filtri per comunicazioni satellitari.

10 Ad esempio, in una struttura di guida d'onda rettangolare WR75 usata nella banda di frequenza da 10 a 15 GHz, circa corrispondente alla banda di frequenza Ku, $\lambda_{\max} = 30$ mm corrisponde alla frequenza $f_{\min} = 10$ GHz e il canale in guida d'onda ha dimensioni $a = 19,05$ mm e $b = 9,525$ mm.

La struttura di guida d'onda 40 comprende una pluralità di n cavità risonanti $1, \dots, k-$
15 $1, k, k+1, \dots, n$ disposte in sequenza alternata su pareti laterali opposte lungo la direzione di principale di propagazione e spaziate tra loro da sezioni longitudinali di guida d'onda di lunghezza L_k . In particolare, due cavità risonanti prossime adiacenti della pluralità di n cavità risonanti sono formate su pareti laterali opposte e sono separate da una sezione longitudinale di guida d'onda, ovvero da una sezione di
20 connessione.

La sezione di connessione tra due cavità risonanti prossime adiacenti è preferibilmente priva di discontinuità. In altre parole, le pareti laterali opposte, in corrispondenza della sezione di connessione, si sviluppano lungo i rispettivi piani di riferimento. Nei maggior parte dei casi di interesse, questa condizione implica che

l'altezza b_k della sezione di connessione sia uguale all'altezza b della guida d'onda all'ingresso (e all'uscita) del canale in guida d'onda.

Nell'esempio in figura 13 la struttura di guida d'onda del filtro comprende cinque cavità risonanti a *stub* 42, 43, 44, 30 e 31 formate alternativamente nelle pareti
5 laterali 39, 41 della guida d'onda.

Preferibilmente, nel filtro, per ciascuno *stub* disposto in una determinata sezione longitudinale di guida d'onda, è previsto uno *step* disposto sulla parete laterale opposta a quella del rispettivo *stub* ed in corrispondenza della medesima determinata sezione longitudinale di guida d'onda. Gli *step* risultano quindi disposti in sequenza
10 alternata lungo pareti laterali opposte. Nella presente forma di realizzazione, il filtro comprende una pluralità di risonatori disposti in sequenza lungo la direzione principale di guida d'onda, ciascun risonatore comprendendo una cavità risonante a *stub* e uno *step* disposto sulla parete laterale opposta a quella del rispettivo *stub*, in modo tale che le cavità risonanti di ciascun risonatore sono disposte opposte a
15 corrispondenti *step* in una corrispondenza uno a uno. In figura 13, gli *step* dei rispettivi risonatori sono indicati con 42', 43', 44', 30' e 31'.

Preferibilmente, la disposizione degli *stub* e degli *step* è tale per cui l'asse in una direzione perpendicolare al piano di riferimento della parete laterale nella quale ciascuno *stub* è formato e centrale rispetto alla dimensione principale della guida
20 d'onda coincide sostanzialmente con l'asse centrale dello *step* ad esso opposto. I rispettivi assi centrali dei cinque risonatori del filtro sono indicati in figura 13 con i numeri di riferimento 32, 33, 34, 35, 36.

Le altezze h_k e h_k' , rispettivamente, dello *stub* k e dello *step* k del risonatore k ($k=1, \dots, n$) sono definite quali altezza massima rispetto al piano di riferimento della
25 rispettiva parete laterale, e.g. lungo il loro rispettivo asse centrale. Preferibilmente,

l'altezza h_k dello *stub* può assumere valori compresi tra $0,1\lambda_{g,2}$ e $0,8\lambda_{g,2}$, dove $\lambda_{g,2}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda rigettata B2. Il valore $\lambda_{g,2}$ può essere selezionato all'interno dell'intervallo sopra indicato in dipendenza dal regime di lavoro in cui lo *stub* viene fatto operare, ovvero
5 dall'ordine della risonanza che si utilizza.

Preferibilmente, l'altezza h_k' dello *step* di ciascun risonatore è compresa tra 0 e $b/2$, dove b è l'altezza della guida d'onda, definita dalla distanza tra i due piani di riferimento 37, 38 delle pareti laterali. In alcune forme particolarmente preferite, l'altezza del gradino di ciascun risonatore è compresa tra 0 e $0,15\lambda_{g,1}$, dove $\lambda_{g,1}$ è la
10 lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante B1. In questo contesto, un risonatore avente un valore di altezza dello *step* pari a zero (i.e. $h_k'=0$) è costituito da uno *stub* formato su una parete laterale mentre la sezione della parete laterale opposta disposta in corrispondenza dello *stub* coincide al piano di riferimento di tale parete laterale opposta.

15 Preferibilmente, la pluralità di risonatori comprende una rispettiva pluralità di *stub* e una pluralità di *step*, gli *step* essendo disposti in una corrispondenza uno a uno con gli *stub*, ciascuno *step* essendo disposto sulla parete laterale opposta a quella del rispettivo *stub*.

La larghezza w_k e w_k' dello *stub* e dello *step* è definita quale apertura dello *stub* e
20 *step*, rispettivamente, sul canale in guida d'onda. Preferibilmente, la larghezza dello *step* è uguale alla larghezza dello *stub* disposto opposto allo *step*, ovvero, nell'esempio di figura 13, $w_k=w_k'$. Sebbene non strettamente necessario, selezionare larghezze sostanzialmente uguali di *stub* e *step* opposti l'uno all'altro può ridurre la complessità di progettazione del filtro limitando il numero di variabili di
25 progettazione senza inficiare la flessibilità della struttura in termini di larghezza di

banda operativa e di posizionamento degli zeri di riflessione in banda passante e degli zeri di trasmissione in banda rigettata.

Nel presente contesto, per larghezze sostanzialmente uguali si intendono due valori di larghezze che si discostano tra loro per un valore non maggiore di $\Delta w=0,01$ mm, ovvero $w_k' = w_k \pm 0,01$ mm (valore sostanzialmente definito dalle tolleranze di lavorazione meccanica).

L'apertura w_k dello *stub* sul canale in guida d'onda determina sia l'accoppiamento elettromagnetico tra la k -esima cavità risonante e il canale in guida d'onda, ovvero la reiezione del risonatore, sia il livello di potenza che può essere gestito in trasmissione. Poiché il livello di potenza gestita in trasmissione senza che si inneschino fenomeni di scarica nel filtro per *multipaction* è inversamente proporzionale alla distanza tra pareti metalliche parallele affacciate, la Richiedente ha capito che è particolarmente vantaggioso che l'apertura w_k di ciascuno *stub* sia massimizzata.

Preferibilmente, la lunghezza di connessione lungo la direzione principale di guida d'onda tra due cavità risonanti prossime adiacenti è inferiore o uguale a $\lambda_{g,1}/8$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante. Più preferibilmente, la lunghezza di connessione è inferiore a o uguale a $\lambda_{g,1}/16$. In alcune forme di realizzazione, la lunghezza di connessione è compresa tra 0 e $\lambda_{g,1}/24$. In alcune forme di realizzazione particolarmente preferite, $L_k = 0$.

La distanza d_k tra i rispettivi assi centrali di due *stub* consecutivi adiacenti tra loro, ovvero di due risonatori prossimi adiacenti è un parametro che almeno in parte determina la banda passante del filtro e la presenza o assenza di zeri spuri di riflessione in banda rigettata. Pertanto, il parametro può essere selezionato in modo tale che zeri spuri di riflessione siano assenti nella banda rigettata. In generale, il

valore d_k dipende dalla fase dei coefficienti di riflessione dei due risonatori prossimi adiacenti e varia in dipendenza dalla larghezza della banda passante.

Preferibilmente, d_k è compreso nell'intervallo tra $0,15\lambda_{g,1}$ e $0,35\lambda_{g,1}$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda
5 passante.

L'altezza b_k di ciascuna sezione longitudinale di guida d'onda interposta tra due risonatori prossimi adiacenti, ovvero l'altezza della sezione di connessione, è preferibilmente uguale o maggiore all'altezza b della guida d'onda alle porte di accesso (i.e. porte di ingresso/uscita), allo scopo di ridurre la probabilità che si
10 inneschino fenomeni di *multipaction* tra le pareti laterali opposte della guida d'onda e/o le perdite di inserzione. In alcune forme di realizzazione preferite, $b_k=b$, per $k=1, \dots, n$. In altre forme di realizzazione, le altezze b_k delle sezioni di guida d'onda di connessione interposte tra risonatori prossimi adiacenti possono essere uguali o diverse tra loro.

15 In funzione delle caratteristiche elettriche del filtro che si vogliono ottenere, le altezze h_k degli *stub*, le altezze h_k' degli *step*, e le rispettive larghezze w_k e w_k' possono essere uguali o diverse per ciascun risonatore $k=1, \dots, n$.

Le lunghezze L_k delle sezioni di connessione di guida d'onda interposte tra risonatori prossimi adiacenti possono essere uguali o diverse tra loro.

20 Le pareti laterali e il canale in guida d'onda possono essere formati mediante tecniche meccaniche note, ad esempio elettroerosione e fresatura, su una prima unità metallica che può costituire una metà di una conchiglia che unita ad una seconda unità metallica con stessa struttura di guida d'onda forma l'altra metà di un filtro di tipo a conchiglia (*clamshell*). Nella forma di realizzazione di figura 13, la sezione nel
25 piano E dello *stub* e dello *step* di ciascun risonatore ha una forma rettangolare con

spigoli arrotondati in corrispondenza ad angoli convessi. Tuttavia, la geometria degli *stub* e degli *step* dei singoli risonatori può variare in considerazione dei parametri di accoppiamento che si desiderano ottenere e di eventuali requisiti meccanici da soddisfare. La forma è in molti casi pratici determinata dal processo di fabbricazione
5 della guida d'onda. A titolo esemplificativo, gli *stub* possono avere una forma ripiegata a T o ad L per minimizzare l'ingombro lungo la direzione del campo E presentando, comunque, un'apertura w_k a massimo accoppiamento con il canale della guida d'onda.

Ad esempio, una sezione trasversale approssimativamente rettangolare di *stub* e *step*,
10 ovvero i cui raggi di curvatura r degli spigoli sono piccoli (inferiori a 0,1-0,2 mm), può essere ottenuta realizzando la struttura metallica della guida d'onda mediante elettroerosione. In alcune applicazioni, tale tecnica di fabbricazione può però comportare una maggiore complessità meccanica con aggravio di costi e tempi di esecuzione.

15 Sempre a titolo di esempio, sezioni trasversali con spigoli arrotondati in corrispondenza di angoli convessi nella geometria dei risonatori sono tipicamente ottenute con sufficiente affidabilità e qualità media della realizzazione meccanica mediante fresatura, purché si garantisca un raggio di curvatura maggiore o uguale ad un quarto della profondità di scavo in modo da garantire la stabilità dell'utensile.

20 La figura 14 è un grafico che riporta i coefficienti di trasmissione S_{21} (linea continua) e di riflessione S_{11} (linea tratteggiata) risultanti da una simulazione numerica, in funzione della frequenza per un filtro con struttura di figura 13 e comprendente 5 risonatori. Il filtro è stato progettato per una banda passante B1 nell'intervallo di frequenze da 9 a 12 GHz ed una banda rigettata B2 da 13 a 16 GHz.

La guida d'onda considerata nella simulazione di figura 14 aveva dimensioni $a \times b$ di 19,05 mm x 9,525 mm, corrispondenti a quelle di una guida d'onda WR75. Le altezze b_k e le lunghezze L_k delle sezioni di connessione erano costanti per $k=1, 2, 3, 4, 5$ e pari a 9,525 mm ed 1,00 mm, rispettivamente. Le altezze h_k e le aperture w_k degli *stub* di ciascun risonatore variano, rispettivamente, nell'intervallo tra 4,0 mm e 4,6 mm, e nell'intervallo tra 4,0 mm e 6,4 mm. Le altezze degli *step* h'_k sono comprese tra 1,0 e 1,5 mm. A causa della limitata interazione elettromagnetica tra i risonatori attraverso i modi di ordine superiore, il filtro presenta un coefficiente di trasmissione S_{21} in cui sono presenti i cinque zeri che sarebbero prevedibili sulla base di un modello ideale in cui l'interazione tra i risonatori avviene mediante il solo modo fondamentale della guida d'onda. Conseguentemente, il filtro presenta una forte reiezione in banda rigettata B2 superiore a 40 dB. Inoltre, il filtro esibisce un coefficiente di riflessione S_{11} con un comportamento *equiripple* inferiore a -28 dB con quattro zeri di riflessione. Senza voler esser vincolati da nessuna particolare spiegazione, si suppone che gli zeri di riflessione originino dalla presenza delle quattro sezioni di connessione, collocate in banda passante B1.

La figura 15 mostra la sezione trasversale nel piano E di una struttura di filtro rigetta banda 50 in guida d'onda secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, comprendente una pluralità di n risonanti $1, \dots, k-1, k, k+1, \dots, n$, in cui ciascun risonatore è costituito da uno *stub* ed uno *step*, gli *stub* essendo disposti in sequenza alternata sulle pareti laterali opposte 55, 56 che delimitano il canale in guida d'onda lungo la direzione di propagazione 5 dei segnali elettromagnetici ed in cui la lunghezza di connessione tra risonatori adiacenti è nulla, $L_k=0$. In questa condizione, risonatori adiacenti sono tra loro contigui, ovvero lungo la superficie della prima parete laterale 55 che si affaccia sul canale lo *stub* 53 del generico

risonatore k ha in comune lo spigolo 57 con lo *step* 54' del risonatore $k+1$ e, contestualmente, lungo la superficie opposta della seconda parete laterale che si affaccia sul canale 56 lo *step* 53' del generico risonatore k ha in comune lo spigolo 57' con lo *stub* 54 del risonatore $k+1$.

- 5 L'assenza di tratti di connessione tra risonatori prossimi adiacenti, ovvero la contiguità della serie di risonatori disposti nella guida d'onda, consente la massimizzazione dell'accoppiamento di campo elettrico tra i risonatori e la guida d'onda, in quanto l'apertura degli *stub* sul canale in guida d'onda può essere massimizzata con conseguente aumento della capacità del filtro di gestire potenze
- 10 elevate senza problemi di *multipaction* anche in applicazioni a larga banda.

In molte forme di realizzazione, non è necessario ridurre l'altezza b della guida d'onda per eliminare la presenza di modi di propagazione dei segnali di ordine superiore.

- Nell'esempio in figura 15 la struttura di guida d'onda comprende cinque risonatori,
- 15 dove ciascun risonatore è composto da uno *stub* ed uno *step*, preferibilmente con medesima larghezza ($w_k=w_k'$) e con assi centrali disposti nella stessa posizione longitudinale in modo da minimizzare la complessità progettuale senza introdurre un degrado delle prestazioni. Le altezze h_k degli *stub*, le altezze h_k' degli *step* e le rispettive larghezze w_k possono essere uguali o diverse per ciascun risonatore sulla
- 20 base delle specifiche elettriche e meccaniche imposte su una particolare implementazione di questa soluzione architettuale.

- Si osserva che una struttura di filtro in guida d'onda del tipo di figure 13 e 15 presenta una bassa sensibilità ad errori di fabbricazione poiché la disposizione in sequenza alternata dei risonatori consente sia di massimizzare la distanza tra
- 25 superfici metalliche affacciate e parallele, aumentando quindi l'accuratezza

realizzativa per fresatura, sia di inserire mezzi meccanici di chiusura (e.g. viti e spine di allineamento) al fine di garantire un buon serraggio delle parti meccaniche mediante comuni tecniche di assemblaggio.

I coefficienti di trasmissione (linea continua) e di riflessione (linea tratteggiata) in
5 funzione della frequenza di un filtro con la struttura di figura 15 risultanti da una simulazione numerica sono riportati in figura 16. La guida d'onda considerata nella simulazione aveva dimensioni $a \times b$ di 19,05 mm x 9,525 mm, corrispondenti a quelle di una guida d'onda WR75. Le altezze h_k e le aperture w_k degli *stub* variano, rispettivamente, tra 3,8 mm e 4,2 mm, e tra 4,2 mm e 7,2 mm. Le altezze degli *step*
10 sono comprese tra 1,0 e 1,5 mm. Si osserva che le prestazioni del filtro esemplificativo con $L_k=0$ sono calcolate essere analoghe a quelle del filtro di figura 13 relative all'architettura di filtro con lunghezze di connessione pari ad 1 mm, in termini di adattamento in banda passante B1 e di reiezione in banda rigettata B2 riportate in figura 14. Nel caso di figura 15, l'assenza di tratti di connessione che
15 separano risonatori adiacenti consente di massimizzare l'accoppiamento tra i risonatori e la guida d'onda, ovvero di massimizzare il livello di potenza gestibile in trasmissione.

La struttura filtrante di guida d'onda sopra descritta può essere adottata per realizzare un dispositivo *multiplexer* che implementa la moltiplicazione in frequenza dei canali,
20 quali ad esempio *diplexer* (due canali) e *triplexer* (tre canali), operante ad esempio in una banda di frequenza corrispondente alla banda operativa C (da 4 GHz a 8 GHz), alla banda Q (da 30 GHz a 50 GHz) oppure alla banda V (da 50 GHz a 75 GHz).

Secondo alcune forme di realizzazione preferite, il dispositivo opera nella regione spettrale compresa tra 10 e 18 GHz, corrispondente alla banda di frequenza Ku per le
25 telecomunicazioni satellitari.

Preferibilmente, il *multiplexer* opera in una banda spettrale compresa tra 4 e 60 GHz che include le bande di frequenza satellitari C, X, Ku, K, Ka, Q e V. Tuttavia, si deve intendere che la presente invenzione non è limitata ad un specifico intervallo di frequenze di operazione.

- 5 Un filtro secondo gli insegnamenti generali della presente invenzione può essere utilizzato come elemento di base in un dispositivo *diplexer*.

Il *diplexer* può essere progettato per dividere una banda di frequenze in sotto-bande oppure per combinare due sotto-bande di frequenze in una banda di frequenze.

- La figura 17 è una rappresentazione schematica di una sezione trasversale nel piano
10 *E* di una struttura di guida d'onda rettangolare di un *diplexer* per separare una banda di frequenze in due sotto-bande, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione. In figura è rappresentata la sezione trasversale di un canale in guida d'onda, mentre le pareti laterali della guida d'onda non sono mostrate. Un *diplexer*
60 comprende una sezione di accesso 61 connessa ad una sezione di filtro di trasmissione 63 e ad una sezione di filtro di ricezione 64, le sezioni di accesso e di
15 filtro essendo indicate in figura con un rettangolo con linea tratto-punto. Le sezioni di filtro 63 e 64 del *diplexer* comprendono ciascuna una struttura di guida d'onda avente architettura analoga a quella della struttura di guida d'onda 50 di figura 15, ovvero comprendente una pluralità di risonatori composti *stub-step* i cui *stub* e *step*
20 sono disposti in sequenza alternata lungo pareti laterali opposte del rispettivo canale in guida d'onda con risonatori prossimi adiacenti che sono tra loro contigui ($L_k=0$). La sezione di accesso 61 è provvista di una porta di accesso 62, in comune per i segnali nelle due sotto-bande in trasmissione (Tx) e in ricezione (Rx), dalla quale entrano i segnali elettromagnetici nella banda Rx che si dirigono nel canale in guida
25 d'onda 66 che agisce da canale di ricezione ed a cui arrivano i segnali

elettromagnetici nella banda Tx dal canale in guida d'onda 65 che agisce da canale di trasmissione. La sezione di accesso 61 comune comprende un canale in guida d'onda di ingresso 67 in cui sono inseriti elementi di adattamento, quali *step*, in una sua parete laterale 68 ed una biforcazione 69 che connette il canale in guida d'onda di
5 ingresso ai canali di trasmissione e di ricezione 65, 66. I canali in guida d'onda di trasmissione e di ricezione sono fisicamente separati tra loro e hanno ciascuno una porta di uscita 70, 71 rispettivamente per il canale Tx e Rx.

La figura 18 mostra una vista prospettica di un *diplexer* avente la struttura in guida d'onda di figura 17 e costruito con struttura a conchiglia comprendente due unità
10 metalliche 72 e 73 che costituiscono due metà della conchiglia che possono essere unite tra loro mediante mezzi di chiusura meccanici in modo da formare una struttura in guida d'onda rettangolare. In figura 18 sono visibili le due metà della porta 62 di accesso comune per i segnali in trasmissione ed in ricezione che unite formano una porta in guida d'onda di sezione rettangolare, ed una metà (rispetto al piano di
15 simmetria *E*) della guida d'onda di accesso 67 e della guida d'onda di trasmissione 65 che costituisce il canale Tx. Solo in parte visibile nella figura 18 la guida d'onda di ricezione 66 che costituisce il canale Rx.

Secondo tecniche note, i canali in guida d'onda sono ricavati scavando il metallo, preferibilmente una lega di alluminio, per fresatura a controllo numerico e,
20 successivamente, le pareti metalliche interne della guida d'onda sono sottoposte ad un processo di passivazione o di argentatura allo scopo, rispettivamente, di prevenire l'ossidazione delle superfici o di migliorare la conducibilità superficiale. Il tipo di trattamento superficiale può dipendere anche dalle specifiche imposte sul livello di
potenza da gestire in trasmissione senza che si inneschino scariche per effetto
25 multipaction.

Le figure 19 e 20 riportano il confronto tra le curve simulate (linea continua) e le curve misurate (linea tratteggiata), rispettivamente, del coefficiente di riflessione alla porta comune 62 (Figura 19) e del coefficiente di trasmissione tra le porte Tx e Rx 70, 71 (figura 20) di una realizzazione del *diplexer* di figura 18 in guida WR75 operante nelle bande Tx = (10,7 GHz, 12,8 GHz) e Rx = (13,7 GHz, 14,5 GHz). Si osserva un notevole accordo tra le curve misurate e simulate per quanto concerne sia i livelli sia la posizione degli zeri delle curve, con un coefficiente di riflessione misurato inferiore a -30 dB ed un isolamento misurato tra le due porte Tx e Rx superiore 60 dB su entrambe le bande Tx e Rx.

10 Il livello massimo di potenza gestibile in regime di singola portante senza che si inneschino fenomeni di scarica per *multipaction* è pari a 14,5 kW, equivalente ad una condizione di 14 portanti da 260 W ognuna (valutazione effettuata secondo la raccomandazione ESA “20-gap-crossing” con un margine di confidenza di 6 dB). Infine, le perdite di inserzione e la derivata del ritardo di gruppo del *diplexer* sono inferiori, rispettivamente, a 0,1 dB ed a 0,1 ns/50 MHz su entrambe le bande (Tx e Rx).

15

Rivendicazioni

1. Un filtro elettronico in guida d'onda (40, 50) configurato per operare su segnali elettromagnetici in una banda operativa di frequenze, da trasmettere segnali in una banda passante di frequenze B1 e da rigettare segnali all'interno di una banda
5 rigettata di frequenze B2, la banda passante e la banda rigettata essendo comprese nella banda operativa, il filtro comprendendo una struttura di guida d'onda che comprende:
- un canale in guida d'onda (2) che si estende lungo una direzione principale (5) di propagazione di segnali elettromagnetici nella banda operativa di frequenze ed è
10 delimitato da una prima parete laterale (39; 55) e da una seconda parete laterale (41; 56) opposta alla prima parete laterale, la prima e la seconda parete laterale giacendo su rispettivi primo ed secondo piano principale di riferimento (37,38; 51,52), e una pluralità di risonatori spazati tra loro lungo la direzione di principale di propagazione, ciascun risonatore comprendendo una cavità risonante formata in una
15 delle prima o seconda parete laterale e avente un'apertura sul canale in guida d'onda, in cui
- le cavità risonanti sono disposte in sequenza alternata su pareti laterali opposte, e cavità risonanti prossime adiacenti disposte su rispettive opposte pareti laterali sono separate tra loro da una sezione longitudinale di guida d'onda di connessione avente
20 una lunghezza di connessione, definita lungo la direzione principale di propagazione dei segnali, maggiore o uguale a zero e inferiore o uguale a $\lambda_{g,1}/8$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata alla frequenza centrale della banda passante B1.
2. Il filtro della rivendicazione 1, in cui la guida d'onda è una struttura di guida d'onda rettangolare su piano *E*.

3. Il filtro della rivendicazione 1 o 2, in cui la lunghezza di connessione è sostanzialmente uguale a zero.
4. Il filtro secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui le cavità risonanti sono *stub* aventi sezione trasversale sul piano *E* rettangolare definita da un'altezza di *stub*
- 5 e una larghezza di *stub*, l'altezza di *stub* essendo definita con riferimento al piano di riferimento della parete laterale nella quale la cavità risonante è formata e la larghezza di *stub* corrispondendo all'apertura della cavità risonante sul canale in guida d'onda.
5. Il filtro secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui la cavità risonante ha
- 10 altezza definita in una direzione perpendicolare al piano di riferimento della parete laterale nella quale la cavità risonante è formata, l'altezza essendo compresa tra $0,1\lambda_{g,2}$ e $0,8\lambda_{g,2}$, dove $\lambda_{g,2}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda rigettata B2.
6. Il filtro secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui l'apertura delle cavità
- 15 risonanti sul canale in guida d'onda è compresa tra $0,08\lambda_{g,1}$ e $0,35\lambda_{g,1}$, dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante B1.
7. Il filtro secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascun risonatore della pluralità di risonatori comprende un gradino che è formato sulla parete opposta alla
- 20 cavità risonante dello stesso risonatore e che sporge nel canale oltre al piano di riferimento della parete nella quale è formato, ciascun gradino essendo affacciato ad una rispettiva cavità risonante, i gradini essendo disposti in una corrispondenza uno a uno con le rispettive cavità risonanti.
8. Il filtro della rivendicazione 7, in cui la cavità risonante ha una larghezza
- 25 corrispondente all'apertura della cavità risonante sul canale in guida d'onda e il

gradino opposto alla cavità risonante ha una larghezza di gradino lungo la direzione di propagazione dei segnali sostanzialmente uguale alla larghezza di cavità risonante.

9. Il filtro di una delle rivendicazioni 7 o 8, in cui la struttura a gradino ha un'altezza di gradino definita con riferimento al piano di riferimento della parete laterale nella quale il gradino è formato, l'altezza di gradino essendo compresa tra 0 e $0,15\lambda_{g,1}$,
5 dove $\lambda_{g,1}$ è la lunghezza d'onda guidata corrispondente alla frequenza centrale della banda passante B1.

10. Il filtro secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui il filtro elettronico è un filtro rigetta banda nel quale ciascun risonatore presenta almeno uno zero di
10 trasmissione ad una frequenza compresa nella banda rigettata B2 ed almeno uno zero di riflessione ad una frequenza compresa nella banda passante B1.

11. Un *diplexer* (60) che comprende una sezione comune di accesso (61) per l'ingresso di segnali elettromagnetici nella banda operativa di frequenze, una sezione di filtro di trasmissione (63) e una sezione di filtro di ricezione (64), entrambe le
15 sezioni di filtro essendo accoppiate alla sezione comune di accesso in modo da ricevere i segnali elettromagnetici che entrano nella sezione comune, in cui ciascuna sezione di filtro è un filtro secondo una delle rivendicazioni precedenti.

12. Un *multiplexer* che comprende una sezione comune di accesso per l'ingresso di segnali elettromagnetici nella banda operativa di frequenze e una pluralità di sezioni
20 di filtro, ciascuna sezione di filtro essendo configurata per separare una sotto-banda di frequenze compresa nella banda operativa ed essendo accoppiata alla sezione comune di accesso, in cui almeno una della pluralità delle sezioni di filtro è un filtro secondo una delle rivendicazioni da 1 a 10.

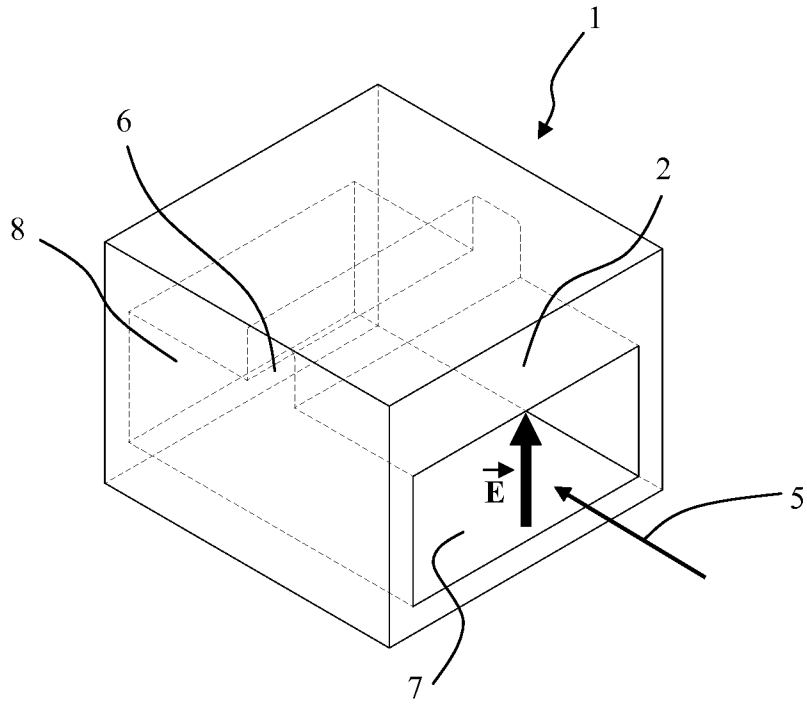


Figura 1a

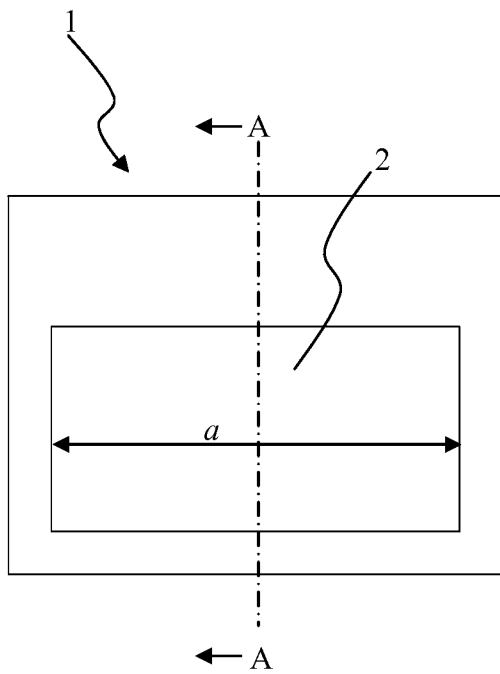


Figura 1b

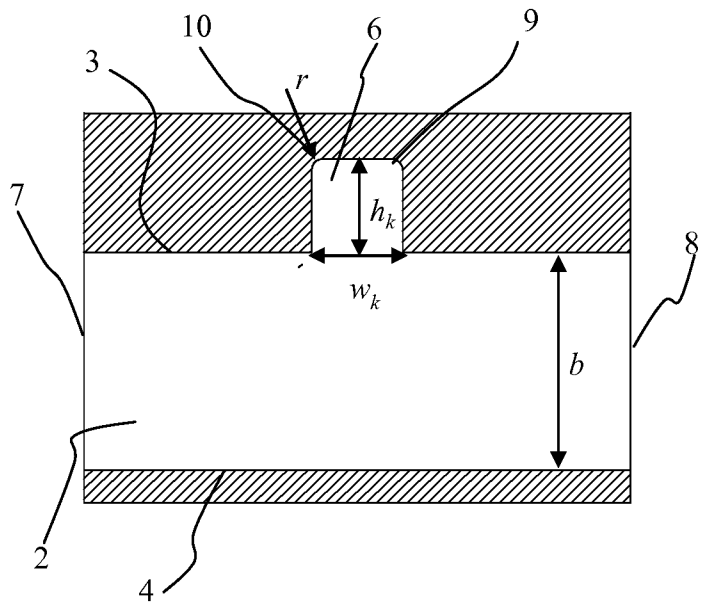


Figura 1c

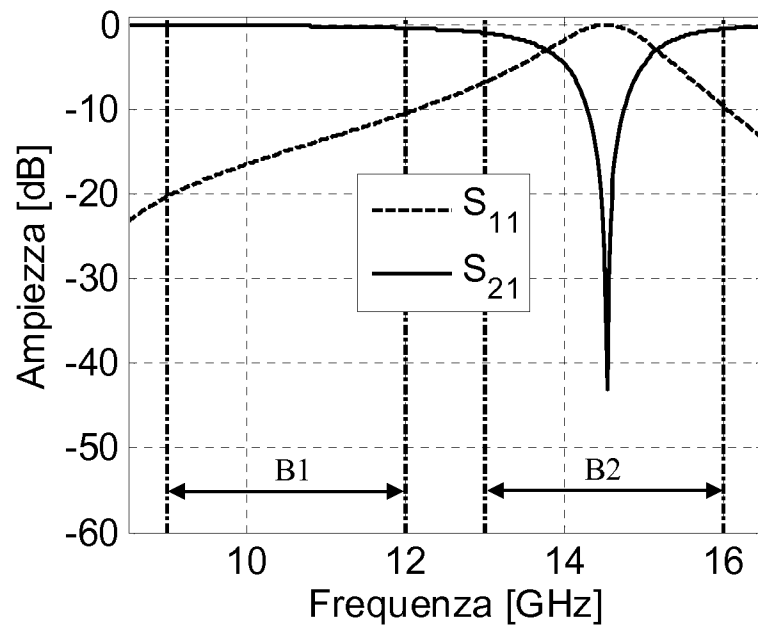


Figura 2

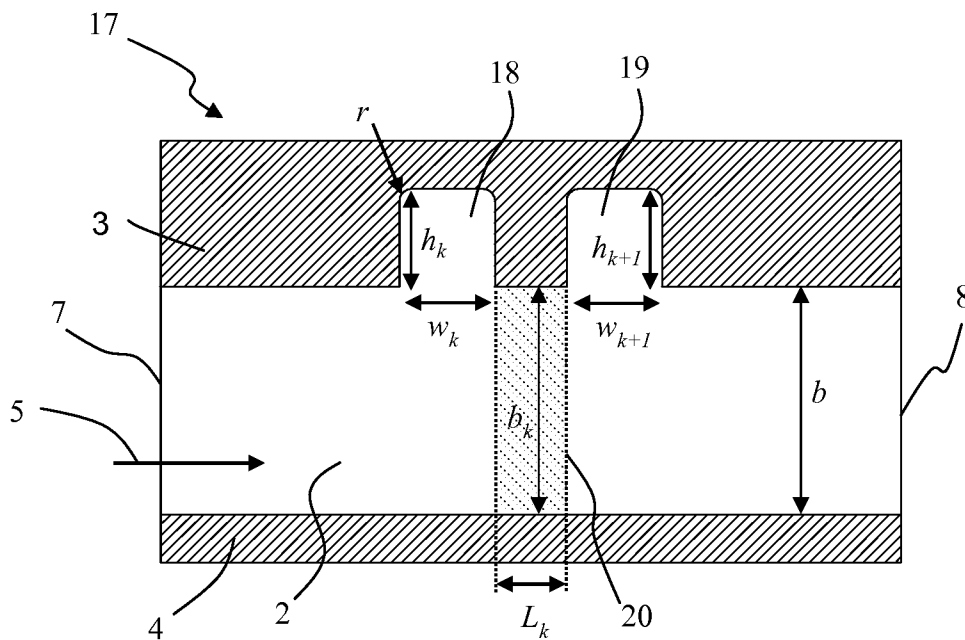


Figura 3

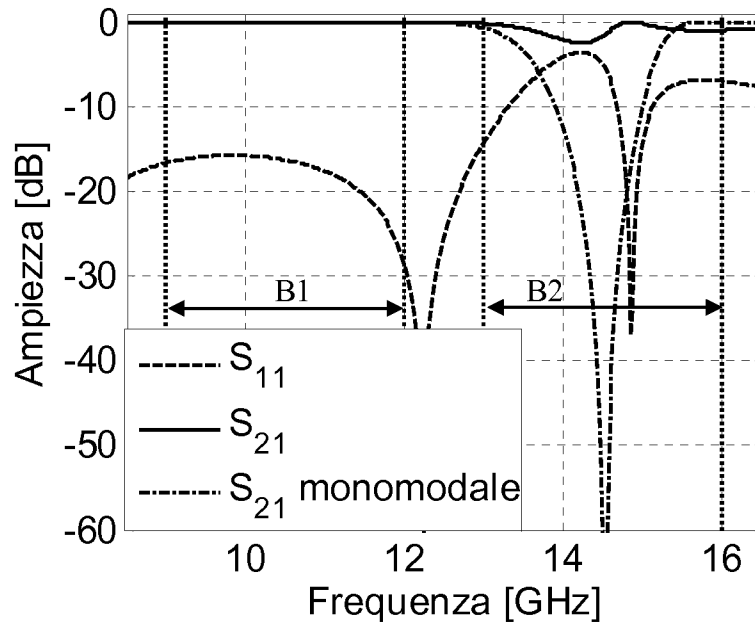


Figura 4

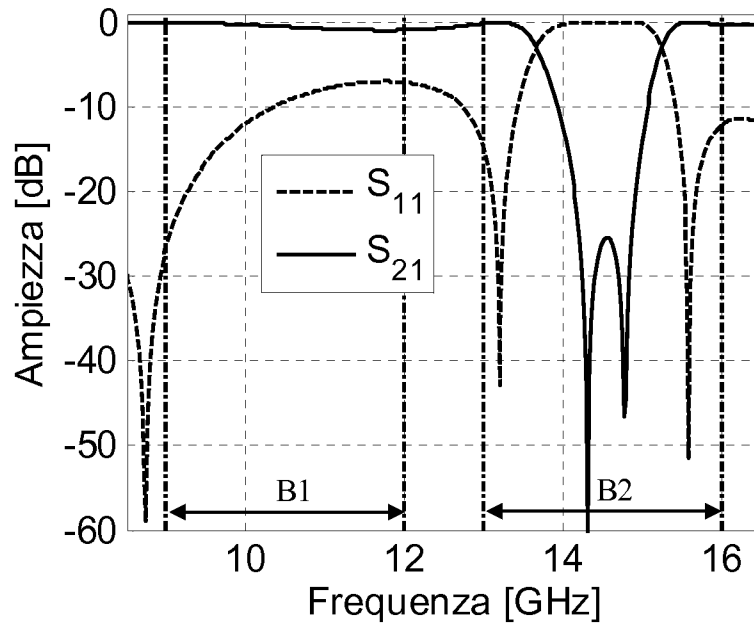


Figura 5

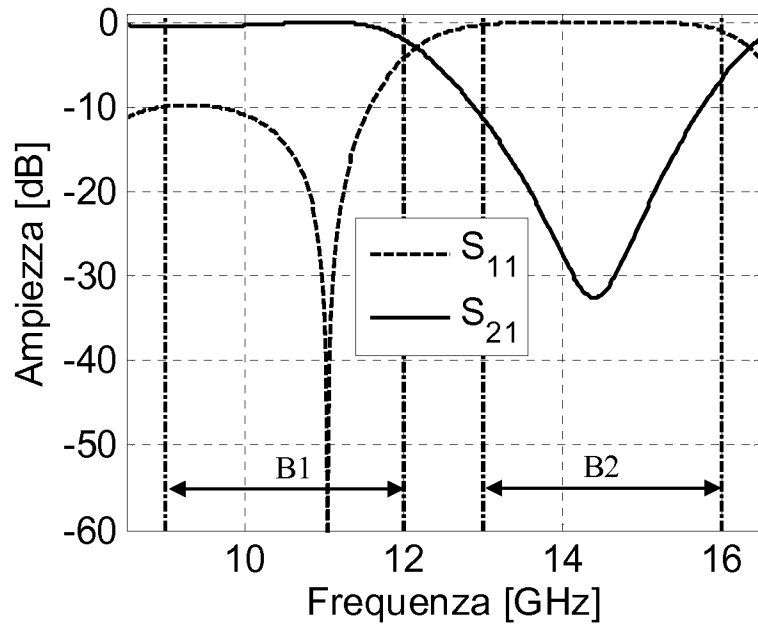


Figura 6

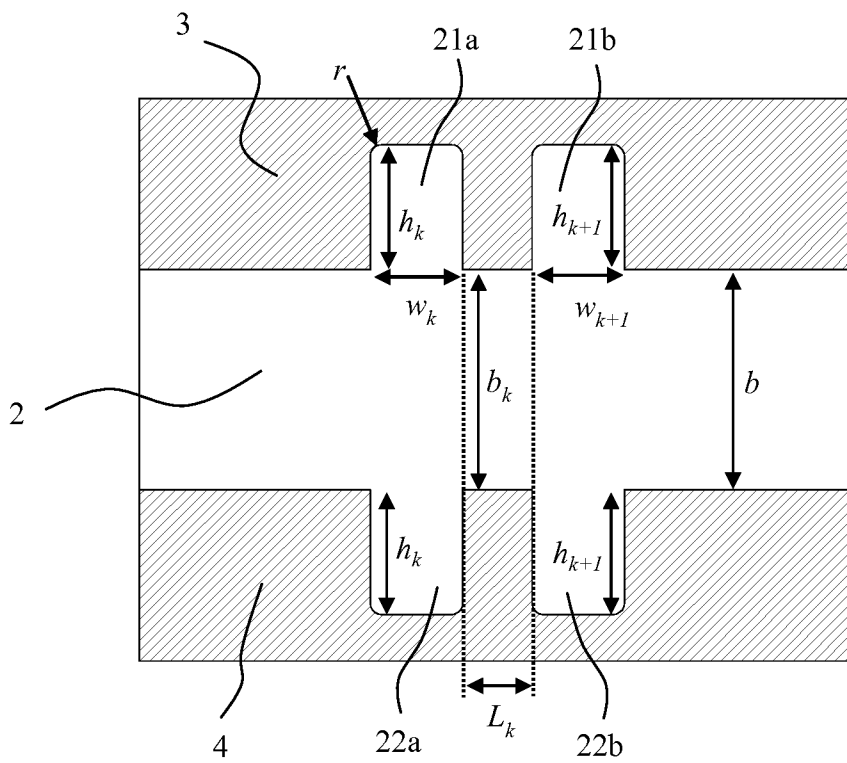


Figura 7

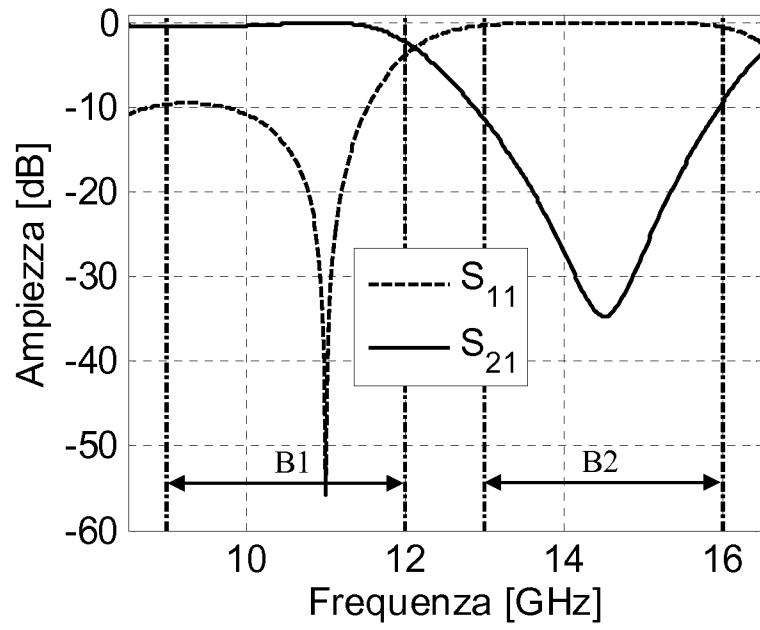


Figura 8

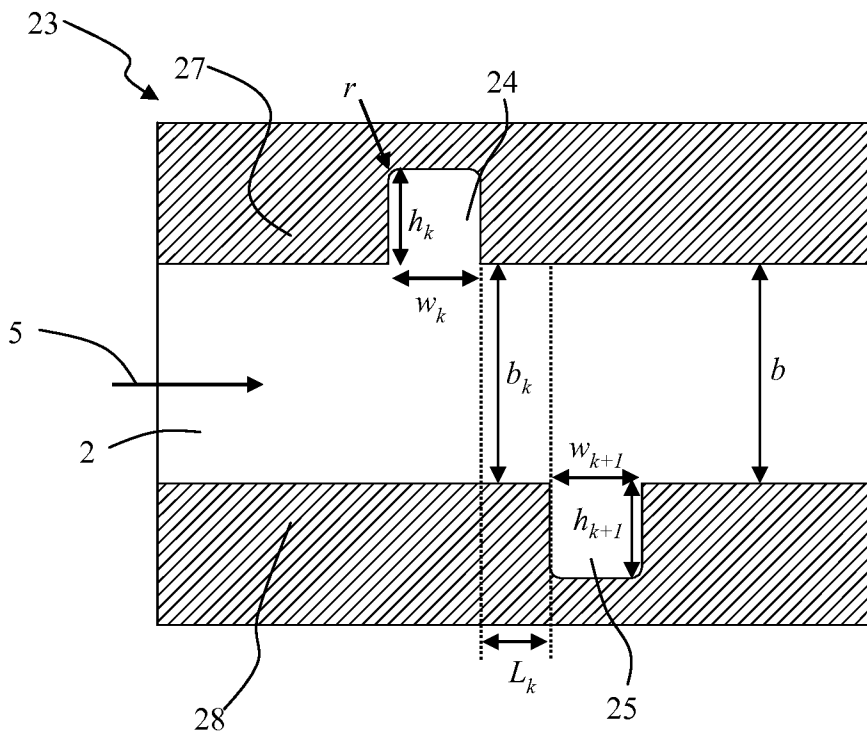


Figura 9

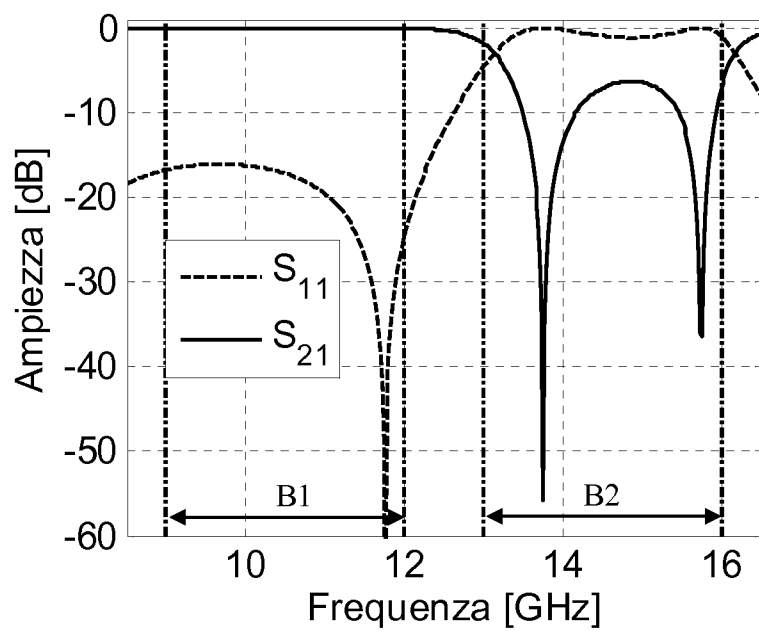


Figura 10

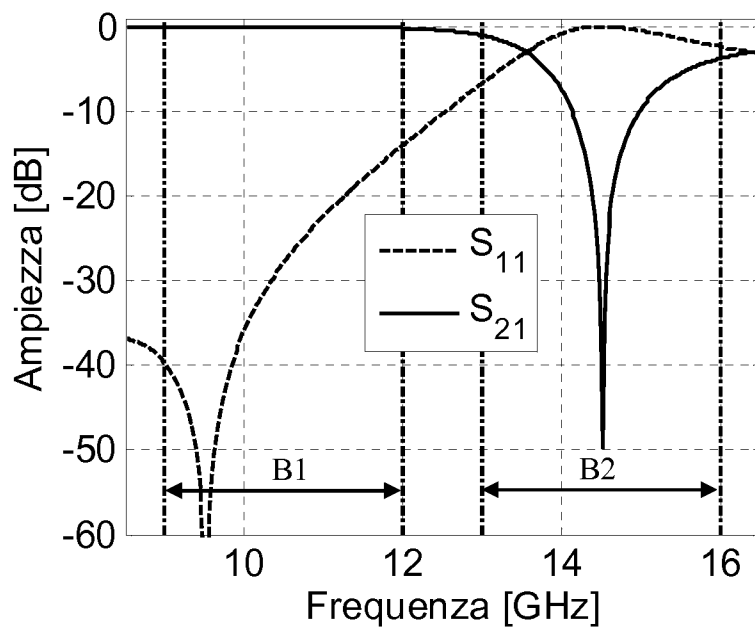


Figura 12

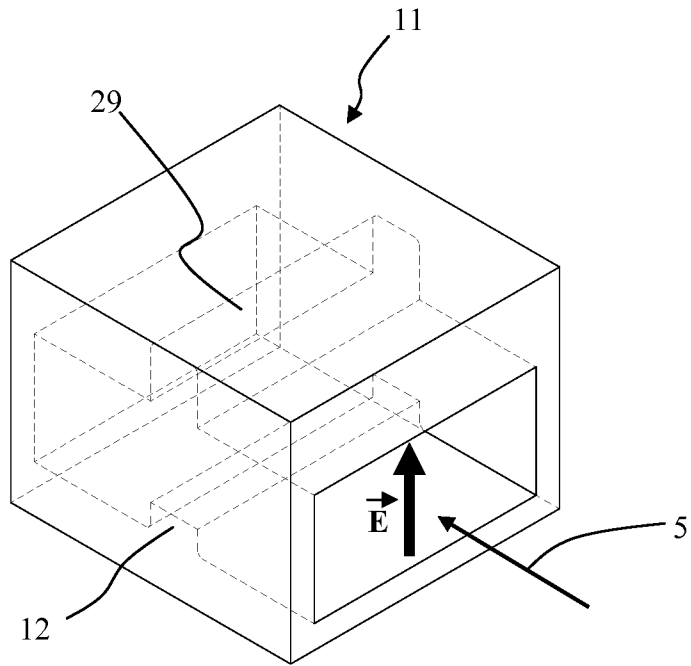


Figura 11a

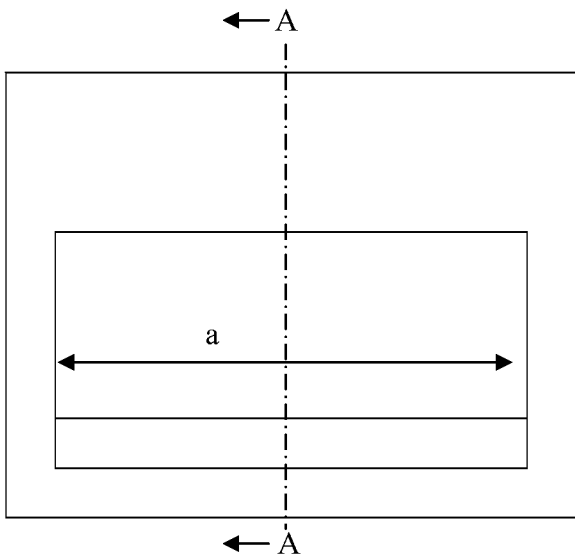


Figura 11b

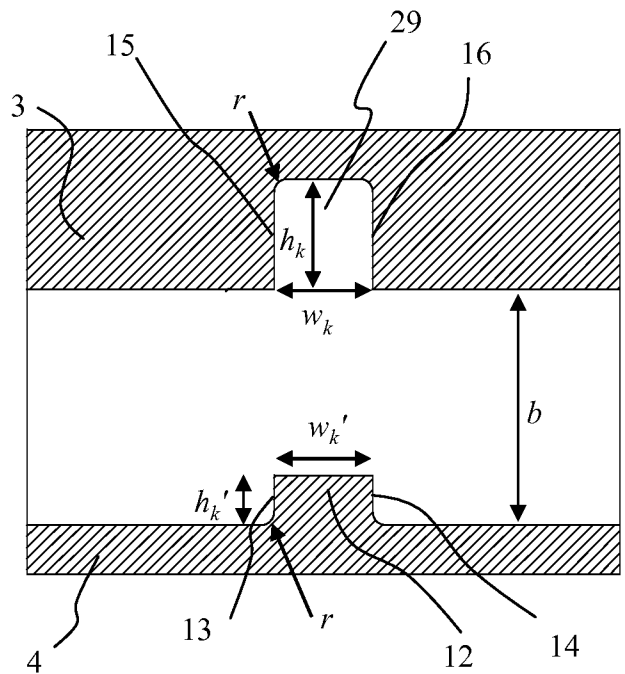


Figura 11c

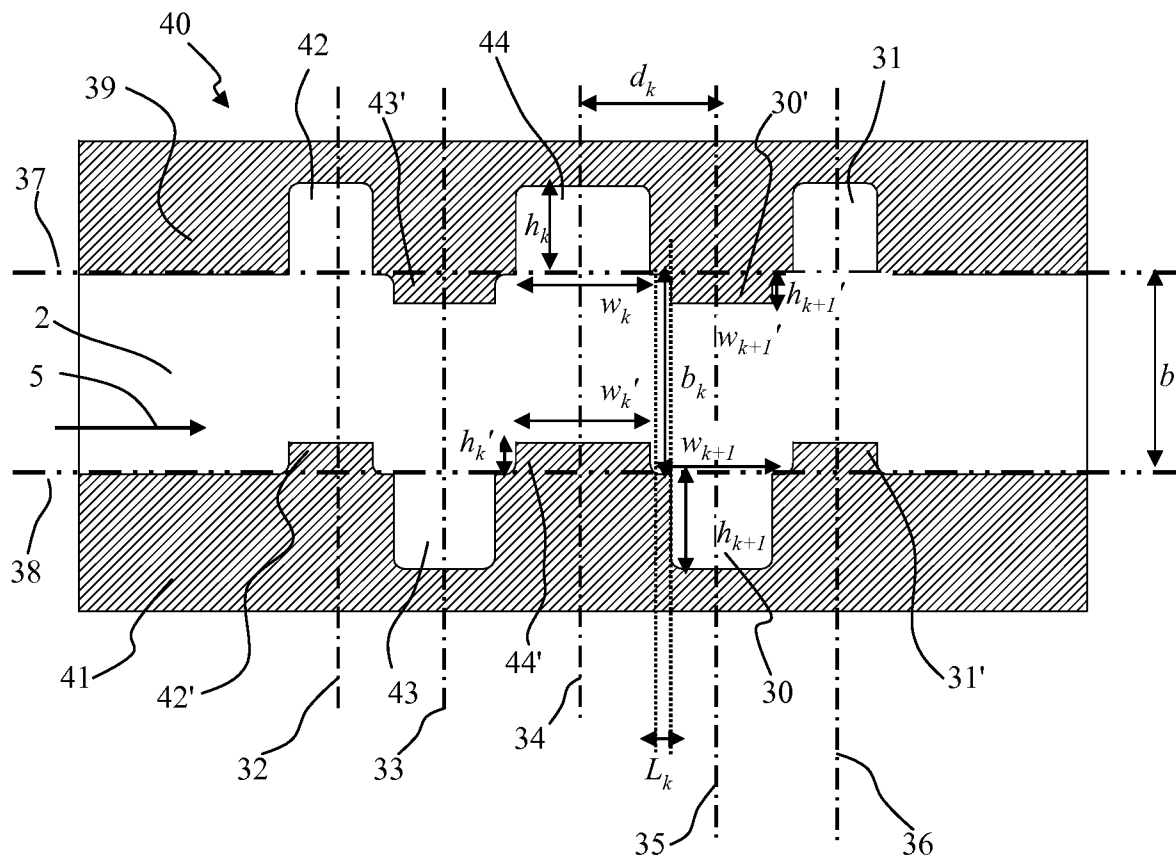


Figura 13

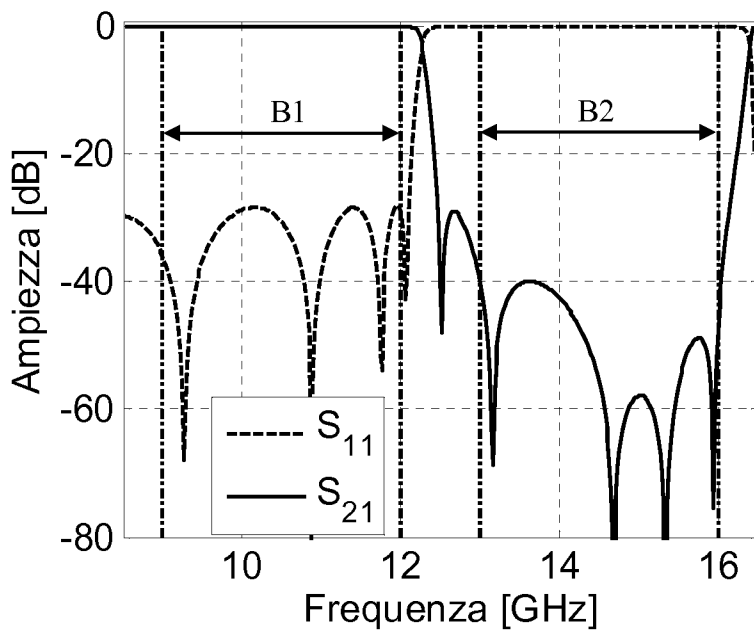


Figura 14

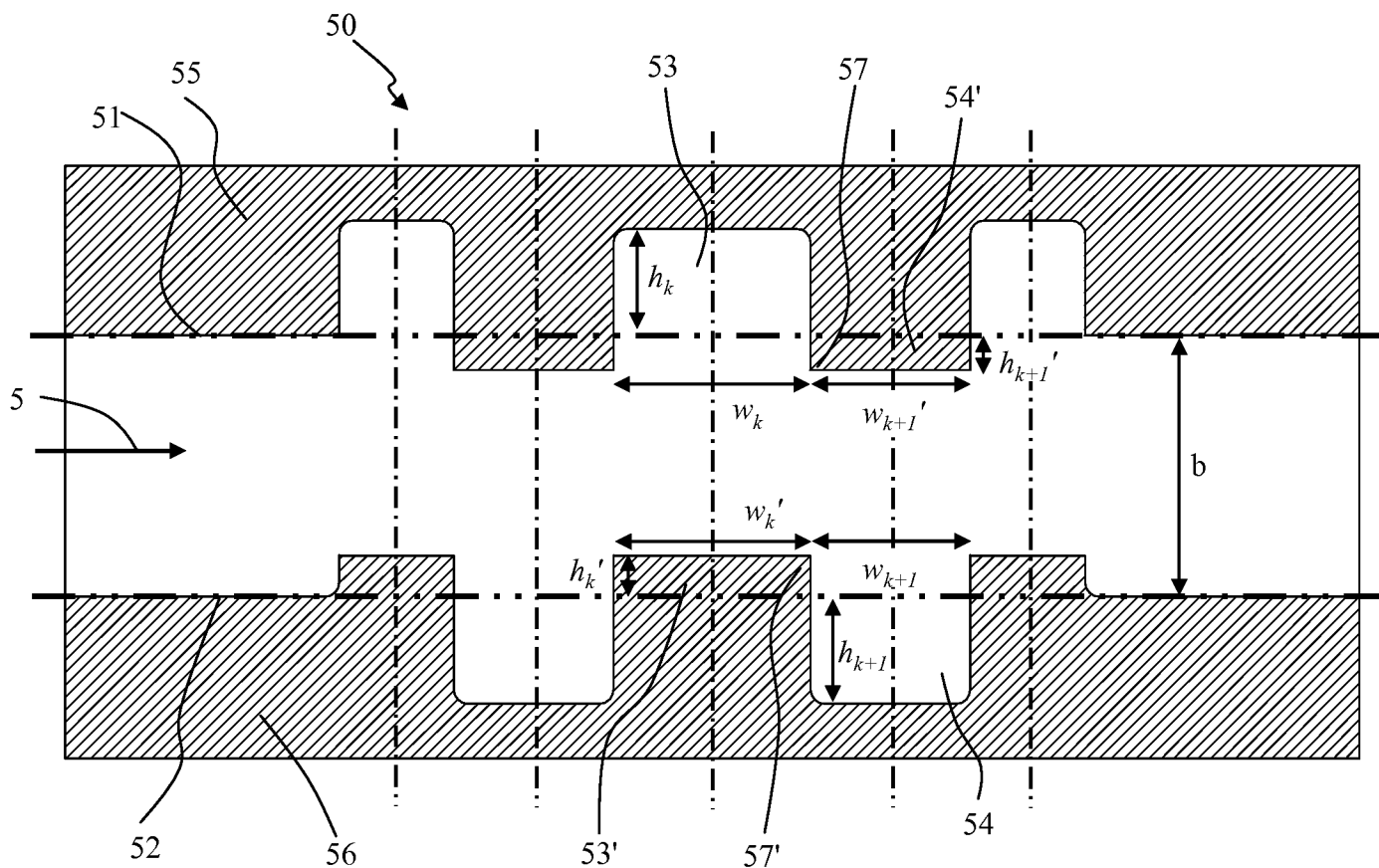


Figura 15

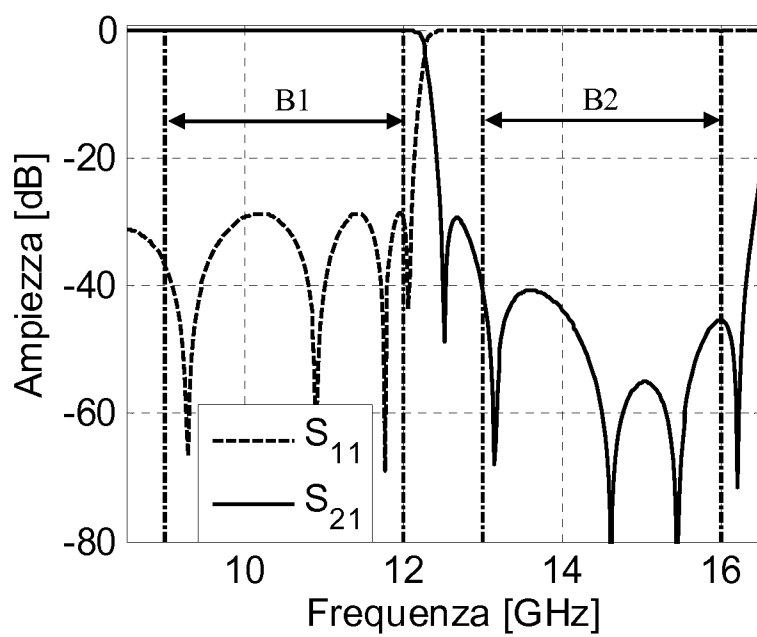


Figura 16

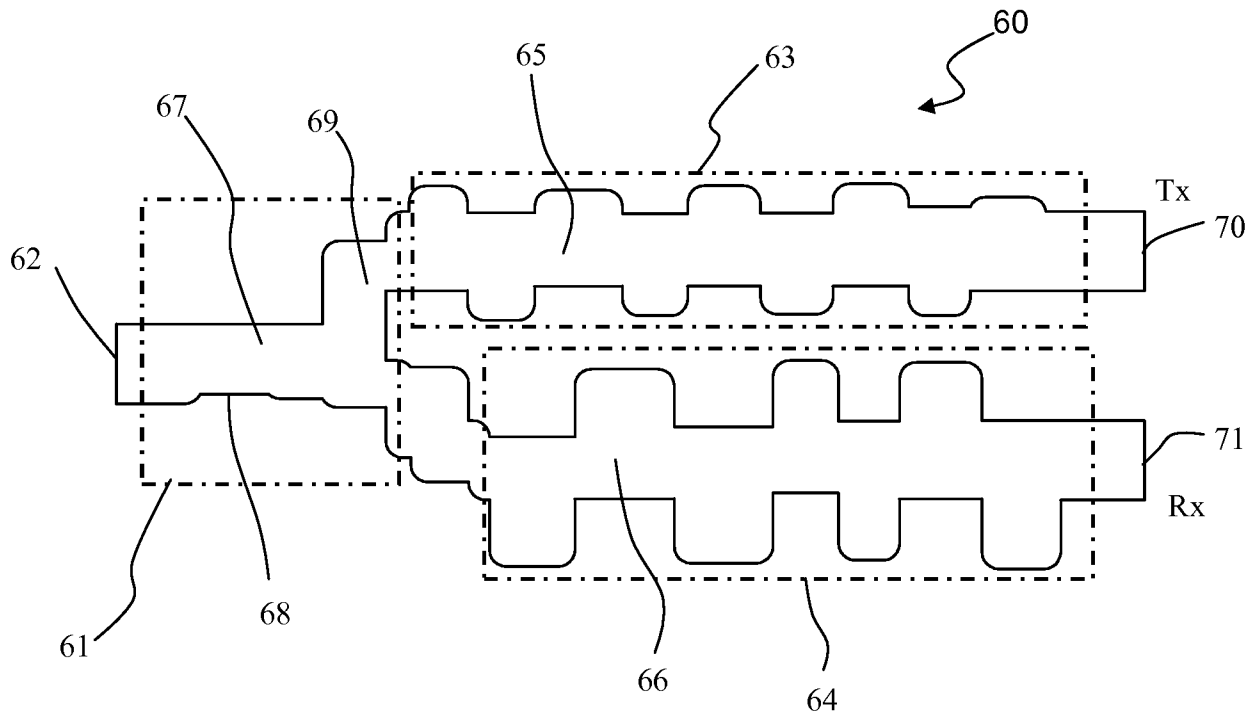


Figura 17

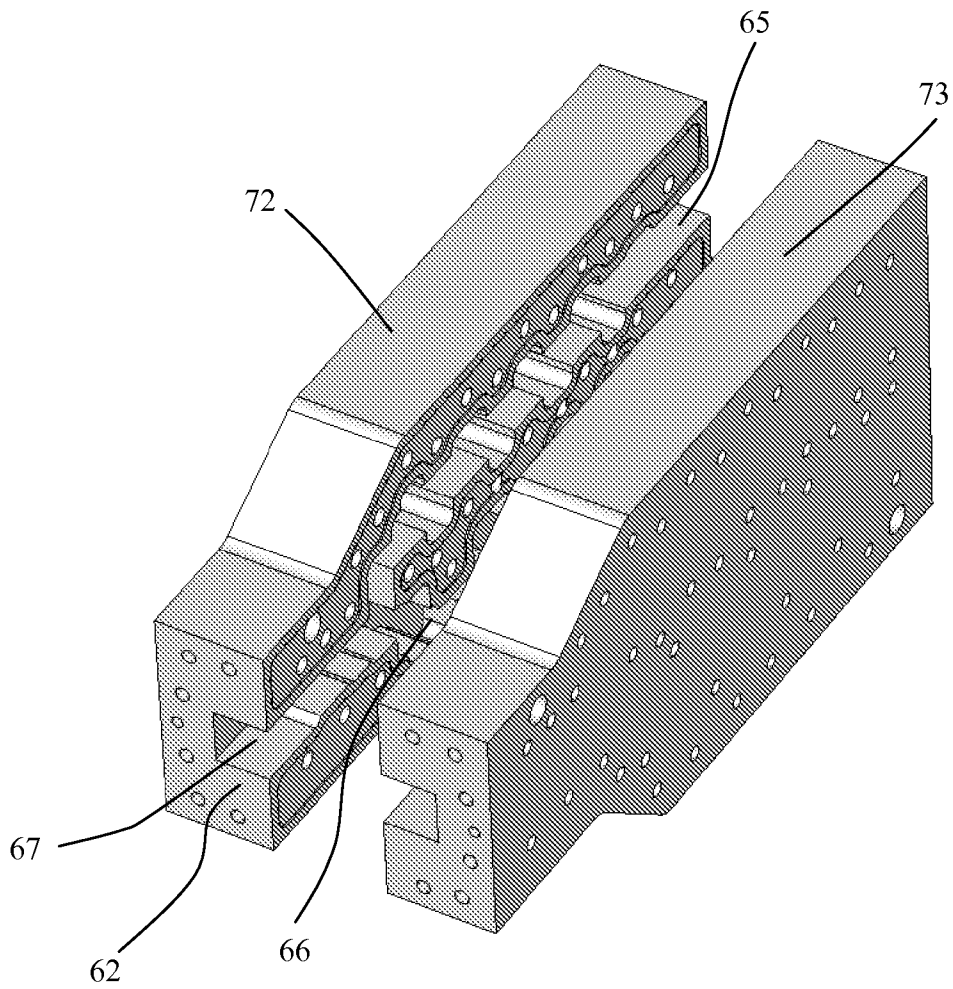


Figura 18

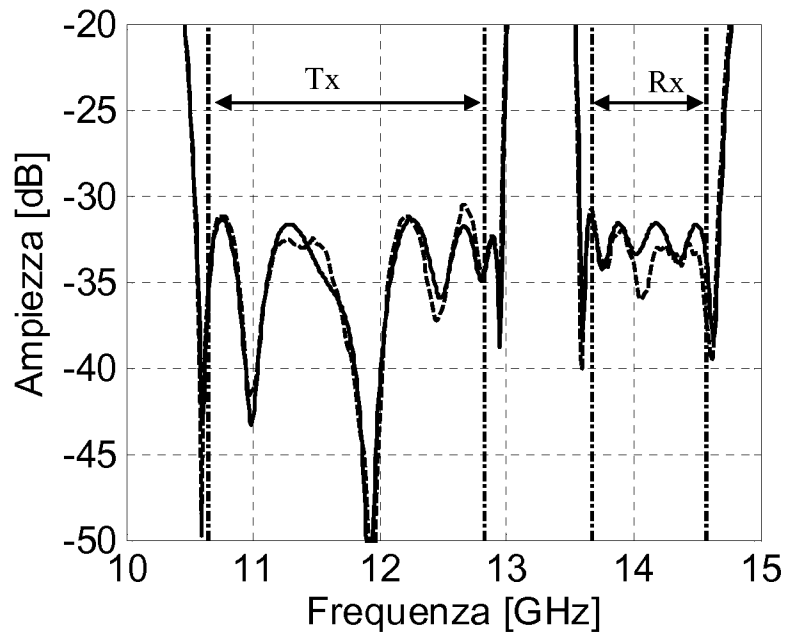


Figura 19

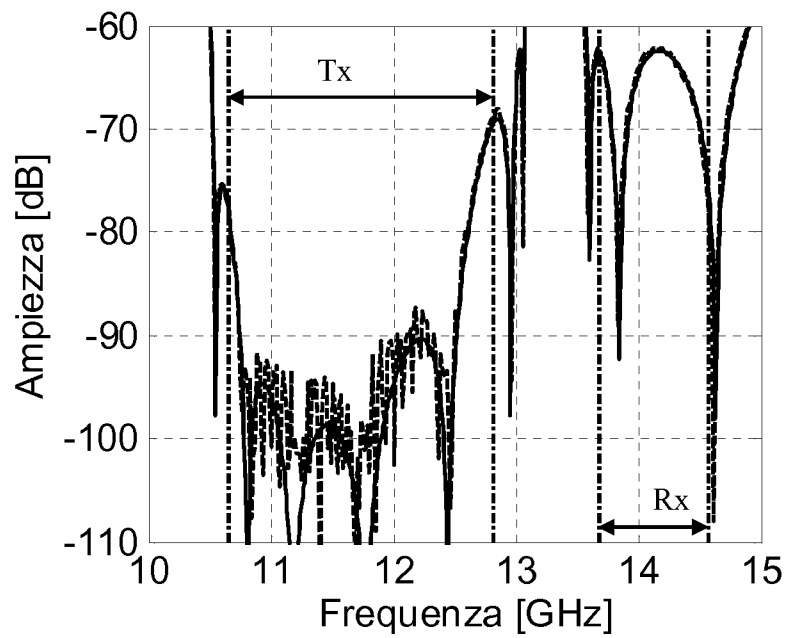


Figura 20