

## **Descrizione generale delle principali strutture guidanti**

(estratto da P. Bernardi, M. Cavagnaro, “Appunti di microonde: Strutture guidanti e giunzioni”, ed Ingegneria 2000, 2008)

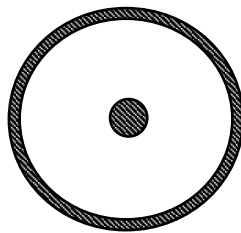
Una delle caratteristiche principali delle onde elettromagnetiche a frequenza delle microonde consiste nella possibilità di potersi propagare in modo confinato in apposite strutture guidanti, senza apprezzabili perdite.

Per riuscire a convogliare le onde elettromagnetiche (e con esse l'energia) in maniera efficace possono pensarsi sistemi diversi; le strutture guidanti più usate appartengono però a pochi tipi standard. Questi si sono affermati con modalità diverse nel tempo in relazione alle tecniche costruttive disponibili, richiedendo altresì tutta una specifica tecnologia di costruzione dei vari componenti che intervengono nella generazione, trasmissione e ricezione dell'energia elettromagnetica (ad esempio: generatori, attenuatori, amplificatori, rivelatori ...).

Le strutture guidanti più usate sono quelle cilindriche, in cui l'energia elettromagnetica viene guidata secondo una direzione ben determinata, detta direzione assiale della struttura. Le sezioni perpendicolari a detta direzione sono tutte uguali tra loro. Diamo ora una breve descrizione delle strutture più utilizzate.

### **1. Cavo coassiale**

E' costituito da due conduttori cilindrici coassiali. E' stata la prima struttura guidante ad essere usata nella tecnica delle microonde; successivamente in parte trascurato, di recente è stato riutilizzato in nuove prospettive.



**Fig. 1: Sezione trasversale di un cavo coassiale**

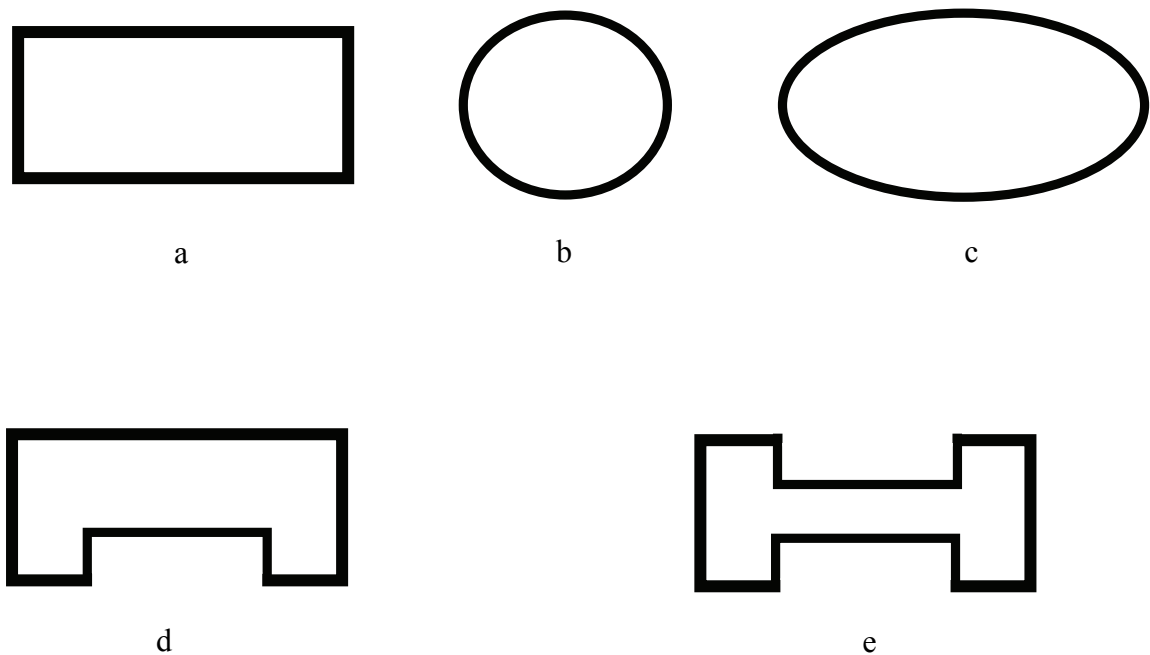
Vengono realizzati essenzialmente due tipi di cavi coassiali:

- 1) Cavo coassiale rigido con conduttore centrale in aria. In tale struttura il conduttore centrale è mantenuto centrato da appositi supporti distanziatori, disposti lungo la linea, che lo separano dal tubo conduttore esterno. Tali supporti furono inizialmente realizzati in gomma, quindi in porcellana e, più di recente, con materiale ceramico.
- 2) Cavo coassiale flessibile. In tale struttura il conduttore centrale è immerso in un dielettrico plastico (usualmente teflon o polietilene) su cui è disposta una sottile treccia di fili metallici che

ha la funzione di conduttore esterno. Talvolta vengono posti uno sull'altro due strati di treccia per diminuire le irradiazioni verso l'esterno dovute alle fessure tra i fili che costituiscono la treccia.

## 2. Guide d'onda metalliche

Sono costituite da un tubo metallico cavo. La sezione può essere di vari tipi: rettangolare, circolare, ellittica, rettangolare corrugata, etc. (vd. Fig. 2.2). E' entrata particolarmente in uso con lo sviluppo delle applicazioni a frequenze superiori ad 1 GHz.



**Fig. 2: Sezioni di differenti tipi di guide d'onda. a) rettangolare; b) circolare; c) ellittica; d) corrugata (single ridge); e) doppiamente corrugata (double ridge)**

Rispetto alla guida rettangolare, la guida doppiamente corrugata ha il vantaggio di avere una banda di frequenze di operazione più larga. Mentre con la guida rettangolare si possono coprire bande nel rapporto 2:1 (da  $f_0$  a  $2f_0$ , ovvero una ottava) con la guida corrugata si possono raggiungere bande nel rapporto 5:1.

## 3. Guide d'onda dielettriche

Sono strutture costituite da un mezzo dielettrico (omogeneo o non omogeneo) immerso in aria. Classiche strutture di questo genere sono le fibre ottiche. Le geometrie più utilizzate sono quelle a sezione rettangolare (lastra dielettrica) e a sezione circolare (barra cilindrica):



**Fig. 3: Sezioni di guide dielettriche**  
**a) lastra dielettrica      b) barra cilindrica dielettrica**

#### **4. Linee a striscia (striplines)**

Sono strutture a due conduttori costituite da una striscia centrale conduttrice e due conduttori piatti paralleli (allo stesso potenziale (ground)), nel caso di struttura bilanciata; o, nel caso di struttura sbilanciata, da due conduttori piani paralleli. La struttura delle linee a striscia le rende particolarmente adatte all'integrazione con dispositivi (attivi o passivi) a tecnologia planare.

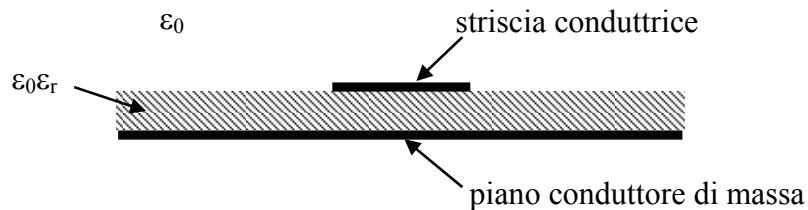


**Fig. 4: Sezione di una linea a striscia (stripline)**  
**a) bilanciata o schermata      b) sbilanciata**

#### **5. Linea a microstriscia**

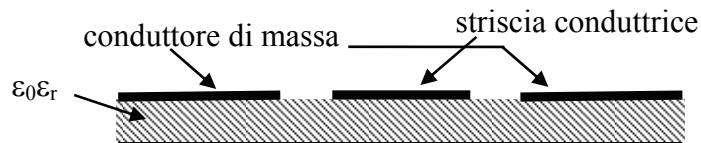
La guida a microstriscia è costituita da un sottile strato dielettrico (substrato) completamente metallizzato da un lato e con una striscia conduttrice sull'altro lato. In questa struttura il campo elettromagnetico è essenzialmente confinato nella parte di dielettrico sottostante la striscia metallica.

La tecnica di realizzazione di questa struttura, anch'essa di tipo planare, è tipica dei circuiti stampati; dispositivi attivi e passivi possono essere facilmente inseriti in questi circuiti. Per le dimensioni estremamente ridotte e per la particolare leggerezza la linea a striscia viene utilizzata come linea di interconnessione in un vasto campo di applicazioni dei circuiti integrati a microonde. Il campo elettromagnetico in questa struttura è guidato sia dal dielettrico che dall'aria soprastante per cui si hanno sensibili perdite per irradiazione.



**Fig. 5: Sezione di una guida a microstriscia (microstrip)**

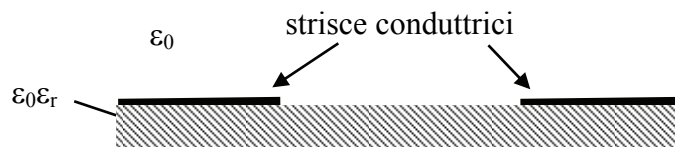
## 6. Guida coplanare



**Fig. 6: Sezione di una guida coplanare (coplanar waveguide)**

Nella guida coplanare il conduttore di massa è costituito da due strisce laterali coplanari con la striscia conduttrice centrale mentre la parte inferiore dello strato dielettrico non è metallizzata. Si tratta quindi di una struttura di tipo bilanciato. Come si nota, è una struttura totalmente planare in quanto tutti i conduttori della struttura giacciono sullo stesso piano. E' quindi una struttura che si presta bene alla realizzazione di circuiti integrati a microonde, potendosi integrare ottimamente con i componenti attivi (diodi e transistori) planari.

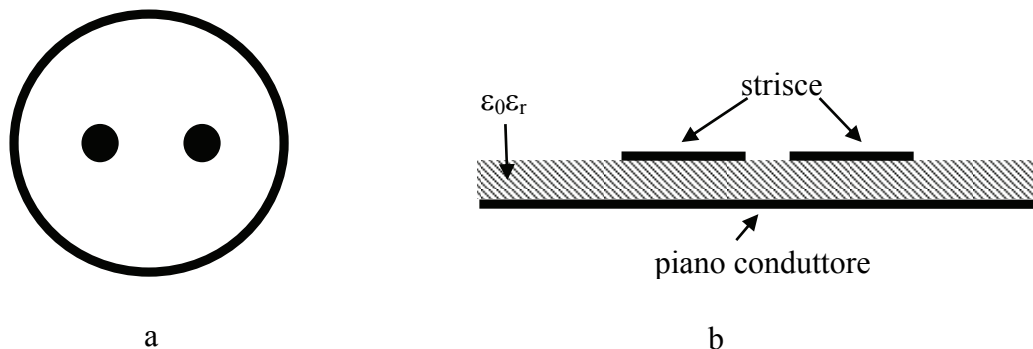
## 7. “Slot line”



**Fig. 7: Sezione di una “slot line”**

La “slot line” è realizzata metallizzando un substrato di dielettrico da un lato solamente e creando nella metallizzazione una netta fessura (slot). La “slot line”, proposta per la prima volta nel 1968, comporta delle difficoltà implementative causate dalla difficoltà di realizzare strutture con impedenza caratteristica ( $Z_c$ ) minore di 60 Ω. Infatti, come si vedrà in seguito, risulta  $Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$  e  $C$  (capacità per unità di lunghezza) è molto piccola.

## 8. Strutture guidanti a più conduttori



**Fig. 8: Strutture guidanti a più conduttori**

**a) linea bifilare schermata (cavo triassiale); b) microstrisce parallele (C.P.S.: coplanar strips)**

Strutture guidanti a più conduttori sono, ad esempio, la linea bifilare schermata, costituita da due conduttori circondati da un conduttore cilindrico cavo, e le microstrisce parallele, costituite da due strisce metalliche parallele poste sopra un substrato dielettrico metallizzato dall'altro lato.

## 9. Substrati dielettrici maggiormente utilizzati nelle strutture planari

La scelta del materiale dielettrico per realizzare il substrato è legata a vari fattori tecnici quali le proprietà elettriche, meccaniche, termiche, ed al costo del materiale.

I substrati maggiormente utilizzati nella tecnologia per i circuiti integrati a microonde sono i substrati plastici (poliolefina, resolute, duroid), l'allumina e il quarzo.

Le principali applicazioni dei tipi suddetti sono:

- a) materiali plastici: dalle frequenze delle centinaia di MHz fino a qualche GHz; antenne a schiera fino a 20 GHz;
- b) allumina: fino a frequenze di 20 GHz;
- c) quarzo: onde millimetriche da 30 GHz fino ad oltre 100 GHz.

Le principali caratteristiche dei substrati indicati sono riassunte nella tabella seguente, ove sono anche indicati, per riferimento, i valori per l'aria secca

| Materiale        | $10^4 \operatorname{tg} \delta$<br>(10 GHz) | $\epsilon_r$ | Rigidità Dielettrica<br>(kV/cm) |
|------------------|---------------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| Allumina (99.5%) | 1                                           | 10           | $4 \cdot 10^3$                  |
| Allumina (88.5%) | 15                                          | 8            | $4 \cdot 10^3$                  |
| Poliolefina      | 1                                           | 2.3          | 300                             |
| Quarzo           | 1                                           | 3.8          | $10 \cdot 10^3$                 |
| Silicio          | 10:100                                      | 12           | 300                             |
| Aria secca       | $\approx 0$                                 | 1            | 30                              |

## 10. Caratteristiche propagative delle strutture guidanti

Si può innanzitutto notare che la struttura chiusa da un conduttore del cavo coassiale e delle guide d'onda consente trasmissioni con basse perdite, mentre la struttura aperta (nel piano trasverso) delle linee a striscia e a microstriscia comporta maggiori attenuazioni del campo elettromagnetico.

Le caratteristiche di propagazione dei vari tipi di strutture guidanti sopra indicate, giacché le strutture guidanti hanno dimensioni trasverse paragonabili alle lunghezze d'onda utilizzate, va esaminata attraverso l'applicazione della teoria dei campi elettromagnetici, partendo, quindi, dalle equazioni di Maxwell.

Si può comunque accennare ad alcune proprietà fondamentali della propagazione che differenziano le diverse strutture:

- a) Le strutture a 2 conduttori con campo elettromagnetico confinato in un dielettrico omogeneo (cavo coassiale, stripline) permettono la propagazione di un'onda che non ha componenti di campo elettrico e magnetico nella direzione di propagazione (onda trasverso-elettromagnetica, "modo" TEM). E' anche possibile la propagazione di un'infinità numerabile di onde con una sola componente di campo nella direzione di propagazione (modi TE o TM).
- b) Le strutture a un solo conduttore (guide d'onda metalliche) non consentono la propagazione dell'onda TEM, ma solo di un'infinità numerabile di onde TE o TM. È cioè necessaria per la propagazione la presenza di una componente longitudinale di campo (E o H).
- c) Le strutture a più conduttori ( $> 2$ ), immersi in un unico dielettrico, consentono la propagazione di più onde TEM aventi configurazioni di campo differenti tra loro. Il numero di onde TEM indipendenti tra loro è pari al numero dei conduttori della struttura guidante diminuito di uno.
- d) Le strutture in cui il campo interessa due o più dielettrici (tutti i vari tipi di microstrisce) consentono, a rigore, solo la presenza di modi ibridi, con entrambe le componenti longitudinali di E e di H diverse da zero.
- e) Le guide dielettriche consentono la propagazione di un numero finito di modi guidati TE o TM oltre che un'infinità continua di modi irradiati e di modi evanescenti.