

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

## TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

### Presentazione del corso

Prof. Giuseppe Pelosi  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni  
Università di Firenze  
e-mail: [giuseppe.pelosi@unifi.it](mailto:giuseppe.pelosi@unifi.it)  
web: <http://www.cem.unifi.it/>

1/43

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze


## IL CORSO

Corso di laurea in **Ingegneria Elettronica** e **Ingegneria delle Telecomunicazioni**

### Finalità del corso

Il corso si propone di fornire i criteri di analisi, progetto ed utilizzazione delle principali configurazioni di sistemi radianti e guidanti, con particolare riferimento alle loro applicazioni nel settore delle telecomunicazioni nella gamma di frequenza dalla HF alle microonde.

2/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

---

### TESTI DI BASE

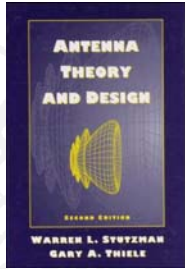
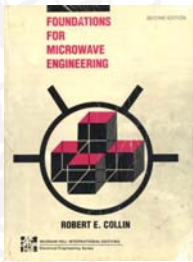
**Propagazione radiata**

W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, second edition, J. Wiley and Sons, New York, 1998


  

**Propagazione guidata**

Robert E. Collin, *Foundations for microwave engineering*, Mc Graw Hill, 2nd edition, New York, 1992

3/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

---

### Programma del corso


**Propagazione radiata**

- Le equazioni di Maxwell e il principio di equivalenza
- Teoria dei potenziali
- Dipolo elettrico corto
- Dipolo magnetico e spira di corrente
- Sorgente di Huygens e radiogoniometro
- Parametri fondamentali delle antenne
- Antenne filari
- Antenne a patch
- Altre tipologie di antenne
- Esercizi sulla propagazione radiata

**Propagazione guidata**

- Strutture guidanti
- Modi di propagazione in guida
- Guide d'onda rettangolari
- Guide d'onda circolari
- Perdite in guida
- Cavità risonanti
- Alimentazione delle guide d'onda
- Guide ridged (metodo delle Differenze Finite)
- Linea in microstriscia
- Cenni sulle fibre ottiche
- Matrice di scattering S
- Esercizi sulla propagazione guidata

4/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso


ORARIO

Modulo: AntPro - IEL - IDT  
(Antenne e Propagazione)

Ora	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato
8.15-9.15						
9.15-10.15						
10.15-11.15						
11.15-12.15						
12.15-13.15						
14.00-15.00			119 (C.D.M.)			
15.00-16.00			119 (C.D.M.)			
16.00-17.00						
17.00-18.00		119 (C.D.M.)		119 (C.D.M.)		
18.00-19.00		119 (C.D.M.)		119 (C.D.M.)		

Docenti: [PELOSI GIUSEPPE](#)

5/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze


TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

ARGOMENTI INTRODUTTIVI

6/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso


---

LE EQUAZIONI DI MAXWELL

Dominio del tempo

Legge di Faraday	$\nabla \times \mathbf{e}(\mathbf{r}, t) = -\frac{\partial \mathbf{b}(\mathbf{r}, t)}{\partial t}$
Legge di Ampère	$\nabla \times \mathbf{h}(\mathbf{r}, t) = \frac{\partial \mathbf{d}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} + \mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$
Legge di Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{d}(\mathbf{r}, t) = \rho(\mathbf{r}, t)$
Legge di Gauss (magnetico)	$\nabla \cdot \mathbf{b}(\mathbf{r}, t) = 0$

7/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso


---

LE EQUAZIONI DI MAXWELL

Dominio della frequenza per campi sinusoidali

Legge di Faraday	$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) = -j\omega \mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega)$
Legge di Ampère	$\nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, \omega) = j\omega \mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega) + \mathbf{J}(\mathbf{r}, \omega)$
Legge di Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega) = \rho(\mathbf{r}, \omega)$
Legge di Gauss (magnetico)	$\nabla \cdot \mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega) = 0$

8/43

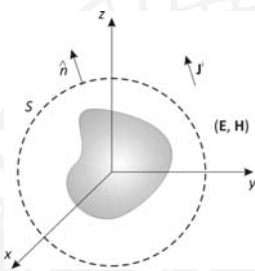


TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

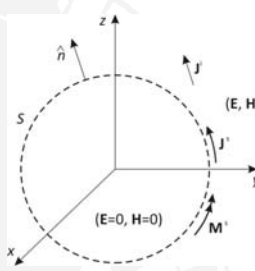
Presentazione del corso

---

### IL PRINCIPIO DI EQUIVALENZA: FORMULAZIONE DI LOVE



Problema originario  
interessa il campo EM al di fuori della superficie S




Problema equivalente (spazio libero)

$$\mathbf{J}^s = \hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{H}$$

$$\mathbf{M}^s = -\hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{E}$$

Mediante le correnti di equivalenza si riproducono sulla superficie S le stesse condizioni al contorno del problema originario

9/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

---

### LA TEORIA DEI POTENZIALI

I potenziali obbediscono alle equazioni di Helmholtz (equazioni di tipo ellittico disaccoppiate tra  $\mathbf{A}$  e  $\phi$ ) nel caso in cui valga la condizione di Lorentz

$$\nabla \cdot \mathbf{A} + j\omega\epsilon\mu\phi = 0$$

$$\nabla^2 \mathbf{A} + k^2 \mathbf{A} = -\mu \mathbf{J}$$

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0$$

$$k^2 = \omega^2 \epsilon \mu$$

$$\mathbf{E} = -j\omega\mathbf{A} - \nabla\phi$$

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A}$$

➡

$$\mathbf{E} = -j\omega\mathbf{A} + \frac{\nabla \nabla \cdot \mathbf{A}}{j\omega\epsilon\mu}$$

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A}$$

Per determinare il campo elettromagnetico ( $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ ) si deve conoscere solo il potenziale  $\mathbf{A}$

10/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA


Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze



## PROPAGAZIONE RADIATA


11/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze



## TRE TIPOLOGIE DI ANTENNA

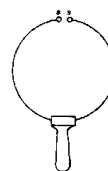
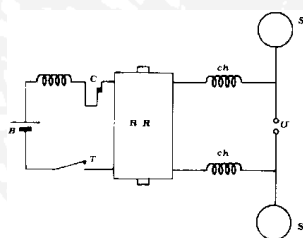
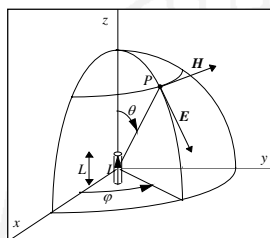
- ✓ Il dipolo di Hertz
- ✓ L'antenna di Marconi per la radiodiffusione
- ✓ Le antenne per telefonia mobile

12/43



### IL DIPOLO DI HERTZ

H. Hertz - 1888

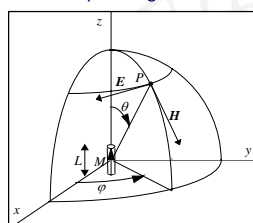


13/43

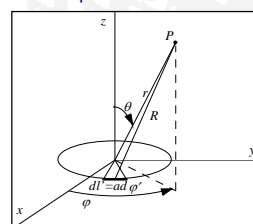


### IL DIPOLO MAGNETICO CORTO E LA SPIRA DI CORRENTE

#### Dipolo magnetico



#### Spira elementare



#### Principio di Babinet

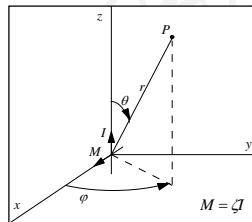
$$\begin{aligned}\mu &\leftrightarrow \varepsilon \\ H &\leftrightarrow E \\ E &\leftrightarrow -H \\ M &\leftrightarrow I\end{aligned}$$

14/43



### SORGENTE DI HUYGENS E RADIOGONIOMETRO

Sorgente di Huygens



La sorgente di Huygens (antenna a loop più dipolo elettrico corto) può essere utilizzata come radiogoniometro per individuare la direzione di provenienza di una radiazione elettromagnetica



Radiogoniometro aeronautico (1944)

Alessandro Artom (1867-1927)

15/43

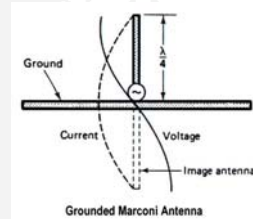


### L'ANTENNA DI MARCONI PER LA RADIODIFFUSIONE



Guglielmo Marconi

I primi esperimenti di Marconi eseguiti a Villa Griffone sono del 1895



Villa Griffone a Pontecchio Marconi (BO)



La collina dei Celestini vista da Villa Griffone

16/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

### LA PRIMA TRASMISSIONE TRANSATLANTICA DI GUGLIELMO MARCONI

Antenna originale di Poldhu  
17 Settembre 1901

Antenna di fortuna di Poldhu  
24 Settembre 1901

17/43

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA


Presentazione del corso

### ANTENNE PER TELEFONIA MOBILE

I telefoni cellulari di ultima generazione  
montano antenne in tecnologia planare

Esempi di antenne stampate per terminali mobili

18/43




Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Presentazione del corso



**ANTENNE A PATCH**

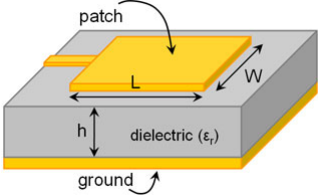
Prof. Renato Cicchetti - Università di Roma "La Sapienza"

**VANTAGGI E SVANTAGGI**


- basso profilo
- basso peso
- elevata direttività
- efficienza inferiore rispetto alle classiche antenne

**APPLICAZIONI**

- comunicazioni wireless
- satellitari
- sensoristica (diagnostica, sorveglianza e controllo)



19/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

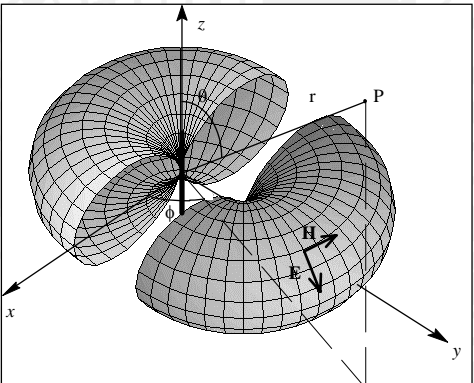
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso


Presentazione del corso

**PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE ANTENNE**

Dipolo elettrico elementare



20/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

---

**PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE ANTENNE**

Campi vicini campi lontani	
Antenna in trasmissione	<i>Diagrammi di radiazione e direttività</i> <i>Guadagno</i> <i>Impedenza di ingresso</i> <i>Altezza efficace in trasmissione</i> <i>Efficienza di radiazione</i>
Antenna in ricezione	<i>Altezza efficace in ricezione</i> <i>Area efficace</i>
Relazione fra area efficace e direttività	
Collegamenti fra due antenne	
Equazione del radar	

21/43



TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

---

**PROPAGAZIONE RADIATA**  
*Altre tipologie di antenna*

22/43

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

### ANTENNE FILARI

#### Antenna Yagi-Uda

Diagram of a Yagi-Uda antenna. It consists of a horizontal line representing the antenna structure. On the left, there is a vertical line labeled 'Riflettore' (Reflector). In the center, there is a vertical line labeled 'Elemento attivo' (Active element). To the right of the active element, there are several vertical lines labeled 'Direttori' (Directors).

Diagram of a folded dipole antenna. It shows a horizontal line with a vertical line in the center. The horizontal line is labeled 'Dipolo Ripiegato' (Folded dipole).

23/43

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

### ANTENNE A RIFLETTORE

Photograph of a large radio telescope dish antenna. The dish is white and has a complex, curved shape. It is mounted on a metal structure and is pointing towards the sky.

Sito radioastronomico di Medicina, Bologna

24/43

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

### ANTENNE A DOPPIO RIFLETTORE

Il satellite Planck dell'Agenzia Spaziale Europea (European Space Agency, ESA)

25/43

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

### ANTENNE AD ARRAY

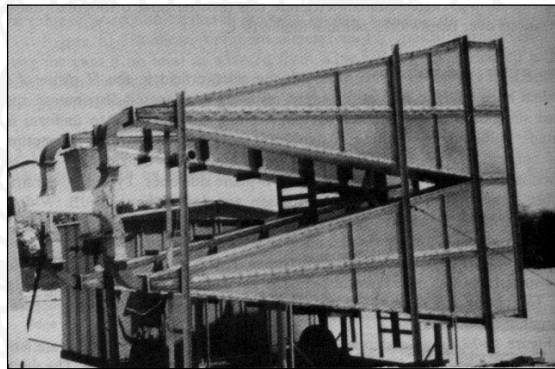
Array per telecomunicazioni

Array per un radar a scansione elettronica di fascio

26/43



### ANTENNE A TROMBA



Feeder del radiotelescopio da 110m dell'Università dell'Ohio

27/43



### HORN CORRUGATI



#### VANTAGGI E SVANTAGGI

- simmetria del pattern co-polare
- basso livello cross-polare
- buon adattamento di impedenza
- stabilità in frequenza del centro di fase
- compattezza della struttura



#### APPLICAZIONI

- Feed per antenne a riflettore ad elevate prestazioni
- Radioastronomia
- Sistemi satellitari

28/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze


TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

PROPAGAZIONE GUIDATA

29/43



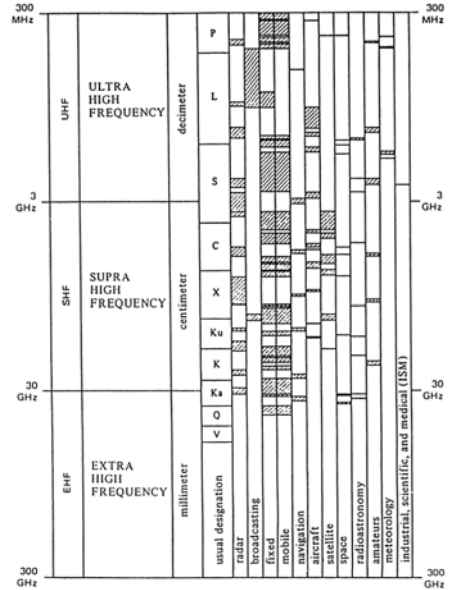
Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso


SPETTRO ELETTROMAGNETICO



The diagram illustrates the electromagnetic spectrum, categorized into three main frequency bands: UHF (Ultra High Frequency), SHF (Super High Frequency), and EHF (Extra High Frequency). Each band is further divided into sub-bands with specific frequency ranges and corresponding wavelengths. The UHF band (300 MHz to 3 GHz) includes sub-bands P, L, S, and C. The SHF band (3 GHz to 30 GHz) includes sub-bands X, Ku, K, Ka, Q, and V. The EHF band (30 GHz to 300 GHz) includes sub-bands P, L, S, C, X, Ku, K, Ka, Q, and V. The diagram also shows the typical applications for each sub-band, such as radar, broadcasting, fixed, mobile, navigation, aircraft, satellite, space, radioastronomy, amateur, meteorology, industrial, scientific, and medical (ISM).

30/43





Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

SPETTRO ELETTROMAGNETICO: LE MICROONDE

Articolo commemorativo della nascita del termine Microonde, introdotto da Nello Carrara nel 1932 sulla rivista italiana "Alta frequenza", pubblicato sui Proceedings dell'Institution of Electrical and Electronic Engineers

Scanning the Past

The Birth of the Term "Microwaves"

The term microwaves was used for the first time in an international journal in the October 1932 issue of the PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF RADIO ENGINEERS (IRE) in an article by Nello Carrara "The detection of microwaves" [1] (the original manuscript was received by the Institute on April 2, 1932).

This term has been, since then, commonly used to indicate those electromagnetic waves with wavelength ranging from 1 mm to 1 m. These limits have been arbitrarily defined; in practice they constitute an attempt to define the microwave frequency range as the one located between the frequencies of electromagnetic waves employed for radio and television broadcasting and those of infrared rays.

The steadily improving technology of this range of frequencies has characterized the development of telecommunications since the beginning of World War II. The demand for more and more high frequencies in telecommunications originated for various well known reasons, for the sake of brevity not discussed here, and attracted many researchers to this field. For example, Guglielmo Marconi (1874-1937), in the decade from 1919 to 1924, directed the attention of researchers to the potential of the microwave frequency range. The first radiowave broadcasting experiments with microwaves were realized in 1931, by Marconi (at 50 cm) through the Tiglieto Gulf in Liguria (Italy), and by André G. Clavier (at 17.6 cm) across the English Channel. Later on, in April 1932, Marconi realized the first microwave terrestrial link between Villa Montegrotte (Monteporzio Carraro, Rome, Italy) and the Vatican State.

This period of time was characterized also by the first theoretical studies on microwave propagation and the first experiments involving devices to generate and detect them. In this context worked the Italian physicist Nello Carrara (1900-1993) when he was with the RIEC (Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni [Royal Institute for Electrical Techniques and Communications]) of the Italian Navy in Leghorn. The Institute, founded by Giancarlo Val-

lani in 1916, housed the first Italian group of researchers in the fields of microwave engineering and radar techniques. The RIEC maintained a prominent position in this field for many years.

In a paper dated March 1932, published in the first issue of the Italian journal *Alta Frequenza* [2], the journal was founded by Vallauri, Carrara stated that "an anode, at electrode cylindrical, con tensione di placca nella o negativa e con tensione di griglia fortemente positiva, può emettere onde elettromagnetiche di frequenza elevatissima (microonde)" (a triode with cylindrical electrodes, with a low anode potential and a highly positive grid potential, is capable of generating electromagnetic waves of a very high frequency (microwaves)) [1] and explicitly related the term microwaves to electromagnetic waves with frequencies around 10<sup>10</sup> Hz.

Incidentally, it is worth emphasizing that in the same period many other terms were used to denote the range of frequencies now referred to as microwaves. Among others, the terms microns and quasi-optical waves were introduced by Clavier and Edward Rappaport, respectively; but it was the term microwaves that was commonly adopted in scientific and technical terminology.

This contribution is a part of a paper, with iconographic material, to be published in the *IEEE Microwave Theory and Techniques Newsletter*.

REFERENCES

[1] N. Carrara, "The detection of microwaves," *Proc. IRE*, vol. 20, no. 10, pp. 1612-1622, Oct. 1932.


[2] —, "La rivelazione delle microonde (The detection of microwaves)," *Alta Frequenza*, vol. 1, no. 1, pp. 7-11, Mar. 1932.

Giuseppe Pelosi, Guest History Editor  
Department of Electrical Engineering  
University of Florence  
Florence, Italy

0018-9219/03/03 31-43

PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 91, NO. 3, FEBRUARY 2003

31/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE  
PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

STRUTTURE GUIDANTI


Strutture		Senza conduttori	Un conduttore	Due conduttori
Aperte	Omogenee	Spazio libero	Linee filari	Linee bifilari, Striplines
	Non omogenee	Guide dielettriche, Fibre ottiche, Onde in mezzi non omogenei	Linee	Microstrip, Slot lines, Linee coplanari, Linee bifilari isolate
Chiuse	Omogenee	----	Guide metalliche	Cavi coassiali
	Non omogenee	----	Guide metalliche caricate	Cavi coassiali caricati

Linee di trasmissione	Guide d'onda
Strutture guidanti costituite da più conduttori metallici isolati uni dagli altri (linea bifilare, cavo coassiale)	Strutture guidanti in cui la propagazione di un'onda elettromagnetica è generalmente assicurata da riflessioni multiple sia sulle pareti in metallo (guide d'onda metalliche) sia sulla superficie di separazione di mezzi dielettrici (guide d'onda dielettriche, fibre ottiche)

32/43

16





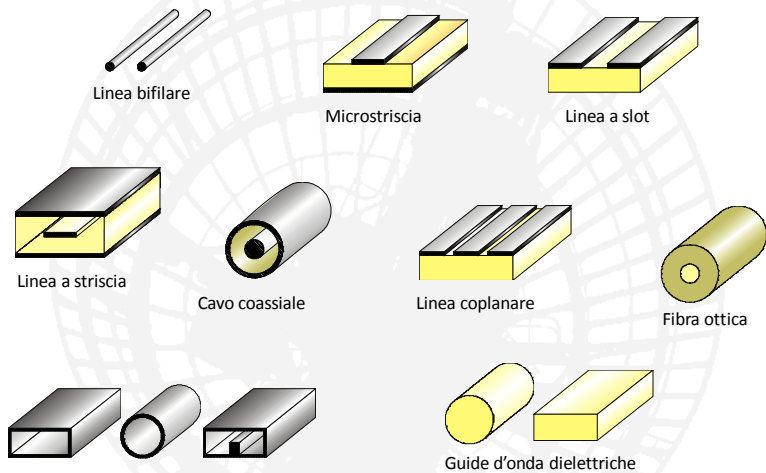
Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE


PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

**STRUTTURE GUIDANTI**



33/43



Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche - Propagazione radiata e propagazione guidata  
Prof. G. Pelosi, Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

TEORIA E TECNICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

PROPAGAZIONE RADIATA E PROPAGAZIONE GUIDATA

Presentazione del corso

**MODI DI PROPAGAZIONE IN GUIDA**

Definiamo “modo” una configurazione elementare di campo elettrico e magnetico, che può coesistere in una data struttura guidante e che può propagarsi al suo interno.

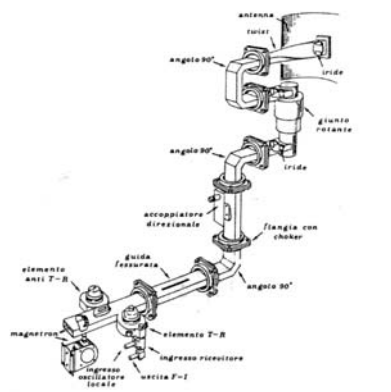
Data la struttura guidante e definite le componenti trasversali e longitudinali del campo elettrico e magnetico si possono individuare quattro categorie di modi fondamentali:

1) modo Trasverso ElettroMagnetico (TEM):	$E_z = 0, H_z = 0$	$\Rightarrow$	$\mathbf{E} = \mathbf{E}_t, \mathbf{H} = \mathbf{H}_t$
2) modo Trasverso Elettrico (TE):	$E_z = 0, H_z \neq 0$	$\Rightarrow$	$\mathbf{E} = \mathbf{E}_t$
3) modo Trasverso <u>M</u> agnetico (TM):	$E_z \neq 0, H_z = 0$	$\Rightarrow$	$\mathbf{H} = \mathbf{H}_t$
4) modi Ibridi	$E_z \neq 0, H_z \neq 0$		

34/43



### GUIDE D'ONDA RETTANGOLARI



Sistema di feed in guida d'onda rettangolare per un radar aeroportuale

Esempio di collegamento in guida d'onda tra un'antenna e il ricevitore di un sistema operante in banda X

35/43



### GUIDE D'ONDA CIRCOLARI



Esempio di guida d'onda circolare standard



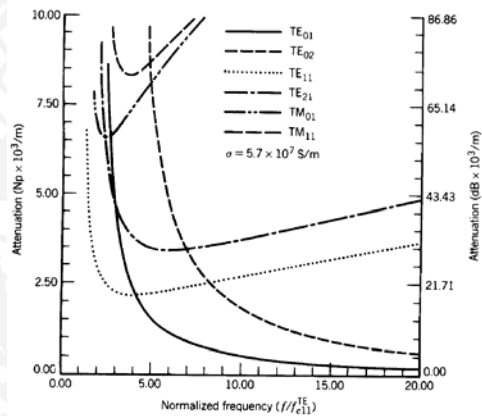
Esempio di divisore a 3dB in guida d'onda circolare

36/43



### PERDITE IN GUIDA

Attenuazione in guida d'onda circolare standard in aria (diametro = 15 mm)



37/43



### CAVITA' RISONANTI

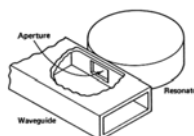
Applicazioni principali di una cavità risonante:

- circuito risonante (quando le dimensioni della cavità sono dell'ordine di qualche centimetro, le sue risonanze sono nelle bande delle microonde);
- frequenzimetro ed ondametro (una cavità di dimensioni regolabili permette di misurare la frequenza di un segnale);
- elemento filtrante;

Ulteriori applicazioni sono legate alla loro utilizzazione. Tra queste vale la pena ricordare:

- la misura delle caratteristiche dei materiali (l'introduzione di un materiale nella cavità risonante, provoca una variazione della sua caratteristica di risonanza ed a partire dalla misura della perturbazione è possibile determinare le proprietà del materiale);
- i forni a microonde (una cavità risonante permette di contenere l'energia elettromagnetica destinata a riscaldare, cucinare, seccare un materiale posto all'interno)

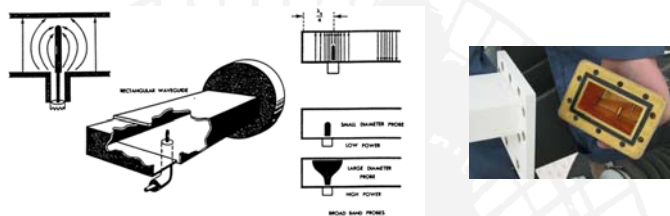
Esempio di eccitazione di una cavità risonante circolare



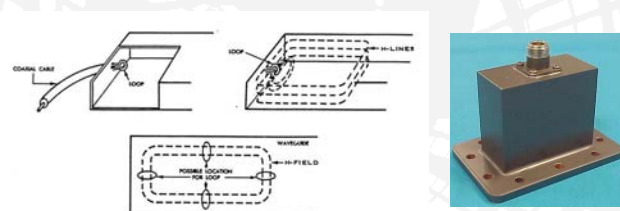
38/43



### ALIMENTAZIONE DELLE GUIDE D'ONDA



Eccitazione del modo fondamentale in guida d'onda rettangolare con probe in cavo coassiale

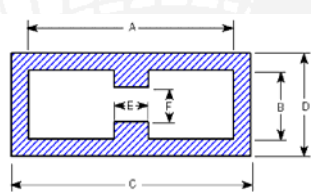


Eccitazione del modo fondamentale in guida d'onda rettangolare con loop in cavo coassiale

39/43



### GUIDE RIDGED (METODO DELLE DIFFERENZE FINITE)



Geometria di una guida ridged

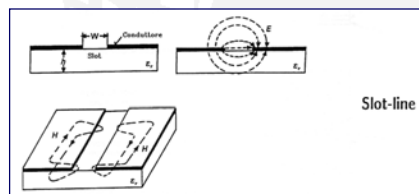
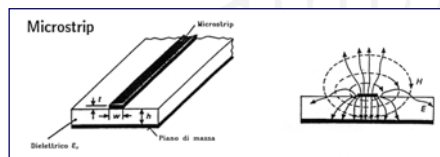


Esempi di dispositivi commerciali in guida ridged

40/43



### LINEE IN MICROSTRISCIA



Prototipo di accoppiatore  
direzionale realizzato impiegando  
due linee di trasmissione in  
microstriscia

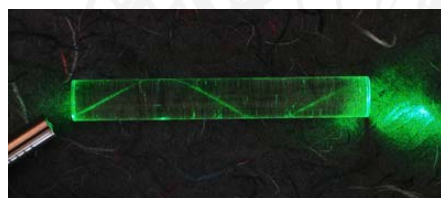
41/43



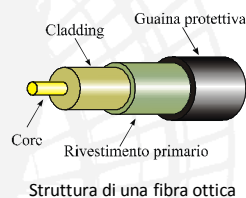
### CENNI SULLE FIBRE OTTICHE



Prof. Carlo Giacomo Someda - Università di Padova



Propagazione di un raggio laser  
all'interno di una fibra ottica



Struttura di una fibra ottica

42/43



### MATRICE DI SCATTERING S

Matrice di scattering [S]



$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

b → onda riflessa  
a → onda incidente