



**ANTENNE I - ANTENNE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI**  
 Prof. G. Pelosi - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
 Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

Lezione 14 – Antenne a larga banda

---




## LEZIONE 14

### Antenne a larga banda

**Leonardo Lucci**  
 Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni  
 Università di Firenze  
 E-mail: [leonardo.lucci@unifi.it](mailto:leonardo.lucci@unifi.it)

1/20



**ANTENNE I - ANTENNE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI**  
 Prof. G. Pelosi - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico  
 Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Università di Firenze

Lezione 14 – Antenne a larga banda

---

## BANDA DI UN'ANTENNA

Intervallo di frequenze all'interno del quale l'impedenza di ingresso e il diagramma di radiazione rimangono inalterati (o almeno all'interno di specifiche fissate)

Dette:

- $f_l$  la frequenza inferiore di funzionamento
- $f_u$  la frequenza superiore di funzionamento
- $f_c$  la frequenza di centro banda (frequenza di progetto)

La larghezza di banda B di un'antenna può essere definita in due modi:

$B = 100 \times (f_u - f_l) / f_c$

(per antenne a larga banda)  $B = f_u / f_l$

$B = f_u / f_l$

➔  $2^N$  (in ottave)

➔  $10^N$  (in decadi)

$B \geq 2$  ottave → antenna a larga banda

$B \geq 3$  ottave → antenna indipendente dalla frequenza

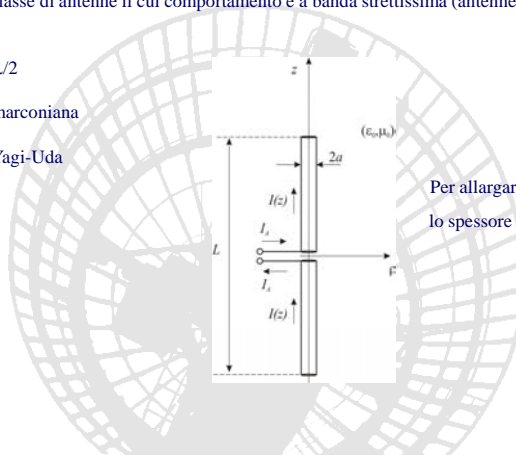
2/20



## ANTENNE RISONANTI

Esiste una classe di antenne il cui comportamento è a banda strettissima (antenne risonanti):

- Dipolo a  $\lambda/2$
- Antenna marconiana
- Antenna Yagi-Uda



Per allargare la banda si aumenta lo spessore dei fili che realizzano i dipoli

Le antenne ad apertura (horn, riflettori) hanno una banda più larga poiché le correnti di equivalenza hanno un maggior numero di gradi di libertà per distribuirsi sulla struttura

3/20

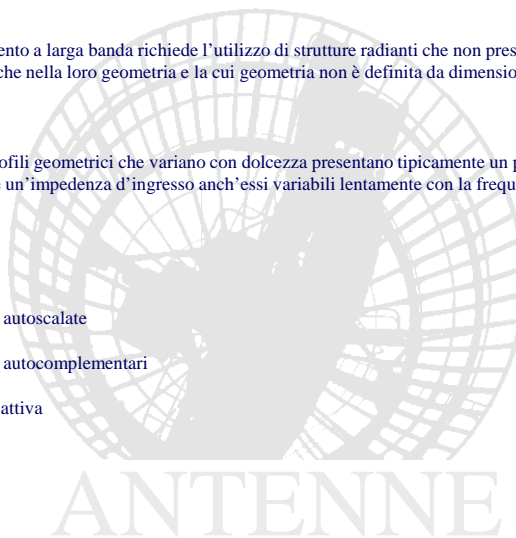


## REQUISITI GEOMETRICI ED EM

Il funzionamento a larga banda richiede l'utilizzo di strutture radianti che non presentano variazioni brusche nella loro geometria e la cui geometria non è definita da dimensioni lineari

Strutture con profili geometrici che variano con dolcezza presentano tipicamente un pattern di radiazione e un'impedenza d'ingresso anch'essi variabili lentamente con la frequenza.

- Strutture autoscalate
- Strutture autocomplementari
- Regione attiva



4/20



## REQUISITI GEOMETRICI ED EM

### STRUTTURE AUTOSCALATE

Le prestazioni EM di un'antenna rimangono invariate se le sue dimensioni elettriche non cambiano:

una qualunque antenna può essere scalata in tutte le dimensioni lineari di un fattore  $n$ , ottenendo una struttura con le stesse caratteristiche EM (impedenza d'ingresso, guadagno, pattern di radiazione, polarizzazione, ecc.), a patto che la frequenza operativa venga scalata di un fattore  $1/n$ .

Se una struttura è tale che scalandola rimane uguale a se stessa (da qui il nome autoscalata) ha lo stesso comportamento per qualunque frequenza operativa.

Le strutture autoscalate sono ideali poiché infinite!

5/20



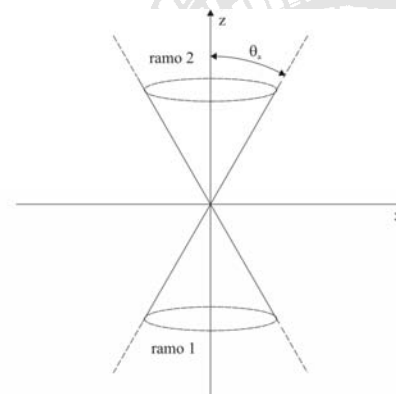
## REQUISITI GEOMETRICI ED EM

### STRUTTURE AUTOSCALATE – Antenna biconica infinita

Antenna biconica infinita

Scalando la geometria gli angoli non variano mentre le dimensioni lineari cambiano

Se la struttura è infinita e definita solo da angoli la scalatura “non ha effetto” sulla geometria



$$\mathbf{E} = E_\theta \hat{\theta}$$

$$\mathbf{H} = H_\phi \hat{\phi}$$

$$\frac{\partial}{\partial r}(rH_\phi) = -j\omega\epsilon rE_\theta$$

$$H_\phi = C \frac{1}{\sin\theta} \frac{e^{-jkr}}{r}$$

$$V = - \int_{\text{ramo1}}^{\text{ramo2}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

$$I = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = 2\pi C e^{-jkr}$$

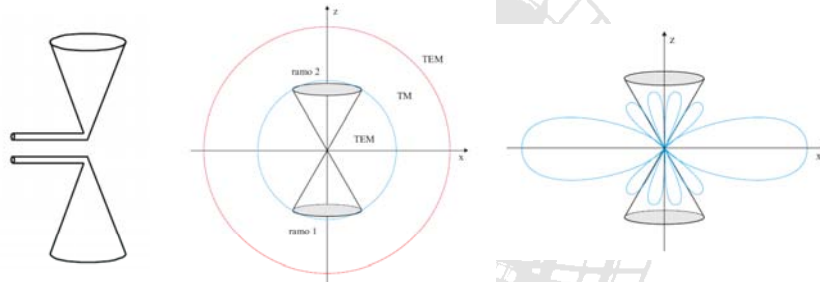
$$Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{\zeta_0}{\pi} \cdot \ln\left(\cot\left(\frac{\theta_0}{2}\right)\right)$$

6/20



**STRUTTURE AUTOSCALATE – Antenna biconica troncata**

Antenna biconica troncata

L'impedenza d'ingresso  $Z_L$  che tiene conto del troncamento è complessa:  $Z_L = R_L + jX_L$ 

L'impedenza dipende dalla frequenza, riducendo la larghezza di banda

**REQUISITI GEOMETRICI ED EM****STRUTTURE AUTOCOMPLEMENTARI**

Principio di dualità (Babinet):

$$J^i \rightarrow M^i$$

$$\mathbf{E} \rightarrow \mathbf{H}$$

$$\mathbf{H} \rightarrow -\mathbf{E}$$

$$\mu \rightarrow \varepsilon$$

$$\varepsilon \rightarrow \mu$$

$$pec \rightarrow pmc$$

$$pmc \rightarrow pec$$

A partire da una struttura radiante costituita da materiale *pec*, la sua complementare si trova scambiando il *pec* con il *pmc*Impedenza d'ingresso dell'antenna originaria:  $z_e$ Impedenza d'ingresso dell'antenna duale:  $z_m$ 

$$\zeta_e \times \zeta_m = \frac{\zeta_0^2}{4}$$

Per un'antenna autocomplementare la sua complementare è uguale a se stessa e si ha:

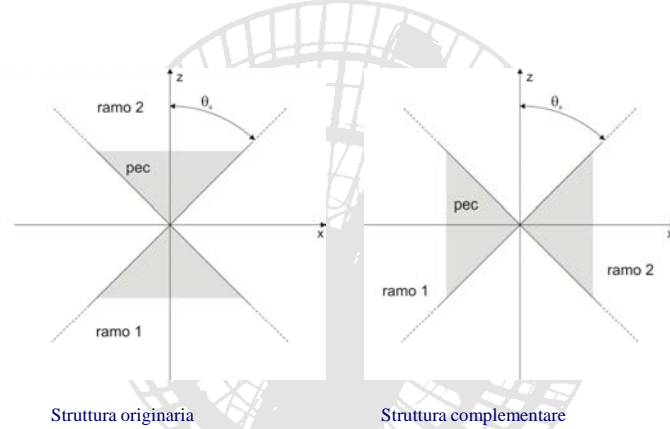
$$\zeta_e = \zeta_m = \frac{\zeta_0}{2}$$

L'autocomplementarietà è una condizione sufficiente per l'indipendenza dell'impedenza di ingresso dalla frequenza operativa



## REQUISITI GEOMETRICI ED EM

### STRUTTURE AUTOCOMPLEMENTARI – Antenna a farfalla infinita



La struttura è autocomplementare se  $q_a = 45^\circ$

Anche in questo caso si tratta di una struttura infinita!

9/20



## REQUISITI GEOMETRICI ED EM

### REGIONE ATTIVA

Nelle antenne a regione attiva la porzione di struttura che contribuisce al fenomeno radiativo è localizzata in una zona ben determinata dell'antenna

Nelle antenne a regione attiva la corrente decade man mano che ci si allontana dall'alimentazione, finché si raggiunge un punto a partire dal quale la corrente diventa di ampiezza trascurabile e in corrispondenza di tale zona può essere effettuato il troncamento della struttura senza perturbare le caratteristiche EM dell'antenna

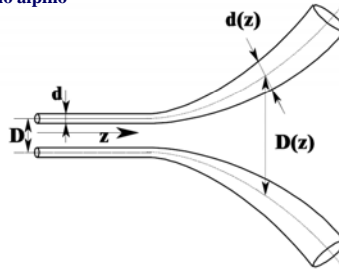
10/20



## REQUISITI GEOMETRICI ED EM

### REGIONE ATTIVA – Antenna a corno alpino

$$Z_0 = \zeta_0 / \pi \times \ln(D/a)$$



Quando  $D$  inizia a non essere trascurabile rispetto a  $\lambda$  la struttura inizia ad irradiare.

Se  $D$  ed  $a$  aumentano lentamente non si hanno discontinuità e l'impedenza caratteristica  $Z_0$  si mantiene costante lungo la linea

Il massimo di radiazione si ha nel tratto di linea dove la distanza  $D$  è circa pari a  $\lambda/2$ .

Banda dell'antenna a corno alpino

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} \approx \frac{D_{max}}{D_{min}}$$

11/20



## ANTENNA A SPIRALE

- ✓ Autoscalata
- ✓ A regione attiva
- ✓ Può essere costruita per essere autocomplementare

Tipicamente si raggiunge una larghezza di banda di 8:1 (3 ottave), ma in alcuni casi si possono ottenere larghezze fino a 20:1

Equazione della spirale equiangolare

$$r = r_0 e^{a\phi}$$

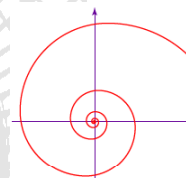


bordo esterno primo braccio:  $r_1 = r_0 e^{a\phi}$

bordo interno primo braccio:  $r_2 = r_0 e^{a(\phi-\delta)}$

bordo esterno secondo braccio:  $r_3 = r_0 e^{a(\phi-\pi)}$

bordo interno secondo braccio:  $r_4 = r_0 e^{a(\phi-\delta-\pi)}$



Affinché la struttura infinita sia autocomplementare si deve porre  $\delta = \pi/2$ .

12/20



## ANTENNA A SPIRALE

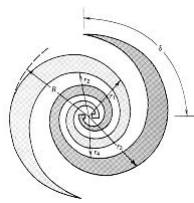
Rapporto di espansione 
$$\varepsilon = \frac{r(\varphi + 2\pi)}{r(\varphi)} = \frac{r_0 e^{a(\varphi + 2\pi)}}{r_0 e^{a\varphi}} = e^{a2\pi}$$

Se  $\varepsilon=4$  la regione attiva si ha per

$$r = \lambda/4$$

La regione attiva si sposta al variare della frequenza e le dimensioni fisiche dell'antenna determinano la effettiva larghezza di banda

Il limite superiore di banda è determinato dalle dimensioni minime della spirale in corrispondenza della zona di alimentazione, mentre il raggio massimo della struttura determina il limite inferiore di banda



$$\begin{aligned} f_{max} \text{ t.c. } \frac{\lambda_{min}}{4} &= r_0 \\ f_{min} \text{ t.c. } \frac{\lambda_{max}}{4} &= R \end{aligned}$$

$$B = \frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{R}{r_0} = \frac{r_0 e^{a2\pi N}}{r_0} = e^{a2\pi N}$$



## ANTENNA A SPIRALE

Nella pratica la larghezza di banda appena calcolata rappresenta un valore teorico, poiché la banda è limitata dalla polarizzazione dell'antenna che si mantiene circolare nella direzione di massima radiazione fino a circa 30° da essa, su una banda più limitata rispetto a quella fornita dal calcolo precedentemente svolto

Il pattern di radiazione dell'antenna a spirale è bidirezionale con due lobi broadside rispetto al piano che la contiene

L'andamento del pattern è di tipo  $\cos\theta$  se l'asse  $z$  del sistema di riferimento è scelto normale al piano dell'antenna

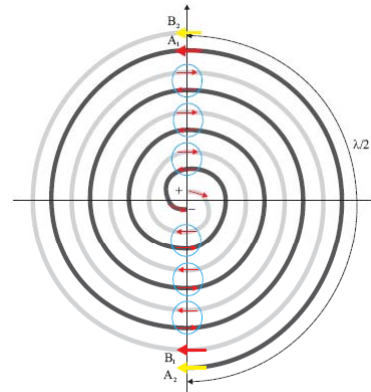


## ANTENNA A SPIRALE

### Principio di funzionamento – Spirale di Archimede

1° ramo:  $r = r_0\phi$

2° ramo:  $r = r_0(\phi - \pi)$



15/20

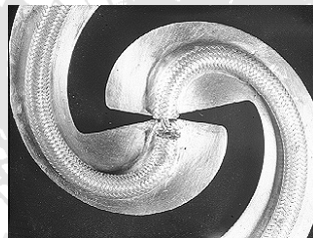


## ANTENNA A SPIRALE

### Alimentazione

☹ Se si utilizza un balun si perde il comportamento a larga banda

😊 Si realizza l'autobalun



16/20





## ANTENNA A SPIRALE

### Direttività migliorata

Per ottenere un pattern unidirezionale si può montare la spirale su una cavità risonante (*cavity backed spiral antenna*) ottenendo una direttività di circa 5dB, un lobo a metà potenza più stretto (circa 150°) ed un rapporto front/back di circa 15 dB.

Lo svantaggio è quello di ridurre sensibilmente la banda utile per la necessità di lavorare in prossimità della frequenza di risonanza della cavità



Un'alternativa consiste nell'avvolgere la spirale su un cono di materiale dielettrico mantenendo anche le proprietà di autobilanciamento.

17/20

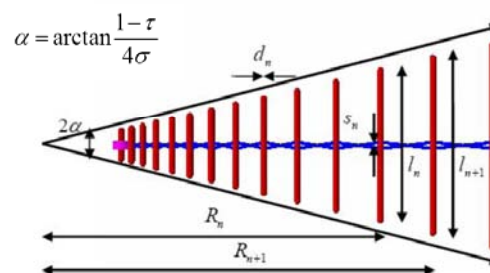


## ANTENNA LOGARITMO-PERIODICA AD ARRAY DI DIPOLI

### Geometria

Fattore di scala  $\frac{1}{\tau} = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n}$

Fattore di spaziatura  $\sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}}$



18/20

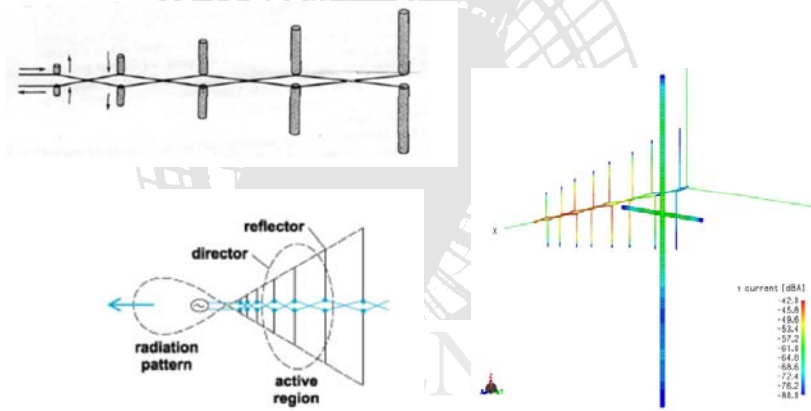




## ANTENNA LOGARITMO-PERIODICA AD ARRAY DI DIPOLI

### Regione attiva e pattern di radiazione

La connessione diretta di tutti i dipoli tramite una linea di trasmissione *criss-cross* fa sì che l'alimentazione fra due elementi adiacenti presenti una differenza di fase di  $180^\circ$  ai terminali di ogni dipolo garantendo in tal modo la radiazione end-fire nella direzione degli elementi più corti

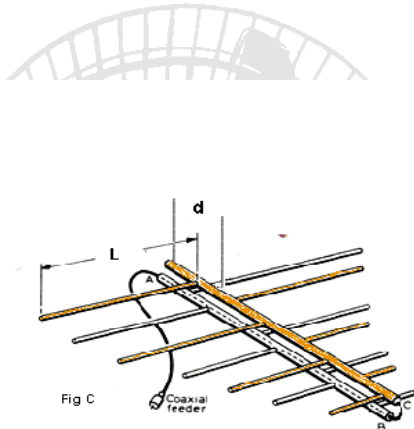


19/20



## ANTENNA LOGARITMO-PERIODICA AD ARRAY DI DIPOLI

### Alimentazione: autobalun



ANTENNE

20/20