



# ANTENNE

Appunti per il corso di TLC

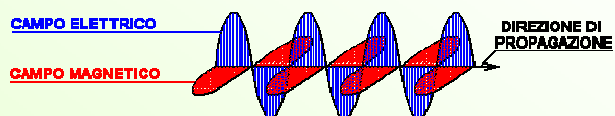
*prof. ing. Angelo Bisceglia*

## GENERALITA'

**Le antenne sono dispositivi in grado di convertire un segnale elettrico in onde elettromagnetiche ed irradiarle nello spazio circostante o viceversa.**

**Le antenne possono essere  
o *trasmittenti* (con potenze di decine di kW)  
o *riceventi* (con potenze di  $\mu\text{W}$  fino a pW) ,  
a seconda dell'uso cui sono destinate, oppure possono svolgere le due funzioni contemporaneamente.**

Un campo elettromagnetico è composto da un campo elettrico e da un campo magnetico che si propagano su piani tra loro perpendicolari e, nello stesso tempo, entrambi perpendicolari alla direzione di propagazione (onda piana).



E - plane è il piano sul quale giacciono i massimi di intensità del campo elettrico

H - plane è il piano sul quale giacciono i massimi di intensità del campo magnetico

GENERALITA'

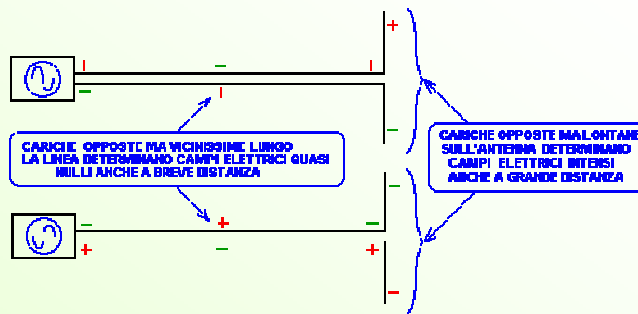
## PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



Un trasmettitore è costituito, essenzialmente, da un generatore del segnale elettrico, da una linea a radiofrequenza e da un'antenna trasmittente

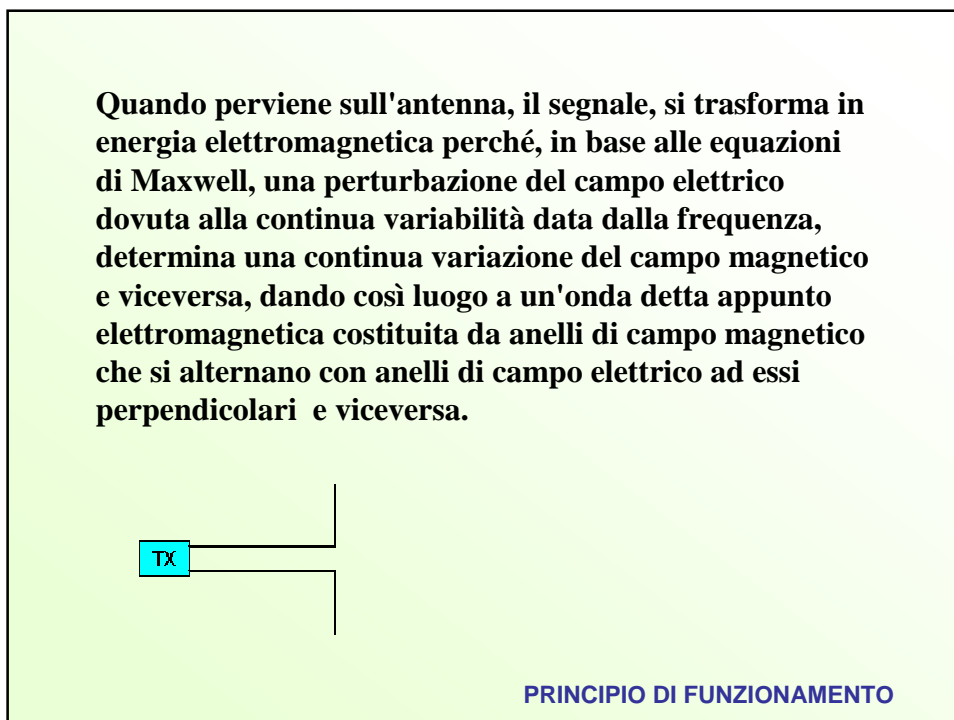
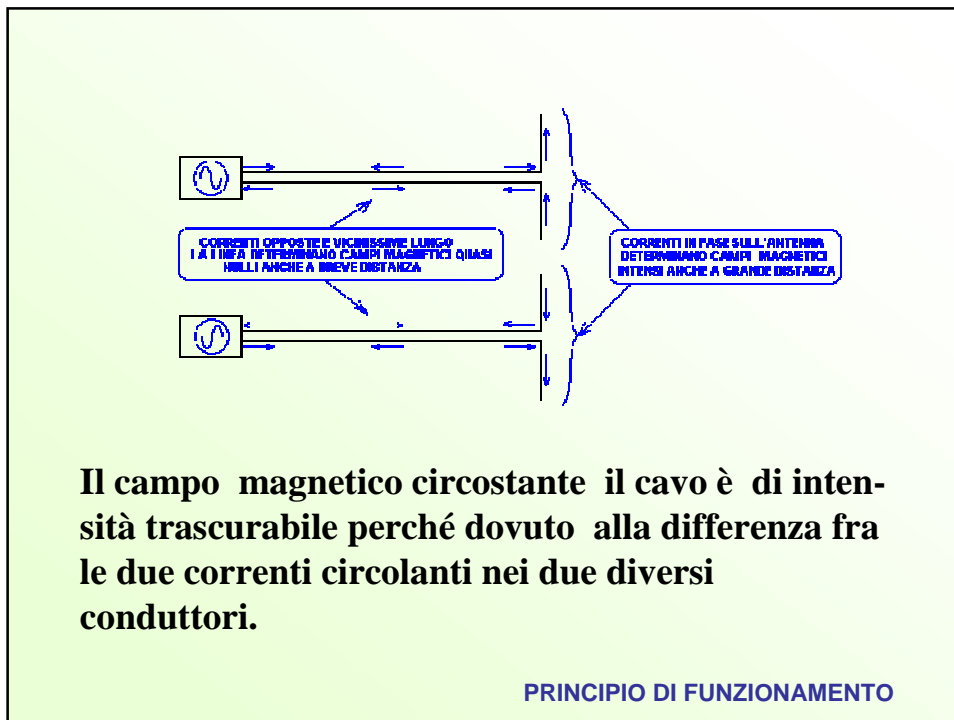
**I campi elettrici e magnetici lungo il cavo si annullano quasi completamente per compensazione essendo i conduttori attraversati da cariche elettriche vicinissime e di segno opposto, lungo l'antenna invece, le cose cambiano completamente in quanto qui le cariche di segno positivo si trovano su uno stilo lontano da quelle di segno negativo che si trovano sull'altro stilo ed inoltre le correnti elettriche non risultano opposte, come avviene lungo il cavo, bensì allineate in modo da intensificare l'effetto del campo che esse producano.**

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



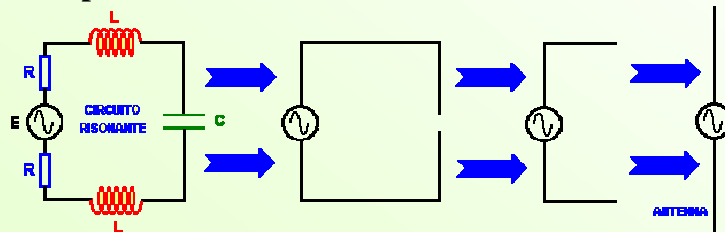
**Il campo elettrico circostante il cavo è di intensità trascurabile perché dovuto alla differenza fra le due cariche e soprattutto perché i conduttori, schermati, ne rendono impossibile l'irradiazione.**

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

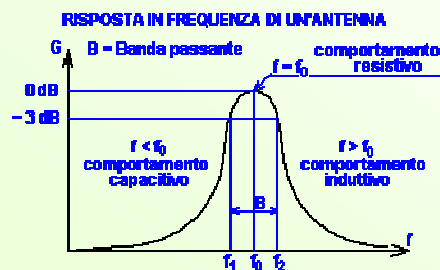


## L'ANTENNA COME COMPONENTE ELETTRONICO

L'antenna, da un punto di vista elettrico, si comporta come un circuito risonante serie, come può intuirsi dalle modifiche indicate nella sequenza seguente ove, partendo da un circuito RLC serie a componenti discreti, si va sempre riducendo il valore dell'induttanza, della capacità e della resistenza del circuito fino ad ottenere un circuito a componenti concentrate che corrisponde ad un'antenna.



Da un punto di vista elettrico, dunque, l'antenna è una impedenza di tipo RLC e come tale è vista dal generatore. La sua risposta in frequenza corrisponde a quella di ogni circuito risonante ed ha comportamento di tipo resistivo in corrispondenza del centro della curva, ohmico - capacitivo per frequenze inferiori, ohmico - induttivo per frequenze superiori



L'ANTENNA COME COMPONENTE ELETTRONICO

**All'interno della banda passante, il comportamento dell'antenna può essere assimilato con buona approssimazione, a quello di una resistenza e il suo valore è detto resistenza di antenna. È bene che la linea a R. F. sia adattata per una sua ottimizzazione d'uso all'antenna, ed essendo l'impedenza caratteristica della linea praticamente una resistenza pura, allora è bene che l'antenna sia usata all'interno della sua banda passante.**

L'ANTENNA COME COMPONENTE ELETTRONICO

**La resistenza di antenna, però aumenta all'aumentare del rapporto fra la lunghezza e il diametro, per cui (come spesso si fa per i baracchini), si usa porre in cima all'antenna, una vite di regolazione con lo scopo di adattare la resistenza dell'antenna alla linea.**

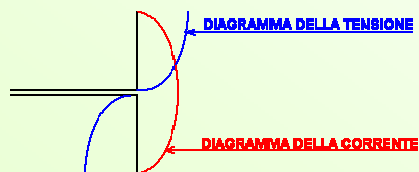
**La banda passante aumenta invece al crescere del rapporto diametro/lunghezza.**

**Mantenendo costante allora la lunghezza dell'antenna, che è determinata dalla frequenza centrale di sintonia, maggiore è il diametro, maggiore è la larghezza di banda dell'antenna.**

L'ANTENNA COME COMPONENTE ELETTRONICO

**L'antenna costituisce la terminazione di una linea a radiofrequenza.**

**Lungo la linea viaggiano un'onda di tensione e di corrente che giunte all'antenna determinano su di questa un'onda stazionaria di tensione e di corrente i cui diagrammi sono rappresentati a destra nel caso di un'antenna hertziana.**



**L'ANTENNA COME COMPONENTE ELETTRONICO**

## **PRINCIPIO DI RECIPROCIITA'**

Un'antenna mantiene le medesime proprietà (in termini di direttività, accoppiamento di campo elettromagnetico, ecc...) se utilizzata, a parità di frequenza, come trasmittente o ricevente.

## **PARAMETRI DELLE ANTENNE**

**Numerosi sono i parametri caratterizzanti un'antenna.**

**Tra i principali le dimensioni fisiche, la resistenza, la gamma di frequenze, il guadagno, il rapporto segnale/rumore, ...**

**Ad esse va aggiunto un parametro non elettrico ma importantissimo:**

**La direttività**



## Dimensioni fisiche

**Idealmente un'antenna deve avere una lunghezza pari a  $\frac{1}{2} \lambda$  a cui lavora.**

**Quando ha un capo o a terra o fissato ad un piano riflettente elettromagneticamente, la sua lunghezza si può ridurre a  $\frac{1}{4} \lambda$ .**

**La freq media delle trasmissioni FM ~ 100 MHz  $\rightarrow \lambda \sim 3$  m (antenne almeno di 75 cm).**

**Ma le antenne possono essere più corte poichè se sono caricate (cioè con una induttanza alla base o una capacità all'estremo superiore) si può ridurre la dimensione fisica mantenendone però inalterata la lunghezza elettrica ( $\frac{1}{2} \lambda$ )**

## NOTE SULLE ANTENNE CARICATE

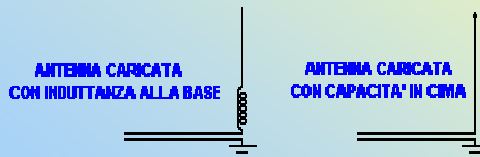
**Talora la lunghezza di un'antenna calcolata secondo  $\lambda/4$  oppure  $\lambda/2$  risulta eccessiva in quanto scomoda da montare (ad esempio su di un autoveicolo); in questo caso è possibile accorciare l'antenna, ma bisogna adattarla; infatti l'antenna ha comportamento resistivo puro soltanto se lunga  $\lambda/4$  oppure  $\lambda/2$ ; accorciata invece, mostra impedenza di tipo ohmico - capacitivo.**

L'adattamento si realizza con l'inserzione, alla base della antenna, e quindi in serie, di un'induttanza di valore eguale ed opposto a quello della capacità introdotta con l'accorciamento in modo da neutralizzarne gli effetti.

Adesso però, seppure risulta adattata, l'antenna non viene utilizzata con il massimo delle prestazioni né in trasmissione né in ricezione, perciò questa modifica va effettuata solo in caso di effettiva necessità.

NOTE SULLE ANTENNE CARICATE

Lo stesso effetto può essere ottenuto ponendo una capacità, ottenuta praticamente con un dischetto o un semplice allargamento dell'antenna all'estremità. L'effetto opposto, cioè quello di aumentare la lunghezza dell'antenna rispetto ai valori teorici di  $\lambda/4$  oppure di  $\lambda/2$ , si può ottenere ponendo una capacità alla base dell'antenna



NOTE SULLE ANTENNE CARICATE

## RENDIMENTO ( o EFFICIENZA)

Nelle antenne, sia trasmittenti che riceventi, circola corrente elettrica a radiofrequenza che determina perdite per effetto Joule.

Si definisce allora rendimento o efficienza, il rapporto fra la potenza irradiata e la potenza ricevuta,

Le perdite termiche in un'antenna hanno valori che vanno dal **3 al 5%**, corrispondenti ad un rendimento del **97 - 95%**.

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_j} = \frac{R_r}{R_r + R_j}$$

$P_r$  = potenza irradiata  
 $P_j$  = potenza perduta per effetto Joule  
 $R_r$  = resistenza di radiazione  
 $R_j$  = resistenza di dissipazione

## GUADAGNO

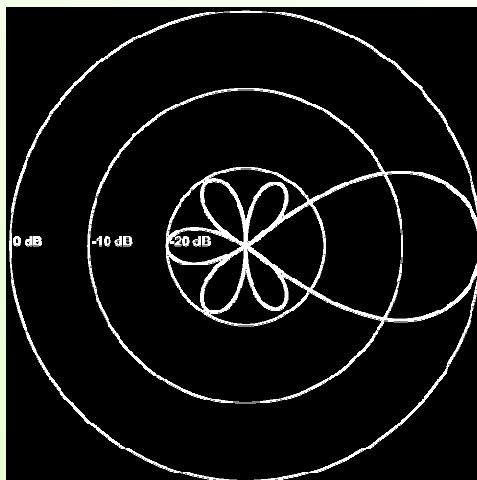
Le antenne non irradiano energia elettromagnetica con la stessa intensità nelle varie direzioni circostanti.

Il diagramma di radiazione indica l'intensità di potenza che viene irradiata nelle varie direzioni dall'antenna in esame.

Si definisce un'antenna, detta isotropa o isotropica - *inesistente nella realtà* - che è usata come confronto per i diagrammi di radiazione di tutte le altre antenne.

L'antenna isotropa ha la caratteristica di irradiare in ogni direzione con la stessa intensità ed ha quindi come diagramma di radiazione una sfera che, in una rappresentazione piana, diventa un cerchio.

GUADAGNO



I picchi di radiazione in direzioni diverse da quella del lobo principale (*main lobe*) sono detti *side lobes* e si misurano in dB rispetto alla potenza trasmessa dal lobo principale

Esempio di diagramma di radiazione di un'antenna

GUADAGNO

Il guadagno  $G$  di un'antenna è definito come il rapporto fra la potenza  $P_{iso}$  che dovrebbe essere irradiata dall'antenna isotropa e la potenza  $P_i$  irradiata dall'antenna in esame perché si ottenga lo stesso campo ad una certa distanza nella direzione di massima irradiazione .

$$G = \frac{P_{iso}}{P_i}$$

È spesso riferito in dB

$$G_{dB} = 10 \log_{10} G$$

GUADAGNO e ERP

La potenza irradiata dall'antenna isotropica

$$P_{iso} = 4\pi d^2 S$$

con  $S$  l'intensità dell'onda identica in tutte le direzioni  
 $4\pi d^2$  la superficie sferica di raggio  $d$

GUADAGNO e ERP

L' Effective Radiated Power o **ERP** (detto anche EIRP Effective Isotropic Radiated Power) rappresenta una quantità che indica quanto inteso sia il campo prodotto nella direzione di massima irradiazione

$$\mathbf{ERP} = \mathbf{P}_i \mathbf{G}$$

In pratica l'antenna si comporta – nella direzione di massima irradiazione – in modo equivalente ad un radiatore isotropico che emette una potenza pari a ERP.

In molti casi le norme per l'uso dello spazio radio indicano i valori limiti dell'ERP allo scopo di evitare interferenze tra sistemi diversi.

**GUADAGNO e ERP**

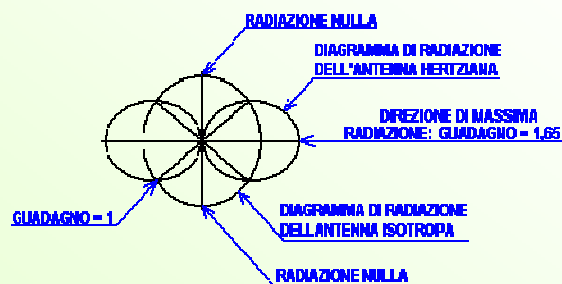
Da quanto definito si ottiene

$$S = \frac{P_i G}{4\pi d^2} = \frac{ERP}{4\pi d^2}$$

Per tener conto del rendimento  $\eta$  dell'antenna, si definisce il Guadagno di potenza  $G_p$  riferito alla potenza di alimentazione  $P_a$

$$G_p = \frac{P_{iso}}{P_a} = \frac{P_{iso}}{P_i / \eta} = \eta \cdot G$$

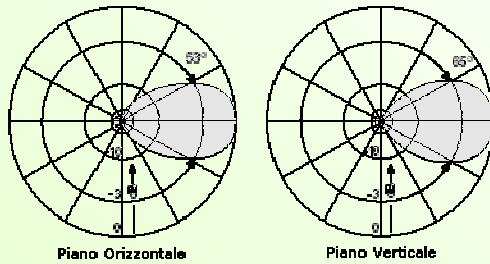
È rappresentato il diagramma di radiazione della antenna Hertziana, confrontato con quello dell'antenna isotropa.



Il guadagno dell'antenna Marconiana è il doppio di quella hertziana, e cioè: 3,3

GUADAGNO

## ANGOLO DI APERTURA



Caratterizza la direzionalità. Può essere definito sia sul piano orizzontale che verticale. Rappresenta l'angolo entro il quale il campo irradiato dall'antenna non scende al di sotto di 3 dB dal valore massimo (**HPBW**).

Esempio diagrammi di radiazione di un'antenna direttiva

## AREA EFFICACE (o A. EQUIVALENTE)

$A_{eff}$  è definita come il rapporto tra la potenza disponibile all'uscita dell'antenna  $P_o$  e l'intensità  $S$  dell'onda incidente.

$$A_{eff} = \frac{P_o}{S}$$

In pratica l'  $A_{eff}$  rappresenta la capacità dell'antenna di "raccogliere" la potenza dell'onda e.m. che la investe.



Per il principio di reciprocità, quanto più un'antenna risulta direttiva in trasmissione, tanto più mantiene tale caratteristica in ricezione. Si ha

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi}$$

Si può ricavare così la potenza disponibile all'uscita di un'antenna ricevente di guadagno  $G_r$  posta a distanza  $d$  da un'antenna trasmittente di guadagno  $G_t$  che irradia una potenza  $P_i$  (nel caso di trasmissione diretta ed orientamento rispettivamente nelle direzioni di massima ricezione e di massima irradiazione)

$$P_o = A_{eff} S_{max} = A_{eff} \frac{P_i G_t}{4\pi d^2}$$

$$P_o = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_r G_t P_i = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_r \cdot ERP$$

## TIPI FONDAMENTALI DI ANTENNE

### ANTENNA HERZIANA

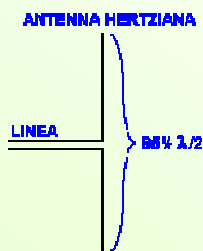
La prima antenna fu inventata da **Heinrich Hertz** .

Oggi è molto usata ad es. nei trasmettitori/ripetitori per cellulari e per sistemi radiotelevisivi, spesso non da sola ma in *cortine*.

È costituita da 2 conduttori (linea di trasmissione) di lunghezza identica aperti ad angolo piatto ed alimentati al centro.

La lunghezza di ognuno dei due stili è, quasi sempre,  $\lambda/4$  (*risonanza a quarto d'onda*), o meglio, tenendo conto di un fattore correttivo del 5% in meno, è il 95% di  $\lambda/4$ .

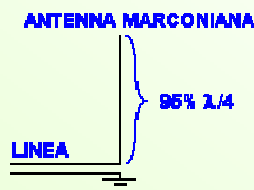
L'antenna hertziana ha resistenza di radiazione uguale a  $73 \Omega$



### ANTENNA MARCONIANA

Prende il nome da **Guglielmo Marconi**, ha uno stilo a massa ed un altro lungo  $\lambda/4$ , o, più esattamente, il 95% di  $\lambda/4$

L'antenna marconiana ha resistenza di radiazione uguale a **36,5  $\Omega$** .

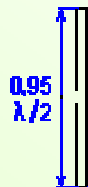


### DIPOLO RIPIEGATO

Può essere assimilato ad una linea di trasmissione in corto circuito con un ventre di corrente all'estremo.

Ha resistenza di radiazione di **300  $\Omega$** ; guadagno di **1,65**; maggiore larghezza di banda dell'antenna hertziana, ed è usato nei trasmettitori per radio, televisione, cellulari, spesso organizzato in *cortine*.

### DIPOLO RIPIEGATO

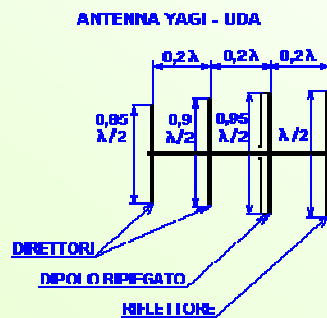


### ANTENNA YAGI - UDA

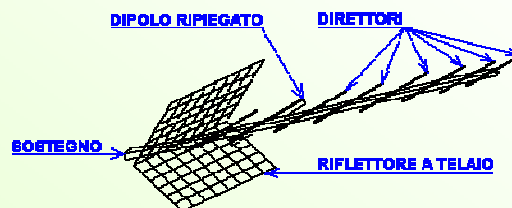
È costituita da un dipolo ripiegato che funge da ricevitore, da uno stilo che funge da riflettore, da alcuni stili che fungono da direttori.

La sua direttività ed il suo guadagno sono esaltati dal numero di direttori aggiunti, fino però al limite di una quindicina, perché oltre, un ulteriore aumento riduce il guadagno a causa del loro assorbimento di energia elettromagnetica.

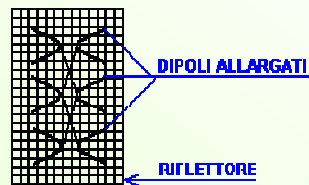
È usata come antenna ricevente per la banda televisiva VHF.



### **ANTENNA YAGI A SEI DIRETTORI CON RIFLETTORE A TELAIO**

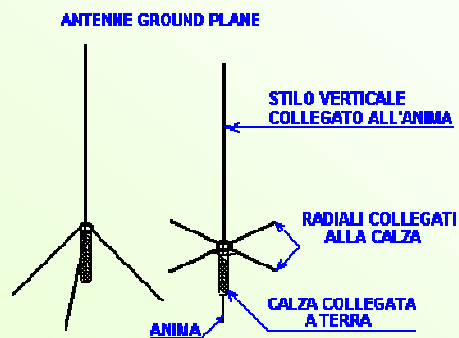


**ANTENNA NON DIRETTIVA A LARGA BANDA**



**ANTENNE GROUND PLANE**

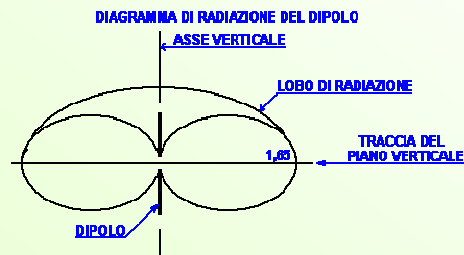
Sostituiscono la superficie riflettente del terreno utilizzata dall'antenna Marconi, con una schiera di radiali e vengono usate dai CB e dai radioamatori.



### CORTINE DI ANTENNE

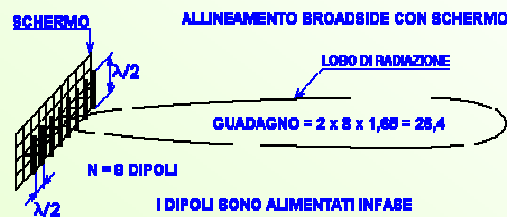
Un' antenna verticale a stilo ha un diagramma di radiazione che nel piano orizzontale è una circonferenza e pertanto irradia in tutte le direzioni del piano orizzontale.

Non è così per le antenne direttive le quali manifestano una direzione preferenziale di trasmissione, come ad esempio l'antenna Yagi costituita da più dipoli allineati.



È possibile costituire quindi sistemi di antenne a stilo organizzate in allineamenti paralleli e complanari allo scopo di aumentarne la direttività, concentrando la maggior parte della loro energia elettromagnetica emessa, in una direzione, o in alcune direzioni preferenziali.

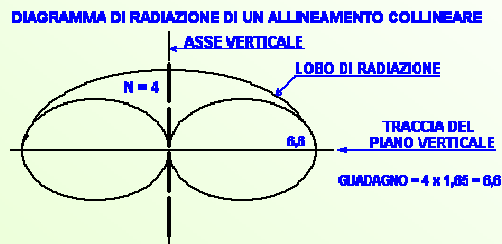
Sono detti **broadside** gli allineamenti di N dipoli a mezz'onda, eccitati in fase, nei quali l'emissione ha luogo perpendicolarmente al piano delle antenne, distanti  $\lambda/2$  fra loro ed in numero pari. In questi allineamenti, il campo totale è N volte più intenso di quello di un solo dipolo.



Sono detti **endfire**, gli allineamenti nei quali l'emissione ha luogo lungo l'asse dei dipoli. Appartengono a questa categoria, le antenne Yagi, anche se vengono usate in ricezione.



Sono detti **collineari**, gli allineamenti nei quali  $n$  dipoli a mezz'onda sono posti tutti su una stessa retta ed in questo caso il diagramma d'irradiazione è di forma circolare, cioè lo stesso di quello di una sola antenna, però  $n$  volte più intenso.  
Sono usate nei ripetitori radiotelevisivi

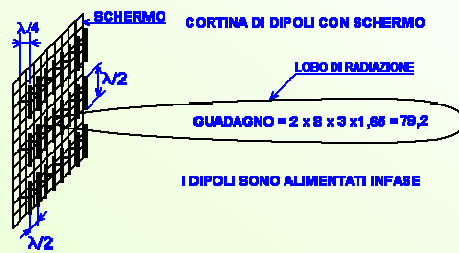


Le cortine di antenne sono poi costituite da allineamenti broadside e collineari insieme, quindi da  $n$  righe e  $N$  colonne di antenne ed il guadagno è uguale a:

$$G = 1,65 n N \quad \text{dB}$$



Se si vuole raddoppiare ulteriormente l'intensità del campo, si può mettere uno schermo costituito da una rete metallica dietro la cortina di dipoli e parallelamente ad essa, a distanza  $\lambda/4$ .  
Le cortine di antenne con schermo sono state usate come antenne trasmettenti per i primi radar perché molto direttive.



## INDICE

- Antenne
- Guadagno
- Rendimento
- Tipi fondamentali
- Altri tipi di antenna
- Cortine di Antenne
- Antenne Caricate