LEZIONE 4

PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE ANTENNE (parte I)

Giuseppe Pelosi
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Università di Firenze
E-mail: *giuseppe.pelosi@unifi.it*
URL: http://ingfi9.det.unifi.it/

LEZIONE 4

PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE ANTENNE

- Diagrammi di radiazione
- Direttività e guadagno
- Circuiti equivalenti e impedenza d’ingresso

ANTENNE

LEZIONE 4

PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE ANTENNE

- **Diagrammi di radiazione**
- Direttività e guadagno
- Circuiti equivalenti e impedenza d'ingresso

COS'È UN'ANTENNA?

Un'antenna è un sistema di interfaccia, bi-direzionale, tra propagazione guidata e propagazione nello spazio libero.

Antenna in trasmissione

assorbe potenza da una linea di trasmissione, a cui è connessa, per poi irradiare tale potenza nello spazio.

Antenna in ricezione

investita da una radiazione elettromagnetica proveniente dallo spazio circostante, dissipa potenza sul carico su cui è chiusa la linea di trasmissione ad essa connessa.

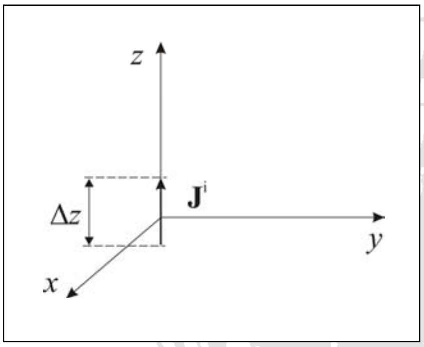
Per qualunque sistema radiante vale il principio di reciprocità secondo il quale un'antenna irradia energia elettromagnetica nello spazio con le stesse proprietà con le quali essa può riceverla, purché la frequenza sia la stessa in ricezione e in trasmissione.

ANTENNA ISOTROPA

L'antenna isotropa è una sorgente puntiforme che irradia con lo stesso campo in tutte le direzioni.

Tale antenna, che è solamente teorica, è utile come elemento di confronto per molti tipi di antenne, le cui prestazioni possono esprimersi meglio facendo riferimento a questo radiatore elementare.

DIPOLO ELETTRICO CORTO (dec)



$$\begin{cases} E_r^{(e)} = \zeta \dfrac{I\,\Delta z}{2\pi}\left(\dfrac{1}{r^2} + \dfrac{1}{jkr^3}\right)\cos\vartheta\, e^{-jkr} \\ E_\vartheta^{(e)} = \zeta \dfrac{I\,\Delta z}{4\pi}\left(\dfrac{jk}{r} + \dfrac{1}{r^2} + \dfrac{1}{jkr^3}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \\ E_\phi^{(e)} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} H_r^{(e)} = 0 \\ H_\vartheta^{(e)} = 0 \\ H_\phi^{(e)} = \dfrac{I\,\Delta z}{4\pi}\left(\dfrac{jk}{r} + \dfrac{1}{r^2}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \end{cases}$$

Campi radiativi

$$\mathbf{E}^{(e)} = E_\vartheta^{(e)}\,\hat{\vartheta} = jk\zeta \frac{I\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\,\hat{\vartheta}$$

$$\mathbf{H}^{(e)} = H_\phi^{(e)}\,\hat{\phi} = \frac{\hat{r}\times\mathbf{E}^{(e)}}{\zeta} = \frac{E_\vartheta^{(e)}}{\zeta}\,\hat{\phi} = jk\frac{I\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\,\hat{\phi}$$

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

DIPOLO ELETTRICO CORTO (dec)

Modulo del campo elettrico in zona lontana

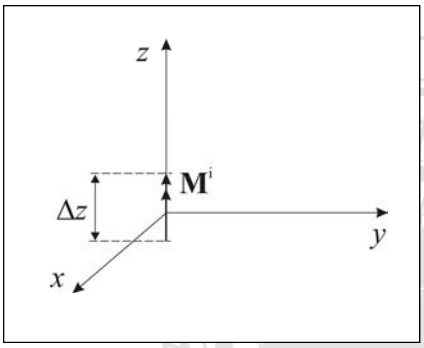
$$\mathbf{E}^{(e)} = E_{\vartheta}^{(e)}\,\hat{\vartheta} = jk\zeta\,\frac{I\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\,\hat{\vartheta}$$

$$\left|\mathbf{E}^{(e)}\right| = \left|E_{\vartheta}^{(e)}\right| = k\zeta\,\frac{|I|\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta$$

$$\left|\mathbf{E}^{(e)}\right|_{\max} = \left|E_{\vartheta}^{(e)}\right|_{\max} = k\zeta\,\frac{|I|\,\Delta z}{4\pi r} \quad \text{per } \vartheta = \frac{\pi}{2}$$

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

DIPOLO MAGNETICO CORTO (dmc)



$$\begin{cases} E_r^{(m)} = 0 \\ E_{\vartheta}^{(m)} = 0 \\ E_{\phi}^{(m)} = -\dfrac{I_m\,\Delta z}{4\pi}\left(\dfrac{jk}{r} + \dfrac{1}{r^2}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \end{cases}$$

$$\begin{cases} H_r^{(m)} = \dfrac{1}{\zeta}\dfrac{I_m\,\Delta z}{2\pi}\left(\dfrac{1}{r^2} + \dfrac{1}{jkr^3}\right)\cos\vartheta\, e^{-jkr} \\ H_{\vartheta}^{(m)} = \dfrac{1}{\zeta}\dfrac{I_m\,\Delta z}{4\pi}\left(\dfrac{jk}{r} + \dfrac{1}{r^2} + \dfrac{1}{jkr^3}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \\ H_{\phi}^{(m)} = 0 \end{cases}$$

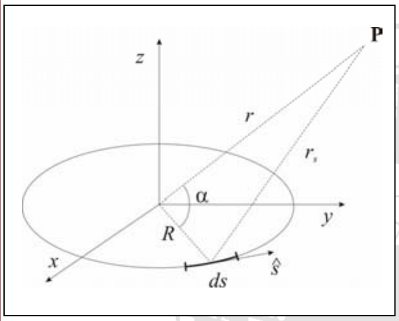
Campi radiativi

$$\mathbf{E}^{(m)} = E_{\phi}^{(m)}\hat{\phi} = -jk\,\frac{I_m\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\,\hat{\phi}$$

$$\mathbf{H}^{(m)} = H_{\vartheta}^{(m)}\hat{\vartheta} = \frac{\hat{r}\times\mathbf{E}^{(m)}}{\zeta} = -\frac{E_{\phi}^{(m)}}{\zeta}\,\hat{\vartheta} = j\,\frac{k}{\zeta}\,\frac{I_m\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\,\hat{\vartheta}$$

ANTENNE

ANTENNA A LOOP (a spira o a telaio)



$$\begin{cases} E^{(s)}_{1\,r} = 0 \\ E^{(s)}_{1\,\vartheta} = 0 \\ E^{(s)}_{1\,\phi} = -\dfrac{j\omega\mu\left(R^2\pi\right)I_s}{4\pi}\left(\dfrac{jk}{r}+\dfrac{1}{r^2}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \end{cases}$$

$$\begin{cases} H^{(s)}_{1\,r} = \dfrac{j\omega\mu\left(\pi R^2\right)I_s}{2\pi}\dfrac{1}{\zeta}\left(\dfrac{1}{r^2}+\dfrac{1}{jkr^3}\right)\cos\vartheta\, e^{-jkr} \\ H^{(s)}_{1\,\vartheta} = \dfrac{j\omega\mu\left(\pi R^2\right)I_s}{4\pi}\dfrac{1}{\zeta}\left(\dfrac{jk}{r}+\dfrac{1}{r^2}+\dfrac{1}{jkr^3}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \\ H^{(s)}_{1\,\phi} = 0 \end{cases}$$

Campi radiativi

$$\mathbf{E}^{(s)} = E^{(s)}_{\phi}\hat{\phi} = k\omega\mu\frac{I_s\left(R^2\pi\right)}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\hat{\phi}$$

$$\mathbf{H}^{(s)} = H^{(s)}_{\vartheta}\hat{\vartheta} = \frac{\hat{r}\times\mathbf{E}^{(s)}}{\zeta} = -\frac{E^{(s)}_{\phi}}{\zeta}\hat{\vartheta} = -\frac{k\omega\mu}{\zeta}\frac{I_s\left(R^2\pi\right)}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\hat{\vartheta}$$

dmc equivalente

$$I_m\Delta z = j\omega\mu\,\Delta s\, I_s$$

$$\text{con}\quad \Delta s = \pi R^2$$

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

DIPOLO MAGNETICO CORTO (dmc)

Modulo del campo elettrico in zona lontana

$$\mathbf{E}^{(m)} = E^{(m)}_{\phi}\hat{\phi} = -jk\frac{I_m\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\hat{\phi}$$

$$\left|\mathbf{E}^{(m)}\right| = \left|E^{(m)}_{\phi}\right| = k\frac{\left|I_m\right|\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta$$

$$\left|\mathbf{E}^{(m)}\right|_{\max} = \left|E^{(m)}_{\phi}\right|_{\max} = k\frac{\left|I_m\right|\Delta z}{4\pi r}\quad \text{per } \vartheta = \frac{\pi}{2}$$

spira equivalente

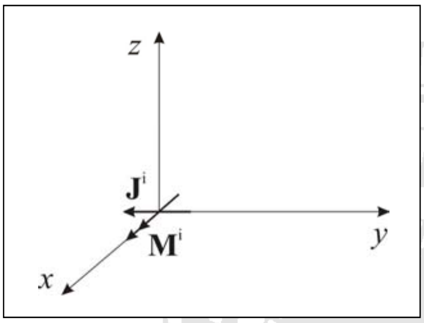
$$I_m\Delta z = j\omega\mu\,\Delta s\, I_s$$

$$\text{con}\quad \Delta s = \pi R^2$$

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

ANTENNE

SORGENTE DI HUYGENS



$$I_m = \zeta\, I$$

$$\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r}) = jk\,\frac{I_m\,\Delta l}{4\pi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\,(1+\cos\vartheta)\left(\sin\phi\,\hat{\vartheta} + \cos\phi\,\hat{\phi}\right)$$

$$\mathbf{H}^{(H)}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\zeta}\,\hat{r}\times\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r}) = j\,\frac{k}{\zeta}\,\frac{I_m\,\Delta l}{4\pi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\,(1+\cos\vartheta)\left(\sin\phi\,\hat{\phi} - \cos\phi\,\hat{\vartheta}\right)$$

Lezione 4 – Parametri fondamentali delle antenne (parte I)

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

SORGENTE DI HUYGENS

Modulo del campo elettrico in zona lontana

$$\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r}) = jk\,\frac{I_m\,\Delta l}{4\pi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\,(1+\cos\vartheta)\left(\sin\phi\,\hat{\vartheta} + \cos\phi\,\hat{\phi}\right)$$

$$E_\vartheta^{(H)} = jk\,\frac{I_m\,\Delta l}{4\pi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\,(1+\cos\vartheta)\sin\phi$$

$$E_\phi^{(H)} = jk\,\frac{I_m\,\Delta l}{4\pi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\,(1+\cos\vartheta)\cos\phi$$

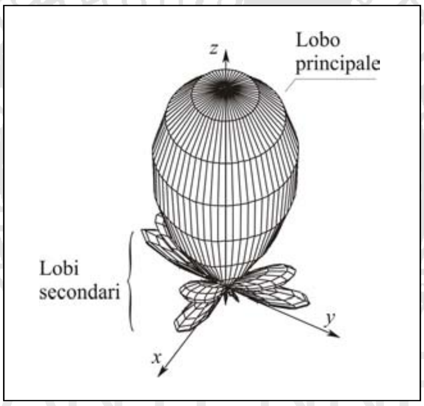
$$\left|\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r})\right| = \left|\mathbf{E}_\vartheta^{(H)}\hat{\vartheta} + \mathbf{E}_\phi^{(H)}\hat{\phi}\right| = \sqrt{\left|\mathbf{E}_\vartheta^{(H)}\right|^2 + \left|\mathbf{E}_\phi^{(H)}\right|^2} = k\,\frac{|I_m|\,\Delta l}{4\pi r}\,(1+\cos\vartheta)$$

$$\left|\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r})\right|_{\max} = 2k\,\frac{|I_m|\,\Delta l}{4\pi r} \qquad \text{per } \vartheta = 0$$

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

Solido di radiazione

segmento proporzionale al modulo del campo elettrico irradiato, |**E**|, riportato in ogni direzione dello spazio, a partire dall'origine del sistema di coordinate associato all'antenna

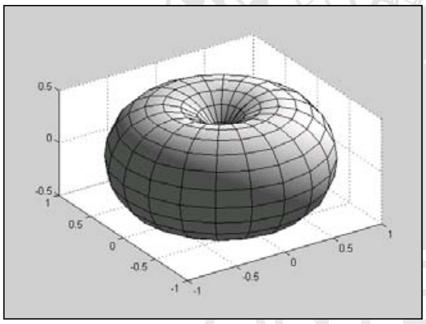


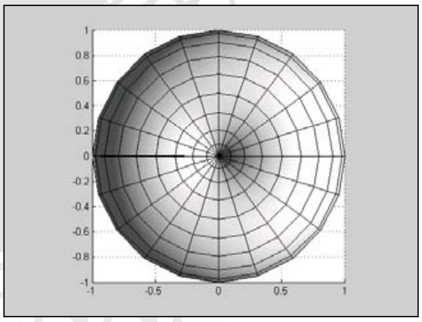
ANTENNE I - ANTENNE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI
Prof. G. Pelosi - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE - dec

$$\left|\mathbf{E}^{(e)}\right| = \left|E_\vartheta^{(e)}\right| = k\zeta \frac{|I|\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta \qquad \left|\mathbf{E}^{(e)}\right|_{\max} = \left|E_\vartheta^{(e)}\right|_{\max} = k\zeta \frac{|I|\Delta z}{4\pi r} \quad \text{per } \vartheta = \frac{\pi}{2}$$

$$\left|\mathbf{E}^{(e)}\right| / \left|\mathbf{E}^{(e)}\right|_{\max} = \sin\vartheta$$





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

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE - dmc

$$\left|\mathbf{E}^{(m)}\right| = \left|E_{\phi}^{(m)}\right| = k\frac{|I_m|\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta$$

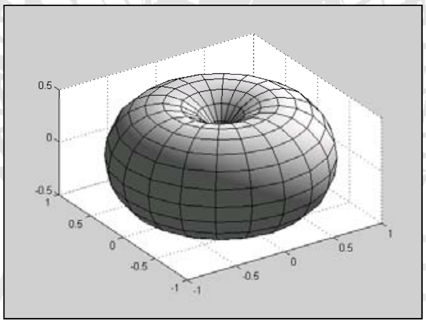
$$\left|\mathbf{E}^{(m)}\right|_{\max} = \left|E_{\phi}^{(m)}\right|_{\max} = k\frac{|I_m|\Delta z}{4\pi r} \quad \text{per } \vartheta = \frac{\pi}{2}$$

spira equivalente

$$I_m \Delta z = j\omega\mu\,\Delta s\, I_s$$

$$\text{con} \quad \Delta s = \pi R^2$$

$$\left|\mathbf{E}^{(m)}\right| \Big/ \left|\mathbf{E}^{(m)}\right|_{\max} = \sin\vartheta$$



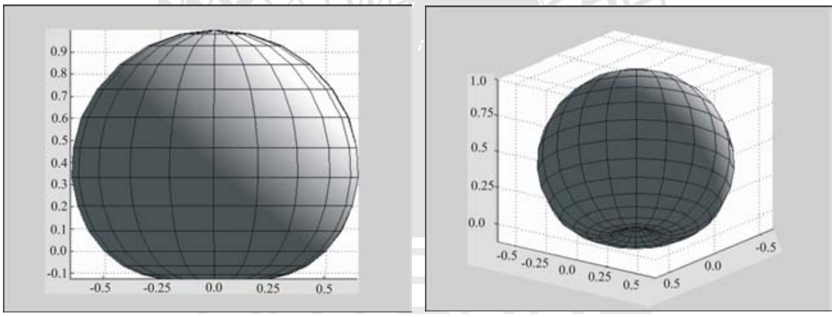
ANTENNE I - ANTENNE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI
Prof. G. Pelosi - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE – Sorgente di Huygens

$$\left|\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r})\right| = \left|\mathbf{E}_{\vartheta}^{(H)}\hat{\vartheta} + \mathbf{E}_{\phi}^{(H)}\hat{\phi}\right| = \sqrt{\left|\mathbf{E}_{\vartheta}^{(H)}\right|^2 + \left|\mathbf{E}_{\phi}^{(H)}\right|^2} = k\frac{|I_m|\Delta l}{4\pi r}(1+\cos\vartheta)$$

$$\left|\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r})\right|_{\max} = 2k\frac{|I_m|\Delta l}{4\pi r} \qquad \text{per } \vartheta = 0$$

$$\left|\mathbf{E}^{(H)}\right| \Big/ \left|\mathbf{E}^{(H)}\right|_{\max} = \frac{1+\cos\vartheta}{2}$$



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

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

Diagrammi di radiazione

opportune sezioni piane del solido di radiazione

Le sezioni riportate sono tipicamente relative a due piani fra loro perpendicolari.

I piani utilizzati per effettuare le sezioni sono spesso il piano E, contenente il vettore del campo elettrico e la direzione di massima radiazione, e il piano H, contenente il vettore del campo magnetico e la direzione di massima radiazione.

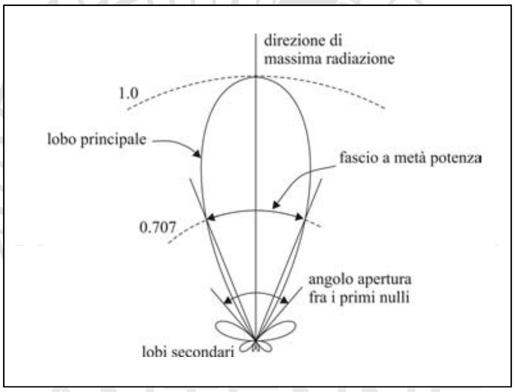
I diagrammi di radiazione possono essere normalizzati rispetto al loro valore massimo ed alternano massimi a minimi, presentando quelli che sono noti come lobi di radiazione

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

Lezione 4 – Parametri fondamentali delle antenne (parte I)

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

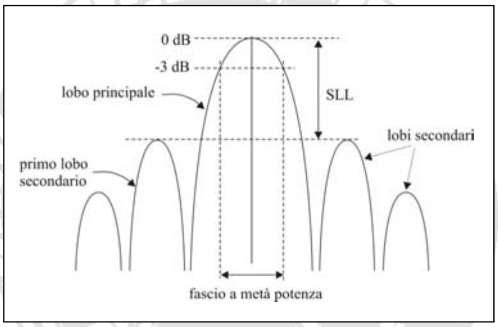
Diagramma di radiazione in coordinate polari



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

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

Diagramma di radiazione in coordinate cartesiane



$$20\log_{10}\frac{|\mathbf{E}(\mathbf{r})|}{|\mathbf{E}|_{max}}$$

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

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

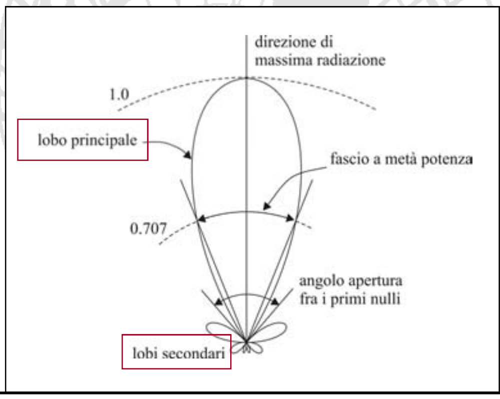
Parametri principali che caratterizzano i diagrammi di radiazione

Lobo principale

lobo che contiene la direzione di massima radiazione

Lobi secondari

sono i lobi che si sviluppano in direzione diversa da quella di massima radiazione



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

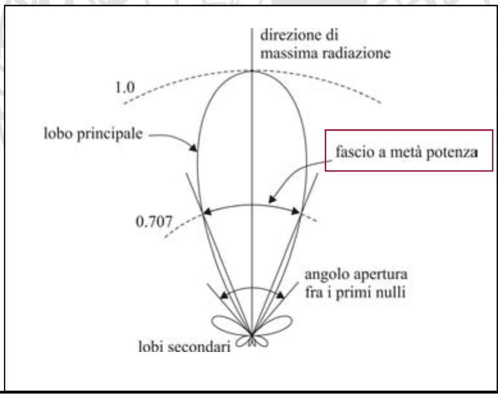
DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

Parametri principali che caratterizzano i diagrammi di radiazione

Angolo di apertura a metà potenza, o fascio a metà potenza
Half Power Beamwidth, HPBW

angolo fra le due direzioni in cui il modulo del campo elettrico è : $|\mathbf{E}(\mathbf{r})| = |\mathbf{E}|_{max} / \sqrt{2}$

Tale angolo fornisce in pratica una misura di quanto l'energia irradiata sia concentrata intorno alla direzione di massima radiazione



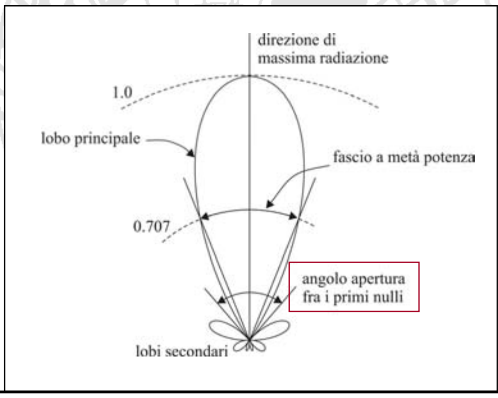
ANTENNE I - ANTENNE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI
Prof. G. Pelosi - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

Parametri principali che caratterizzano i diagrammi di radiazione

First Nulls Beamwidth, FNBW

angolo di apertura del lobo principale fra i primi due nulli del diagramma di radiazione



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

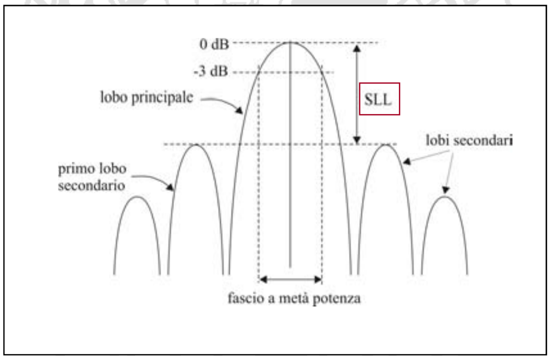
ANTENNE I - ANTENNE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI
Prof. G. Pelosi - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

DIAGRAMMI DI RADIAZIONE

Parametri principali che caratterizzano i diagrammi di radiazione

Side Lobe Level, SLL

rapporto fra l'ampiezza massima presentata dal diagramma di radiazione nel primo lobo secondario e l'ampiezza del lobo principale



Lezione 4 – Parametri fondamentali delle antenne (parte I)

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

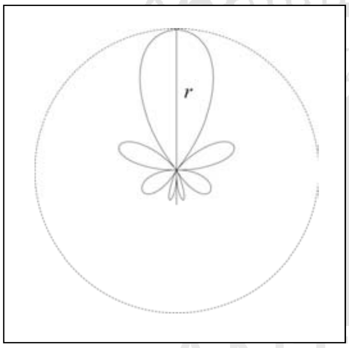
LEZIONE 4

PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE ANTENNE

- Diagrammi di radiazione
- **Direttività e guadagno**
- Circuiti equivalenti e impedenza d'ingresso

DIRETTIVITÀ

$$D(\vartheta,\phi)=\frac{\begin{array}{c}\text{potenza radiata da un'antenna isotropa per}\\ \text{creare un campo di modulo } |\mathbf{E}| \text{ in un punto } \mathbf{P}(r,\vartheta,\varphi)\end{array}}{\begin{array}{c}\text{potenza necessaria all'antenna presa in considerazione}\\ \text{per ottenere il campo } |\mathbf{E}| \text{ nel punto } \mathbf{P}(r,\vartheta,\varphi)\end{array}}$$



$$D(\vartheta,\phi)=\lim_{r\to\infty}\frac{4\pi\, r^2\,\frac{1}{2}\frac{|\mathbf{E}|^2}{\zeta}}{P_r}$$

$P_r \rightarrow$ potenza radiata dall'antenna

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

DIPOLO ELETTRICO CORTO (dec)

Potenza radiata

$$\mathbf{E}^{(e)}=E_\vartheta^{(e)}\,\hat{\vartheta}=jk\zeta\frac{I\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\,\hat{\vartheta} \qquad \left|\mathbf{E}^e\right|=\left|E_\vartheta^e\right|=\left|jk\zeta\frac{I\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta\, e^{-jkr}\right|=k\zeta\frac{|I|\,\Delta z}{4\pi r}\sin\vartheta$$

$$P_r^{(e)}=\Re\left\{\iint_S\frac{1}{2}\left(\mathbf{E}^{(e)}\times\mathbf{H}^{(e)*}\right)\cdot\hat{r}\,dS\right\}=\iint_S\frac{1}{2\zeta}\left|\mathbf{E}^{(e)}\right|^2 dS=\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\frac{1}{2\zeta}k^2\zeta^2\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{(4\pi)^2\,r^2}\sin^2\vartheta\, r^2\sin\vartheta\, d\vartheta\, d\phi=$$

$$=\frac{1}{2}k^2\zeta\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{(4\pi)^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\sin^3\vartheta\, d\vartheta\, d\phi=\frac{1}{2}k^2\zeta\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{(4\pi)^2}2\pi\int_0^{\pi}\sin^3\vartheta\, d\vartheta=\frac{1}{2}k^2\zeta\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{(4\pi)^2}2\pi\frac{4}{3}=\frac{1}{3}k^2\zeta\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{4\pi}$$

$$\boxed{P_r^{(e)}=\frac{1}{3}k^2\zeta\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{4\pi}}$$

$$P_r^{(e)}=\frac{1}{3}k^2\zeta\frac{|I|^2\,\Delta z^2}{4\pi}=\frac{1}{2}R_r^{(e)}|I|^2 \quad\Rightarrow\quad \boxed{R_r^{(e)}=\frac{2}{3}k^2\zeta\frac{\Delta z^2}{4\pi}}$$

resistenza di radiazione

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

DIPOLO ELETTRICO CORTO (dec)

Direttività

$$D^{(e)} = \lim_{r\to\infty} \frac{4\pi r^2 \frac{1}{2}\frac{\left|\mathbf{E}^{(e)}\right|^2}{\zeta}}{P_r^{(e)}} = \frac{4\pi \frac{1}{2\zeta} k^2\zeta^2 \frac{|I|^2 \Delta z^2}{(4\pi)^2}\sin^2\vartheta}{\frac{1}{3}k^2\zeta\frac{|I|^2\Delta z^2}{4\pi}} = \frac{3}{2}\sin^2\vartheta$$

$$\boxed{D^{(e)} = \frac{3}{2}\sin^2\vartheta} \Longrightarrow \boxed{D^{(e)}_{\max} = \frac{3}{2}}$$

direttività massima

$$D^{(e)}_{\max}(dB) = 10\log_{10}\left(\frac{3}{2}\right) = 1.76\ \mathrm{dB}$$

DIPOLO MAGNETICO CORTO (dmc)

Si utilizza il principio di dualità di Babinet

Potenza radiata

$$P_r^{(e)} = \frac{1}{3}k^2\zeta\frac{|I|^2\Delta z^2}{4\pi} = \frac{1}{2}R_r^{(e)}|I|^2 \Longrightarrow \boxed{P_r^{(m)} = \frac{1}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\Delta z^2}{4\pi}}$$

Resistenza di radiazione

$$R_r^{(e)} = \frac{2}{3}k^2\zeta\frac{\Delta z^2}{4\pi} \Longrightarrow \boxed{R_r^{(m)} = \frac{2}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{\Delta z^2}{4\pi}}$$

Direttività

$$D^{(e)} = \frac{3}{2}\sin^2\vartheta \quad D^{(e)}_{\max} = \frac{3}{2} \Longrightarrow \boxed{D^{(m)} = \frac{3}{2}\sin^2\vartheta \quad D^{(m)}_{\max} = \frac{3}{2} = 1.76\ \mathrm{dB}}$$

ANTENNA A LOOP (a spira o a telaio)

dmc equivalente: $I_m \Delta z = j\omega\mu\, \Delta s\, I_s$, con $\Delta s = \pi R^2$

Potenza radiata

$$P_r^{(m)} = \frac{1}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\, \Delta z^2}{4\pi} \quad \Rightarrow \quad \boxed{P_r^{(s)} = \frac{1}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{\omega^2\mu^2|I_s|^2\,\Delta s^2}{4\pi}}$$

Resistenza di radiazione

$$R_r^{(m)} = \frac{2}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{\Delta z^2}{4\pi} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_r^{(s)} = \frac{2}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{\omega^2\mu^2\,\Delta s^2}{4\pi}}$$

Direttività

$$D^{(m)} = \frac{3}{2}\sin^2\vartheta \qquad D^{(m)}_{\max} = \frac{3}{2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{D^{(s)} = \frac{3}{2}\sin^2\vartheta \qquad D^{(s)}_{\max} = \frac{3}{2} = 1.76\ \text{dB}}$$

SORGENTE DI HUYGENS

$$\mathbf{E}^{(H)}(\mathbf{r}) = jk\frac{I_m\,\Delta l}{4\pi}\frac{e^{-jkr}}{r}(1+\cos\vartheta)\left(\sin\phi\,\hat{\vartheta} + \cos\phi\,\hat{\phi}\right)$$

$$\left|\mathbf{E}^{(H)}\right| = \sqrt{\left|E_\vartheta^{(H)}\right|^2 + \left|E_\phi^{(H)}\right|^2} = k\frac{|I_m|\Delta l}{4\pi\, r}(1+\cos\vartheta)$$

$$P_r^{(H)} = \Re\left\{\iint_S \frac{1}{2}\left(\mathbf{E}^{(H)}\times\mathbf{H}^{(H)*}\right)\cdot\hat{r}\, dS\right\} = \iint_S \frac{1}{2\zeta}\left|\mathbf{E}^{(H)}\right|^2 dS = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\frac{1}{2\zeta}k^2\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{(4\pi)^2\, r^2}(1+\cos\vartheta)^2\, r^2\sin\vartheta\, d\vartheta\, d\phi =$$

$$= \frac{1}{2\zeta}k^2\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{(4\pi)^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}(1+\cos\vartheta)^2\sin\vartheta\, d\vartheta\, d\phi = \frac{1}{2\zeta}k^2\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{(4\pi)^2}2\pi\int_0^{\pi}(1+\cos\vartheta)^2\sin\vartheta\, d\vartheta =$$

$$= \frac{1}{2\zeta}k^2\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{(4\pi)^2}2\pi\frac{8}{3} = \frac{1}{6}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{\pi} \qquad \boxed{P_r^{(H)} = \frac{1}{6}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{\pi}}$$

$$P_r^{(H)} = \frac{1}{6}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\,\Delta l^2}{\pi} = \frac{1}{2}R_r^{(H)}|I_m|^2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{R^{(H)} = \frac{1}{3}\frac{k^2}{\zeta}\frac{\Delta l^2}{\pi}}$$

resistenza di radiazione

SORGENTE DI HUYGENS

$$\left|\mathbf{E}^{(H)}\right| = k\frac{|I_m|\Delta l}{4\pi r}(1+\cos\vartheta) \qquad P_r^{(H)} = \frac{1}{6}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\Delta l^2}{\pi}$$

Direttività

$$D^{(H)} = \lim_{r\to\infty}\frac{4\pi r^2\left|\mathbf{E}^{(H)}\right|^2}{P_r^{(H)}} = \frac{4\pi r^2 k^2\frac{|I_m|^2\Delta l^2}{(4\pi r)^2}(1+\cos\vartheta)^2}{\frac{1}{6}\frac{k^2}{\zeta}\frac{|I_m|^2\Delta l^2}{\pi}} = \frac{3}{4}(1+\cos\vartheta)^2$$

$$D^{(H)} = \frac{3}{4}(1+\cos\vartheta)^2 \quad \Rightarrow \quad D_{\max}^{(H)} = 3 = 4.77\ \text{dB}$$

direttività massima

GUADAGNO

Se nella definizione di direttività D si sostituisce a P_r (potenza radiata), P_{in} (potenza fornita) si parla di guadagno.

Per un'antenna reale il guadagno in una direzione generica è minore della direttività, poiché una porzione della potenza fornita in ingresso viene persa (assorbita dall'antenna o dalle strutture che si trovano nelle sue immediate vicinanze) non compare come potenza radiata.

Antenna priva di perdite $\Rightarrow$ $G = D$

Antenna con perdite $\Rightarrow$ $G < D$

Spesso nella pratica si intende come guadagno (o direttività) di un'antenna il valore G_M (o D_M) che la funzione G (o D) assume nella direzione di massima radiazione.

Sia la direttività che il guadagno sono a volte espresse in dB (decibel)

$$G_{dB} = 10\log_{10} G \qquad D_{dB} = 10\log_{10} D$$