

LEZIONE 13

ANTENNE A TROMBA

Giuseppe Pelosi

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

Università di Firenze

E-mail: giuseppe.pelosi@unifi.it

URL: <http://ingfi9.det.unifi.it/>

1/18



ANTENNE A HORN RETTANGOLARI

Tipologie di base di antenna a tromba (*horn*)

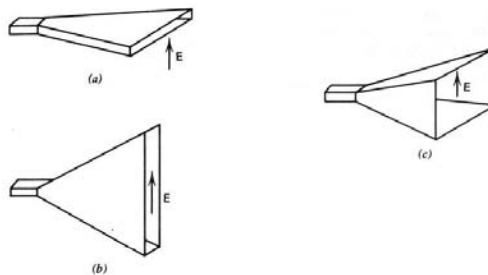


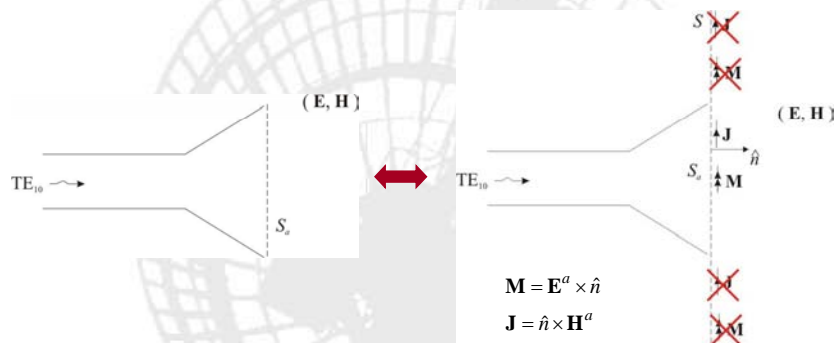
Figure 8-9 Rectangular horn antennas. (a) *H*-plane sectoral horn. (b) *E*-plane sectoral horn. (c) Pyramidal horn.

L'alimentazione è costituita da una guida d'onda rettangolare la cui parete più larga è orientata in orizzontale

2/18



ANTENNE A HORN RETTANGOLARI Approssimazione di Kirchhoff



Nell'approssimazione di Kirchhoff il campo sull'apertura è un'espansione del campo associato al modo fondamentale TE_{10} che si propaga nella guida di alimentazione



HORN SETTORIALI NEL PIANO H

$$l_H^2 = R_1^2 + \left(\frac{A}{2}\right)^2$$

$$\alpha_H = \tan^{-1}\left(\frac{A}{2R_1}\right)$$

$$R_H = (A - a)\sqrt{\left(\frac{l_H}{A}\right)^2} - \frac{1}{4}$$

Campo elettrico associato al modo fondamentale TE_{10}

$$\begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = E_0 \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta_g z} \\ E_z = 0 \end{cases}$$

$\beta_g \rightarrow$ costante di fase in guida

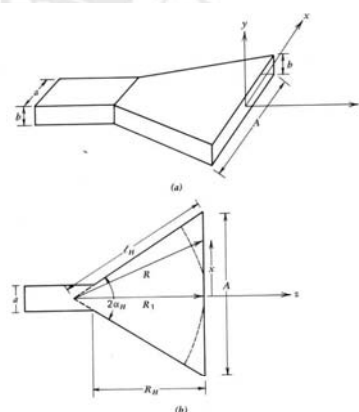


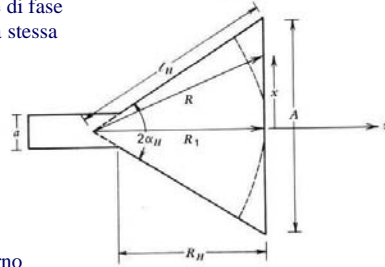
Figure 8-10 *H*-plane sectoral horn antenna. (a) Overall geometry. (b) Cross section through the *xz*-plane (*H*-plane).





HORN SETTORIALI NEL PIANO H – Campo sull'apertura

Poiché il percorso R aumenta man mano che ci si allontana dal centro dell'apertura si ha una distribuzione di fase variabile dal centro verso i bordi dell'apertura stessa



si fa l'ipotesi che il campo si propaghi all'interno dell'horn con la costante di fase dello spazio libero, β

$$e^{-j\beta(R-R_1)} \rightarrow \text{variazione di fase in direzione } x$$

la fase sull'apertura è uniforme in direzione y

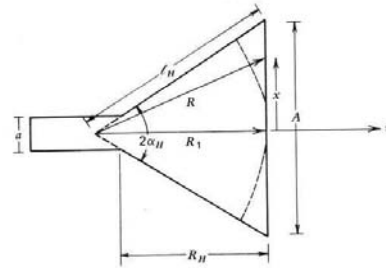
5/18



HORN SETTORIALI NEL PIANO H – Campo sull'apertura

il campo sull'apertura è un'espansione del campo che si propaga in guida

$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j\beta(R-R_1)}$$



$$R = \sqrt{R_1^2 + x^2} = R_1 \left[1 + \left(\frac{x}{R_1} \right)^2 \right]^{1/2} \approx R_1 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{R_1} \right)^2 \right] \quad \text{per } x \ll R_1 \quad (A/2 \ll R_1)$$

$$R - R_1 \approx \frac{1}{2} \frac{x^2}{R_1}$$

$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j\beta \frac{x^2}{2R_1}}$$

6/18



HORN SETTORIALI NEL PIANO H – Campo radiato

$$P_x = \iint_{S_a} E_{ax}(x', y') e^{j\beta(x' \sin \vartheta \cos \phi + y' \sin \vartheta \sin \phi)} dx' dy'$$

$$P_y = \iint_{S_a} E_{ay}(x', y') e^{j\beta(x' \sin \vartheta \cos \phi + y' \sin \vartheta \sin \phi)} dx' dy'$$

$$P_x = 0$$

$$P_y = E_0 \int_{-A/2}^{A/2} \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j \frac{\beta}{2R_1} x^2} e^{j\beta x' \sin \vartheta \cos \phi} dx' \int_{-b/2}^{b/2} e^{j\beta y' \sin \vartheta \sin \phi} dy'$$

utilizzando le relazioni nella versione con sole correnti magnetiche

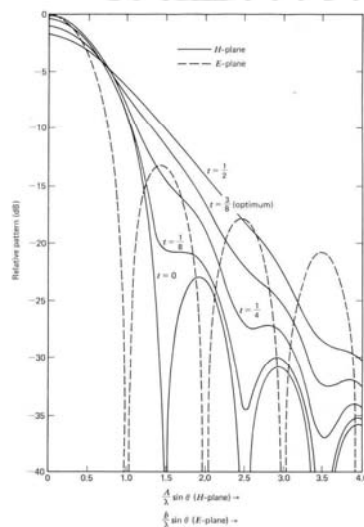
$$E_\vartheta = jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} P_y \sin \phi$$

$$E_\phi = jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \cos \vartheta P_y \cos \phi$$

7/18



HORN SETTORIALI NEL PIANO H – Diagrammi di radiazione



$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j\beta \frac{x^2}{2R_1}}$$

sfasamento in lunghezze d'onda

$$t = \frac{1}{2\pi} \frac{\beta x^2}{2R_1} = \frac{x^2}{2\lambda R_1}$$

$$t_{\max}(x = A/2) = \frac{A^2}{8\lambda R_1}$$

$$t_{\text{opt}} = \frac{3}{8}$$

diagrammi universali di radiazione per i piani principali di un *horn* settoriale nel piano H

8/18



HORN SETTORIALI NEL PIANO H - Direttività

In corrispondenza di ciascun R_l esiste un valore ottimo di A per cui la direttività è massima

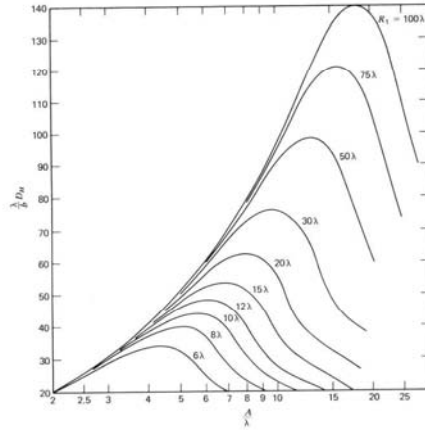


Figure 8-12 Universal directivity curves for an H -plane sectoral horn. For pyramidal horns the vertical axis values are $(\lambda/B)D_0$.

$$A_{(ottimo)} = \sqrt{3\lambda R_l}$$

aumentando il valore di A oltre il valore di ottimo le variazioni di fase sull'apertura sono tali da dar luogo a effetti di cancellazione in campo lontano

9/18



HORN SETTORIALI NEL PIANO E

$$l_E^2 = R_2^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2$$

$$\alpha_E = \tan^{-1}\left(\frac{B}{2R_2}\right)$$

$$R_E = (B-b)\sqrt{\left(\frac{l_E}{B}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

il campo sull'apertura è un'espansione del campo che si propaga in guida

$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta \frac{y^2}{2R_2}}$$

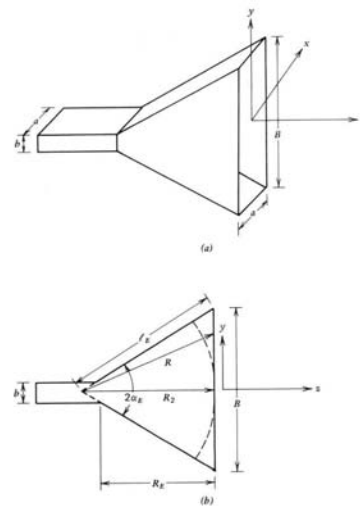


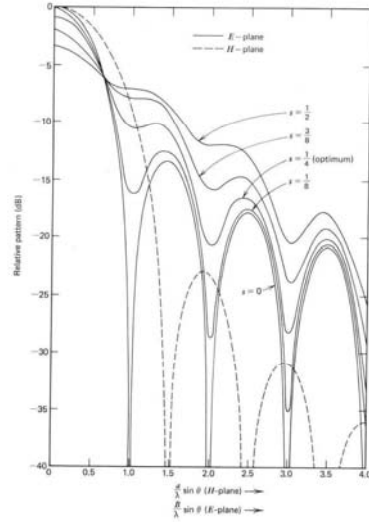
Figure 8-13 E -plane sectoral horn antenna. (a) Overall geometry. (b) Cross section through the yz -plane (E -plane).

10/18





HORN SETTORIALI NEL PIANO E – Diagrammi di radiazione



$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta \frac{y^2}{2R_2}}$$

sfasamento in lunghezze d'onda

$$s = \frac{1}{2\pi} \frac{\beta y^2}{2R_2} = \frac{y^2}{2\lambda R_2}$$

$$s_{\max}(y = B/2) = \frac{B^2}{8\lambda R_2}$$

$$s_{\text{opt}} = \frac{1}{4}$$

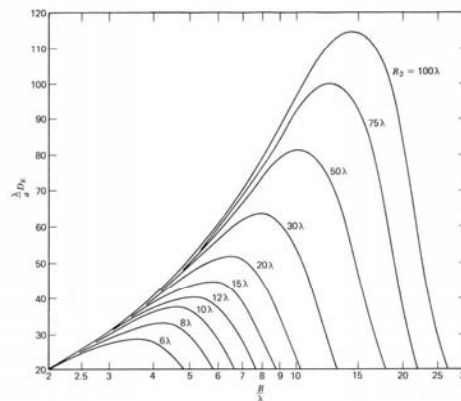
diagrammi universali di radiazione per i piani principali di un *horn* settoriale nel piano E

11/18



HORN SETTORIALI NEL PIANO E - Direttività

In corrispondenza di ciascun R_2 esiste un valore ottimo di B per cui la direttività è massima



$$B_{\text{ottimo}} = \sqrt{2\lambda R_2}$$

Figure 8-15 Universal directivity curves for an E-plane sectoral horn. For pyramidal horns the vertical axis values are $(\lambda/A)D_2$.

12/18





HORN PIRAMIDALI

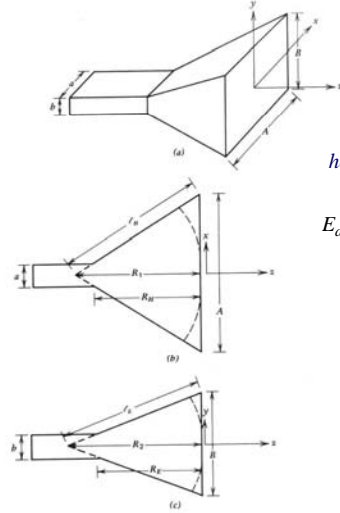


Figure 8-16 Pyramidal horn antenna. (a) Overall geometry. (b) Cross section through the xz -plane (H -plane). (c) Cross section through the yz -plane (E -plane).

horn settoriale nel piano H

$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j\beta \frac{x^2}{2R_1}}$$

horn settoriale nel piano E

$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta \frac{y^2}{2R_2}}$$



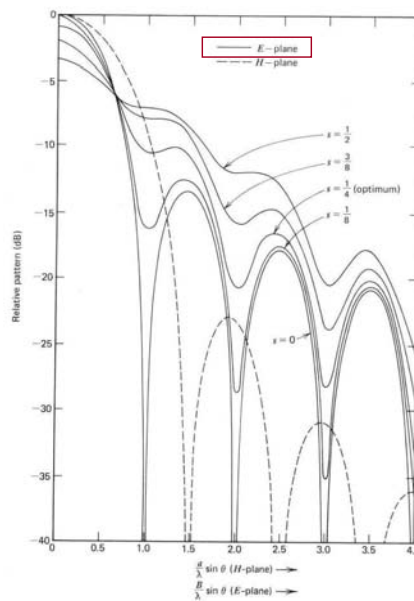
$$E_{ay} = E_0 \cos \frac{\pi x}{A} e^{-j\beta \left(\frac{x^2}{2R_1} + \frac{y^2}{2R_2} \right)}$$

distribuzione di campo elettrico sull'apertura di un horn piramidale

13/18



HORN PIRAMIDALI – Diagramma di radiazione sul piano E



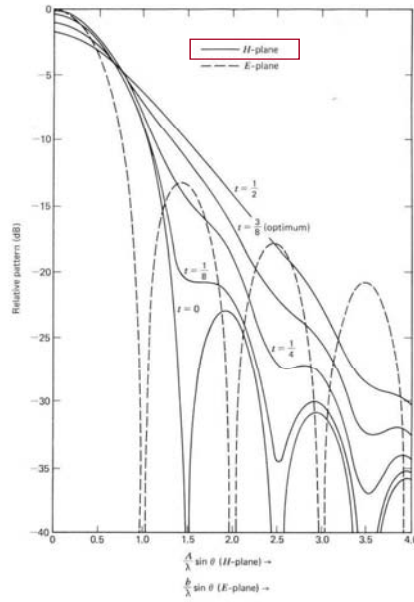
Il diagramma di radiazione sul piano E di un horn piramidale coincide col diagramma di radiazione sul piano E di un horn settoriale sul piano E

14/18





HORN PIRAMIDALI – Diagramma di radiazione sul piano H



Il diagramma di radiazione sul piano H di un *horn* piramidale coincide col diagramma di radiazione sul piano H di un *horn* settoriale sul piano H

15/18



HORN PIRAMIDALI - Direttività

$$D_p = \frac{\pi}{32} \left(\frac{\lambda}{A} D_E \right) \left(\frac{\lambda}{B} D_H \right)$$

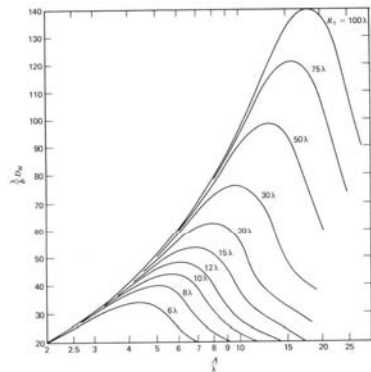


Figure 8-12 Universal directivity curves for an H-plane sectoral horn. For pyramidal horns the vertical axis values are $(\lambda/B)D_H$.

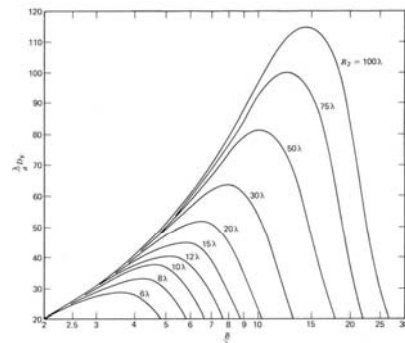


Figure 8-15 Universal directivity curves for an E-plane sectoral horn. For pyramidal horns the vertical axis values are $(\lambda/A)D_E$.

$$A_{(ottimo)} = \sqrt{3\lambda R_1}$$

$$B_{(ottimo)} = \sqrt{2\lambda R_2}$$

16/18



**HORN PIRAMIDALI – Procedura di progetto**condizione per la fisica realizzabilità: $R_E = R_H = R_p$

$$R_E = (B - b) \sqrt{\left(\frac{l_E}{B}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

$$R_H = (A - a) \sqrt{\left(\frac{l_H}{A}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

$$A_{(ottimo)} = \sqrt{3\lambda R_1}$$

per horn grandi: $R_1 \approx l_H$, $R_2 \approx l_E$

$$A_{(ottimo)} \approx \sqrt{3\lambda l_H}$$

$$B_{(ottimo)} = \sqrt{2\lambda R_2}$$

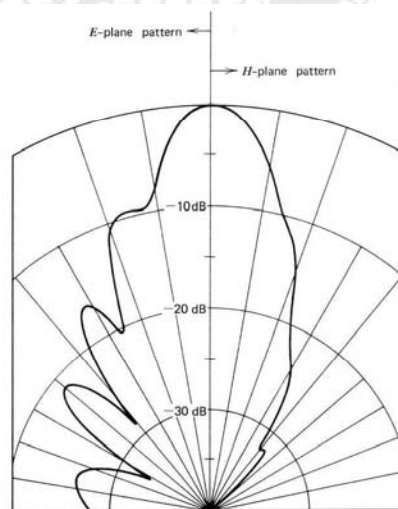
$$B_{(ottimo)} = \sqrt{2\lambda l_E}$$

 $G \rightarrow$ guadagno desiderato (specifica)tipicamente $G = 0.5 \frac{4\pi}{\lambda^2} (AB)$ (efficienza di apertura pari al 50%)

$$\left[\sqrt{2\sigma} - \frac{b}{\lambda} \right]^2 (2\sigma - 1) = \left(\frac{G}{2\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{\sigma}} - \frac{a}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{G^2}{18\pi^2} \frac{1}{\sigma} - 1 \right) ; \quad \sigma = \frac{l_E}{\lambda}$$

risolvendo mediante una procedura per tentativi (*trial and error*) si trova il valore di l_E

17/18

**HORN PIRAMIDALI – Diagrammi di radiazione**

diagrammi di radiazione per un horn piramidale ottimo operante a 9.3 GHz

18/18

