

Università degli studi di Pavia
Facoltà di Medicina

Corso di Laurea Triennale per

Tecnico della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro

Insegnamento di ***Campi Elettromagnetici***
(*Prof. Luca Perregrini*)

Concetti elementari su
propagazione, radiazione e antenne

Argomenti della lezione

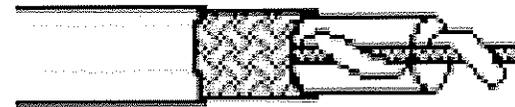
- Propagazione guidata dell'energia elettromagnetica
- Propagazione radiata dell'energia elettromagnetica
- Cenni sulle antenne

Propagazione guidata

L'energia elettromagnetica può essere trasferita fra due punti fissi attraverso diversi mezzi trasmissivi che "guidano" l'onda elettromagnetica.

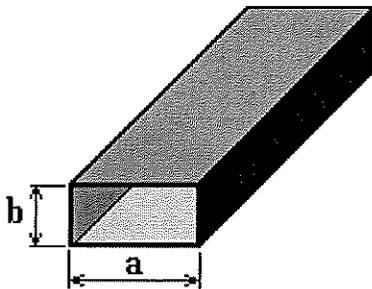


doppino
(frequenza < 10 MHz)

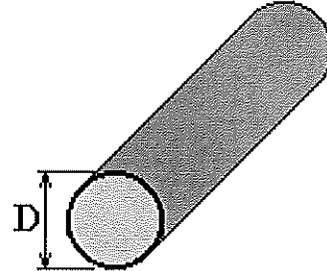


cavo coassiale
(frequenza < 30 GHz)

GUIDA D'ONDA RETTANGOLARE



GUIDA D'ONDA CIRCOLARE



Guide d'onda metalliche
(frequenze tra 1 GHz e 1 THz)



fibra ottica
(frequenze ottiche)

Propagazione guidata

L'ampiezza del campo elettromagnetico varia con la distanza secondo la legge:

$$|\vec{E}(z+d)| = |\vec{E}(z)| e^{-\alpha d}$$
$$|\vec{B}(z+d)| = |\vec{B}(z)| e^{-\alpha d}$$

La potenza varia con la distanza secondo la legge:

$$P(z+d) = P(z) e^{-2\alpha d}$$

Propagazione guidata

Esempio: $\alpha = 0$

$$P(z + d) = P(z)e^{-2\alpha d} = P(z)e^{-0} = P(z)$$

La potenza non diminuisce. Si parla di mezzo ideale (senza perdite)

Esempio: $\alpha = 0.0001 \text{ m}^{-1}$, $d = 100 \text{ m}$

$$P(z + d) = P(z)e^{-2\alpha d} = P(z)e^{-2} \approx 0.98 P(z)$$

Esempio: $\alpha = 0.015 \text{ m}^{-1}$, $d = 100 \text{ m}$

$$P(z + d) = P(z)e^{-2\alpha d} = P(z)e^{-2} \approx 0.05 P(z) = \frac{P(z)}{20}$$

Sistemi a filo

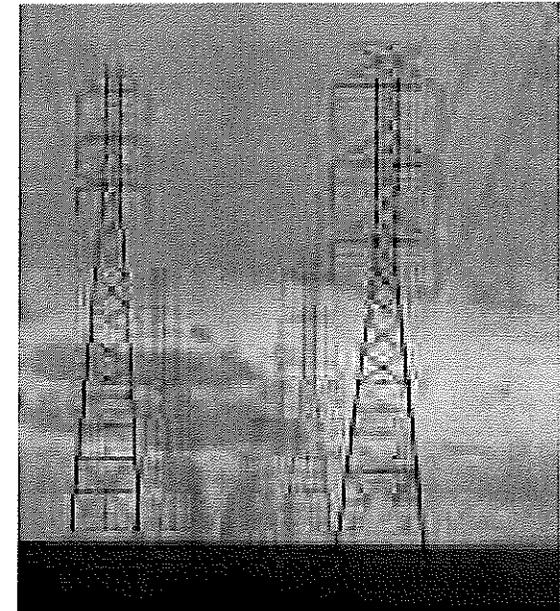
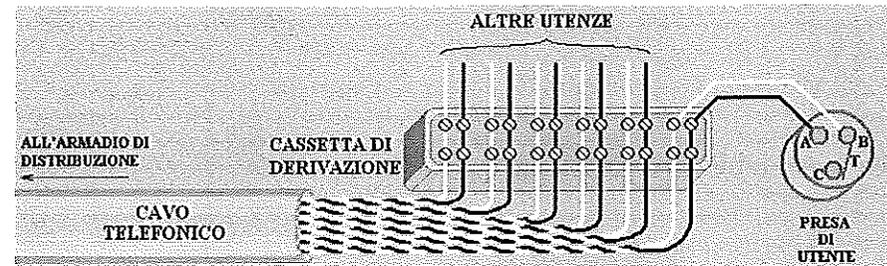
Le linee costituite da fili vengono comunemente impiegate per trasmettere l'energia elettrica e i segnali a bassa frequenza (per es. i segnali telefonici).

Vantaggi:

- + Semplicità costruttiva
- + Possibilità di trasmettere alte potenze

Svantaggi:

- Il campo elettromagnetico si estende intorno ai fili fino a distanze non trascurabili
- Possibili interferenze da/per altri sistemi posti nelle vicinanze
- Bande molto limitate (pochissima informazione)



Sistemi a cavo coassiale

I cavi coassiali vengono comunemente impiegate per trasmettere segnali a media frequenza (per es. TV, rete internet fra computer).

Vantaggi:

- + Il segnale risulta isolato dal mondo esterno
- + Assenza di interferenze da/per altri sistemi posti nelle vicinanze

Svantaggi:

- Maggiore complessità costruttiva
- Rischio di scariche elettriche per alte potenze
- Maggiore dissipazione di potenza
- Bande limitate (poca informazione)



Sistemi a guida d'onda

Le guide d'onda vengono comunemente impiegate nei sistemi a microonde (per es. ponti radio, radar, acceleratori di particelle, sistemi satellitari, riscaldamento a microonde).

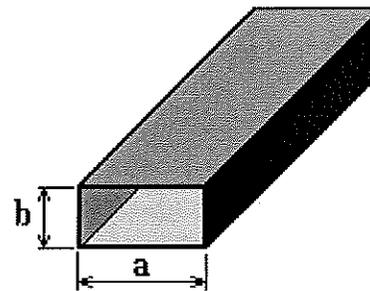
Vantaggi:

- + Il segnale risulta isolato dal mondo esterno
- + Assenza di interferenze da/per altri sistemi posti nelle vicinanze
- + Alte potenze
- + Semplicità costruttiva
- + Bande larghe (molta informazione)

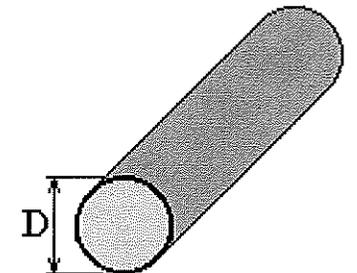
Svantaggi:

- Ingombro e scarsa flessibilità
- Distorsione dei segnali

GUIDA D'ONDA RETTANGOLARE



GUIDA D'ONDA CIRCOLARE



Sistemi in fibra ottica

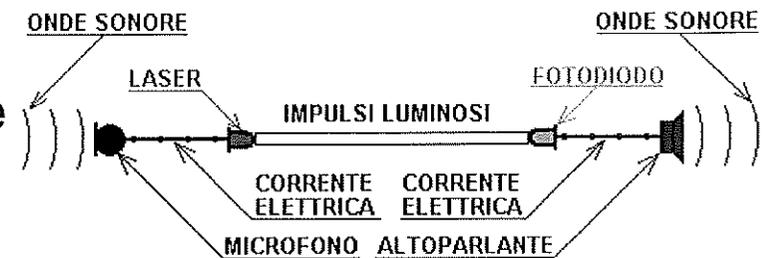
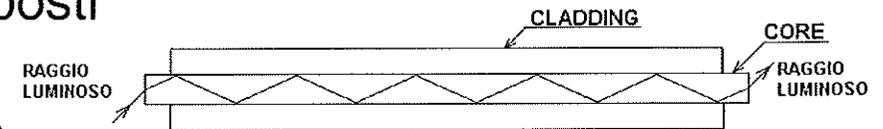
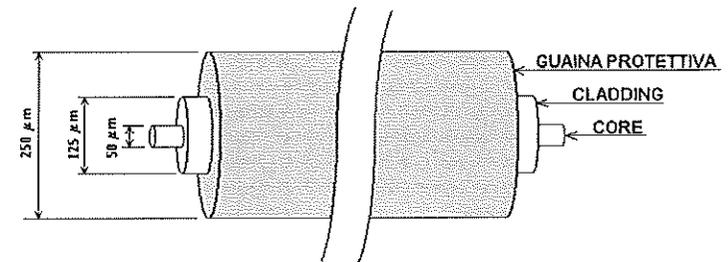
Le fibre ottiche guide d'onda vengono comunemente impiegate nei sistemi per telecomunicazioni (per es. collegamenti fra centrali telefoniche, sistemi multimediali).

Vantaggi:

- + Il segnale risulta isolato dal mondo esterno
- + Assenza di interferenze da/per altri sistemi posti nelle vicinanze
- + Bassa attenuazione (distanze considerevoli)
- + Bande larghissime (moltissima informazione)

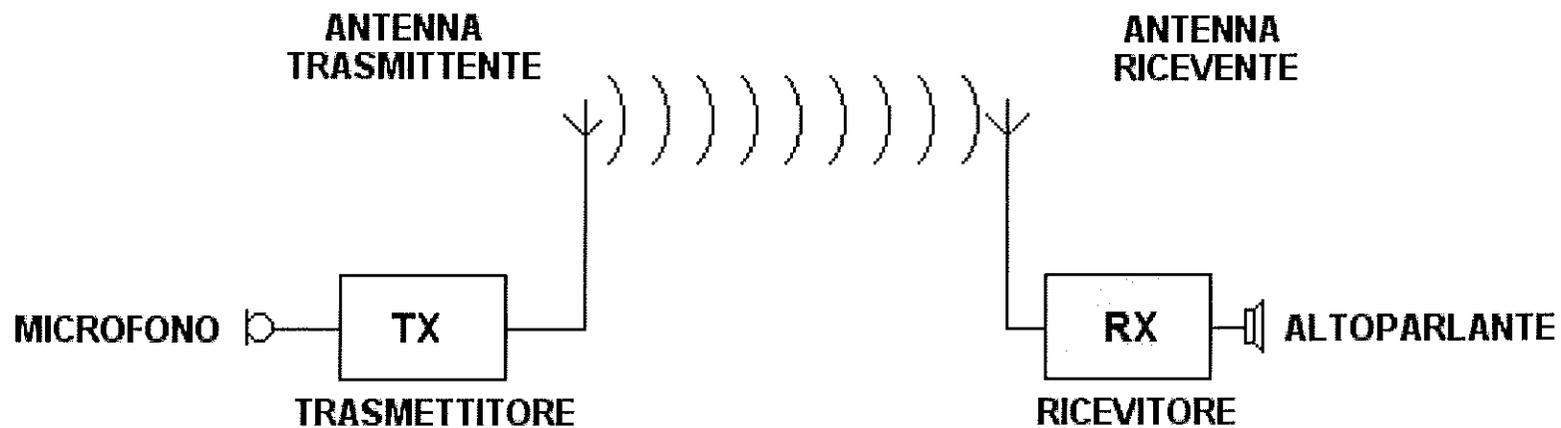
Svantaggi:

- Costi di produzione e complessità d'installazione
- Mancanza di componenti tutto-ottico (necessità di circuiti elettronici complessi)



Propagazione radiata

L'energia elettromagnetica può essere trasferita fra due punti anche attraverso onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio.



Propagazione radiata

La potenza varia con la distanza secondo la legge:

$$P(r) = C \frac{e^{-2\alpha r}}{r^2}$$

Considerando due punti che distano r_1 ed r_2 lungo la stessa direzione radiale si ha:

$$P(r_1) = C \frac{e^{-2\alpha r_1}}{r_1^2} \qquad P(r_2) = C \frac{e^{-2\alpha r_2}}{r_2^2}$$

da cui:

$$\frac{P(r_2)}{P(r_1)} = \frac{C e^{-2\alpha r_2}}{r_2^2} \bigg/ \frac{C e^{-2\alpha r_1}}{r_1^2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \frac{e^{-2\alpha r_2}}{e^{-2\alpha r_1}} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 e^{-2\alpha(r_2 - r_1)}$$

Propagazione radiata

Esempio: $\alpha = 0$, $r_1 = 1$ m, $r_2 = 2$ m

$$\frac{P(r_2)}{P(r_1)} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 e^{-2\alpha(r_2-r_1)} = \frac{1}{4}$$

Anche in un mezzo ideale (senza perdite) la potenza diminuisce con la distanza (raddoppiando la distanza la potenza diventa $\frac{1}{4}$).

Esempio: $\alpha = 0$, $r_1 = 1$ m, $r_2 = 100$ m

$$\frac{P(r_2)}{P(r_1)} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 e^{-2\alpha(r_2-r_1)} = \frac{1}{10000}$$

Propagazione radiata

Benché la diminuzione della potenza nel collegamento fra due punti sia decisamente superiore a quella dei sistemi guidati, in certe situazioni la propagazione radiata è conveniente o, addirittura, insostituibile:

- collegamento fra due punti mobili (ricetrasmittenti)
- collegamento fra un punto fisso e uno mobile (telefoni cellulari)
- collegamenti satellitari
- sistemi radar
- radio/tele diffusione (da uno a più punti fissi)
- collegamenti in zone impervie o desertiche

Antenne

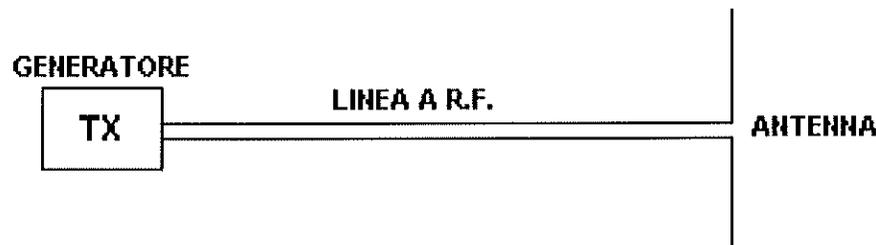
Le antenne sono dispositivi in grado di convertire un segnale elettrico in onde elettromagnetiche ed irradiarle nello spazio circostante o viceversa.

Le antenne possono essere trasmettenti o riceventi a seconda dell'uso cui sono destinate, oppure possono svolgere tutti e due le funzioni anche contemporaneamente.

Le antenne sono dunque impiegate nei trasmettitori e nei ricevitori radioamatoriali, televisivi, radiofonici, nei cellulari, nei ponti radio, nei satelliti artificiali, nei radiocomandi, ecc.

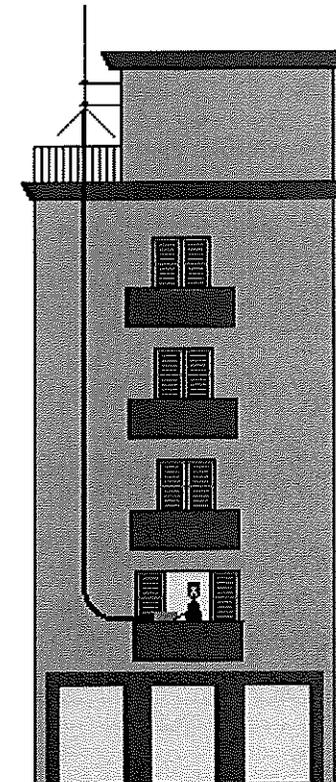
Antenne

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



Il generatore produce un segnale elettrico contenente l'informazione da trasmettere. La linea elettrica trasporta il segnale dal luogo dove questo è prodotto, all'antenna trasmittente per essere inviato sotto forma di onde elettromagnetiche al destinatario dell'informazione.

Per un efficiente funzionamento, le antenne hanno tipicamente dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda o maggiori.

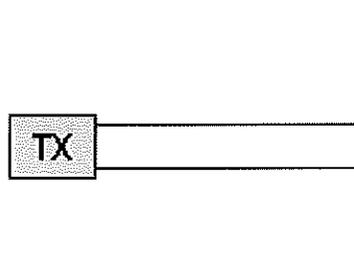


Antenne

Quando perviene sull'antenna, il segnale, si trasforma in energia elettromagnetica.

Infatti, in base alle equazioni di Maxwell, la variazione nel tempo (tipicamente sinusoidale) della corrente sull'antenna determina una perturbazione del campo elettrico e del campo magnetico, dando così luogo a un'onda elettromagnetica.

Le linee di forza del campo elettrico (in blu) e del campo magnetico (in rosso) sono tra loro perpendicolari.



Caratteristiche delle antenne

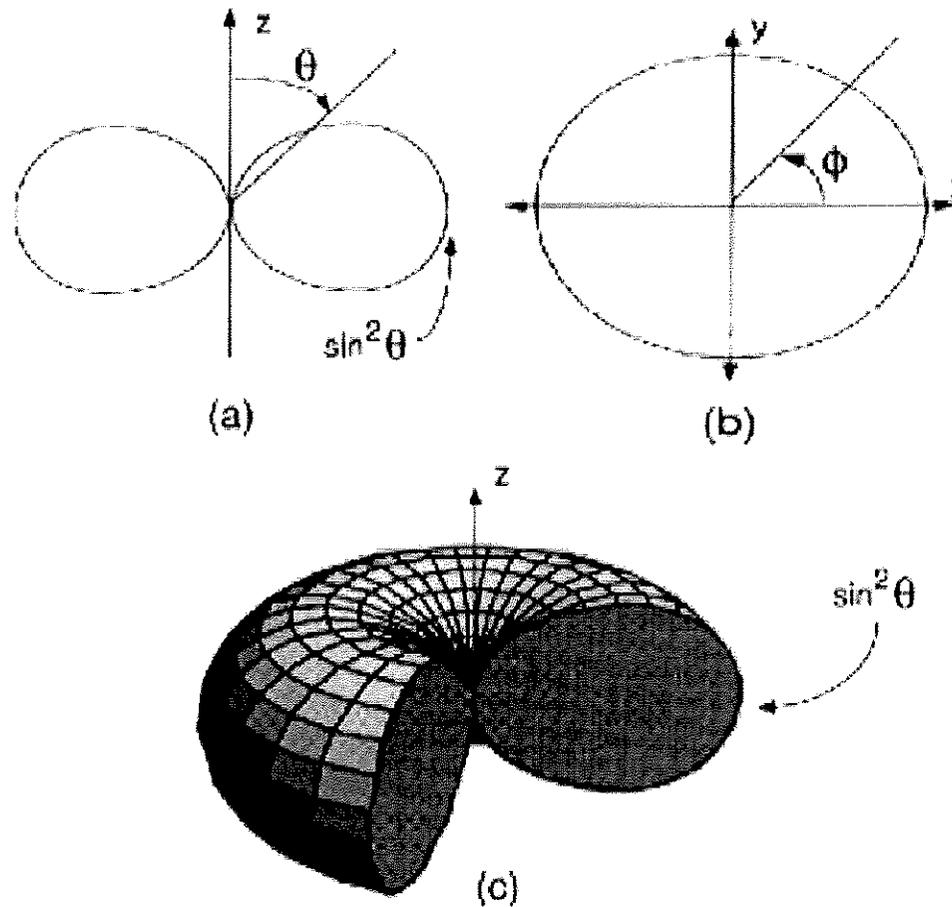
Il diagramma di radiazione indica l'intensità di potenza che viene irradiata nelle varie direzioni dall'antenna in esame.

Il guadagno è il rapporto fra l'intensità di potenza nella direzione di massima radiazione e quella che si avrebbe (a parità di potenza in ingresso all'antenna) utilizzando un'antenna isotropica¹.

¹ L'antenna isotropica ha la caratteristica di irradiare in ogni direzione con la stessa intensità. Si tratta di una struttura ideale.

Caratteristiche delle antenne

Esempi di diagramma di radiazione

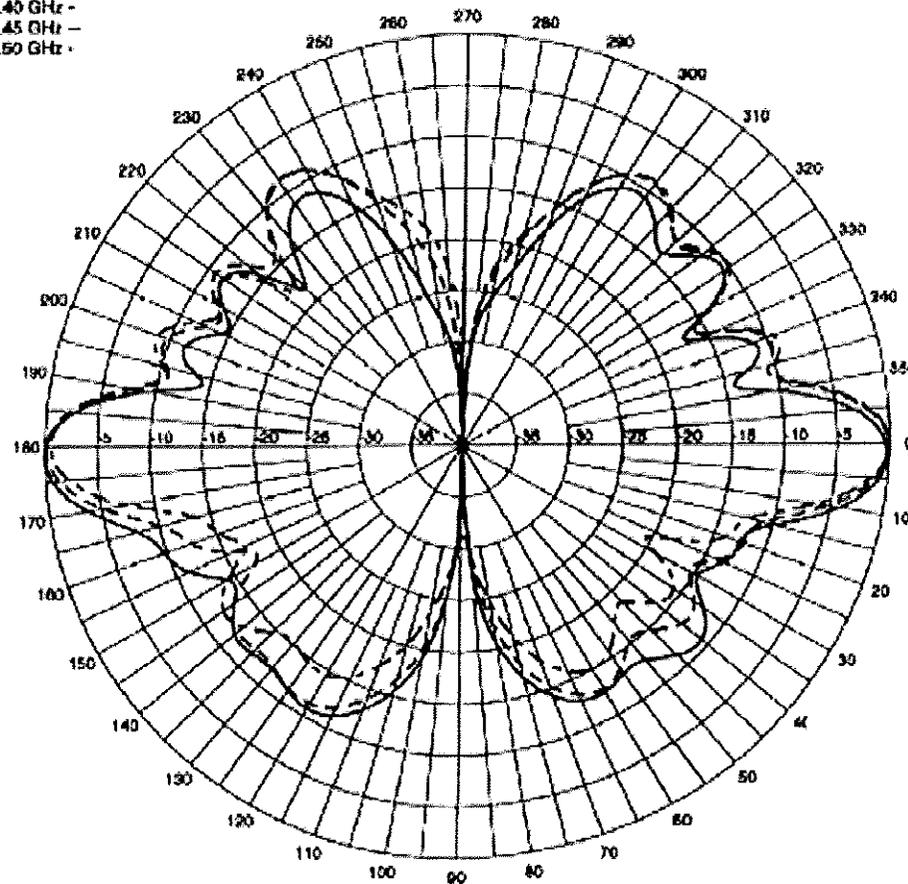


Caratteristiche delle antenne

Esempi di diagramma di radiazione

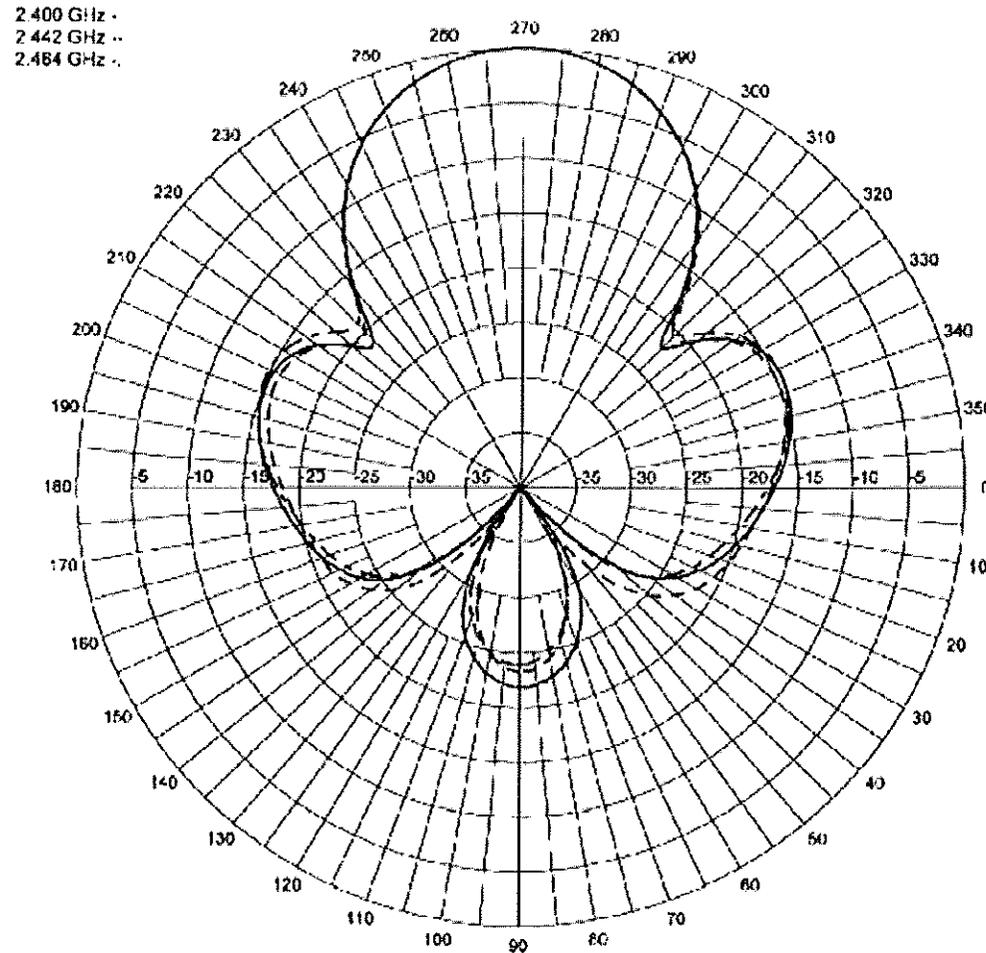
MFB-24008 Elevation Plane Cut

2.40 GHz -
2.45 GHz -
2.50 GHz -



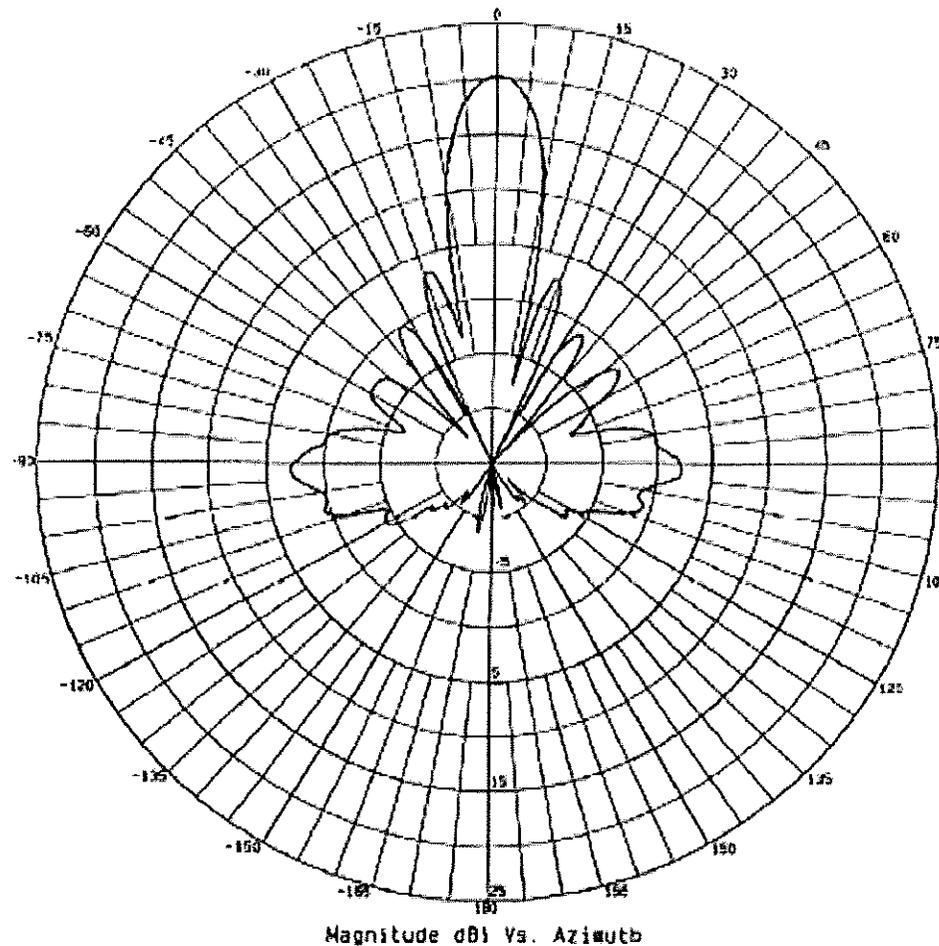
Caratteristiche delle antenne

Esempi di diagramma di radiazione



Caratteristiche delle antenne

Esempi di diagramma di radiazione



Tipi di antenne e loro utilizzo

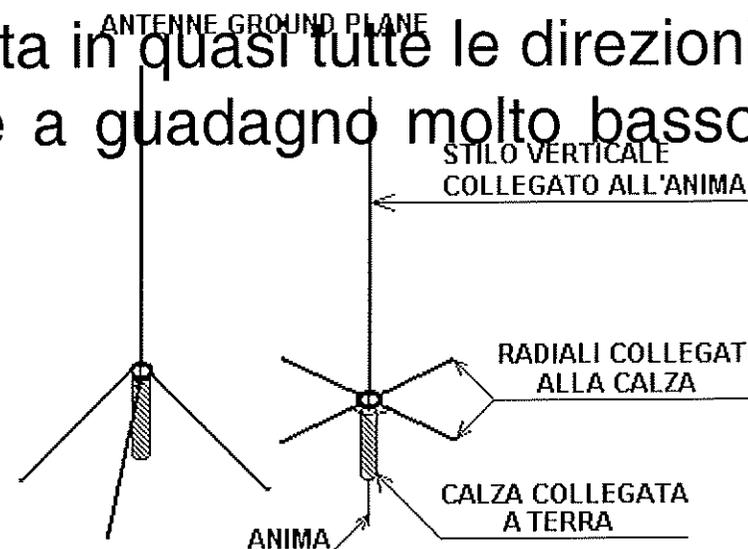


Tipi di antenne e loro utilizzo

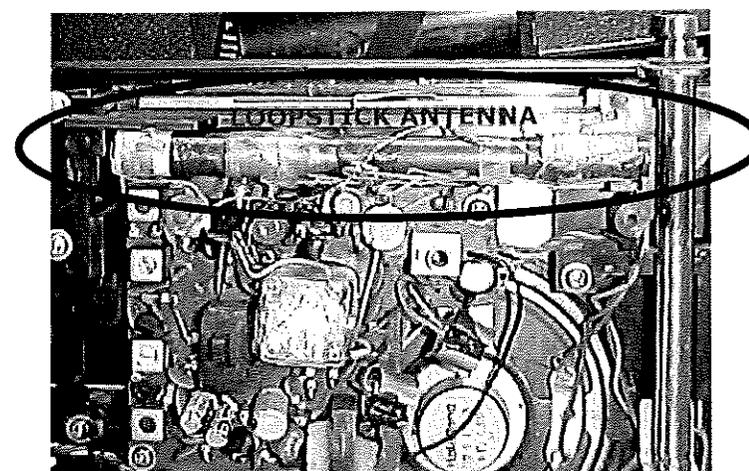
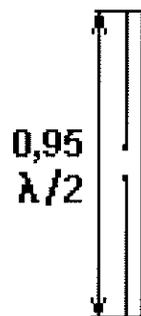
Antenne a filo: la potenza viene distribuita in quasi tutte le direzioni dello spazio. Si tratta quindi di antenne a guadagno molto basso (minore di 10)

Utilizzo:

- quando un elevato guadagno sarebbe controproducente (ad es. radio/tele diffusione, ricevitore del telefonino, ecc.)
- quando le frequenze sono troppo basse e sarebbe impossibile realizzare antenne ad alto guadagno (ad es. radio AM, trasmissioni sottomarine)

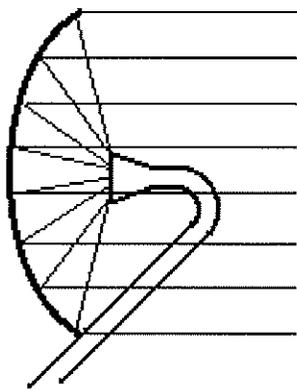
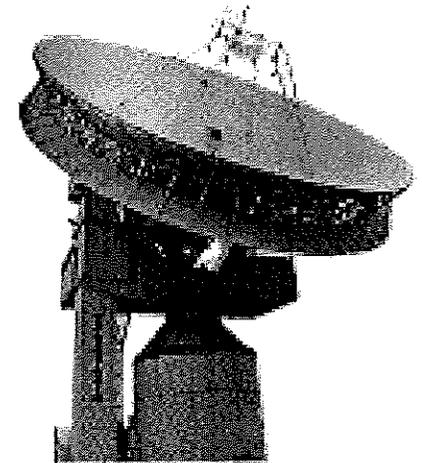


DIPOLO RIPIEGATO

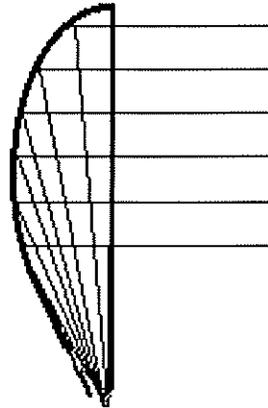


Tipi di antenne e loro utilizzo

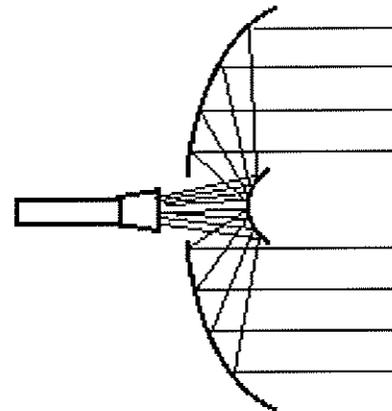
Antenne a riflettore: la potenza viene indirizzata in una zona molto ristretta. Si tratta quindi di antenne a guadagno molto elevato (da 10^3 a 10^8 e oltre)



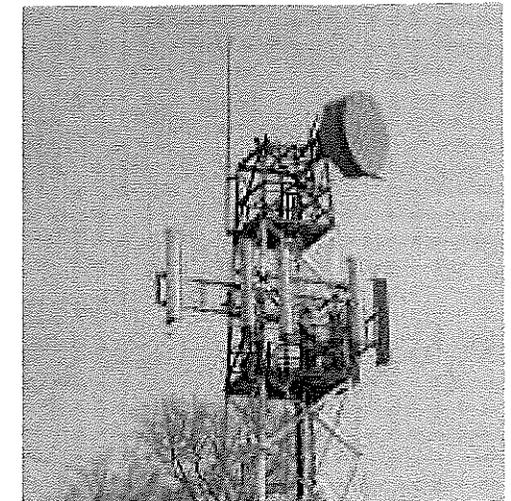
ANTENNA PARABOLICA CON ILLUMINATORE AL CENTRO



ANTENNA HORN REFLECTOR



ANTENNA CASSEGRAIN



Tipi di antenne e loro utilizzo

Antenne stampate, a fessura, a elica, a tromba ecc.: sono antenne con guadagno basso/medio.

Tipi di antenne e loro utilizzo

	Radiation Patterns	Power Gain	Directivity	Polarization
Dipole	Broadside	Low	Low	Linear
Multi Element Dipole	Broadside	Low/Medium	Low	Linear
Flat Panel Antenna	Broadside	Medium	Medium/High	Linear/Circular
Parabolic Dish antenna	Broadside	High	High	Linear/Circular
Yagi Antenna	Endfire	Medium/High	Medium/High	Linear
Slotted Antenna	Broadside	Low/Medium	Low/Medium	Linear
Microstrip Antenna	Endfire	Medium	Medium	Linear

Tipi di antenne e loro utilizzo

Antenne a schiera: sono costituite dall'insieme di più antenne dello stesso tipo, opportunamente alimentate. Permettono di “sagomare il fascio” e cioè di indirizzare la potenza dove si desidera.

