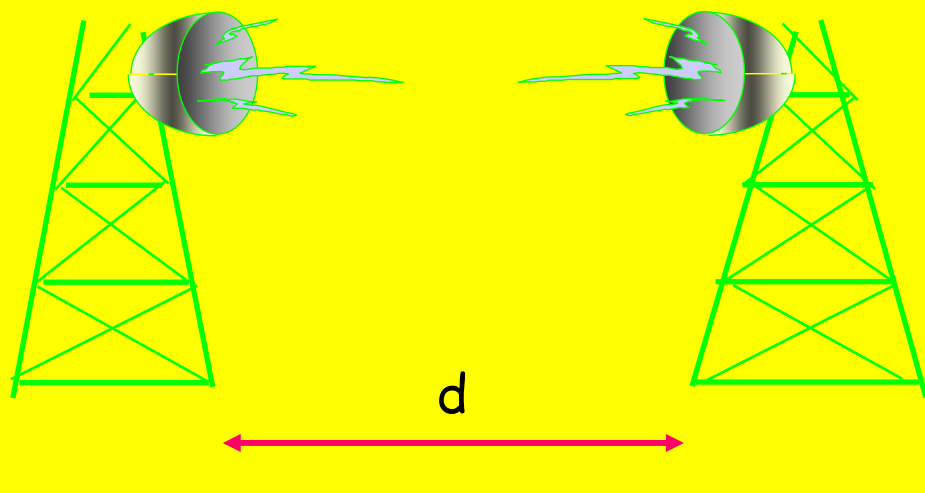


## Propagazione radio

## Trasmissione radio dell'informazione



## Caratterizzazione della propagazione

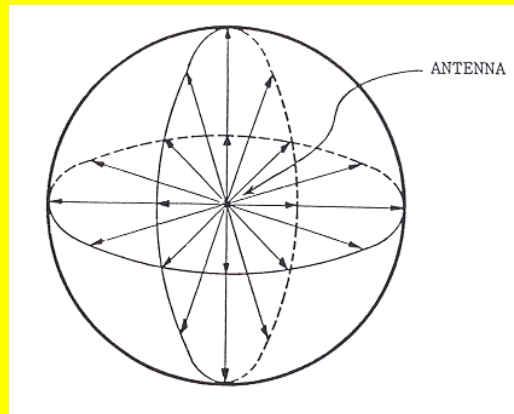
- Frequenza di trasmissione
- Distanza Tx - Rx
- Conformazione geografica del territorio (Orografia)
- Caratteristiche climatiche
- Presenza di ostacoli
- Mobilità dei terminali

## Antenna

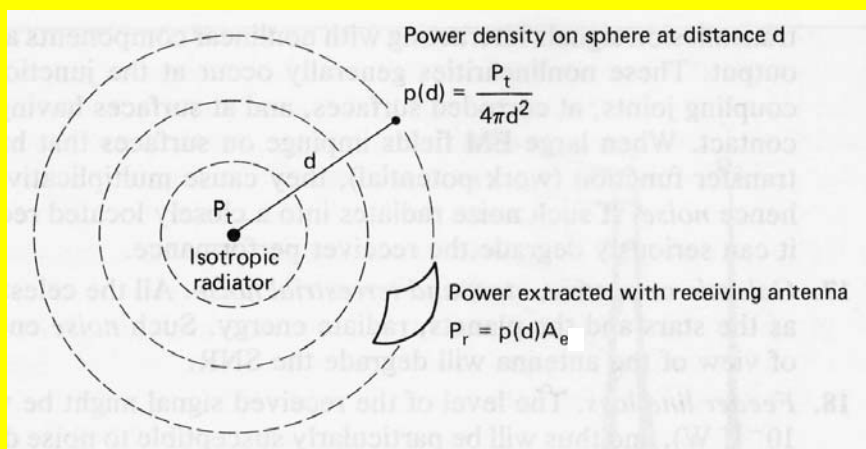
- E' l'apparato che trasferisce l'energia elettromagnetica generata dal trasmettitore all'ambiente circostante
- La sua capacità di irradiare energia dipende dalla frequenza di trasmissione e dalle sue dimensioni e geometria
- Parametri caratteristici:
  - Guadagno
  - Impedenza

## Antenna isotropica

E' un'antenna "ideale" in grado di irradiare uniformemente in tutte le direzioni dello spazio



## Densità di potenza e potenza ricevuta



## Area efficace

- L'area efficace di un'antenna (o sezione trasversale di assorbimento) è definita come il rapporto tra la potenza estratta e la densità di flusso incidente
- Rappresenta l'attitudine di un'antenna a ricevere, e trasmettere, energia elettromagnetica.
- L'area efficace di un'antenna, e la sua area geometrica, sono in relazione attraverso un parametro di efficienza che tiene conto del fatto che non tutta la potenza incidente viene estratta a causa di differenti meccanismi di perdita

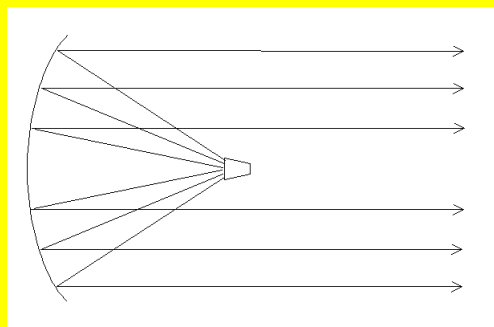
$$A_e = \eta A_g$$

- Valori tipici di  $\eta$  sono attorno 0,5

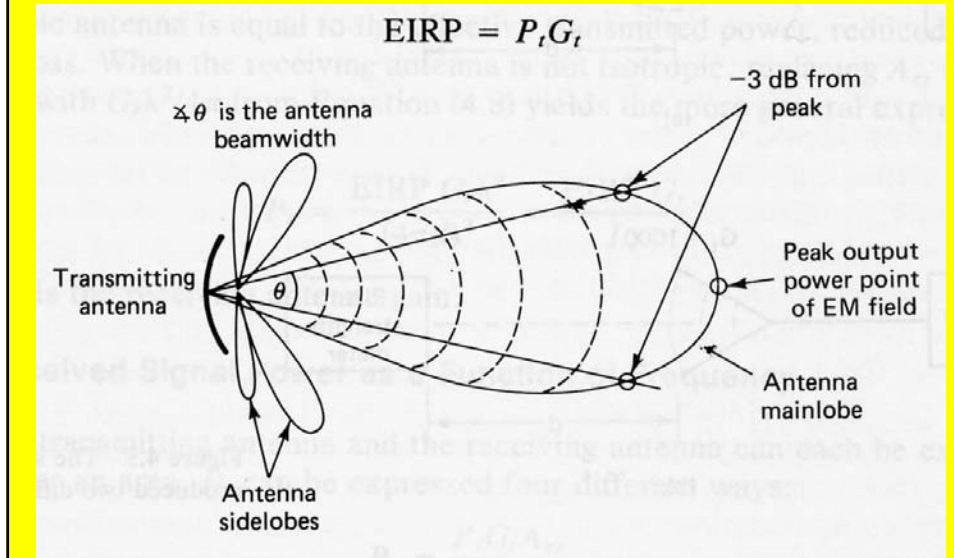
## Antenna direttiva

E' un'antenna in cui la radiazione avviene prevalentemente lungo una direzione preferenziale

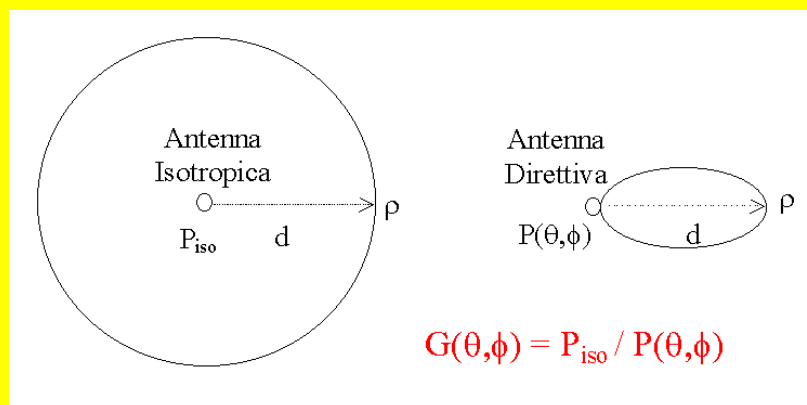
Es. : Antenna Parabolica



## Diagramma di radiazione



## Guadagno d'antenna



## Area efficace e guadagno

L'area efficace e' legata al guadagno da una relazione fondamentale.

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

Per un riflettore parabolico, l'area efficace è legata all'area geometrica dalla relazione:

$$A_{\text{eff}} = \eta \pi d^2 / 4$$

Potenza  
irradiata  
isotropica  
efficace

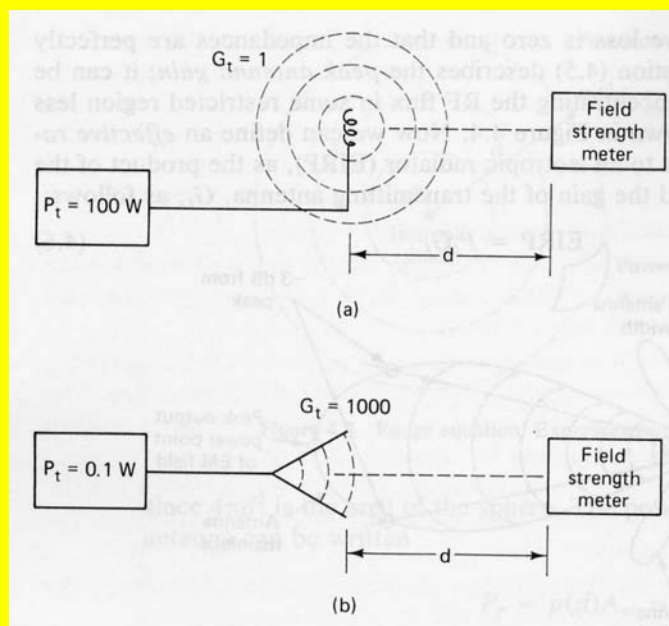
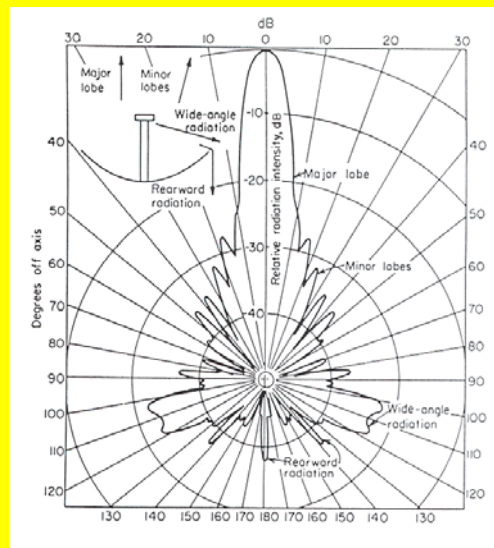
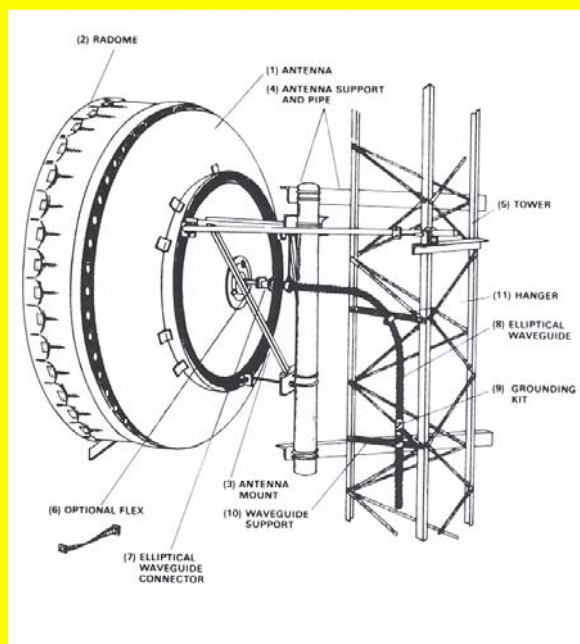


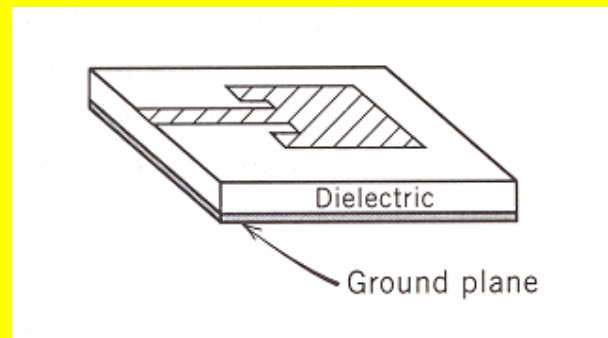
Diagramma di radiazione reale di un'antenna a riflettore parabolico



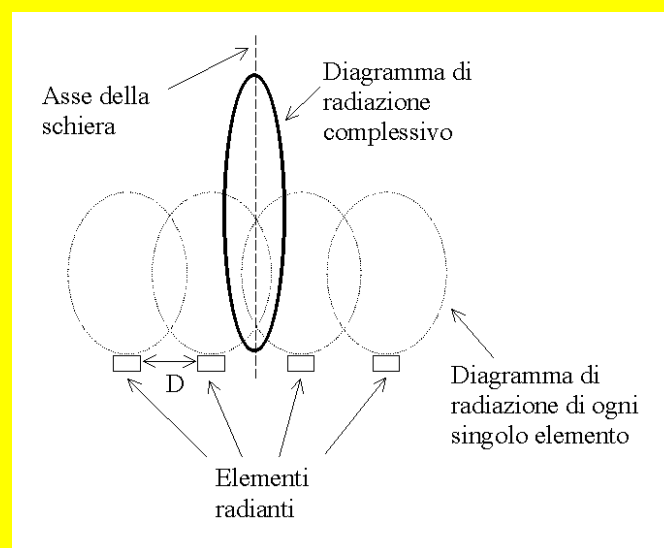
Antenna Parabolica



## Antenna planare in microstriscia



## Schiere di elementi radianti





## Calcolo (teorico) della potenza ricevuta

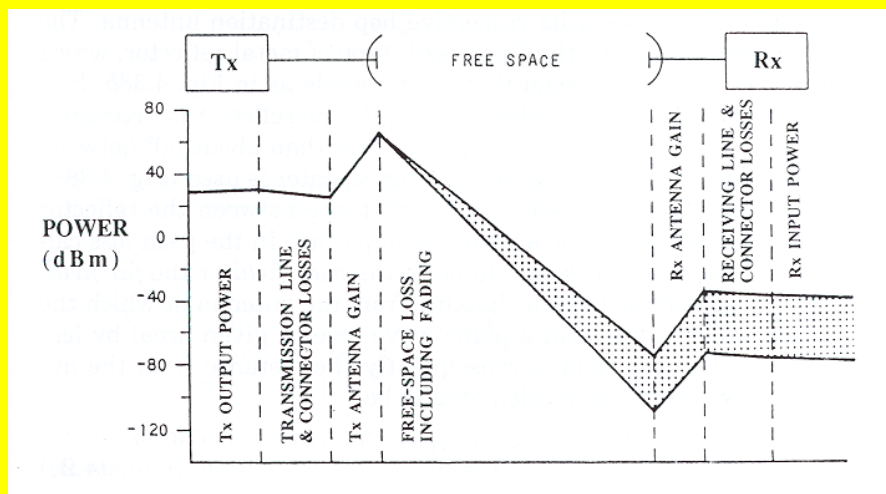
$$\rho(d) = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \quad [W/m^2]$$

$$P_r = \rho A_e = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} A_e \quad [W]$$

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} = \frac{P_t G_t G_r}{FSL} \quad [W]$$

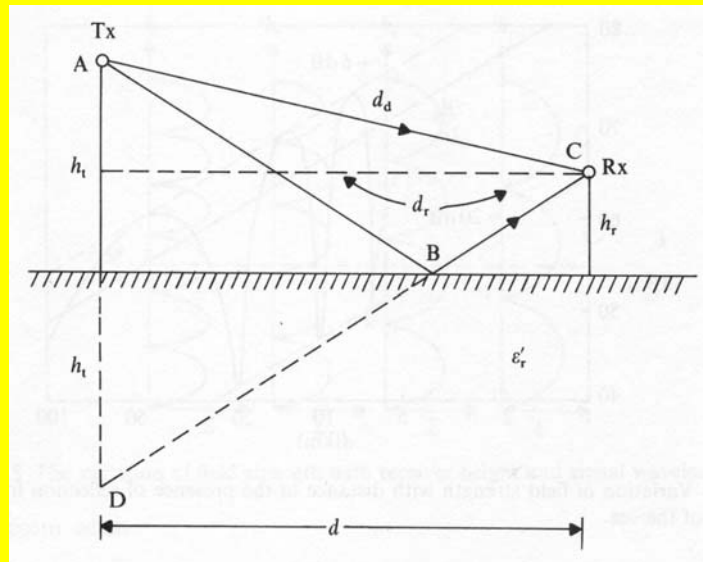
$$FSL = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Attenuazione di spazio libero}$$

## Calcolo della potenza ricevuta



$$P_r = P_t - A_{dt} + G_t - FSL + G_r - A_{dr}$$

## Il fenomeno interferenziale: Riflessione su terra piana



## Riflessione su terra piana calcolo della differenza di fase tra le componenti di campo

One simple model of space wave propagation is illustrated in Fig. 4.3. The received signal consists of two components, the direct wave and the ground reflected wave, and it is assumed that the boundary is flat and horizontal. For the particular case in which  $d \gg h_1$  with horizontal polarization and  $R_H = -1$  we can write:

$$d_d = [d^2 + (h_t - h_r)^2]^{1/2} \approx d \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \frac{h_t - h_r}{d} \right]^2 \right\}$$

$$d_r = [d^2 + (h_t + h_r)^2]^{1/2} \approx d \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \frac{h_t + h_r}{d} \right]^2 \right\}$$

and

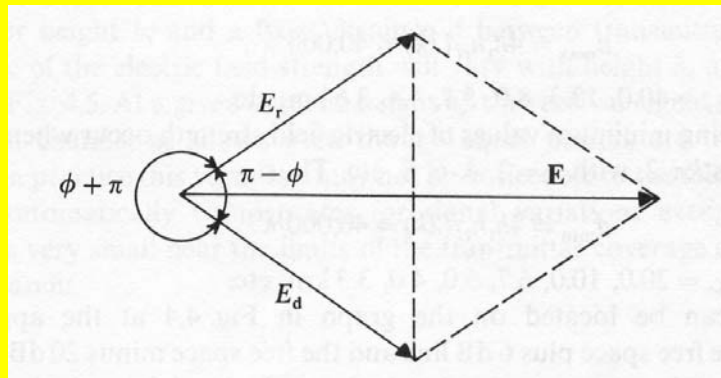
$$d_r - d_d = 2h_t h_r / d$$

Thus the path difference between the reflected wave  $E_r$  and the direct wave  $E_d$  is  $2h_t h_r / d$ , which corresponds to a phase lag of

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{2h_t h_r}{d} = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \text{ radians}$$

## Riflessione su terra piana

differenza di fase tra le componenti di campo



## Riflessione su terra piana

determinazione del campo risultante

The magnitudes of  $E_d$  and  $E_r$  are almost identical, approximately  $E_1/d$ , where  $E_1$  is the direct field at 1 km. In addition, the reflection coefficient  $R_H = 1/180^\circ$  adds  $\pi$  radians to  $\phi$ . The received field strength is the resultant of  $E_d$  and  $E_r$ , and can be obtained from Fig. 4.3 as:

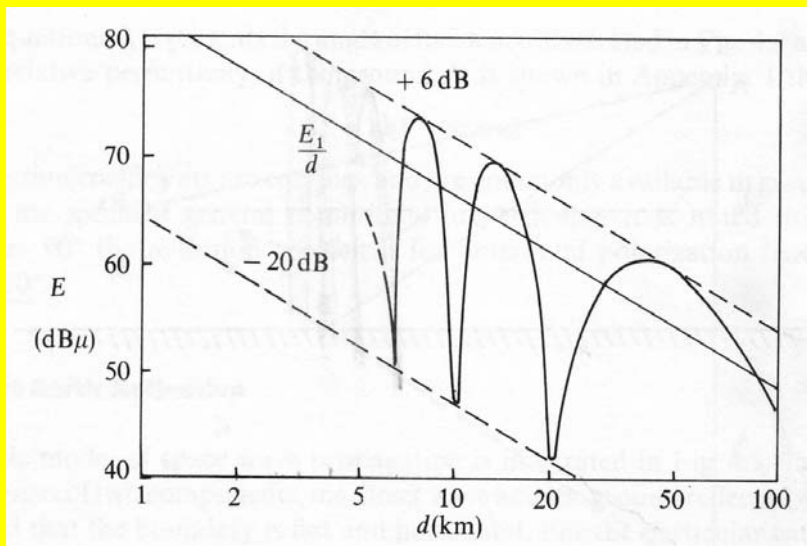
$$|E| = \left| 2 \frac{E_1}{d} \cos\left(\frac{\pi - \phi}{2}\right) \right| = \left| 2 \frac{E_1}{d} \sin\left(\frac{2\pi h_r h_t}{\lambda d}\right) \right| \quad (4.4)$$

Note that the units must be consistent and that only the magnitude of the field is being considered. As  $E_1$  is the field at 1 km, the first  $d$  must also be in kilometers. Within the brackets of the sine term the dimensions of  $h_t, h_r, \lambda$  and  $d$  must all be consistent.

Thus the magnitude of the electric field strength varies with distance both inversely and in some sinusoidal fashion. It will go through maximum values of  $2E_1/d$  when the sine term is unity, and minimum values of zero when the sine term is zero. In practice the reflection coefficient is never exactly  $-1$  and the minimum values of  $E$ -field are typically within  $-20$  dB of  $E_1/d$ , though the maximum values are sometimes almost 6 dB above  $E_1/d$ .

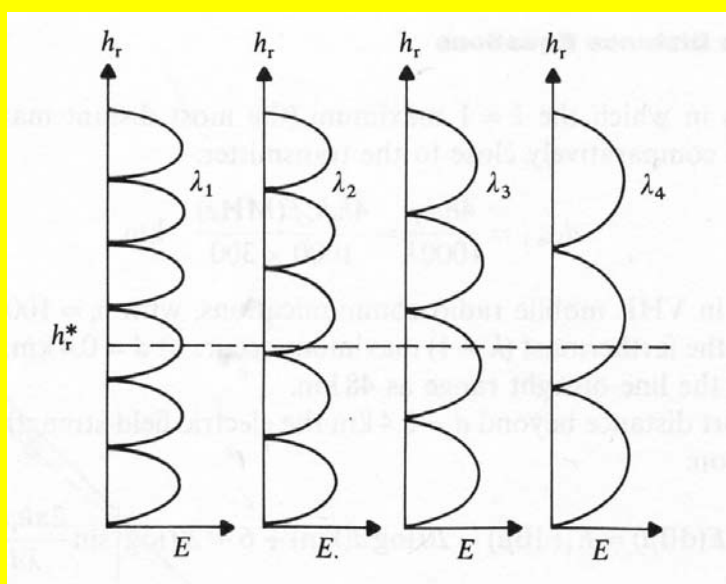
### Riflessione su terra piana

ampiezza di campo risultante in funzione della distanza

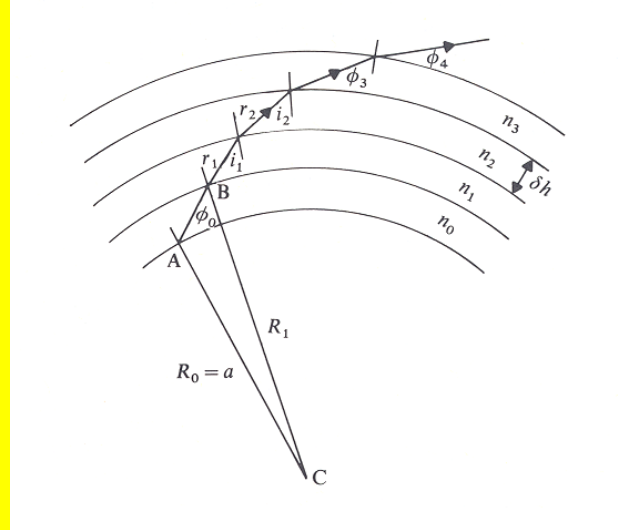


### Riflessione su terra piana

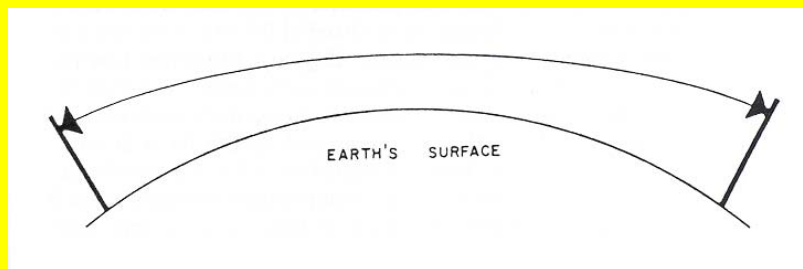
ampiezza di campo risultante in funzione della frequenza e dell'altezza del ricevitore



Propagazione troposferica tra punti fissi  
**Effetto della stratificazione della troposfera**



Propagazione troposferica tra punti fissi  
**Curvatura dei raggi**

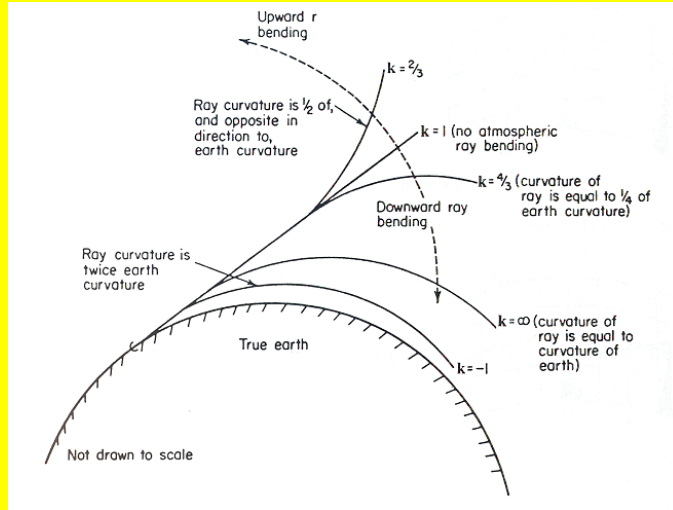


$r_0$  = raggio di curvatura terrestre

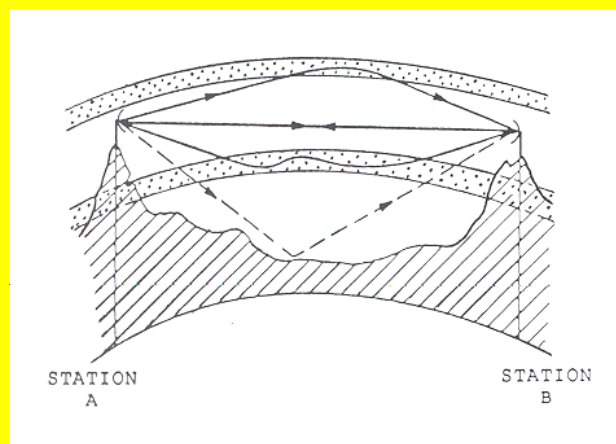
$\rho$  = raggio di curvatura della traiettoria

Propagazione troposferica tra punti fissi  
 Differenti condizioni di curvatura

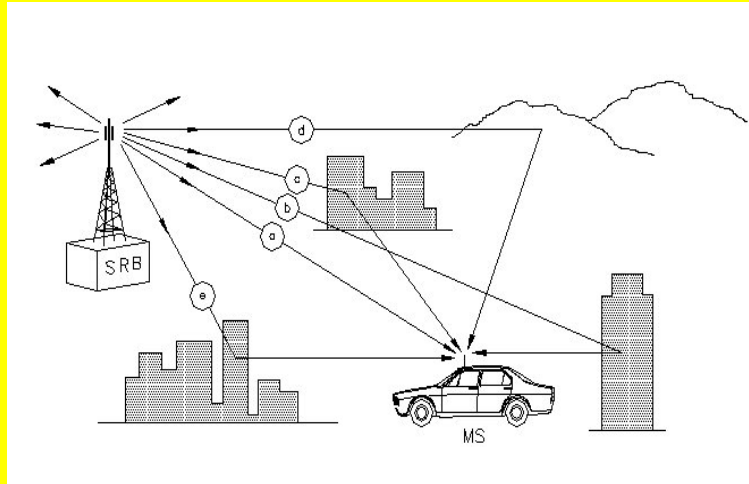
$$k = \rho / (\rho - r_0)$$



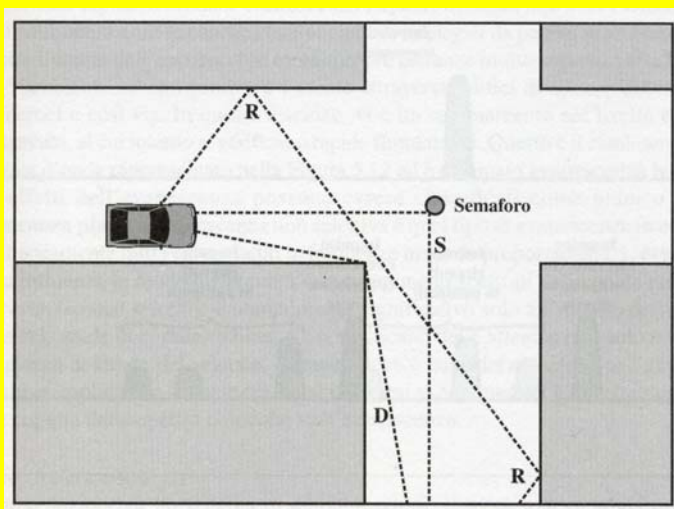
Propagazione troposferica tra punti fissi  
 Propagazione per cammini multipli



Propagazione Radiomobile  
Problematiche di cammini multipli



Propagazione Radiomobile  
Principali meccanismi di propagazione



Riflessione  
Scattering  
Diffrazione

## Propagazione per cammini multipli

- Sia la propagazione troposferica tra punti fissi che la propagazione radiomobile è caratterizzata dal multipath
- Occorre modellizzare il canale trasmissivo per valutare gli effetti del multipath sul segnale ricevuto

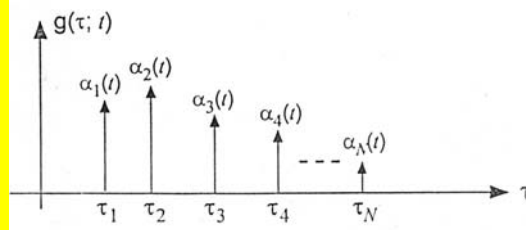
## Risposta impulsiva canale radio

$$w(t) = \alpha_1 s(t - \tau_1) + \alpha_2 s(t - \tau_2) + \dots + \alpha_N s(t - \tau_N)$$

$$= \sum_{k=1}^N \alpha_k s(t - \tau_k)$$

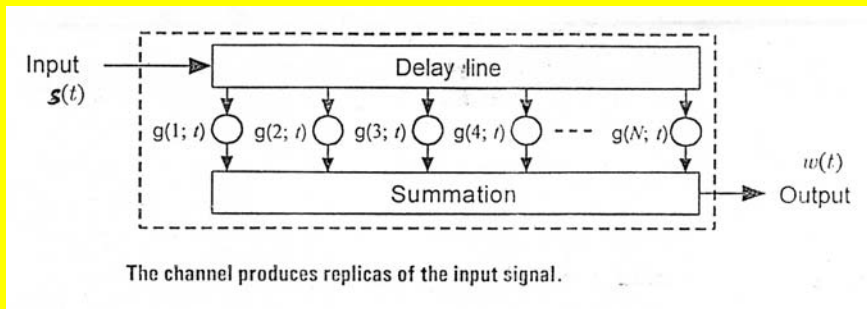
$$= \int_{-\infty}^{\infty} s(t - \tau) \cdot \sum_{k=1}^N \alpha_k \delta(\tau - \tau_k) d\tau$$

$$\hat{g}(\tau; t) = \sum_{k=1}^N \alpha_k \delta(t - \tau_k)$$





## Modello di canale

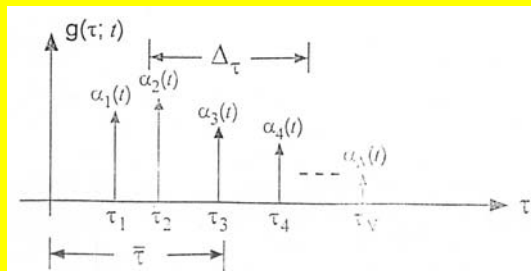


## Delay spread

$$\Delta_{\tau}(t) = \sqrt{\overline{\tau^2} - \bar{\tau}^2} = \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \tau^2 g(\tau; t) d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} g(\tau; t) d\tau} - \left[ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \tau g(\tau; t) d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} g(\tau; t) d\tau} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

Typical values of delay spread

Environment type	Delay spread
In-building	< 0.1 $\mu$ s
Open area	< 0.2 $\mu$ s
Suburban area	0.5 $\mu$ s
Urban area	3 $\mu$ s



## Banda di coerenza

- Cammini multipli
- Ogni componente in frequenza del segnale può giungere al ricevitore con differenti ritardi di tempo
- La massima separazione in frequenza per cui le componenti armoniche costituenti il segnale possono ancora essere considerate correlate è la banda di coerenza

$$B_c = \frac{1}{4\pi\Delta\tau}$$

## Effetto del canale

- Se la banda del segnale è inferiore alla banda di coerenza l'effetto è piatto in frequenza ( $B < B_c$ )
- Se la banda del segnale è superiore alla banda di coerenza l'effetto è selettivo in frequenza ( $B > B_c$ )

## Effetto del canale

- Quando ( $B < B_c$ ) il tempo di simbolo è maggiore del delay spread

$$T > 4\pi\Delta\tau$$

- ISI ridotta

## Effetto del canale

- Quando ( $B > B_c$ ) il tempo di simbolo è inferiore del delay spread

$$T < 4\pi\Delta\tau$$

- ISI significativa