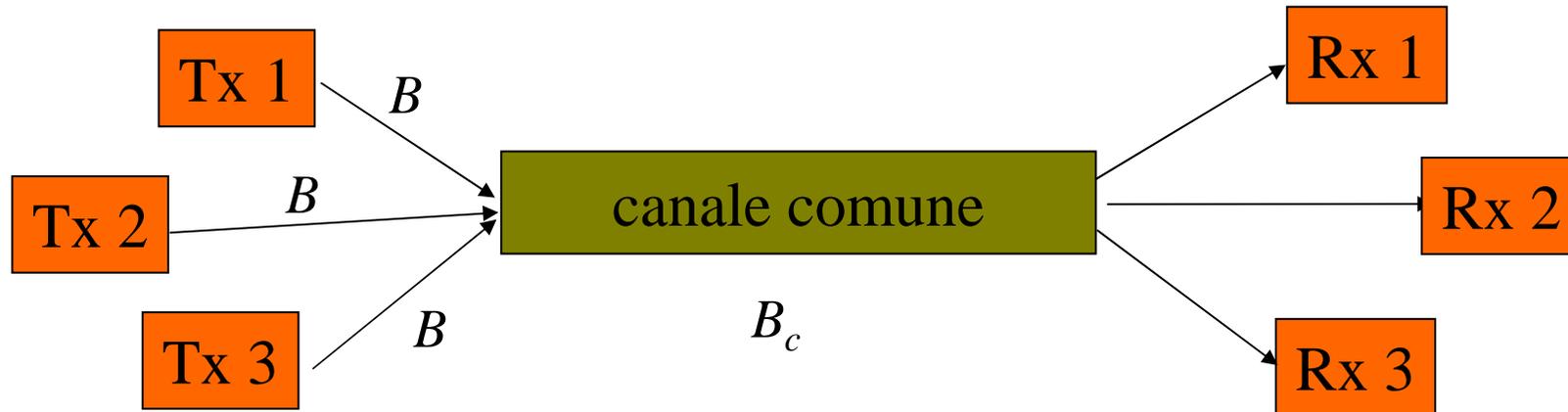
The image displays three distinct waveforms. The top waveform is orange and shows a complex periodic signal with multiple peaks of varying heights. The bottom-left waveform is blue and exhibits a sharp initial peak followed by several smaller, irregular oscillations. The bottom-right waveform is yellow and shows a periodic signal with a prominent central peak and smaller side peaks. The text 'CANALI TRASMISSIVI E ANTENNE' is centered between the orange and yellow waveforms.

CANALI TRASMISSIVI
E ANTENNE

Accesso multiplo a canale comune



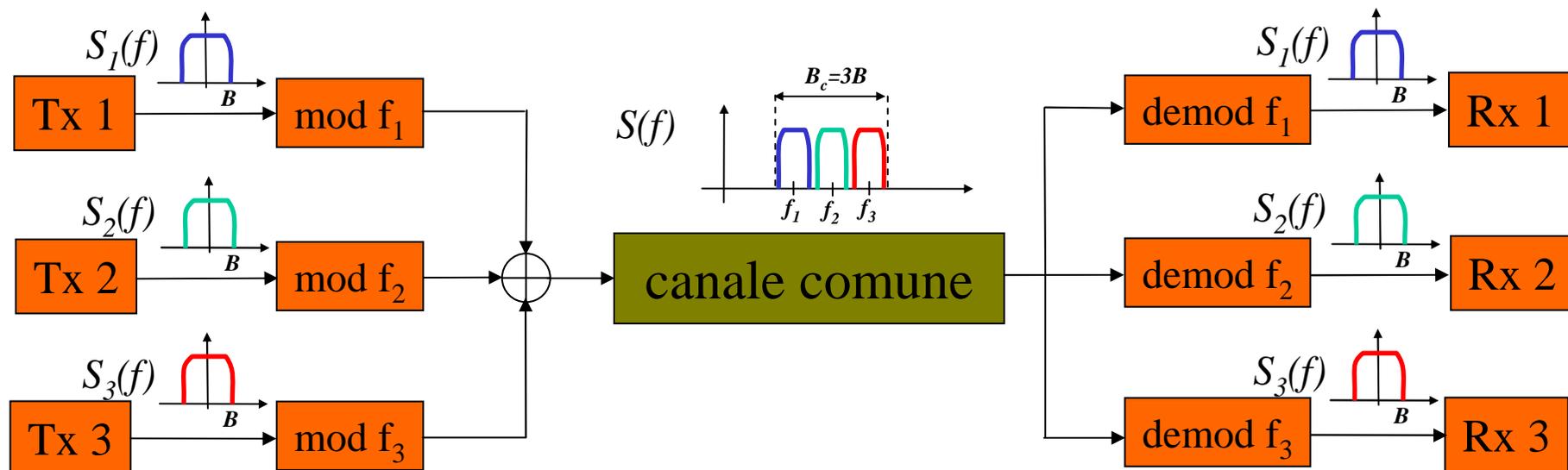
- trasmissioni radio: lo spazio è evidentemente un canale unico, in cui occorre far coesistere una molteplicità di comunicazioni diverse.
- organizzazione efficiente dei mezzi di comunicazione: una grossa dorsale telefonica a larga banda al posto di un numero enorme di canali a banda stretta.

PROBLEMA

E' possibile trasmettere contemporaneamente su un unico canale a banda larga B_c , n comunicazioni di banda B ?

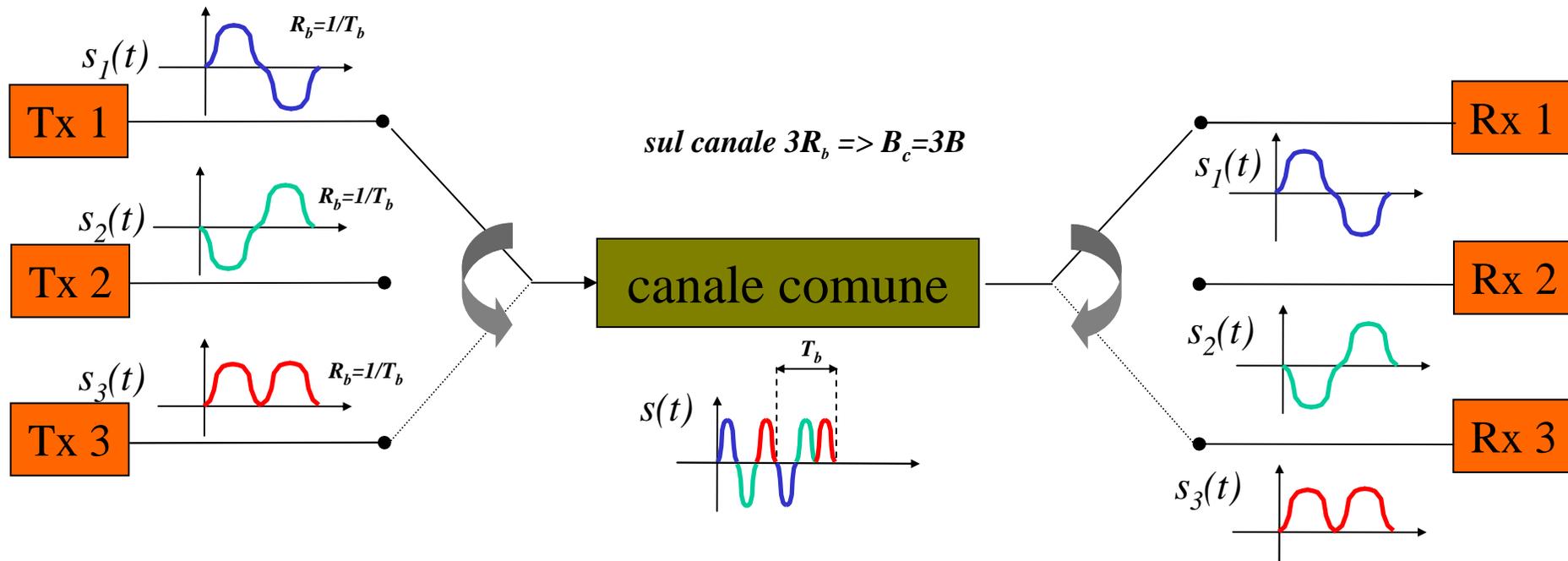
Sì è possibile, a patto che $B_c = n B$.

Accesso Multiplo a Divisione di Frequenza (FDMA)



- radio analogica AM e FM
- standard europeo di telefonia radiomobile digitale GSM, in combinazione con TDMA (vedi oltre)

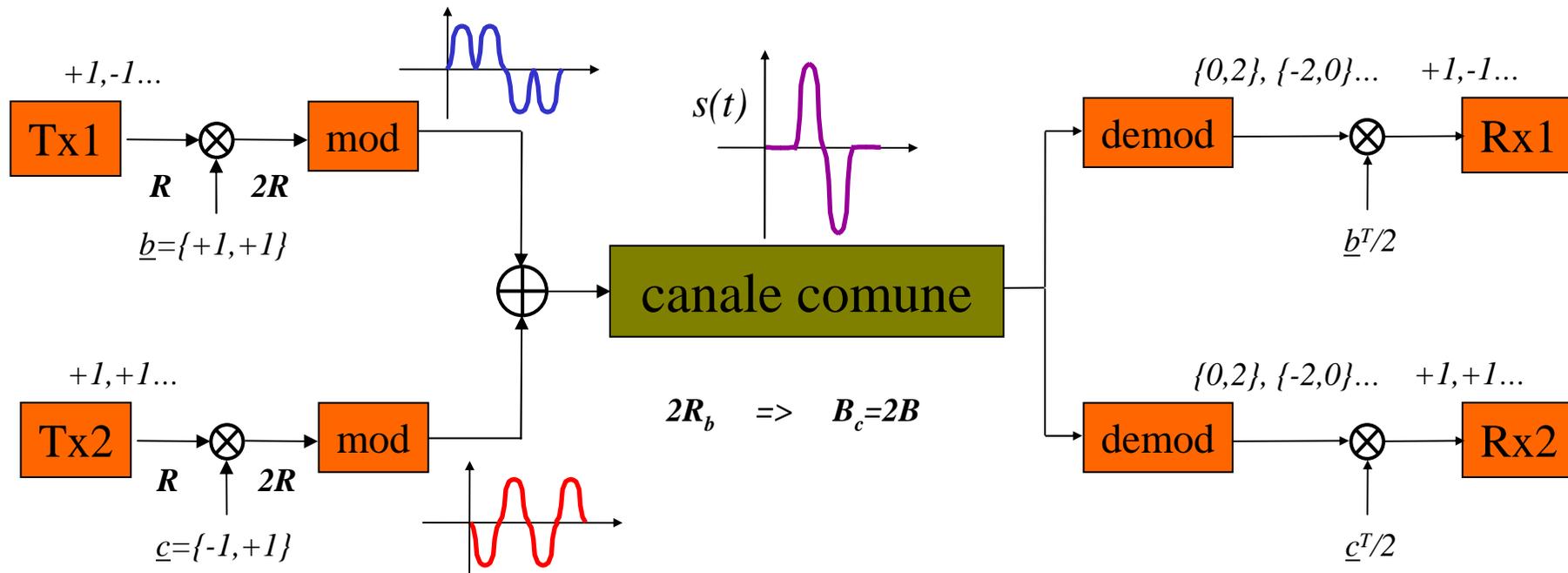
Accesso Multiplo a Divisione di Tempo (TDMA)



- rete di telefonia fissa
- standard europeo di telefonia radiomobile digitale GSM, in combinazione con FDMA

Accesso Multiplo a Divisione di Codice (CDMA)

Ogni comunicazione viene “marcata” con uno tra n codici, cioè n -ple $\underline{c} = (c_1 c_2 \cdots c_n)$ di elementi $c_i \in \{+1, -1\}$ tali che $\underline{c} \underline{b}^T = \sum_{i=1}^n c_i b_i = 0$ (ortogonalità), mentre $\underline{c} \underline{c}^T / n = 1$



- standard europeo di telefonia radiomobile digitale di terza generazione UMTS (in combinazione con TDMA)
- standard nord-americano di telefonia radiomobile digitale

Mezzi trasmissivi



Nei sistemi di comunicazione, normalmente, il mezzo trasmissivo è caratterizzato dalla propagazione di onde elettromagnetiche.

Tale propagazione può avvenire:

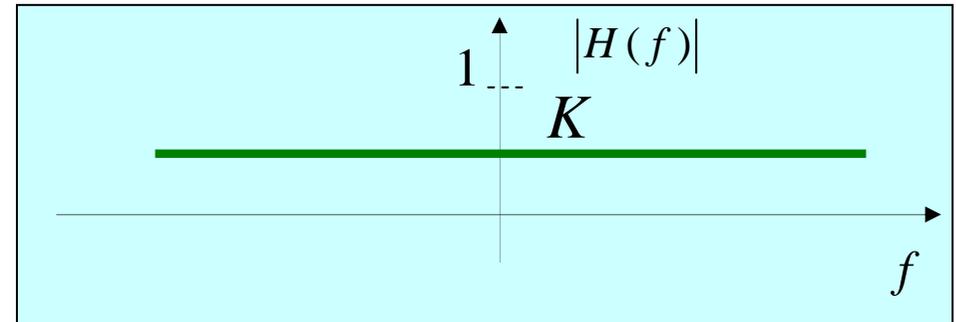
- nello spazio libero: canale radio
- guidata da conduttori metallici: cavi coassiali e bifilari (intrecciati e non)
- guidata da strutture dielettriche: fibre ottiche

Canale trasmissivo ideale



$$r(t) = K \cdot s(t - \tau)$$
$$R(f) = K \cdot e^{-j2\pi f\tau} \cdot S(f) = H(f) \cdot S(f)$$
$$H(f) = K \cdot e^{-j2\pi f\tau}$$

(nella banda occupata dal segnale)

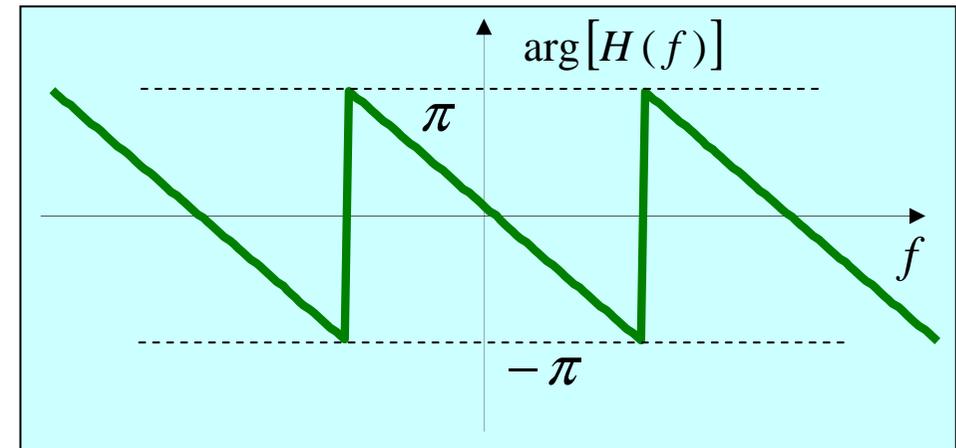


Normalmente $K < 1$,
 $\gamma = 1/K > 1$ è chiamato **attenuazione [dB]**

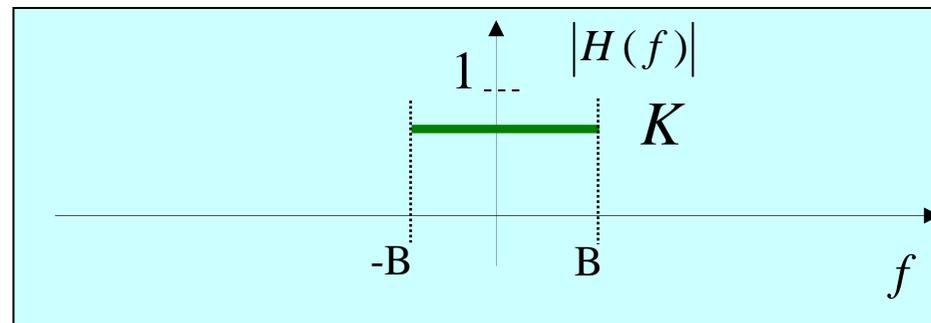
$$P_r|_{dBw} = P_t|_{dBw} - \gamma|_{dB}$$

A volte sono assegnate **attenuazione specifica α [dB/km]** e lunghezza del collegamento **l [km]**.

In tal caso l'attenuazione $\gamma = \alpha l$ [dB]



Canale trasmissivo passa-basso ideale

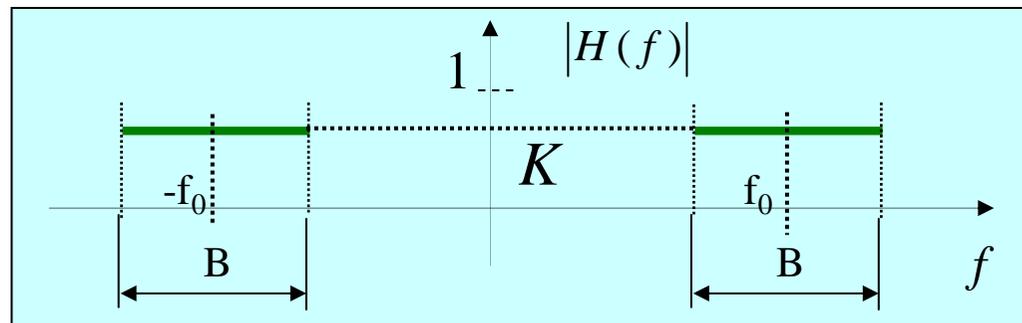


Funzione di trasferimento $H(f)$ di un canale trasmissivo passa-basso ideale (con banda B):

$$\left. \begin{array}{l} |H(f)| = K \\ \text{fase lineare} \end{array} \right\} \text{ per } |f| \leq B$$

$H(f)$ arbitraria altrove

Canale trasmissivo passa-banda ideale



Funzione di trasferimento $H(f)$ di un canale trasmissivo passa-banda ideale (con banda B):

$$\left. \begin{array}{l} |H(f)| = K \\ \text{fase lineare} \end{array} \right\} \text{ per } (f_0 - B/2) \leq |f| \leq (f_0 + B/2)$$

$H(f)$ arbitraria altrove

(solitamente $B \ll f_0$)

Propagazione in spazio libero

Onde elettromagnetiche (OEM) irradiate

L'irradiazione nello spazio, la successiva propagazione ed infine la ricezione delle OEM dipendono:

- dalla frequenza utilizzata
- dall'ambiente in cui le OEM si propagano
- dal tipo di servizio richiesto

La propagazione studia la trasmissione delle onde radio nel mondo fisico reale.

Si ricordi il legame tra **frequenza f** , **lunghezza d'onda λ** , e **velocità della luce c**

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ	f
$3 \cdot 10^5$ km	1 Hz
300 km	1 kHz
300 m	1 MHz
30 cm	1 GHz

Propagazione in spazio libero e guidata

Trasmissione a distanza dell'informazione:

- OEM guidate da una linea fisica, costituita da uno o più conduttori (esempi: cavo coassiale, fibra ottica)
- Principali caratteristiche:
 - possibilità solo di collegamenti punto a punto
 - installazione costosa
 - poco riconfigurabile per altri collegamenti
 - banda elevatissima (fibra ottica)
- OEM irradiate nello spazio e ricevute a distanza
- Principali caratteristiche:
 - collegamenti sia punto a punto che di tipo diffusivo
 - installazione economica
 - facilmente riconfigurabile
 - ridotta disponibilità di banda (eccezione: onde millimetriche)

Propagazione in spazio libero

Tipo di servizio

Servizio di diffusione (*broadcasting*): televisivo, radiofonico e di distribuzione di dati. Il servizio è disponibile contemporaneamente a molti utenti.

Collegamenti punto a punto (*link*): collegano solo due punti e possono essere in cascata con altri collegamenti dello stesso tipo.

Ambiente

collegamenti terrestri, marittimi, aeronautici, via satellite o interplanetari.

Tipo di terminale

mobile o fisso.

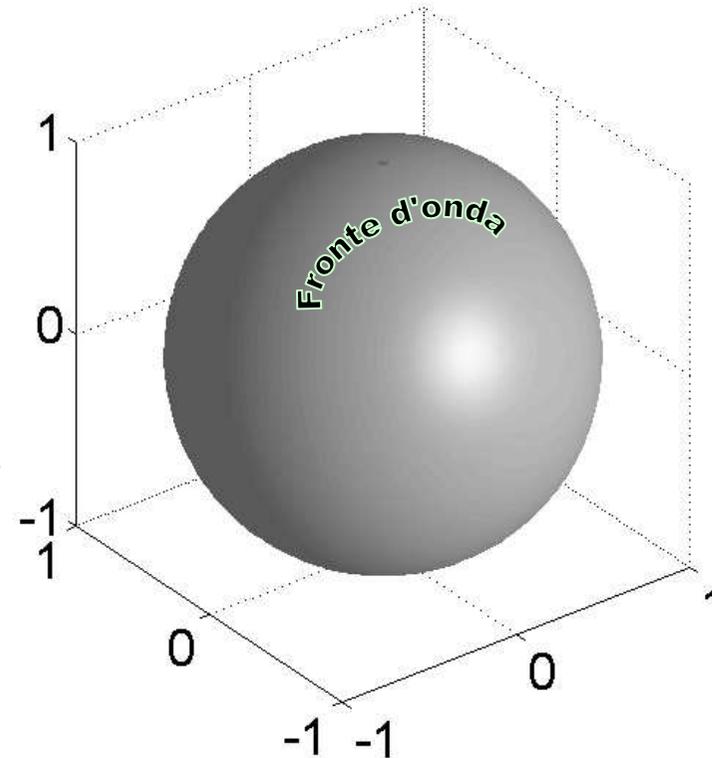
Propagazione in spazio libero

Caso ideale

Segnale irradiato:

- uniformemente in tutte le direzioni
- in spazio “libero”, cioè nel vuoto
- senza ostacoli o materiali che possano cambiare le caratteristiche di propagazione

La *densità di potenza* (potenza per unità di superficie sferica) a distanza R da un trasmettitore di potenza P_t diminuisce con il quadrato della distanza R .



$$\frac{P_t}{4\pi R^2}$$

Propagazione in spazio libero

Situazione reale

Presenza di atmosfera: disomogeneità nella densità e nella composizione

Presenza di altri oggetti o materiali nelle immediate vicinanze o lungo il percorso di propagazione (ostacoli):

- suolo terrestre, superfici acquatiche (laghi, mari, fiumi)
- montagne, colline
- infrastrutture (ponti, viadotti, sottopassi e sovrappassi, ecc.)
- pioggia, neve, nebbia
- vegetazione

Il mezzo trasmissivo si discosta, anche molto, dalla precedente situazione ideale.

Propagazione in spazio libero

Le modalità di propagazione alle diverse frequenze possono essere molto differenti e pertanto ogni banda di frequenza è in generale utilizzabile solo per alcuni tipi di servizio.

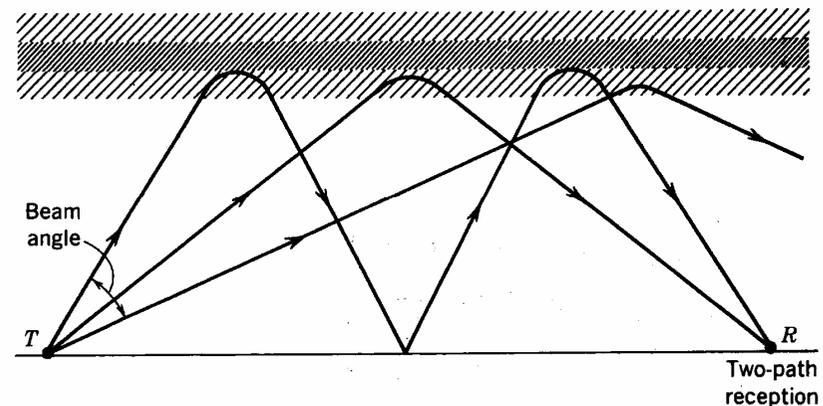
Esempio 1:

Diffusione radiofonica “tradizionale”

Frequenze:

- qualche centinaio di kHz (onde lunghe)
- attorno ad 1 MHz (onde medie)
- fino a 30 MHz (onde corte)

Queste onde vengono riflesse sia dagli strati ionizzati dell'atmosfera (ionosfera) sia dal suolo terrestre. Sfruttando questa modalità possono percorrere grandissime distanze.



Propagazione in spazio libero

Esempio 2:

Nella gamma delle frequenze VHF ed UHF (da 30 a 1000 MHz) si hanno servizi di **diffusione televisiva** e radiofonica in FM.

Inoltre sono utilizzate alcune di queste frequenze per il servizio **radiomobile** pubblico.

Esempio 3:

Le frequenze maggiori di 1 GHz e fino a 50 GHz (dette anche **microonde**) passano attraverso l'atmosfera e pertanto sono utilizzate nelle **trasmissioni via satellite**. Inoltre grazie alla larga banda disponibile trovano numerose applicazioni nel campo terrestre (sistemi radiomobili, **ponti radio a microonde**, radar, radionavigazione, ecc.)

E' necessario che l'antenna trasmittente e quella ricevente siano in piena visibilità.

A causa della curvatura terrestre, per aumentare la visibilità (e quindi la lunghezza del collegamento) è necessario aumentare l'altezza delle antenne dal suolo.

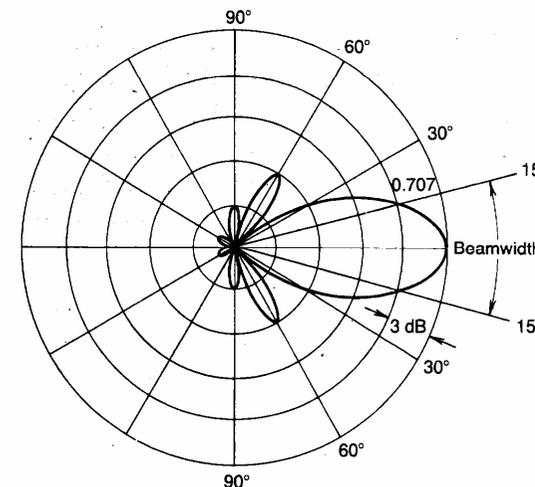
Nei sistemi in ponte radio attualmente in esercizio l'altezza delle antenne è 20-30 metri, con portate del collegamento di circa 50 km.

Antenne

L'antenna di trasmissione rende possibile l'irraggiamento dei segnali nello spazio, mentre l'antenna di ricezione capta le onde elettromagnetiche e le converte in segnali elettrici per il ricevitore.

L'irradiazione uniforme (o quasi) è possibile, ma spesso non desiderata. Nella pratica le antenne sono molto spesso direttive, cioè irradiano preferibilmente in certe direzioni o su determinati piani.

Una descrizione sintetica del modo di irradiare di un'antenna è data dal "diagramma di radiazione", o dalla sua *funzione di direttività* $f(\theta, \varphi)$ che dà il rapporto tra la densità di potenza irradiata nella direzione (θ, φ) e quella irradiata in direzione di massima radiazione.



Antenne: guadagno e area efficace

G = Guadagno dell'antenna

Rapporto fra densità di potenza irradiata nella direzione di massimo e quella che sarebbe irradiata (a pari potenza elettrica all'ingresso dell'antenna) da un radiatore isotropo (cioè non direttivo).

Il guadagno ci dice di quanto "aumenta" la densità di potenza rispetto al caso di radiazione isotropa. Misura la capacità dell'antenna di concentrare la potenza in una determinata direzione.

A = Area efficace

La potenza del segnale all'uscita di un'antenna ricevente è proporzionale alla densità di potenza di segnale che arriva dove è posta l'antenna. Il coefficiente di proporzionalità è detto area efficace (o apertura) **A** dell'antenna, e dipende dalle sue dimensioni fisiche.

Ad esempio per una antenna a parabola l'area efficace è circa il 60-70% dell'area geometrica: non tutta la potenza elettromagnetica incidente viene convertita in segnale utile a causa di perdite nell'antenna; il rapporto tra area efficace e area geometrica è detto efficienza dell'antenna.

Vale la relazione tra A e G

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

Antenne: legame tra P_r e P_t

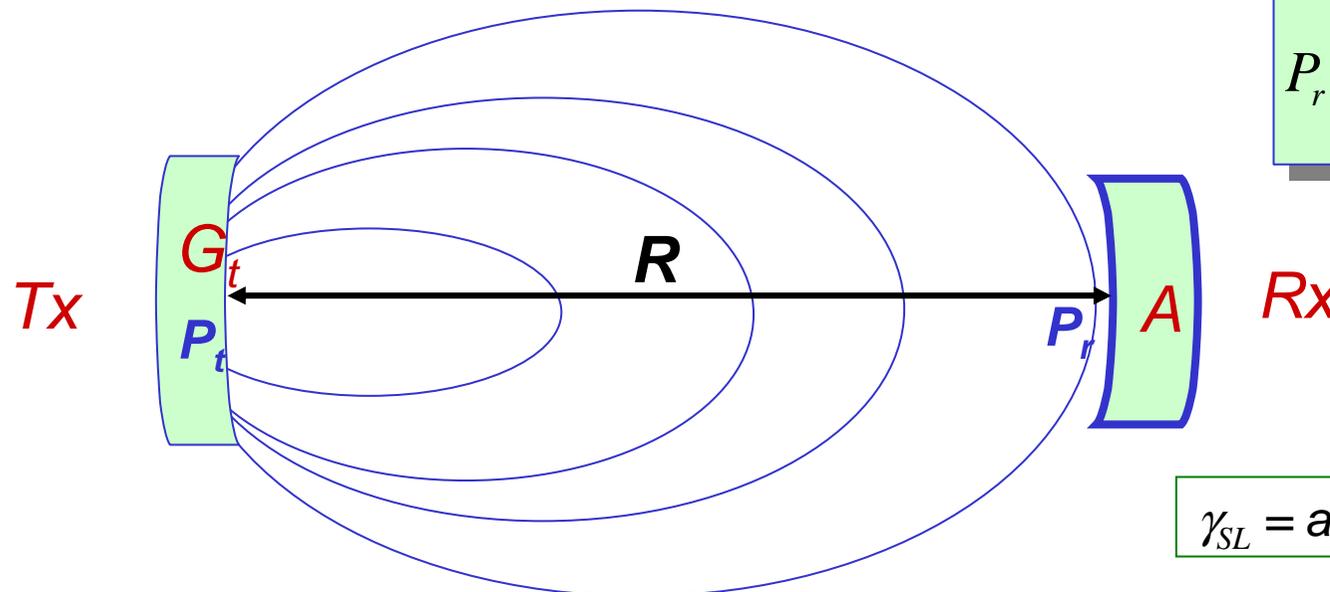
Il guadagno G è il rapporto fra densità di potenza nella direzione di massima radiazione e quella di un'antenna isotropa.

A distanza R un'antenna isotropa distribuisce uniformemente la potenza su tutta la superficie della sfera di raggio R ; un'antenna con guadagno G_t irradia (nella direzione di massima radiazione) una densità di potenza pari a

$$P_t \frac{G_t}{4\pi R^2}$$

un'antenna ricevente con area efficace A_r riceve dunque una potenza pari a

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r}{4\pi R^2} = \frac{G_t G_r \lambda^2 P_t}{(4\pi R)^2}$$



$$\gamma_{SL} = \frac{4\pi R^2}{\lambda^2}$$

γ_{SL} = attenuazione di spazio libero