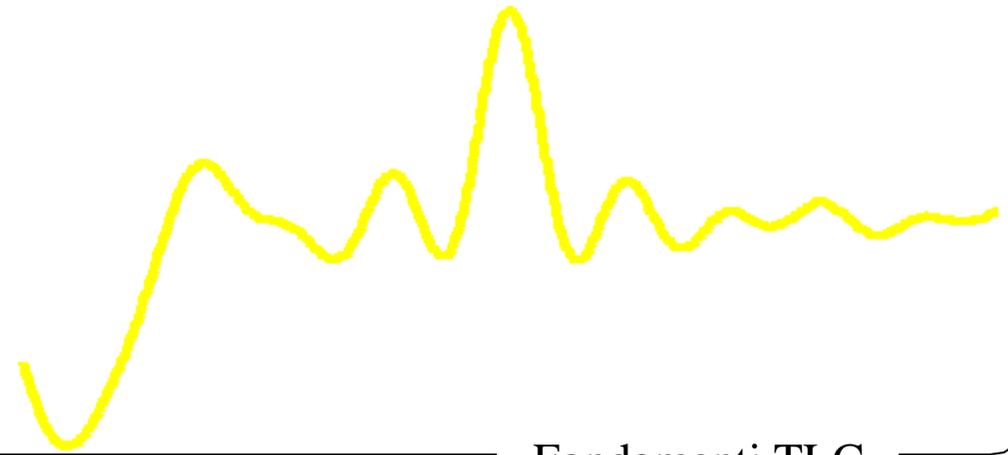
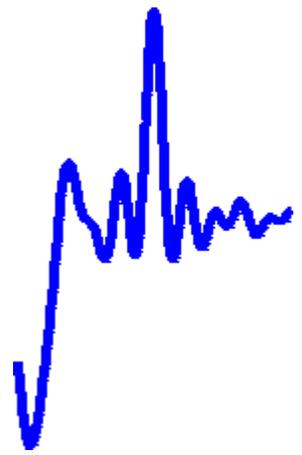
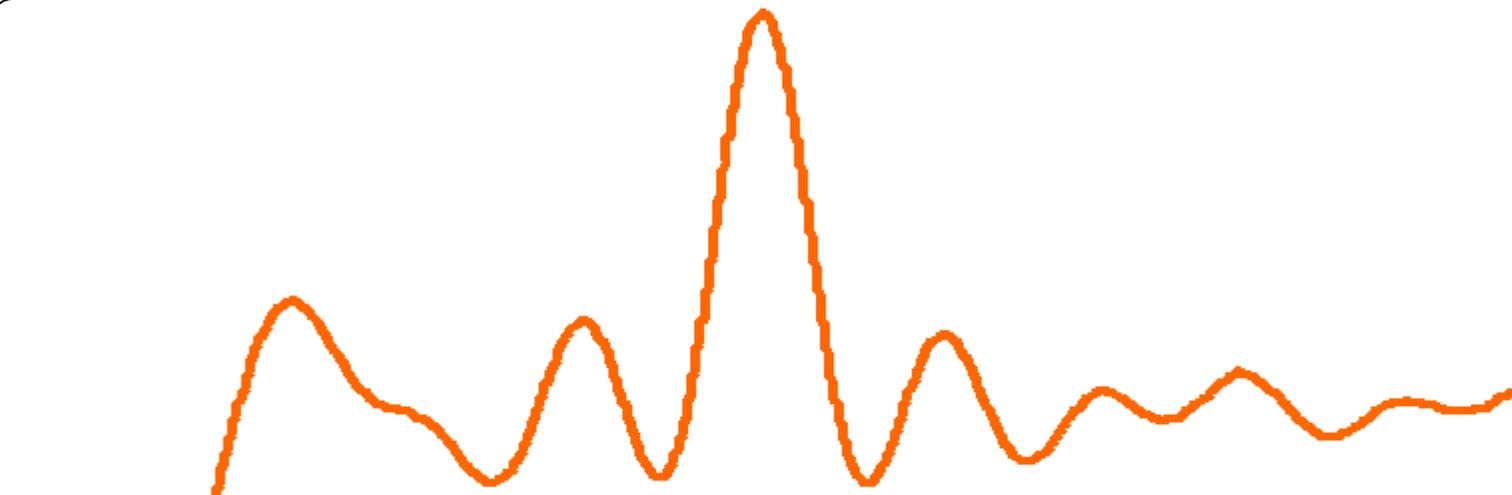


Antenne e propagazione



Il mezzo trasmissivo (canale)

La descrizione dei mezzi fisici è propedeutica all'illustrazione dei diversi sistemi di trasmissione.

Il **mezzo trasmissivo** trasporta a distanza l'informazione.

Utilizza onde elettromagnetiche (**OEM**) o luminose.

Mezzo trasmissivo **P** doppino telefonico, cavo coassiale,
fibra ottica, spazio libero, ecc.

Canale di trasmissione **P** canale "equivalente",
ingloba tutti gli effetti dei diversi mezzi trasmissivi presenti e
sconosciuti all'utente finale.

Esempio: collegamento per trasmissione dati che comprende
diversi mezzi trasmissivi, che possono anche variare durante il
collegamento.

Propagazione in spazio libero

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 in presenza del 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 |
|---------------------------|-----------------|
| $3 \cdot 10^5 \text{ km}$ | 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.

Principali caratteristiche:

- grande larghezza di banda disponibile,
- possibilità solo di collegamenti punto a punto,
- installazione molto costosa
- poco riconfigurabile per altri collegamenti.

- 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.

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.

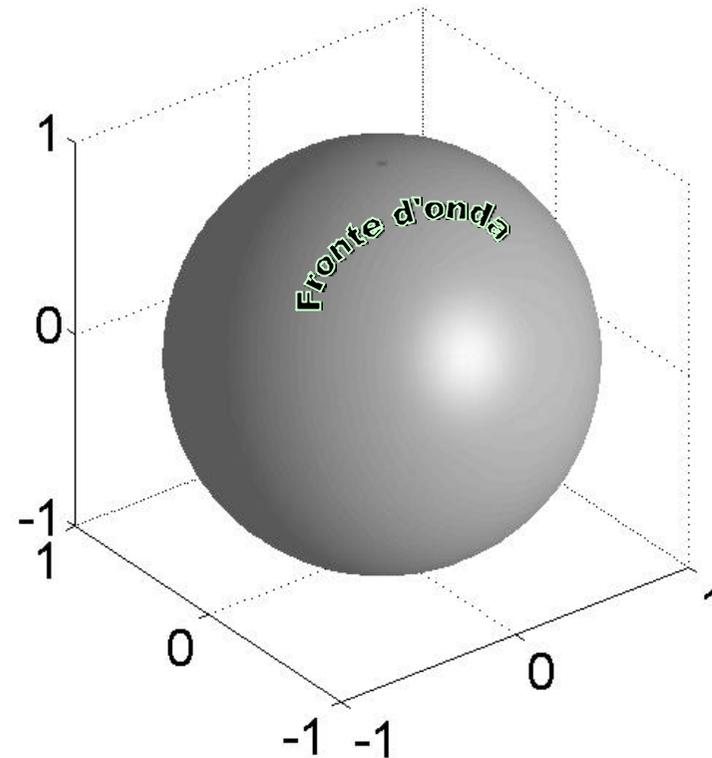
Propagazione in spazio libero

Caso ideale

Segnale irradiato:

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

La *densità di 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 (diversi elementi)

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, sotto e sovrappassi, ecc.)
- pioggia neve, nebbia
- vegetazione

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

Propagazione in spazio libero

La modalità di propagazione alle diverse frequenze può essere molto differente e pertanto esse sono in generale utilizzabili solo per alcuni tipi di servizio.

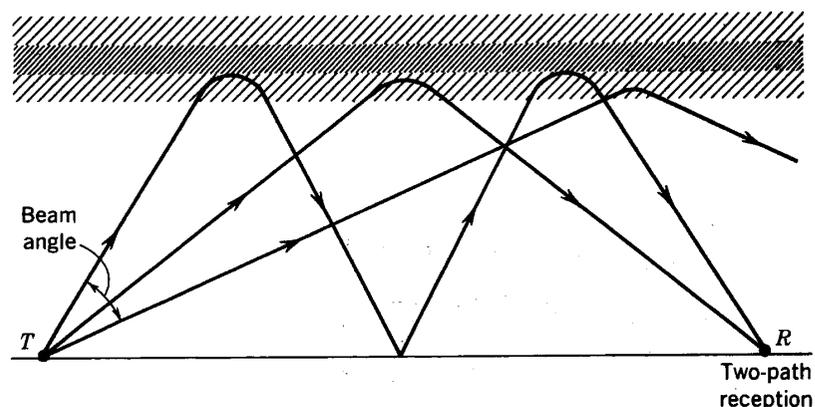
Esempio 1:

Diffusione radiofonica “tradizionale”: utilizza la modulazione di ampiezza.

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) che dal suolo terrestre. Sfruttando questa modalità possono viaggiare a grandissima distanza.



Propagazione in spazio libero

Esempio 2:

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

Inoltre sono state 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 per la banda disponibile trovano numerose applicazioni nel campo terrestre (sistemi radiomobili, **ponti radio a microonde**, radar, radionavigazione, ecc.)

Propagazione in spazio libero

Microonde

A causa della curvatura della terra è necessario che l'antenna trasmittente e quella ricevente siano in piena visibilità radioelettriche.

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.

L'utilizzo di frequenze superiori a 20 GHz limita la lunghezza della tratta quasi unicamente per la presenza di forti attenuazioni dovute a fenomeni atmosferici.

Esistono sistemi che utilizzano la propagazione troposferica, cioè la diffusione in varie direzioni di raggi secondari causata da disomogeneità presenti nella troposfera.

Si ha una ricezione molto debole e temporalmente molto discontinua.

Antenne

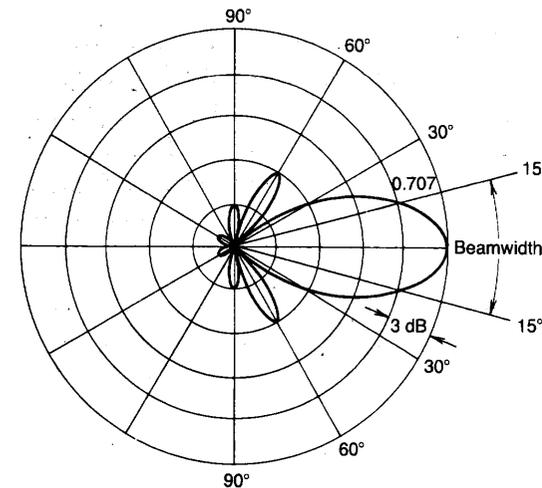
Caratteristiche delle antenne utilizzate nei sistemi di telecomunicazione.

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 è un caso molto ideale.

Nella pratica le antenne sono più o meno direttive, irradiano preferibilmente in certe direzioni o su determinati piani.

Una descrizione sintetica del modo di irraggiare di un'antenna è dato dal diagramma di radiazione.

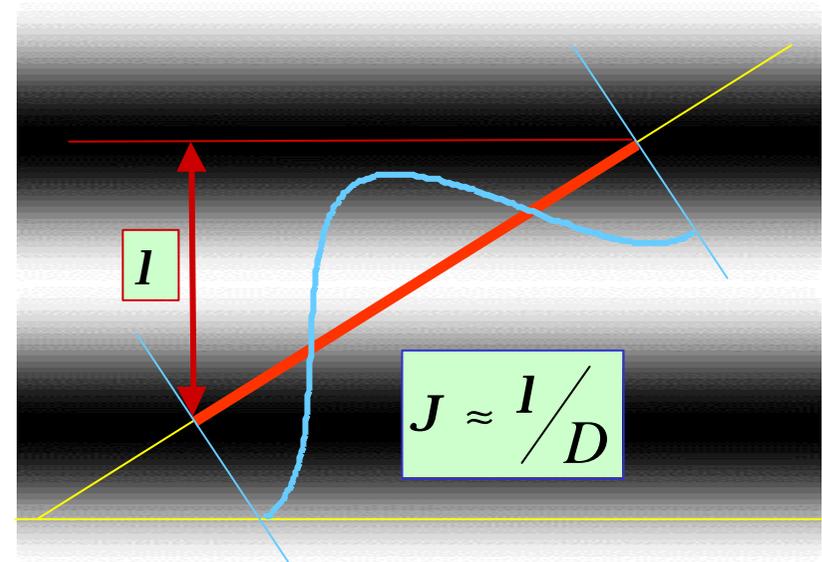
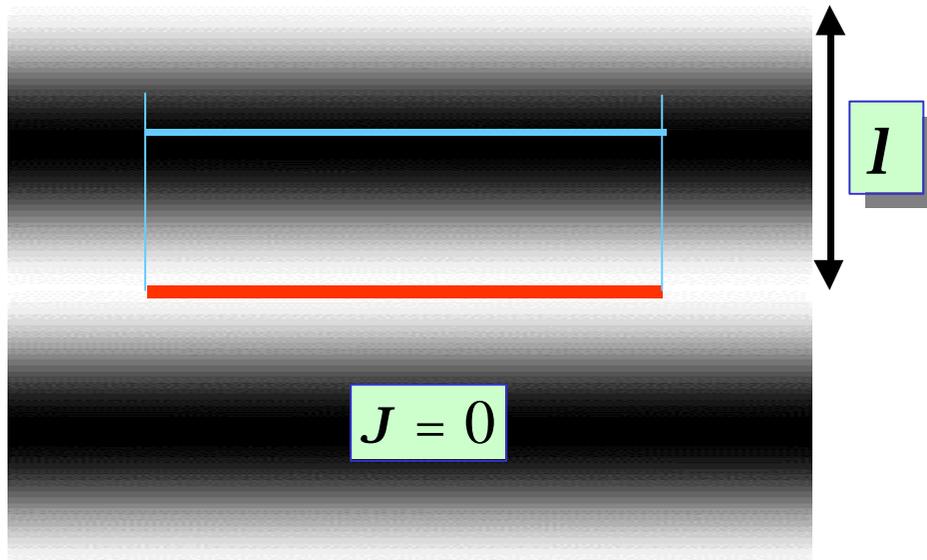
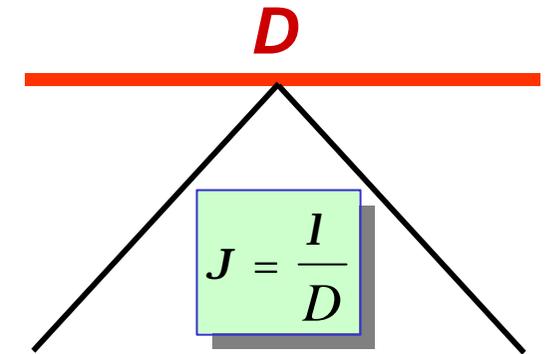


Antenne: apertura del fascio

L'angolo di apertura del fascio di radiazione risulta proporzionale alla lunghezza d'onda λ ed inversamente proporzionale alle dimensioni fisiche dell'antenna D .

Se il fronte dell'onda e' parallelo ($q=0$) all'antenna lunga D , \rightarrow l'antenna e' illuminata in modo uniforme \rightarrow tutti i contributi di radiazione si sommano in fase \rightarrow il segnale ricevuto e' massimo. Se l'onda incide con $q = \pm \lambda / D$, i contributi sono sfasati \rightarrow la somma costruita dall'antenna e' nulla.

Per valori di q intermedi, l'apertura utile del fascio (trasmissione e/o ricezione) e' compresa tra $-\lambda / 2D$ a $+\lambda / 2D$. Si conclude che l'apertura del fascio e' $1 / D$ RADIANTI

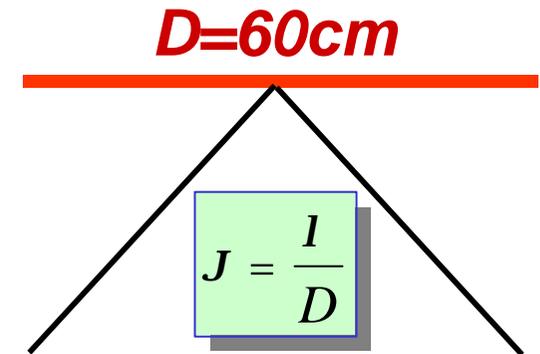


Antenne: precisione di puntamento

Consideriamo il caso del puntamento dell'antenna parabolica (la parabola che vediamo sui tetti delle nostre case) per la ricezione del segnale televisivo numerico. Il diametro della parabola sia $D=60\text{cm}$, la frequenza del segnale e' circa $f=12\text{GHz}$. Con quale precisione dobbiamo puntare la parabola verso il satellite \otimes quale e' l'errore massimo di puntamento?

$$l = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{12 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 2.5 \text{ cm}$$

$$J = \frac{l}{D} = \frac{0.25 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} = 0.0417 \text{ rad} = 0.0417 \frac{180}{p} \text{ gradi} \approx 2.4^\circ$$



Quindi, se incliniamo l'antenna di $\pm 1.2^\circ$ rispetto al puntamento ottimale siamo al limite dell'apertura "nominale" dell'antenna. La potenza ricevuta diventa meta' di quella che si avrebbe con il puntamento ottimale. Pertanto, il puntamento deve deviare di meno di $\pm 0.6^\circ$ rispetto a quello ottimale.

Antenne: guadagno e area efficace

G= Guadagno dell'antenna.

Rapporto fra il flusso di potenza irradiato nella direzione di massimo e quello di un antenna isotropa.

Il guadagno ci dice di quanto "aumenta" il flusso di potenza rispetto al caso di propagazione isotropa. Misura la capacità di concentrare la potenza in una determinata direzione (o in un piano).

A= Area Efficace.

La potenza del segnale all'uscita della antenna ricevente è proporzionale al flusso di potenza di segnale che arriva dove è l'antenna. Il coefficiente di proporzionalità è l' area efficace (o apertura) **A** dell'antenna, dipendente dalle sue dimensioni fisiche.

Antenne: legame tra G, A e I

Il guadagno G e' il rapporto fra il flusso di potenza nella direzione di massima radiazione e quello di un antenna isotropa.

Un'antenna isotropa distribuisce la potenza su tutta la superficie di una sfera di raggio R ; un'antenna rettangolare di lati D_1 e D_2 (quindi di area $A = D_1 D_2$), concentra la potenza aall'interno del fascio di radiazione.

$$(J_1 R)(J_2 R) = \frac{I^2}{D_1 D_2} R^2 = \frac{I^2}{A} R^2$$

Flusso di potenza di un'antenna con area A

$$\frac{P_t A}{I^2 R^2}$$

Flusso di potenza di un'antenna isotropa.

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

Guadagno d'antenna.

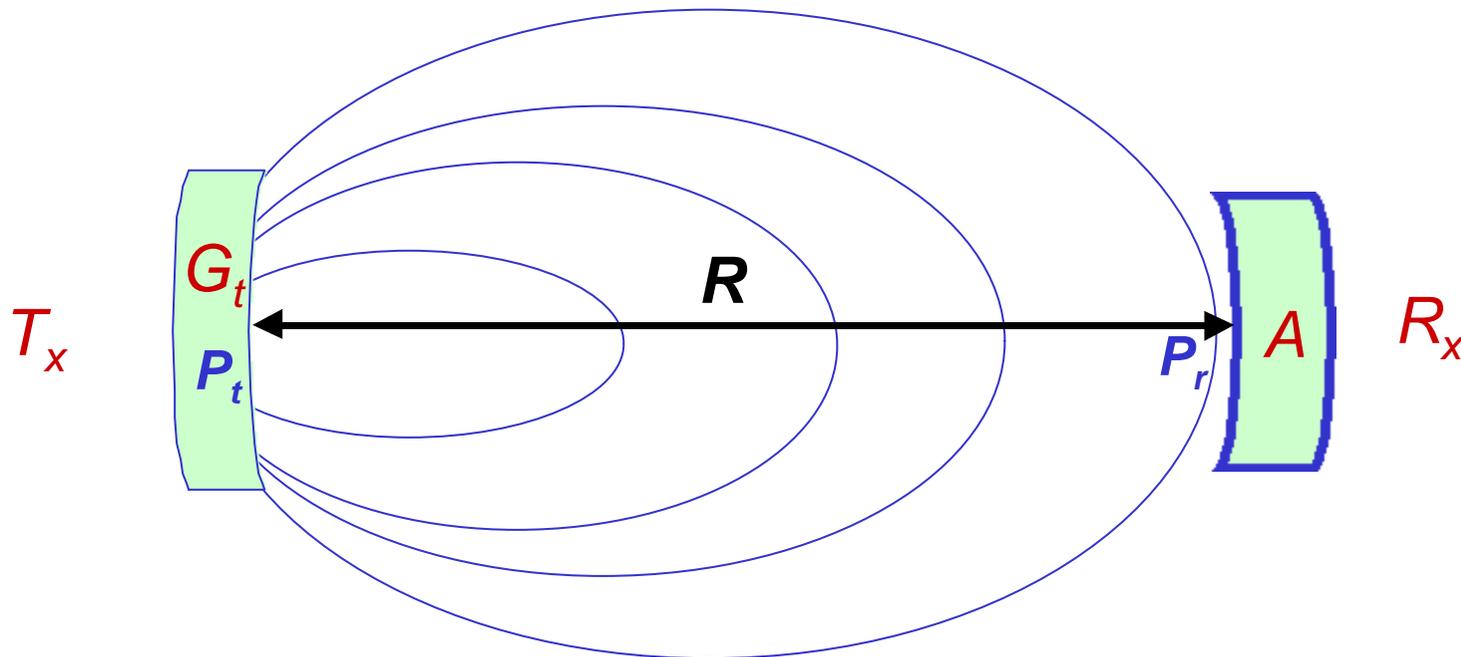
$$G = \frac{\frac{P_t A}{I^2 R^2}}{\frac{P_t}{4\pi R^2}} = \frac{4\pi A}{I^2}$$

Antenne: principi di funzionamento e caratteristiche

Potenza ricevuta da un antenna

- area efficace antenna ricevente: A
- distanza $T_x - R_x$: R
- Potenza trasmessa: P_t
- guadagno dell'antenna T_x : G_t

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



Attenuazione dovuti a fenomeni atmosferici

Abbandoniamo l'ipotesi di propagazione nel vuoto. Vediamo cosa succede quando una OEM si propaga in uno **mezzo fisico reale**.

Principali effetti della propagazione in un mezzo:

- *assorbimento*: trasformazione di energia elettromagnetica in termica (mezzo assorbente)
- *diffusione*: dispersione dell'energia elettromagnetica in varie direzioni (mezzo non omogeneo)
- *rifrazione*: cambiamento della direzione di propagazione (variazioni dell'indice di rifrazione)
- *diffrazione*: cambiamento della direzione di propagazione dell'onda e allargamento del fascio (in presenza di ostacoli o aperture)
- *cammini multipli*: l'onda arriva all'antenna Rx seguendo due o più cammini differenti (irregolarità dell'indice di rifrazione, superfici riflettenti, diffusori)
- *depolarizzazione*: variazione della polarizzazione dell'onda (mezzi anisotropi)
- *dispersione in frequenza*: variazione di ampiezza e fase delle componenti spettrali (mezzi disperdenti)

Attenuazione dovuti a fenomeni atmosferici

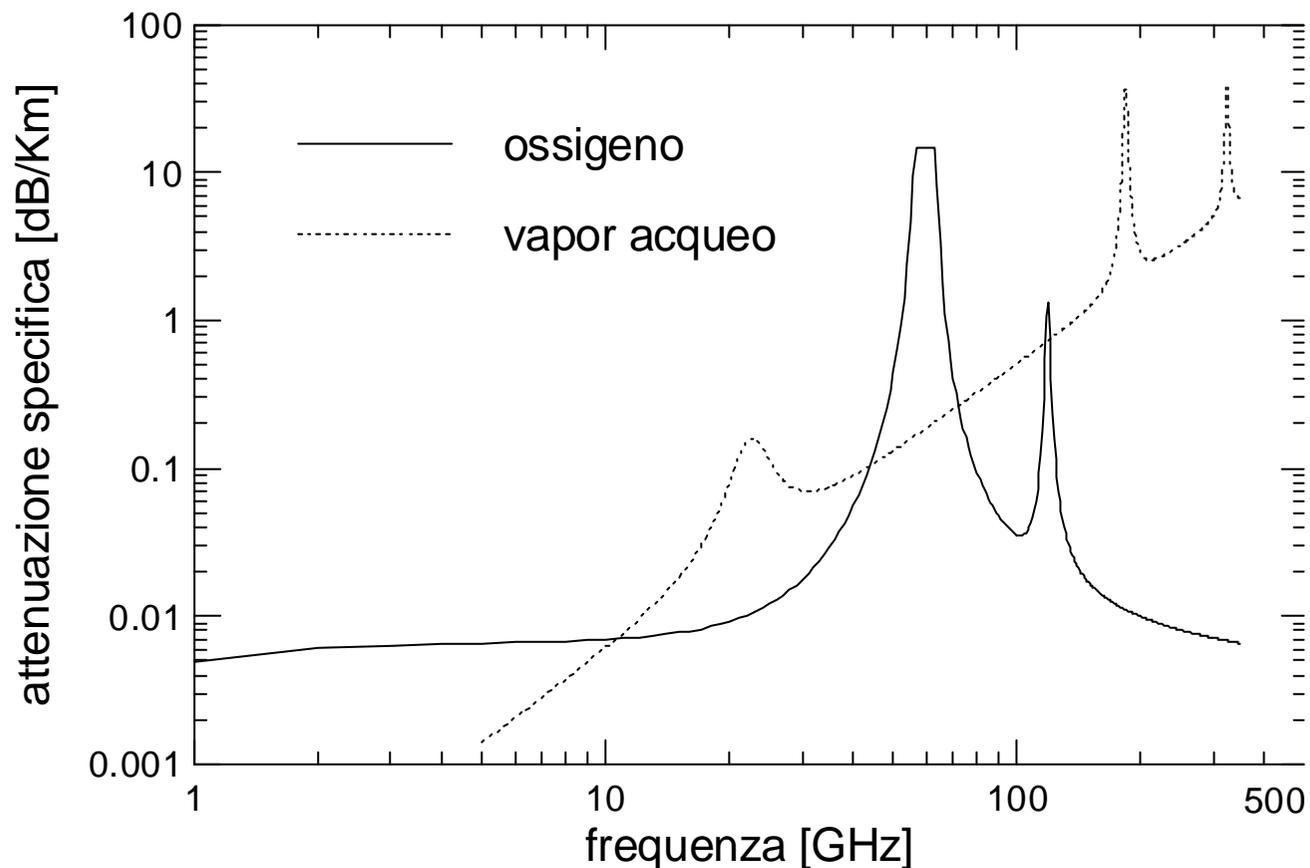
Fenomeni atmosferici e meteorologici che hanno impatto sulla propagazione:

- ❑ gas atmosferici (presenze di differenti elementi)
- ❑ idrometeore (pioggia, neve, grandine, ecc.)
- ❑ cristalli di ghiaccio in sospensione
- ❑ turbolenza atmosferica

Ognuno dei fenomeni può avere anche effetti diversi da quelli precedentemente visti

Attenuazione dovuti a fenomeni atmosferici

Assorbimento da gas: dipende dalla frequenza di trasmissione, dalla temperatura, dalla pressione e dalla concentrazione del vapore acqueo



Attenuazione specifica dell'ossigeno e del vapor d'acqua in funzione della frequenza
($P=1$ atm., $T=20^{\circ}\text{C}$, $\rho_{\text{wv}}=7.5$ g/m³)