Modello di Propagazione + realistico.

Nel mondo reale la potenza ricevuta $P_r(d)$, dove d è la distanza tra sorgente e ricevitore, viene attenuata con la distanza seguendo una legge di questo genere

$$P_r(d) \propto d^{-\eta}$$

con η che può arrivare anche a 7.

Valori tipici sono $\eta = 2$ per piccole distanze, $\eta = 3$ o $\eta = 4$ per distanze tipiche delle reti cellulari.

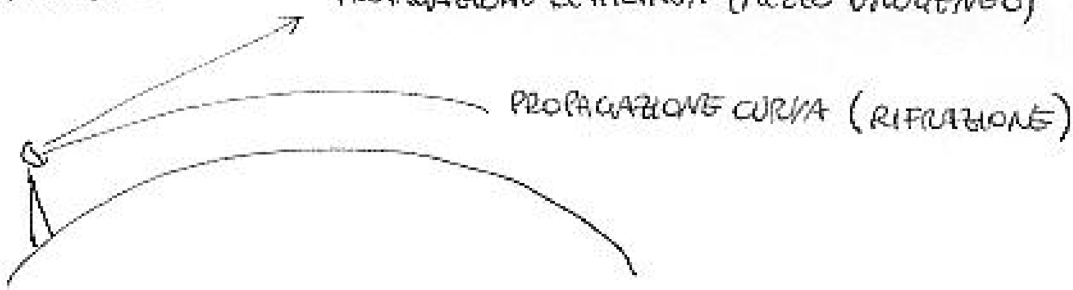
Quindi in scenari realistici si deve tener conto di

- eventuali ostacoli fra trasmettitore e ricevitore
- elementi che assorbono e diffondono il segnale
- elementi che rifraggono il segnale
- ostacoli che diffraggono e riflettono il segnale

Questi elementi influiscono sull'attenuazione del segnale e creano una molteplicità di percorsi tra sorgente e ricevitore cioè il MULTIPATH.

La propagazione in atmosfera è caratterizzata da un'attenuazione maggiore rispetto allo spazio libero. Questo perché nell'aria sono presenti varie particelle che determinano il fenomeno di assorbimento

RIFRAZIONE



A causa della curvatura terrestre esiste un'altezza minima da rispettare (per evitare l'arrotondamento terrestre): ad esempio con torri da 60m si raggiungono distanze (in visibilità) di 50 Km (ovviamente il problema si presenta in pianura). Nel calcolare l'altezza delle torri (che non possono essere troppo alte in quanto in presenza di vento forte le antenne possono spostarsi e perdere il puntamento, inoltre il costo delle torri aumenta esponenzialmente con l'altezza) ed il puntamento dell'antenna si deve considerare anche il fenomeno legato al fatto che l'onda elettromagnetica, propagandosi, si piega a causa di strati atmosferici con indici di rifrazione maggiori (si piega verso la terra).

Max distanza (LOS) raggiungibile da un'antenna con altezza h

$$d_{max} = \sqrt{2 k R_T h}$$

- $R_T = 6370$ Km (raggio della terra)
- k va da $\frac{4}{3}$ in zone temperate a 0,4/0,5 in zone tropicali.

DIFFRAZIONE

Man mano che l'onda si allontana dalla sorgente il suo fronte si allarga lungo una superficie sferica sempre più ampia che ne determina una diminuzione della densità di energia nei singoli punti dello spazio.

Per determinare con accuratezza questa diminuzione bisogna tener conto dell'energia che si propaga in direzioni diverse da quella rettilinea.

Per fare ciò si prende in considerazione la regione di spazio che riceve la maggior parte dell'energia emessa e si introduce il concetto di zone di FRESNEL.

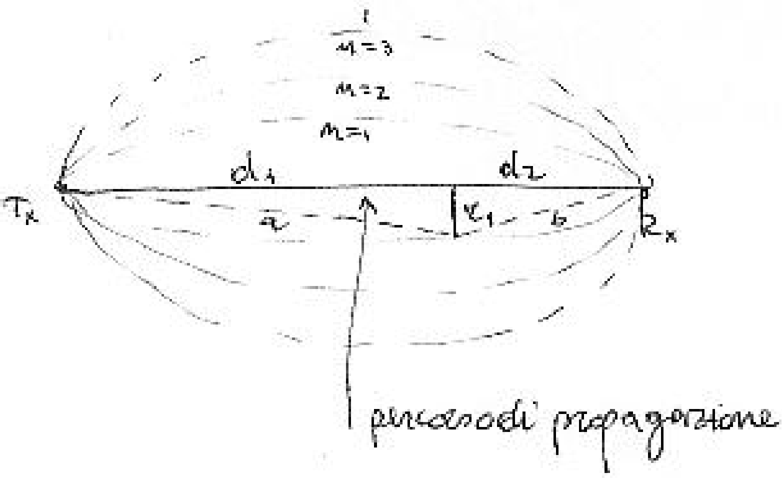
L'area tra il trasmettitore e il ricevitore può essere definita da una serie di ellissoidi concentrici che corrispondono al campo dell'onda radio che si va allargando in esse.

Ogni superficie di Fresnel $(1, 2, \dots, n)$ individua una rotazione del campo elettrico pari a $n\pi$ con una conseguente differenza di cammino rispetto al segnale trasmesso lungo la LOS. (FIG)

$$d_1 + d_2 + \frac{n\lambda}{2} = a + b$$

Per garantire l'assenza di ostacoli all'interno del primo ellissoide di F. bisogna considerare il raggio di tale ellissoide o meglio la distanza tra un punto dell'ellissoide e la LOS.

$$r_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

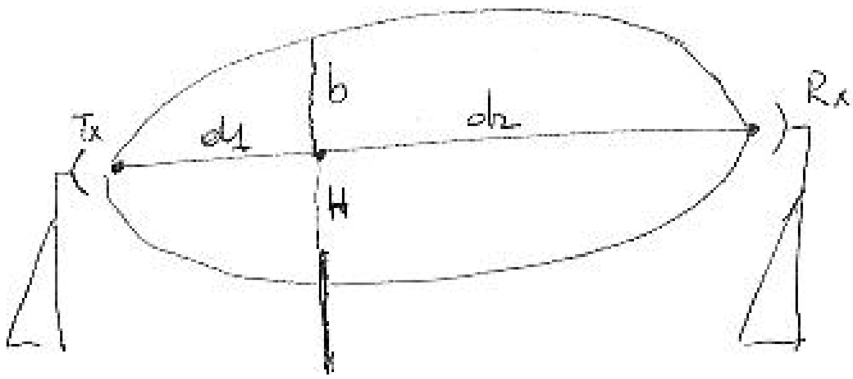


Dalla relazioni nel raggio r_n si può notare che il valore massimo del raggio dell'ellissoide di F., in qualunque collegamento, si troverà al centro del cammino da trasmettitore a ricevitore, cioè quando $d_1 = d_2$.
La larghezza dell'ellissoide è, inoltre, direttamente proporzionale al valore della lunghezza d'onda λ e di conseguenza inversamente proporzionale al valore della frequenza f. Questo significa che all'aumentare della frequenza il raggio dell'ellissoide diminuisce fino a diventare irrilevante per le frequenze ottiche.
Il modulo del campo elettrico risulta degradato all'aumentare di n e di conseguenza per garantire una buona ricezione è sufficiente prendere in considerazione la sola prima zona.
La prima zona di Fresnel può essere pensata come la regione dove è localizzata gran parte della potenza trasmessa dalla sorgente, se tale potenza è ostruita in maniera significativa o bloccata, la potenza disponibile al ricevitore sarà ridotta.
Nell'analisi del percorso l'ellissoide di Fresnel deve essere considerato in maniera tridimensionale, ovvero come un volume ellissoidale. Se si vuole un percorso senza perdite si deve

garantire una zona di F. tridimensionale priva di ostruzioni.

Un ostacolo che si trova all'interno della prima ellisse produce dunque una perdita sul segnale totale che giunge al ricevitore.

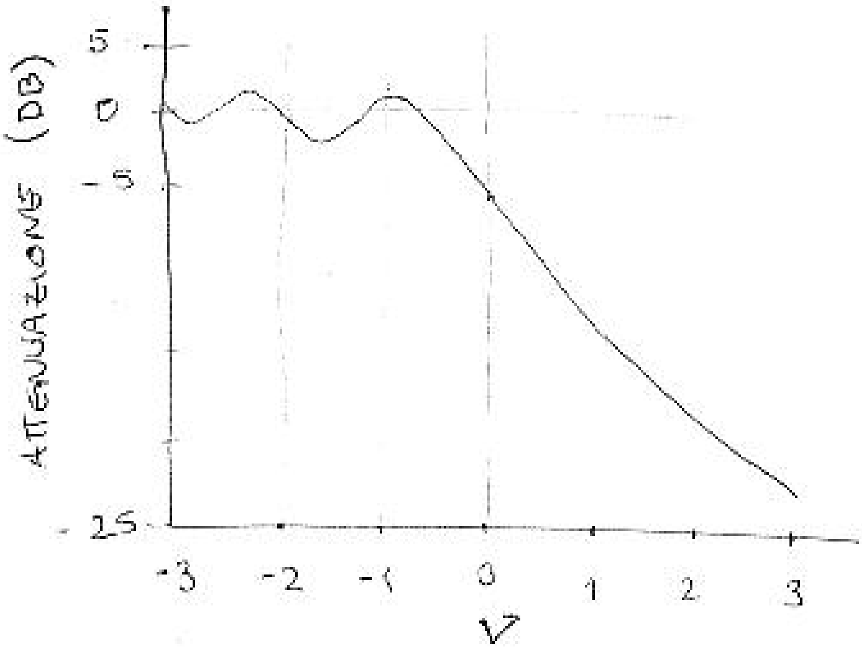
Lo scenario può essere modellato considerando l'ostacolo come un piano di spessore nullo ovvero applicando il modello Knife edge diffraction model. L'ostacolo si comporta come una sorgente secondaria.



L'attenuazione del segnale F attraverso questo modello è calcolato in funzione di un parametro v definito indice di Fresnel, che è a sua volta calcolato in funzione del raggio della prima zona di Fresnel b e della distanza, in valore assoluto, tra l'apice dell'ostruzione e il raggio diretto H:

$$v = \sqrt{2}\ \frac{H}{b}$$

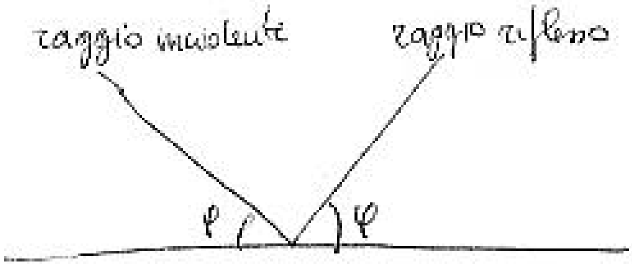
L'andamento dell'attenuazione in funzione dell'indice di Fresnel è rappresentato graficamente:



Per valori di V molto piccoli ovvero per $H \ll b$ si ha la tangenza del piano rispetto alla LOS e di conseguenza il campo elettrico transitante risulta essere pari a metà di quello trasmesso. All'aumentare dell'intersezione del piano con la zona di Fresnel l'attenuazione riduce rapidamente il campo elettrico transitante.

RIFLESSIONE

Tale fenomeno si ha quando l'onda incidente su una superficie localmente piana (terrazzi, laghi, palazzi, colline), viene riflessa.
In tale fenomeno l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.



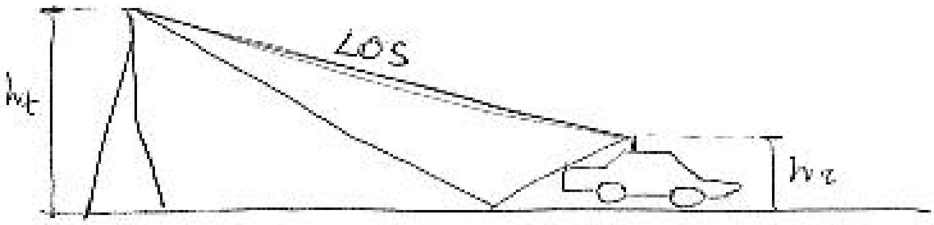
Ogni superficie è caratterizzata da un coefficiente di riflessione

$$\gamma = \rho e^{j\theta} = \frac{E_r}{E_i} \quad \begin{matrix}\text{campo elettrico riflesso} \\ \text{campo elettrico incidente}\end{matrix}$$

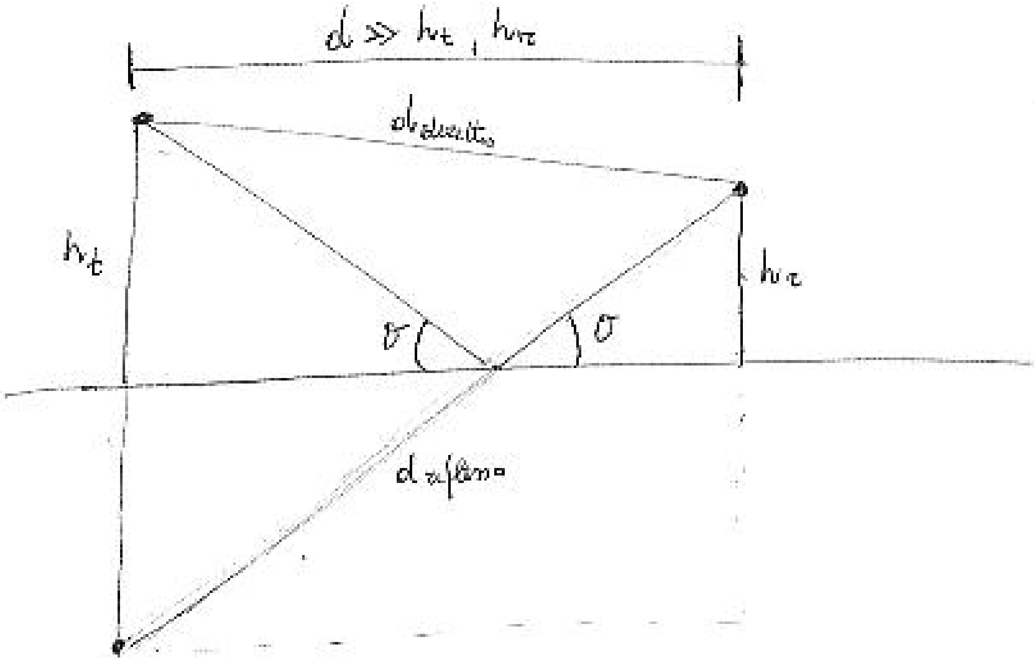
DIFFUSIONE (SCATTERING)

L'onda che arriva su una superficie scabra, le cui dimensioni sono minori della sua lunghezza d'onda (λ) o dello stesso ordine, viene rinviata in una moltitudine di piccoli segnali lungo varie direzioni.
(es. vegetazione, nuvole, segnali stradali)

Modello di propagazione a 2 Raggi. (Two Ray model)



Il modello assume un percorso diretto LOS e uno riflesso con una potenza significativa
Le antenne trasmittenti e riceventi generalmente hanno altezze differenti.



$$d_{diretto} = \sqrt{d^2+(h_t-h_r)^2} = d\left\{1+\left(\frac{h_t-h_r}{d}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} =$$

$$\cong d\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{h_t+h_r}{d}\right)^2\right\}$$

$$d_{riflesso} = \sqrt{d^2+(h_t+h_r)^2} = d\left\{1+\left(\frac{h_t+h_r}{d}\right)^2\right\}^{1/2} \cong d\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{h_t+h_r}{d}\right)^2\right\}$$

$$d_{riflesso} - d_{diretto} \cong d\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{h_t + h_r}{d}\right)^2\right\} - d\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{h_t - h_r}{d}\right)^2\right\} =$$

$$= \frac{2 h_t h_r}{d} = \Delta d \quad \text{differenza di distanza}$$

Al ricevitore arriverà quindi un segnale dato dalla somma delle 2 onde elettromagnetiche, l'onda diretta e l'onda riflessa. Entrambe le onde subiranno un'attenuazione lungo il percorso.

attenuazione lungo il percorso diretto

$$\text{raggio diretto} \quad \propto \quad A \cos\left[2\pi f\left(t - \frac{d_{diretto}}{c}\right)\right]$$

$$\text{raggio riflesso} \quad \propto \quad B \cos\left[2\pi f\left(t - \frac{d_{riflesso}}{c}\right)\right]$$

attenuazione lungo il percorso riflesso

- differenza di fase

$$\Delta\varphi = 2\pi f \frac{\Delta d}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d}$$

La potenza ricevuta dal ricevitore, assumendo che

$d_{diretto} \sim d_{riflesso}$

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L}\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \cdot \left(\left|1 + \rho e^{j\Delta\varphi}\right|\right)^2$$

~~[illegible]~~ ρ coefficiente di riflessione

Assumendo una riflessione ideale $(\rho = -1)$

$$\left(\left|1 - e^{j\Delta\varphi}\right|\right)^2 = \left(\sqrt{2 - 2\cos(\Delta\varphi)}\right)^2 = 4\sin^2(\Delta\varphi/2)$$

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L}\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \cdot 4\sin^2\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right)$$

tipici valori di:

h_t dell'ordine di poche decine di metri

h_r pochi metri

λ poche decine di cm

d tra centinaia di metri a pochi km

Dato che $\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}$ è una quantità piccola

$$\Longrightarrow \sin^2\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right) \approx \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right)^2$$

Quindi $P_r(d)$ sarà uguale a:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \cdot 4\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right)^2 =$$

$$= \frac{P_t G_t G_r}{L} \cdot \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

da cui $P_r(d) \propto d^4$

Esempio modello di propagazione a 2 raggi

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L} \cdot \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \Rightarrow$$

$$d^4 = h_t^2 h_r^2 \cdot \frac{P_t}{P_r} \frac{G_t G_r}{L}$$

$h_t = 10 \ m$

$h_r = 2 \ m$

$P_t = 30 \ W$

$P_r = 10^{-6} \ W$

$G_t = G_r = L = 1$

$$d^4 = 100 \cdot 4 \cdot \frac{30}{10^{-6}} = 100 \cdot 4 \cdot 30 \cdot 1000000 =$$

$$= 12.000.000.000$$

$d \approx 331 \ m$

$$\left|1-e^{j\Delta\varphi}\right| = \left|(1-\cos\Delta\varphi) - j(\sin\Delta\varphi)\right| =$$

$$= \sqrt{(1-\cos\Delta\varphi)^2 + \sin^2\Delta\varphi} =$$

$$= \sqrt{1+\underline{\cos^2\Delta\varphi} - 2\cos\Delta\varphi + \underline{\sin^2\Delta\varphi}} =$$

$$= \sqrt{(2 - 2\cos\Delta\varphi)} =$$

Formula di bisezione : $\sin\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}} \Rightarrow 1-\cos\alpha = 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$

$$= \sqrt{2(1-\cos\Delta\varphi)} = \sqrt{4\sin^2\frac{\Delta\varphi}{2}} =$$

$$= 2\sin\frac{\Delta\varphi}{2}$$

$$\left(\left|1-e^{j\Delta\varphi}\right|\right)^2 = 4\sin^2\frac{\Delta\varphi}{2}$$