



- Analizziamo adesso brevemente ciascuno di questi aspetti
- Quelli più legati alle problematiche di rete saranno poi ripresi in seguito

■ canale wireless

■ consumo energetico

■ mezzo condiviso



Canale Wireless

*risponderemo alla seguente domanda:
-quali sono le ragioni per la presenza di errori nella
trasmissione ?*



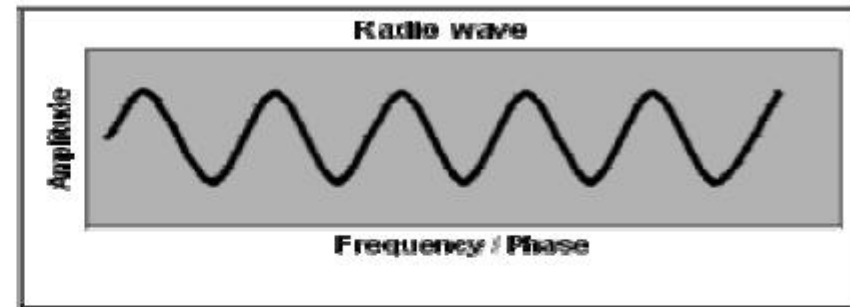
Canale wireless

- Rispetto ai mezzi cablati il canale radio è un mezzo di trasmissione molto "più inaffidabile"
- I segnali che si propagano in aria sono soggetti a fenomeni di:
 - Attenuazione funzione della distanza tra trasmettitore e ricevitore
 - Attenuazione dovuta ad ostacoli
 - Propagazione per cammini multipli (multipath)

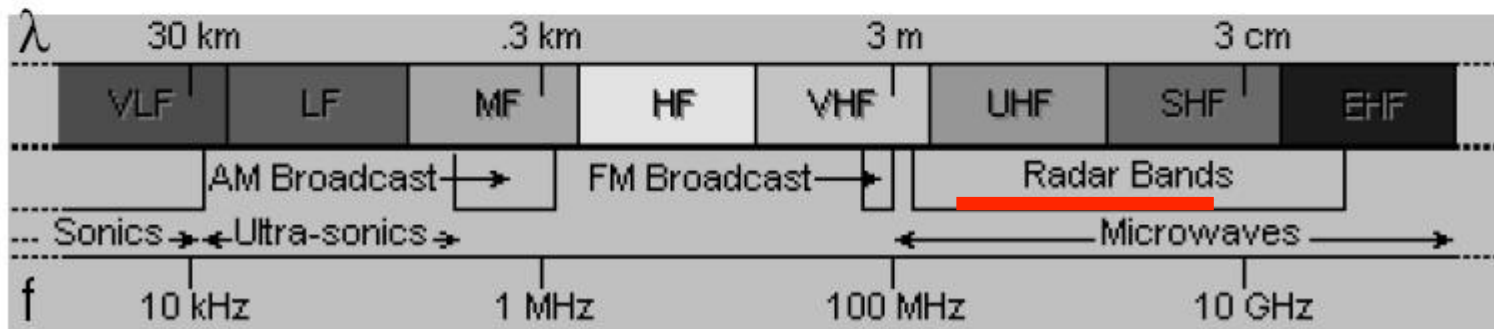


$$s(t) = A \cos(2\pi ft + \varphi)$$

- Radio wave
 - Wavelength $\lambda = c/f$
 - Speed of light $c=3 \times 10^8$ m/s
 - Frequency: f



[VIUISIE]HF = [Very|Ultra|Super|Extra] High Frequency



$$f = 900 \text{ MHz} \rightarrow \lambda = 33 \text{ cm}$$





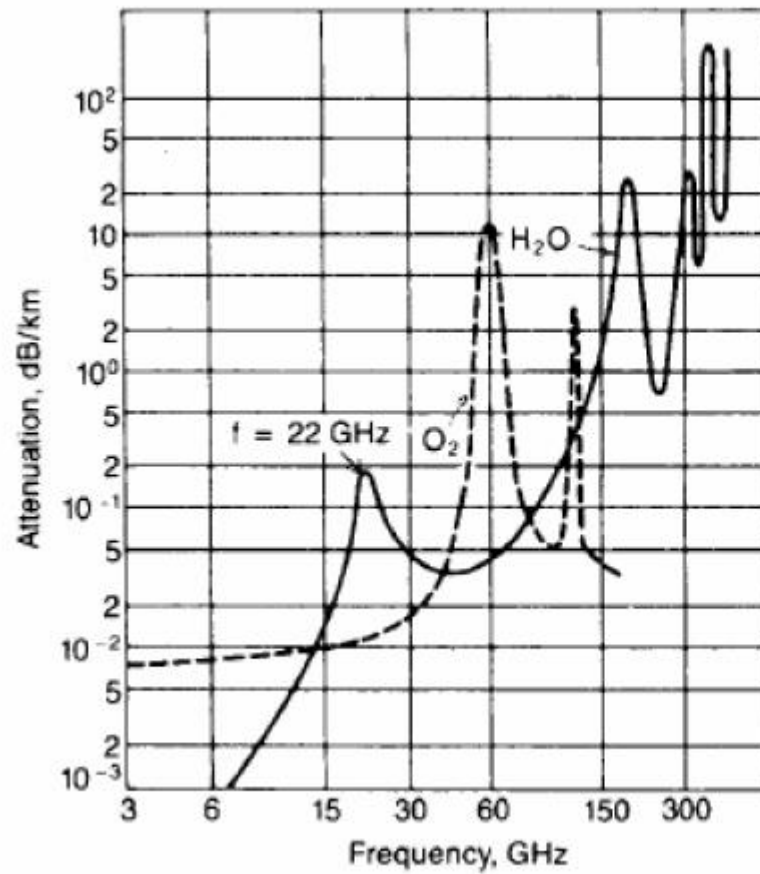
The radio spectrum

ELF	<3 KHz	Remote control, Voice, analog phone
VLF	3-30 KHz	Submarine, long-range
LF	30-300 KHz	Long-range, marine beacon
MF	300 KHz – 3 MHz	AM radio, marine radio
HF	3-30 MHz	Amateur radio, military, long-distance aircraft/ships
VHF	30-300 MHz	TV VHF, FM radio, AM x aircraft commun.
UHF	300 MHz - 3 GHz	Cellular, TV UHF, radar
SHF	3-30 GHz	Satellite, radar, terrestrial wireless links, WLL
EHF	30-300 GHz	Experimental, WLL
IR	300 GHz – 400 THz	LAN infrared, consumer electronics
Light	400-900 THz	Optical communications





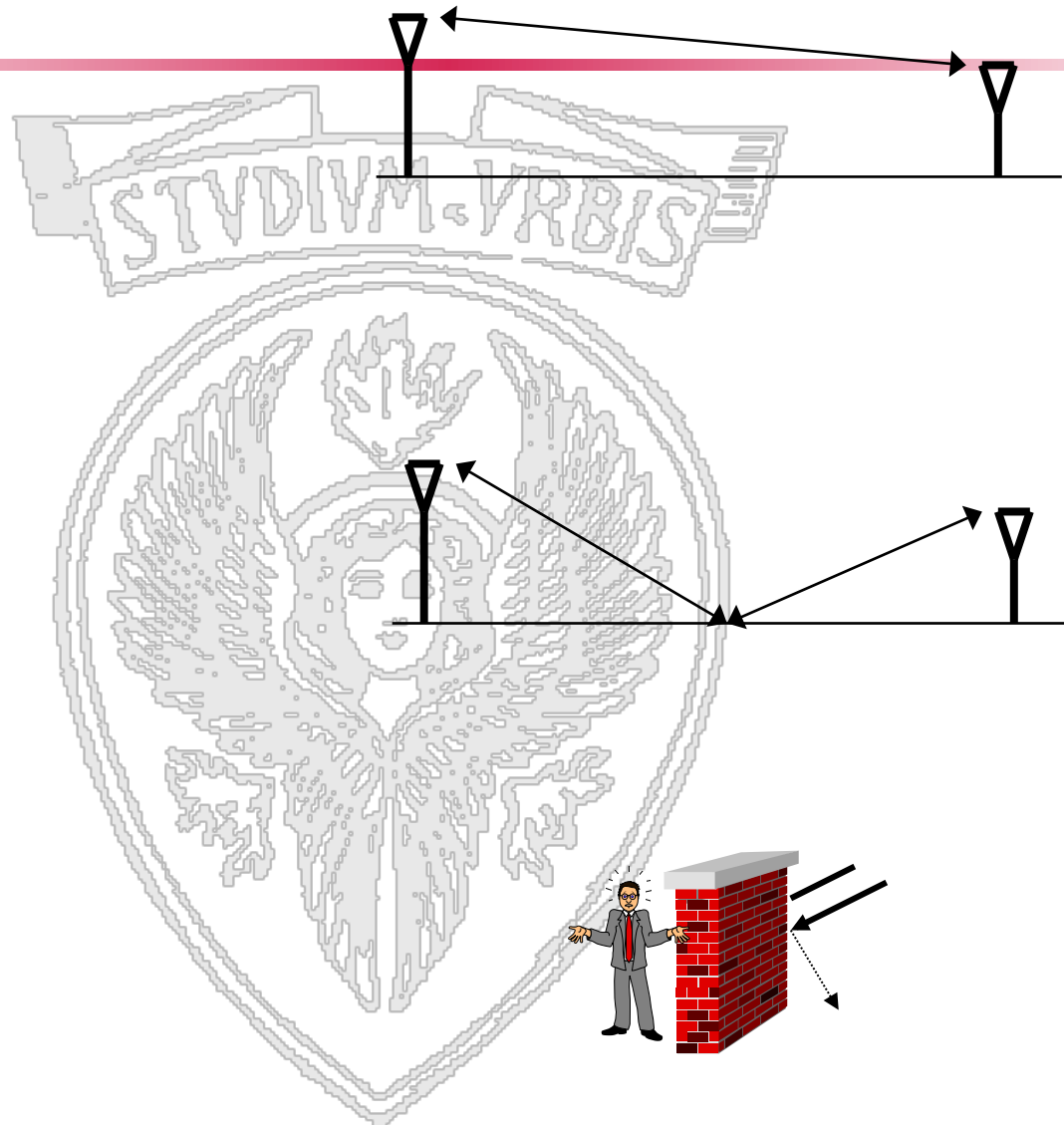
Attenuation phenomena for millimeter waves (EHF)



Impairments due to
-Oxygen
- water vapour



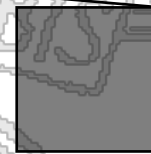
- Line of sight
- Reflection
- Shadowing





→ Diffraction

- When the surface encountered has sharp edges
- bending the wave

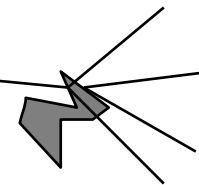


MS



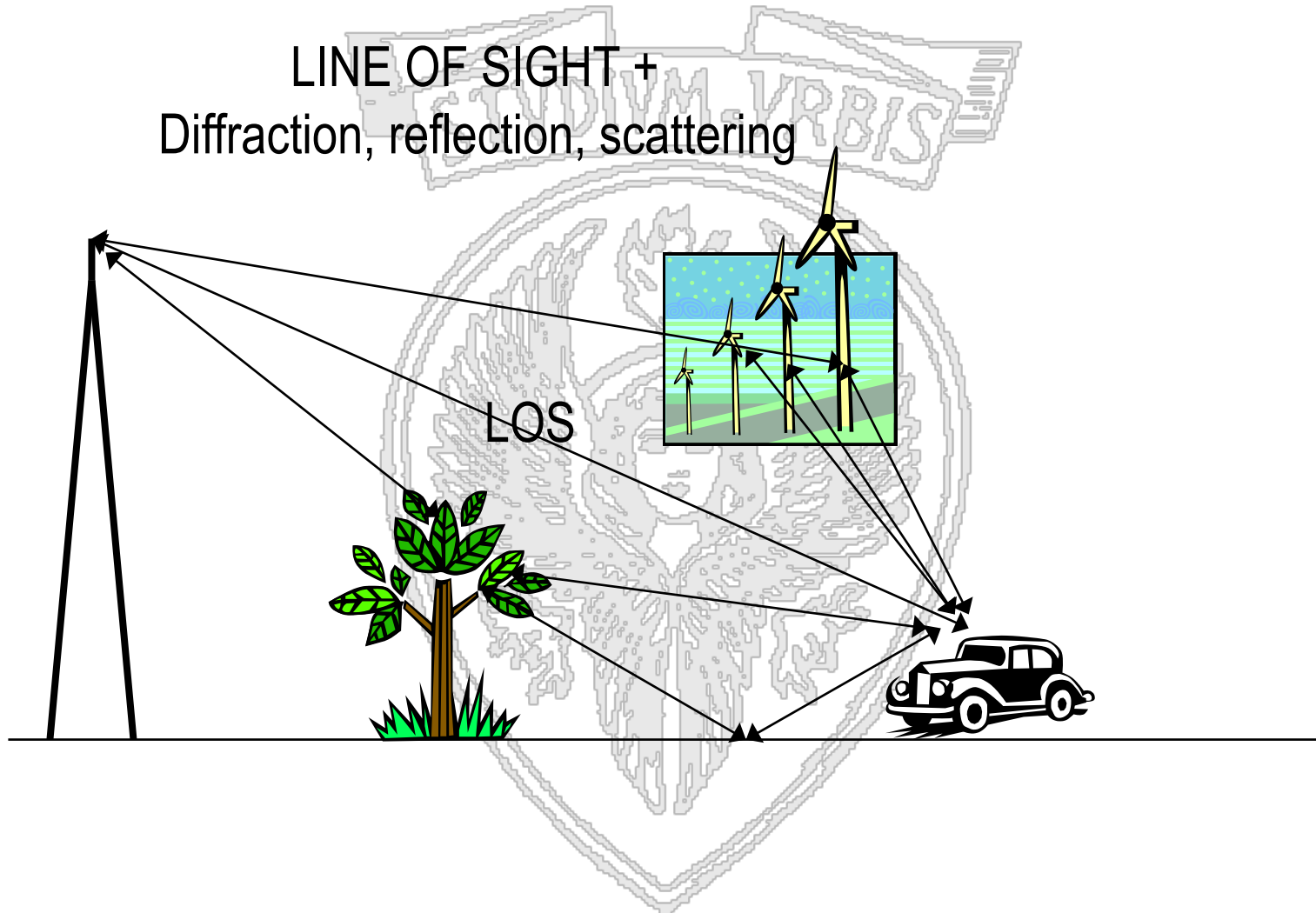
→ Scattering

- When the wave encounters objects smaller than the wavelength (vegetation, clouds, street signs)





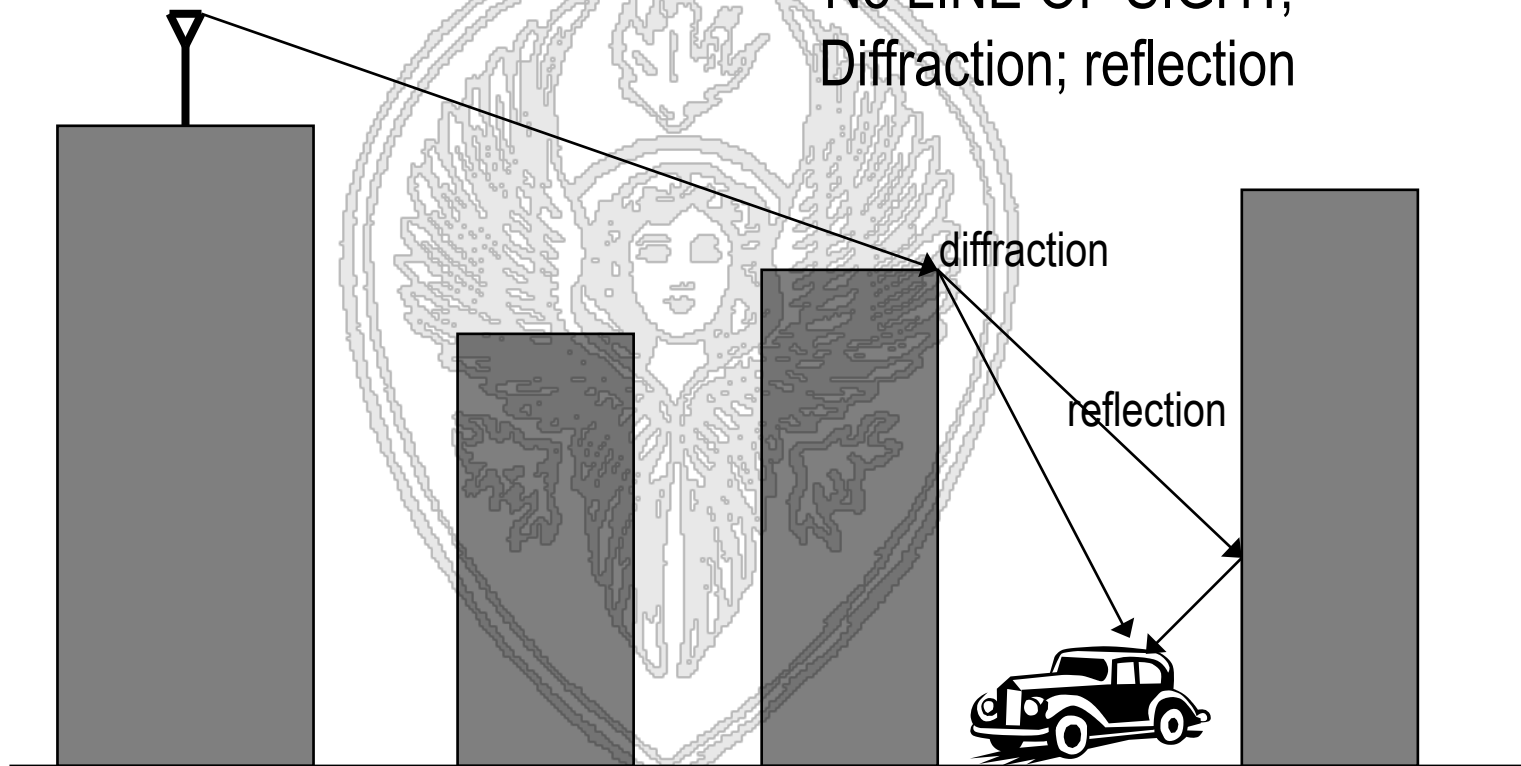
LINE OF SIGHT +
Diffraction, reflection, scattering

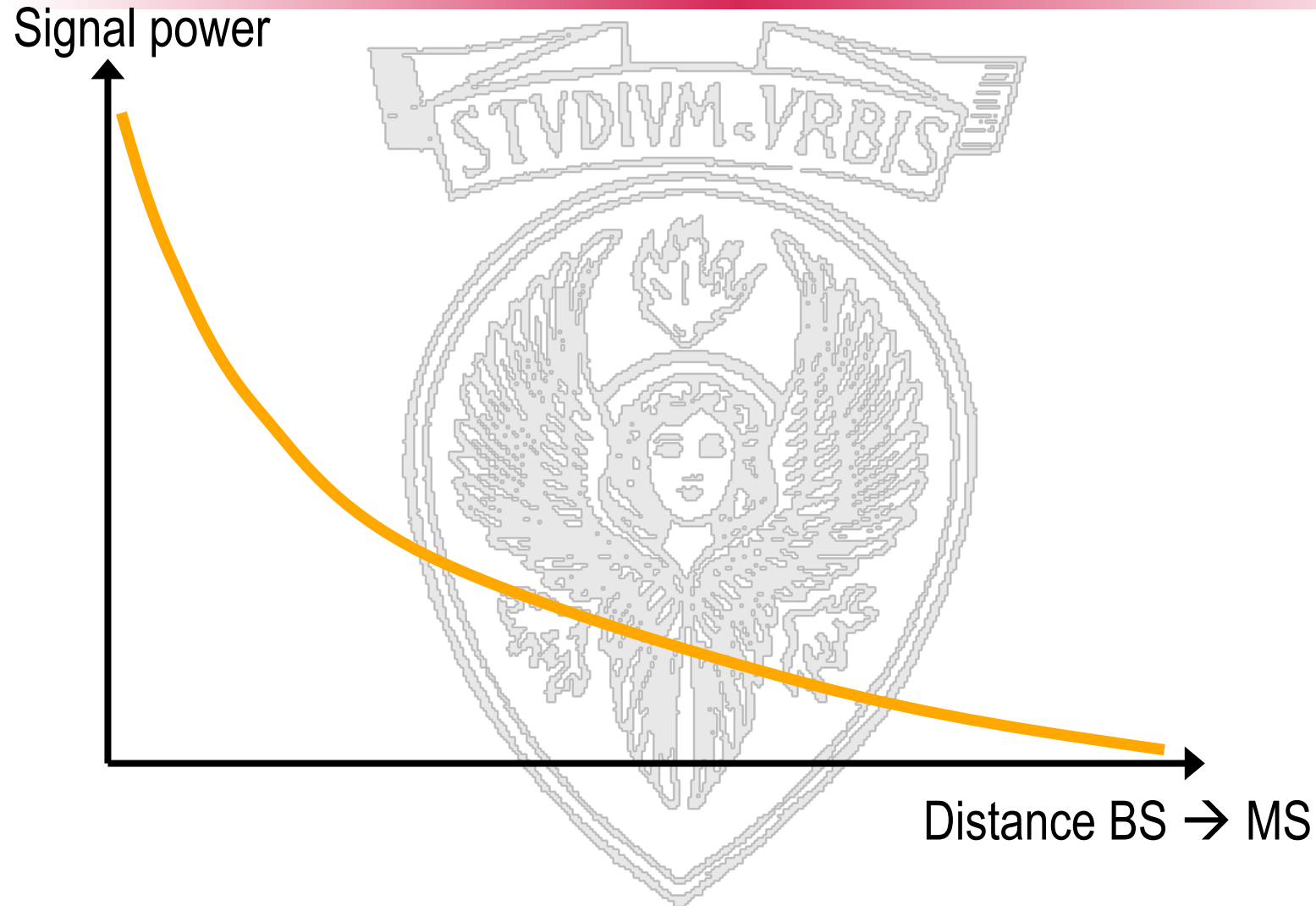


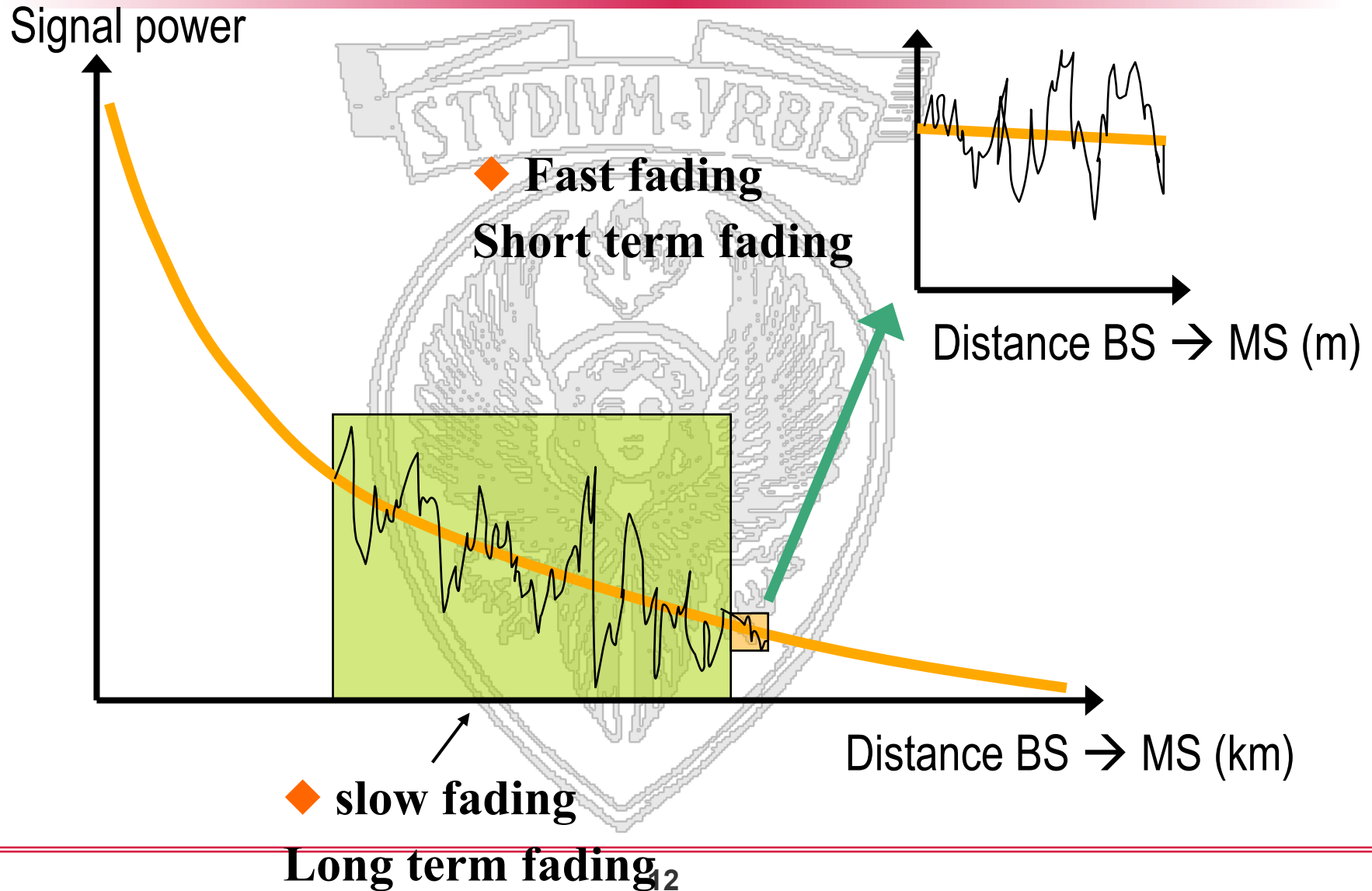


LOS path non necessarily existing (and unique)

Example: city with large buildings;
No LINE OF SIGHT;
Diffraction; reflection

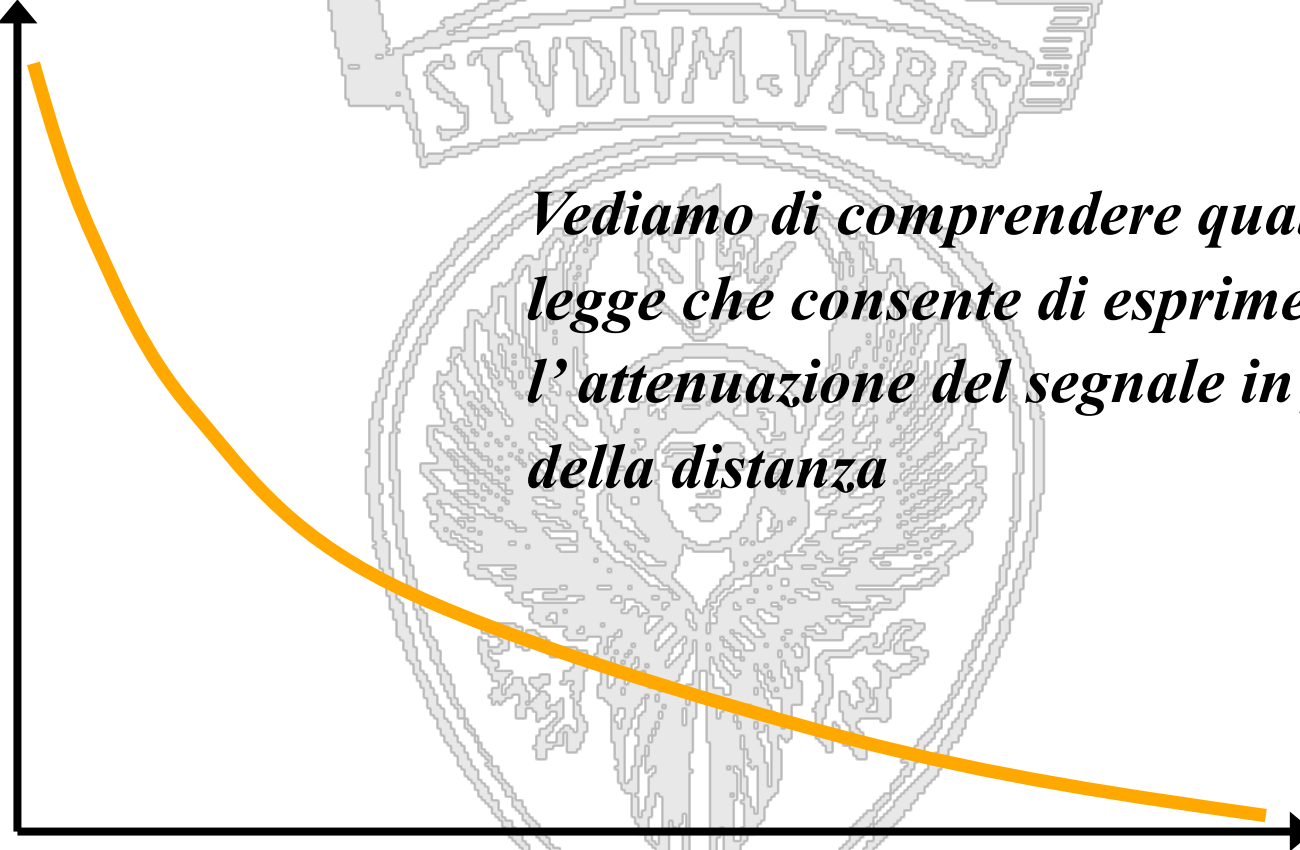








Signal power



Vediamo di comprendere quale la legge che consente di esprimere l'attenuazione del segnale in funzione della distanza

Distance BS → MS



- Una sorgente puntiforme isotropica (isotropic radiator) che trasmetta un segnale di potenza P_T lo irradia in modo uniforme in tutte le direzioni



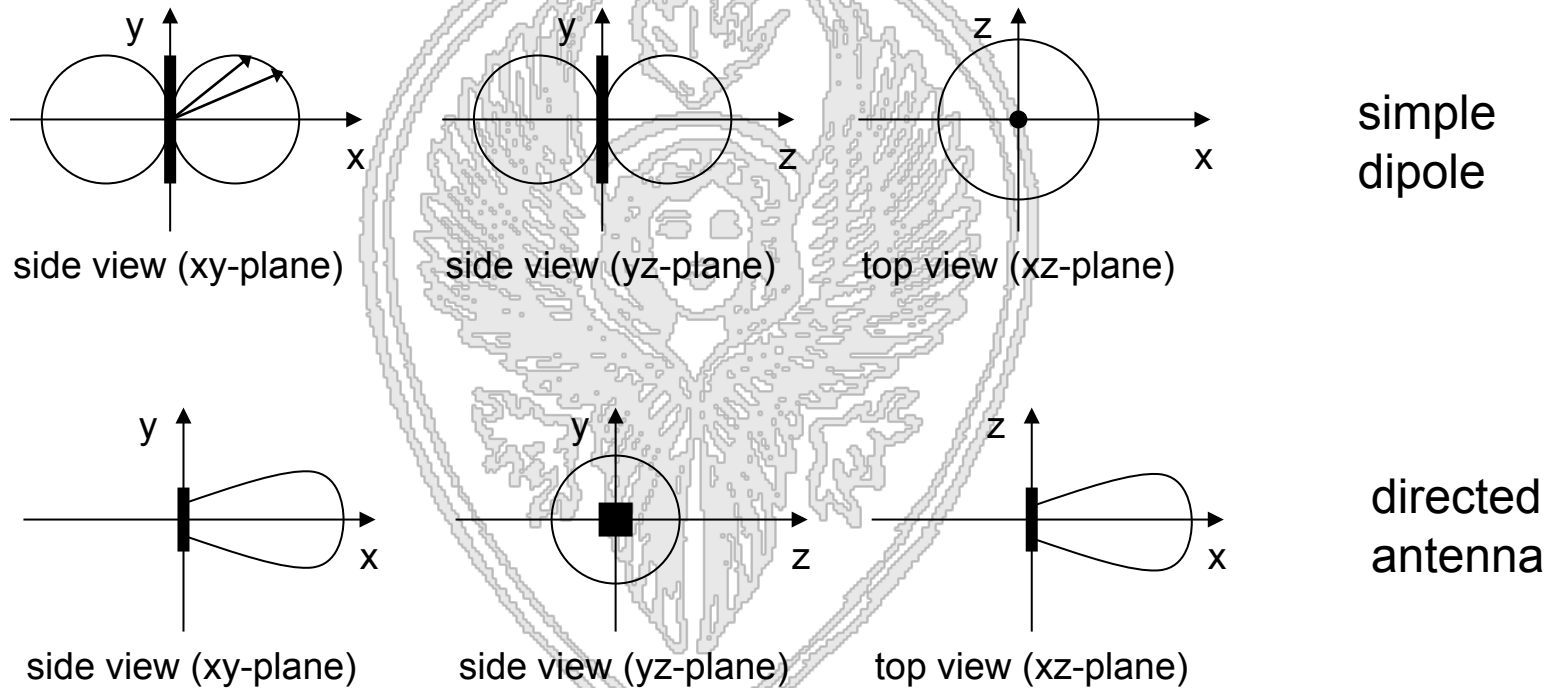
- La densità di potenza sulla superficie di una sfera centrata nella sorgente puntiforme e con raggio d è data da:

$$F = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2]$$



Esempi di antenne

- Graphical representation of radiation properties of an antenna
- Depicted as two-dimensional cross section





- Isotropic antenna (idealized)
 - Radiates power equally in all directions (3D)
 - Real antennas always have directive effects (vertically and/or horizontally)
- Antenna gain
 - Power output, in a particular direction, compared to that produced in any direction by a perfect omni-directional antenna (isotropic antenna)

$$\text{Directivity } D = \frac{\text{power density at a distance } d \text{ in the direction of maximum radiation}}{\text{mean power density at a distance } d}$$

$$\text{Gain } G = \frac{\text{power density at a distance } d \text{ in the direction of maximum radiation}}{P_T / 4\pi d^2}$$

- Directional antennas “point” energy in a particular direction
 - Better received signal strength
 - Less interference to other receivers
 - More complex antennas



- Indicando con g_T il guadagno massimo abbiamo che la densità di potenza in tale direzione risulta:

$$F = \frac{P_T g_T}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

- Il prodotto $P_T g_T$ è chiamato EIRP (Effective Isotropically Radiated Power) e rappresenta la potenza necessaria con una sorgente isotropica per raggiungere la stessa densità di potenza di una antenna direttiva



- La potenza ricevuta ad un ricevitore a distanza d dalla sorgente, in assenza di ostacoli e presenza di LOS, può essere espressa come:

$$P_R = P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}$$

- dove P_T rappresenta la potenza irradiata dal trasmettitore, g_T e g_R i guadagni delle antenne del trasmettitore e ricevitore, λ la lunghezza d'onda (c/f) e d la distanza tra trasmettitore e ricevitore. $L > 1$ tiene conto degli HW losses.



- Decibel (dB): modo di rappresentare in maniera logaritmica i rapporti tra le potenza

$$10 \log(P_1 / P_2)$$

Logaritmo in base 10

$P_A = 1$ Watt

$P_B = 1$ milliWatt

30 dB \rightarrow $P_A =$ *tre ordini di grandezza* piu' grande di P_B

- ◆ **ad esempio il guadagno dell'antenna e' espresso in dB**

3dB (una potenza e' il doppio dell'altra), 10dB \rightarrow un ordine di grandezza di differenza, 20dB due ordini di grandezza, 30db tre ordini di grandezza



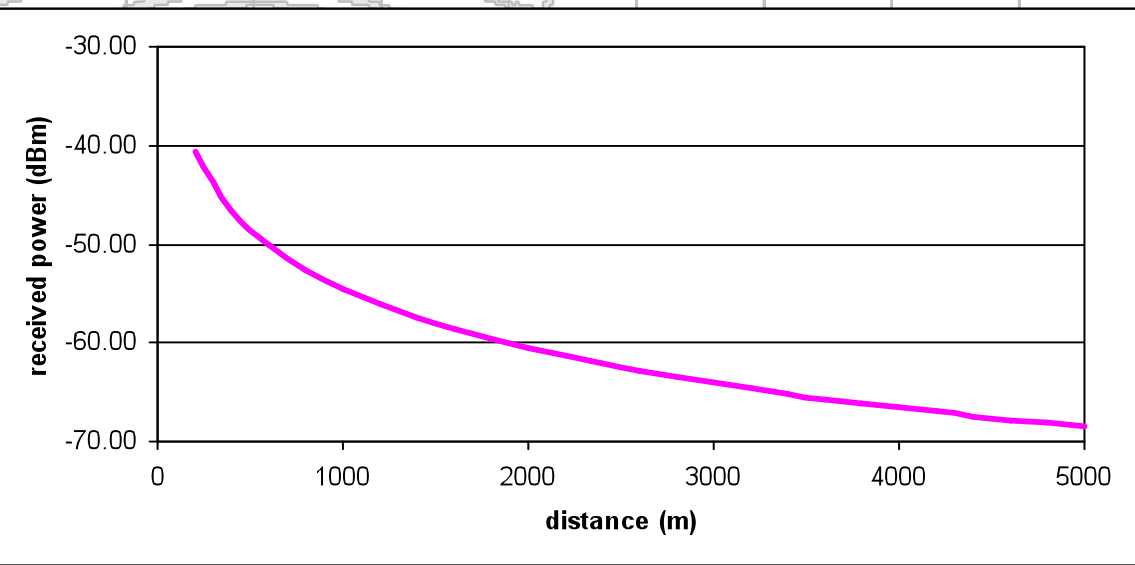
- dBm = rapportato ad una potenza di 1mW
 - Potenza in dBm = $10 \log(\text{potenza}/1\text{mW})$
 - Potenza in dBW = $10 \log(\text{potenza}/1\text{W})$

Esempio

- $10 \text{ mW} = 10 \log_{10}(0.01/0.001) = 10 \text{ dBm}$
- $10 \mu\text{W} = 10 \log_{10}(0.00001/0.001) = -20 \text{ dBm}$
- S/N ratio = -3dB \rightarrow S = circa 1/2 N
- Properties & conversions
 - $P(\text{dBm}) = 10 \log_{10}(P(\text{W}) / 1 \text{ mW}) = P(\text{dBW}) + 30 \text{ dBm}$
 - $(P1 * P2) (\text{dBm}) = P1 (\text{dBm}) + P2 (\text{dBW})$
 - $P1 * P2 (\text{dBm}) = 10 \log_{10}(P1(\text{W}) * P2 (\text{W}) / 0.001) = 10 \log_{10}(P1(\text{W}) / 0.001) + 10 \log_{10} P2(\text{W}) = P1 (\text{dBm}) + P2 (\text{dBW})$

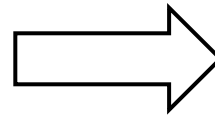


		normalized	
frequency [MHz]	900	900000000	
speed of light [K]	300000	300000000	
lambda (m)		0.333333333	
gain Tx	1		
Gain Rx	1		
Loss	1		
Ptx [W]	5		
distance (Km)	Prx W	Prx dBm	
200	8.80E-08	-40.56	
400	2.20E-08	-46.58	
600	9.77E-09	-50.10	
800	5.50E-09	-52.60	
1000	3.52E-09	-54.54	
1200	2.44E-09	-56.12	
1400	1.79E-09	-57.46	
1600	1.37E-09	-58.62	
1800	1.09E-09	-59.64	
2000	8.80E-10	-60.56	
2200	7.27E-10	-61.39	
2400	6.11E-10	-62.14	
2600	5.20E-10	-62.84	
2800	4.49E-10	-63.48	
3000	3.91E-10	-64.08	
3200	3.44E-10	-64.64	
3400	3.04E-10	-65.17	
3600	2.71E-10	-65.66	
3800	2.44E-10	-66.13	
4000	2.20E-10	-66.58	
4200	1.99E-10	-67.00	
4400	1.82E-10	-67.41	
4600	1.66E-10	-67.79	
4800	1.53E-10	-68.16	
5000	1.41E-10	-68.52	





- **Transmit power**
 - Measured in dBm
 - Es. 33 dBm
- **Receive Power**
 - Measured in dBm
 - Es. -10 dBm
- **Path Loss**
 - Transmit power / Receive power
 - Measured in dB
 - $\text{Loss (dB)} = \text{transmit (dBm)} - \text{receive (dBm)}$
 - Es. 43 dB = attenuation by factor 20.000



Se la potenza ricevuta è inferiore ad una certa soglia il segnale non può essere correttamente ricevuto



- La

$$PL = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^{-2}$$

- rappresenta l'attenuazione da spazio libero.
- Tale attenuazione non è l'unica che subisce il segnale ma anche altre attenuazioni possono essere presenti a causa dell'atmosfera (dipendente dalla frequenza e da nebbia, pioggia, ecc.) e di ostacoli (assorbimento, riflessione, diffrazione, ecc.)



Canale wireless: attenuazione da distanza

- La

$$PL = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^{-2}$$

- rappresent
- Tale attenu
- anche altre
- dell'atmos
- pioggia, ec
- diffrazione

$$\frac{P_T}{P_R} = \frac{P_T}{P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}}$$

se

$$g_T, g_R, L = 1$$

$$\frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^{-2}$$

il segnale ma
senti a causa
e da nebbia,
flessione,



- La

$$PL = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^{-2}$$

- **rappresenta l'attenuazione da spazio libero.**
- **Tale attenuazione non è l'unica che subisce il segnale ma anche altre attenuazioni possono essere presenti a causa dell'atmosfera (dipendente dalla frequenza e da nebbia, pioggia, ecc.) e di ostacoli (assorbimento, riflessione, diffrazione, ecc.)**



Indicata anche con L_{free} nel seguito

$$PL(d)_{[dB]} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{L}{G_t G_r} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right\} =$$

= 20

= 20

= 20

$$\frac{P_T}{P_R} = \frac{P_T}{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}}$$

$$10 \log_{10} \frac{c}{4\pi} =$$

7.56



Indicata anche con L_{free} nel seguito

$$\begin{aligned} PL(d)_{[dB]} &= 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{L}{G_t G_r} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right\} = \\ &= 20 \log_{10} d - 10 \log_{10} \frac{G_t G_r}{L} - 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi} = \\ &= 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f - 10 \log_{10} \frac{G_t G_r}{L} - 20 \log_{10} \frac{c}{4\pi} = \\ &= 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f - 10 \log_{10} \frac{G_t G_r}{L} - 147.56 \end{aligned}$$

Dipende dalla distanza ma anche dalla frequenza



Se $L=1$, guadagni antenne=1

$$L_{free}(d) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^{-2}$$

$$\begin{aligned} L_{free}(d)_{[dB]} &= -20 \log \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right] = -20 \log \left[\frac{c/f}{4\pi d} \right] \\ &= 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f - 147.56 \end{aligned}$$



- ***Alcune elaborazioni sulla formula dell'attenuazione***

$$P_R = P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad L=1$$

Se si conosce il valore ad una distanza di riferimento

$$P_R(d) = P_R(d_{\text{ref}}) (d_{\text{ref}}/d)^2$$

$$P_R(d) \text{ dBm} = P_R(d_{\text{ref}}) \text{ dBm} + 20 \log_{10} (d_{\text{ref}}/d)$$



- $$P_R = P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 L=1$$

Se si conosce il valore ad una distanza di riferimento

$$P_R(d) = P_R(d_{\text{ref}}) (d_{\text{ref}}/d)^2$$

$$P_R(d) \text{ dBm} = P_R(d_{\text{ref}}) \text{ dBm} + 20 \log_{10} (d_{\text{ref}}/d)$$

$$\frac{P_R(d)}{P_R(d_{\text{Ref}})} = \frac{P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}}{P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d_{\text{Ref}}} \right)^2 \frac{1}{L}} = \left(\frac{d_{\text{Ref}}}{d} \right)^2$$



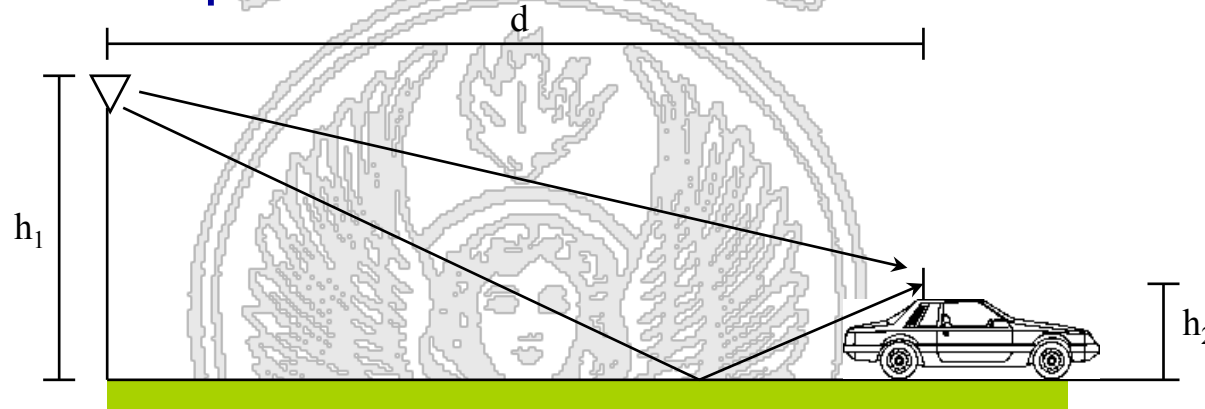
- La potenza al ricevitore nel caso di propagazione in spazio libero può essere espressa come:

$$P_R = P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}$$

- dove P_T rappresenta la potenza irradiata dal trasmettitore, g_T e g_R i guadagni delle antenne del trasmettitore e ricevitore, λ la lunghezza d'onda (c/f) e d la distanza tra trasmettitore e ricevitore. $L > 1$ tiene conto degli HW losses.



- Si può far vedere che nel semplice caso di propagazione con due raggi, uno diretto ed uno riflesso completamente...



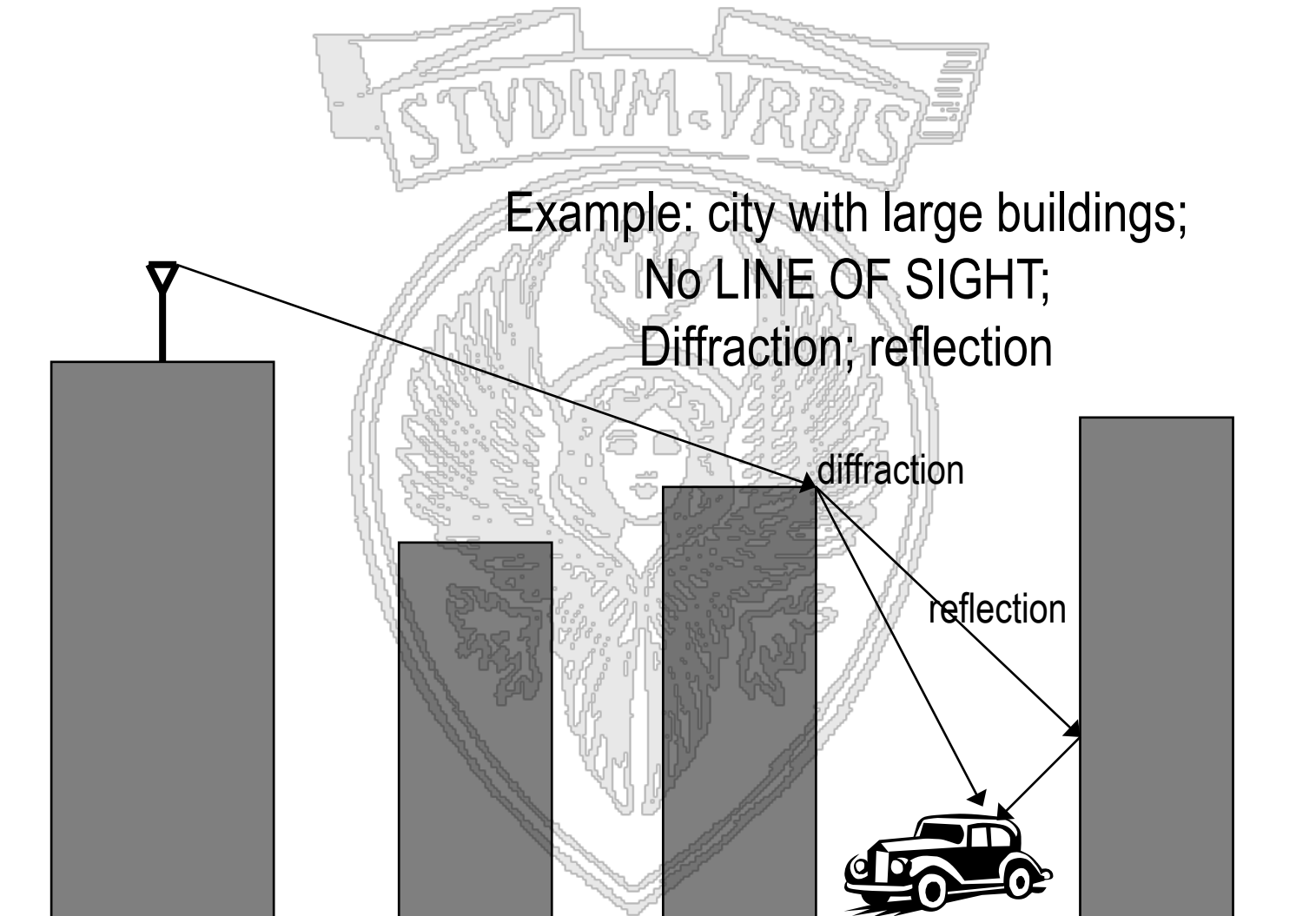
...il rapporto tra potenza ricevuta e potenza trasmessa assume la forma:

$$\frac{P_R}{P_T} = g_R g_T \left(\frac{h_1 h_2}{d^2} \right)^2$$



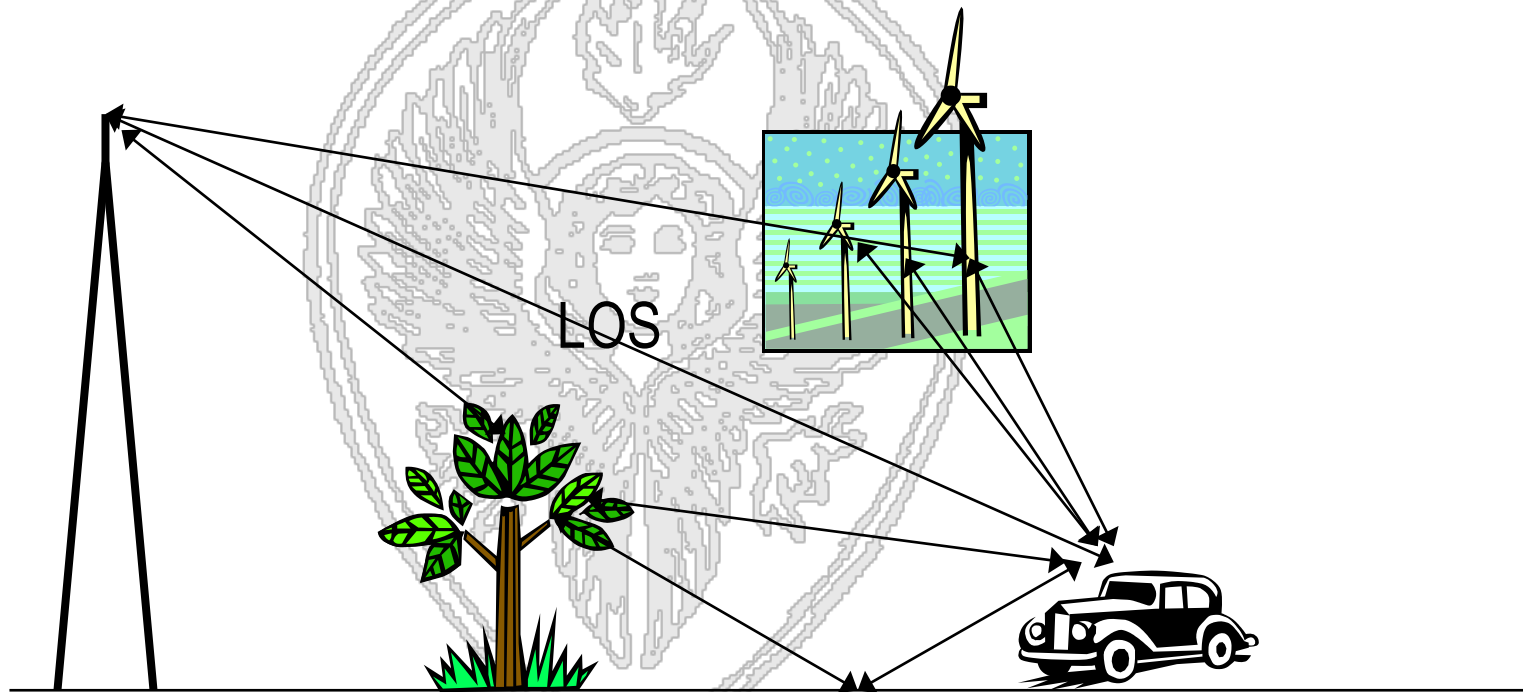
- Nell'ipotesi della propagazione per due raggi la potenza ricevuta decresce, a causa dell'attenuazione dovuta alla distanza, molto più velocemente ($\sim 1/d^4$) che nel caso di propagazione in spazio libero ($\sim 1/d^2$)
- In realtà la propagazione tipica dei sistemi wireless è spesso diversa e più complessa di questi due casi
- Nonostante ciò di solito si utilizza una formula simile anche nel caso generale dove però l'esponente di della distanza (coefficiente di propagazione η) può assumere valori compresi tra 2 (spazio libero) e 5 (forte attenuazione ambiente urbano):

$$P_R = P_T g_T g_R \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{1}{d^\eta}$$





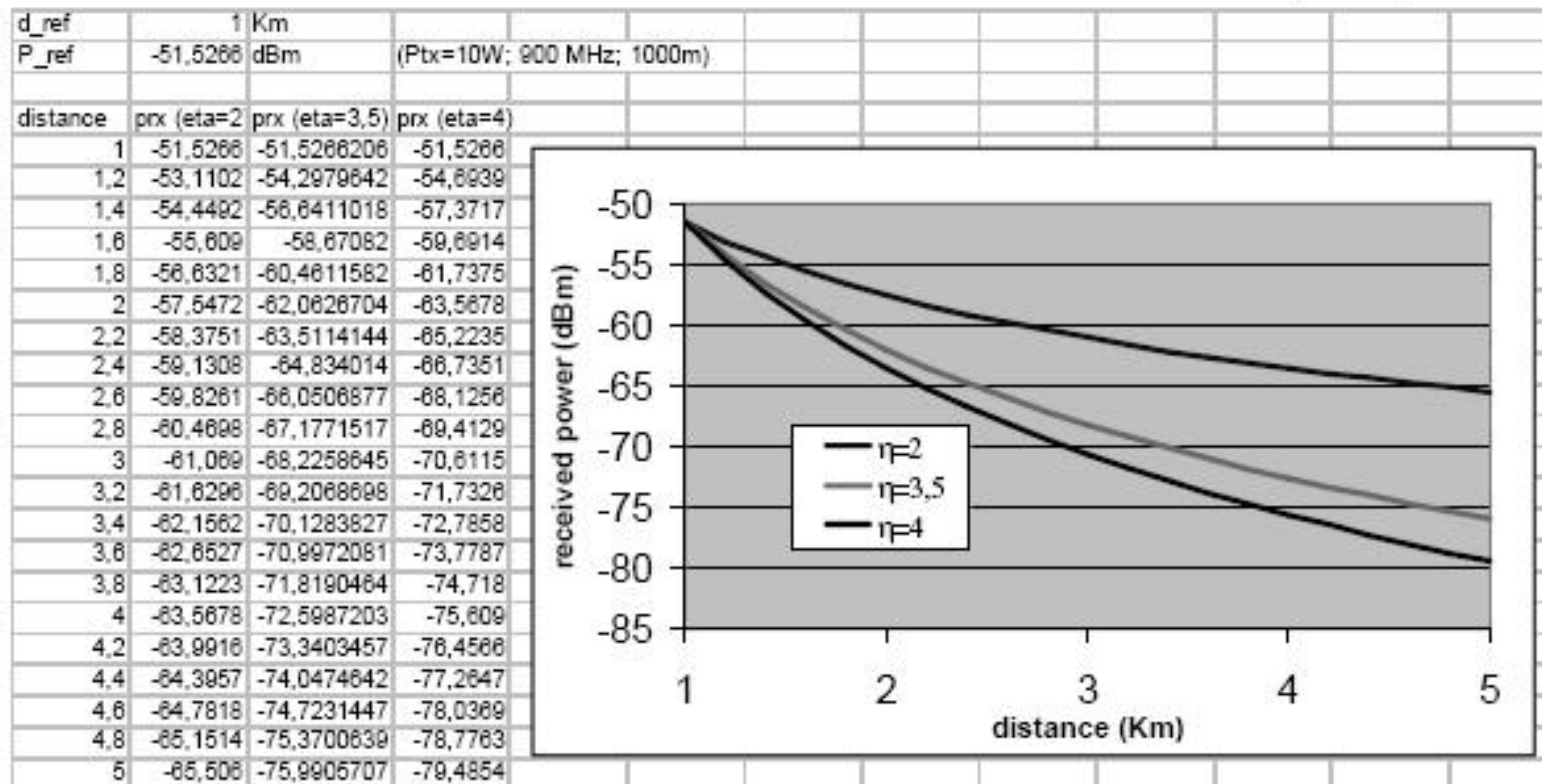
LINE OF SIGHT +
Diffraction, reflection, scattering





Extended formula

$$P_r(d)(dB) = 10 \log_{10} P_r(d_o) + 10\eta \log_{10} \left(\frac{d_o}{d} \right)$$





- Consider specific scenarios
 - Urban area (large-medium-small city), rural area
 - Models generated by combining ray traces (LOS, reflected, diffracted, scattered)
 - Based on large amount of empirical measurements
- Account for parameters
 - Frequency; antenna heights; distance
- Account for correction factors
 - (diffraction due to mountains, lakes, road shapes, hills, etc)

First model: Okumura, 1968

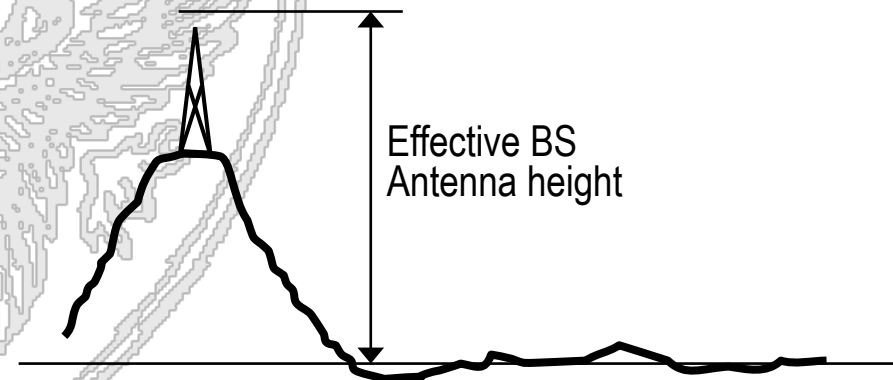
VERY complex due to many specific correction factors! (type of environment, presence of mountains, lakes, road shapes,...)



- Hata (1980): very simple model to fit Okumura results
- Provide formulas to evaluate path loss versus distance for various scenarios
 - Large cities; Small and medium cities; Rural areas
 - Limit: $d \geq 1\text{km}$

Parameters:

- f = carrier frequency (MHz)
- d = distance BS → MS (Km)
- h_{bs} = (effective) height of base station antenna (m)
- h_{ms} = height of mobile antenna (m)





$$L_{path}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f + \\ + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{bs}) \log_{10} d + \\ - 13.82 \log_{10} h_{bs} - a(h_{ms})$$

- $a(h_{ms})$ = correction factor to differentiate large from medium-small cities;
- depends on MS antenna height

large cities : $a(h_{ms}) = 3.2 \left[\log_{10} (11.75 h_{ms}) \right] - 4.97 \quad f \geq 400 \text{ MHz}$

small - med cities : $a(h_{ms}) = \left[1.1 \log_{10} f - 0.7 \right] h_{ms} - \left[1.56 \log_{10} f - 0.8 \right]$

Very small correction difference between large and small cities (about 1 dB)



$$L_{path}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f + \\ + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{bs}) \log_{10} d + \\ - 13.82 \log_{10} h_{bs} - a(h_{ms})$$

- $a(h_{ms})$ = correction factor
- medium-small cities
- depends on

$$L_{free} = 32.44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d)$$

m

large cities : $a(h_{ms}) = 3.2 \left[\log_{10} (11.75 h_{ms}) \right] - 4.97 \quad f \geq 400 MHz$

small - med cities : $a(h_{ms}) = \left[1.1 \log_{10} f - 0.7 \right] h_{ms} - \left[1.56 \log_{10} f - 0.8 \right]$

Very small correction difference between large and small cities (about 1 dB)



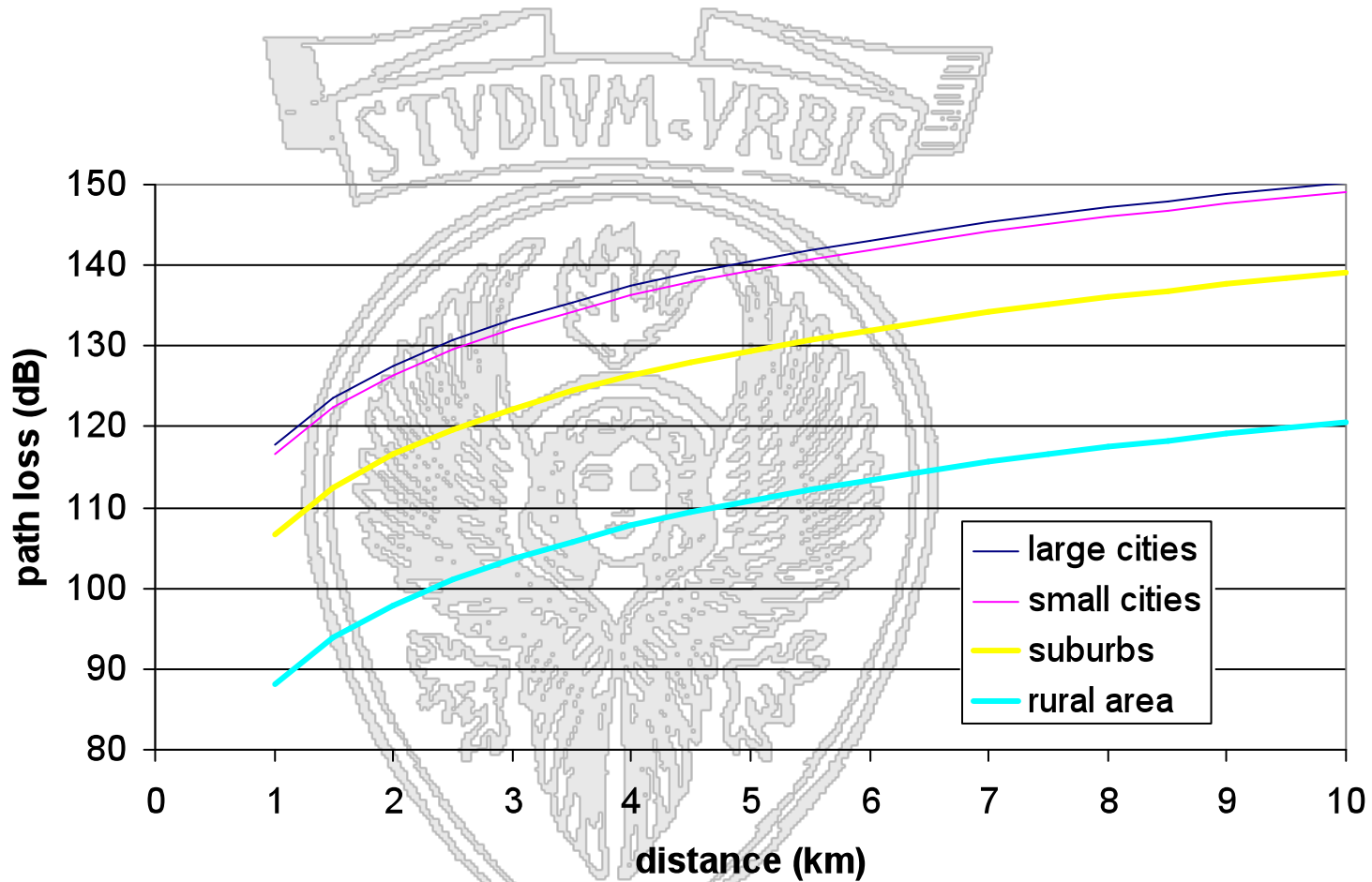
- Start from path loss L_p computed for small and medium cities

suburban :
$$L_{path}(dB) = L_p - 2 \left[\log_{10} \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4$$

rural :
$$L_{path}(dB) = L_p - 4.78 \left[\log_{10} f \right] + 18.33 \log_{10} f - 40.94$$



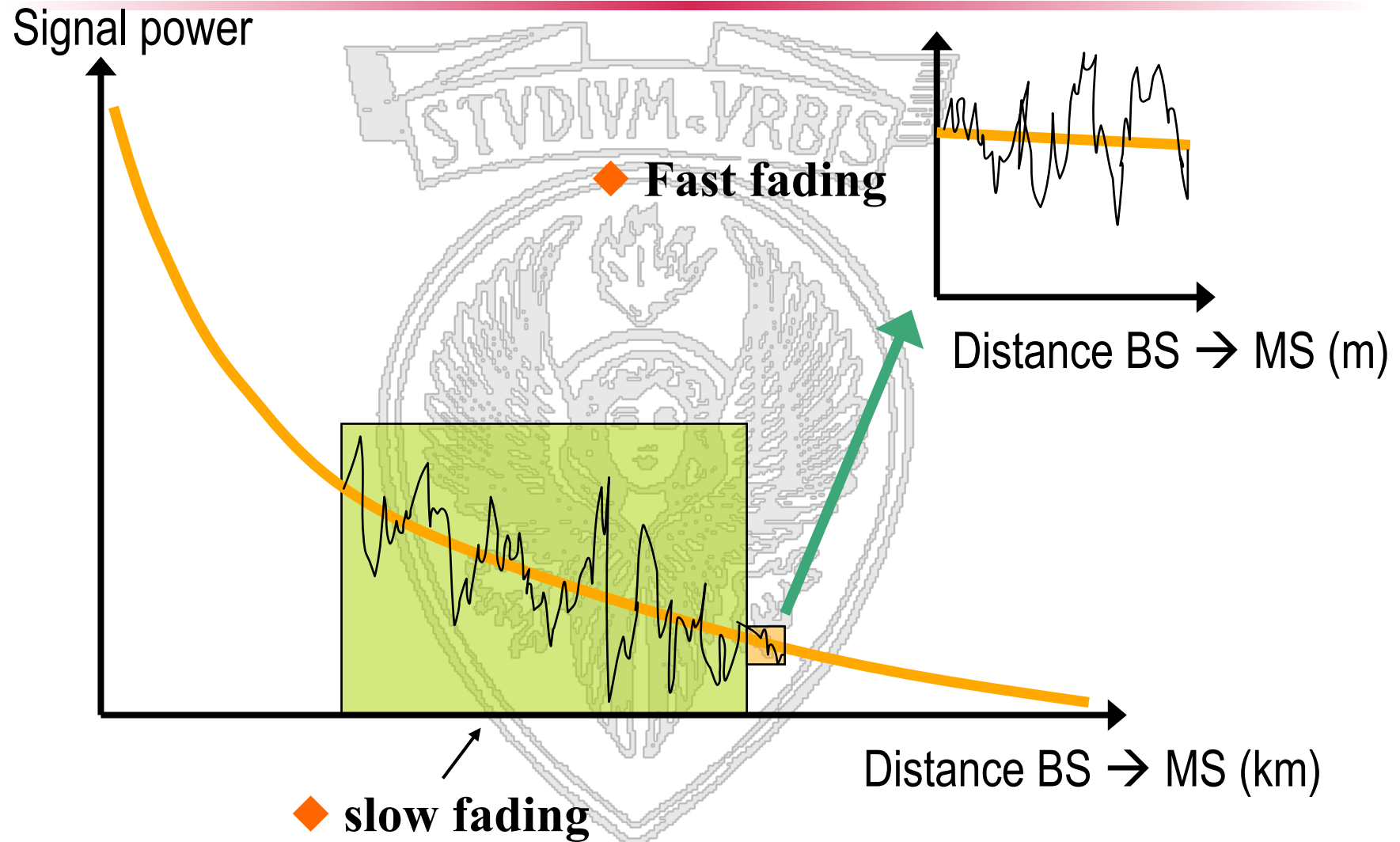
Okumura-Hata: examples

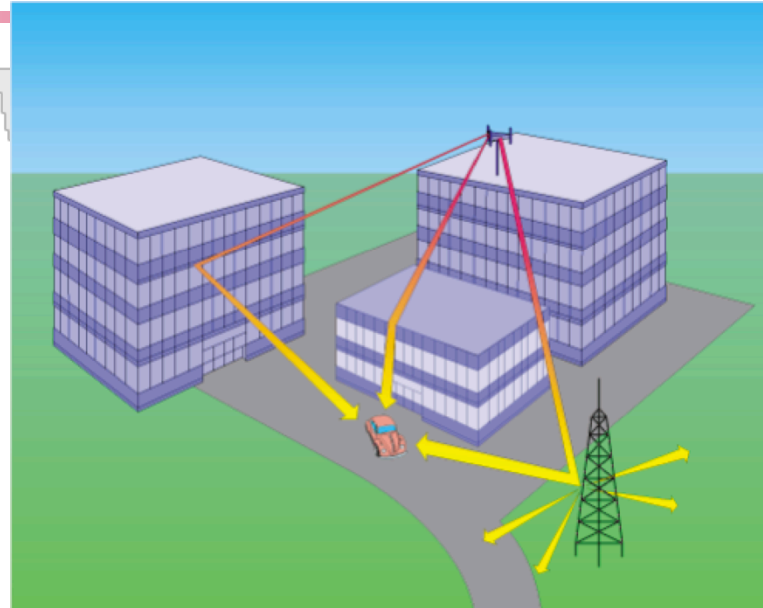


$F=900\text{MHz}$, $h_{bs}=80\text{m}$, $h_{ms}=3\text{m}$

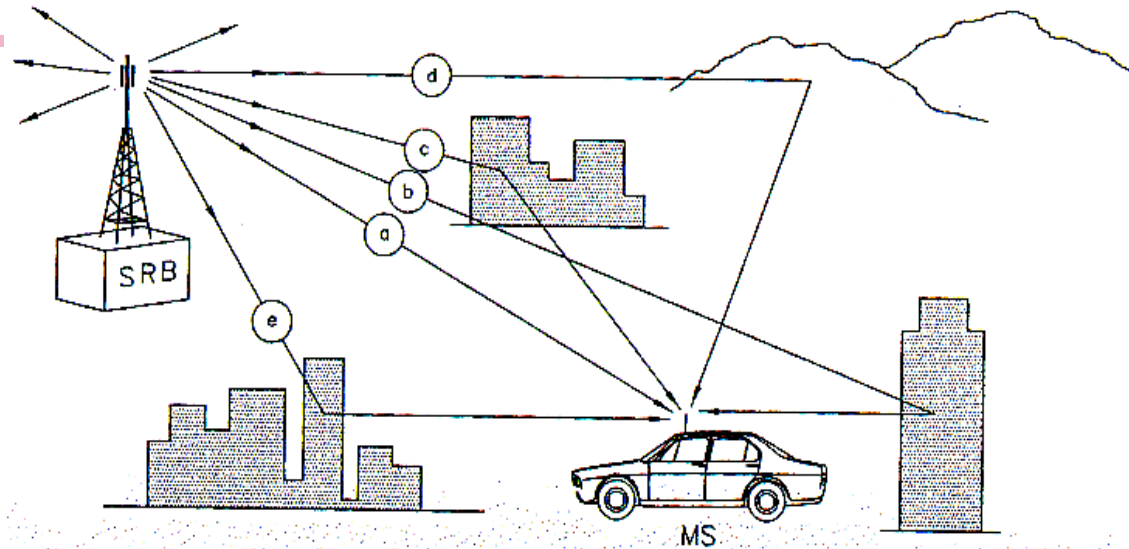


Slow fading – fast fading





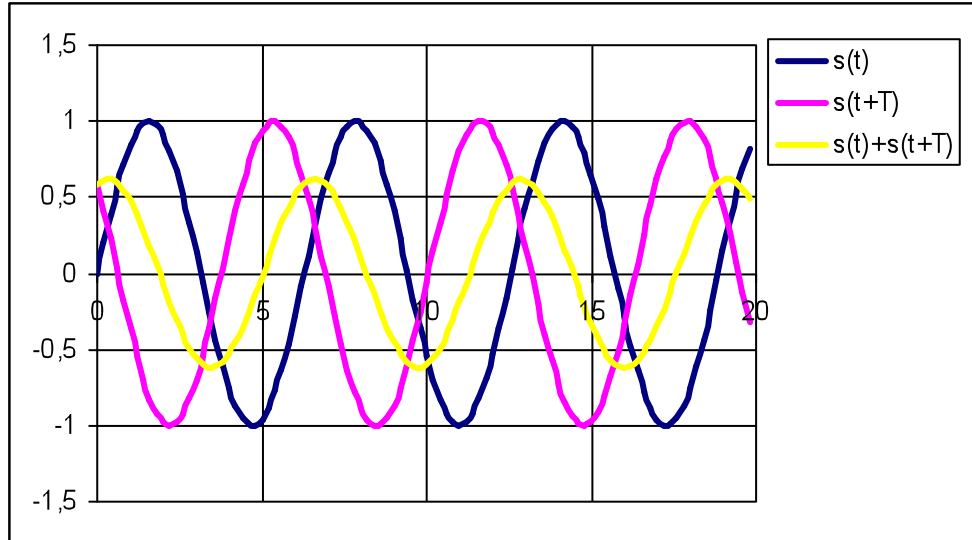
- Nella propagazione tra sorgente e destinazione il segnale può seguire più percorsi a causa della riflessione totale o parziale da parte di ostacoli
- Il comportamento delle onde sugli oggetti dipende dalla frequenza del segnale e dalle caratteristiche e dimensioni degli oggetti
- In generale, onde a bassa frequenza possono attraversare senza attenuazione molti oggetti, mentre all'aumentare della frequenza i segnali tendono ad essere assorbiti o riflessi dagli ostacoli (ad altissima frequenza – oltre 5 GHz – è possibile quasi solo la propagazione diretta).



- Le repliche del segnale che giungono dai diversi cammini si ricombinano al ricevitore
 - Il risultato della ricombinazione dipende:
 - numero delle repliche
 - fasi relative
 - ampiezze
 - frequenza
- **la potenza del segnale differisce**
- **from place to place, from time to time!**

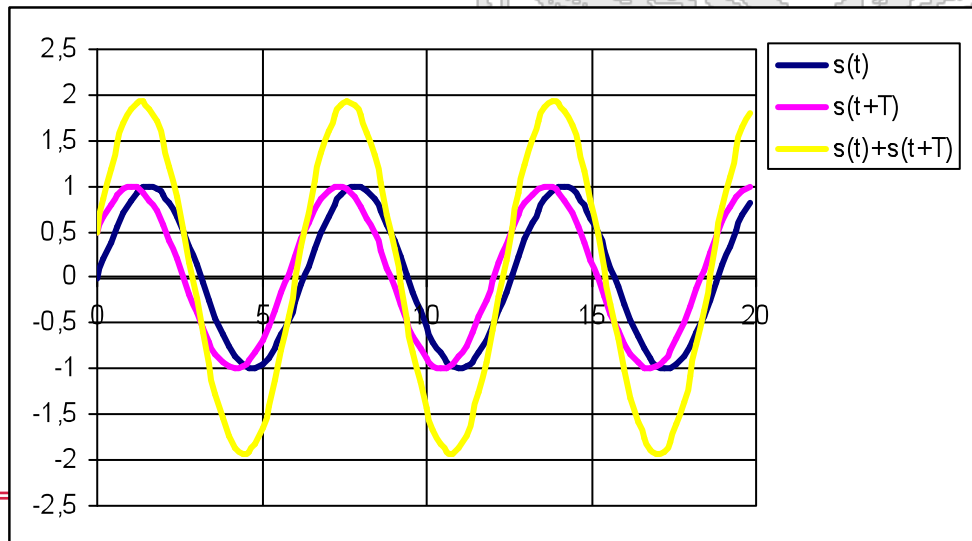


Canale wireless: fading multipath



- Il segnale risultante può essere attenuato

$$T = 4/5\pi$$

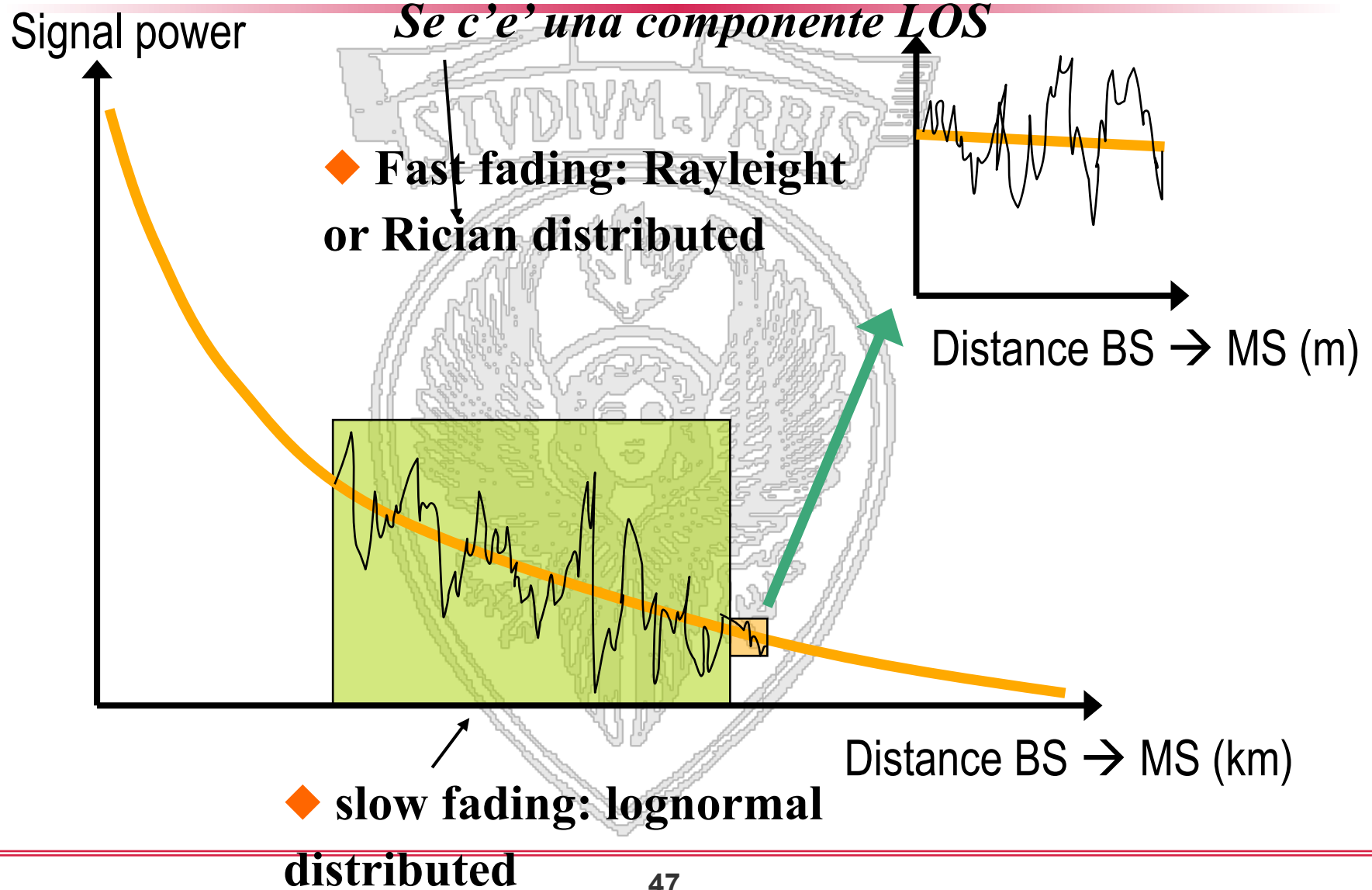


- O addirittura amplificato

$$T = \pi / 6$$



Slow fading – fast fading





Rayleigh fading

$$e_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k) =$$

recall that : $\cos(2\pi f_0 t + \phi_k) =$
 $= \cos(2\pi f_0 t) \cos(\phi_k) - \sin(2\pi f_0 t) \sin(\phi_k)$

$$= \cos(2\pi f_0 t) \sum_{k=1}^N a_k \cos \phi_k - \sin(2\pi f_0 t) \sum_{k=1}^N a_k \sin \phi_k =$$

$$= X \cos(2\pi f_0 t) - Y \sin(2\pi f_0 t)$$

In the assumptions:

- N large (many paths)
- ϕ_k uniformly distributed in $(0, 2\pi)$
- a_k comparable (no privileged path such as LOS)

X, Y are gaussian, identically distributed random variables

*Sigma² is the
Variance of
The X, Y variables*

**Rayleigh fading power
distribution**

$$f_p(x) = \frac{1}{2\sigma^2} e^{-x/2\sigma^2}$$



Rayleigh fading

$$e_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k) =$$

$$\text{recall that : } \cos(2\pi f_0 t + \phi_k) = \cos(2\pi f_0 t)\cos(\phi_k) - \sin(2\pi f_0 t)\sin(\phi_k)$$

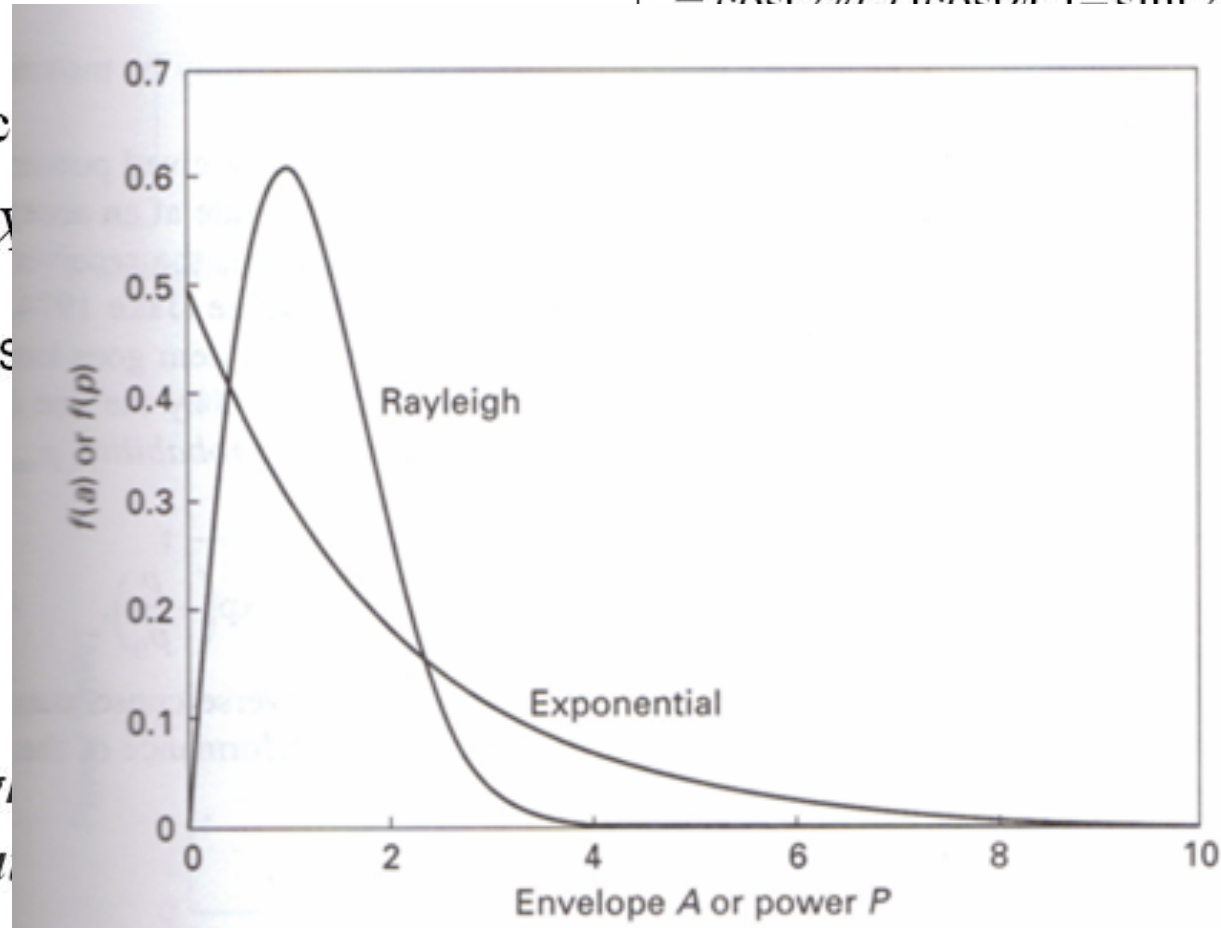
= c

= X

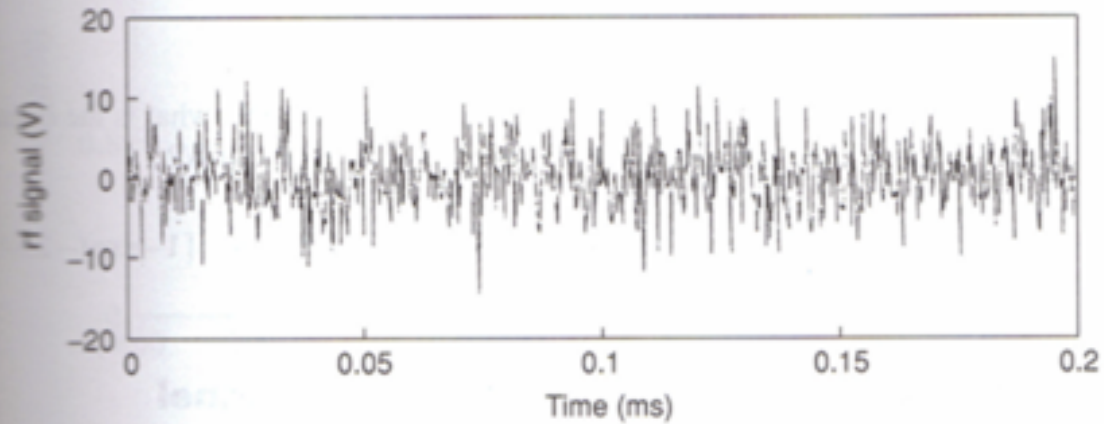
In the as

X, Y are

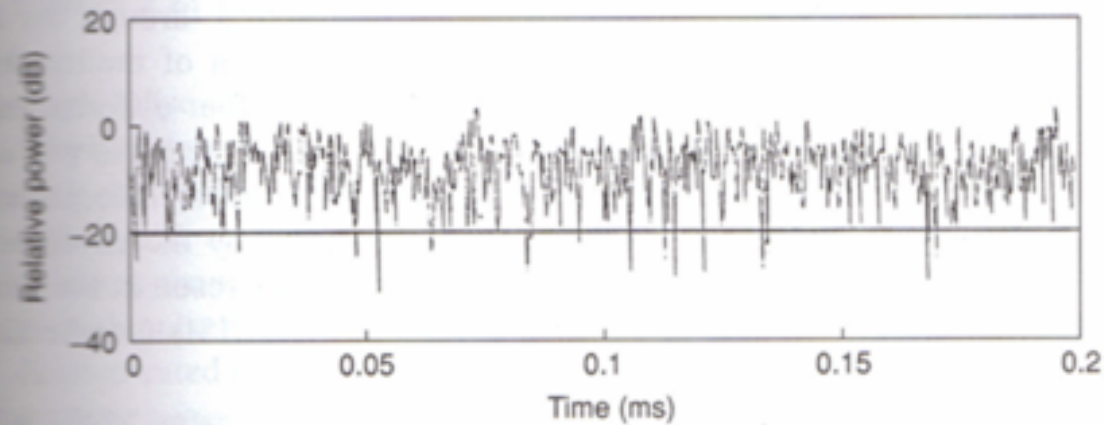
Rayleigh
distribu



s the
e of
variables



(a)



(b)

FIGURE 2.19 Rayleigh-faded rf signal (a) and its power (b). The plots were generated from 11 multiple paths. The envelope was obtained by demodulating the rf signal.



Perche' e' importante tener conto del fading?

Answer1:

Outage Probability → Probability that received power is lower than a given threshold

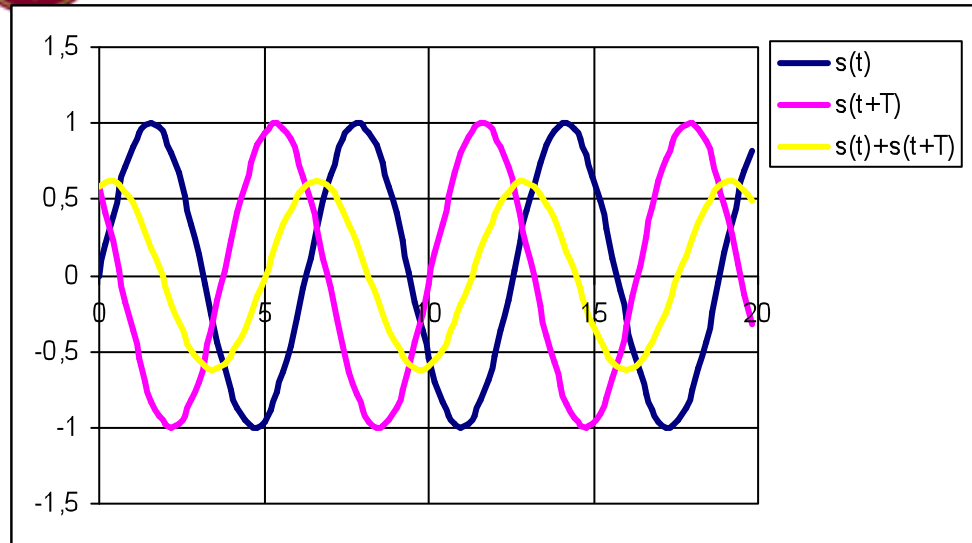
⇒ Below which signal cannot be correctly received

$$P_{\text{out}} = \int_0^{p_{\text{thr}}} f(p) dp$$



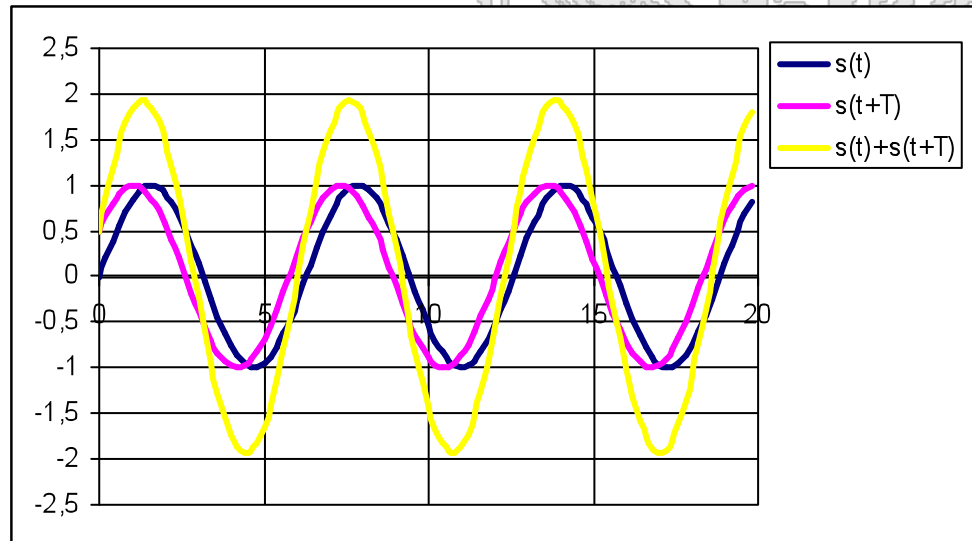


Canale wireless : fading multipath



- Il segnale risultante può essere attenuato

$$T = 4/5\pi$$

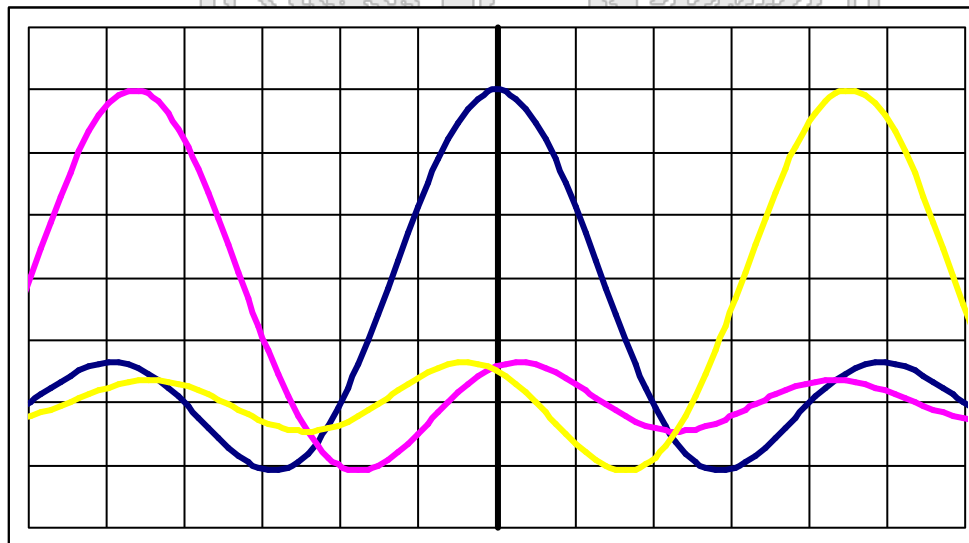


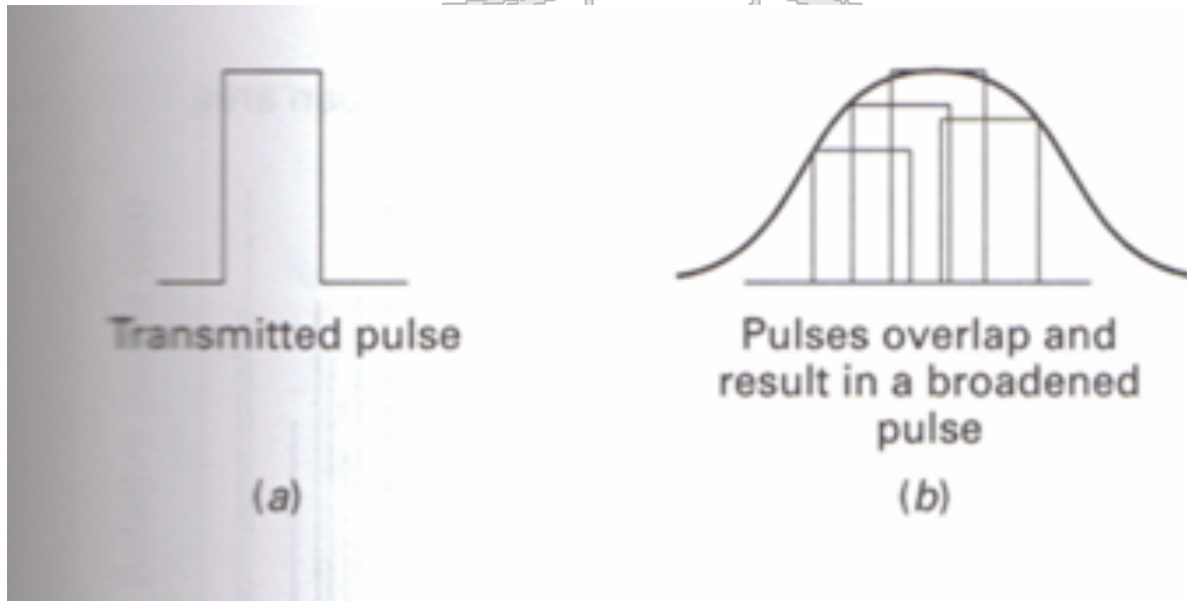
- **O addirittura amplificato**

$$T = \pi / 6$$



- Il realtà la propagazione per cammini multipli può provocare altri più complessi problemi nel caso di trasmissione digitale
- In questo caso, infatti, i diversi ritardi delle repliche del segnale trasmesso (*delay spread*) provocano un allargamento della risposta all'impulso del canale che può portare a interferenza intersimbolica (ISI – Inter-Symbol Interference)



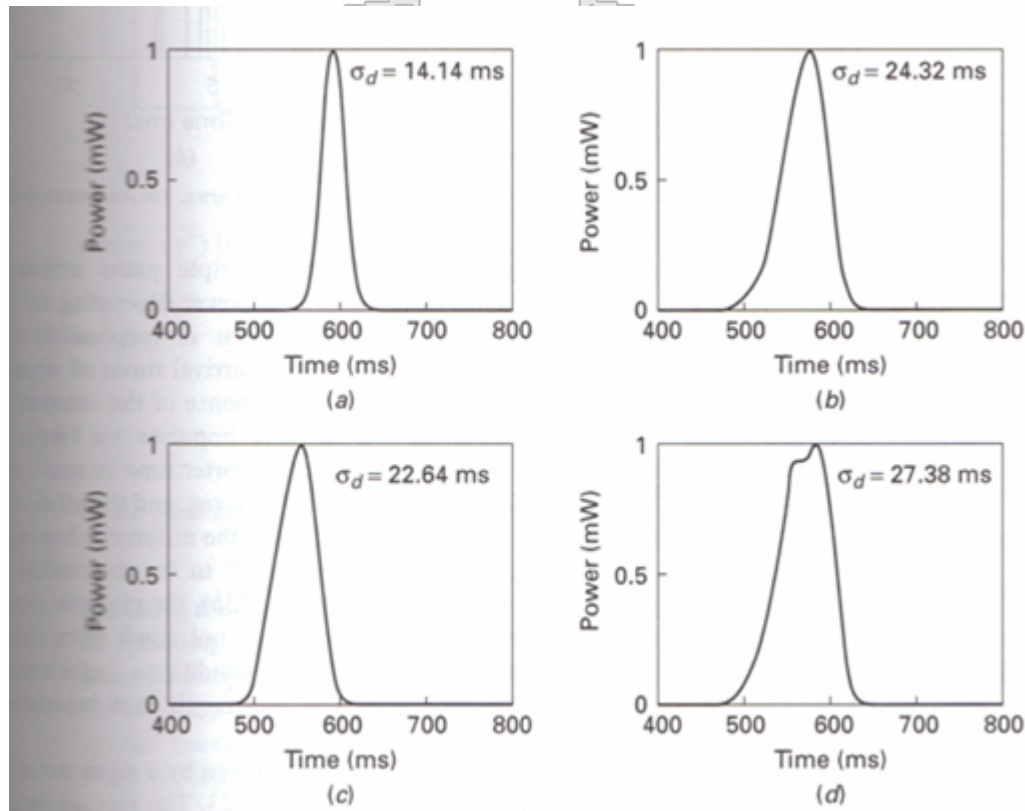


Impulso Gaussiano trasmesso sul canale radio ed esempi di segnale ricevuto (10 componenti multipath)

(prossima slide...)



Esempio



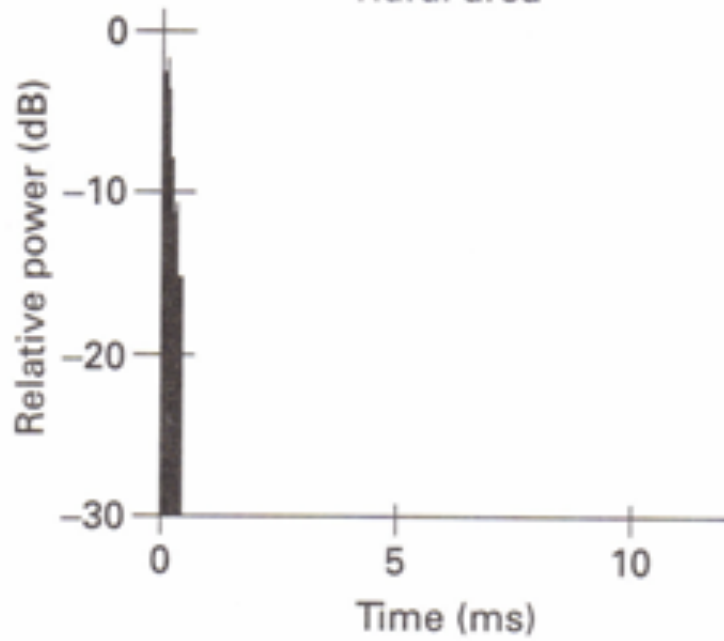
Possibilità di interferenza intersimbolica !!



Impulse response

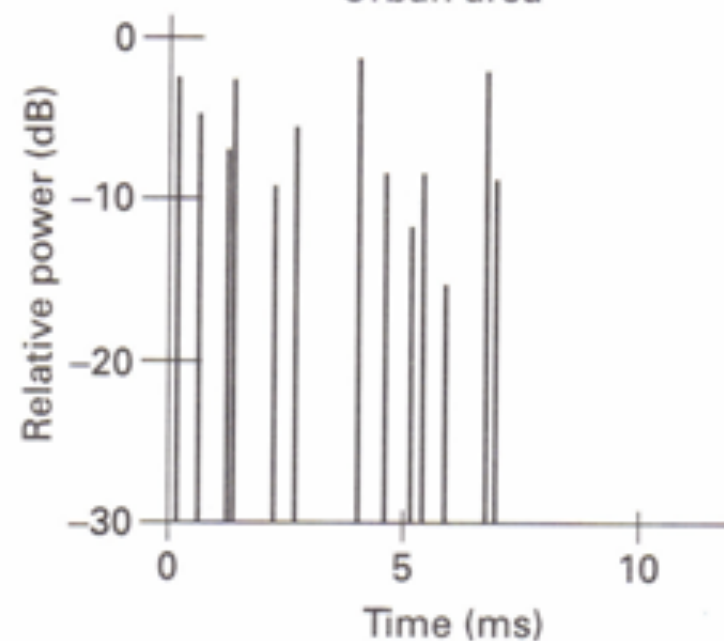


Rural area



(a)

Urban area



(b)





- La rilevanza del delay spread può essere quantificata calcolando il suo valore quadratico medio (RMS Delay Spread):

$$\tau_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i} \sum_{i=1}^n (\tau_i^2 P_i) - \tau_d^2}$$

■ con

$$\tau_d = \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

■ τ_{RMS}
■ τ_i
■ P_i
■ n

RMS delay spread
ritardo del path i
potenza ricevuta path i
numero di path



- L'inverso del delay spread fornisce la banda di coerenza
- Se la banda di coerenza è molto maggiore della banda del segnale il delay spread non pone problemi
- Se al contrario la banda di coerenza è comparabile con quella del segnale il delay spread provoca interferenze intersimbolica non trascurabile e errori in ricezione
- In questo caso per ovviare alla distorsione in frequenza del canale occorre equalizzare con un opportuno filtro adattativo in ricezione