

Introduzione alle reti wireless

Sistemi Wireless, a.a. 2011/2012

Un. of Rome "La Sapienza"

Chiara Petrioli[†]

[†] *Department of Computer Science – University of Rome "Sapienza" – Italy*



- **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 ?***

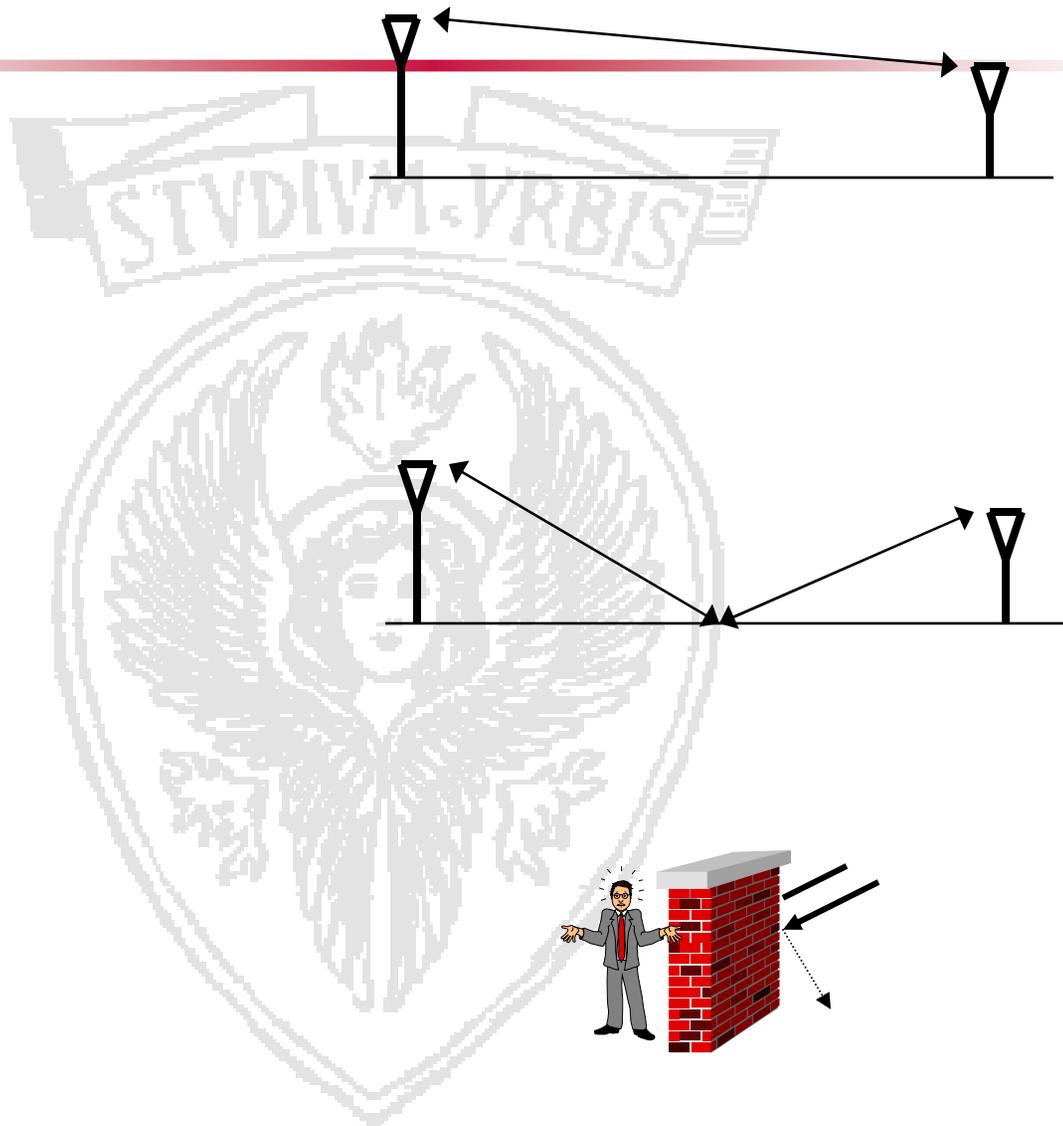


Canale wireless

- 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)



- Line of sight
- Reflection
- Shadowing

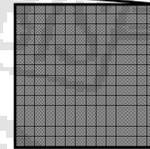




→ Diffraction

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

BS



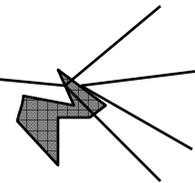
MS



→ Scattering

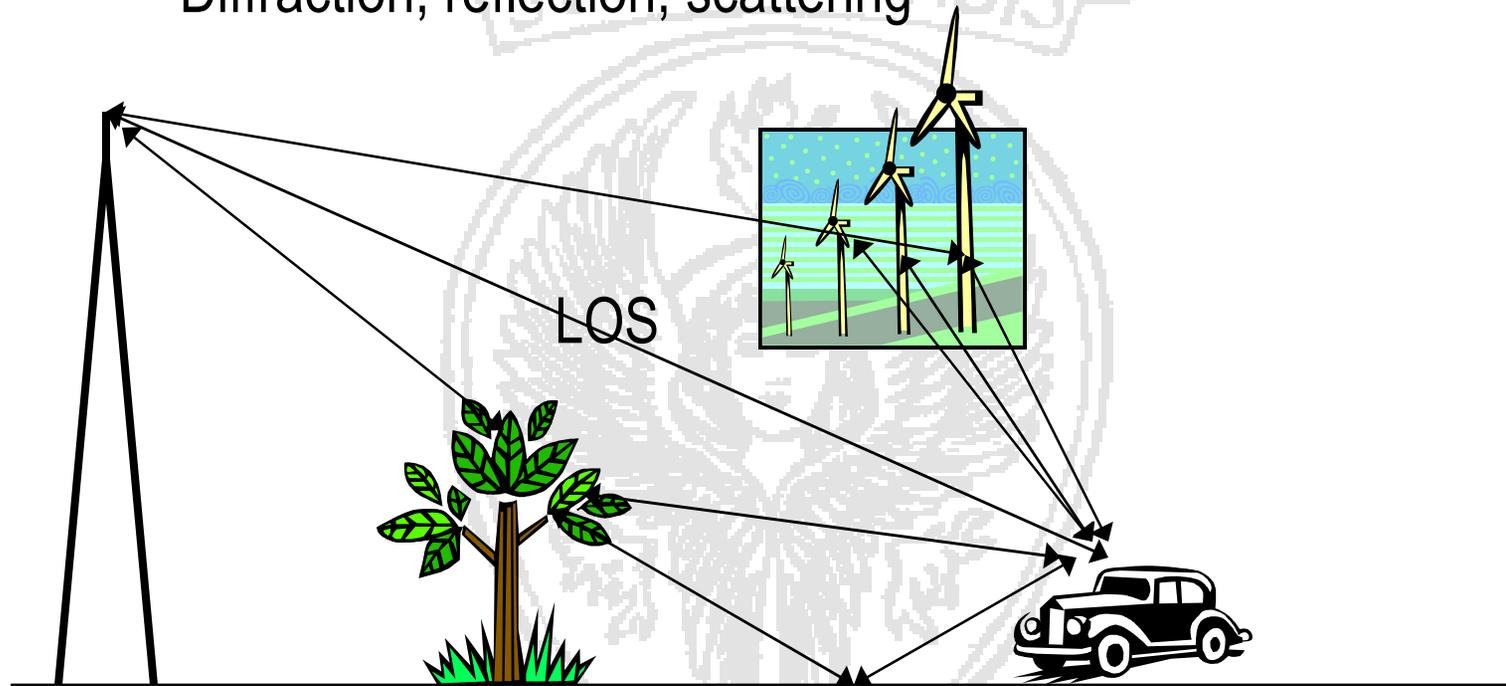
- When the wave encounters objects smaller than the wavelength (vegetation, clouds, street signs)

BS





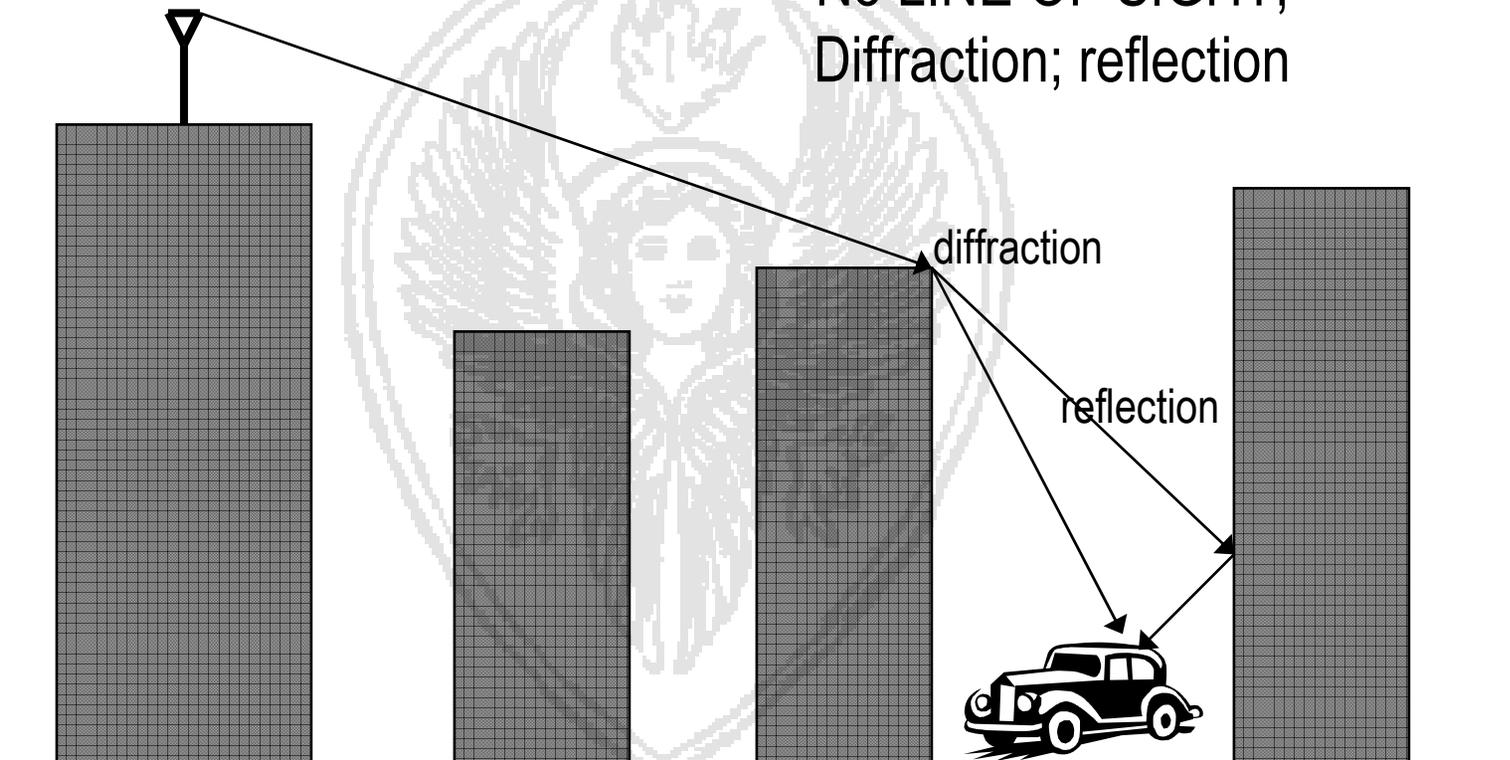
LINE OF SIGHT +
Diffraction, reflection, scattering





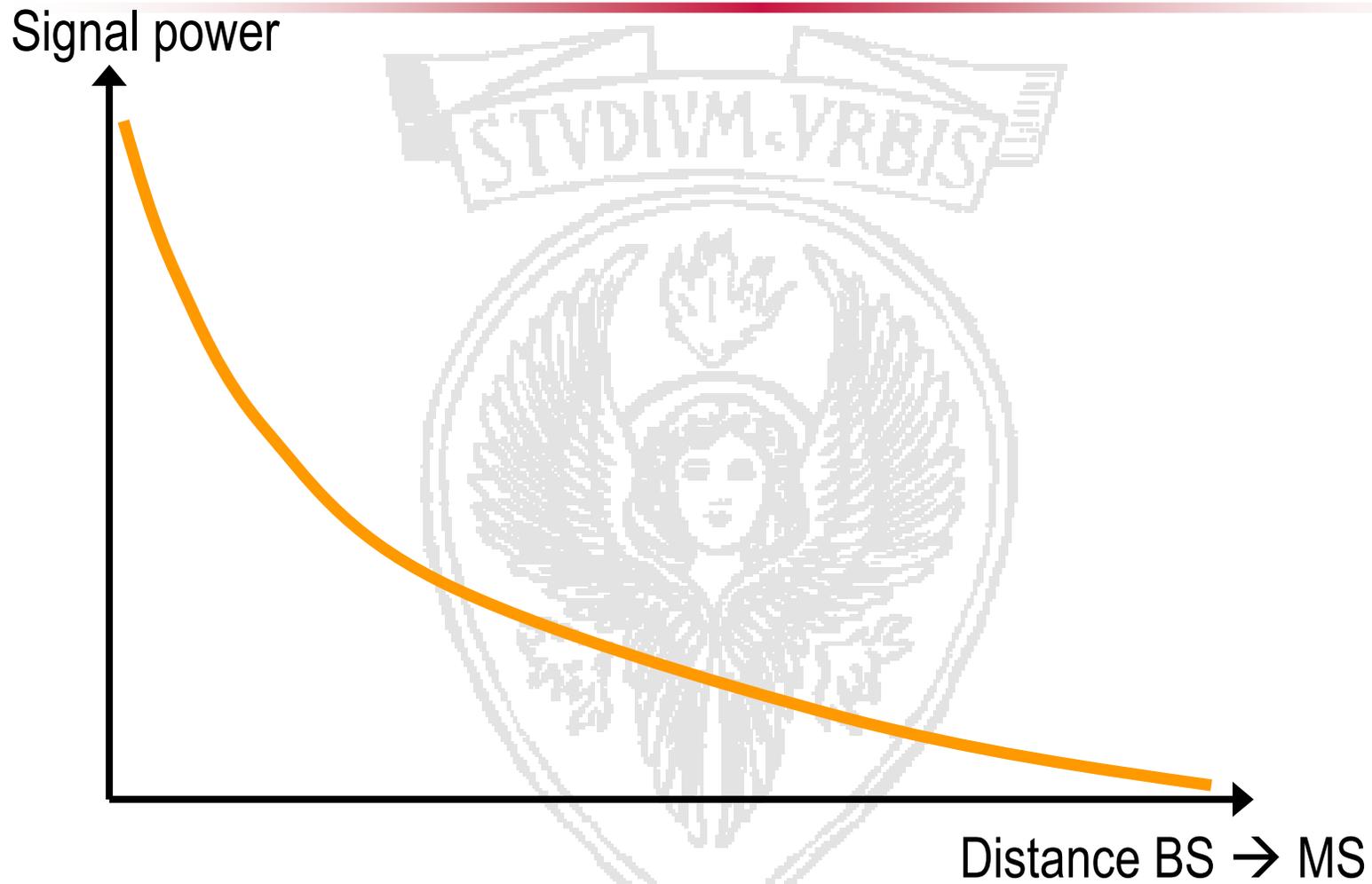
LOS path non necessarily existing (and unique)

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



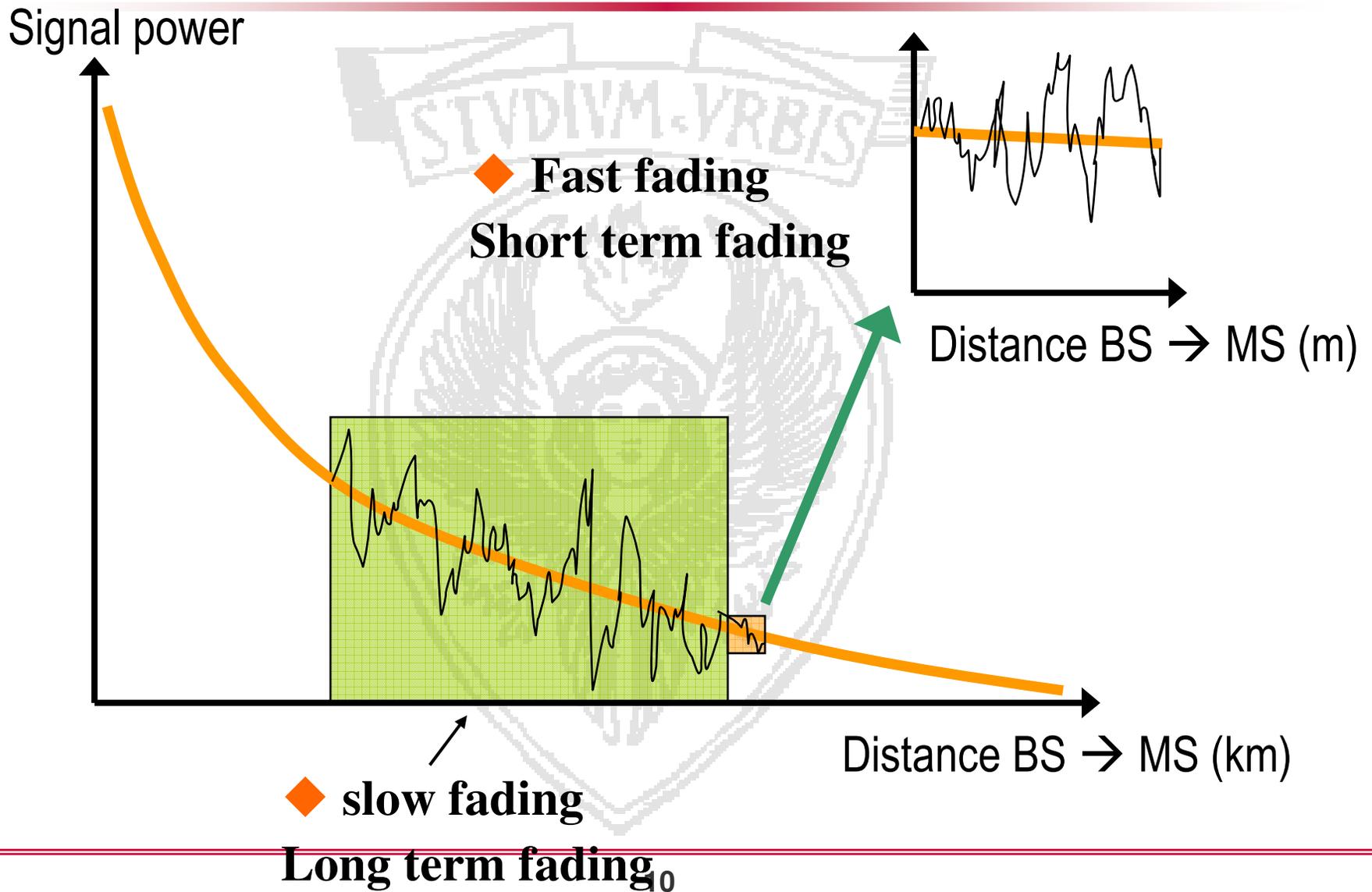


Attenuazione del segnale



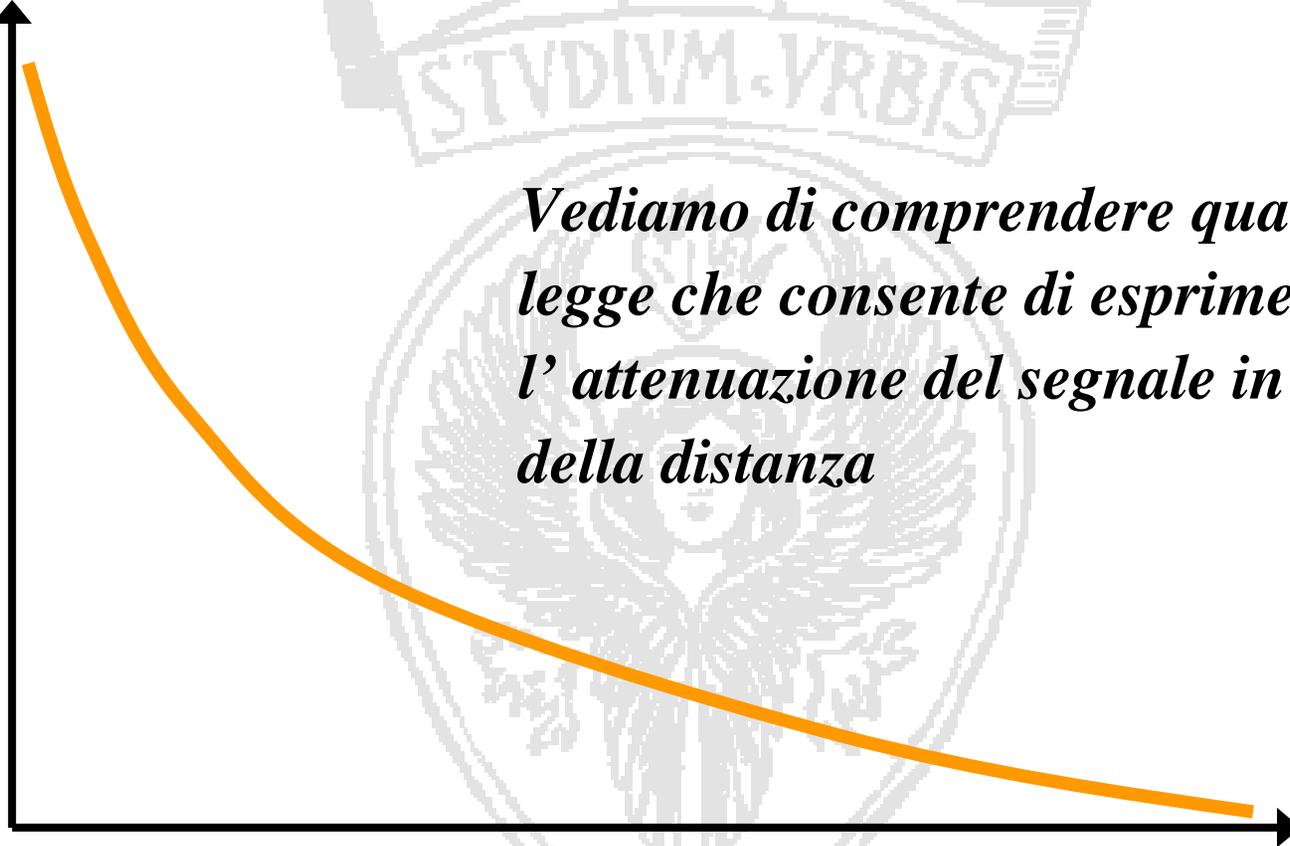


Slow fading – fast fading





Signal power

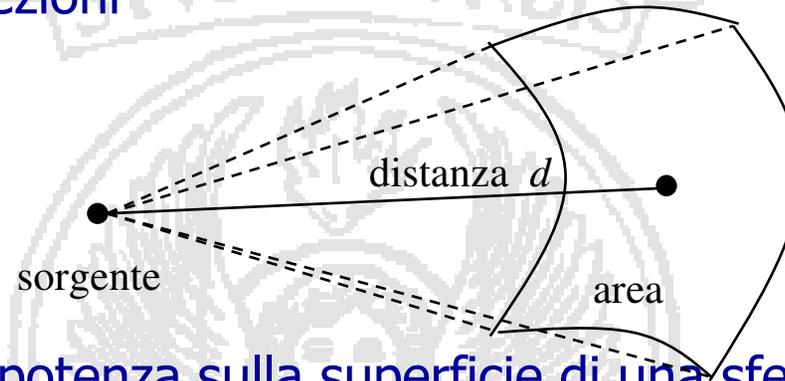


Vediamo di comprendere quale la legge che consente di esprimere l'attenuazione del segnale in funzione della distanza

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

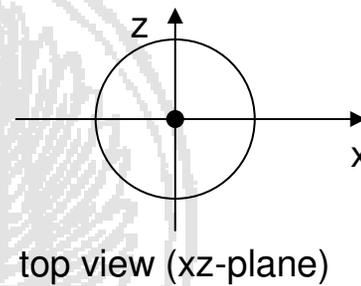
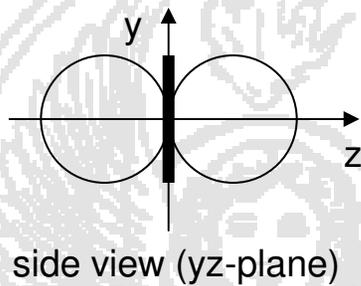
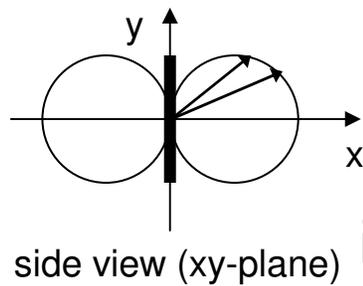


- La densità di potenza sulla superficie di una sfera centrata nella sorgente puntiforme e con raggio d è data da:

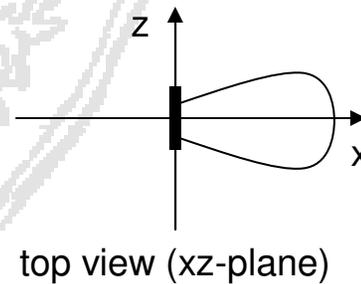
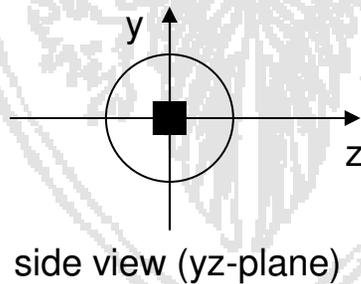
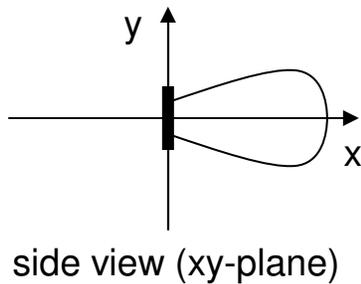
$$F = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2]$$



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



simple
dipole



directed
antenna



- 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)

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

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 → $P_A =$ *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 → un ordine di grandezza di differenza, 20dB due ordini di grandezza, 30db tre ordini di grandezza



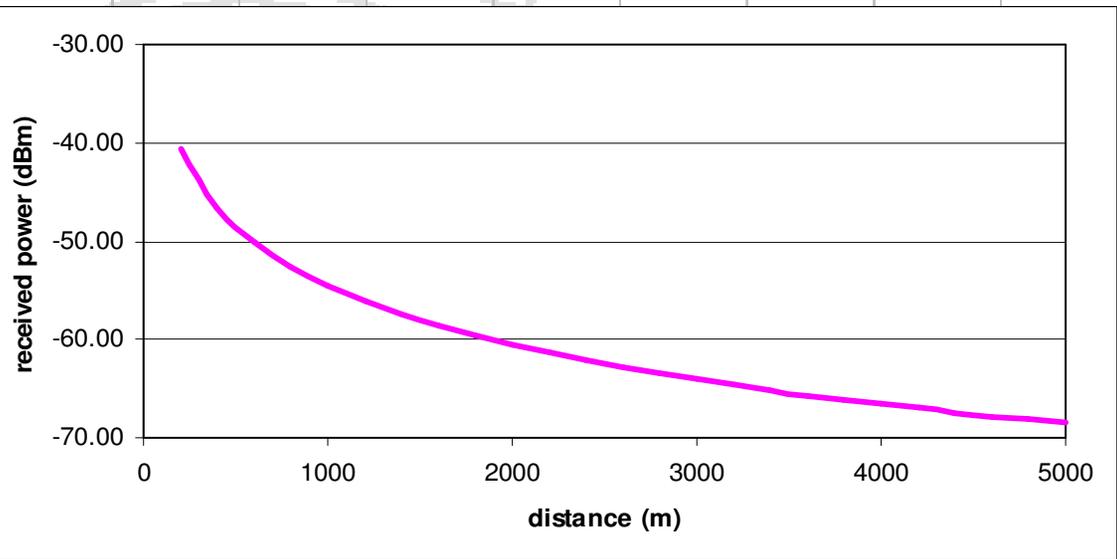
- dBm = rapportato ad una potenza di 1mW
 - Potenza in dBm = $10 \log(\text{potenza}/1\text{mW})$
 - Potenza in dBW = $10 \log(\text{potenza}/1\text{W})$

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
 - $P(\text{dBm}) = 10 \log_{10}(P(\text{W}) / 1 \text{ mW}) = P(\text{dBW}) + 30 \text{ dBm}$
 - $(P1 * P2)(\text{dBm}) = P1(\text{dBm}) + P2(\text{dBW})$
 - $P1 * P2(\text{dBm}) = 10 \log_{10}(P1(\text{W}) * P2(\text{W}) / 0.001) =$
 $10 \log_{10}(P1(\text{W}) / 0.001) + 10 \log_{10} P2(\text{W}) = P1(\text{dBm}) + P2(\text{dBW})$

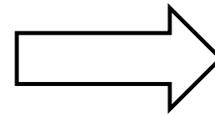


		normalized
frequency [MHz]	900	900000000
speed of light [K]	300000	300000000
lambda (m)		0.333333333
gain Tx	1	
Gain Rx	1	
Loss	1	
Ptx [W]	5	
distance (Km)	Prx W	Prx dBm
200	8.80E-08	-40.56
400	2.20E-08	-46.58
600	9.77E-09	-50.10
800	5.50E-09	-52.60
1000	3.52E-09	-54.54
1200	2.44E-09	-56.12
1400	1.79E-09	-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

$$= 20 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} = \frac{P_T}{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}} \log_{10} \frac{c}{4\pi} =$$

= 20

$$= 20 \log_{10} \frac{P_T}{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}} = 20 \log_{10} \frac{1}{G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L}} =$$

= 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



Free space loss

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

Se $L=1$, guadagni antenne=1

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



- ***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

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

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



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

Se si conosce il valore ad una distanza di riferimento

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

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

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



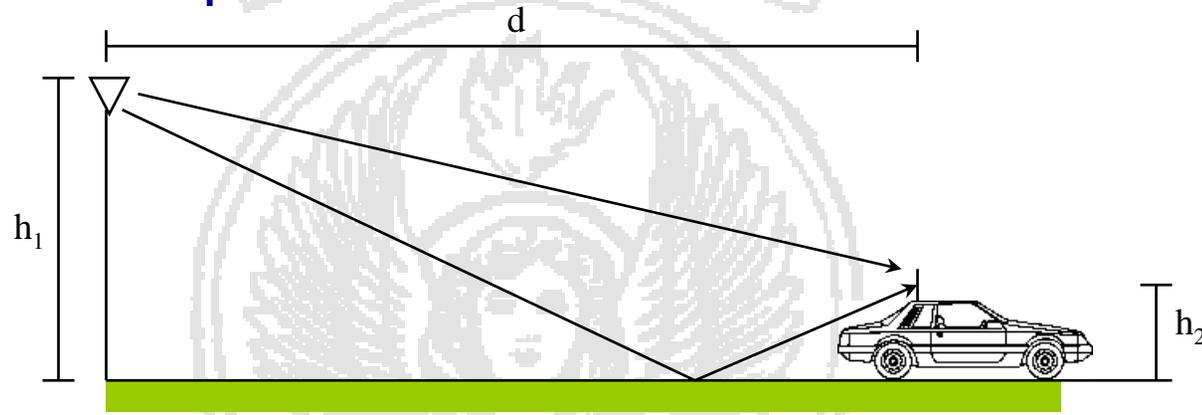
- La potenza al ricevitore nel caso di propagazione in spazio libero può essere espressa come:

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

- 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:

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



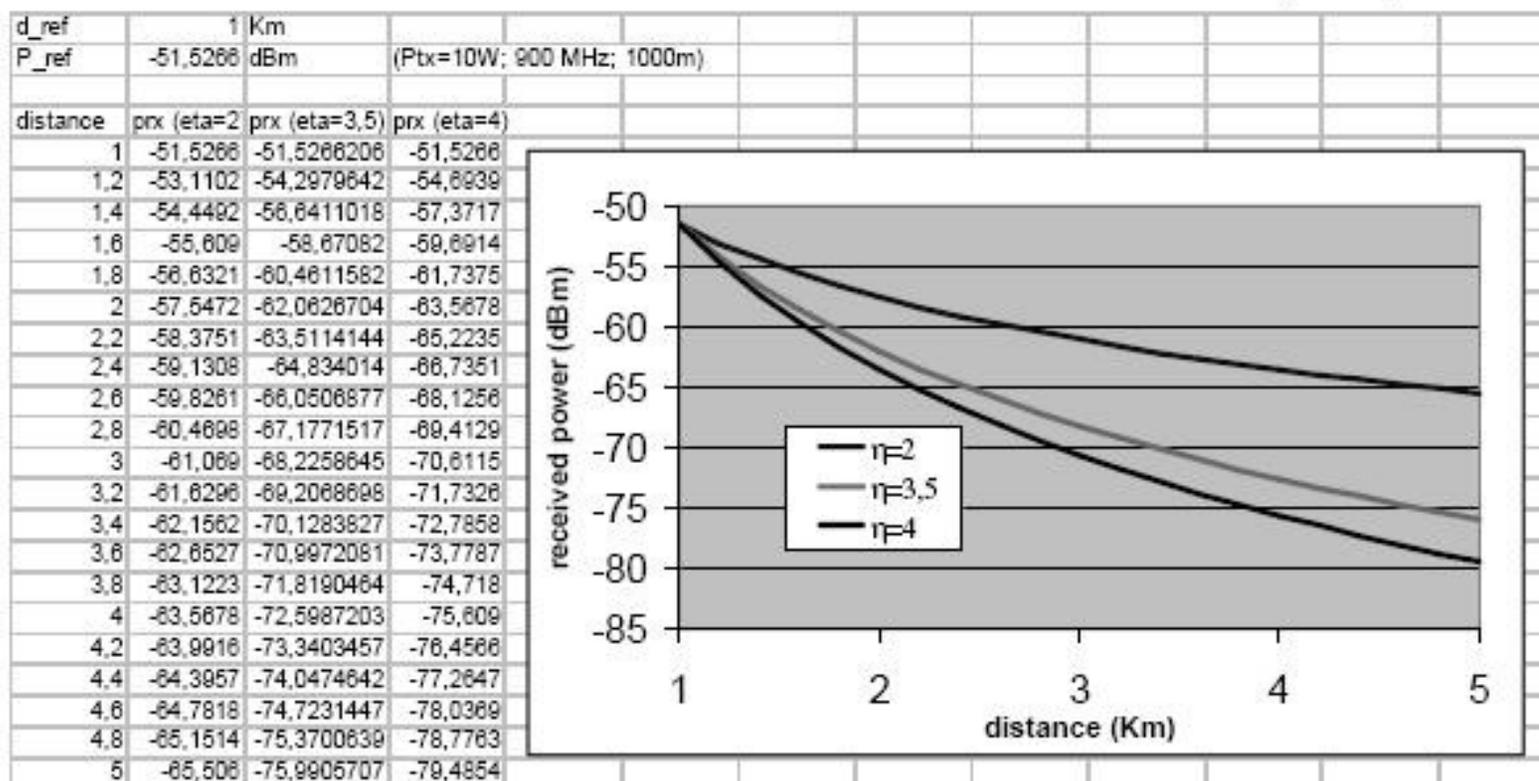
- Nell'ipotesi della propagazione per due raggi la potenza ricevuta decresce, a causa dell'attenuazione dovuta alla distanza, molto più velocemente ($\sim 1/d^4$) che nel caso di propagazione in spazio libero ($\sim 1/d^2$)
- In realtà la propagazione tipica dei sistemi wireless è spesso diversa e più 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):

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



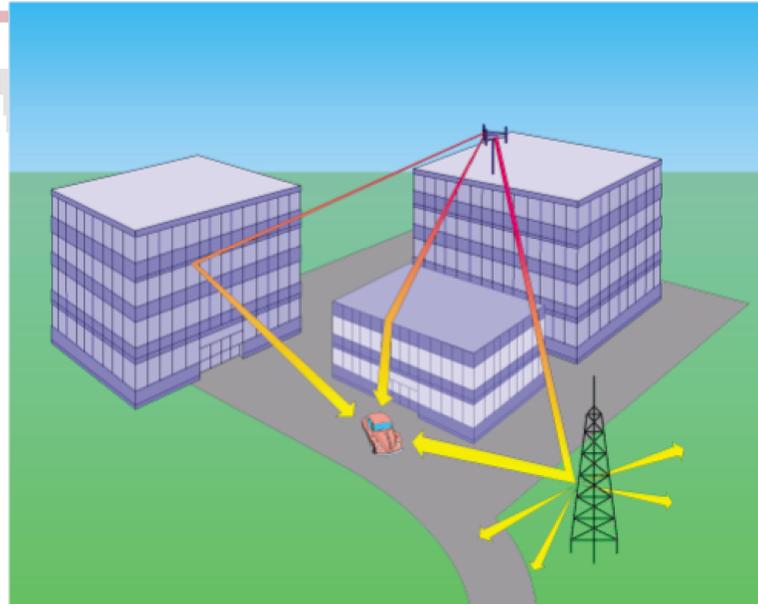
Extended formula

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





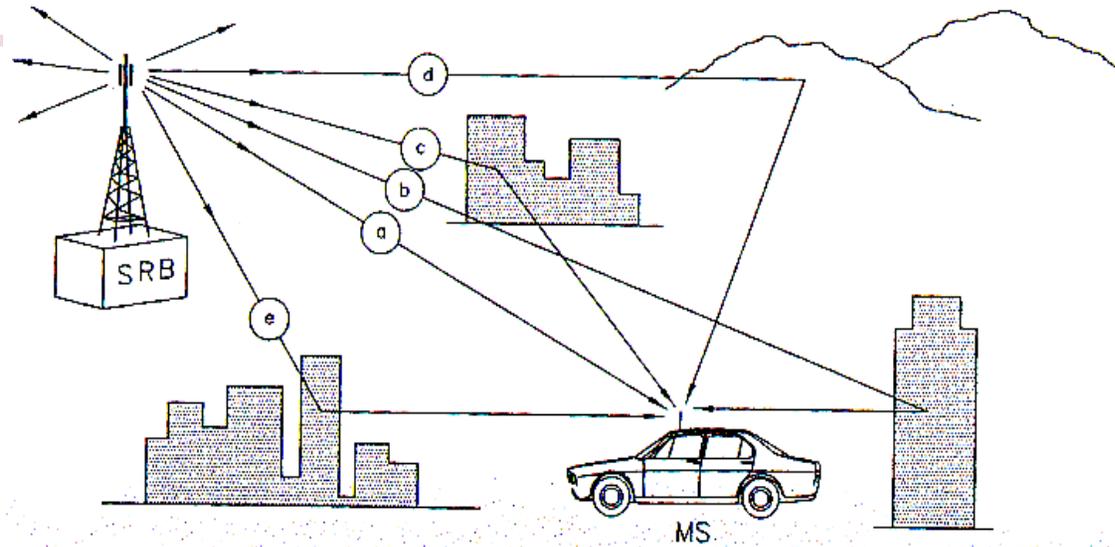
Canale wireless: fading multipath



- 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).



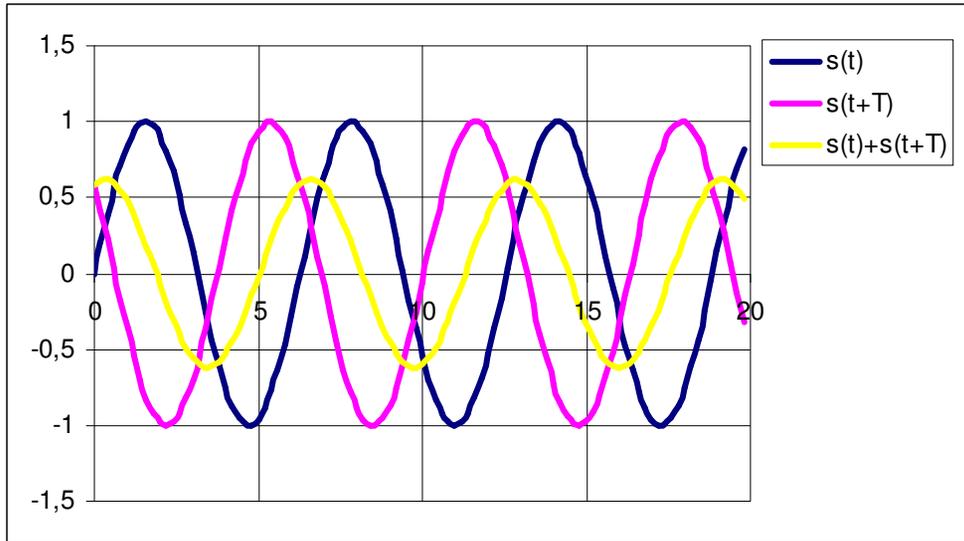
Canale wireless: fading multipath



- 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!**

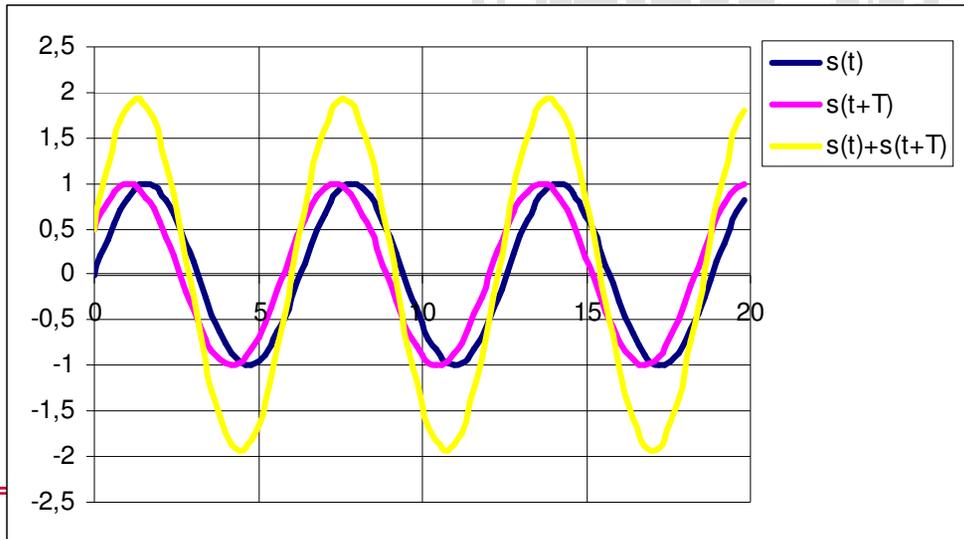


Canale wireless: fading multipath



- Il segnale risultante può essere attenuato

$$T = 4/5\pi$$



- **O addirittura amplificato**

$$T = \pi / 6$$



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

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

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

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

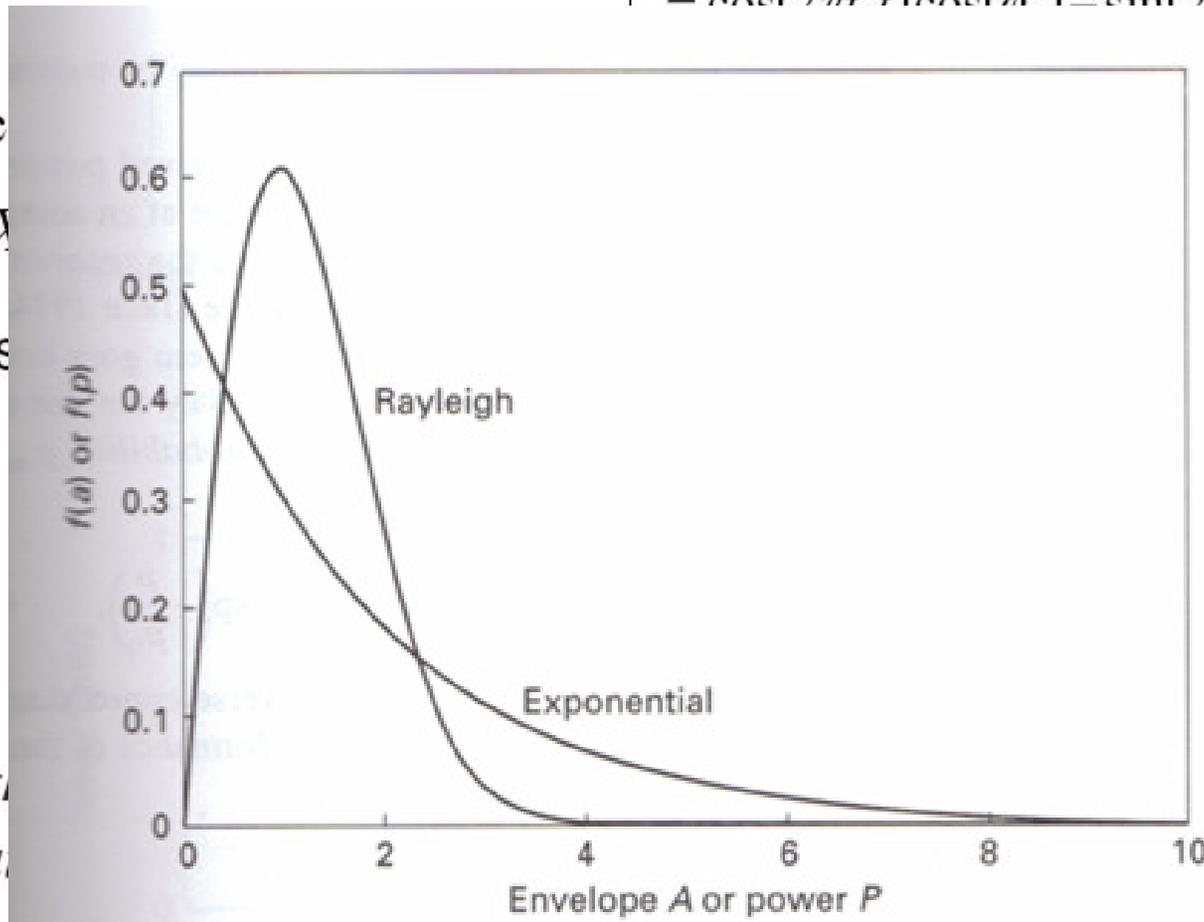
= c

= X

In the as

X,Y are

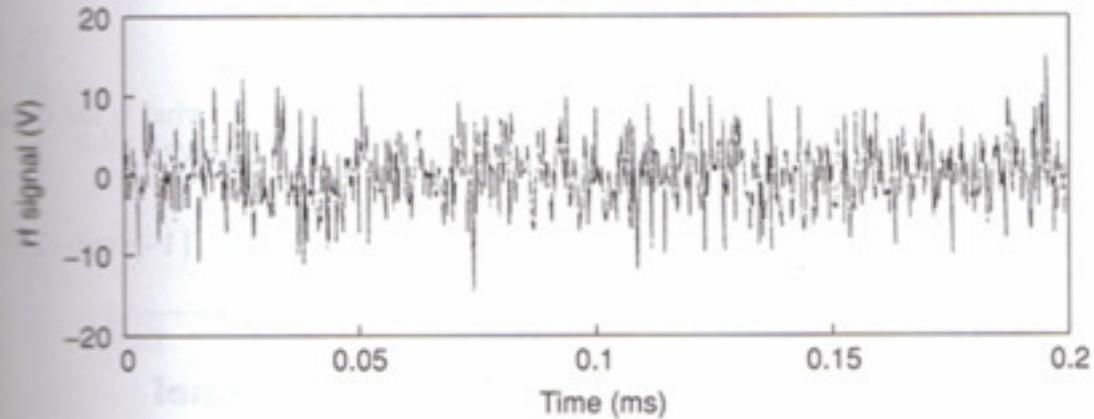
Rayleigh
distribu



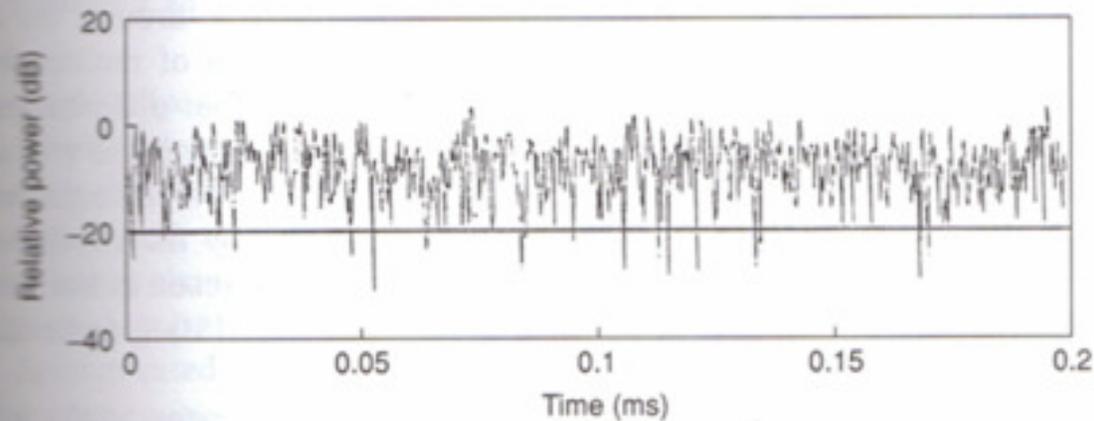
s the
e of
variables



Rayleigh fading



(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:

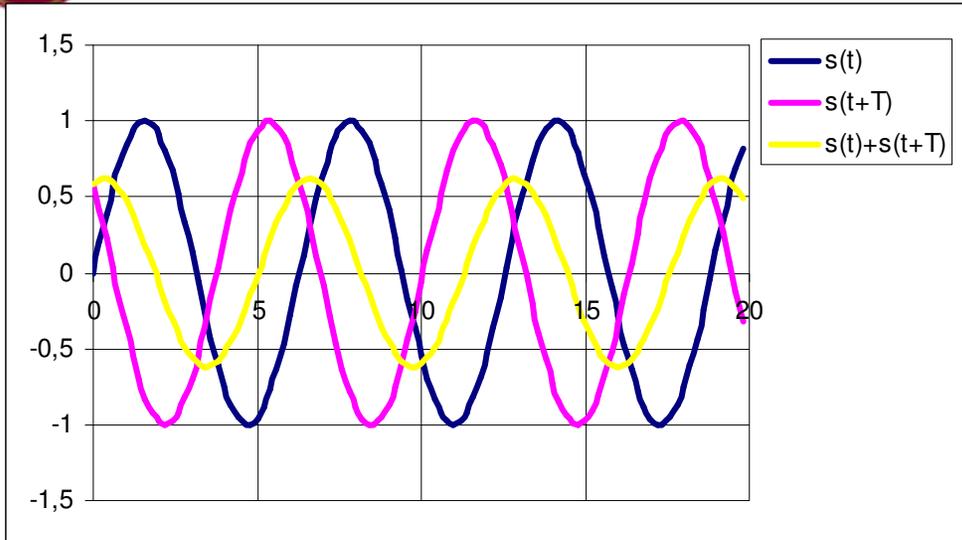
Outage Probability → Probability that received power is lower than a given threshold

⇒ Below which signal cannot be correctly received

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

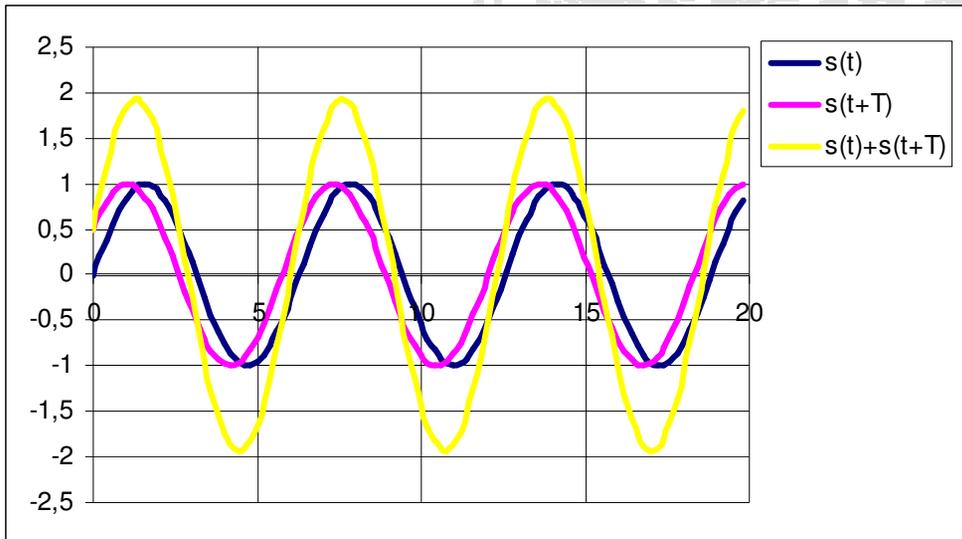


Canale wireless : fading multipath



- Il segnale risultante può essere attenuato

$$T = 4/5\pi$$



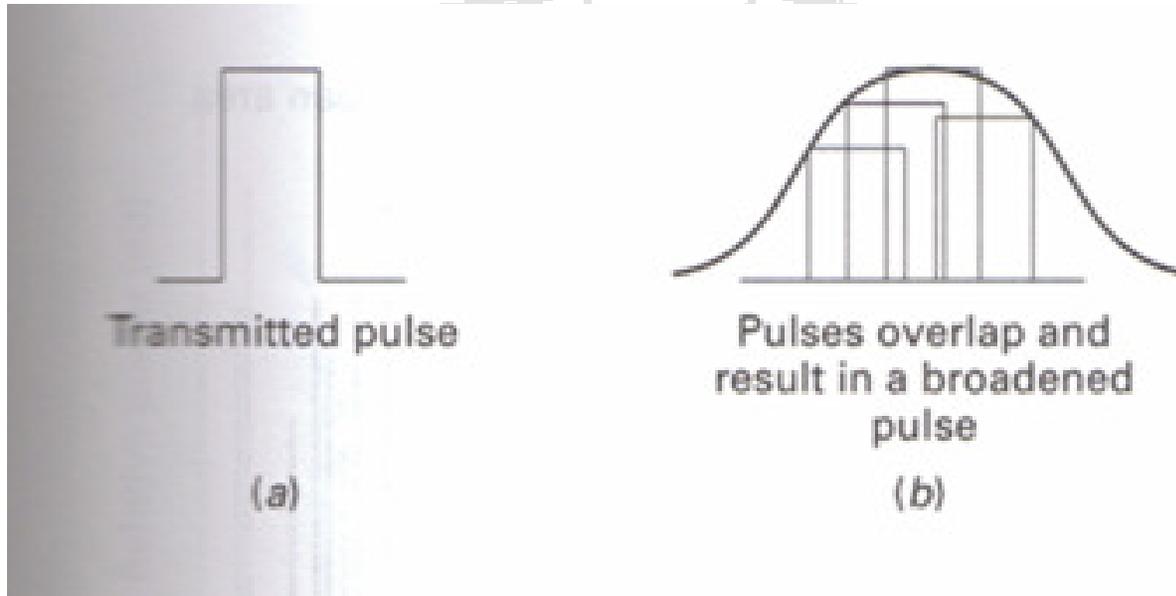
- **O addirittura amplificato**

$$T = \pi / 6$$



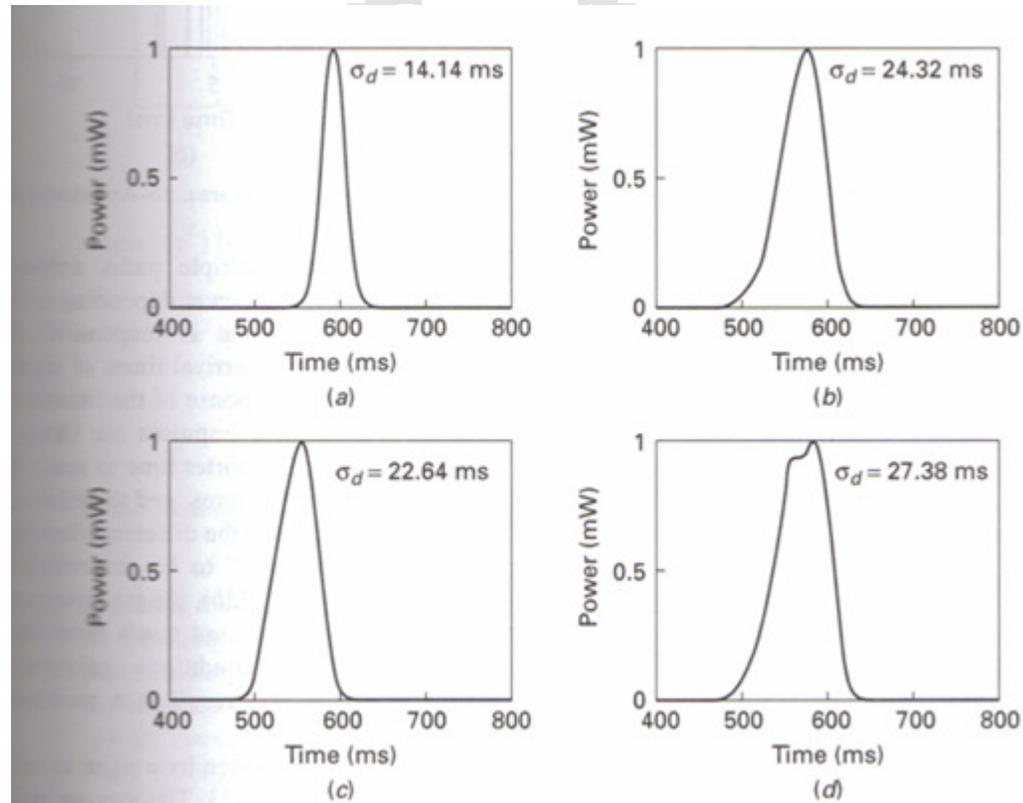
- Il realtà la propagazione per cammini multipli può provocare altri più complessi problemi nel caso di trasmissione digitale
- In questo caso, infatti, i diversi ritardi delle repliche del segnale trasmesso (*delay spread*) provocano un allargamento della risposta all'impulso del canale che può portare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





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

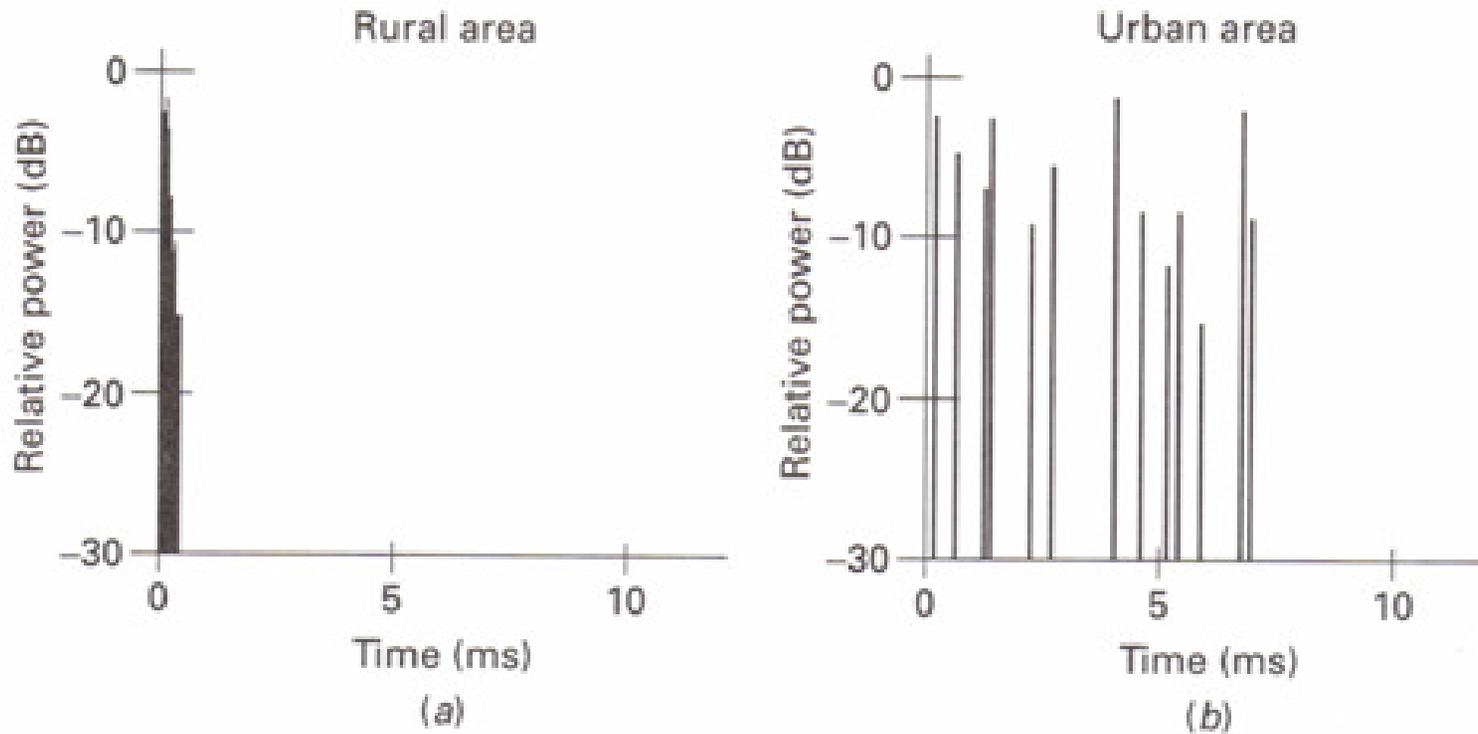
(prossima slide...)



Possibilità di interferenza intersimbolica !!



Impulse response





- 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



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



***Tecniche per il risparmio energetico
nella trasmissione***



- I dispositivi portatili hanno bisogno di sorgenti esterne di energia (batterie, celle solari) per poter operare
 - Il tempo di vita delle batterie rimane limitato.
 - Aumentano le richieste di energia dei dispositivi portatili (e le aspettative di autonomia energetica dei dispositivi da parte degli utenti)
- ↓
- Occorre quindi evitare il piu' possibile sprechi di energia per massimizzare il tempo in cui i dispositivi possono essere operativi



- Le componenti di un laptop con consumo energetico significativo sono il microprocessore (CPU), il liquid crystal display (LCD), l'hard disk, system memory (DRAM), keyboard/mouse, CDROM drive, I/O subsystem, e la **wireless network interface card**
- L'interfaccia radio è una delle componenti più significative (dopo il display) del consumo energetico
 - Toshiba 410 CDT (dati 2001): 36% del consumo energetico era dovuto al display, 21% CPU+memoria, 18% interfaccia radio, 18% hard drive
- **Per questo motivo alla metà degli anni '90 è nata un'area di ricerca dedicata allo sviluppo di tecniche per abbassare il consumo energetico dell'interfaccia radio**



- Il consumo energetico necessario per eseguire funzionalità di rete è dovuto a
 - Computazione: processing associato alle operazioni del protocollo
 - Comunicazione: uso del transceiver per inviare e ricevere pacchetti dati e di controllo
- C'è tipicamente un trade-off tra computazione e comunicazione.
 - Protocolli a basso consumo energetico per la comunicazione tipicamente aggiungono un po' di complessità/costo di processing, cosa ragionevole purchè la soluzione proposta porti a vantaggi significativi in grado di bilanciare i costi aggiuntivi.
 - C'è anche un trade-off che dipende da dove è collocata l'intelligenza del sistema. Fare processing delle informazioni in rete può ridurre la necessità di comunicazione. Il costo da pagare è maggiore energia spese per la computazione da parte di nodi con limitate risorse energetiche.
 - Ottimizzare questi trade-off, come pure ottenere i migliori trade-off tra più metriche prestazionali di interesse (non solo l'energia consumata, ma l'energia, il throughput, la latenza) è l'obiettivo dei protocolli di comunicazione a basso consumo energetico.



- Il consumo energetico necessario per eseguire funzionalità di rete è dovuto a
 - Computazione: processing associato alle operazioni del protocollo
 - Comunicazione: uso del transceiver per inviare e ricevere pacchetti dati e di controllo
- C'è tipicamente un trade-off tra consumo energetico e comunicazione.
 - Protocolli a basso consumo energetico aggiungono un overhead di comunicazione tipicamente singolarmente, cosa ragionevolmente giustificativa in grado di ridurre il consumo energetico.
 - C'è anche un trade-off tra consumo energetico e comunicazione. localizzare l'intelligenza del sistema e può ridurre la necessità di comunicazione a maggiore energia consumata, ma l'energia, il consumo energetico, il consumo energetico, il consumo energetico. mitigate risorse
 - Ottimizzare quei trade-off tra i migliori trade-off tra consumo energetico, il consumo energetico, il consumo energetico, il consumo energetico. l'energia consumata, o dei protocolli di comunicazione a basso consumo energetico.

