

Alma Mater Studiorum – University of Bologna
Department of Computer Science and Engineering

**Wireless Systems (1) –
Physical Systems, Signals and Wireless Systems' Design**



Luciano Bononi

(luciano.bononi@unibo.it)

Figure-credits: some figures have been taken from slides published on the Web, by the following authors (in alphabetical order):

J.J. Garcia Luna Aceves (ucsc), James F. Kurose & Keith W. Ross, Jochen Schiller (fub), Nitin Vaidya (uiuc)

physical

Background on wireless PHY layer

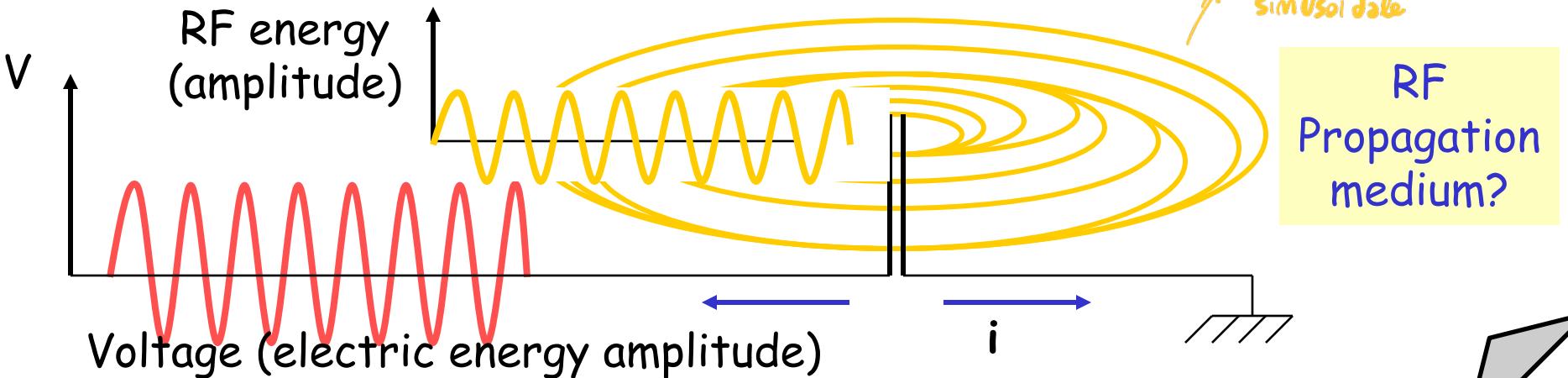
RF Properties

■ Understanding Radio Frequency

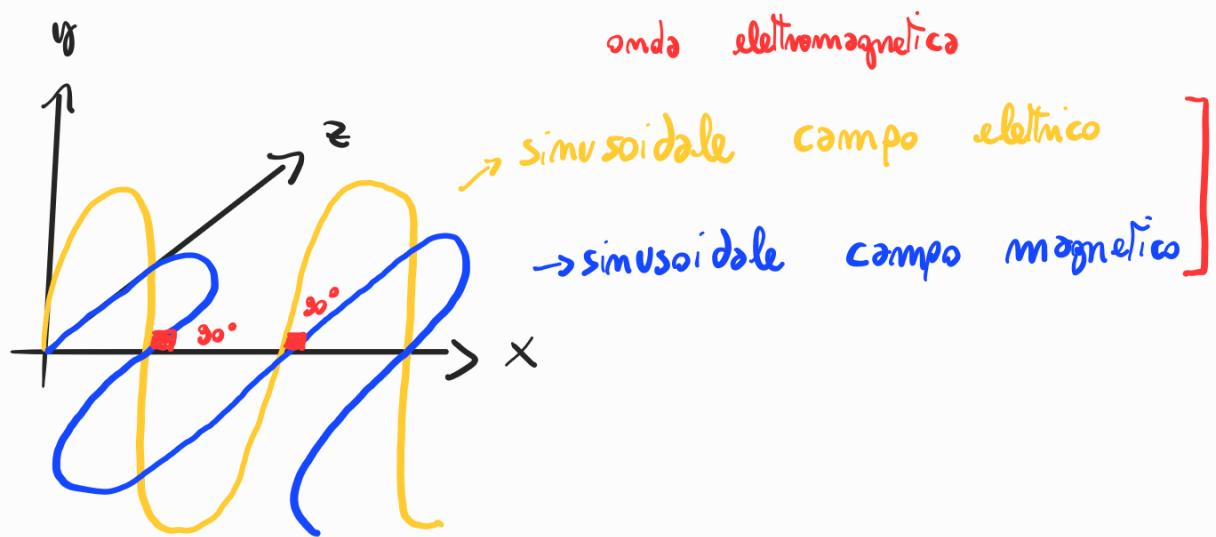
- Generation, coverage and propagation issues
- Fundamental for wireless planning and management
- <http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/EM/EMWave/EMWave.html>
- http://wwwhome.ewi.utwente.nl/~ptdeboer/ham/xnecview/dipole_anim.html

■ Radio Frequency Signals

- DIAGRAMMI** che mi sono l'intensità del campo elettrico
- Electromagnetic energy generated by high frequency alternate current (AC) in antennas
 - Antenna: converts the wired current to RF and viceversa



Campo elettrico e magnetico sono ortogonali tra loro



Generando un'a variazione nel tempo del potenziale elettrico si genera un campo magnetico → la differenza di potenziale è la differenza di accumulo di cariche alle estremità di un conduttore
• In un circuito è facile far variare il potenziale elettrico

CORRENTE ELETTRICA → movimento di elettroni (opposto al flusso di corrente) dal + al - su un conduttore
caricati nucleari ecc... ↑
↓ filo di rame

Lavoro → Accumulo energia separando le cariche - e +
• Se si accumulano le cariche (si sbilanciano) si genera corrente elettrica

Se lo sbilanciamento di cariche nel tempo avviene in modo alternato $\ominus \rightarrow \oplus$ e $\oplus \rightarrow \ominus$ genera una sinusoidale di campo elettrico \rightarrow genera anche un campo magnetico
 $(\text{Sono pochi in realtà gli elettroni che si muovono})$

Mezzo di propagazione dell'onda radio $\rightarrow \mathbb{R}$ (si trasmette anche nel vuoto)
 $(\text{Es. il mezzo di propagaz. della cometa} \rightarrow \text{conduttore})$

RF Properties

1° parametro:

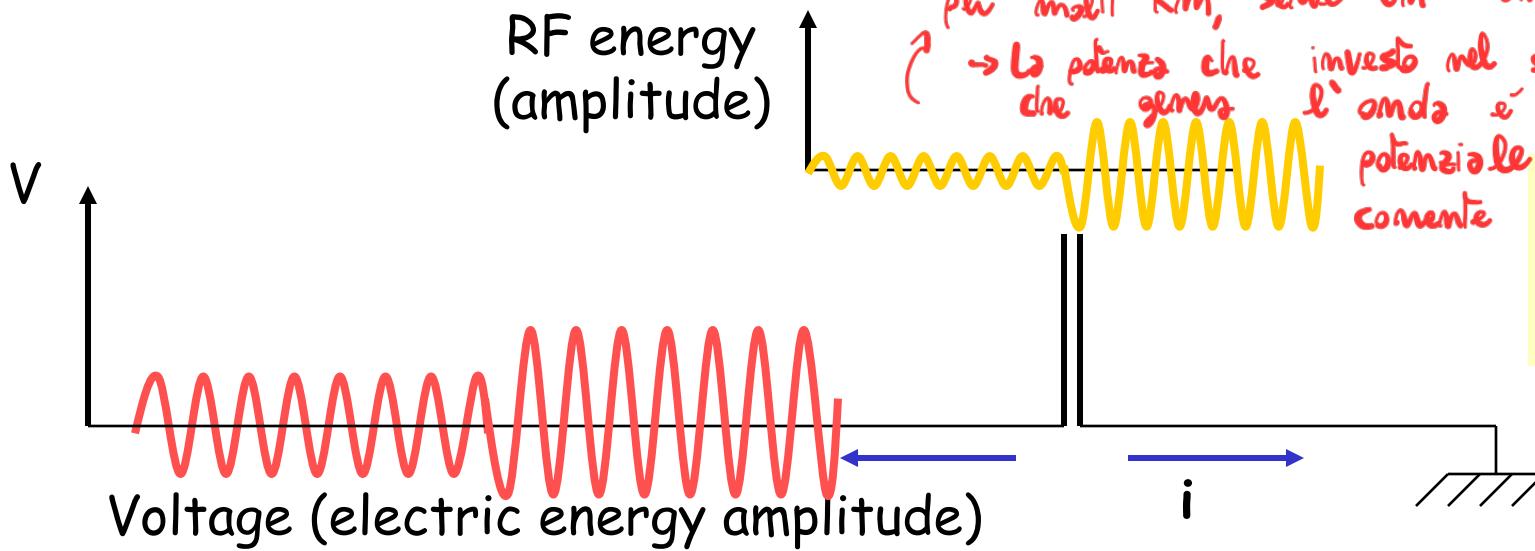
- **Amplitude** → Ampiezza dell'onda: *è la differenza di potenziale*
 - Higher amplitude RF signals go farther
 - Transmission Power (Watts) = Energy / Time = Joule / Sec
 - More energy (voltage) moves more electrons (current)
 - Power = Voltage * Current
Diff. di potenziale *Intensità di corrente*

→ La potenza è tanto maggiore quanto più velocemente si scarica la batteria
· in montagna, si generano onde più potenti

se devo propagare un'onda per molti Km, serve un' "onda potente"

→ La potenza che investe nel segnale elettrico che genera l'onda è il prodotto tra potenziale e intensità di corrente

RF Propagation medium?



RF Properties

2° parametro: misurate in Hertz Hz → indica un periodo/ciclo completo al secondo

Frequency (and Wavelength)

- Wireless Spectrum (see next slides)
- Portion of wireless spectrum regulated by regional authorities and assigned to wireless technologies

→ la somma delle vettoriali delle componenti



Higher Frequencies



Lower Frequencies

1 2 3 ... Time (sec)

un antenna di solito è di c.a. 12 cm
ci sono i limiti fisici (smartphone, sono piccoli) → se facessimo

Reti di Calcolatori

quindi si può isolare una frequenza del canale di trasmissione dallo spettro delle frequenze radio / delle anche bande di frequenze

frequenze → grazie ai filtri passabanda si può selezionare Wavelength = $c / \text{frequency}$ quale intervallo di lunghezza d'onda velocità luce frequenze "ascoltate"

E.g. 2.4 GHz (ISM band)

Wave Length = banda di frequenze del primo wi-fi

$$300.000.000(\text{m/s}) / 2.400.000.000 \text{ Hz} =$$

$$0.125 \text{ m} = 12.5 \text{ cm}$$

In situazioni reali:

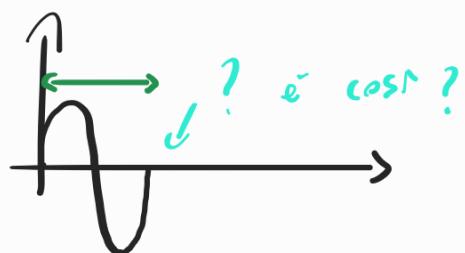
In practice:

Antennas work better with size = $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ of wavelength (try to measure antenna size of your IEEE 802.11 device)

combinare la lunghezza d'onda con la migliore ricezione

Nell' spazio le onde incontrano i conduttori, che si compongono come antenne, si genera del rumore che disturba l'onda

L' unità di misura della frequenza è l' Hz, cioè il numero di cicli / sinusoidi completate al secondo

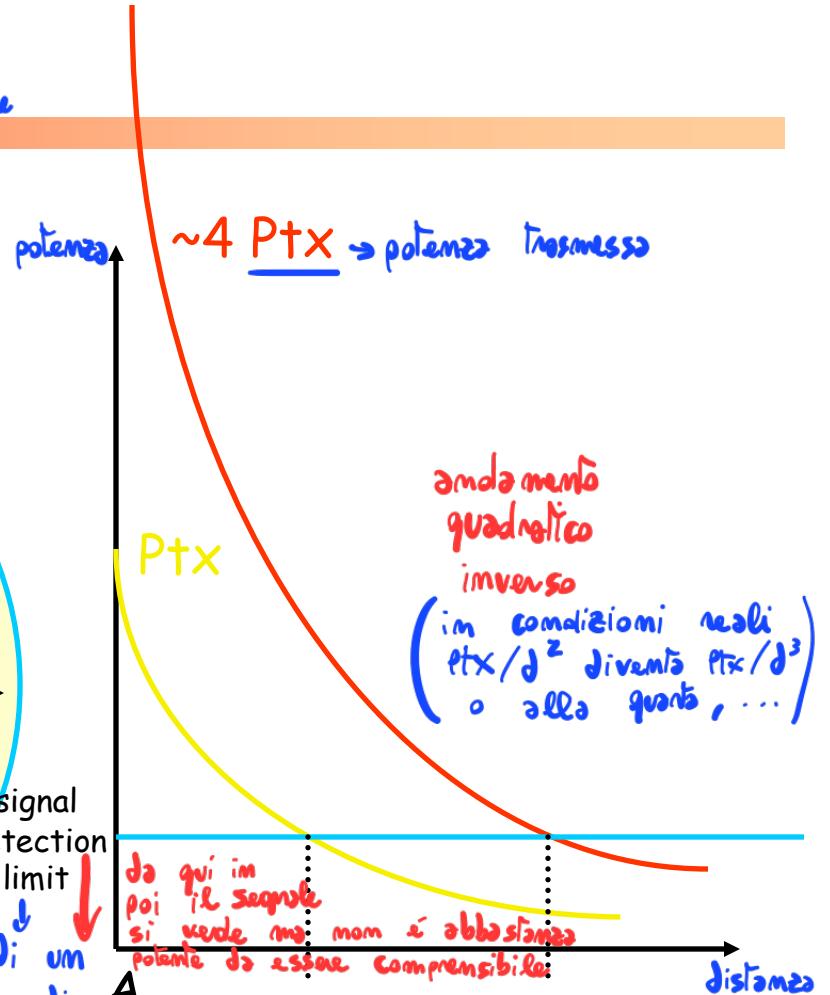
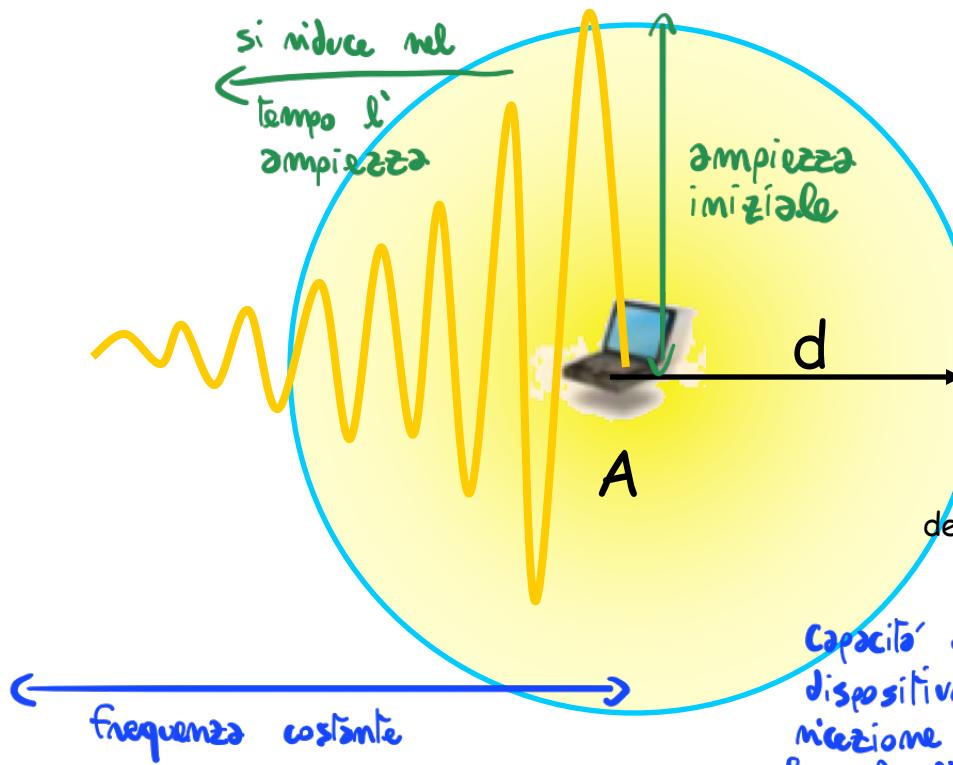


RF propagation

→ situazione didattica
è semplificata - per far capire
il concetto

3° parametro

▪ Radio transmission coverage



The range is a function of power transmission (Ptx)

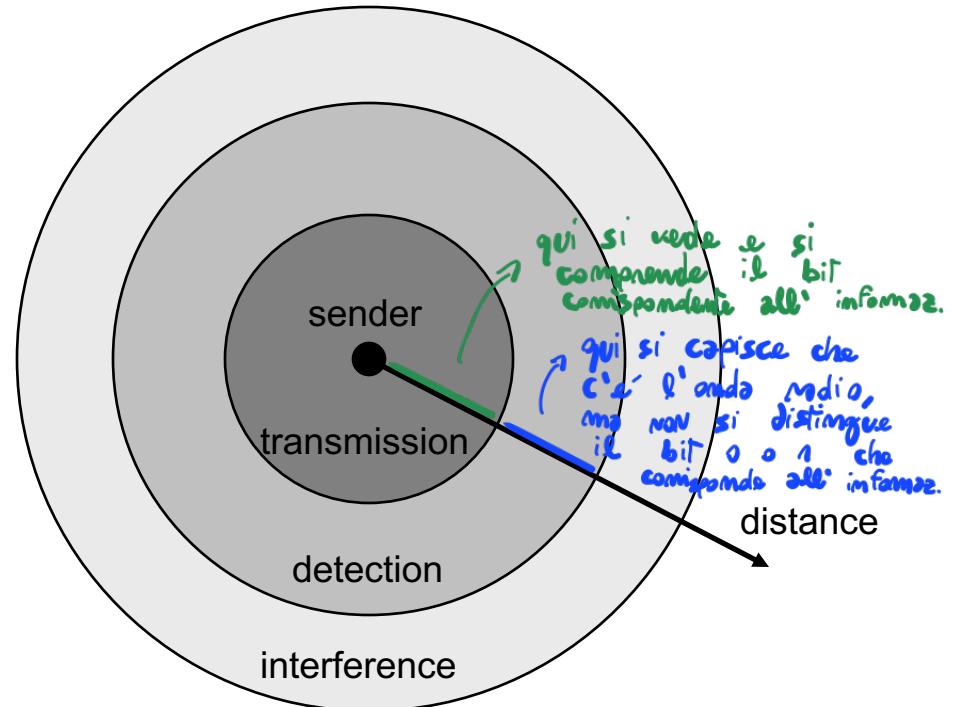
Signal strength reduces with d^k

($K \geq 2..3$, no obstacles, isotropic radiator)

In 3D, sphere:
 $V = (4 \pi r^3 / 3)$
 $S = (4 \pi r^2)$

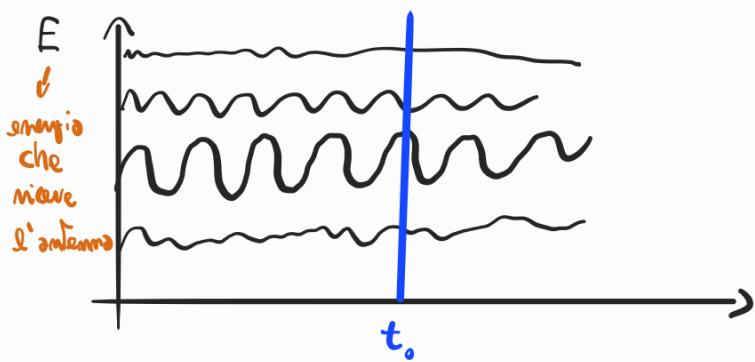
Wireless signal propagation ranges

- **Transmission range**
 - communication possible
 - low error rate
- **Detection range**
 - detection of the signal possible
 - no communication possible
- **Interference range**
 - signal may not be detected
 - signal adds to the background noise



Ranges depend on receiver's sensitivity!

effetti delle onde elettromagnetiche



All'istante t_0 , la somma vettoriale delle frequenze genera un'onda che è rilevabile ma non sufficiente ad essere compresa

perciò com
fante onde
che si propagano
non è possibile
implementare

però, si mette a vedere che c'è l'onda

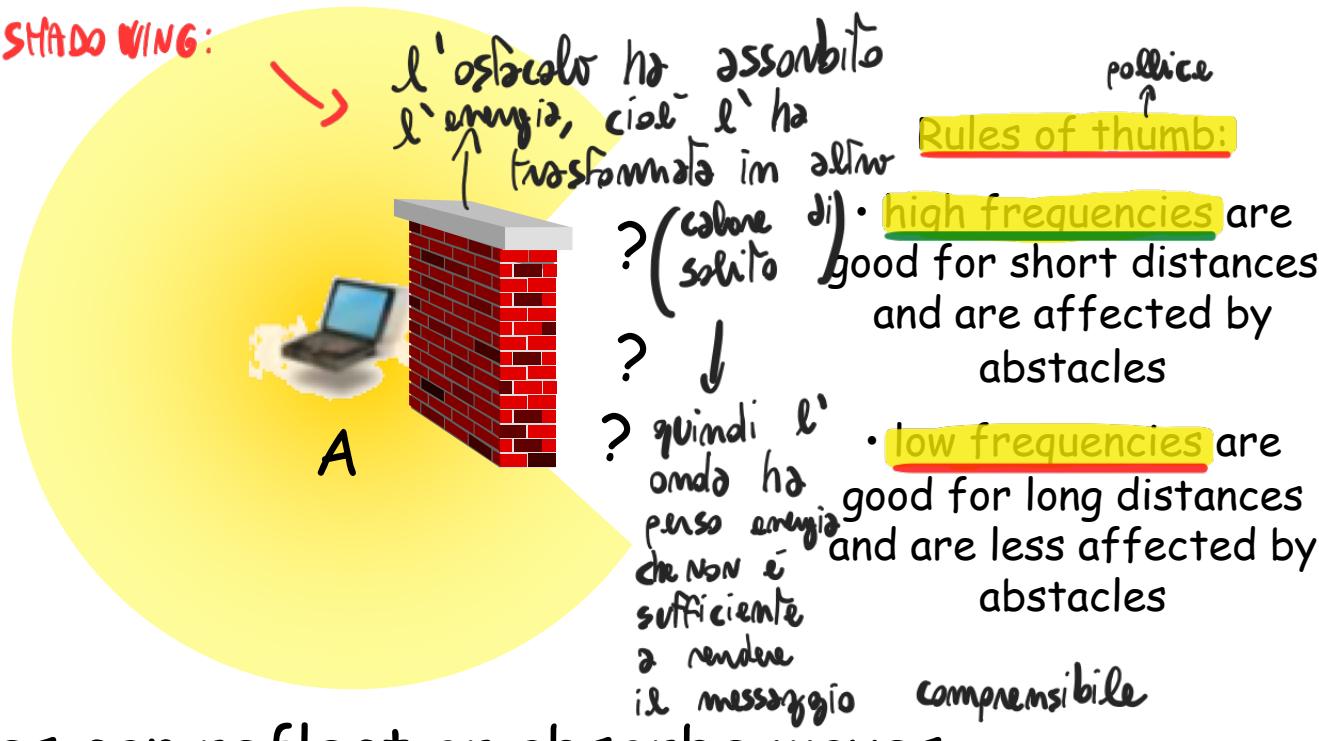
Nelle reti wireless: MAC PROTOCOL (cavo ethernet) impossibile da usare:

trasmetto solo quando NON vedo passaggio di corrente \rightarrow tradotto: Nelle zone di **detection** e **interference** sento sempre che ci sono dei segnali, (trasmessi da altri e interferenze (queste nella **interference**) quindi non trasmetterei mai.

\Rightarrow E' indecidibile sapere l'intensità di corrente che sta nell'antenna abbia componenti la cui somma abbia effetto additivo o salutistivo

Wireless networks' technology

▪ Radio transmission coverage

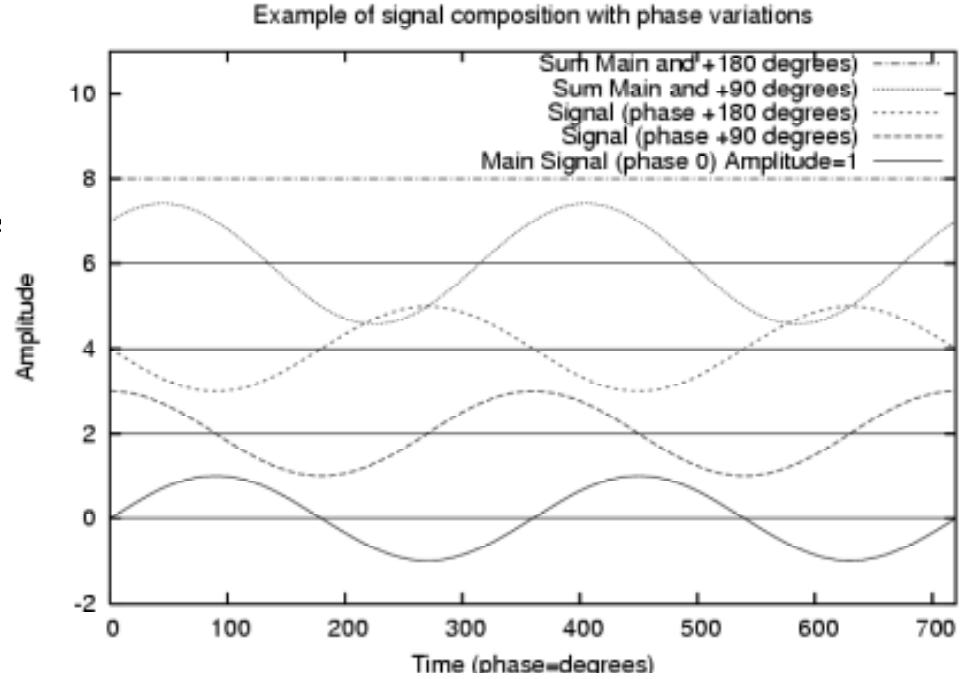
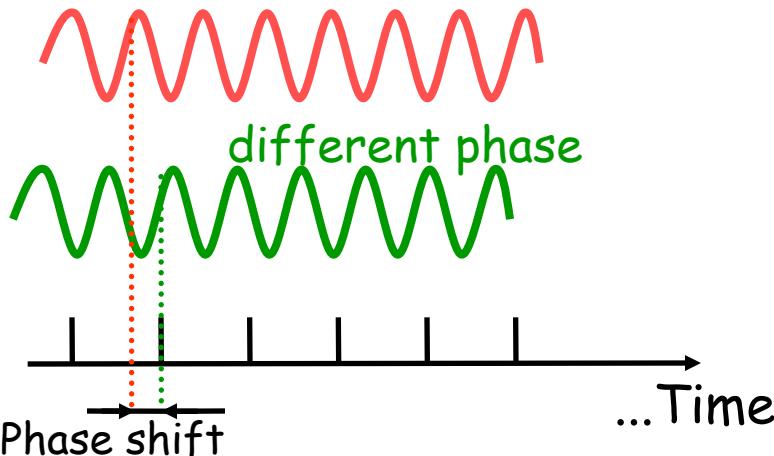


obstacles can reflect or absorb waves
depending on materials and wave frequencies → Regola del pollice

RF Properties

Phase: shift of the wave (in degrees or radians)

- Positive phase (left-shift), early wavefront
- Negative phase (right-shift), late wavefront



In practice:
RF echoes arriving at receivers with different phase may have positive or negative effects... Why?

RF Properties

4° parametro:

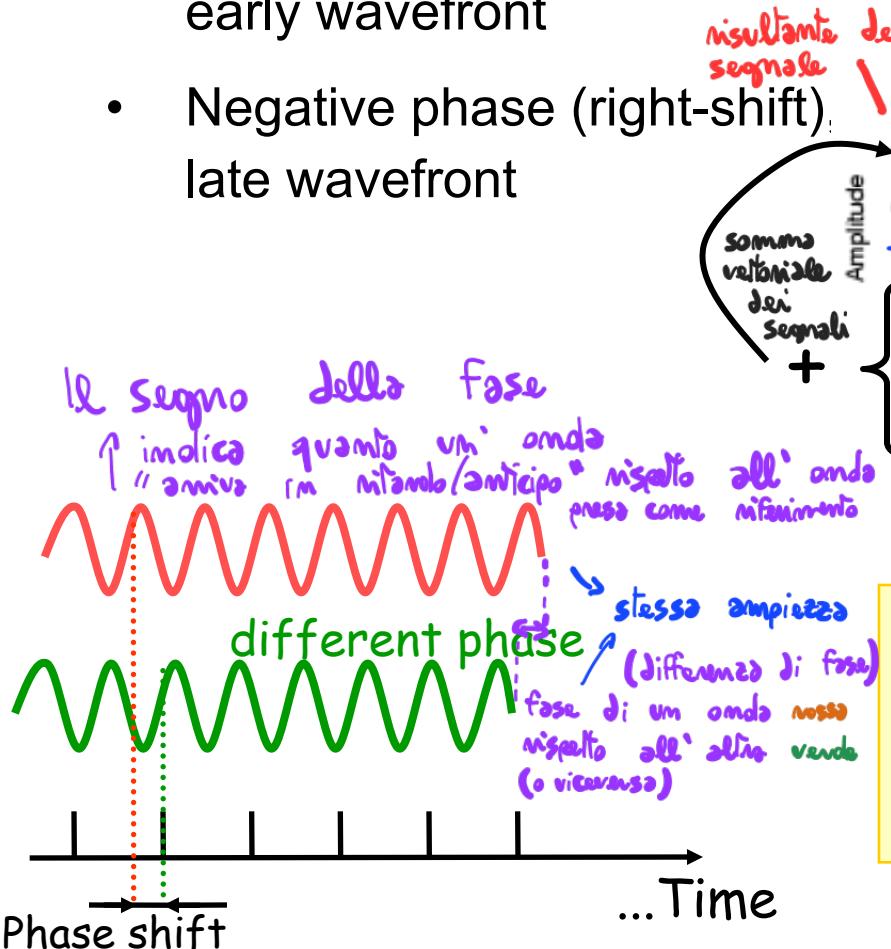
↳ fase di un segnale

gradi

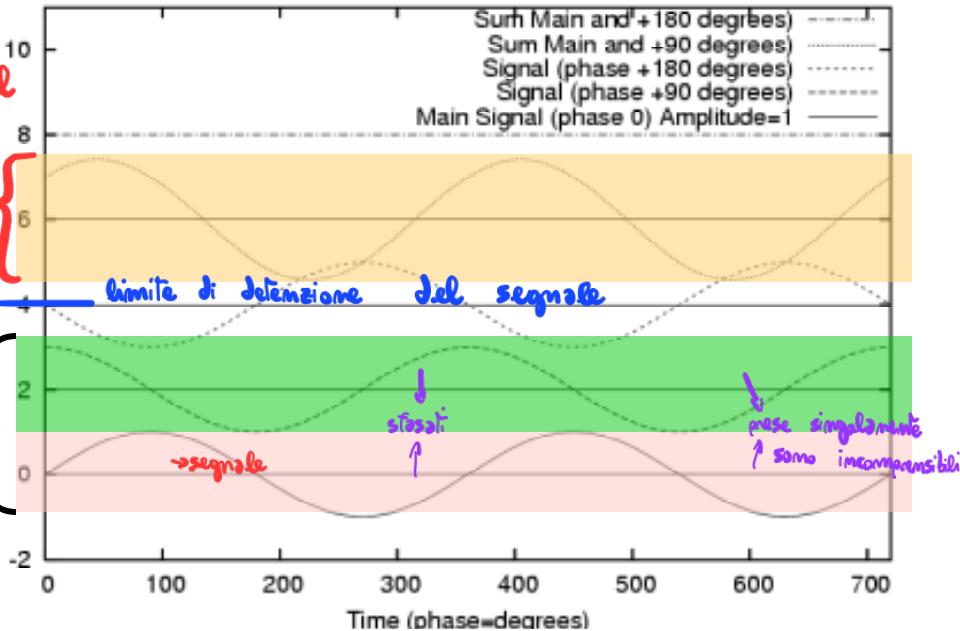
radiani

- Phase: shift of the wave (in degrees or radians)

- Positive phase (left-shift), early wavefront
- Negative phase (right-shift), late wavefront



Example of signal composition with phase variations



In practice:
RF echoes arriving at receivers with different phase may have positive or negative effects... Why?

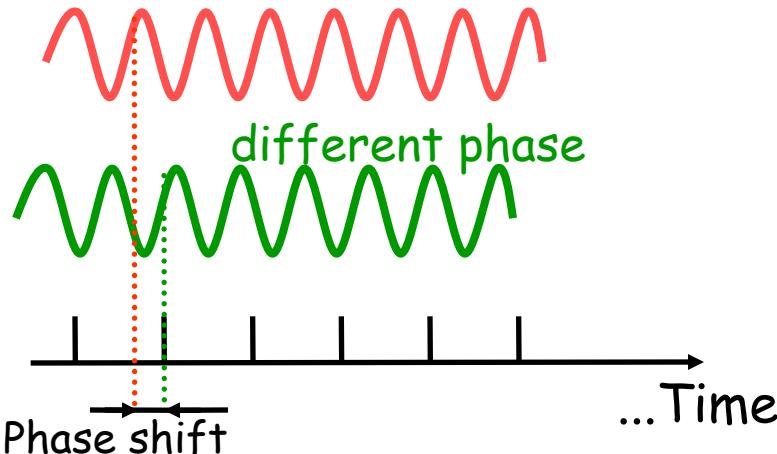
RF Properties

Phase: shift of the wave (in degrees or radians)

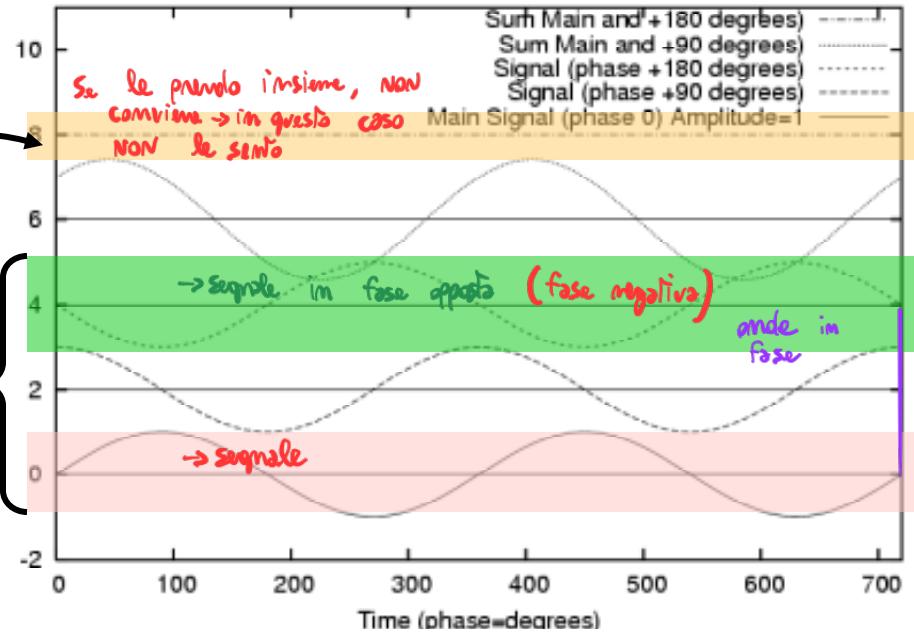
- Positive phase (left-shift), early wavefront
- Negative phase (right-shift), late wavefront

Test with audio (demo):

<https://www.szynalski.com/tone-generator/>

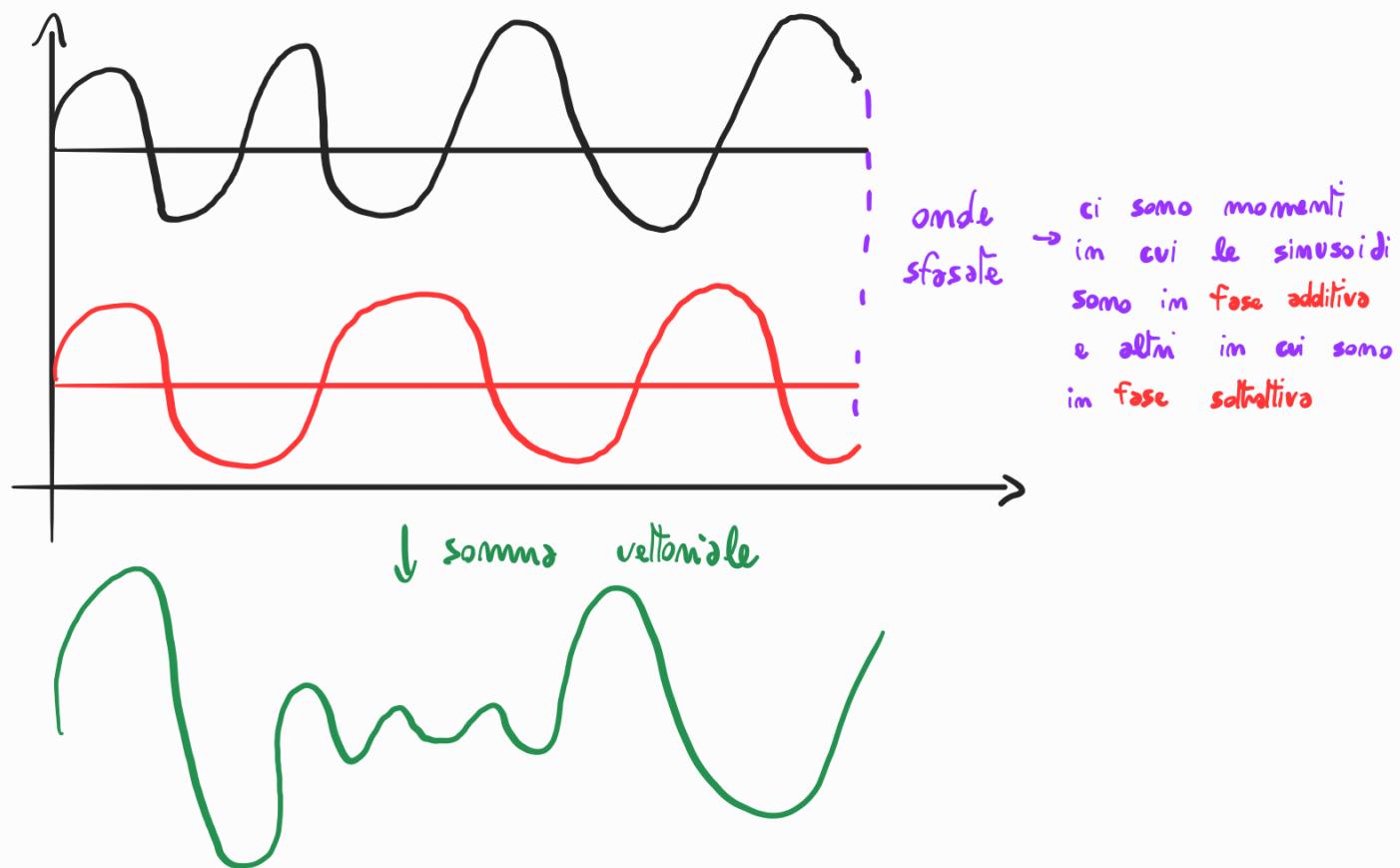


Example of signal composition with phase variations



In practice:
RF echoes arriving at receivers with different phase may have positive or negative effects... Why?

Esempio:

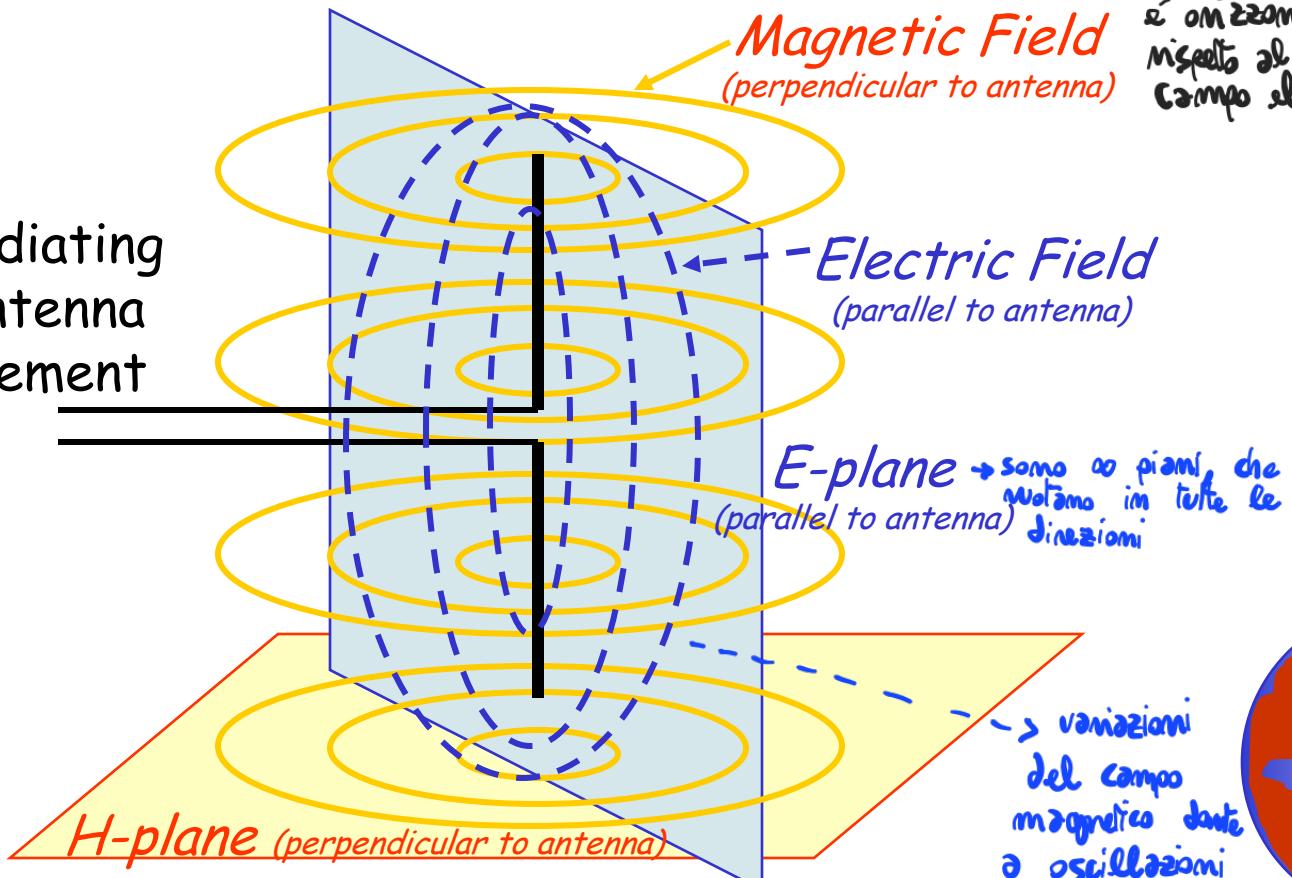


RF Properties

- cos'è? La descrizione dell' orientamento dell' antenna
- Polarization: (physical orientation of antenna)

La vela funziona meglio se è orientata ↑ nella direz. dei venti Analogia con la vela e con l'↑ orientamento dell'antenna

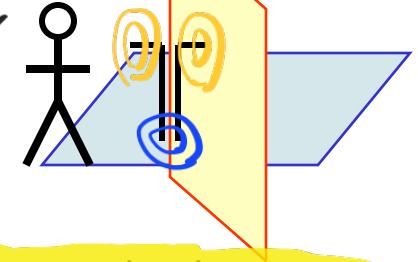
Radiating antenna element



Se l'antenna
è orizzontale
rispetto al
campo elettrico

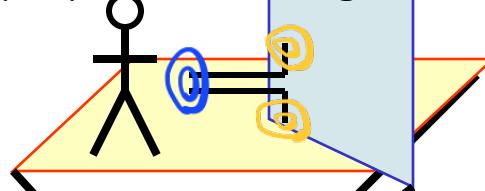
Horizontal Polarization

(electric field is parallel to ground)

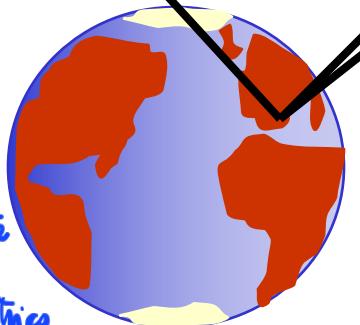


Vertical Polarization

(electric field is perpendicular to ground)



→ variazioni
del campo
magnetico dante
a oscillazioni
nel campo elettrico

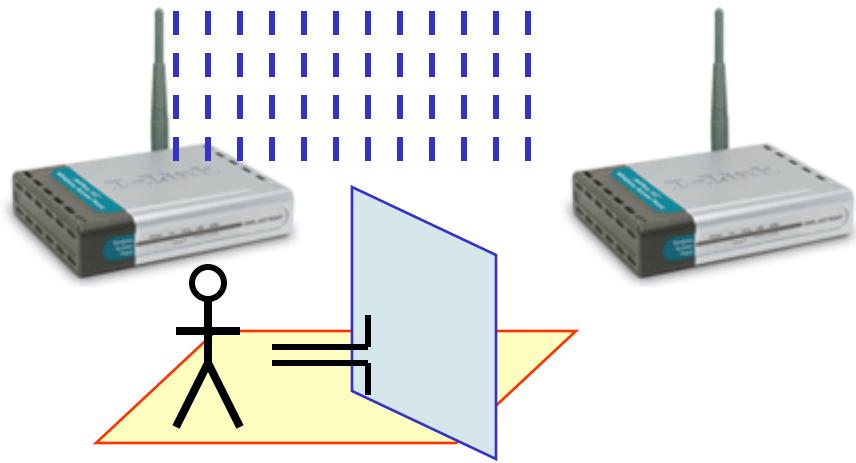


RF Properties

Vertical Polarization: typically used in WLANs

utile per evitare ostacoli lungo il cammino (utile nello spazio)

OK Transferred radiation OK



OK Transferred radiation NO



100%
radiation
captured

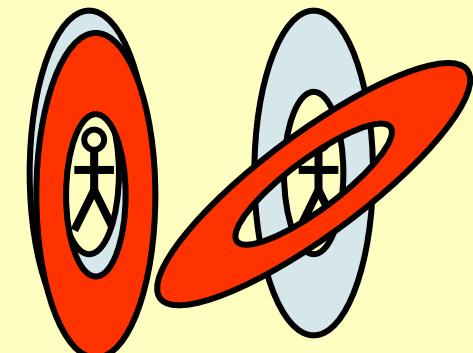
La somma vettoriale delle componenti dell'onda si polarizza rispetto all'antenna

Con la **Vertical Polarization**

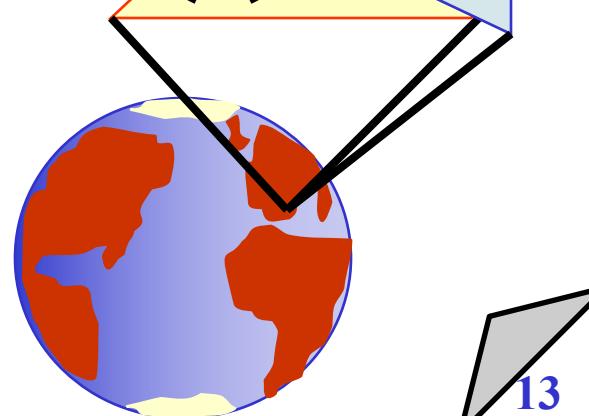
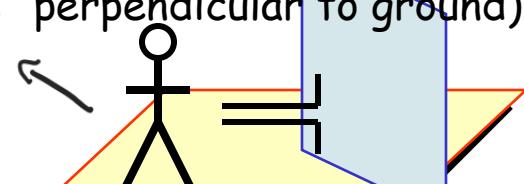
cattura la massima variazione del campo elettrico
→ energia ricevuta NON è stata disposta

80%
radiation
captured

Intuitively....



(electric field is perpendicular to ground)



RF Properties

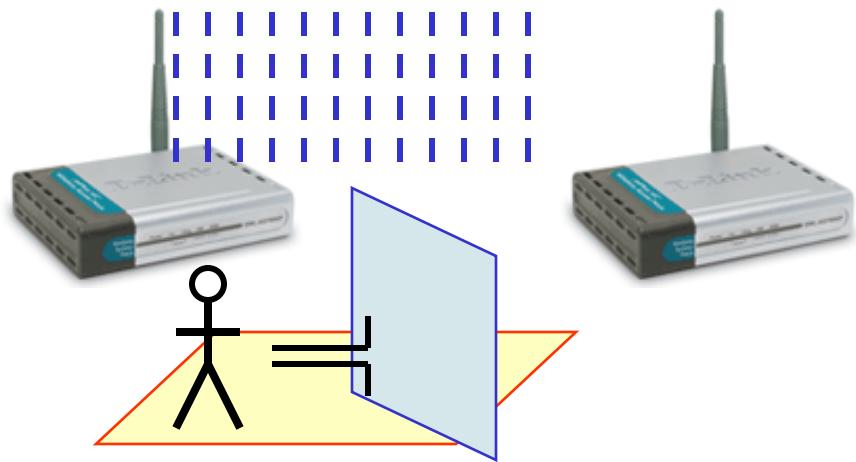
→ Non importa l'orientamento cometto dell'antenna

→ multe nei luoghi domestici, perché l'onda effettua molti rimbalzi, come i muri ad esempio

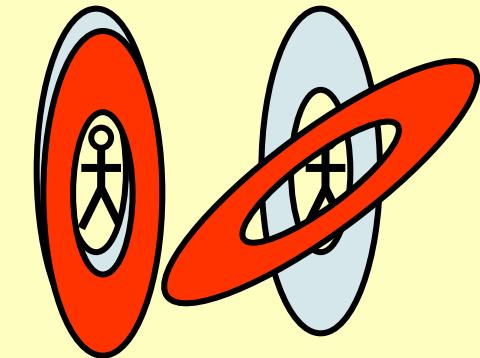
Vertical Polarization: the PCMCIA device problem

Intuitively....

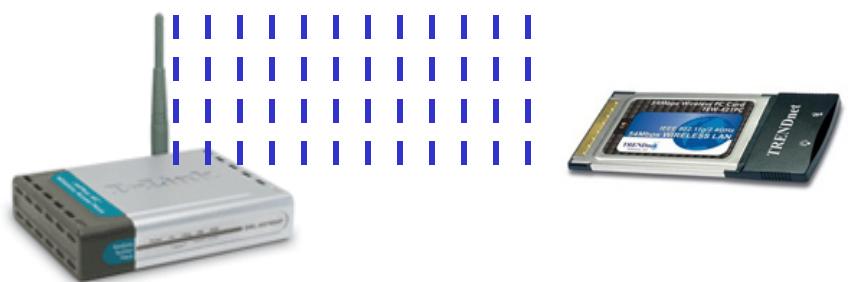
OK Transferred radiation OK



100%
radiation
captured



OK Transferred radiation NO



N.B. the polarization problem is very much important when using distant devices and directional antennas. With short distances signal reflections help!



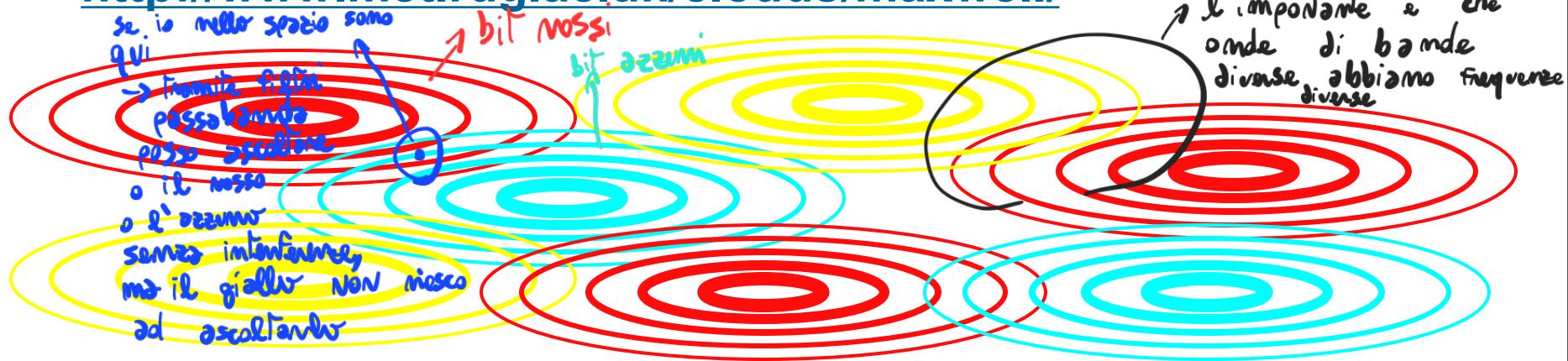
??%
radiation
captured

RF Behaviors

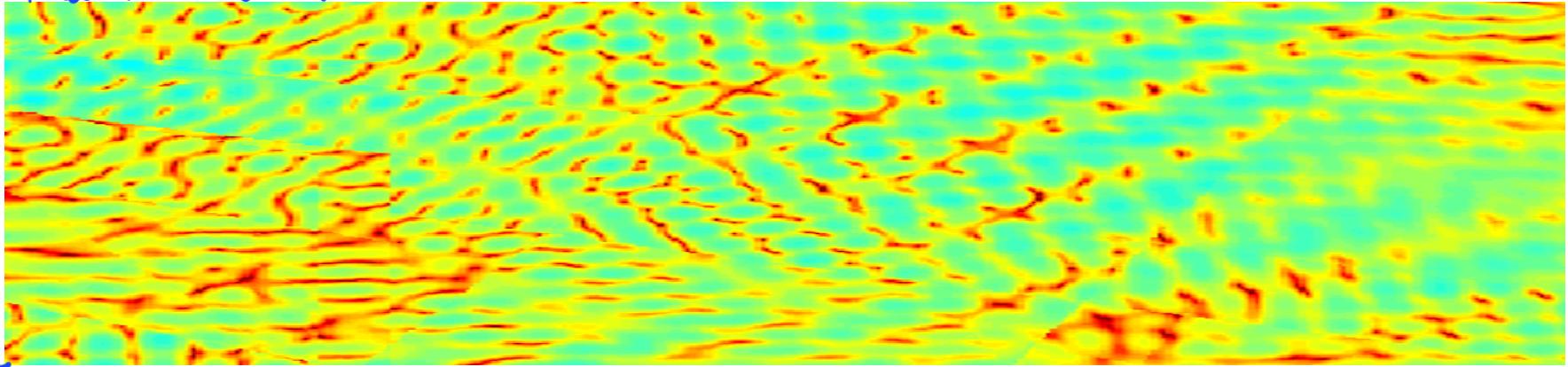
- Radio transmission interference → situazione nello spazio

Intuitivamente qui sotto c'è il disegno che spiega cosa succede

<http://www.met.rdg.ac.uk/clouds/maxwell/>



Nella realtà è così:

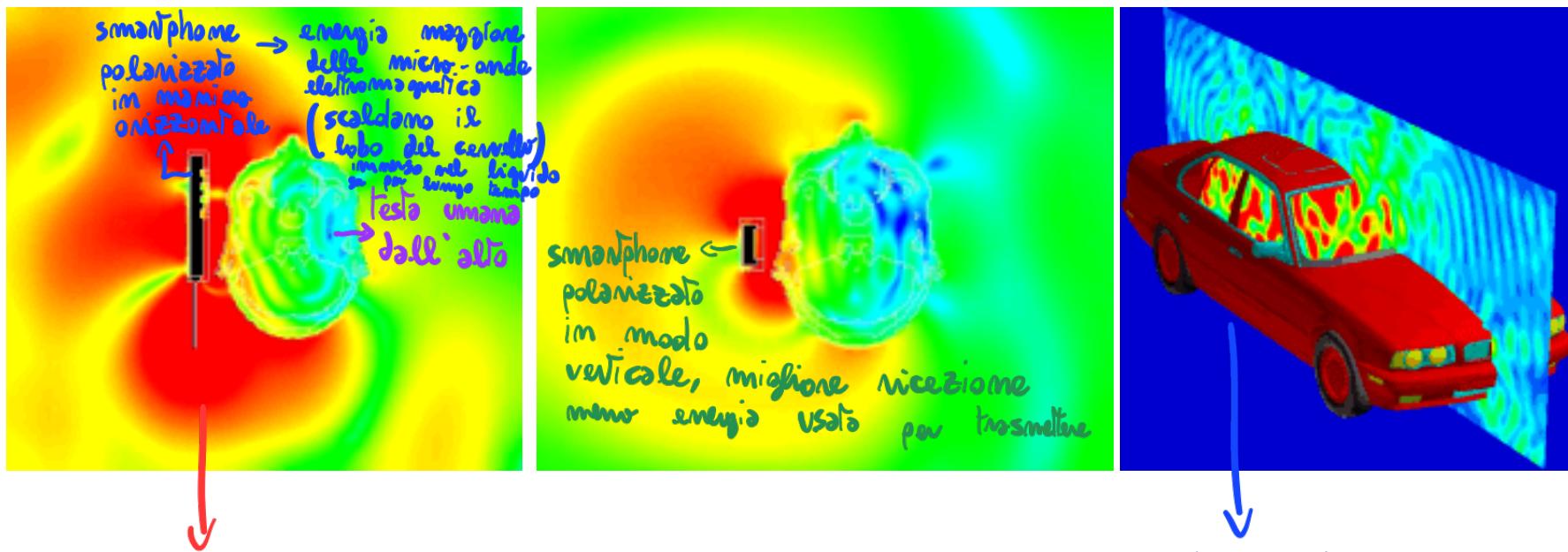


→ figura di interferenza in un tempo t

↓ somma vettoriale di tutte le frequenze in un certo istante
(sono le interferenze)

RF Behaviors

- Radio effects on human head (do not try this at home ☺)
<http://temf.de/Radiation-of-a-mobile-phone-P.58.0.html?&L=1>
- Credits: Technische Universität Darmstadt, Computational Electromagnetics Laboratory



→ il microonde ha nel vetro un materiale che si compone da gabbia di Faraday e impedisce che una energia elettronica di micro-onde ci invista

l'auto si compone da "gabbia di Faraday" → annulla il campo magnetico all'esterno

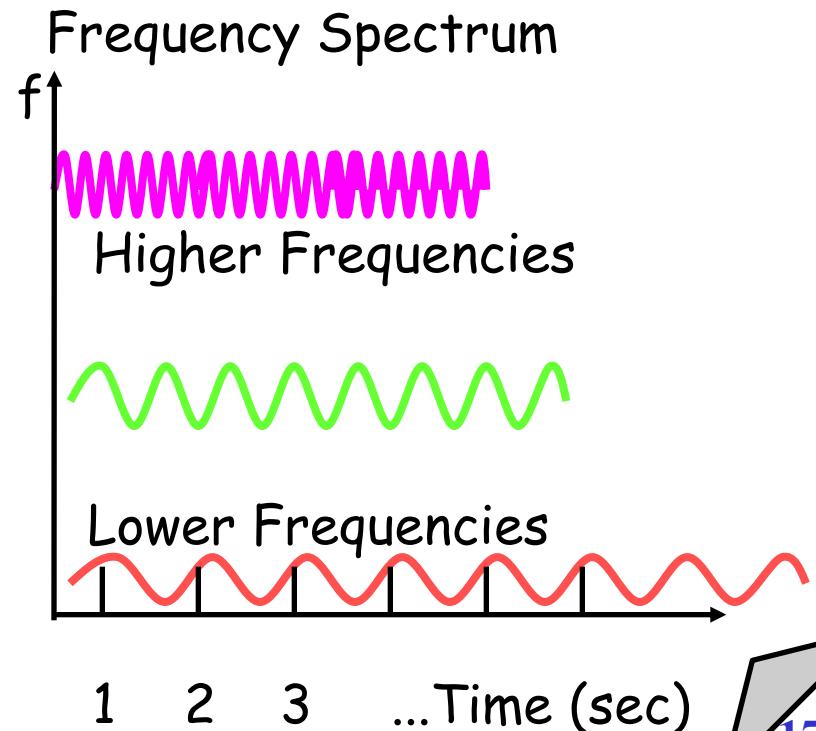
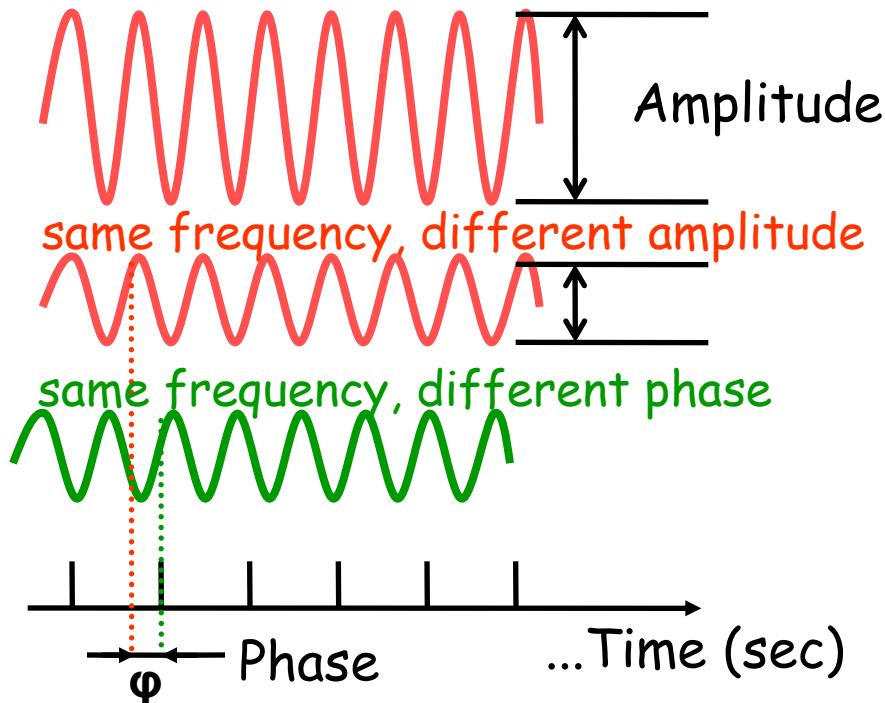
Wireless transmission: Electromagnetic waves

- Different parameters of electromagnetic waves:

Ampiezza dell'onda

- amplitude M proportional to transmission energy (loudness)
- frequency f (tone) measured in Hertz (Cycle/sec)
- phase ϕ (peak shift with respect to reference signal) (rad)

→ Attraverso questi tre parametri possiamo codificare/decodificare bit attraverso le onde radio



Wireless transmission

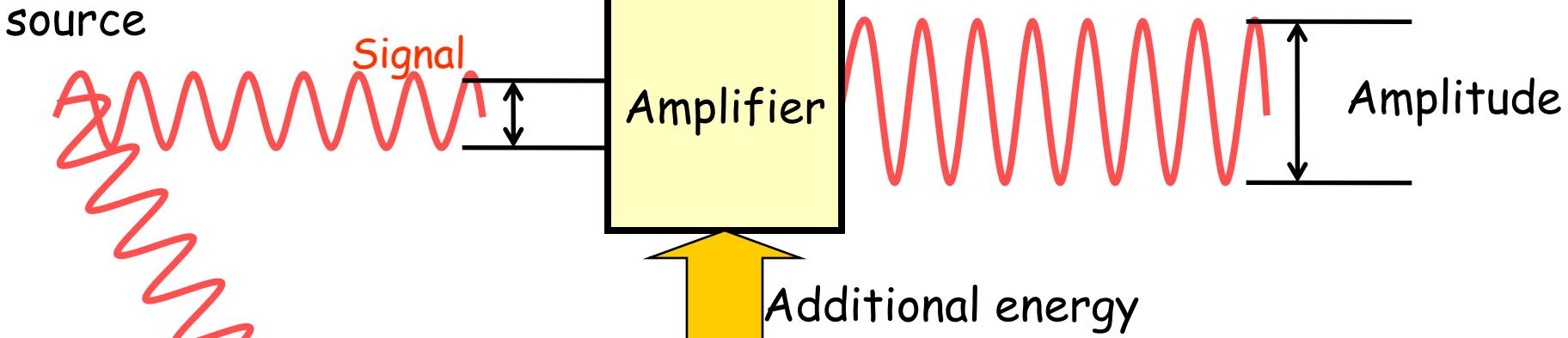
- GUADAGNO DI SEGNALE: è l'aumento dell'ampiezza di un segnale
- **Signal Gain:** (measured in Decibels, Db)

- Increase in amplitude **M** proportional to transmission energy

Si parla di
due tipi di
guadagno:

- **GUADAGNO ATTIVO** Active gain (amplifiers) → quando l'amplificazione prende lo stesso segnale e ne aumenta l'ampiezza ($\text{L'onda è lo stesso ma ampiezza} >$)
- **Passive gain** (antennas focusing signal energy, and additive signal effects) ↳ Es. disco parabolico

il guadagno di tipo passivo meglio si ottiene sfruttando al meglio le caratteristiche dell'onda



passive gain: a pitfall vs. regulations?



→ disco parabolico (per il guadagno passivo)

Il disco parabolico riceve un segnale (onda radio) di una certa potenza, non elevatissima, grazie alla sua dimensione puo' capturare tutto il segnale in una certa area dello spazio e direzionalmente verso il dispositivo di lettura (la destinazione)

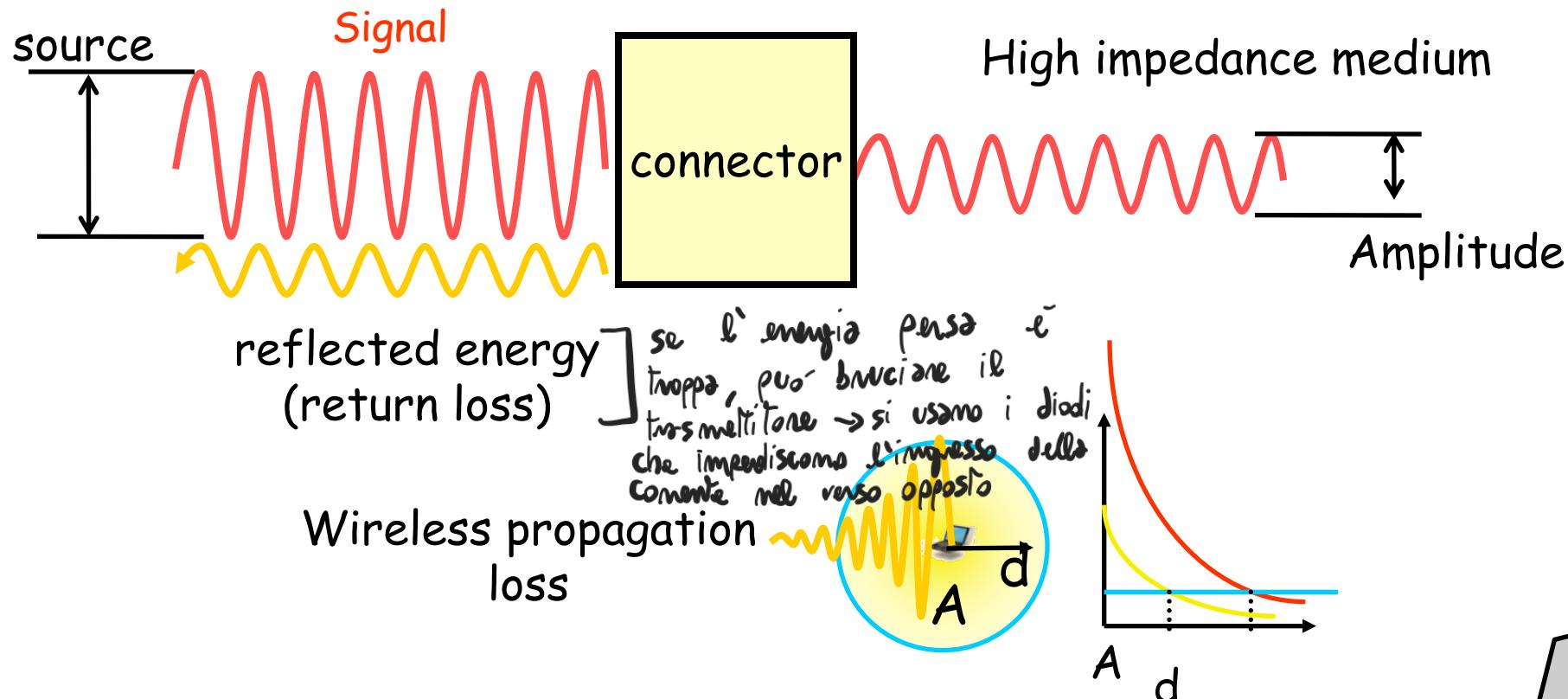
→ Più aumenta la dimensione del disco parabolico più catturerà meglio il segnale (nel "fuoco" della parabola)

Consiglio: Mettere l'amplificazione subito dopo la parabola perché quest'ultimo catturerà un segnale debole, che però entrando nell'amplificazione ne verrà aumentata l'ampiezza e quindi la sua energia (segnale più "forte")

|
analoga con la voce
per capire il concetto

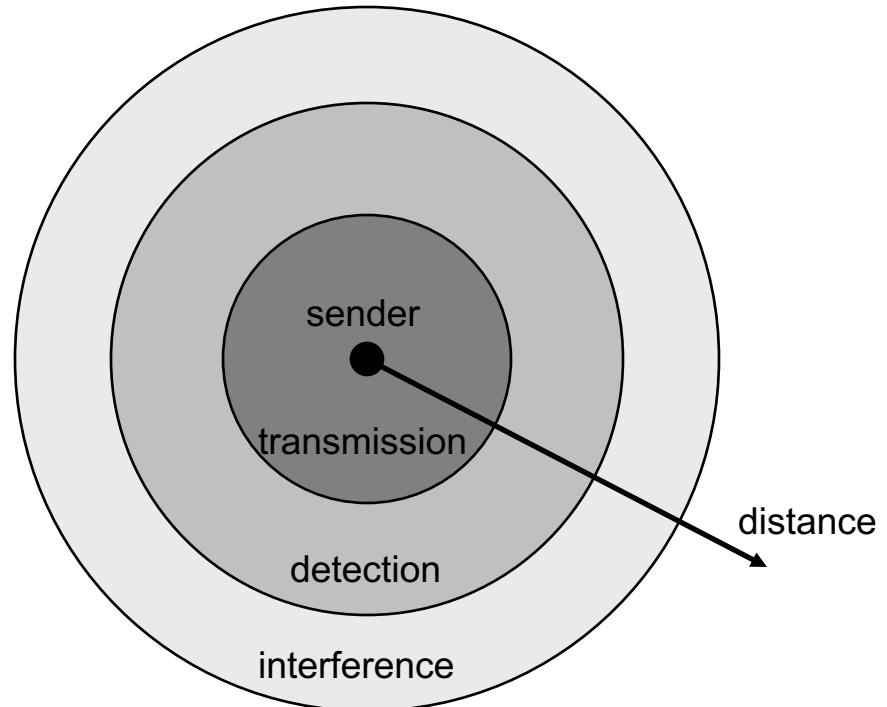
Wireless transmission

- PERDITA DI SEGNALE**: trasformazione del segnale in un segnale con ampiezza inferiore
- Signal Loss: (Db)**
- Decrease in amplitude \propto proportional to energy waste
 - Intentional (resistance, signal attenuation \rightarrow heat)
 - Obstacles, e.g. (walls, water for 2.4 Ghz) and distance (wireless)
L'onda si riduce di ampiezza, perde energia



Wireless signal propagation ranges (reprise)

- **Transmission range**
 - communication possible
 - low error rate
- **Detection range**
 - detection of the signal possible
 - no communication possible
- **Interference range**
 - signal may not be detected
 - signal adds to the background noise

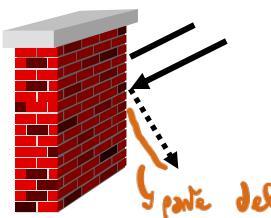


Ranges depend on receiver's sensitivity!

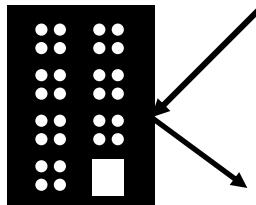
Wireless Signal propagation effects

Qui sono riassunti gli effetti possibili dell'ambiente sulle onde radio:

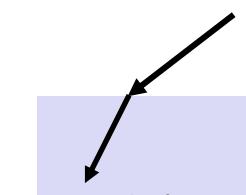
- Propagation in free space always like light (straight line)
- Receiving power proportional to $1/d^2$
(d = distance between sender and receiver)
- Receiving power additionally influenced by
 - fading (frequency dependent)
 - shadowing
 - reflection at large obstacles
 - refraction depending on the density of a medium
 - scattering at small obstacles
 - diffraction at edges



shadowing
riflesso



reflection



refraction
Reti di Calcolatori



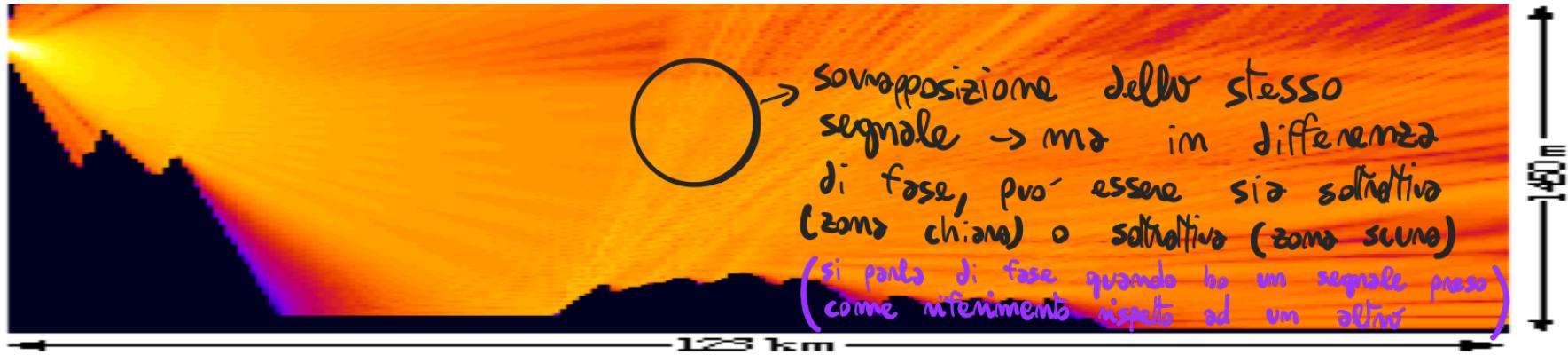
scattering



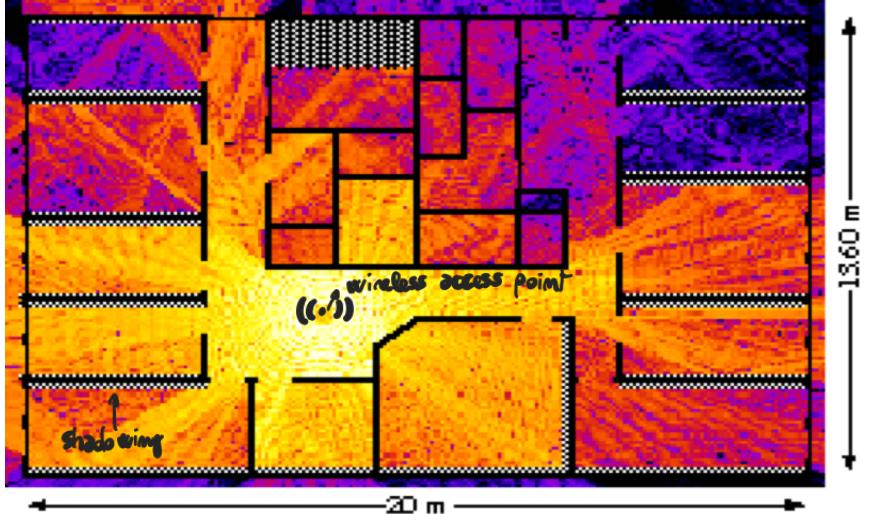
diffraction

- Di base le antenne trasmettono l'onda in una certa direzione (e l'onda prosegue in quella direzione all'infinito)
- Esiste però le **antenne isotropiche** che trasmettono l'onda in tutte le direzioni
 - IMMAGINABILI nella realtà (l'onda che si diffondono a 360°)

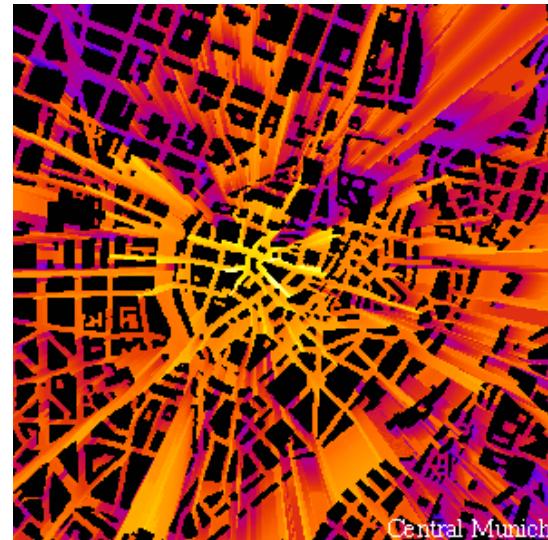
Real world example



Raytracing examples



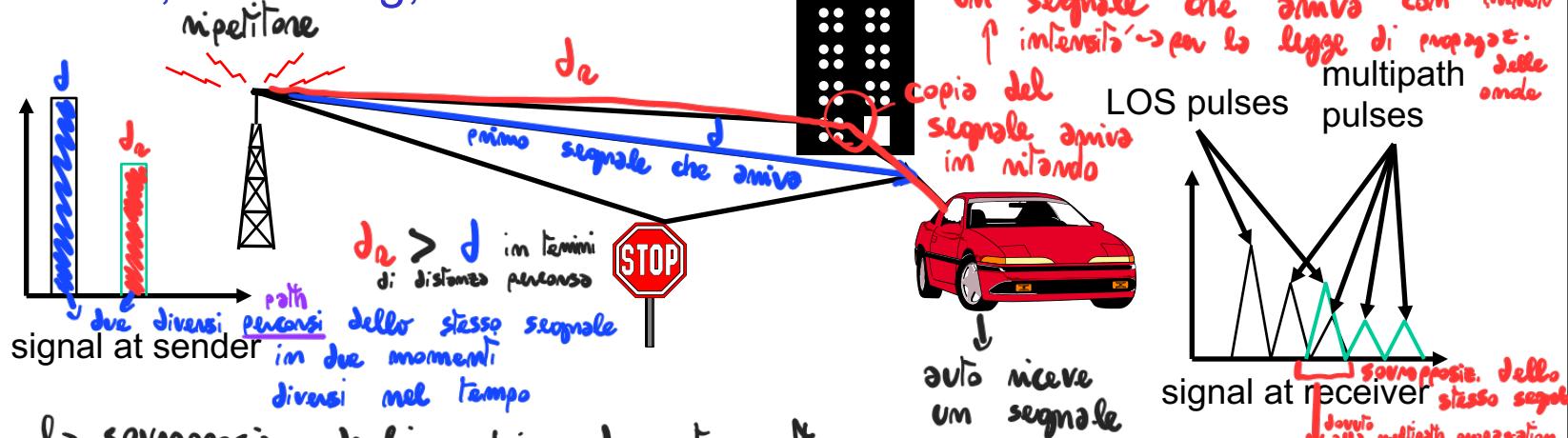
Low signal



Multipath propagation

Effetto causato dalla sovrapposizione di diversi percorsi dello stesso segnale ('echi')

- Signal can take many different paths between sender and receiver due to reflection, scattering, diffraction



→ Per evitare la sovrapposiz. degli echì → devo trasmettere

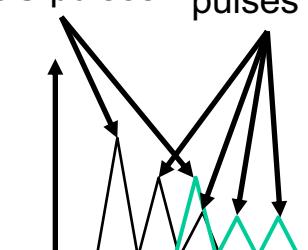
- Time dispersion: signal is dispersed over time
→ interference with "neighbor" symbols, **Inter Symbol Interference (ISI)**
- The signal reaches a receiver directly and phase shifted
→ distorted signal depending on the phases of the different parts

Domanda: Perché ho la certezza che lo **arrivo** messo del **segnale rosso** arriverà con minor intensità rispetto alla direzione del **segnale blu**?

ha fatto più strada, sarà sempre un segnale che arriva con minor intensità → per la legge di propagaz. delle onde



auto riceve un segnale



sovrapposizione dello stesso segnale

l'effetto eco del segnale in ritardo crea una AUTOINTERFERENZA del segnale

Effects of mobility

→ Il movimento fa varicare continuamente zone dove l'intensità del segnale è alta e zone dove è bassa

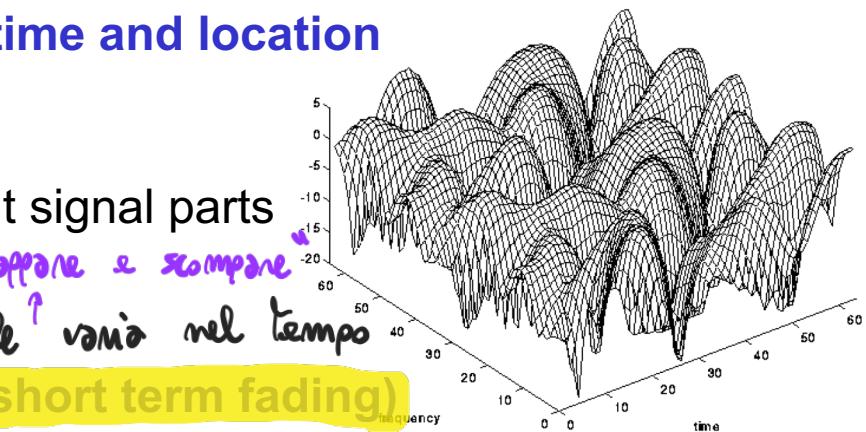
▪ Channel characteristics change over time and location

- signal paths change
- different delay variations of different signal parts
- different phases of signal parts

FADING: fenomeno per cui l'intensità del segnale varia nel tempo

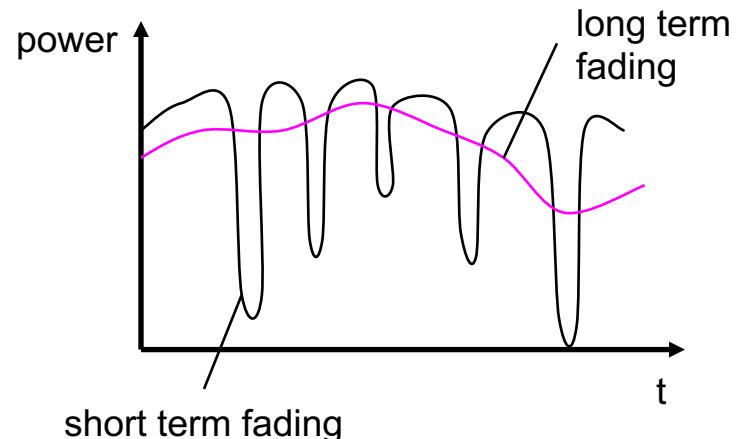
→ quick changes in the power received (short term fading)

<http://www.sps.ele.tue.nl/members/j.p.linnartz/web/reference/chaptr03/rayjava/rayjava.htm>



▪ Additional changes in

- distance to sender
- obstacles further away

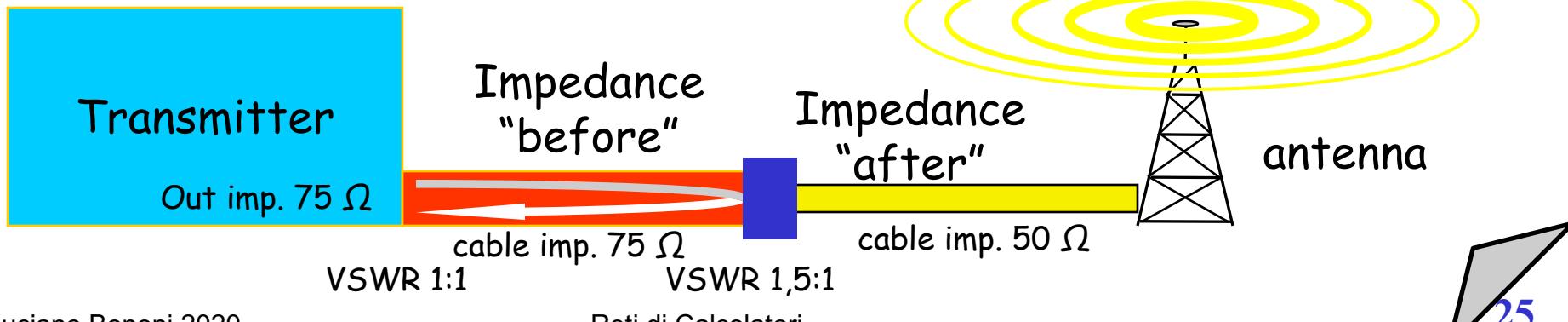


→ slow changes in the average power received (long term fading)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

- VSWR occurs with different impedance (Ohm) = resistance to AC current flow between transmitter and antenna
 - VSWR is the cause of “return loss” energy towards the transmitter
 - Measured as ratio between impedance (before and after)
 - E.g. 1,5:1 (impedance ratio before/after is 1,5 times the ideal value)
 - 1 = normalized ideal impedance (1:1 means perfect VSWR)
 - VSWR Causes burnout of transmitter circuits, and unstable output levels

VSWR solution:
always use same impedance
circuits, cables, connectors
(typical 50Ω in LANs)



VSWR: Voltage Standing Wave Ratio : fenomeno che si verifica quando un segnale (variaz. campo elettrico, ... etc) che proviene da un mezzo resistivo con una certa impedenza (in Ohm) che varia, si genera il Voltage Standing Wave Ratio che coincide in un ritorno dell'energia

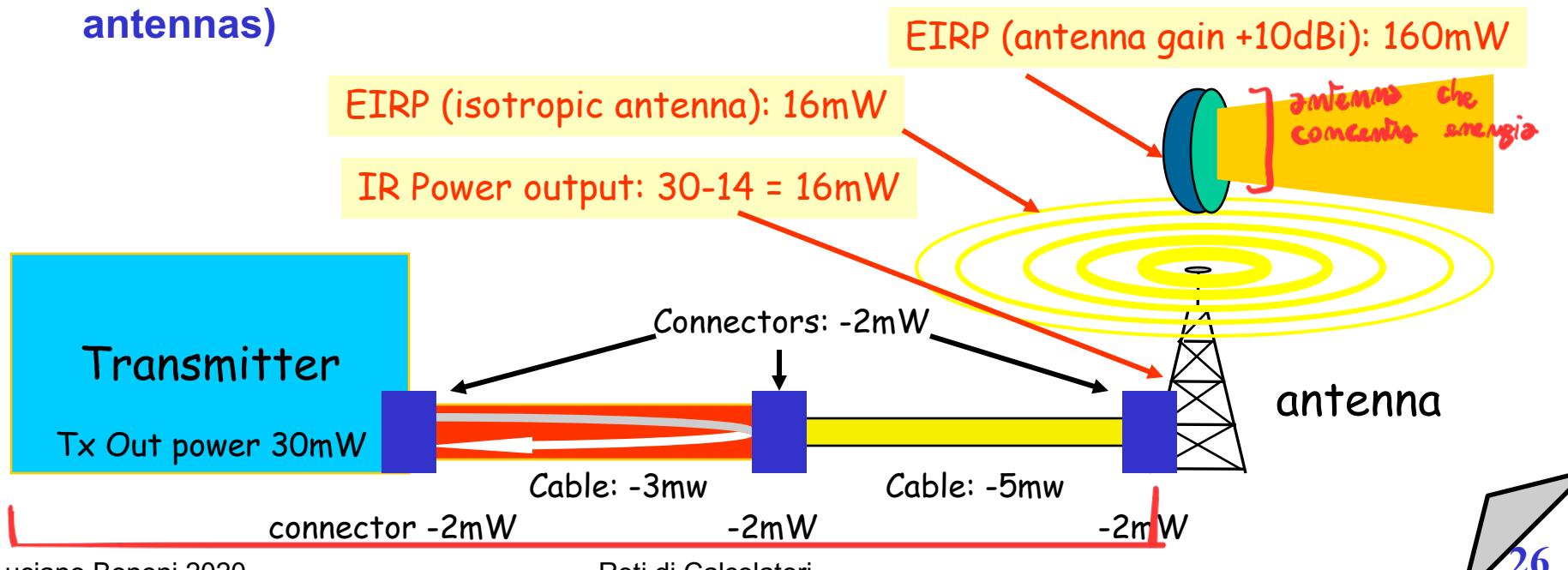
impedenza: resistenza nei circuiti a corrente alternata

La cable impedance è un parametro del mezzo resistivo

Per VSWR una parte dell'energia non viene trasformata in segnale e diventa la cosiddetta **signal loss** (vedi prima)

Intentional radiator and EIRP

- (Intentional) radiator: (def.) RF device specifically designed to generate and radiate RF signals.
 - ...Includes Tx RF device, cables and connectors (antenna excluded)
 - IR Power output: (subject to regulations) is the power output of last connector just before the antenna
- Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP): the power radiated by the antenna (including the passive antenna gain effect of directional antennas)



Intenzional
Radiation IR :

per definizione è dato dalla somma di tutti i dispositivi, cavi di cablaggio, ecc... prima dell' antenna, esclusa l' antenna

IR power output : potenza uscente dall' ultimo componente (prima dell' antenna) che fa parte di IR
(somma dei guadagni e delle perdite in tutto l' IR)
=> In sostanza, quanto esce dall' IR

Quello che voglio sapere è quanta potenza uscente dall' IR arriva all' antenna

Nell' es. precedente l' antenna trasforma i 16 mW di potenza in un' onda di una certa energia

N.B. Il trasmettore può essere regolato per modulare la potenza in uscita (mW)

- **ANTENNA ISOTROPICA:** Antenna che trasmette l'onda in tutte le direzioni;
 → impossibile da realizzare nella realtà
 serve un doppio di dimensione nulla
- Nelle antenne reali delle antenne fortemente direzionali trasmettono un'onda in una certa direzione (antenne che focalizzano l'energia)
 (e molto meno in tutte le altre)

EIRP: è il limite massimo di segnale nell'ambiente emesso da antenne isotropiche (per legge) (misurata in mW isotropici)

- Quindi con un antenna focalizzante NON bisogna mai superare l'EIRP dell'antenna isotropica equivalente

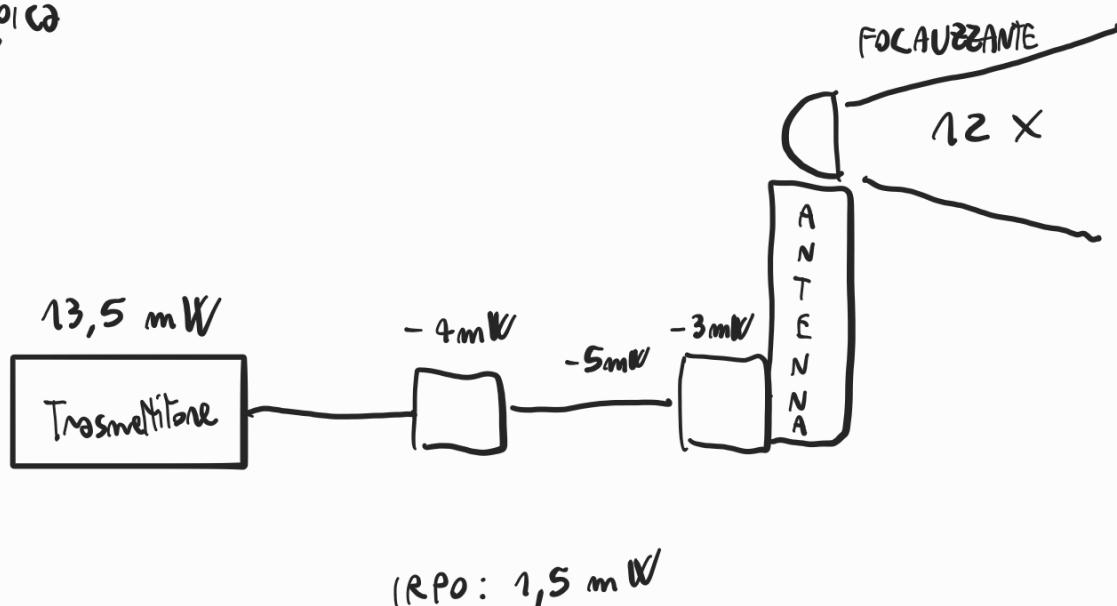
Esercizio:

$$\text{EIRP} = 18 \text{ mW}$$



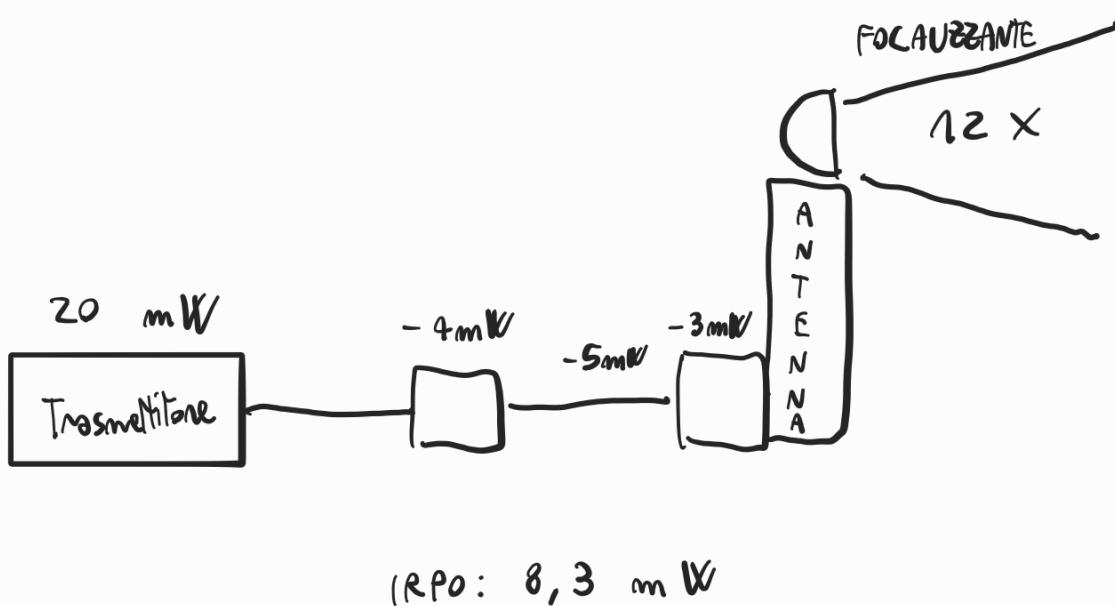
- 36 mW di IRPO (IR Power Output) recapitati all'antenna, se fosse isotropica sarei fuorilegge → NO 48 mW nel trasmettitore
- Allora metto 30 mW → ora legale → 18 mW di IRPO

Se invece ho un antenno focalizzante che aumenta di 12 volte il segnale rispetto alla equivalente isotropica



Se ora EIRP fosse 100 mW

$$\text{EIRP} = 100 \text{ mW} \rightarrow \frac{100}{12} = 8,3$$

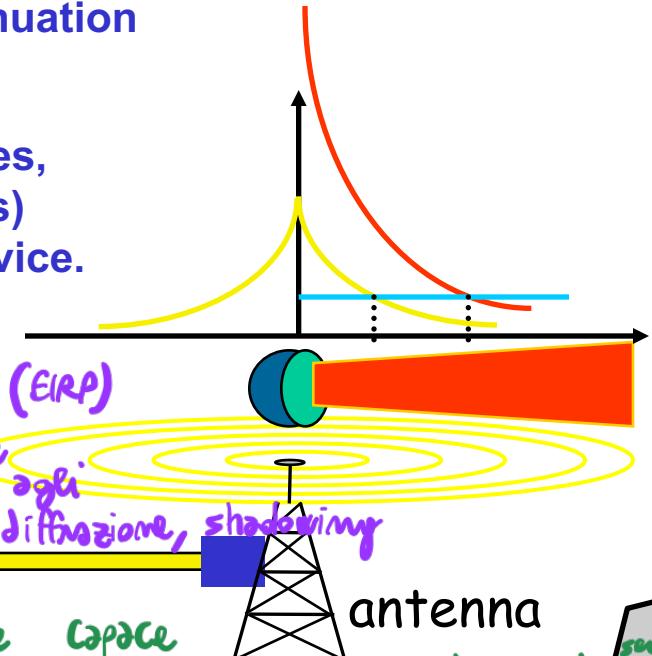


System design (under power viewpoint)

- Many factors must be considered in the design of Wireless systems:
 - Power of transmitting device
 - Loss and gain of connectivity devices (cables, connectors, attenuators, amplifiers, splitters) between transmission device and transmitter's antenna
 - Power of the intentional radiator (last connector just before antenna)
 - Power radiated by antenna element (EIRP)
 - Propagation properties of the medium (attenuation before signal reception)
 - Loss and gain of connectivity devices (cables, connectors, attenuators, amplifiers, splitters) between receiver's antenna and receiver device.

→ Una volta girato il potenziometro
del Trasmettore entro i limiti di legge (EIRP)
devo capire quanto strada fa il mio segnale
e fare sì che il sistema resistà agli
eventi esterni: meteo, effetti come diffrazione, shadowing

Transmitter



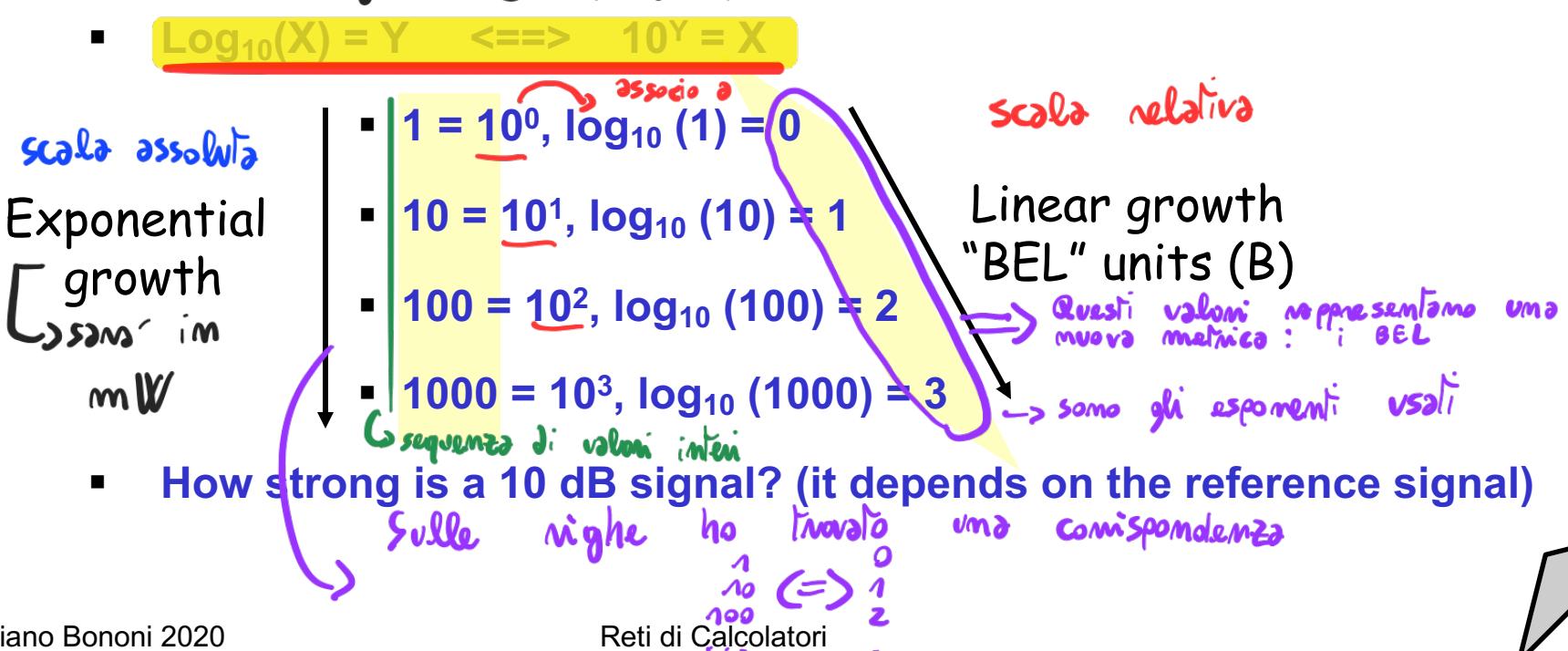
→ Devo progettare un sistema di comunicazione capace
di trasmettere il segnale a destinazione con
Reti di Calcolatori sufficiente potenza di

Power measurement

- WATT: electric power unit → POTENZA ELETTRICA
 - 1 Watt = 1 Ampere * 1 Volt ($P=V*I$) also $P= R*I^2$ and $P = L/t$
intensità di corrente se come la pressione che dà vo applicare per creare un sbilanciamento che fa muovere gli elettroni
 - Current (ampere) is the amount of charge (electrons) flowing as current in a wire
 - Voltage (Volt) is the “pressure” applied to the flow of charge
 - Resistance (impedance) is the obstacle to current flow
 - Power is the energy needed (in a given time unit) to apply a given “pressure” to a given “amount of charge”, by resulting in a flow of current.
- Watt and dBm are units used for absolute power measurement
- Typical RF power for WLANs:
 - AP: 30..100 mW (up to 250 mW outdoor), PCMCIA: 15..30 mW

Power measurement

- **Decibel (dB):** a power measurement unit designed to express power loss
↳ unità di misura per esprimere i guadagni e le perdite di segnale (signal gain/loss)
 - It is more practical to use given the logarithmic decay of wireless signals
 - It allows to make easy calculations on “resulting power”
- Decibel (dB) measures the logarithmic relative strength between two signals (mW are a linear absolute measure of energy)
logaritmo <= INVERSO => esponenziale



Quando un segnale parte (riflesso) a 8 mW, ma durante il tracollo è scollato di 20 dB (cioè caduto di 100 volte)

Il Decibel è usato SOLO per esprimere differenze di potenza di segnale → è una SCALA RELATIVA → ^{no segnale di riferimento}

Se io dico, mi arriva un segnale diminuito di 10 dB → NON ha SENSO, non ho il segnale di riferimento (cioè il valore in mW del segnale di potenza)

Il **SEGNO** dei Decibel indica:

- Segno \oplus : signal gain (GUADAGNO di SEGNALE)
- Segno \ominus : signal loss (PERDITA' di SEGNALE)

Power measurement

- Decibel (dB): 1/10 of a Bel
- E.g. 1000 is one Bel greater than 100 => 1000 is 10 dB greater than 100

Linear
signal
difference
(factor)

- $1 = 10^0, \log_{10}(1) = 0$
 - $10 = 10^1, \log_{10}(10) = 1$
 - $100 = 10^2, \log_{10}(100) = 2$
 - $1000 = 10^3, \log_{10}(1000) = 3$
-
- 30 dB

- How strong is a 10 dB signal? (it depends on the reference signal)
 - Positive dB value is power gain, negative dB value is power loss
 - e.g. given 7 mW power, a +10 dB signal gain is 70 mW
 - e.g. given 7 mW power, a -10 dB signal gain (loss) is 0.7 mW
→ indica il decadimento da segnale che parte a quello che arriva
- Power Difference (in dB) between Tx and Rx signal:
 - Power Difference (dB) = $10 * \log(\frac{\text{Power Rx(Watt)}}{\text{Power Tx (Watt)}})$
c'è che ricevo (Watt) cioè che trasmetto (Watt)
Watt/Watt → numeri
 - Gain and Loss are relative power measurements: dB is the unit

Power measurement

- Advantage of dB: what is better?
 - E.g.: A signal transmitted at [TX] 100 mW is received at [RX] 0.000005 mW
 - Power Difference (dB) = $10 * \log([\text{RX}] / [\text{TX}]) = 10 * \log(0.000005\text{mW}/100\text{mW}) = -73$
 - A signal transmitted at 100 mW is received with gain (loss) -73 dB
→ vantaggio: lettura più facile
- Advantage of dB: what is better?
 - E.g.: A signal transmitted at 100 mW is received at 0.000005 mW, then it is amplified (*100) to 0.0005 mW ???
sia aggiungendo 20 dBEL \Leftrightarrow 20 decibel (dB)
 - A signal transmitted at 100 mW is received with gain (loss) $-73 + 20 = -53$ dB

-3 dB	½ power in mW (/ 2)
+3 dB	<u>moltiplico x2 la scala dei mW</u> 2x power in mW (* 2)
-10 dB	<u>divido per 10 la scala assoluta mW</u> 1/10 power in mW (/ 10)
+10 dB	<u>moltiplico per 10 la scala mW</u> 10x power in mW (* 10)

$$\log_{10}\left(\frac{1}{2}\right) = 0,3$$

10
= -3

Approximated table (values defined for ease of calculations)

→ Se indichiamo i guadagni / perdite di segnali in dB, è necessario avere la potenza del segnale trasmesso (mW) \downarrow IRP

Power measurement

- Practical example:
 - Signal Tx at 100 mW, cable -3dB loss, amplifier $+10 \text{ dB}$ gain
 - $100 \text{ mW} / 2 (-3\text{dB}) = 50 \text{ mW} * 10 (+10 \text{ dB}) = 500 \text{ mW}$ IR power output
 - in mW*
 - tabella sopra*
 - Tabella sopra*
 - Signal TX at **30 mW** is received at the antenna as **6 mW** ($2/10$ of **TX power**)
 - Intentional Radiator Gain (loss) = $30\text{mW} / 10 = 3\text{mW} * 2 = 6\text{mW}$
 - diviso le opere.*
 - proprietà commutativa*
 - Intentional Radiator Gain (loss) = $-10 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = -7 \text{ dB} (\approx 1/5, 7\text{dB} \approx 5x)$
- N.B. **dBs** are additive measures of gain (loss): e.g. $6\text{dB} = +3+3 \text{ dB}$, $7\text{dB} = 10-3 \text{ dB}$
 - E.g. $100 \text{ mW} -6 \text{ dB} = 100 \text{ mW} -3 -3 \text{ dB} = 100 / 2 / 2 = 25 \text{ mW}$
 - con $\pm 10 \text{ dB}, \pm 3 \text{ dB}$ ok, tutti gli altri valori poi approssimaz.*
 - E.g. $100 \text{ mW} +7 \text{ dB} = 100 \text{ mW} +10 -3 \text{ dB} = 100 * 10 / 2 = 500 \text{ mW}$
 - E.g. $10 \text{ mW} + 5 \text{ dB} = 10 \text{ mW} (+10+10-3-3-3-3) \text{ dB} = 1000/32 = 31.25 \text{ mW}$
 - E.g. $10 \text{ mW} + 11 \text{ dB} = ?$
 - $11 = +10+10-3-3-3 \rightarrow *10 *10 /z /z /z$
 - $10 * (100/(z*z*z)) = 125 \text{ mW}$
 - E.g. $50 \text{ mW} - 8 \text{ dB} = ?$
 - $8 = -10-10+3+3+3+3 \rightarrow /10 /10 *z *z *z *z$
 - $50 * ((z*z*z*z)/(10*10)) = 8 \text{ mW}$

N.B. Approximated values (values defined for ease of calculations)

Power measurement

- grande delle stesse proprietà del dB
→ rappresenta un'unità assoluta, non ha bisogno di riferimento (differenza dB tra due dBm)
- **dBm: dB-milliWatt, the absolute measure of signal power**

- Assumption: reference signal is 1 mW = 0 dBm(normalization factor)

- Useful for gain/loss calculation without passing through mW

- E.g. access point transmits $100 \text{ mW} = 1\text{mW} (*10^2)$ $= +20 \text{ dBm}$

- PCMCIA card transmits at $30 \text{ mW} = 1\text{mW} (*10^3) = +14.7 \text{ dBm}$

- E.g. Tx= 30 mW, cable -2 dB, amplifier +9 dB:

- $30 \text{ mW} = 1\text{mW} *10 *3 = 14.7 \text{ dBm}$

- IR power : $14.7 \text{ dBm} -2\text{dB} +9\text{dB} = 21.7 \text{ dBm}$ (147.91 mW)

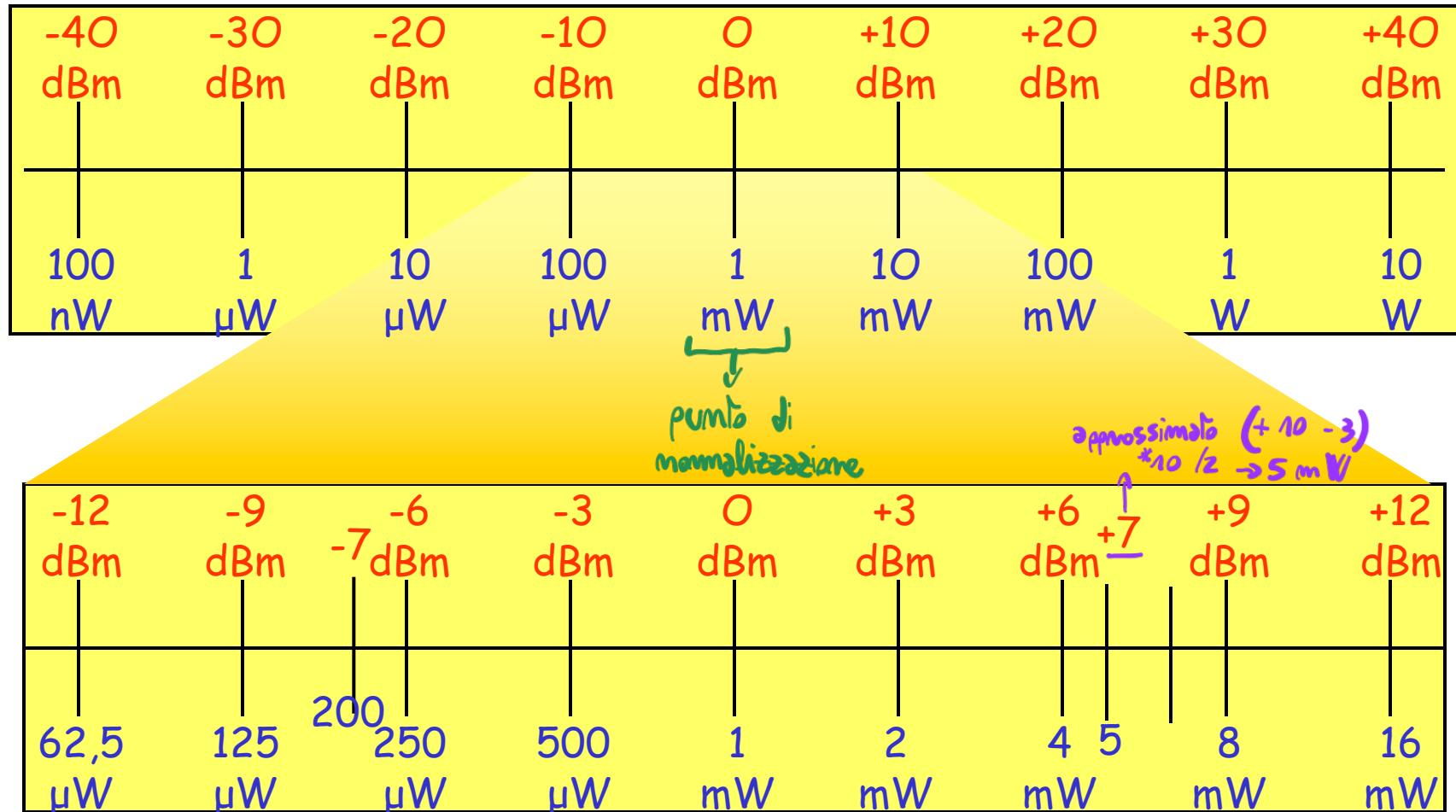
- In general, for converting mW to dBm and viceversa:

- $P_{\text{dBm}} = 10 \log(P_{\text{mW}})$ and $P_{\text{mW}} = 10^{(P_{\text{dBm}} / 10)}$

Es. $17 \text{ dBm} = 50 \text{ mW}$

Power measurement

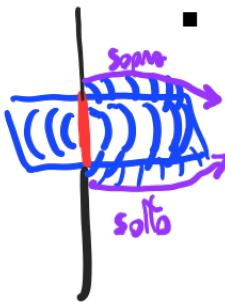
- mW - dBm: conversion table



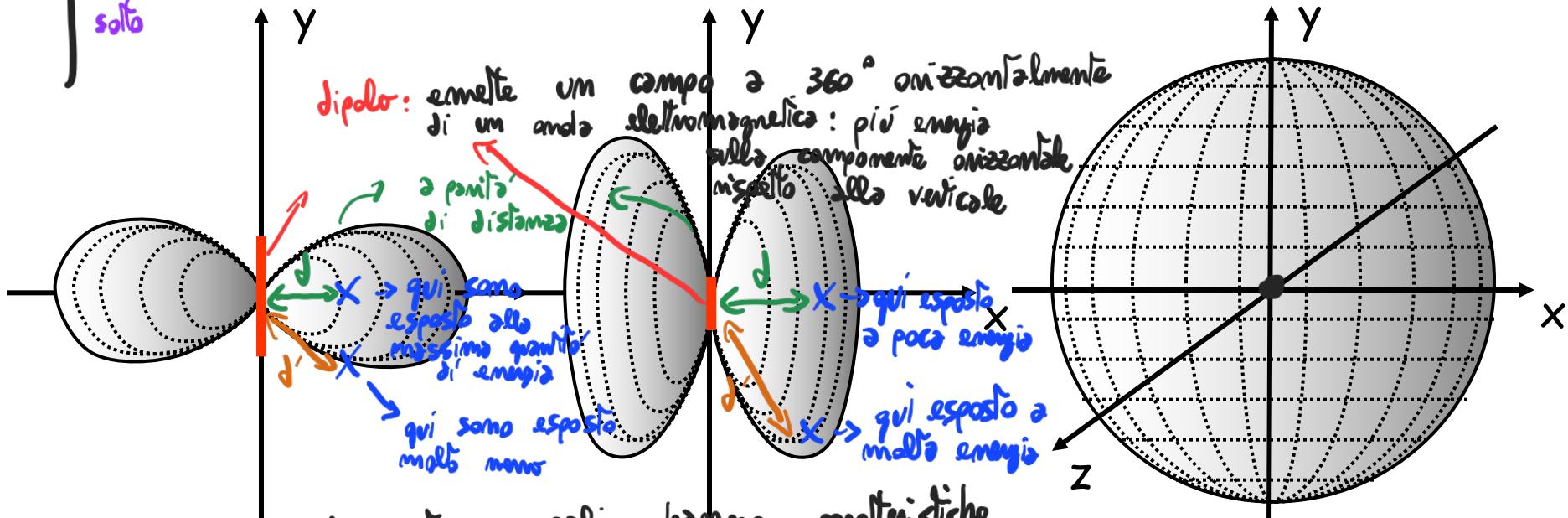
C'è un altro tipo di decibel

Power measurement

- **dB_i: dB-isotropic, the normalized measure of antenna passive gain**
 - Assumption: an isotropic radiator has 100% efficiency in radiating energy in uniform way in every direction (e.g. the Sun)
 - Antennas concentrate energy in non-isotropic way, resulting in **passive gain (space dependent)**. Ideal antenna: zero length dipole



Tende ad affievolirsi il campo magnetico



→ le antenne reali hanno caratteristiche direzionali (differenza con le isotropiche)
→ ogni antenna ha una **direzione preferibile**

Reti di Calcolatori

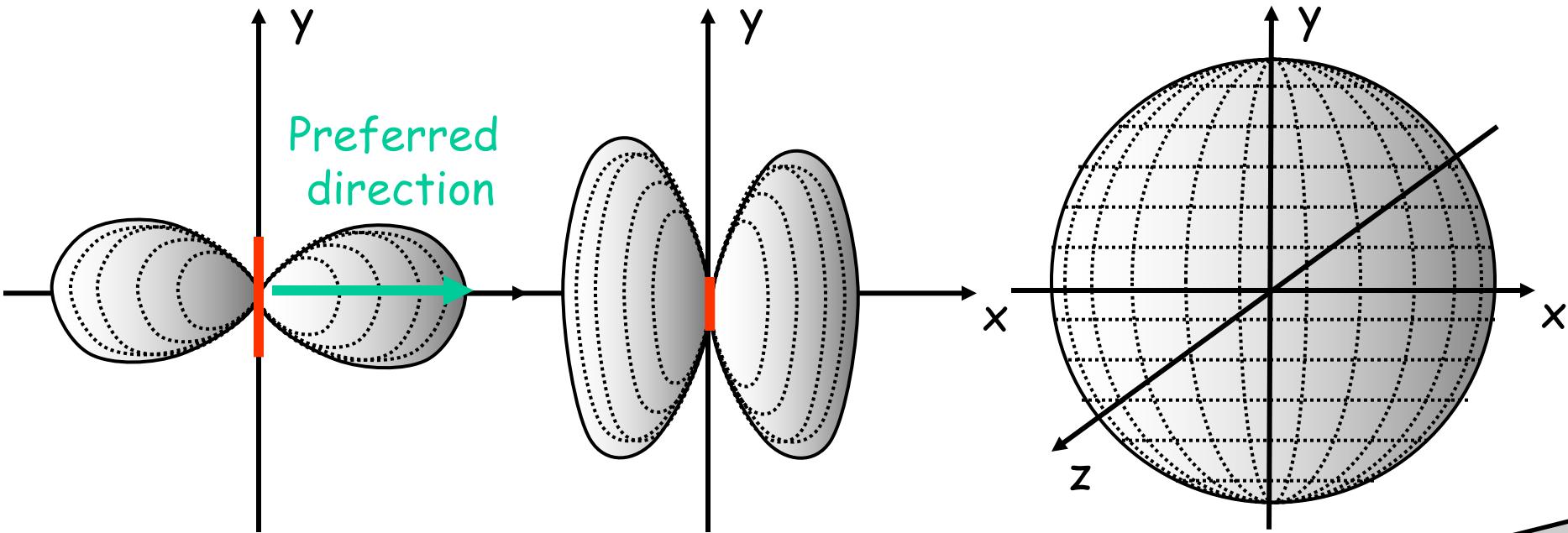
→ L'antenna isotropica, se riceve energia da un circuito CA, propaga l'onda in maniera omogenea in tutte le direzioni

• La direzione preferenziale è la direzione in cui si è esposti alla maggior quantità di energia

Power measurement

→ si trova nelle specifiche delle antenne Es. 16 dBi di guadagno vuol dire che quell'antenna ha un guadagno di 16 dB rispetto ad un antenna isotropica

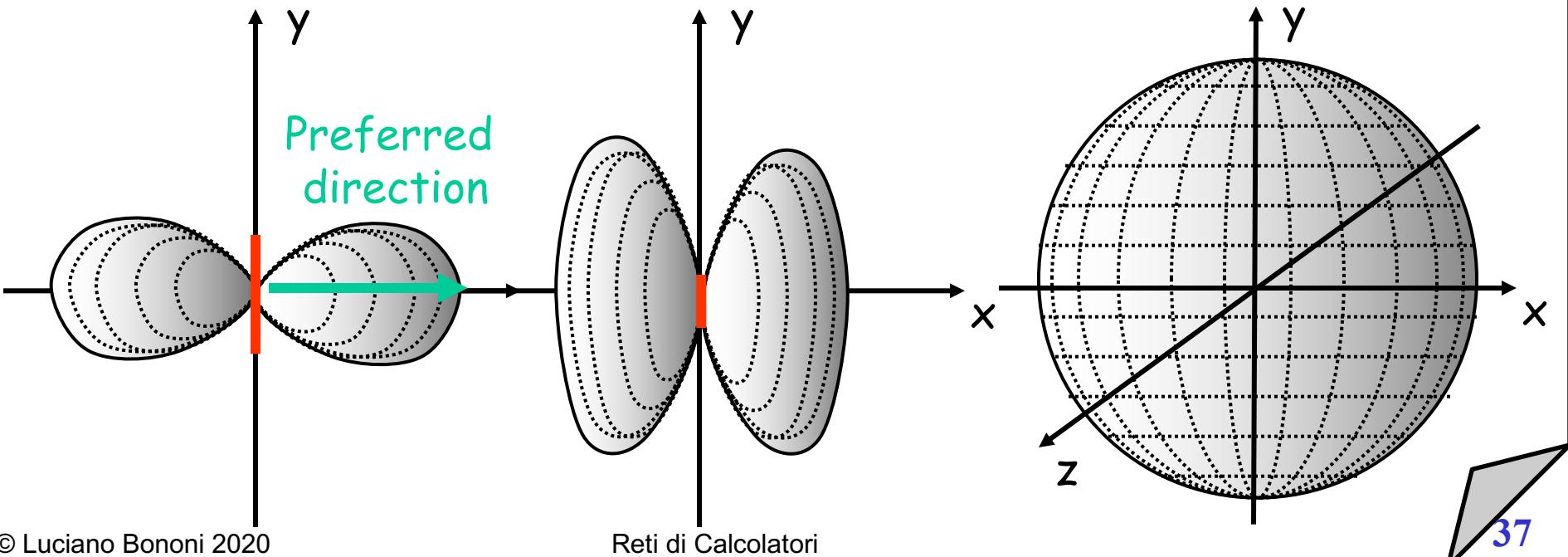
- **dB_i:** dB-isotropic, the normalized measure of antenna passive gain
 - If an antenna located in the origin (0,0,0) has twice the radiated energy of an isotropic radiator in a given point (x,y,z), then the antenna gain in (x,y,z) can be defined as +3 dBi. If the energy is 10x the isotropic radiator, the gain is +10 dBi, etc.etc.
 - Q: If the antenna gain is 7 dBi in (x,y,z)?



Power measurement

- **dB_i: dB-isotropic, the normalized measure of antenna passive gain**
, NON È ISOTROPICA
 - Real antennas always have a preferred direction where the power is greater than isotropic radiator: **gain is always positive in the preferred direction!**
(IRPO → potenza trasmittente a cui sono sommati e/o sottratti tutti i guadagni)
 - Example: 1 mW IR power applied to directional antenna with +10 dBi gain in the preferred direction, would translate in EIRP?
 - **EIRP = 1mW + 10 dBi = (10x) = 10 mW EIRP**

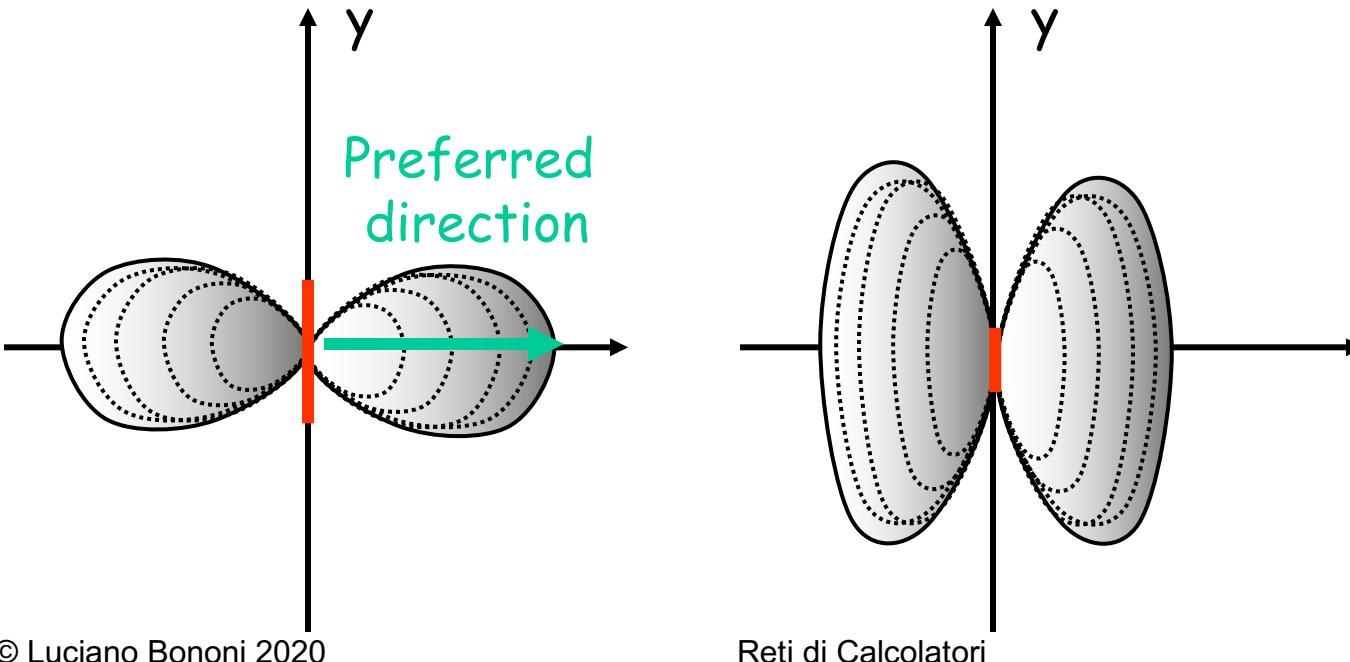
N.B. this does not mean that antenna generates more power !
Antenna concentrates power in preferred direction.



Power measurement

- **dBd: dB-dipole, the normalized antenna passive gain vs. 2,14 dBi half-wave dipole**
 - Reference is a half wave dipole with 2.14 dBi gain in preferred direction!
 - **Conversion rule:**
misura standard (convenzione)
 - 0 dBd = 2.14 dBi, $\text{dBd} = (\text{dBi} - 2.14)$, $\text{dBi} = (\text{dBd} + 2.14)$

Reference dipole



→ Dell' ambiente NON sappiamo gli effetti che ha sull'onda strumenti con appositi

Power monitoring (e.g. IEEE 802.11 devices)

significa → Misurare l'intensità delle onde radio nelle varie frequenze

essere distanti, ma si può dissipare facilmente l'energia in parassita

- (received) Power monitoring in IEEE 802.11 devices is needed for making device driver to work properly (typical sensitivity range is $[-90..+10]$ dBm):
 - Detect signal (below or above the sensitivity threshold?) soglia di sensibilità → in questo range com le tecnologie attuali, la comunicazione è affidabile
 - Detect signal power (selection of coding technique... That is bitrate!)
 - Detect channel status: idle? Ok, transmit! Busy? Ok, wait.
- Received Signal Strength Indicator (RSSI) → forza del segnale radio ad una certa distanza → nel telefono: tache del "campo" (non misso)
 - Index defined for IEEE 802.11 devices (check device analyzer, if any)
 - RSSI = function (dBm or mW received) = pure number reported to device driver!
→ ~~non c'è una scala assoluta di RSSI, ogni dispositivo ha la sua!~~ → Inutile confrontare due dispositivi fra loro
 - Unfortunately the RSSI scale is not standard, that is, device dependent!
 - This fact does not allow to compare if device A receives better than device B (assuming different manufacturer) based on RSSI measurement
→ Ogni dispositivo ha la sua scala, non c'è una scala per rappresentare RSSI del dispositivo
 - A & B non possono essere confrontati
 - Problem: device A indicates maximum RSSI=255 (8 bits) with -10 dBm signal (0.1 mW), and device B indicates maximum RSSI=32 (5 bits) with -15 dBm (0.03 mW). Q: when both A and B in (x,y,z) receive -15 dBm, which one is better device? That is, which one would you buy if you are a system admin?
→ RSSI mi dice in che punto sono della scala → in mezzo / al massimo, ecc...
→ Com A a -10 dBm siamo a 255 (fondo scala), mentre B a -15 dBm siamo a 32 a fondo scala

Il dispositivo A arriva al massimo a -10 dBm, A a -15 dBm va più lento.
Il dispositivo B → è più sensibile di → a -15 dBm, B funziona al massimo (-10 dBm, RSSI A = 255 mentre RSSI B probabilmente è 28 forse)

RSS1: dice
sei sopra il limit signal detection

→ A livello massimo (fondoscala) vuol dire che ho il massimo segnale per andare forte (al massimo) con una certa tecnologia



Nel telefono, se ho 5 tacche piene ho RSSI al fondoscala

→ Se ho un antenna sola

- Se arrivano le "copie" riflesse dell'onda, che han percorso qualche cm in più e sono in fase solitaria rispetto all'onda originale → tacche

→ Oggi i dispositivi hanno anche di secondarie antenne → le tacche scendono meno volte (più rarevoli)

Antennas

- Illustration of general issues

l'antenna è un dispositivo

DEF Convert electrical energy in RF waves (transmission), and RF waves in electrical energy (reception)

- Size of antenna is related to RF frequency of transmission and reception → *Idealmente, per avere massima energia trasmessa, dimensione antenna pari alla lunghezza dell'onda generata*
- Shape (structure) of the antenna is related to RF radiation pattern
- Radiation patterns of different antenna types

- Positioning antennas → perché è importante: 2 modi:

■ 1) Maximum coverage of workspace

■ 2) Security issues → *se io diffondo/micavo informazioni prioritaria, insolo il segnale in una certa direzione ad una certa distanza, punti di attacco tutti i dispositivi al di fuori non riescono a "sentire bene"*
← facile le antenne l'onda, segnale più debole

dovendo essere esterna, Real antenna types: omni-directional, semi-directional, highly-directional

ai problemi

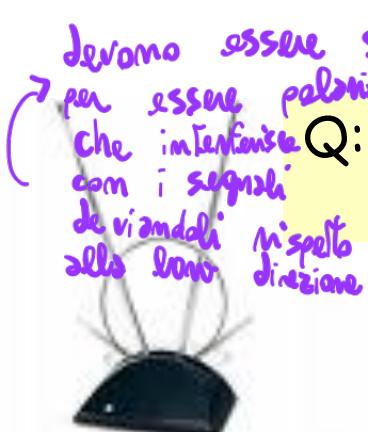
di trasmissione

dovuti alle interferenze dell'ambiente

Omnidirectional antenna

- Omni-directional antenna: radiates RF power equally in all directions around the vertical axis.
→ Non sono le antenne isotropiche, è un caso particolare
- Most common example: dipole antenna (see Access Points)

- See how to make it (disclaimer: do not try this at home):
<http://www.nodomainname.co.uk/Omnicolinear/2-4collinear.htm>
<http://www.tux.org/~bball/antenna/>
- Info & fun: <http://www.wlan.org.uk/antenna-page.html>
- More info: <http://www.hdtvprimer.com/ANTENNAS/types.html>

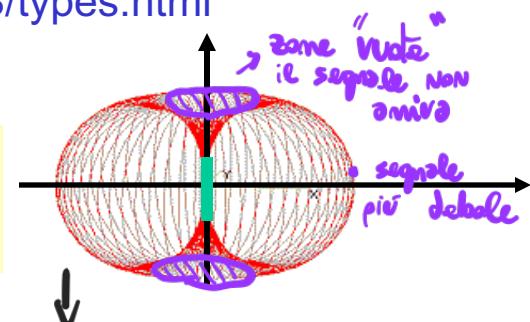


TV dipole



AP dipole

Reti di Calcolatori



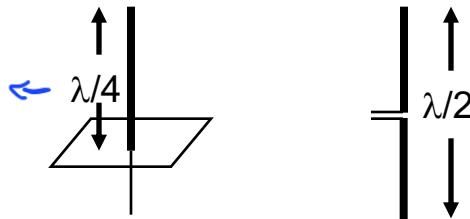
Q: Why TV dipole is bigger?
A: 100 Mhz vs. 2.4 Ghz

Se c'è l'access point di un dipolo e emette segnale debole, si è dimostrato che si può sfruttare un oggetto che funge da direttamatore delle onde 41

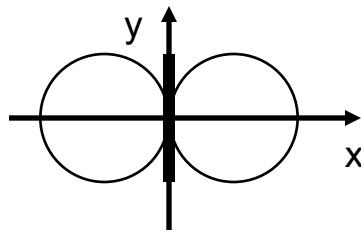
Omnidirectional antennas: simple dipoles

- Real antennas are not isotropic radiators but, e.g., dipoles
→ shape of antenna proportional to wavelength

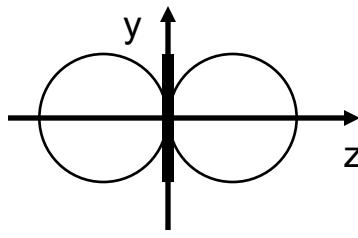
lunghezza d'onda
usata per la
trasmissione



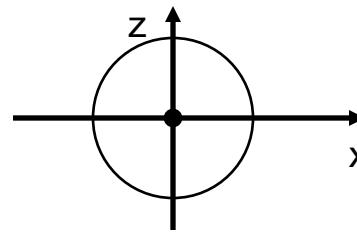
- Example: Radiation pattern of a simple Hertzian dipole



side view (xy-plane)



side view (yz-plane)



top view (xz-plane)

simple
dipole

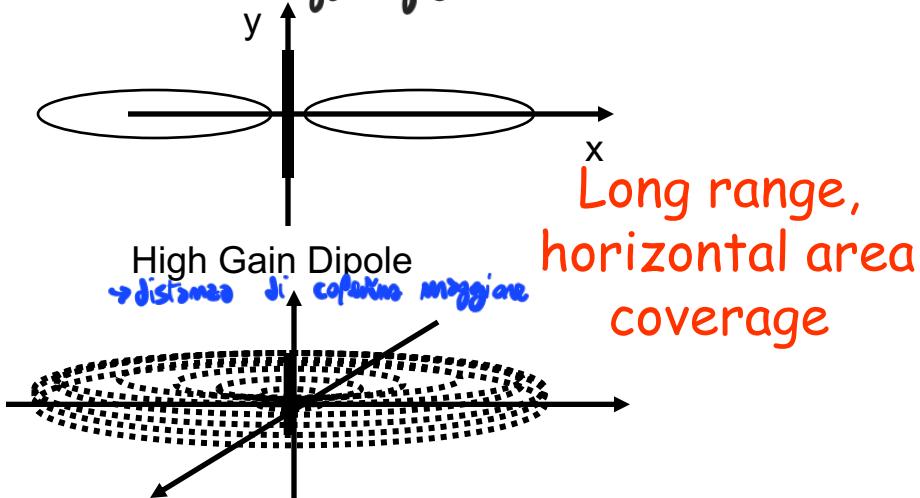
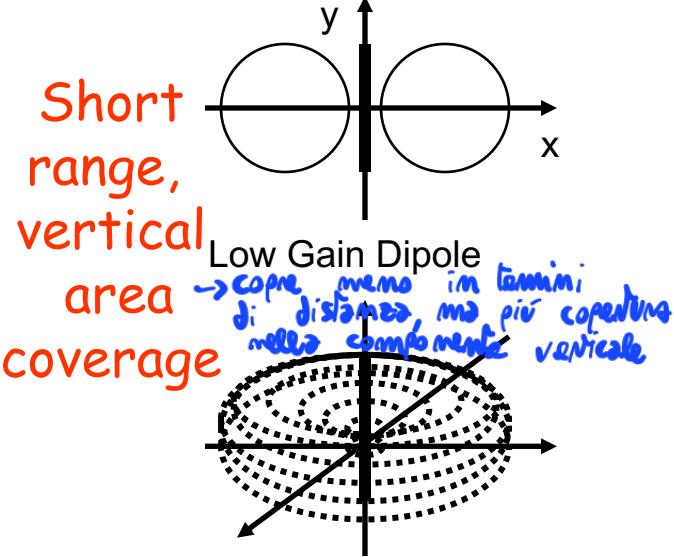
- Gain: maximum power in the direction of the main lobe compared to the power of an isotropic radiator (with the same average power)

Omnidirectional antennas: simple dipoles

↳ antenna che più si simile all'isotropica (teorica)

- Dipole: passive gain is due to concentration (shape) of radiation

• Concentrazione del tipo di antenna: il fatto di avere alto e basso guadagno



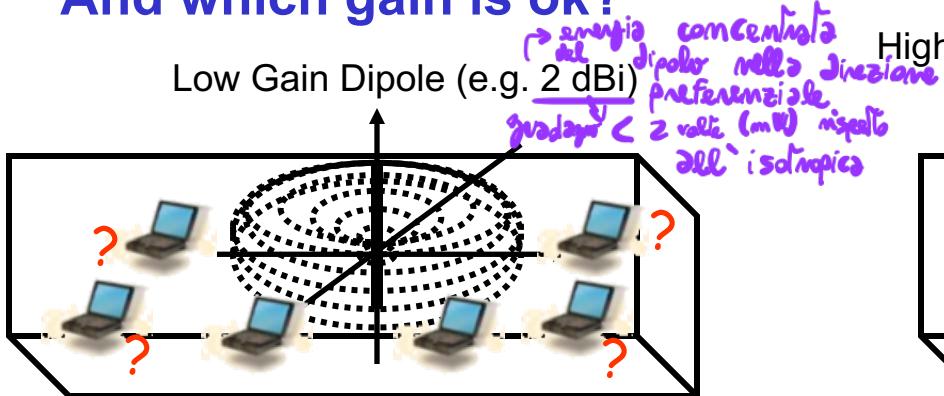
- Dipole: active gain is obtained with power amplifiers (needs external source of energy)
- N.B. near (below) the dipole the signal is weak! And better radiation is obtained in sub-areas around the dipole!

Omnidirectional antennas: simple dipoles

→ Problema della copertura di un ambiente: dove piazzare e quale antenna per garantire la copertura

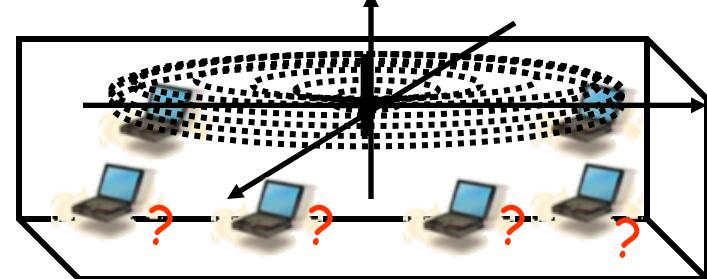
- Problem: how and when to mount omnidirectional antennas?

And which gain is ok?



Room A

High Gain Dipole (e.g. 8..10 dBi), very flat coverage
low signal in the proximity of the antenna
→ *alto guadagno rispetto all'
isotropica*



Room B

- How: Ceiling? Wall? Client positions? Area? Many factors influence the planning...

■ When:

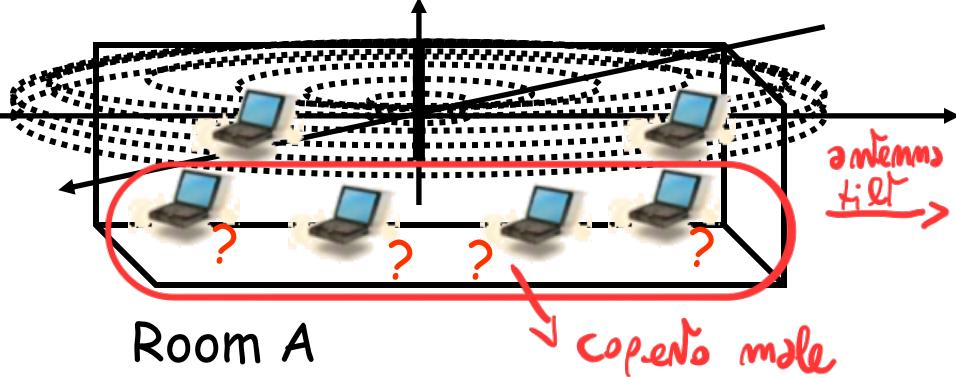
→ Il dipolo è perfetto se i dispositivi gravitano attorno ad un punto centrale

- need for uniform radio coverage around a central point
→ *meno rimbalzi e problemi di propagazione (In indoor molti di più)*
- Outdoor: point-to-multipoint connection (star topology)

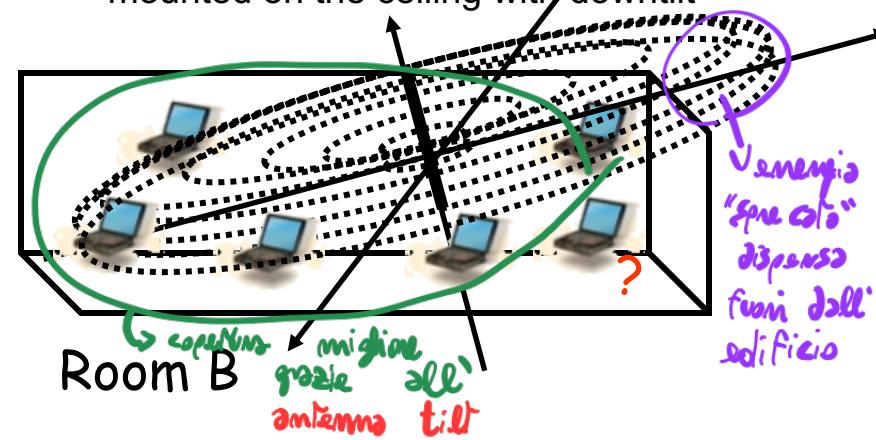
Omnidirectional antennas: simple dipoles

- **Antenna Tilt:** degree of inclination of antenna with respect to perpendicular axis

High Gain Dipole (e.g. 8..10 dBi), very flat coverage mounted on the ceiling



High Gain Dipole (e.g. 8..10 dBi), very flat coverage mounted on the ceiling with downtilt



- Some antennas allow a variable degrees **downtilt**.
- Half signal dispersed “in the sky”, 2nd half better exploited.

→ a interne dove la forma dell'emissione è costituita da un "lobe" principale

Semi-directional antennas

di emissione dove è concentrata la maggior parte dell'energia

- **Patch (flat antennas mounted on walls)**
→ tipico dei wi-fi abitativi

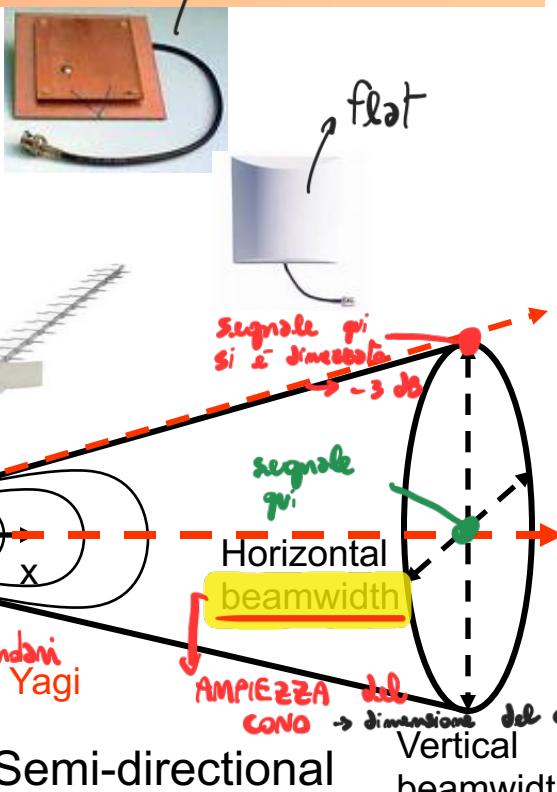
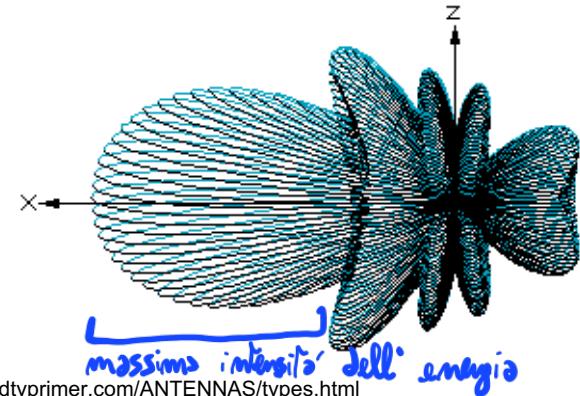
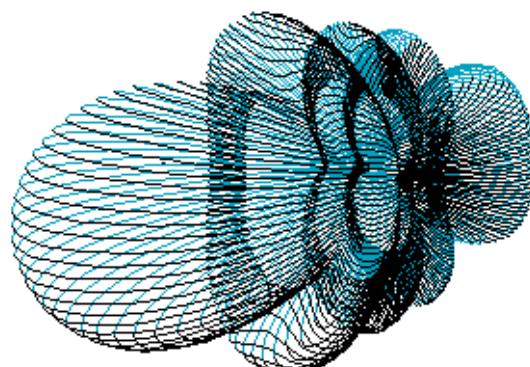
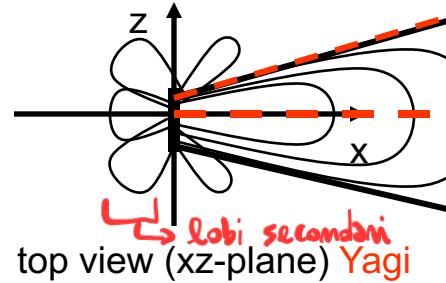
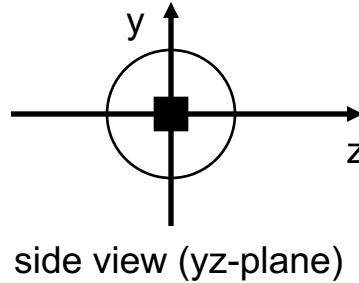
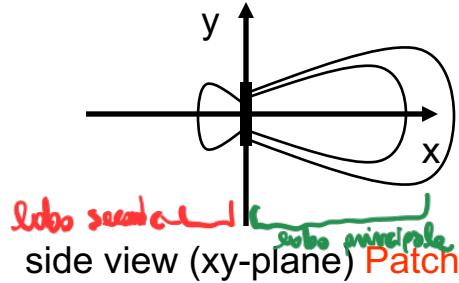


- **Panel (flat antennas mounted on walls)**



- **Yagi (rod with tines sticking out)**

→ Per le TV (puntati verso i ripetitori dei canali tv)



Beamwidth cone:
-3dB signal boundary off-axis

Credits: <http://www.hdtvprimer.com/ANTENNAS/types.html>

highly-directional antennas

→ coprono lunghe distanze

ANTENNA CAZZO

- Parabolic Dish

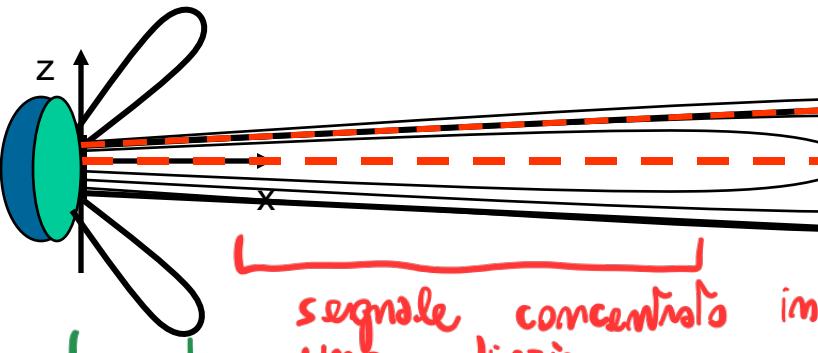


- grid



→ Utili per l'ascolto
selettivo nello spazio

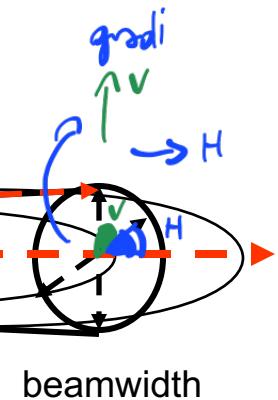
top view (xz-plane) dish



bubi secondari
→ segnale debole

segnale concentrato
in una direzione

→ l'antenna ha un altissimo
guadagno di segnale nella direzione in cui
è concentrato



beamwidth

Semi-directional
antenna

Beamwidth
cone:
-3dB signal
boundary
off-axis

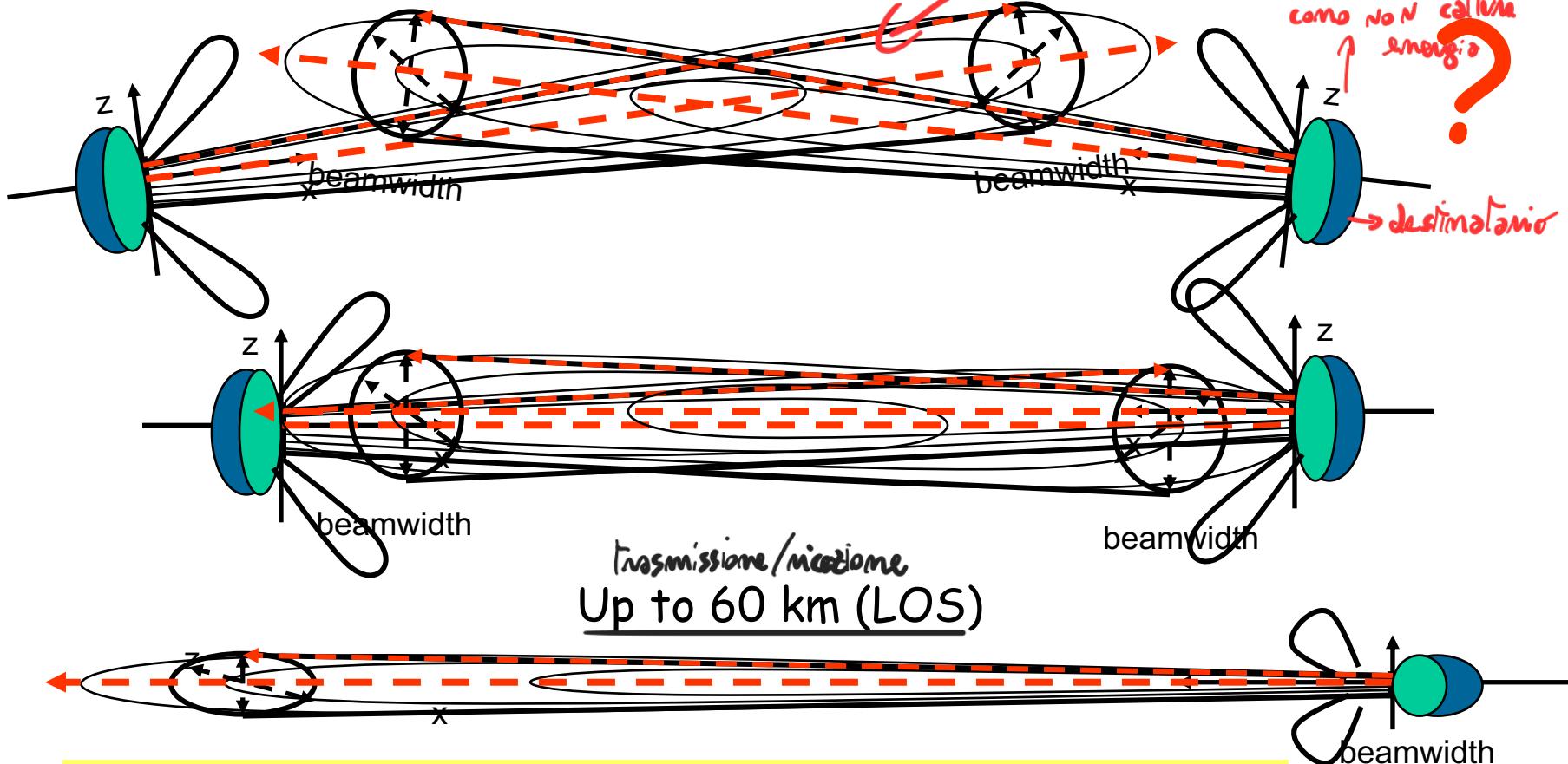
Antenna type	<u>Horizontal</u> <u>H</u> beamwidth [degrees]	<u>Vertical</u> <u>V</u> beamwidth [degrees]
Omni-dir.	360°	7°.. 80°
Patch/panel	30° .. 180°	6° .. 90°
Yagi	30° .. 78°	14° .. 64°
Parabolic dish	4° .. 25°	4° .. 21°

highly-directional antennas

- Common use: Point-to-point link

Out of beam alignment

Fuori
come non
cattura
dal
energia?



Wind effect: better to have lower gain and wider beam

se i punti in cui l'antenna si muovono, sono direzionali, infatti queste antenne vengono montate

highly-directional antennas

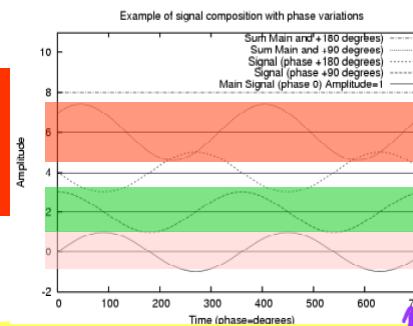
→ vale per tutte le antenne

- **Line of sight (LOS):** → rappresenta la linea retta che congiunge l'antenna trasmettente con l'antenna ricevente.
 - Straight line between transmitter and receiver
 - No obstructions (outdoor long range reduces reflections)

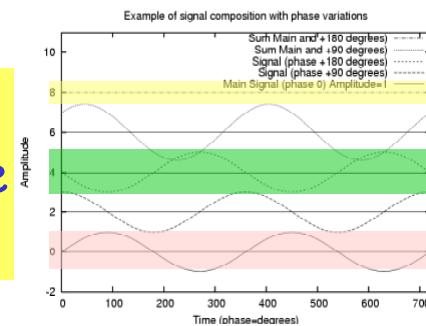
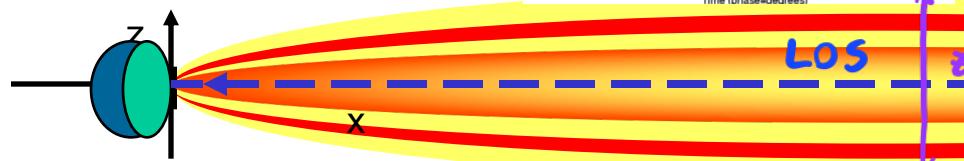
DEF FRESNEL ZONE: zone/arie ellittiche indeterminate dove i segnali emessi dalle antenne subiscono diffrazione

- **Fresnel Zone:** RF is not laser light, RF signals diffuse energy in space
 - Ellipse shaped area centered on the LOS axis
 - Most additive RF signal is concentrated in the Fresnel Zone
 - It is important that Fresnel Zone is free from obstacles

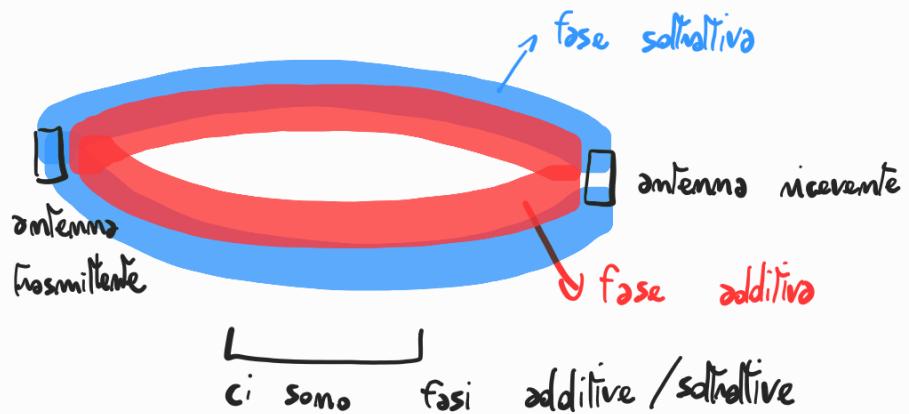
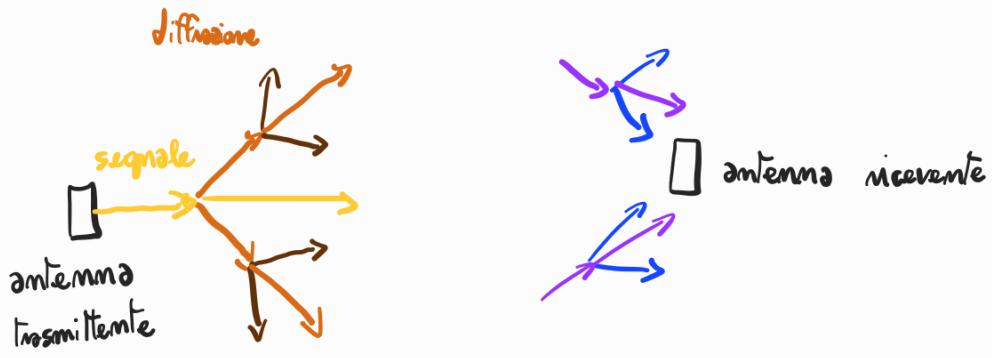
Red zone:
additive phase signal



Yellow zone:
inverse phase
signal



Se i componenti additive si compensano → NO sovrapposizione dei segnali



highly-directional antennas

- **Fresnel Zone (FZ)** → Non si influenzata da tipo di antenna e dalla potenza di trasmissione (perché diffrazione minima) → Va preservata nella LOS

- Blockage of Fresnel Zone causes link disruption

→ Fatto da acqua e scaldata da elettroni
• Caused by buildings, (growing) trees, foliage, etc.

• Rule of thumb: < 20% obstruction of Fresnel Zone

• Practical rule: calculate the radius of FZ leaving 60% unobstructed radius

$$- R_{60\%} = 43.3 \times \sqrt{(d/4f)}$$

↳ si lascia libero il 60% della zona di Fresnel

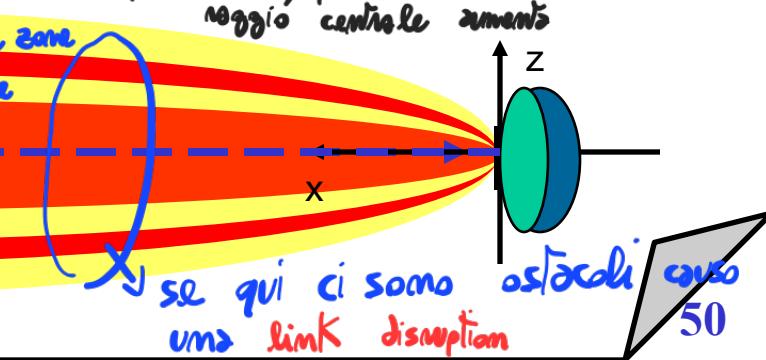
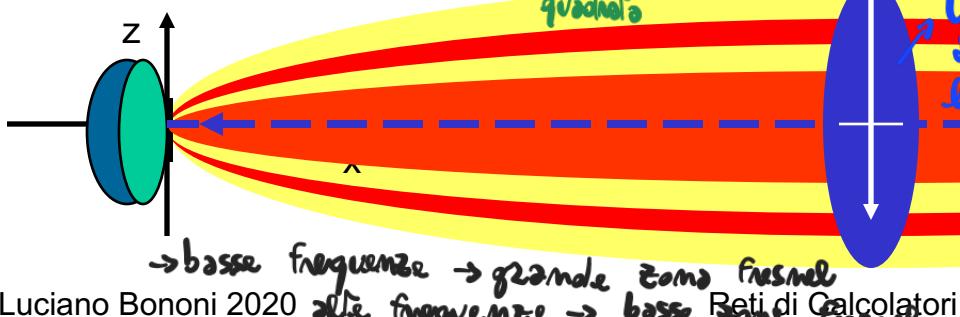
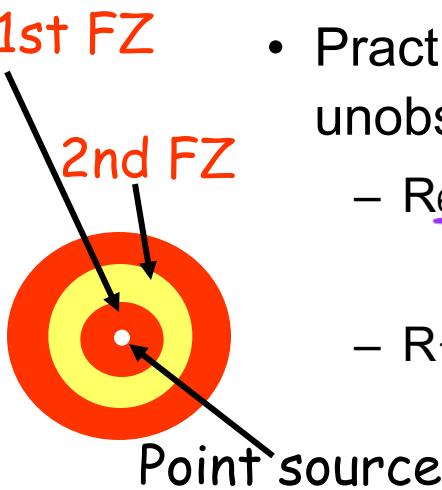
$$- R_{100\%} = 72.2 \times \sqrt{(d/4f)}$$

↓ costanti universali, indicano la diffrazione quadrata

R=radius of 60% central FZ (feet)
d=distance(Miles), f=freq (GHz)

R=radius of 100% FZ (feet),
d=distance(Miles), f=freq (GHz)

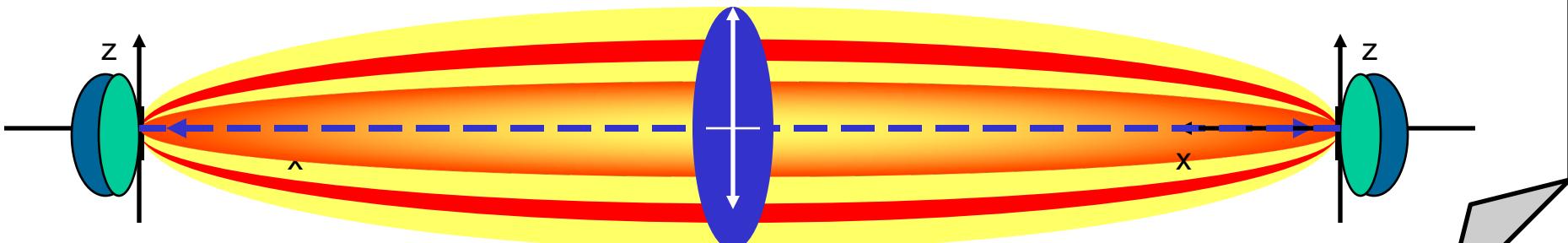
↳ frequenza più alta, più il raggio centrale aumenta



highly-directional antennas

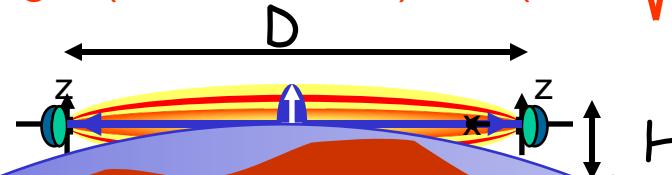
▪ Fresnel Zone (FZ)

- N.B. the FZ radius depends only on the distance d between antennas, and frequency f of RF signal!
- Type of antenna, beam width (degree), and gain (dBi) have no effects!
 - E.g. +13 dBi Yagi (30 degree beam) vs. +24 dBi Dish (5 degrees) have the same FZ!!!!
- In practice: if FZ is partially obstructed, it is not useful to use higher gain antennas (with small degree beam) !!!



highly-directional antennas

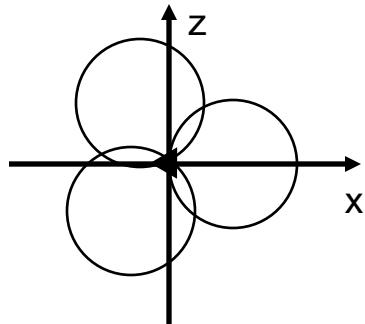
- **Fresnel Zone (FZ)**
 - Is not relevant in indoor scenarios (due to reflections...)
- **Consider the Earth bulge!!!**
 - *curvatura terrestre* → bisogna alzare le antenne per compensare la curvatura terrestre
↳ influisse su lunghe distanze
 - Very long point-to-point connections may have more than 40% FZ obstructed by Earth surface! Earth Bulge height = h (feet) = $D^2/8$
 - Minimum antenna height (link > 7 miles) $H = (43.3 \sqrt{D/4F}) + D^2/8$



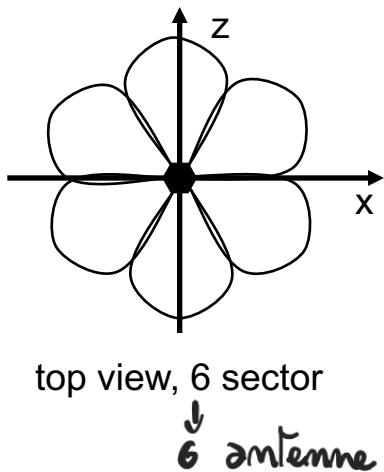
Sectorized-directional antennas

- **Arrays of sectorized directional antennas**

→ Coprano settori



top view, 3 sector



top view, 6 sector

6 antenne



sectorized
antenna

- **Space multiplexing (channel reuse)**

→ Per frequenze diverse uso la stessa antenna

Azimuth and Elevation antenna charts

- ## ■ Charts for understanding antenna coverage pattern

grafico che descrive un antenna

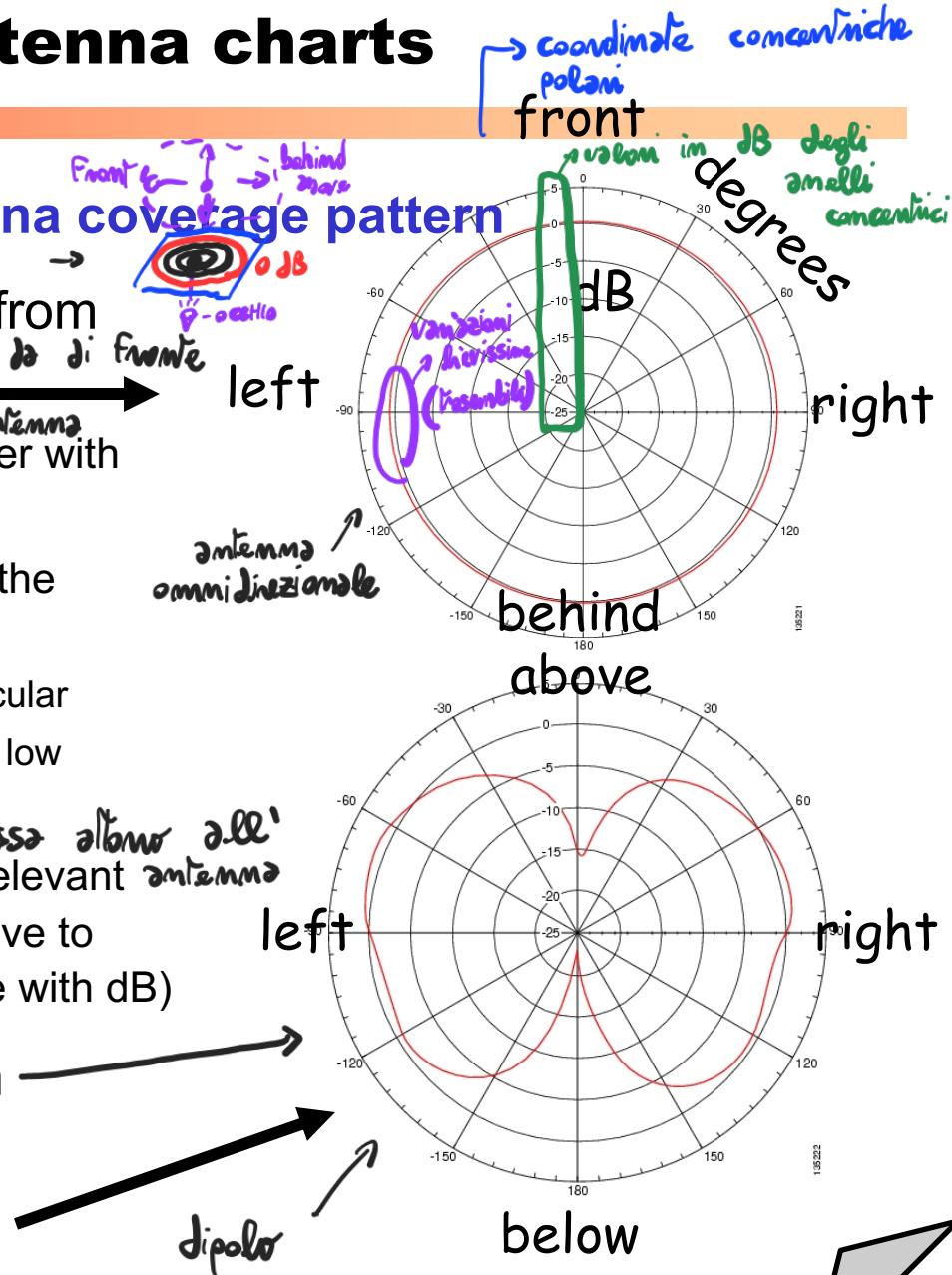
- Azimuth chart (pattern seen from front/right/behind/left))

- misung il pattern di copertina di un'antenna

 - Obtained with spectrum analyzer with central antenna frequency
 - Signal measured in dB around the antenna
 - E.g. Dipole pattern: almost circular
 - E.g. Yagi pattern: high in front, low

- N.B. distance and Tx power is not relevant (signal strength in a location is relative to every other location in the chart, like with dB)

- Elevation chart (pattern seen - front/below/behind/above)



Antennas: diversity

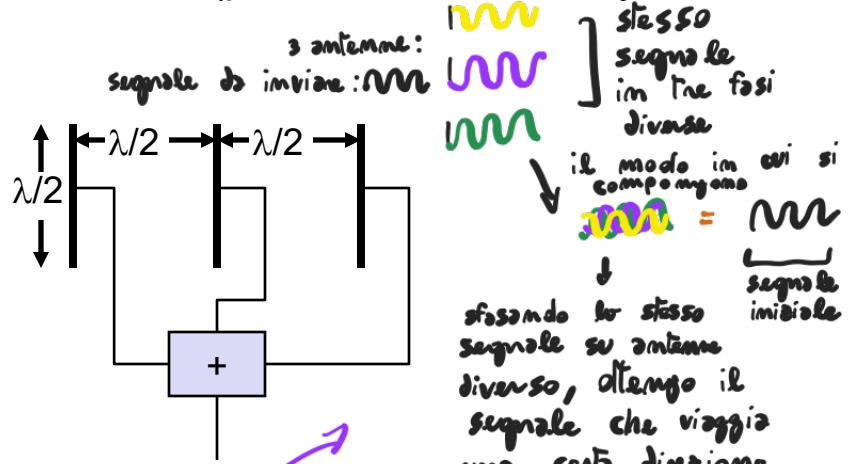
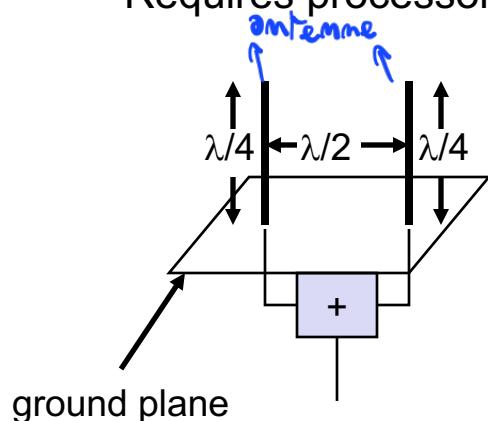
Ponché devo usare solo un'antenna? Si creano array di antenne

- Grouping of 2 or more antennas

- multi-element antenna arrays
(Al massimo, array di 15 antenne)

- Antenna diversity

- switched diversity, selection diversity
 - receiver chooses antenna with largest output
- diversity combining \rightarrow combinazione delle fasi
 - combine output power to produce gain
 - cophasing needed to avoid cancellation (phased antenna array...
Requires processor)



\rightarrow Ecco perché i router hanno più antenne

Path Loss → perdita dovuta al cammino (Decadenza del segnale in relazione alla distanza)

- Path Loss: RF signal “dispersion” (attenuation) as a function of distance

- E.g. Possible formulas (36.6 or 32.4)

- Free space: Loss (in dB) = $36.6 + (20 \cdot \log_{10}(F)) + (20 \cdot \log_{10}(D))$

- F (Mhz), D (miles) →

frequenza in Megahertz

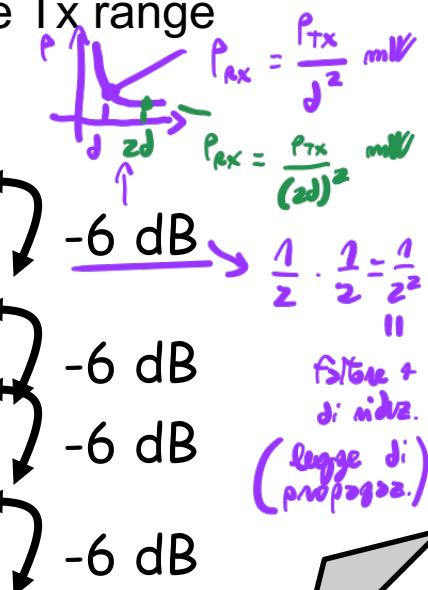
formula che indica la decadenza
del segnale in funzione della
distanza

- Link budget issue: 6 dB rule

- Each 6 dB increase in EIRP (signal x 4) implies double Tx range
(e.g. see table below: 2.4Ghz Path Loss vs distance)

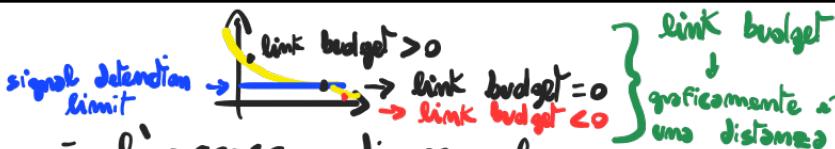
Indipendente da →
 • Potenza di trasmis./ricezione
 • Frequenza onda

distanza	PATH LOSS
100 meters	- 80.23 dB
200 meters	- 86.25 dB
500 meters	- 94.21 dB
1000 meters	- 100.23 dB
2000 meters	- 106.25 dB
5000 meters	- 114.21 dB
10000 meters	- 120.23 dB



Link Budget Calculation

→ "budget/peso" del collegamento: è l'eccesso di segnale tra trasmissione e ricevitore



"Link Budget" or "System Operating Margin"

- Excess of signal between transmitter and receiver
 - Calculated for outdoor point-to-point connections
- Measured in dB (relative) or dBm or mW (absolute)

Calculation:

- Receiver sensitivity RS (weakest detectable signal)

→ RS: - The lower the better: e.g. IEEE 802.11 card (see device manual), -95 dBm (1 Mbps), -93 dBm (2 Mbps), -90 dBm (5.5 Mbps), -87 dBm (11 Mbps)

FORMULA per
calcolare il
LINK BUDGET

- Link Budget: received power (in dBm) - RS (in dBm)

E.g. RS = -82 dBm, received power = -50 dBm

$$\text{Link budget} = -50 - (-82) = +32 \text{ dBm}$$

(converteendo in mW)
(eccesso di 2000 volte più
segnale del minimo necessario)

- This means the signal has margin of +32 dB before it becomes unviable

→ Obiettivo: avere un link budget positivo

N.B. va adattato poi
ad ogni contesto

Fade margin: extra margin for link budget (to cope with multipath variation in indoor/outdoor scenarios): typical [+10..+20] dB

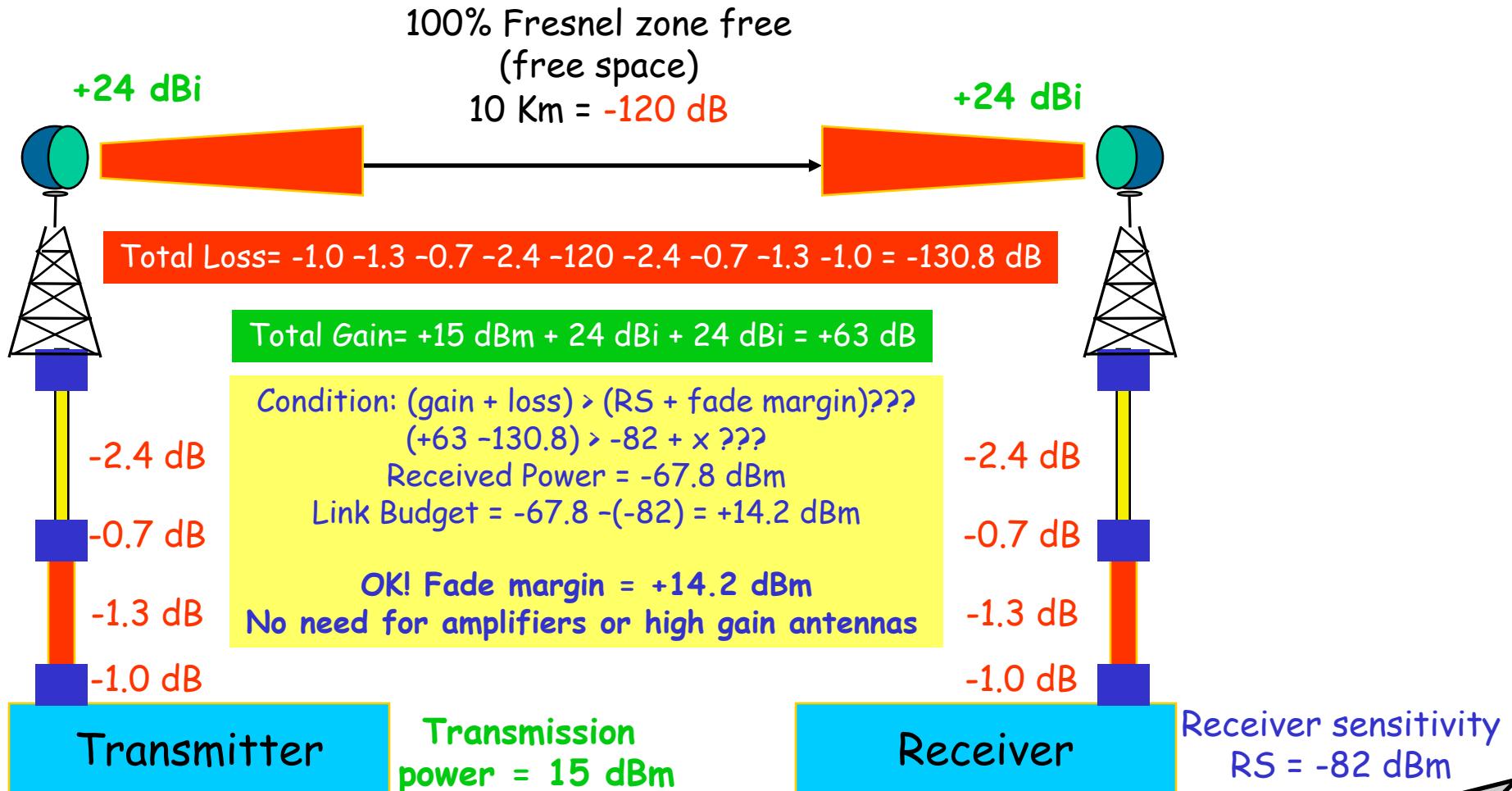
I fattori ambientali/esterni/meteorologici influenzano sul link budget
⇒ Impiego che quando progetta un sistema abbia un certo margine per cui

anche in
condizioni
non ottimali

link budget
> 0

Link Budget Calculation: example

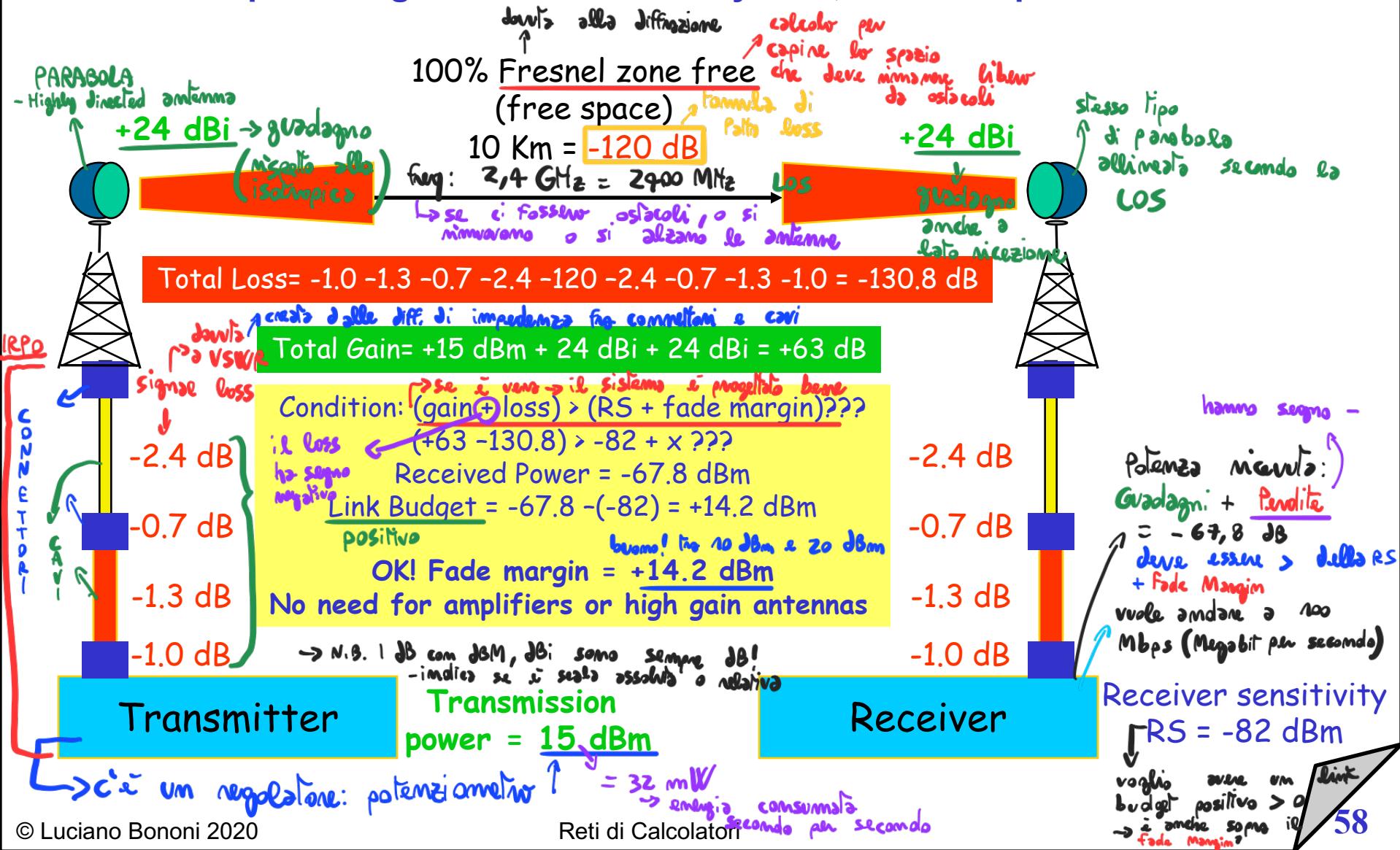
- Example: design of transmission system, needs amplifier?



SISTEMA DI TRASMISSIONE RT (Ricevente - Trasmettente)

Link Budget Calculation: example

- Example: design of transmission system, needs amplifier?



Link Budget Calculation: example

- Example: design of transmission system, needs amplifier?

