Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Dipartimento di Scienze dell'Informazione

Corso di Laurea Specialistica in Scienze di Internet (SdI) e Informatica (Inf)

Wireless Systems (2) – Physical Spectrum, Logical Channels, Digital Modulation

Luciano Bononi

(bononi@cs.unibo.it)

http://www.cs.unibo.it/~bononi/

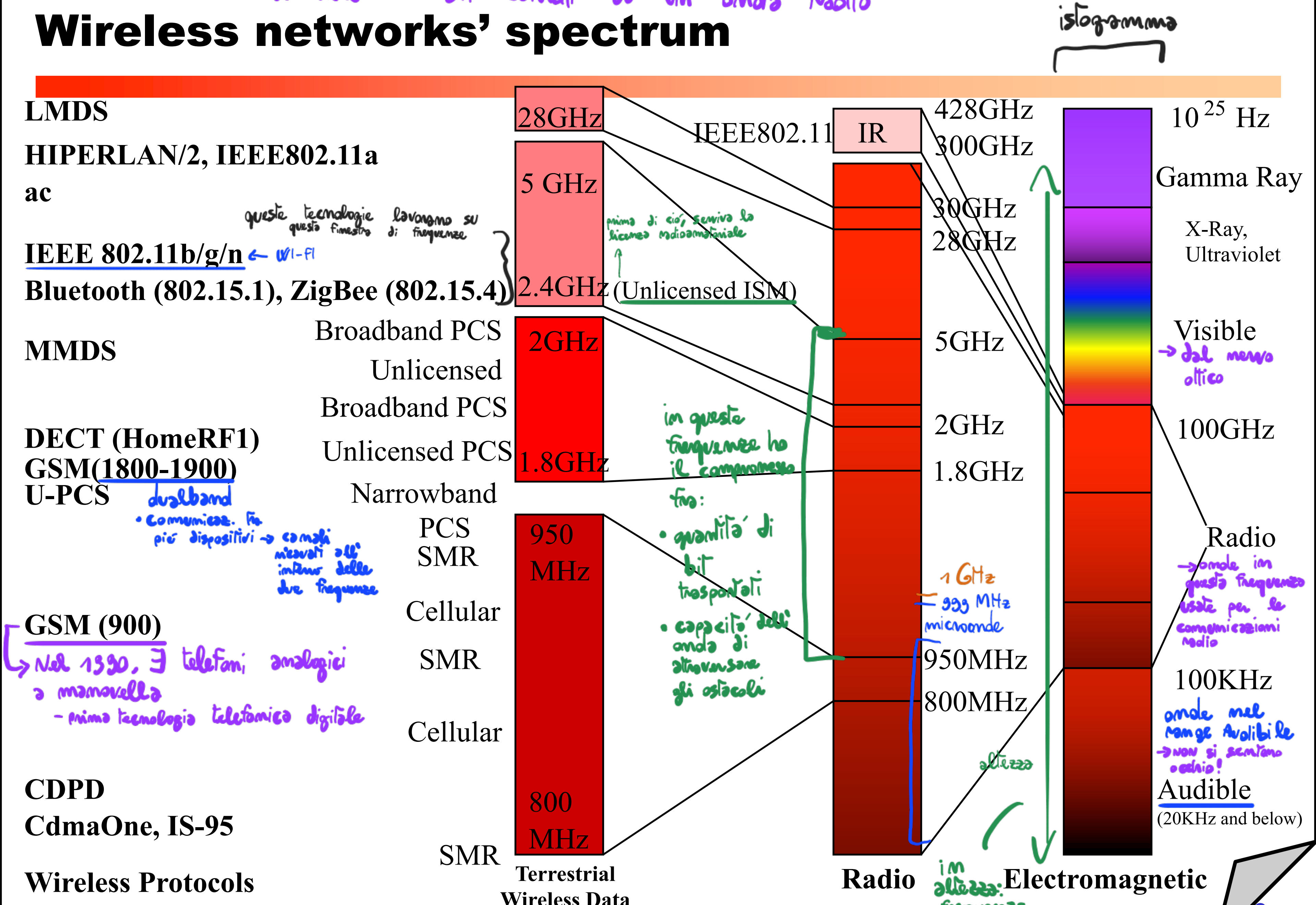
Ricevimento: sempre aperto .
Si consiglia di concordare via e-mail almeno un giorno prima
(informazioni in tempo reale sulla home page personale)

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

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

→ Come fare a ricevere i bit corretti da un onda radio

Wireless networks' spectrum

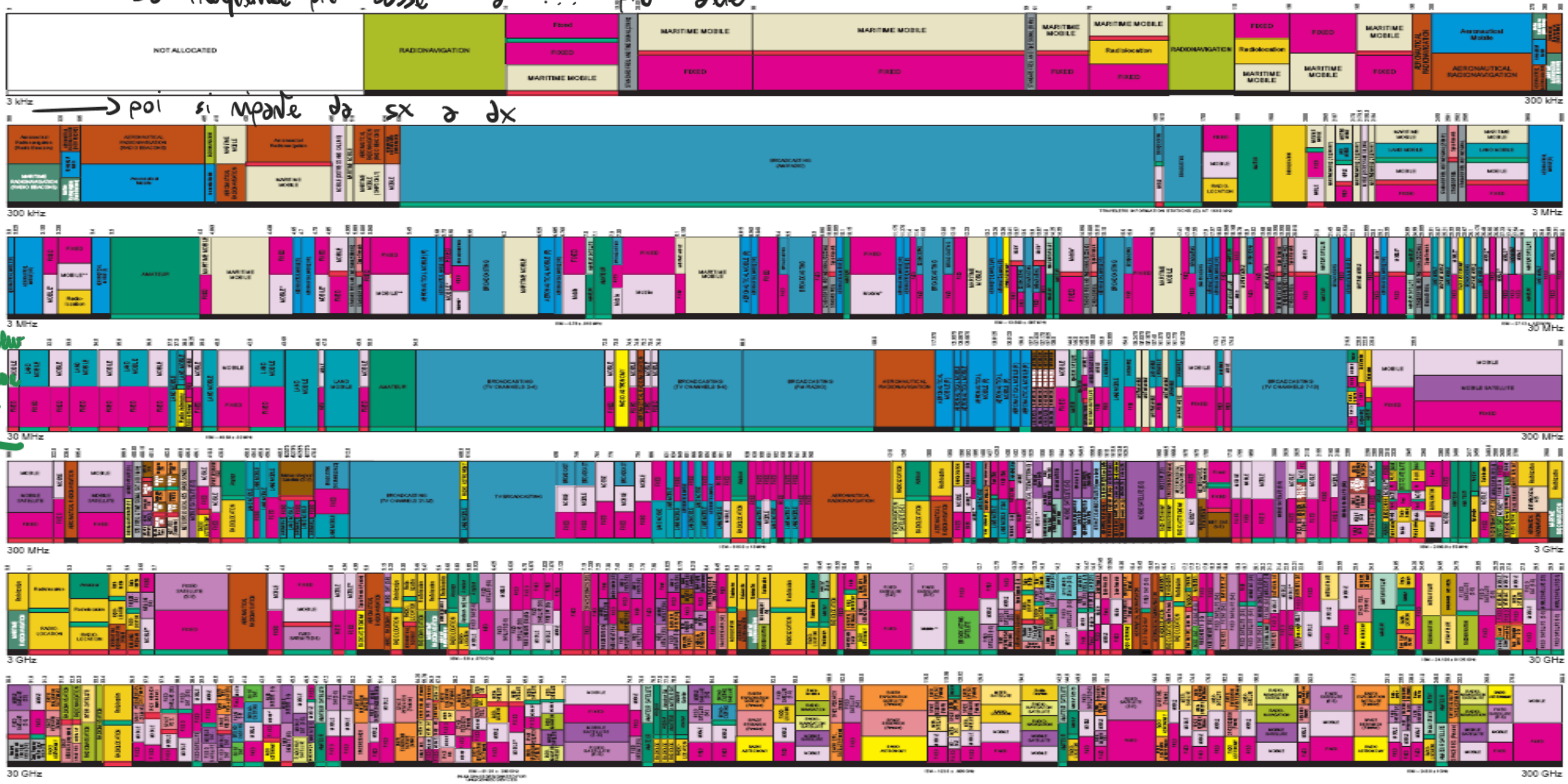


Fixed spectrum assignment

→ Da frequenze più basse a ... più alte

→ poi si riparte da sx a dx

Intervallo delle frequenze GHz



→ Lo stato concede questi slot di frequenze (se liberi, all'asta tra i servizi di telefonia)

→ Nella realtà molte di queste frequenze sono inutilizzate

Slide credits: IFA'2007, prof. Ian Akyildiz @ Gtech

→ Cognitive Network: uso di un canale di frequenze inutilizzato e non disturbo nessuno (senza limiti) → ILLEGALE

Wireless networks Bandwidth and Spectrum

"banda" usata impropriamente nella trasmissione di bit → banda larga di trasmissione (come termine) ← lunghezza / ampiezza di banda

Com'è

- **how can wireless channels have different bandwidth?**

⇒ Semplicemente, perché usano intervalli di frequenze diverse

↳ deriva dall'ampiezza della finestra di frequenza ↓ cioè il range di frequenze usate nei canali di comunicazione

  - bits run less or more faster? (NO)

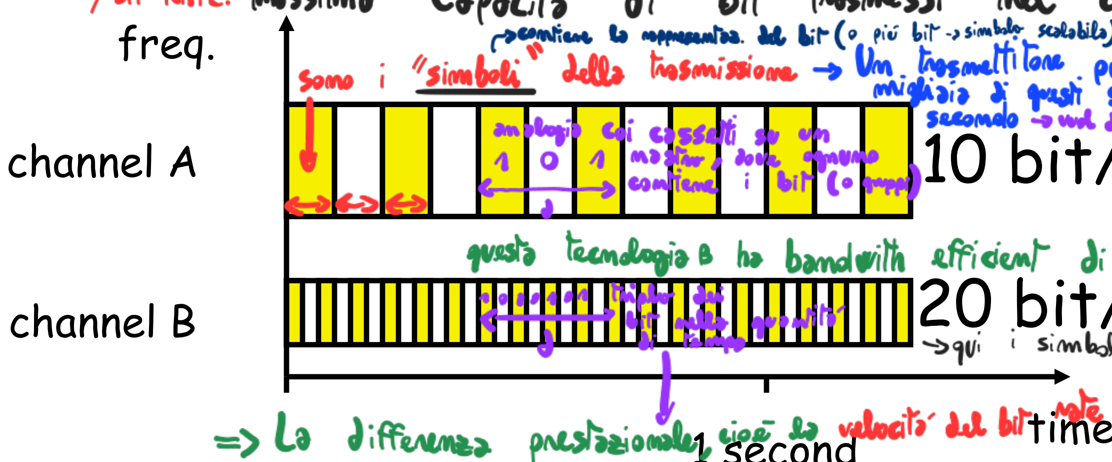
    → NON è la bandwith che determina la channel capacity

    - Light speed: ˜ <300.000 Km/s for every bit

    ↳ è vero che se uso più spettro, posso avere più canali ma le tecnologie sono diversi → il segnale non ha problemi → viaggia a velocità luce

  - the channel pipe (spectrum) is bigger (YES/NO)
  - the channel requires less time to accomodate (i.e. to code) one bit on the channel (YES)

CHANNEL CAPACITY/BIT RATE: massima capacità di bit trasmessi nel canale



Sono i "simboli" della trasmissione → contiene la rappresentaz. del bit (o più bit → simbolo scalabile) → Un trasmettitore può trasferire migliaia di questi simboli al secondo → vuol dire poter variare le caratteristiche dell'onda migliaia di volte al secondo

analogia coi cassetti su un mobile, dove ognuno contiene i bit (o gruppi)

questa tecnologia B ha bandwith efficient di A

più bit nello stesso tempo → quantità di tempo

→ qui i simboli "durano meno" rispetto a sopra

⇒ La differenza prestazionale, cioè la velocità del bit rate è dovuto alla durata della trasmissione di un certo bit (o più bit in gruppo)

=> La velocità di trasmissione è strettamente legata alla velocità di ricezione:

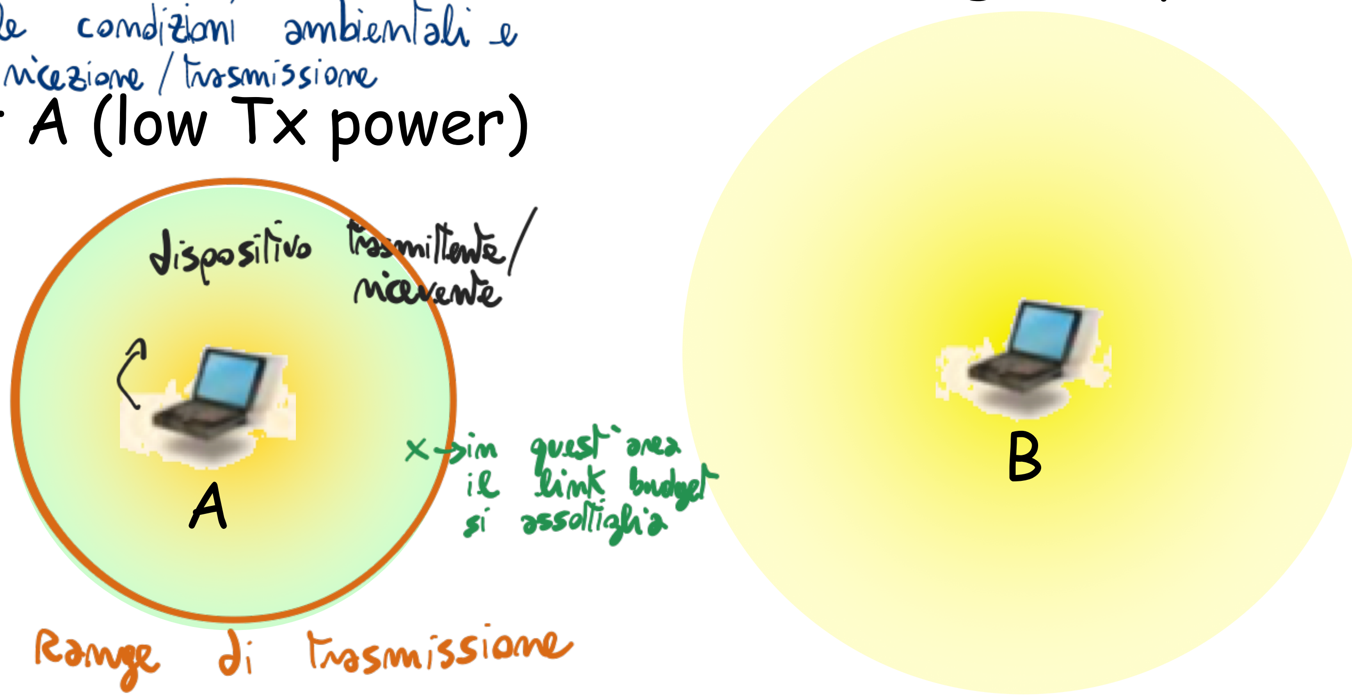
Wireless networks' technology

• Se aumento la velocità di ricezione, non è detto che la tecnologia del dispositivo ricevente abbia velocità di ricezione tale da "sopportare" l'aumento dei bit trasmessi e NON commettere errori durante la decodifica dei bit.

- **Radio transmission coverage**
  -> dipende dalle condizioni ambientali e di ricezione / trasmissione

host B (high Tx power)

host A (low Tx power)



Range di trasmissione

"...is there anybody outhere?"

both isolated

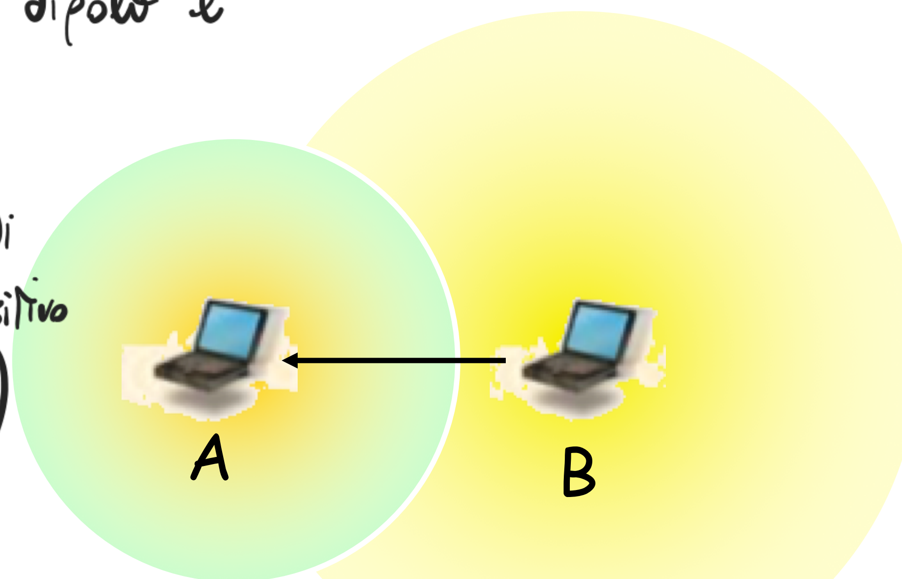
=> A, B sono il tentativo di creare una rete
-> sono una PARTIZIONE di rete (NO COMUNICAZIONE)

Wireless networks' technology

- **Radio transmission coverage**

→ Assumo che B sia un dipolo e ho due possibilità

- avvicino i dispositivi
- aumento la potenza di trasmissione del dispositivo (aumento del Range di trasmissione)



A receives B

B cannot receive A

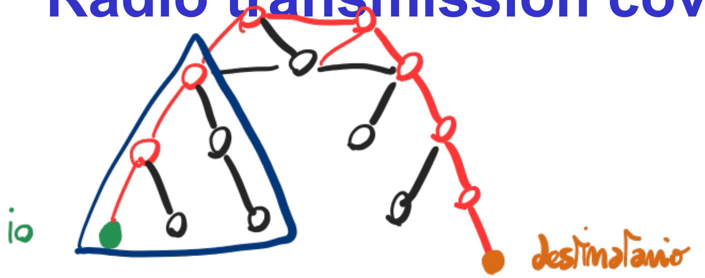
unidirectional(*) link

(*) sometimes improperly referred to as "asymmetric link" NO!

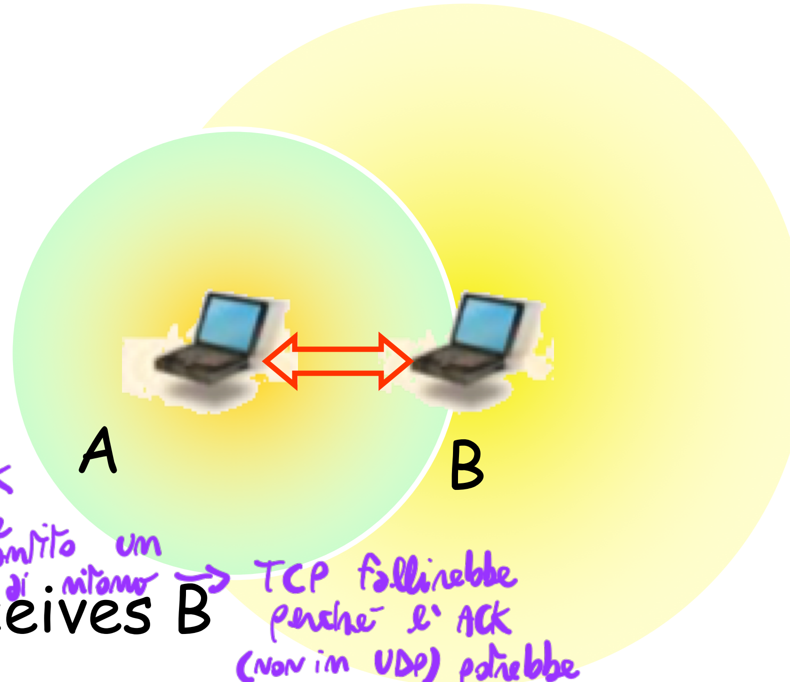
→ riferito (in realtà) al bit rate diverso fra A e B

Wireless networks’ technology

- **Radio transmission coverage**



si vede facendo traceroute quando i router sono sempre gli stessi (nelle reti cablate) → ≠ da reti senza fili → spesso link unidirezionale e non è garantito un cammino di ritorno → TCP fallirebbe perché l'ACK (non in UDP) potrebbe non tornare e si rinvierebbe infinite volte il pacchetto



se non coincidono, ho un link monodirezionale

A receives B

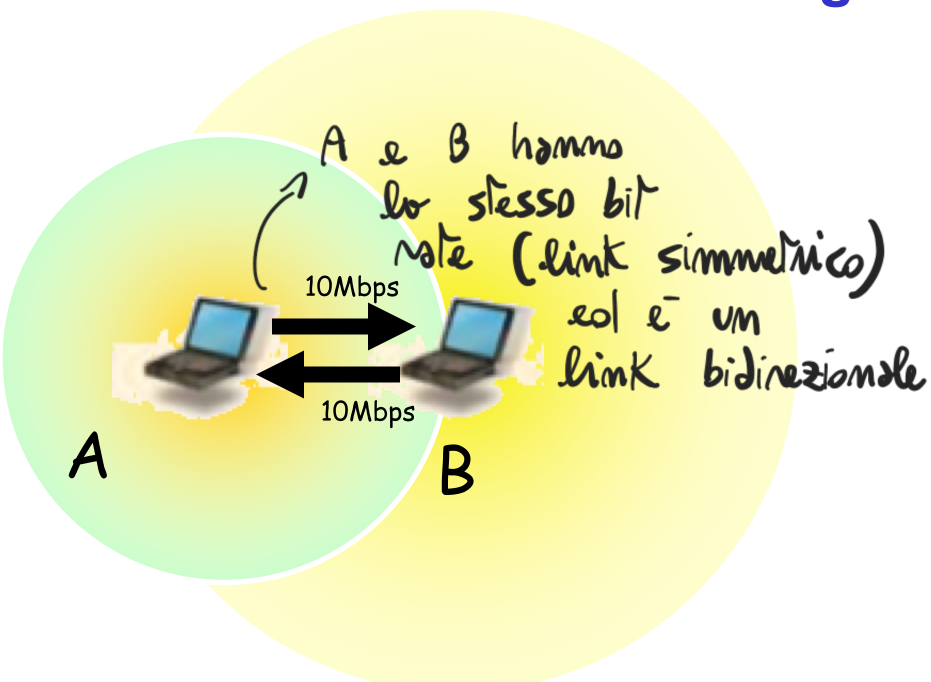
B receives A

i cammini per mandare un pacchetto da un mittente e destinatario e viceversa coincidono ← bidirectional(*) link

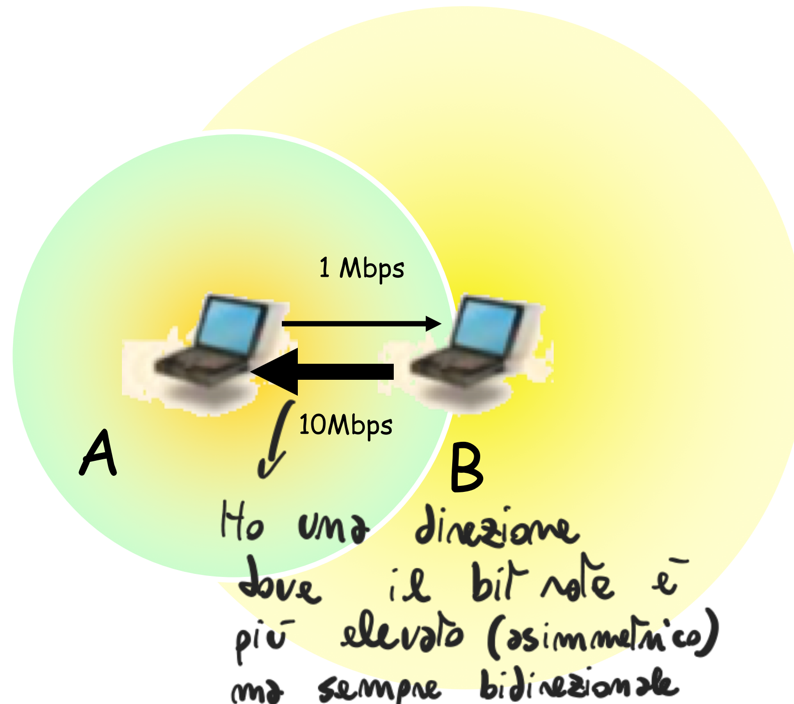
(*) sometimes improperly referred to as “symmetric link”

Wireless networks' technology

- **Radio transmission coverage**



bidirectional symmetric link



bidirectional asymmetric link

Wireless networks' technology

viene "schermata" se incontra una gabbia di Faraday, che ne dissipa l'energia

→ A un supporto per trasmettere le onde radio: virtualizzo un canale di trasmiss. perché l'onda non ne necessita

→ Oggi, l'algoritmo è in sinergia (collabora) con l'hardware della scheda di rete

- **Narrowband radio system** → a banda stretta
  - transmit/receive using a single radio frequency
    usano due frequenze diverse per comunicare il ricevente / trasmittente → A usa 2046, B usa 1049

Usa i termini inglesi

- **Spread Spectrum technology** → canale a spettro sparso ↓ tutte le frequenze in un certo intervallo che corrisponde ad un canale
  - bandwidth efficiency vs. reliability and security
    ↳ permette la trasmissione di più bit per ogni banda di spettro (singola frequenza)
  - Frequency Hopping Spread Spectrum
    → saltare tra le frequenze
    - narrowband carrier hopping in a pattern sequence
    → l'intervallo di frequenze viene visto come una insieme di canali narrowband

questi "salti" seguono un pattern predefinito
↓
i salti sono fatti in momenti esatti perché i clock tra mittente/destinatario sono sincronizzati

  - Direct Sequence Spread Spectrum
    → le bit è spalmato su tutte le frequenze
    - bit coding and transmission spreading over the spectrum
    → informazione su più frequenze, se c'è del rumore o un attacco DoS su una certa frequenza, usandone anche in altre le salvo

- **Infrared technology**
  → sparato
  - line of sight or diffused, short range (in room)

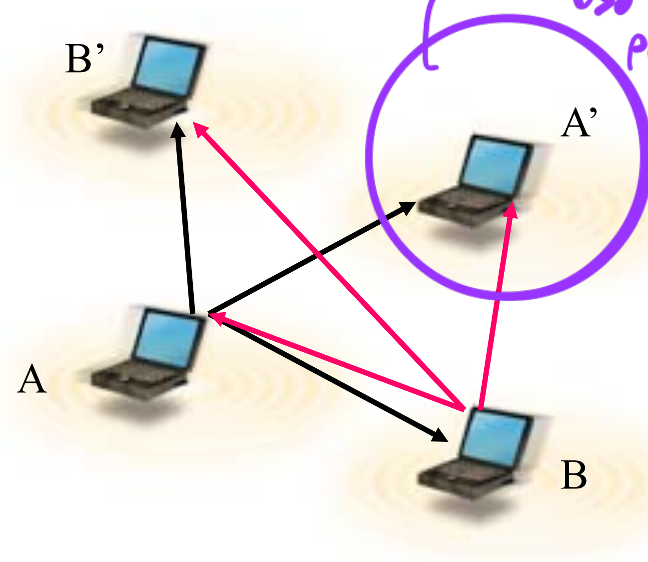
Wireless networks’ technology

→ Spesso è un canale condiviso, serve un protocollo che abbassi le probabilità di collisione tra segnali (somma vettoriale fra i segnali si distrugge)

- **Narrowband radio system**
  - transmit/receive using a single, licensed, as narrow as possible radio frequency
  - undesired cross-talk between channels requires coordination and license for each site
  - low data-rates
  - e.g. ⟶ frequency X
  - e.g. ⟶ (red) frequency Y

i colori sono frequenze diverse

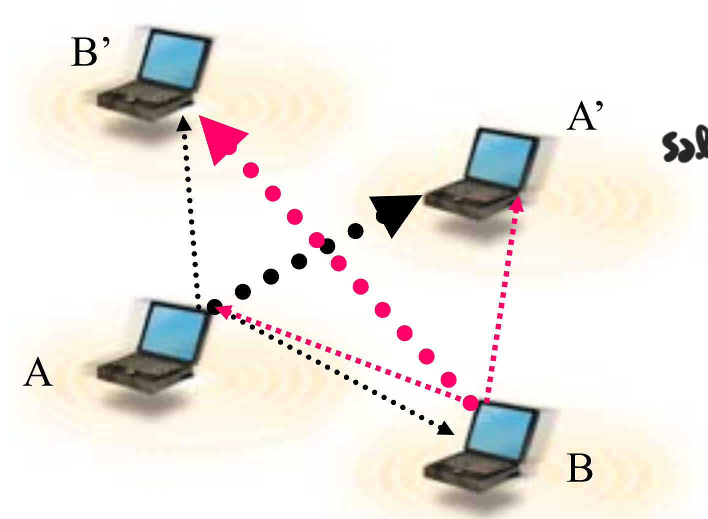
A' riceve 2 frequenze (nero rosso) usa un filtro passabanda per isolare solo la frequenza che vuole ricevere



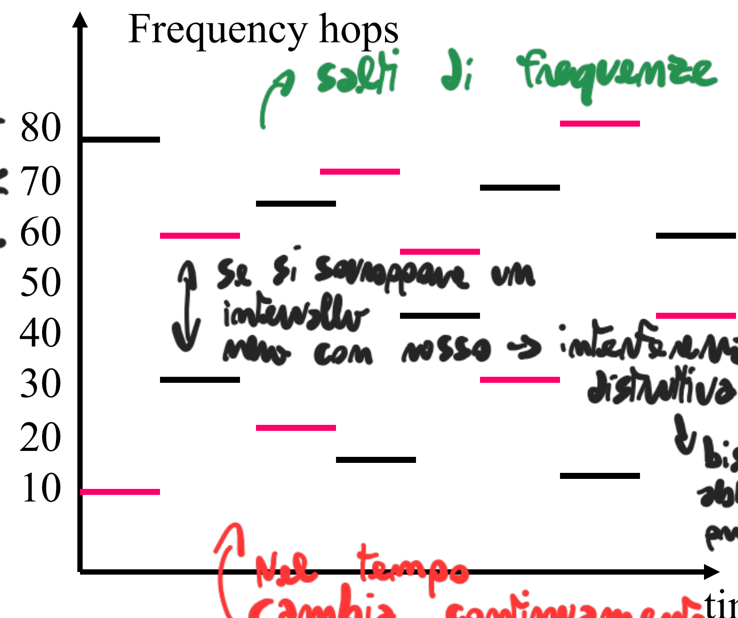
Wireless networks' technology

- **Frequency Hopping Spread Spectrum** (salti)
  - narrow band carrier changes frequency in a pattern known by both transmitter and receiver (single logical channel)
  - to unintended receiver FHSS appears as impulse noise

→ Ogni dispositivo usa intervalli di frequenze



bluetooth



salti

salti di frequenze

se si sovrappone un intervallo non con rosso → interferenza distruttiva] collisione

bisogna abbassare la probabilità

Nel tempo cambia continuamente la frequenza (tramite algoritmo)

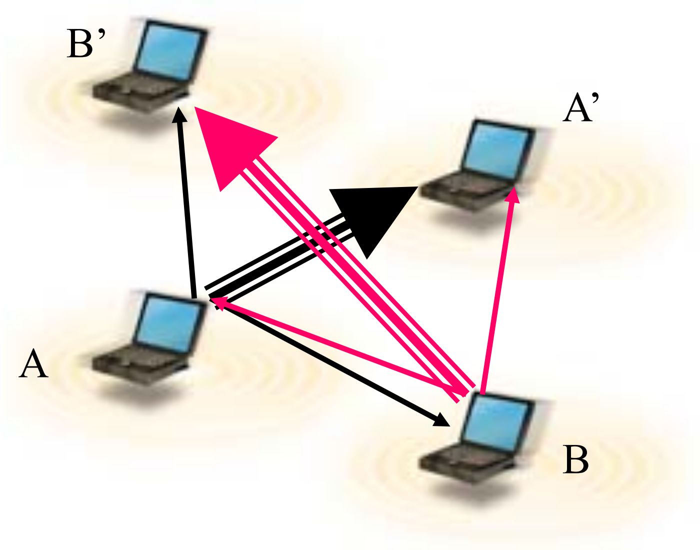
Per abbassare le probabilità di avere collisioni:

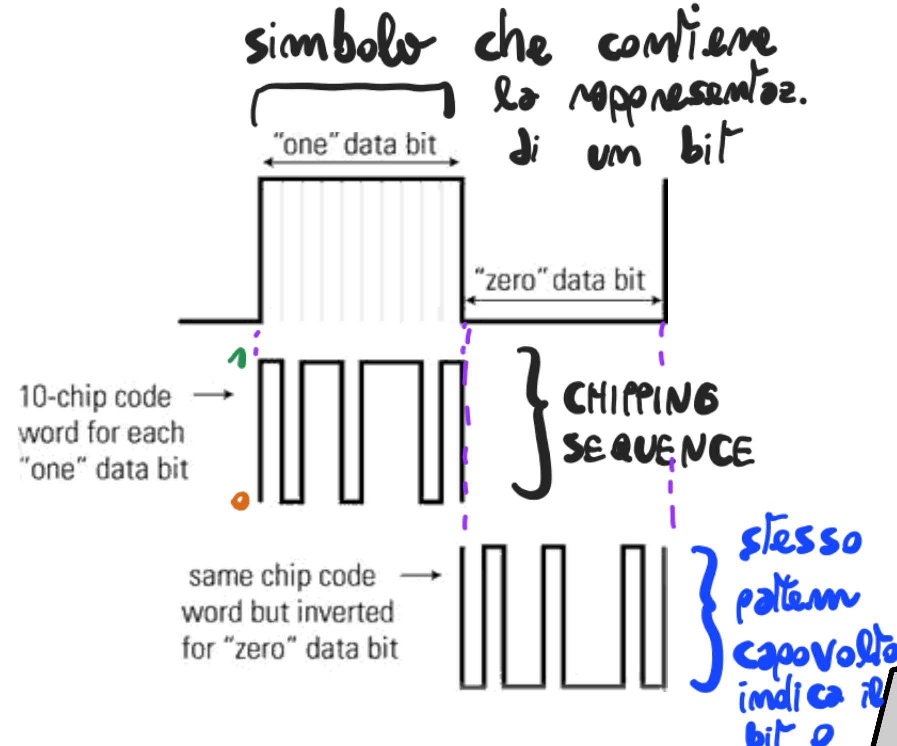
- Vedo quanti salti ho (10 - 80) e capisco quanto saturare il canale

Quindi è importante NON saturare l'intervallo di frequenze perché la probabilità di avere collisioni fra hope (salti) diversi aumenta.

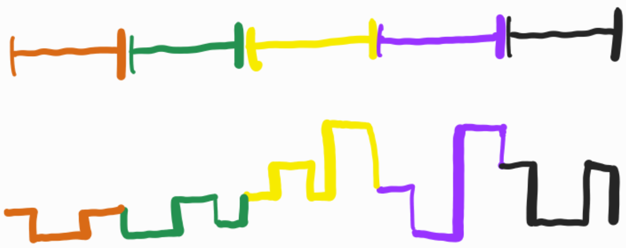
Wireless networks' technology

- **Direct Sequence Spread Spectrum**
  - redundant bit pattern (chipping code) spreaded over a large spectrum. Long chips increase probability of recovering the original bit (with no retransmission)
  - to unintended receiver DSSS appears as low power wideband noise





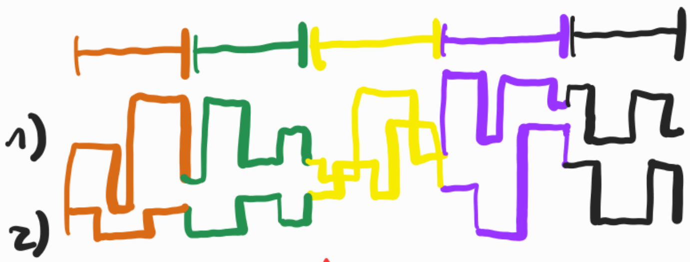
Per comprendere meglio



(colori ≠ → intervalli ≠ di frequenze)

} dico che questa sequenza di intervalli di frequenze diverse corrisponde a bit 0

Se avessi due chipping sequence



} si distinguono le due diverse sequenze (chipping sequence) nello stesso intervallo di tempo e nello spazio

(qui chipping sequence rappresentate come istogrammi)

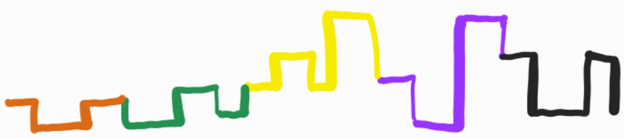
chip

↓ hanno codici di chipping sequence:

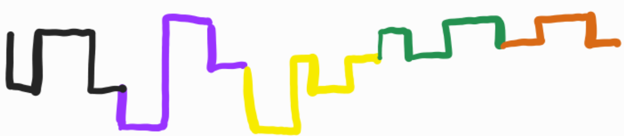
1) 011001101010
2) 100101011101

] massima NON correlazione

Si può distinguere la sequenza corrispondente al bit 0 e quella "al contrario":



bit 0



bit 1

Anche quando sono sovrapposti più chipping sequences (anche inversi, bit opposto)

Wireless networks' coverage classification

mobilità: indica la varianza del movimento nello spazio del dispositivo → se mi muovo in linea retta, il protocollo di rete anticipa la posizione, altrimenti fa più fatica

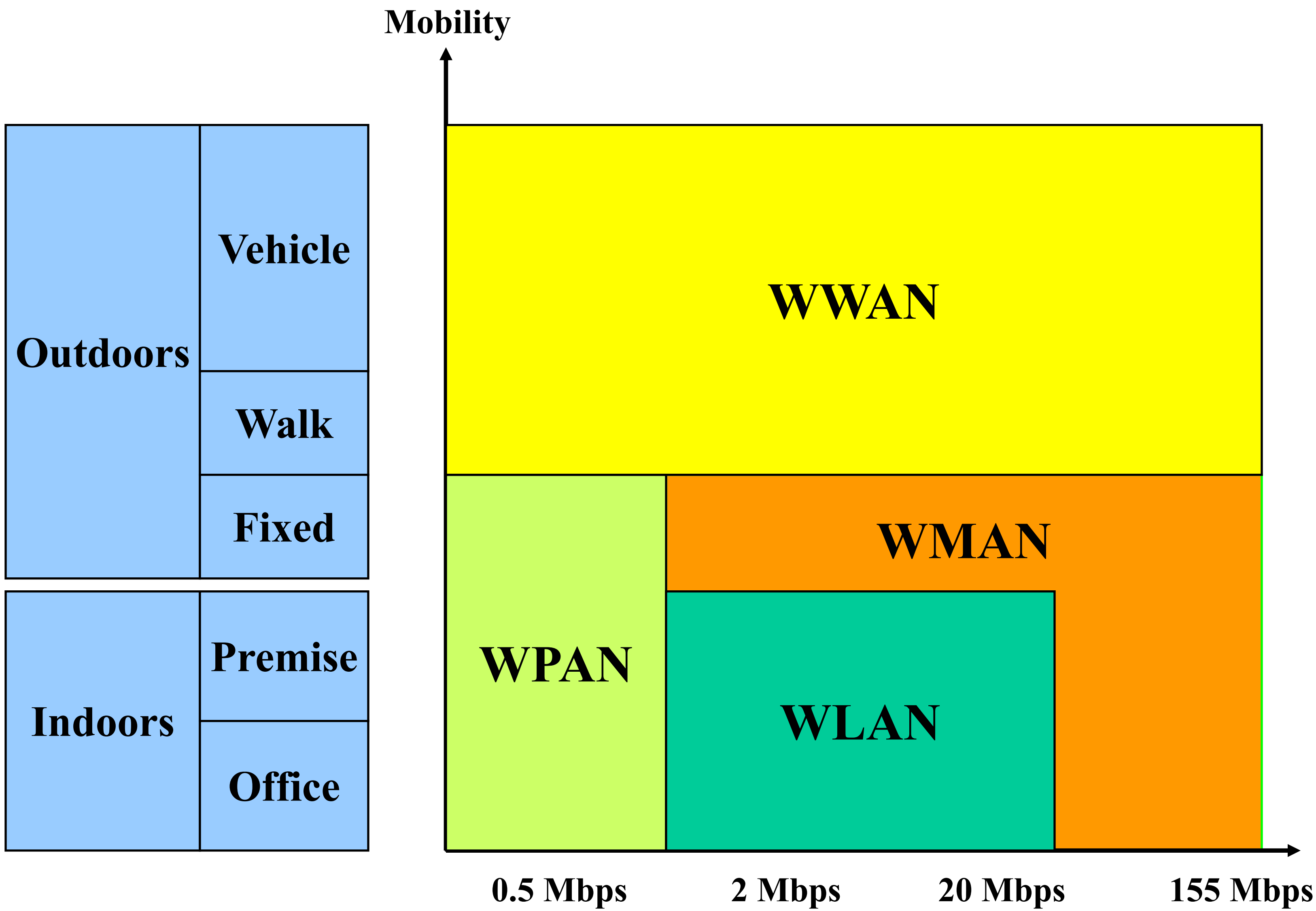
- Wireless Wide Area Network (WWAN)
  - geographic coverage (e.g. satellite, cellular)
- Wireless Metropolitan Area Net. (WMAN)
  - Metropolitan coverage (e.g. town, large campus)

  → comunicazione metropolitana via telefono
- Wireless Local Area Network (WLAN)
  - local area coverage (e.g. campus, building, home)

  → più alto bit rate, poca mobilità
  ↳ anche se oggi migliorata
- Wireless Personal Area Network (WPAN)
  - reduced local area coverage (e.g. house, office)

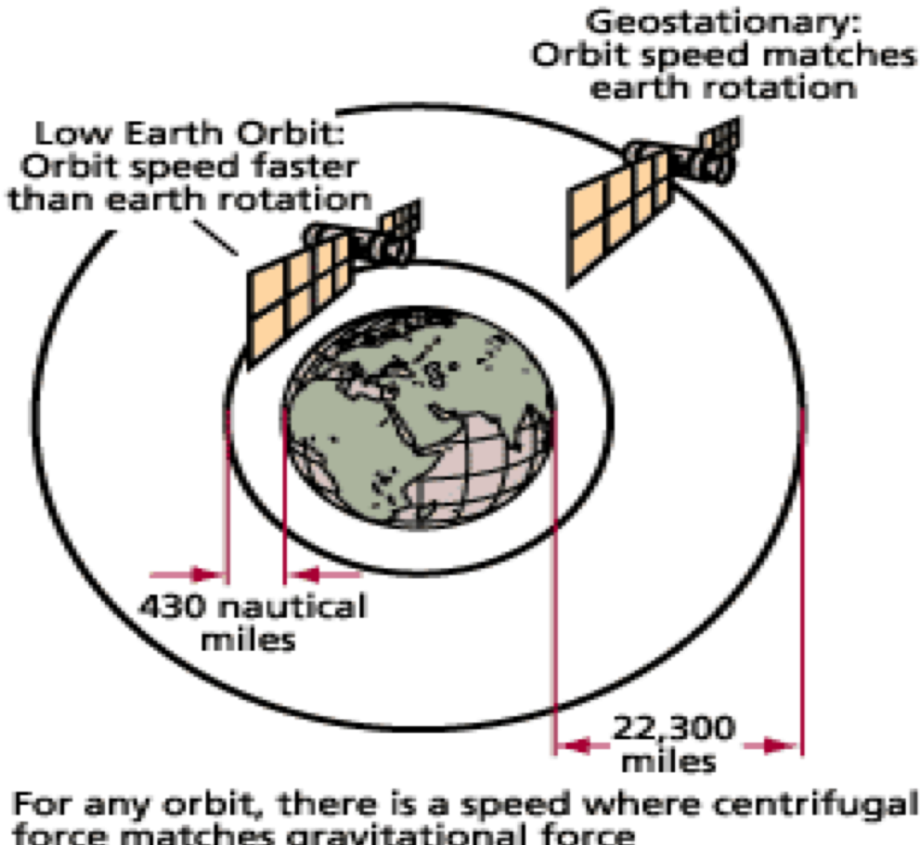
  → basso bit rate e poca mobilità
- Wireless Indoor Area Network (indoor)
  - short range coverage (e.g. room, office)

Wireless network positioning



Wireless network structures

- **WWAN and WMAN**
  - Satellite (low orbit, geo-stationary)



Sulle reti WWAN (satelliti) e WMAN (metropolitana, rete cellulare)

La rete cellulare è fatta di access point (ripetitori) la cui disposizione è studiata, con burocrazia e costi dell'infrastruttura di rete.

La rete satellitare (WWAN) è la rete con maggior copertura in assoluto

→ I satelliti non collidono perché le loro orbite sono tracciate

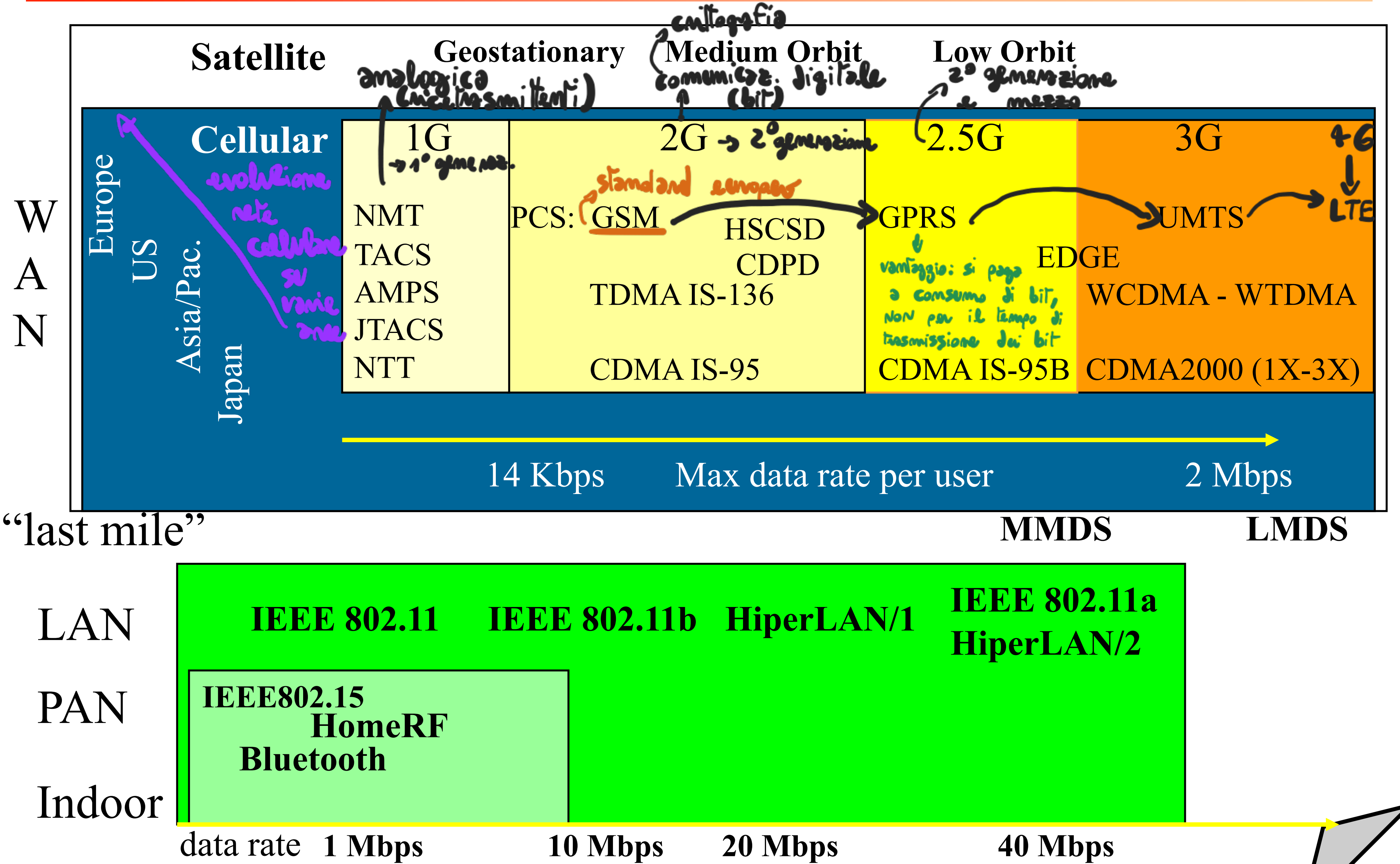
I satelliti sono distribuiti su diverse orbite

- orbita "bassa": verso i 220 Km
  obbliga i satelliti ad andare molto veloce: la loro velocità tangenziale deve essere molto alta per vincere la gravità

- orbita alta: ciò che è qui si muove lentamente, è la rotazione terrestre che li fa andare veloce

- orbita geo-stazionaria: la velocità di un satellite si muove con velocità angolare è la stessa della rotazione terrestre (si muovono con essa)
  ↳ per reti televisive

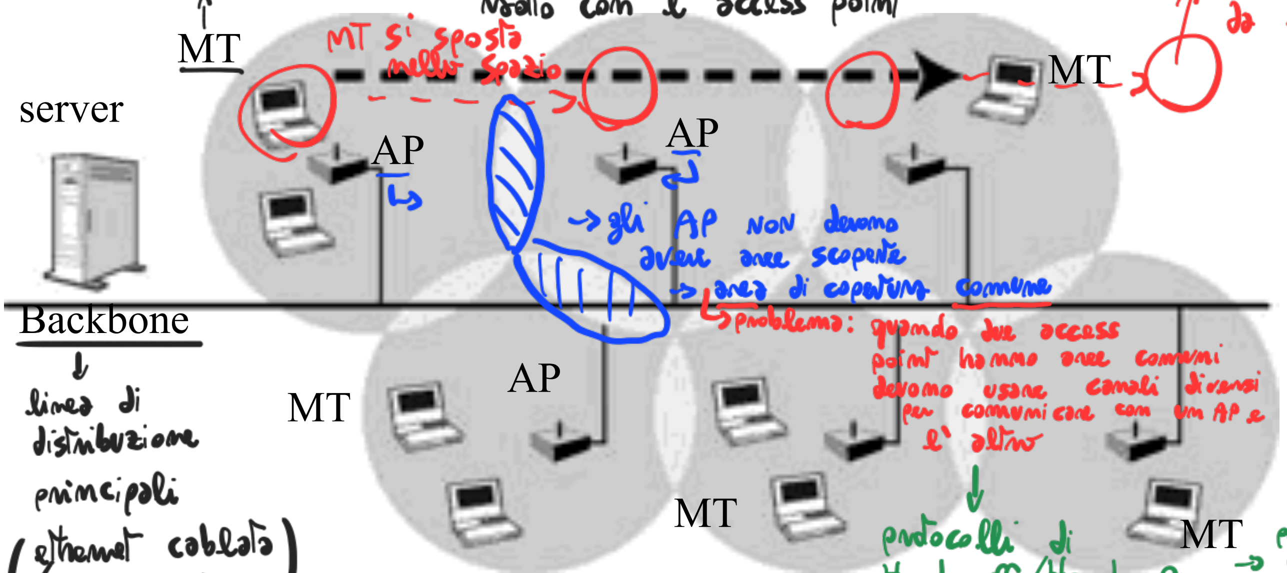
Wireless networks' structure (taxonomy)



Wireless network structures

Per quanto riguarda l'infrastruttura di rete per le reti senza fili:

- **WWAN and WMAN**
  - Cellular or multi-Infrastructure WLAN
    - grid of Access Points (AP), managing local Mobiles terminals (MT), and connected to Backbones

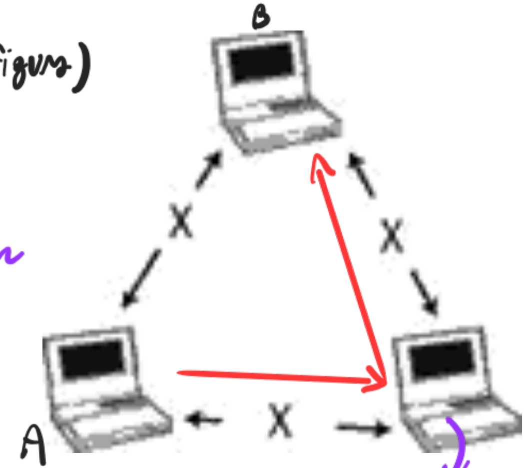


=> il Mobile Terminal si può spostare nell'ambiente fisico

Wireless network structures

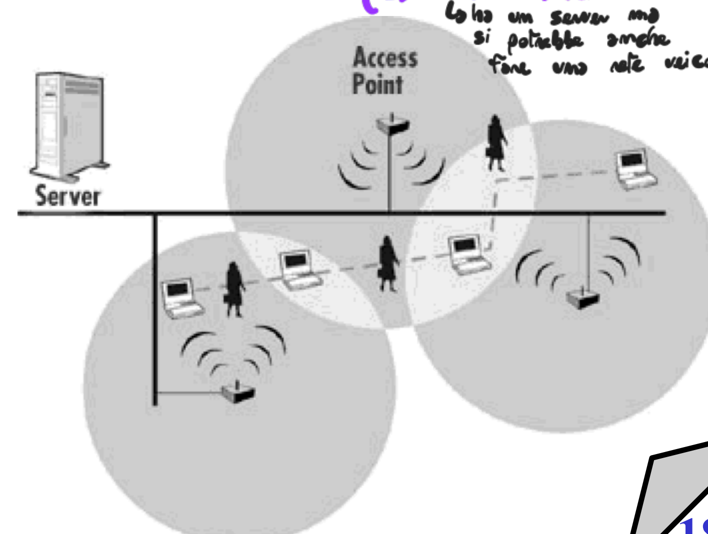
i "nodi" sanno fare da "router" per i pacchetti degli altri → NON è detto che siano attivi

- **WLAN:** è una rete senza infrastruttura, poiché sono posti ad una distanza (x in figura) tale da essere l'uno nel range dell'altro
  - RETE Ad Hoc:
    - peer-to-peer (P2P) "on the fly" communication
      → MA NON è una rete che offre servizi peer to peer
    - the network "is" the set of computers
    - no administration, no setup, no cost?



fa da "router" perché NON c'è l'infrastruttura (Es. WAZE → reti veicolari)
Lo ha un server ma si potrebbe anche fare una rete veicolare

  - Infrastructure:
    - Centralized control unit (Access Point, local server)
      → WI-FI (è un AP)
    - Roaming between cells
    - resource sharing and backbone connection



Wireless/Wired extension

esistono due schede di rete diverse per le due interfacce

implementato o nel data link o a livello rete

trasferisce i dati da un'interfaccia (onde radio) a quella cablata e viceversa

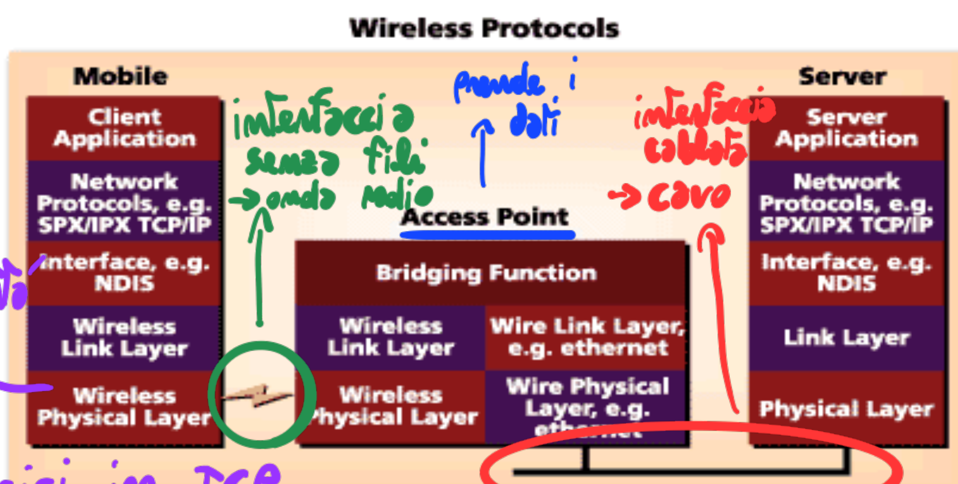
- **Wireless protocols' design, integration, optimization**
  - layering, bridging functions → è un livello che realizza una funzione di bridging
  - mobile IP – mobile Internet Protocol → identifica un host e la rete a cui appartiene (IP → numero di host, numero di rete)
  - support and management for QoS
- **support for Wired-like applications**
  - Internet connectivity, DB access, e-mail
  - value added services

? ripeti

si chiude la sliding window ↑ non dovuto alla congestione di un router ↓ non si risolve

serve uno STACK DIVERSO ↑

via radio: la probabilità di perdere pacchetti è molto elevata, più dei mezzi fisici in TCP



IP : Se ho un indirizzo IP, sono un host di una certa rete

Se mi sposto nello spazio fisico, cambio rete e se stavo facendo un aggiornamento, sorgono problemi:

- Sono diventato un altro host e il socket precedente con il server è caduto

- Tabelle di Routing sono aggiornate con l' indirizzo del vecchio host della vecchia rete

=> Serve un protocollo che risolva queste problematiche

MOBILE IP

Wireless World integration

- **One possible solution for Integraton with wired world:**
  - to uncouple wired and wireless networks
  - protocol integration, maintaining services and protocols view from both sides
  - protocols and SW structures to adapt the contents transferred to etherogeneous devices
  - adaptive behavior of network protocols (from the wireless side)
    - the wired host does not know if the other host is wireless and dialogue with it in the standard wireless way (protocol transparency)
    - the wireless host know it is wireless and implements adaptive behavior

LIMITI del mondo wireless rispetto a quello cablato

Wireless drawbacks

- **reduced Channel Capacity (1 or 2 order of magnitude)**
  - e.g. 54 Mbps vs. Gigabit Ethernet
- **Limited spectrum (etherogeneous frequency windows) available**
  - need for international frequency-allocation plans
  - need for frequency reuse
- **Limited energy (batteries): +20% every 5 years**
  - Moore law: SoC transistors double every year
- **Noise and Interference have great impact on performances and system design**
  - need for high power, bit error correction
- **Security: sensible information travels "on the air"**
  - need for protection based on cyphering, authentication, etc.

Wireless drawbacks

- **Mobility management**
  - addressing and routing (eg. Mobile IP)
- **Location Tracking**
  - Broadcasting (paging) to find users/hosts
  - support for Location Based Services

Quality of service: definito come quantità di bit che possiamo trasmettere al secondo (come garanzia del servizio)

- **QoS Management**

↳ nei dispositivi più recenti è presente (2/3 anni fa, nei più vecchi non c'è!)

  - not a single layer management (application, transport, network, MAC)
  - depends on the system/user/application scenario
  - managed for the wireless cell only (no multi-hop)
  - advance reservation, admission control policies (centralized, distributed)
  - scheduling (centralized, distributed) for resources' allocation
- **Best effort services**

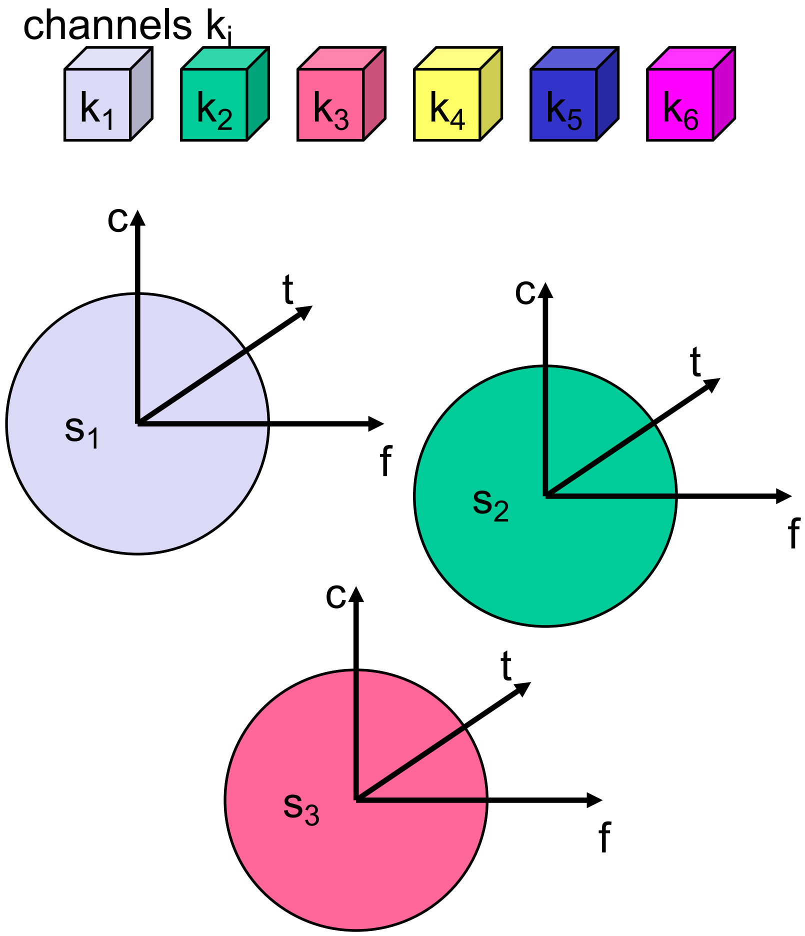
Logical wireless channel

→ condivisione della stessa risorsa da parte di più interlocutori

Multiplexing: multiple use of shared medium

→ Rappresentiamo lo SPETTRO RADIO in 4 dimensioni

- **Multiplexing in 4 dimensions**
  - space (s_i)
  - time (t)
  - frequency (f)
  - code (c) → codice della chipping sequence



- **Goal: multiple use of a shared medium**

- **Important: guard spaces needed!**

1° modalità di multiplexing

Frequency multiplex

→ condivisione dello stesso canale di comunicazione di più interlocutori

- Separation of the whole spectrum into smaller frequency bands
- A channel gets a certain band of the spectrum for the whole time
- Advantages:
  - no dynamic coordination necessary
  - works also for analog signals
- Disadvantages:
  - waste of bandwidth if the traffic is distributed unevenly
  - inflexible
  - guard spaces

inizialmente il canale è UNICO. poi viene suddiviso in "sotto canali" con un intervallo di frequenze loro assegnato

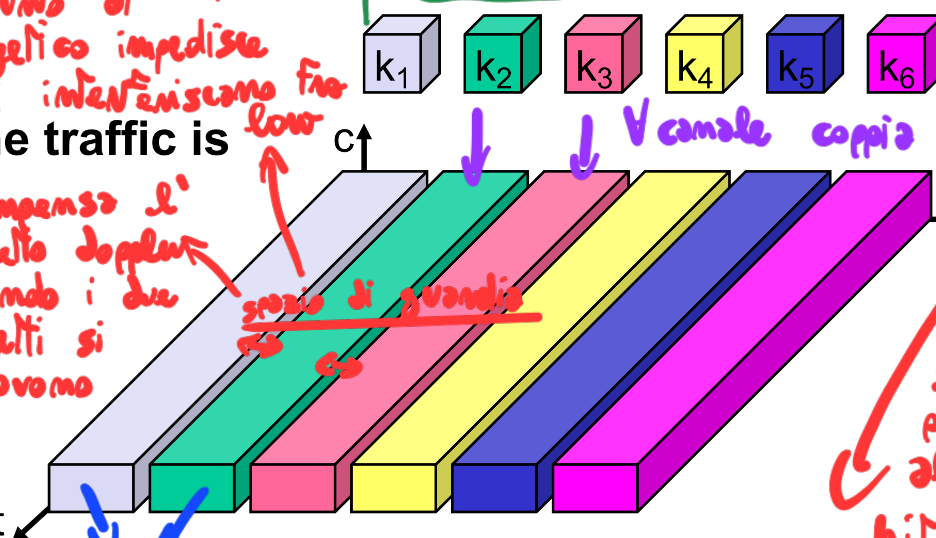
avrei disturbi di comunicazione

da un punto di vista energetico impedisce che i canali interferiscano fra loro

∀ canale coppia di interloc.

compensa l'effetto doppler quando i due oggetti si muovono

dovuto alla dilataz./compressione dello spazio tra i due interlocutori (distanza fra i due interlocutori)



più sono alte più è alto il bit rate

canali: sono intervalli di frequenze (una volta presi

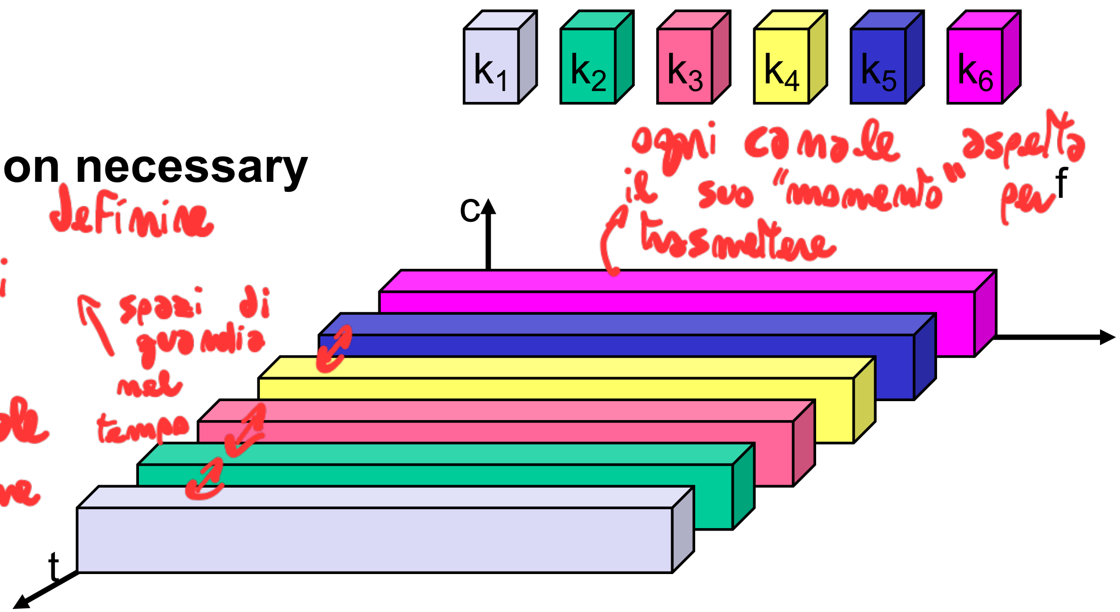
2° modo di multiplexing

Time multiplex

- A channel gets the whole spectrum for a certain amount of time
- Advantages:
  - only one carrier in the medium at any time
  - throughput high even for many users
- Disadvantages:
  - precise synchronization necessary

servono per definire intervalli di tempo per avere il canale di trasmissione libero

i dispositivi hanno i clock sincronizzati



ogni canale aspetta il suo "momento" per trasmettere

spazi di guardia nel tempo

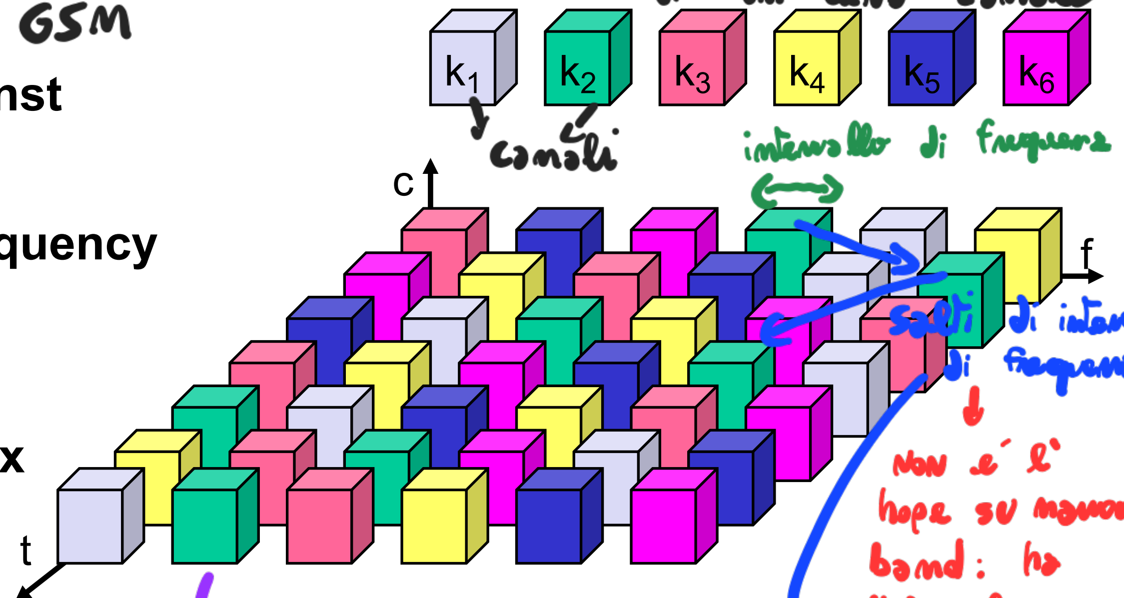
ibrido fra i due metodi

Time and frequency multiplex

- Combination of both methods

-> più sicuro: se uno volesse ascoltare la "comunicazione" dovrebbe conoscere tutti i salti di frequenze di un certo canale

- A channel gets a certain frequency band for a certain amount of time
  - Example: GSM <- funzionamento tipico delle reti GSM
- Advantages:
  - better protection against tapping
  - protection against frequency selective interference
  - higher data rates compared to code mux
- but:
  - precise coordination required



canali

intervallo di frequenza

salti di intervalli di frequenze

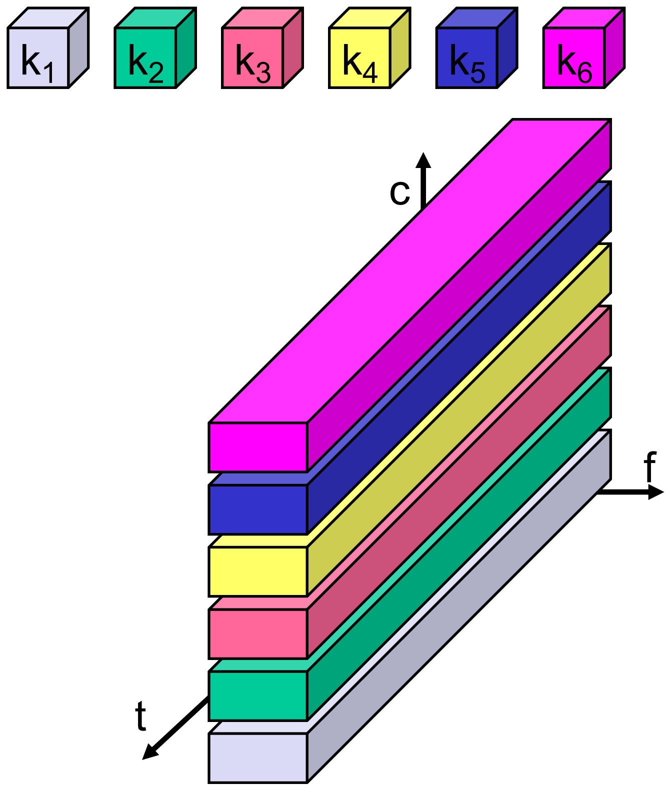
↓ Non è l'hope su narrow band: ha una sola frequenza

qui ho INTERVALLI di frequenze

se alcune frequenze hanno del rumore -> vengono escluse alcune frequenze dai salti -> (AI) -> fra le migliori scelte es. 6G

Code multiplex

- Each channel has a unique code
- All channels use the same spectrum at the same time
- Advantages:
  - bandwidth efficient
  - no coordination and synchronization necessary
  - good protection against interference and tapping
- Disadvantages:
  - lower user data rates
  - more complex signal regeneration (€)
- Implemented using spread spectrum technology



Frequency planning I

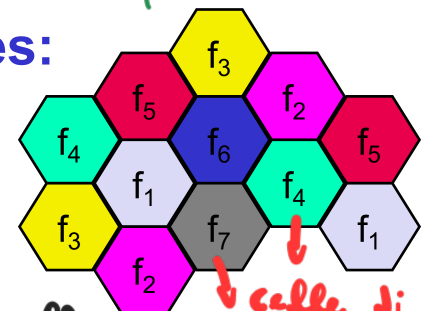
- **Frequency reuse only with a certain distance between the base stations**

→ tailored coloring

→ Dispongo le frequenze in certe aree nello spazio

- **Standard model using 7 frequencies:**

In base a dov'è l'access point stesse aree di frequenza →



celle di comunicazione (colori ≠ intervalli di frequenze diverse)

- **Fixed frequency assignment:**

→ assegnate staticamente nello spazio

  - certain frequencies are assigned to a certain cell
  - problem: different traffic load in different cells

→ colori, cioè frequenze diverse assegnate nel tempo

- **Dynamic frequency assignment:**

→ in base a dove si trova l'interlocutore

  - base station chooses frequencies depending on the frequencies already used in neighbor cells
  - more capacity in cells with more traffic
  - assignment can also be based on interference measurements

Quando si parla di segnali, si fa riferimento al SEGNALE PORTANTE o CARRIER, che trasporta l'informazione è quella (bit)

Modulation

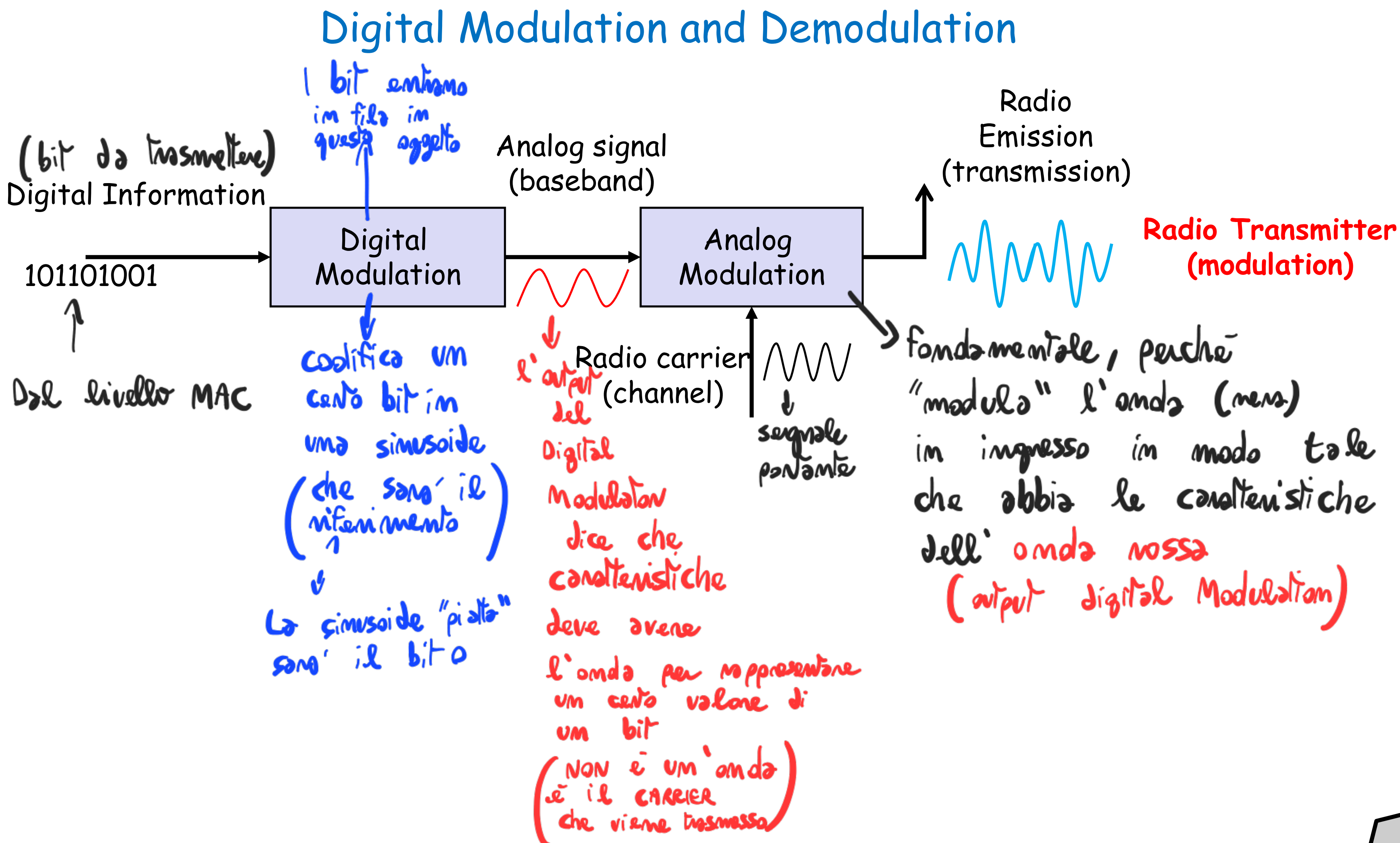
↳ significa cambiare le caratteristiche dell'onda in base a SPAZIO, FREQUENZA, TEMPO, CONCE

- **Digital modulation** → è l'informazione (bit) trasportata dal segnale
  - digital data is translated into an analog signal (baseband)
  - ASK, FSK, PSK differences in spectral efficiency, power efficiency, robustness
- **Analog modulation** → è il segnale che è analogico → modula una serie di valori digitali (bit)
  - shifts center frequency of baseband signal up to the radio carrier (i.e. FM)

CARRIER: è l'onda radio, che trasporta l'informazione detta anche SEGNALE PORTANTE

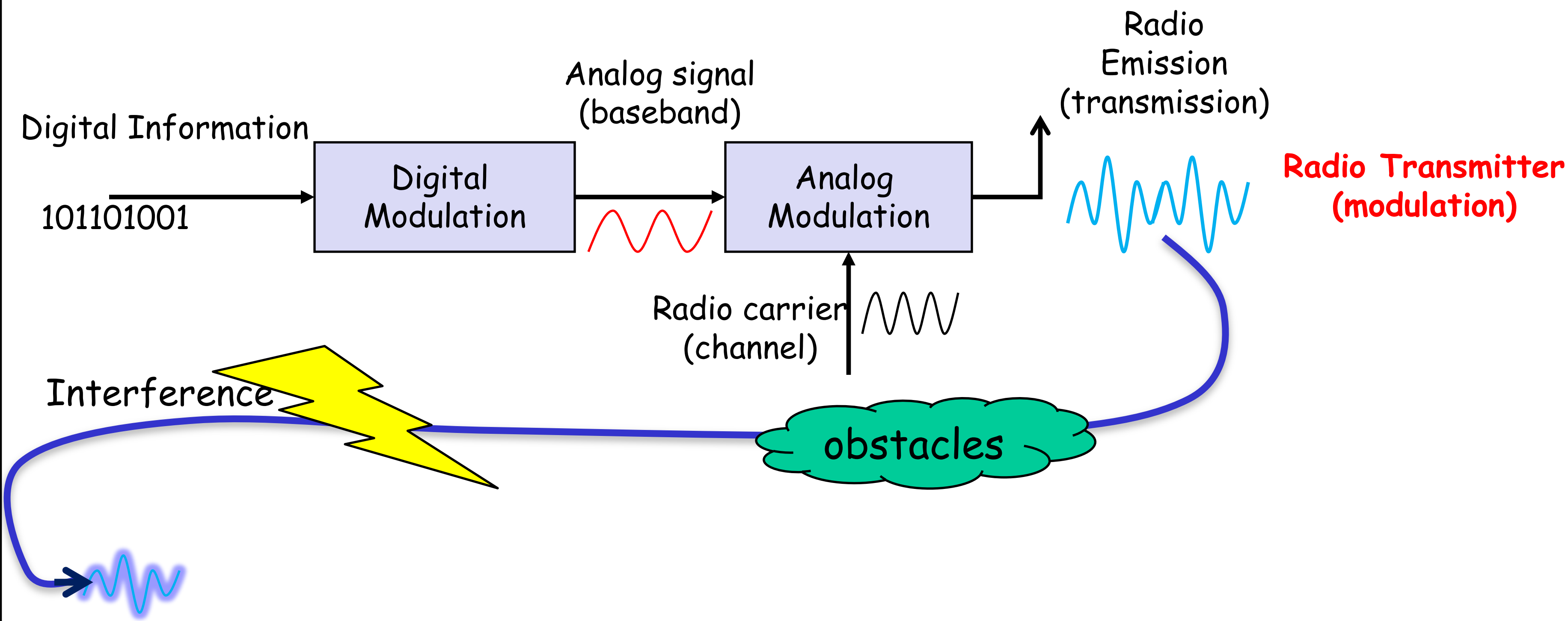
- **Motivation**
  - smaller antennas (e.g., λ/4)
  - Frequency Division Multiplexing
  - medium characteristics
- **Basic schemes**
  - Amplitude Modulation (AM) → Modulazione di Ampiezza → varia l'ampiezza di un onda
  - Frequency Modulation (FM) → Modulazione di Frequenza → varia la frequenza
  - Phase Modulation (PM)

How to transmit bits with radio waves?



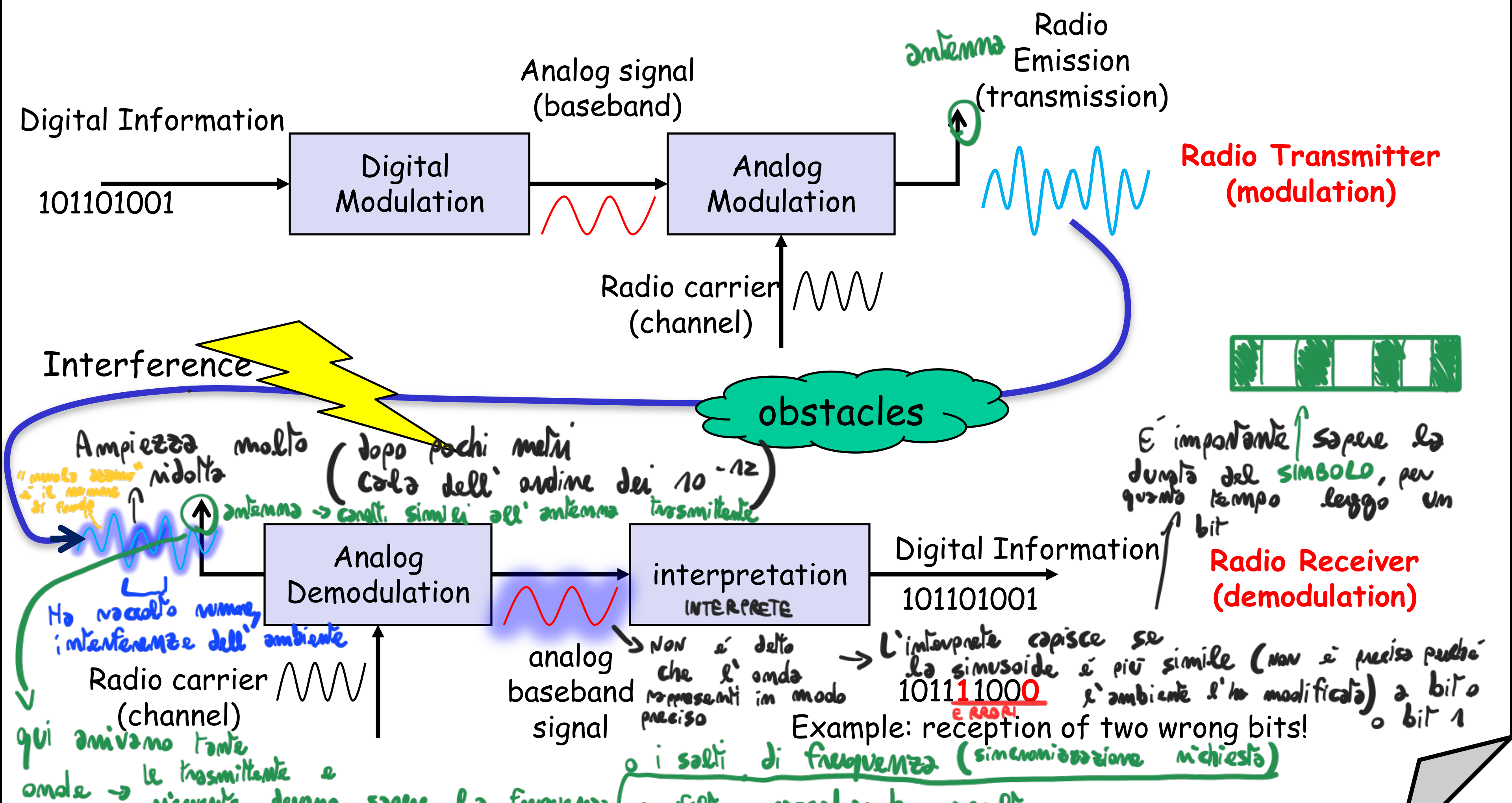
How to transmit bits with radio waves?

Digital Modulation and Demodulation



How to transmit bits with radio waves?

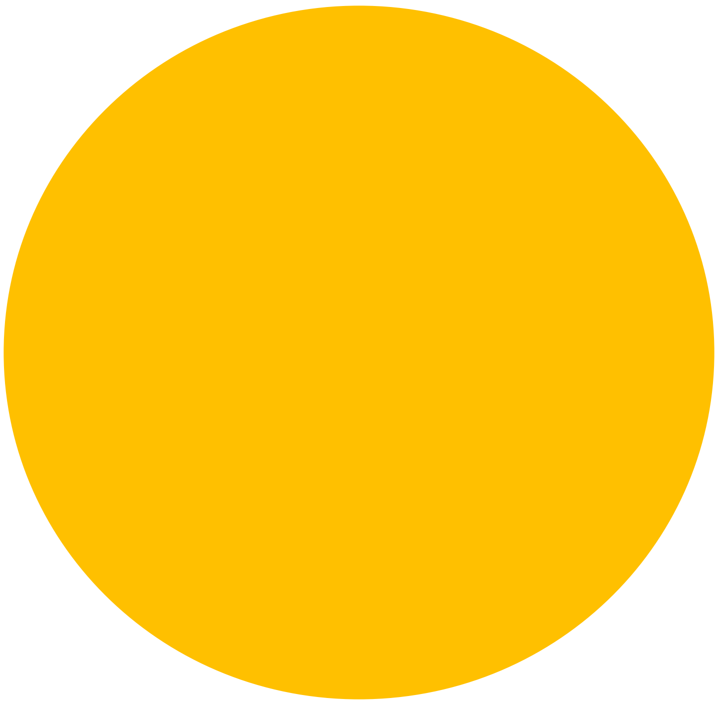
Digital Modulation and Demodulation

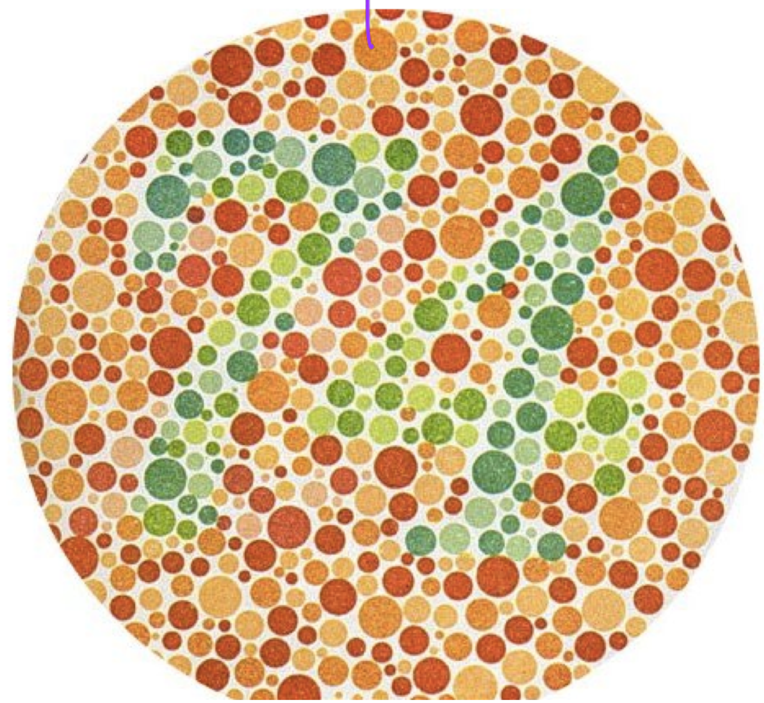


The signal to noise effect (interpretation possible?)

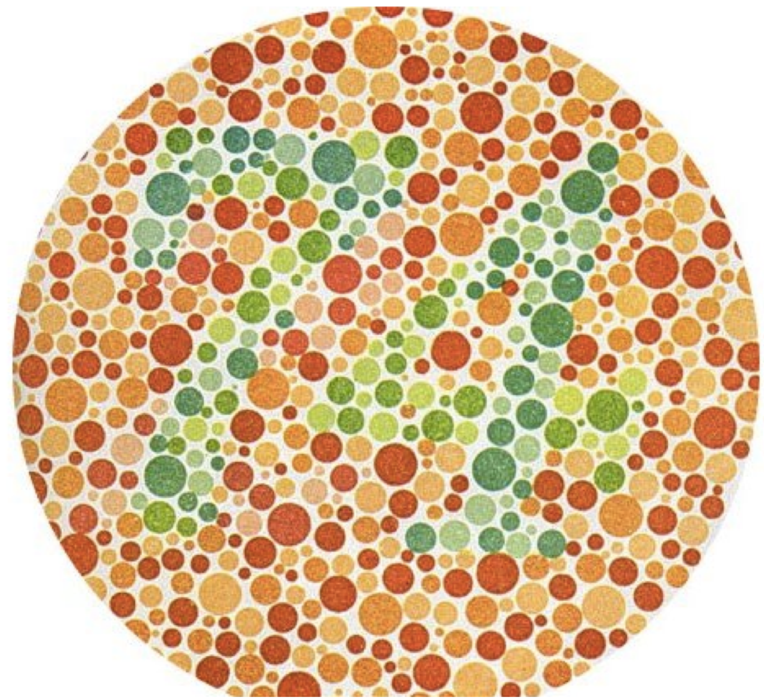
Analogia per capire la distinzione tra bit 0 e bit 1 nelle onde radio ricevute

Interpretazione per "verosomiglianza"





The signal to noise effect (interpretation possible?)



Come si crea "verosomiglianza" tra le sinusoidi che rappresentano i bit 0/1 ?

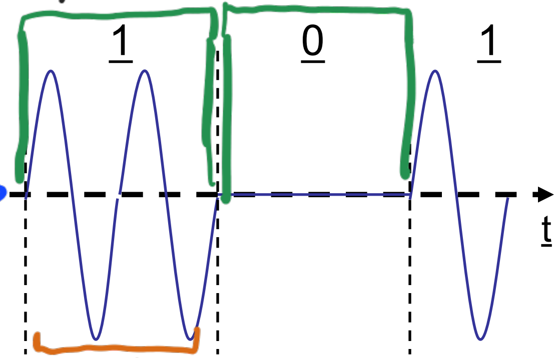
Digital Modulation Techniques

- Signal Modulation (Shift Keying) → è narrowband, usa una sola frequenza
- 1° tecnologia Amplitude Shift Keying (ASK):
  - Simple (on/off)
  - Uses few spectrum resources
  - But subject to high interference

↓ perché basta un po' di rumore per cambiare il bit 0 a bit 1

SIMBOLI

carrier in uscita dall' ANALOGIC MODULATOR →



contenuto del simbolo

CARRIER (segnale portante)

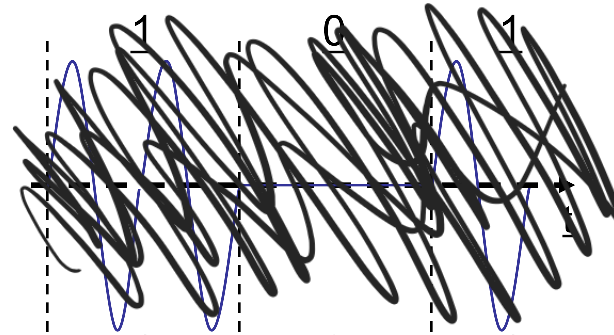
→ durata temporale di questo intervallo è un SIMBOLO (grazie al clock)

↓ determina il RITMO di GENERAZIONE dei simboli

← scelto in base alla velocità di "lettura e interpretazione" del dispositivo ricevente, ma anche al dispositivo trasmettente → limiti di tecnologia

Digital Modulation Techniques

- ~~Signal Modulation (Shift Keying)~~
- ~~Amplitude Shift Keying (ASK):~~
  - ~~Simple (on/off)~~
  - ~~Uses few spectrum resources~~
  - ~~But subject to high interference~~



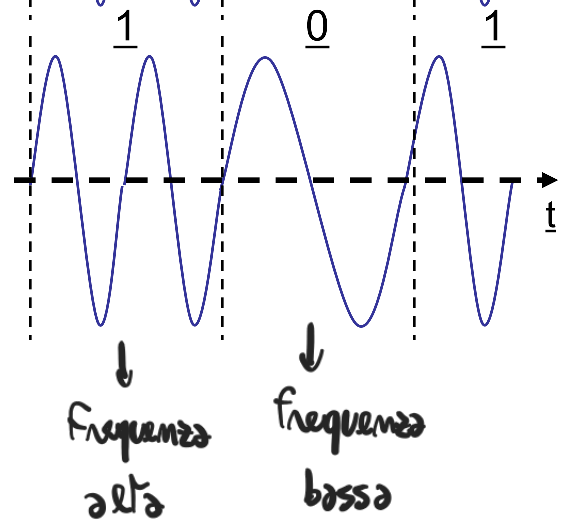
2° tecnologia:

- Frequency Shift Keying (FSK):
  - Uses more spectrum
  - "high" and "low" frequencies — non è narrow band

    → a livello di protocollo si sceglie se la frequenza alta rappresenta il bit 0 e quella bassa il bit 1 o viceversa

    (Spesso le frequenze sono in accordo con il canale)

FSK

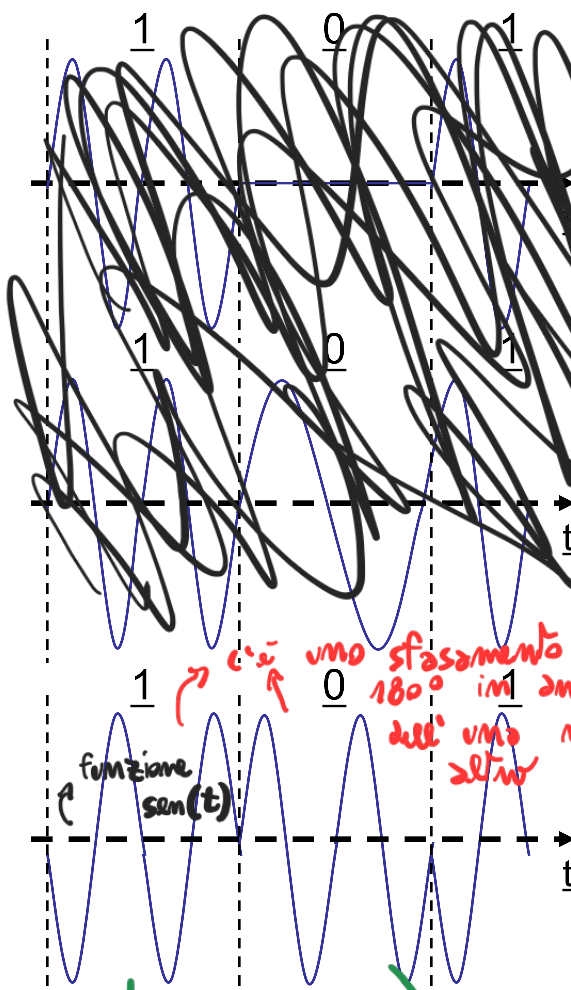


Digital Modulation Techniques

- Signal Modulation (Shift Keying)
- Amplitude Shift Keying (ASK):
  - Simple (on/off)
  - Uses few spectrum resources
  - But subject to high interference
- Frequency Shift Keying (FSK):
  - Uses more spectrum
  - “high” and “low” frequencies

3° Tecnologia

- Phase Shift Keying (PSK): → è anche questa narrowband
  - More complex to implement
  - Tecnologia più
  - More robust against interference
  - Many phase levels of signal possible



c'è uno sfasamento di 180° in anticipo / ritardo dell'uno rispetto all'altro

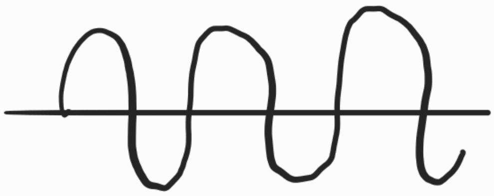
→ sfasando il segnale ottengo bit 0, 1

└ le sinusoidi sono una il contrario dell'altra

Implementare PSK potrebbe sembrare costoso a livello di circuito:

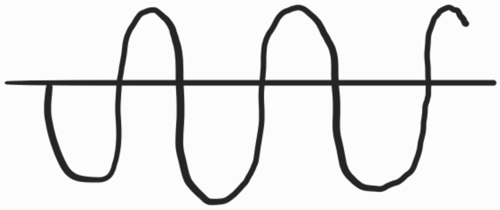
-> In realtà il limite vero è la velocità di "lettura" del dispositivo ricevente dei SIMBOLI.

sen (t)



1

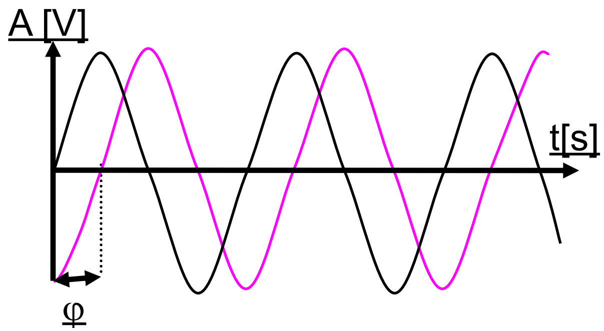
(sfasata)



0

Signal Representation

- There are different ways to graphically represent the characteristics of a radio signal:
  - (a) Amplitude Domain



Signal Representation

- There are different ways to graphically represent the characteristics of a radio signal:
  - (a) Amplitude Domain
  - (b) Frequency Domain

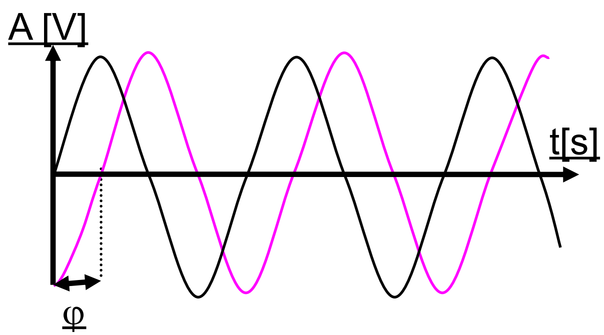
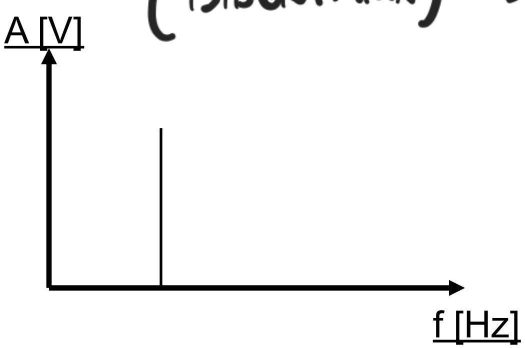
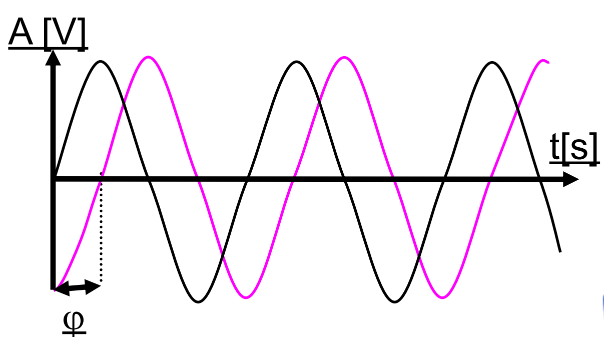


diagramma ampiezza – frequenza (ISTOGRAMMA) → è scomodo: si usa un diagramma FASE - AMPIEZZA

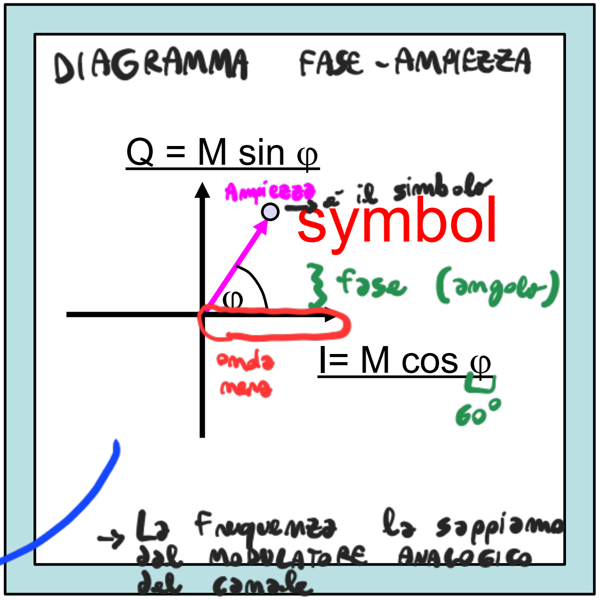


Signal Representation

- There are different ways to graphically represent the characteristics of a radio signal:
  - (a) Amplitude Domain
  - (b) Frequency Domain
  - (c) Stat diagram of phase and amplitude (amplitude M and phase φ in polar coordinates)
    - Every SYMBOL represents a possible state (phase and amplitude) of the transmitted (and received) radio frequency.



vedi disegno

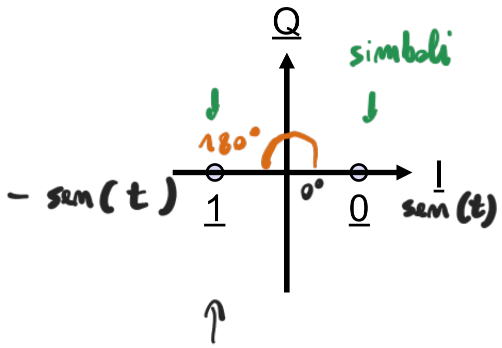


One example?

Se il canale utilizza una codifica BPSK

- **BPSK (Binary Phase Shift Keying):**
  - Every symbol represents a bit value:
    - Bit 0: transmitted signal sin(t) (in phase 0)
    - Bit 1: transmitted signal sin(t) in phase 180°
  - Simple and robust example of PSK
  - Es. Used in satellite communications
  - But has low spectral efficiency (few bits per spectrum unit)

-> bit rate = simbol rate (un bit per simbolo)

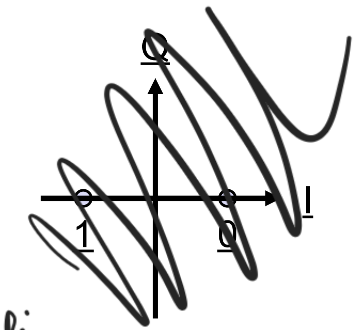


stessa frequenza -> costante
stessa ampiezza -> costante
fase opposta

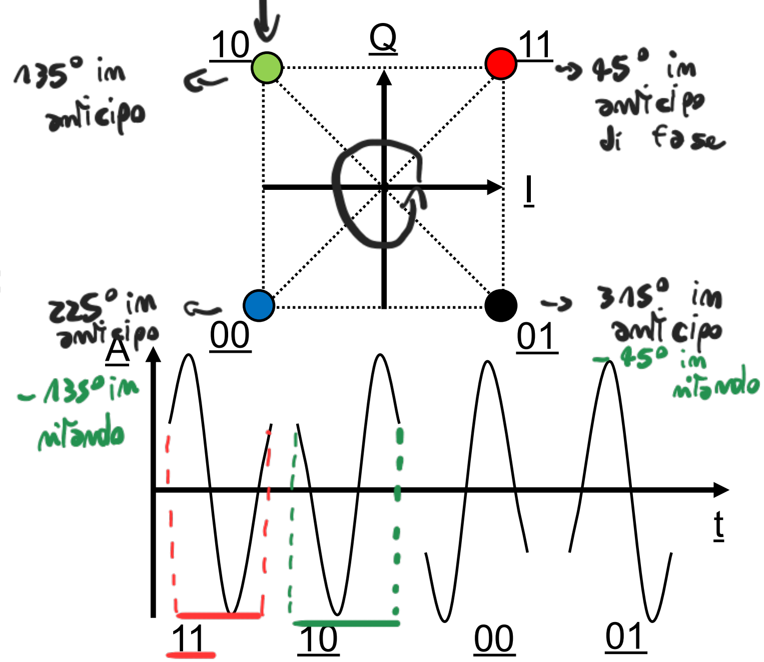
Can we do better?

One example?

- **BPSK (Binary Phase Shift Keying):**
  - **Every symbol represents a bit value:**
    - **Bit 0: transmitted signal sin(t) (in phase 0)**
    - **Bit 1: transmitted signal sin(t) in phase 180°**
  - **Simple and robust example of PSK**
  - **Es. Used in satellite communications**
  - **But has low spectral efficiency (few bits per spectrum unit)**



4 simboli



Can we do better?

- **QPSK (Quadrature Phase Shift Keying):**
  - **Every symbol represents a value on two bits:**
    - **Bit 11: transmitted signal sin(t) in phase +45°**
    - **Bit 10: transmitted signal sin(t) in phase +135°**
    - **Bit 11: transmitted signal sin(t) in phase +225°**
    - **Bit 10: transmitted signal sin(t) in phase +315°**
  - **More complex and vulnerable**
    - **How much interference is needed to realize a wrong interpretation of a symbol on the receiver?**

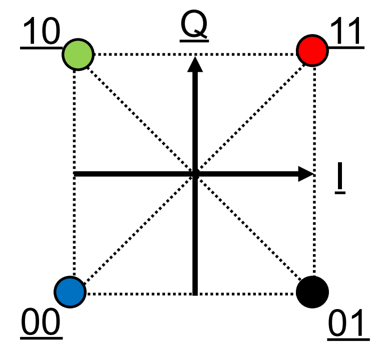
quattro simboli perché posso rappresentare due bit $2^2=4$ possibili combinaz. di simboli

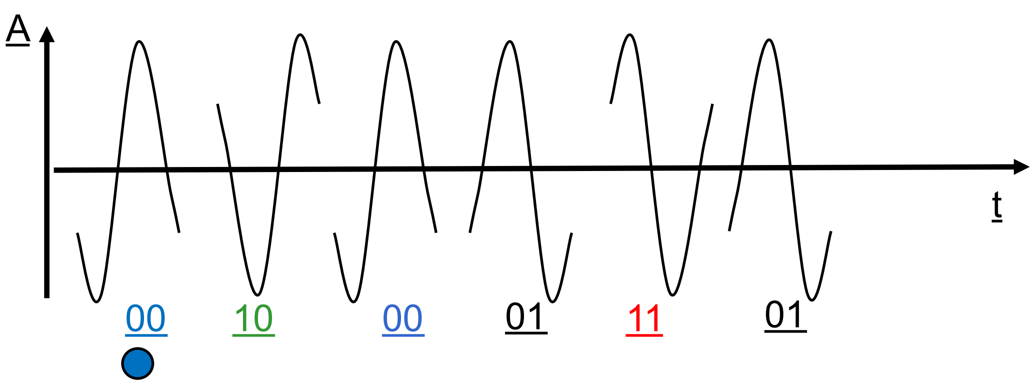
↳ Trasmetto due bit per simbolo (bit rate)

↳ ogni simbolo "contiene" due bit

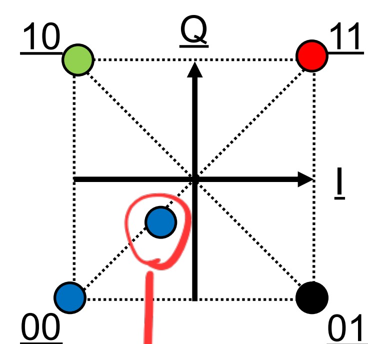
Imagine a target shooting…

- es. How do I "launch" in transmission these bits?
- 001000011101… = 00 10 00 01 11 01….
- Emitting a wave assuming in sequence the characteristics of the symbols associated to pairs in the bit sequence:





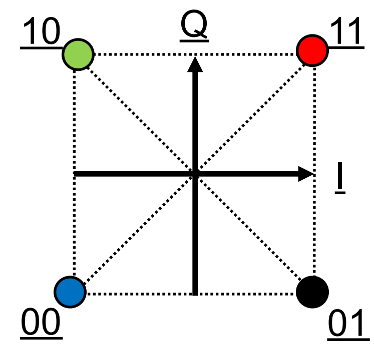
- …the receiver tries to understand the symbols
- Despite the symbols falls out of the target it would be possible to interpret them as the "nearest" target

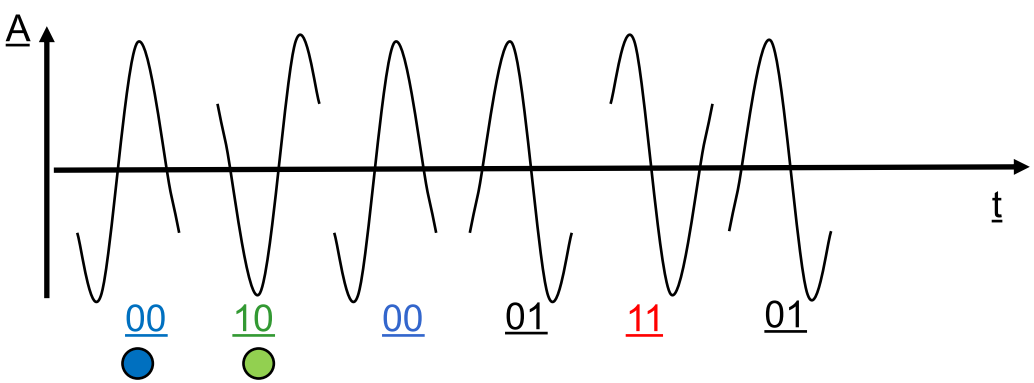


la sinusoide che trasportava questa informazione assomiglia al blu → 00

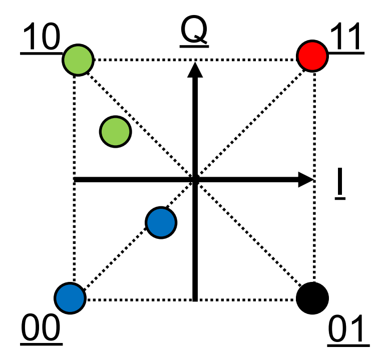
Imagine a target shooting…

- es. How do I “launch” in transmission these bits?
- 001000011101… = 00 10 00 01 11 01….
- Emitting a wave assuming in sequence the characteristics of the symbols associated to pairs in the bit sequence:



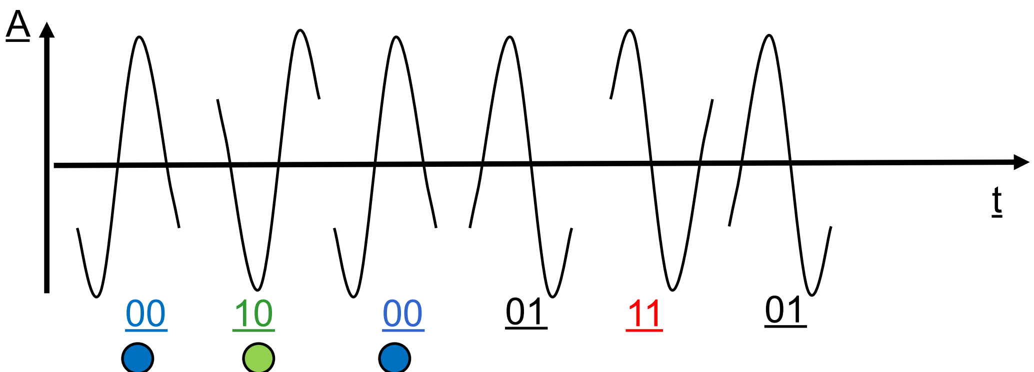


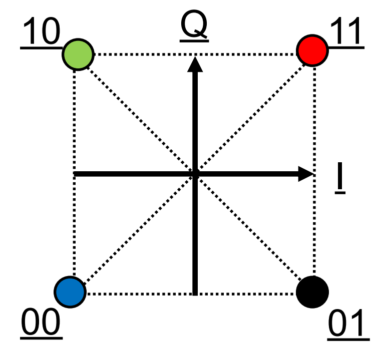
- …the receiver tries to understand the symbols
- Despite the symbols falls out of the target it would be possible to interpret them as the “nearest” target



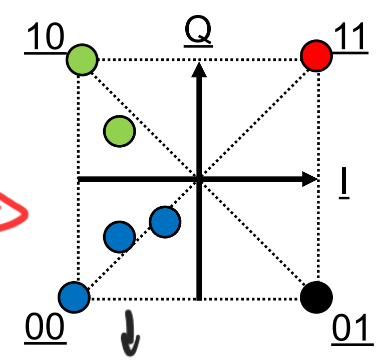
Imagine a target shooting…

- es. How do I "launch" in transmission these bits?
- 001000011101… = 00 10 00 01 11 01….
- Emitting a wave assuming in sequence the characteristics of the symbols associated to pairs in the bit sequence:





- …the receiver tries to understand the symbols
- Despite the symbols falls out of the target it would be possible to interpret them as the "nearest" target

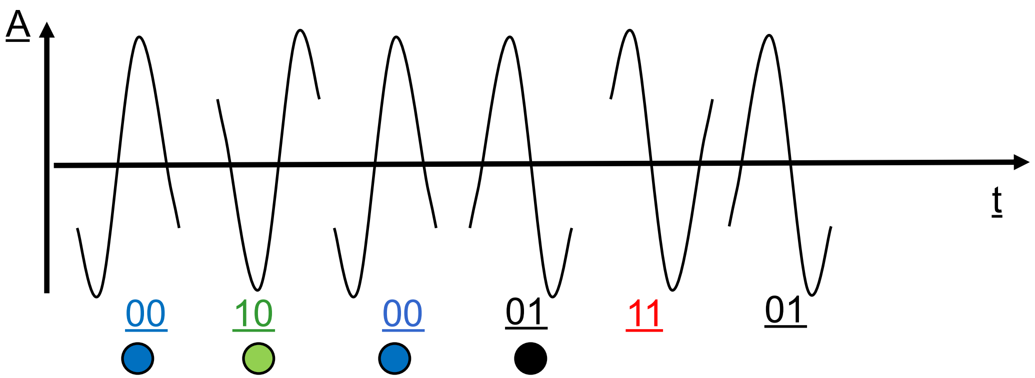


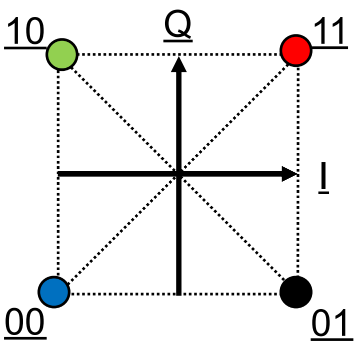
speriamo che l'interferenza NON "allontani" troppo il simbolo dal valore che effettivamente trasportava

cioè che la deviazione di fase NON sia troppo elevata

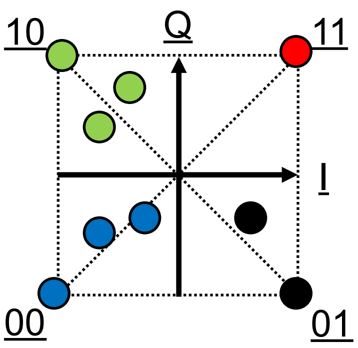
Imagine a target shooting…

- es. How do I “launch” in transmission these bits?
- 001000011101… = 00 10 00 01 11 01….
- Emitting a wave assuming in sequence the characteristics of the symbols associated to pairs in the bit sequence:



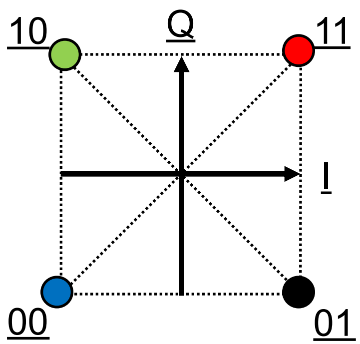


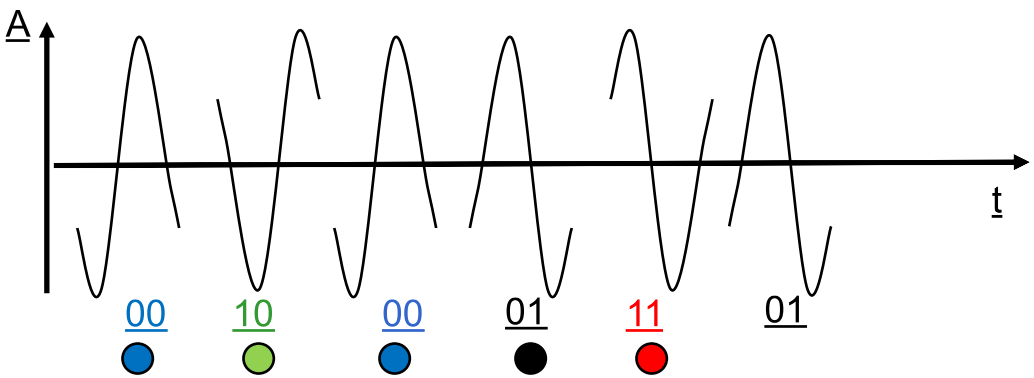
- …the receiver tries to understand the symbols
- Despite the symbols falls out of the target it would be possible to interpret them as the “nearest” target



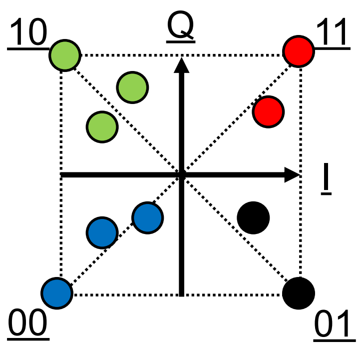
Imagine a target shooting…

- **es. How do I "launch" in transmission these bits?**
- **001000011101… = 00 10 00 01 11 01….**
- **Emitting a wave assuming in sequence the characteristics of the symbols associated to pairs in the bit sequence:**



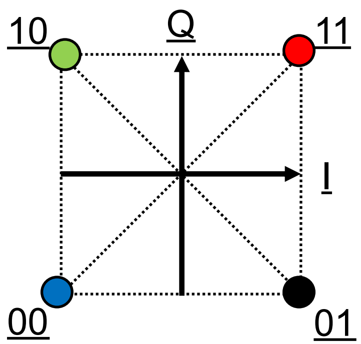


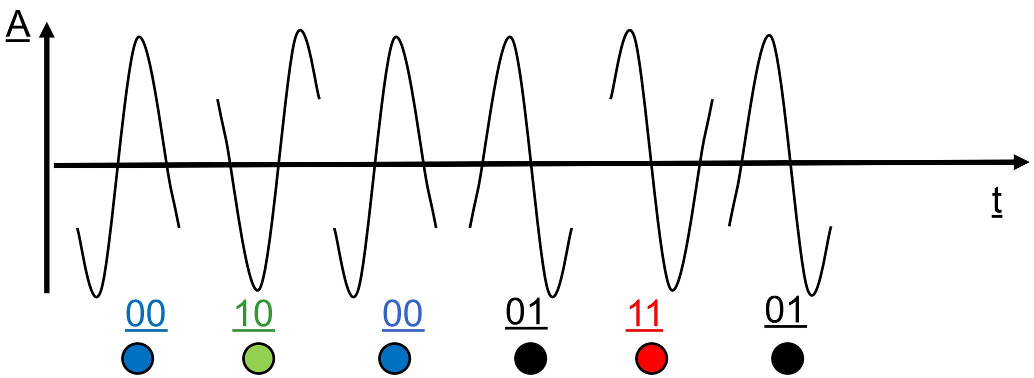
- **…the receiver tries to understand the symbols**
- **Despite the symbols falls out of the target it would be possible to interpret them as the "nearest" target**



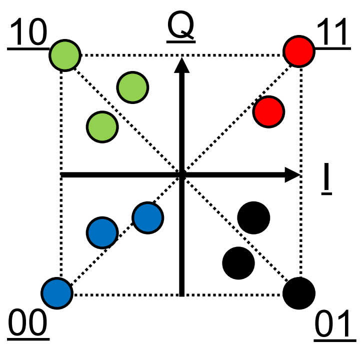
Imagine a target shooting…

- es. How do I "launch" in transmission these bits?
- 001000011101… = 00 10 00 01 11 01….
- Emitting a wave assuming in sequence the characteristics of the symbols associated to pairs in the bit sequence:



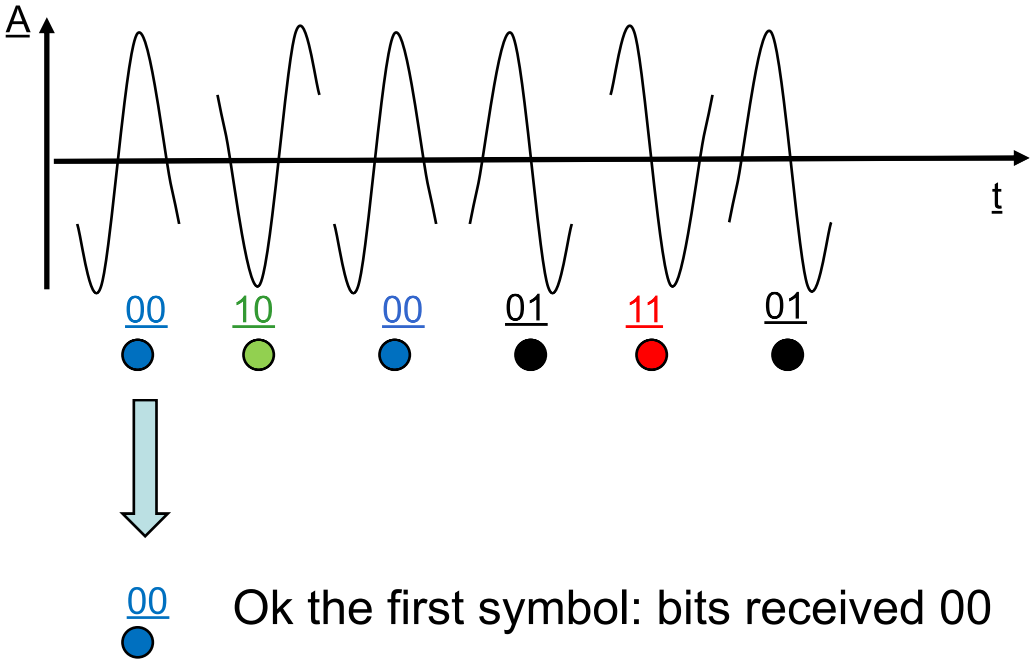


- …the receiver tries to understand the symbols
- Despite the symbols falls out of the target it would be possible to interpret them as the "nearest" target

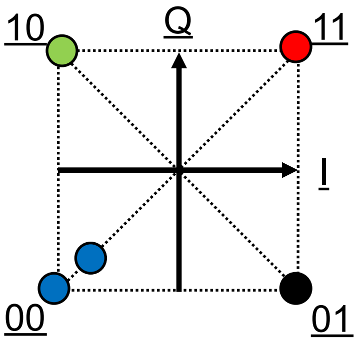


Imagine a target shooting…

- Q: Who can say when errors are possible?
- Let's see one example step by step

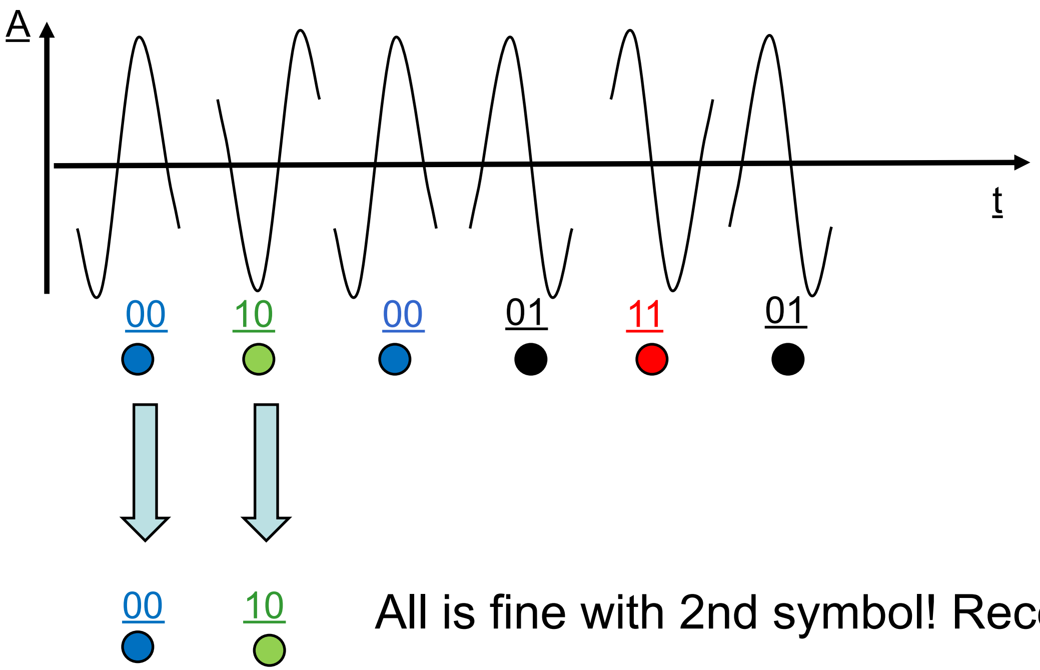


Ok the first symbol: bits received 00

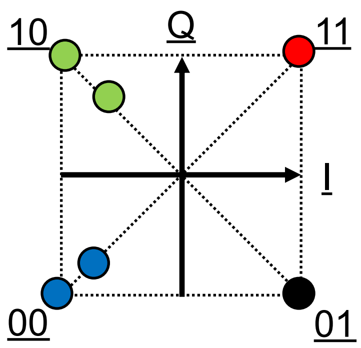


Imagine a target shooting…

- Q: Who can say when errors are possible?
- Let's see one example step by step

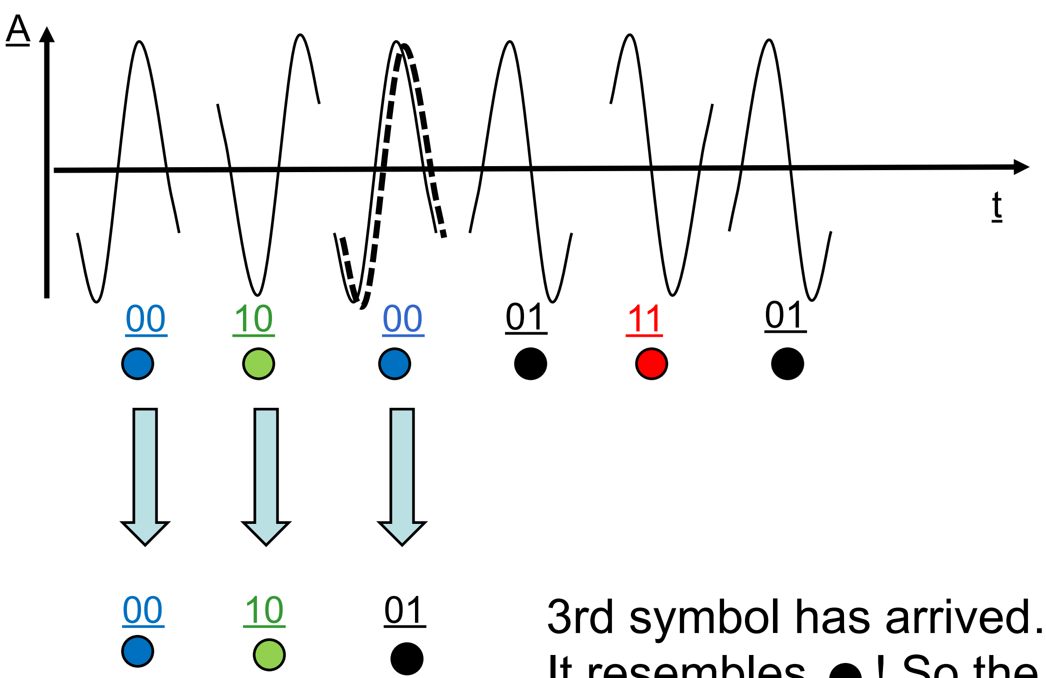


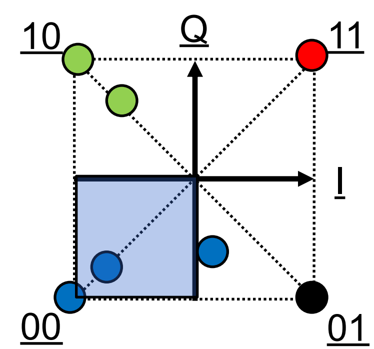
All is fine with 2nd symbol! Received bits 00 10



Imagine a target shooting…

- Q: Who can say when errors are possible?
- **A: when the changes of phase and amplitude are so high that the limits of the target are exceeded, that is, the area of the target is not hit.**

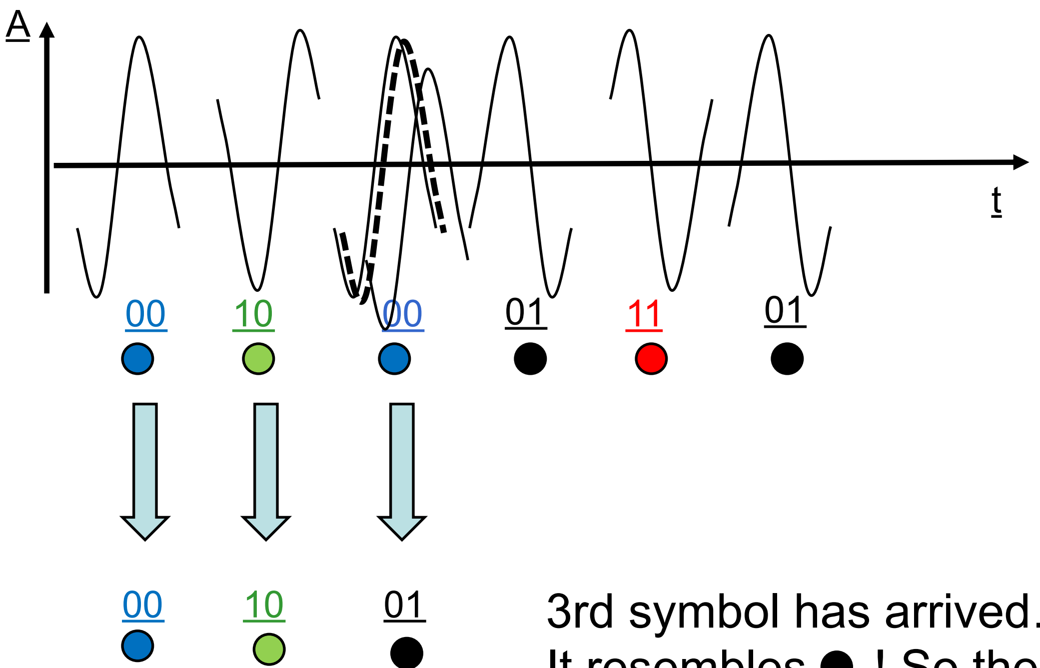


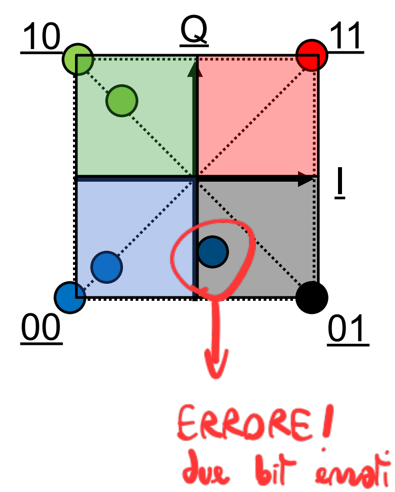


3rd symbol has arrived…
It resembles ● ! So the received bits are 00 10 01: **Error!**

Imagine a target shooting…

- Q: Who can say when errors are possible?
- **A: when the changes of phase and amplitude are so high that the limits of the target are exceeded, that is, the area of the target is not hit.**





3rd symbol has arrived…
It resembles ● ! So the received bits are 00 10 01: **Error!**

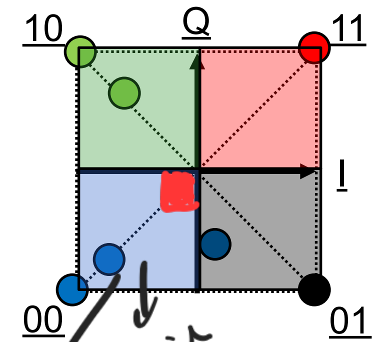
The area of the target…

- **Useful observation:** when the area of the target is small, a small error is sufficient to cause some wrong bits!

- **How could we change this fact in positive?**

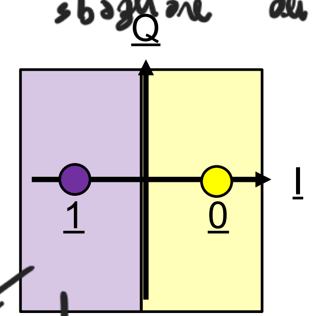
→ utile se ho poco rumore →

- **1) when the channel is noisy, we can use a BPSK with just 2 symbols (distance 180°) , i.e. we increase the target area!**
  - **advantage: all the bits sent are correct despite the noise**
  - **disadvantage: we get half of the nominal bitate (1 bit per symbol)**
  - **00 10 00 01 11 01… = 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1**



però trasmette due bit

resiste a 45° di sfasamento dovuto al rumore per sbagliare dei bit



trasmette un bit solo

resiste a 90° di sfasamento dovuto al rumore

- **2) when the channel is good (low noise, a majority of bits received correctly) we can "push on the encoding accelerator" by increasing the nominal bitrate of the channel.** → CAMBIO LA CODIFICA

⇒ Uso la matrice di parità per trovare gli errori se il canale non è soggetto a troppi errori → se no devo ritrasmettere troppi pacchetti

I CONTROLLI SUL BIT RATE necessari per capire quale codifica adoperare

→ se ho troppo rumore, avrò troppi errori e devo "andare più piano"
- Uso BPSK

→ Altrimenti NON avrò molti errori, poco rumore e posso "andare più veloce"
- Uso QPSK

(... fai schemetto ↑ bit rate ↓ ecc... con le altre codifiche con bit rate più alto)

Bits and symbols associations

- **Second observation:** it is highly probable that a noisy channel would cause a symbol to be wrong **but misplaced with the adjacent ones (near to the border).**
- **How to exploit this assumption?**
- **1) we can decide to use a more "intelligent" labelling of the symbols.**
- **Example: what happens if the same symbol is wrong in case A and B?** → sbaglio 2 bit, non è detto che ne sbaglio solo 1
- **Case A: sent 00** ⟹ **received 01: 1 bit error!**
- **Case B: sent 00** ⟹ **received 11: 2 bit errors!**

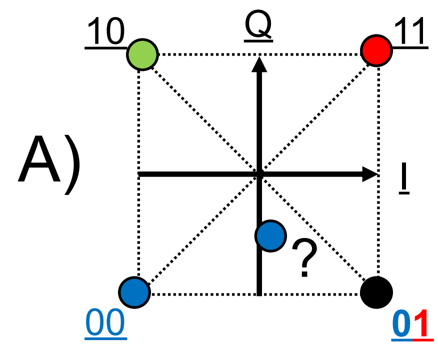
N.B. given the same channel noise errors are doubled!!!

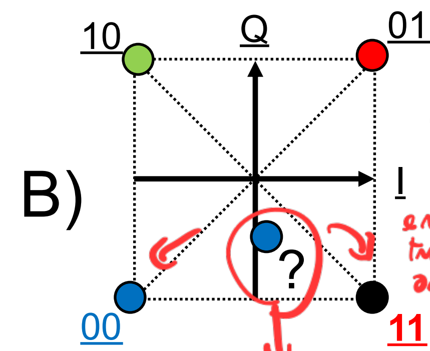
- **So, not all the same labelling associations of bits with symbols are equivalent…**

⇒ Se riusciamo a mappare la distanza di Hamming fra coppie di bit adiacenti sia al massimo 1

- **The best labelling are those where the number of different bits between adjacent symbols is minimum. So we must find those labelling and use them!**

↓ individuo gli errori perché è molto probabile avere solo un bit errato





di solito ↓ errore è tra quelli adiacenti

è probabile che lo sfasamento dovuto al rumore l'errore sia in quelli adiacenti

Detecting wrong bits

- **Third useful observation:** why it is important that max 1 bit is wrong?
- Because we invented a nice algorithm to reveal the wrong bits: **Parity bits.**
- *"given a sequence of bits to transmit, we add a final bit which will make even the number of 1s"*
- **Example. 10010101 0 (4 bits have value one, and 4 is already even)**

⇒ BIT DI PARITÀ: individua 1 bit errato ma NON sa qual'è

bit di parità: aggiunto per rendere il numero di 1 pari (contandolo)

Sender

10010101 0

Receiver

10010101 0

Note: whatever different bit would make the number of ones odd:
This allows to detect the existence of a wrong bit!

Con 1 bit sbagliato me ne accorgo, con 2 no! NON è individuabile l'errore

→ Q: what if 2 bits are wrong?

Detect and correct wrong bits

- **Third useful observation:** why it is important that max 1 bit is wrong?
- Because we invented a nice algorithm to reveal the wrong bits, and in case the wrong bit is just one, also to correct it! : **Parity bits matrix.**
- *"Given a sequence of bits to be transmitted we organize the bits in a matrix structure MxN and we put a parity bit after each row (M bits) and column (N bits)."*

=> Uso la matrice di bit di parità → posso INDIVIDUARE e anche CORREGGERE

• bit di parità aggiunti su una riga e una colonna per trovare e per correggere almeno un bit errato (a seconda della disposiz. degli errori potrei beccare bit errati su righe/colonne diverse fino a loro)

Sender				
1	0	0	1	0
0	1	1	0	0
0	0	0	1	1
1	1	0	1	1
0	0	1	1	

Receiver					
1	0	0	1	0	
0	0	1	0	0	!
0	0	0	1	1	
1	1	0	1	1	
0	0	1	1		
	!				

Like in a battleship game, if we detect a row and a column with errors we identify the wrong bit!
Then we can also correct it!

occhio però che anche i bit stessi di parità sono soggetti ad errori

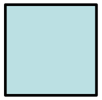
Q: what if the wrong bits are 2?

→ dipende dalla posizione dell'errore
- in alcuni casi fortunati è individuabile
in altri NO

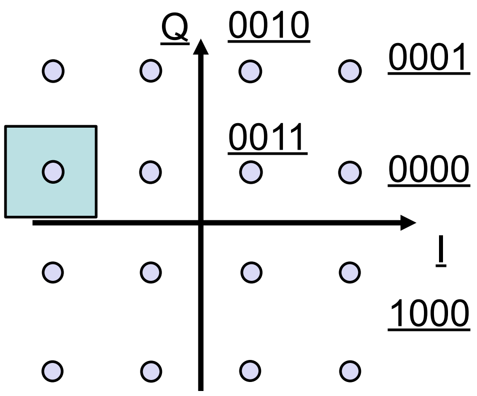
Altro tipo di codifica:

Quadrature Amplitude Modulation

- **Fourth observation:** what if the channel is even better quality?
- **We can push the encoding even more!**
- **Quadrature Amplitude Modulation (QAM):** it combines modulation of both amplitude and phase of the signal for each transmitted symbol.
- 2^n defined symbols: every symbol identifies by itself a combinatin of n bits!
- …however, be careful, since the area of the target always reduces when n grows!

Area of the target (see figure) 

Example in figure: **16-QAM (16 symbols, 1 symbol = 4 bit)**



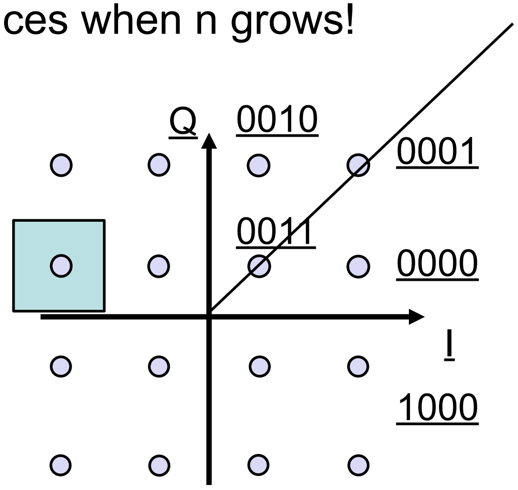
Quadrature Amplitude Modulation

- **Fourth observation:** what if the channel is even better quality?
- **We can push the encoding even more!**
- **Quadrature Amplitude Modulation (QAM):** it combines modulation of both amplitude and phase of the signal for each transmitted symbol.
- 2^n defined symbols: every symbol identifies by itself a combinatin of n bits!
- …however, be careful, since the area of the target always reduces when n grows!

  Area of the target (see figure)

  Example in figure: **16-QAM (16 symbols, 1 symbol = 4 bit)**

- Note. the symbols 0011 and 0001 have same phase but different amplitude

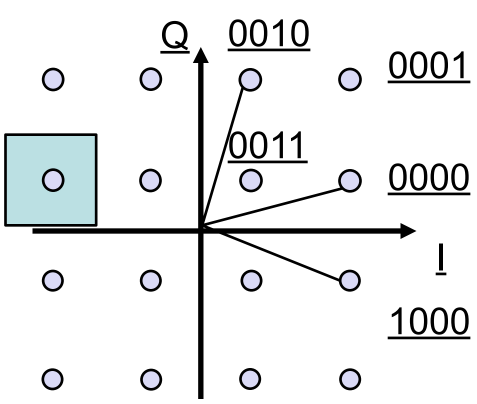


Quadrature Amplitude Modulation

- **Fourth observation:** what if the channel is even better quality?
- **We can push the encoding even more!**
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM): it combines modulation of both amplitude and phase of the signal for each transmitted symbol.
- 2^n defined symbols: every symbol identifies by itself a combinatin of n bits!
- …however, be careful, since the area of the target always reduces when n grows!

Area of the target (see figure)

Example in figure: **16-QAM (16 symbols, 1 symbol = 4 bit)**



- Note. the symbols 0011 and 0001 have same phase but different amplitude
- This enconding was used in the early 9600 bit/s modems, and also in Digital TV, in Wi-max (multicarrier OFDM)…etc.

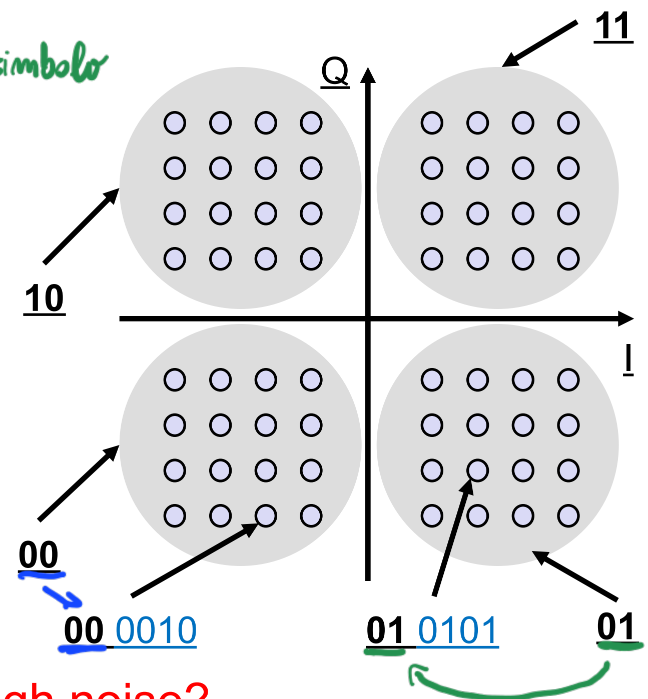
- Let's have a look at a simulation of the modulation (with variable channel errors): file:///Users/Luciano/Desktop/Didattica/Mambo_20140315/QAM16_demo/QAM16.html

Codifica gerarchica

Hierarchical Modulation

- **Fifth observation:** let's introduce a new magic thing!
- Q1: with the QAM encoding could I modulate two different sequences of bits?
- Q2: and could I give them different priority in transmission (protection from errors)?
- Example: **64-QAM with Hierarchical Modulation**
- Each symbol encodes 6 bits! → 6 bit per ogni simbolo
  - Each "gray cloud" contains 16 symbols
    - Used to encode the bit sequence with LOW priority
    - …as an example: the video info of a video-call
  - Each "gray cloud" is labelled with the value of a combination of 2 bits
    - Used to encode the bit sequence with HIGH priority
    - …as an example: the voice info of a video-call

    vantaggio: è difficile che il rumore comprometta la "gray cloud" (chiamalo raggruppamento)
  - Q: what happens when channel has low noise?
  - Q: what happens when channel starts having high noise?

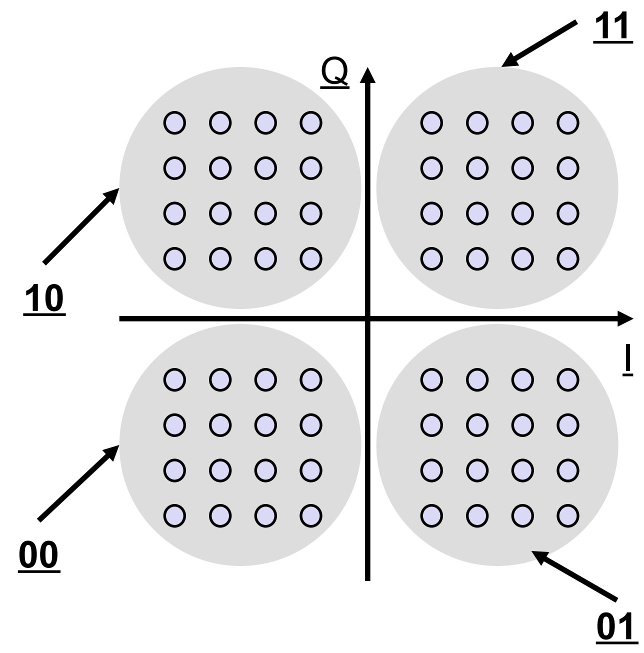


Esempio:

The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…

} 2 flussi di bit sincronizzati



The mobile Video-call

– Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit (which will be merged into a unique sequence as follows)

– Voice: 10 01 11 00…

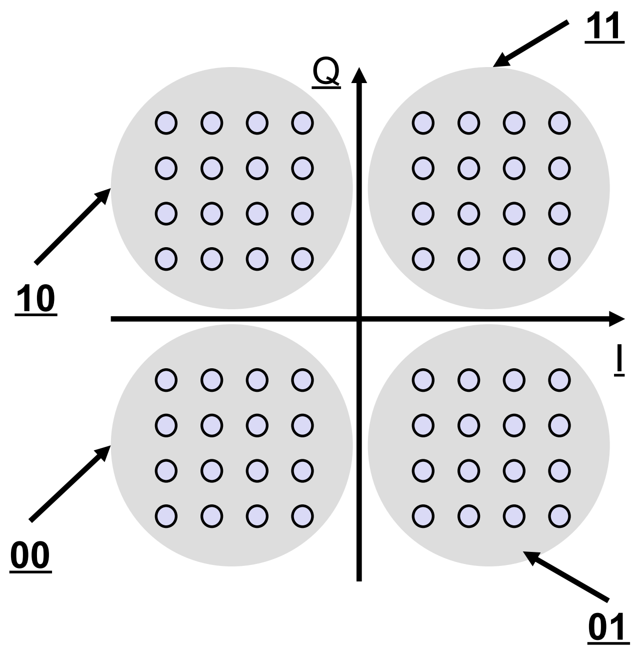
– Video: 0010 1001 1100 0101…

– 100010

"pacchetti" di 6 bit

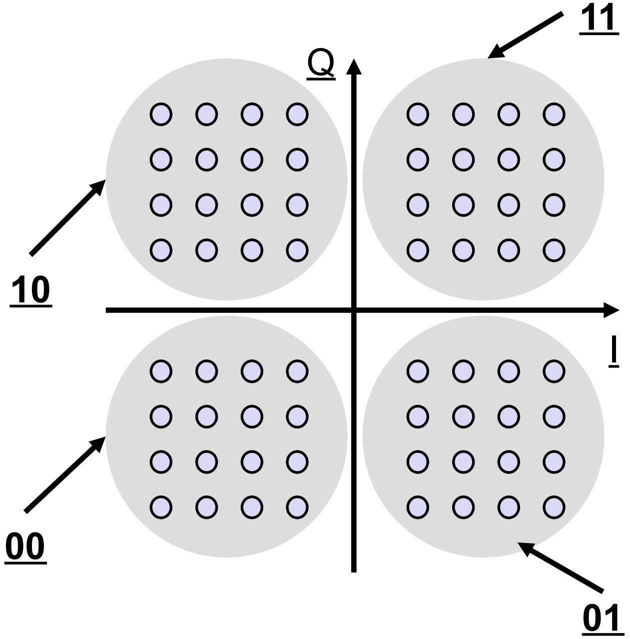
ciascuno che rappresentano

la trasmissione



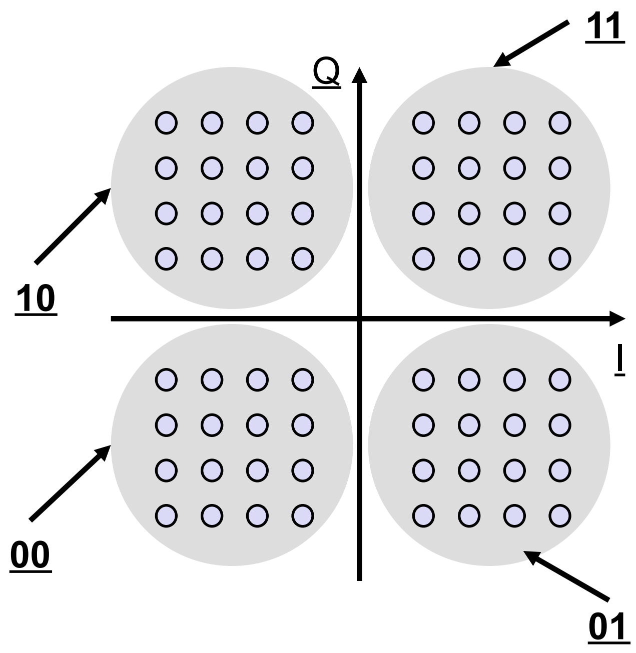
The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit (which will be merged into a unique sequence as follows)
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- 100010 011001 → codifico a 64-QAM



The mobile Video-call

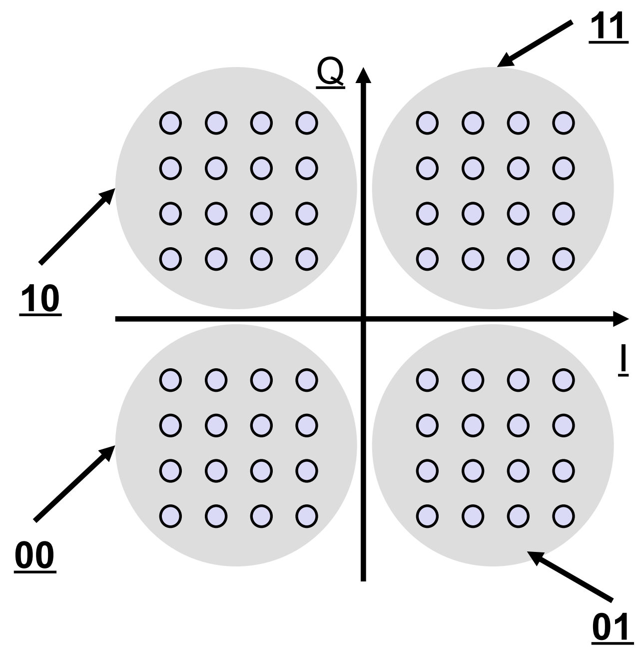
- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit (which will be merged into a unique sequence as follows)
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- 100010 011001 111100



The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit (which will be merged into a unique sequence as follows):
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- 100010 011001 111100 000101

→ 4 onde radio modulate
su 4 simboli:

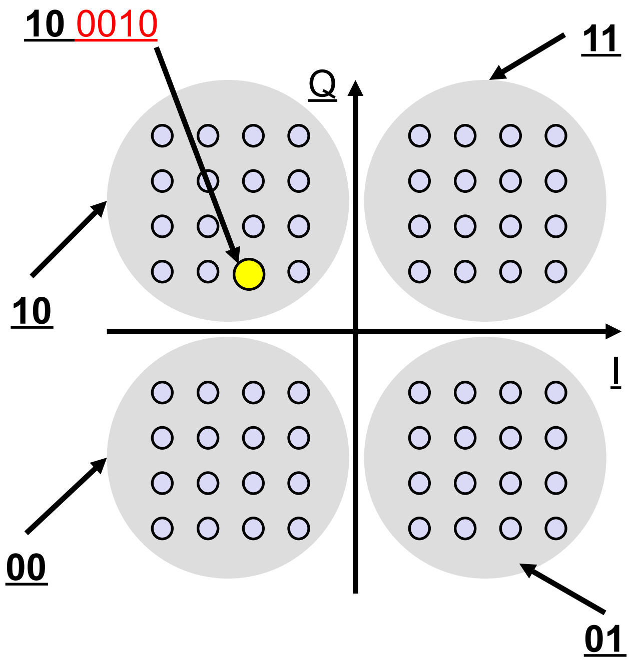


The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged in the following unique sequence:
- 100010 011001 111100 000101

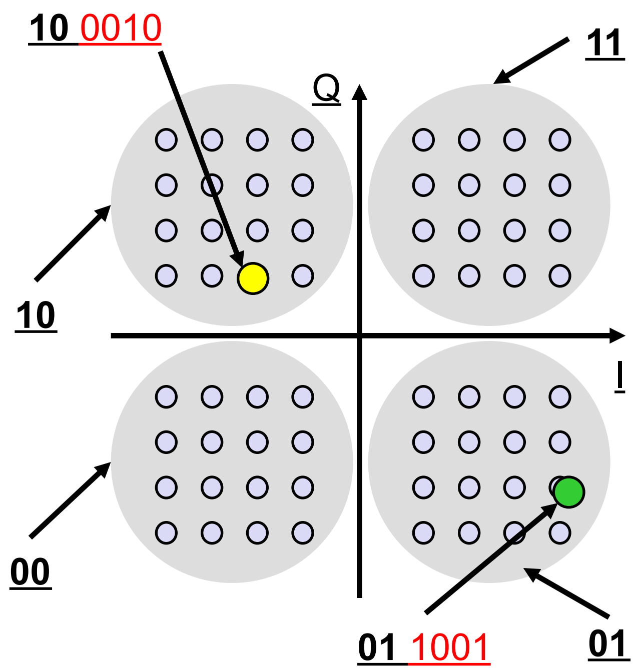
Q: what happens if the channel has low noise?

- All the symbols are hit correctly with high probability! ●



The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged in the following unique sequence:
- 100010 011001 111100 000101



Q: what happens if the channel has low noise?

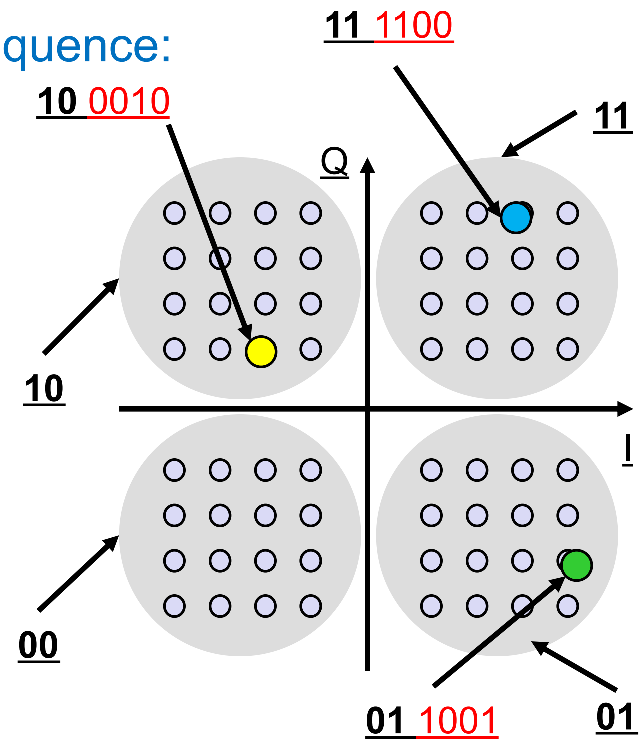
- All the symbols are hit correctly with high probability!

The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged in the following unique sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: what happens if the channel has low noise?

- All the symbols are hit correctly with high probability!

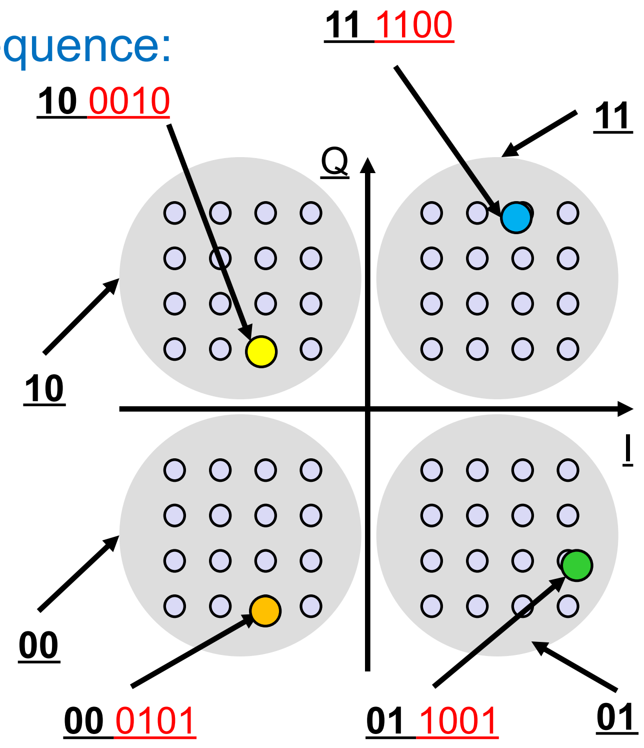


The mobile Video-call

- Ex. Let's assume a video-call generates these sequences of bits to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged in the following unique sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: what happens if the channel has low noise?

- All the symbols are hit correctly with high probability!

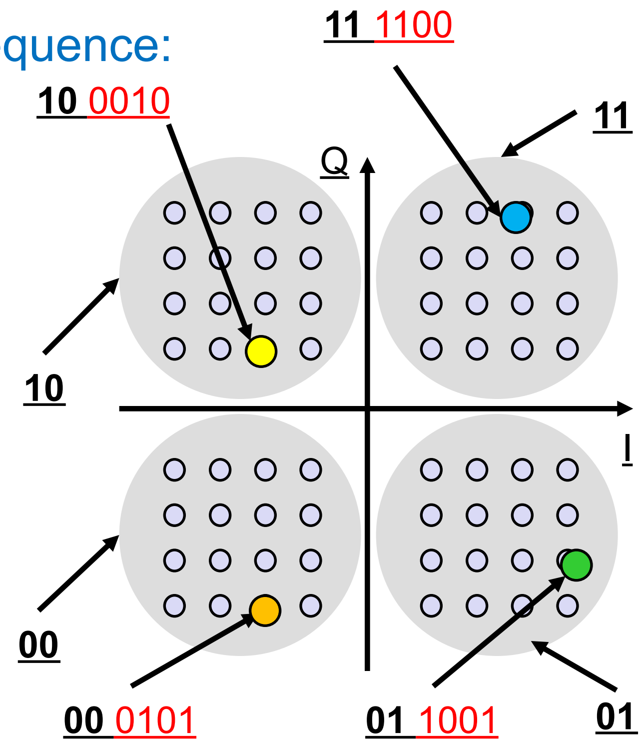


The mobile Video-call

- Ex. Let‘s assume a video-call generates these sequences of bits to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged in the following unique sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: what happens if the channel has low noise?

- All the symbols are hit correctly with high probability!
- ...so the receiver can correctly interprete both voice and video

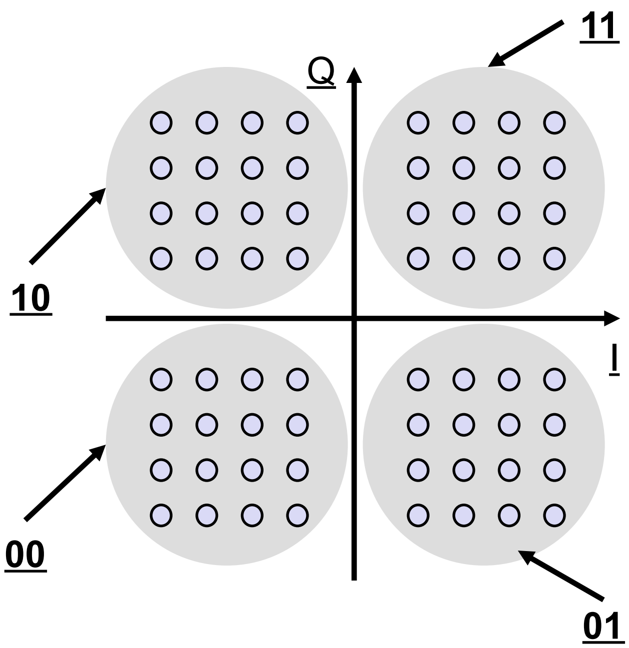


Supercalifragilisti cexpialidocious!!!!

The mobile Video-call

- Ex. Let's assume the call generates the following bit sequence to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged as the following sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: **what if the channel has a high noise?**

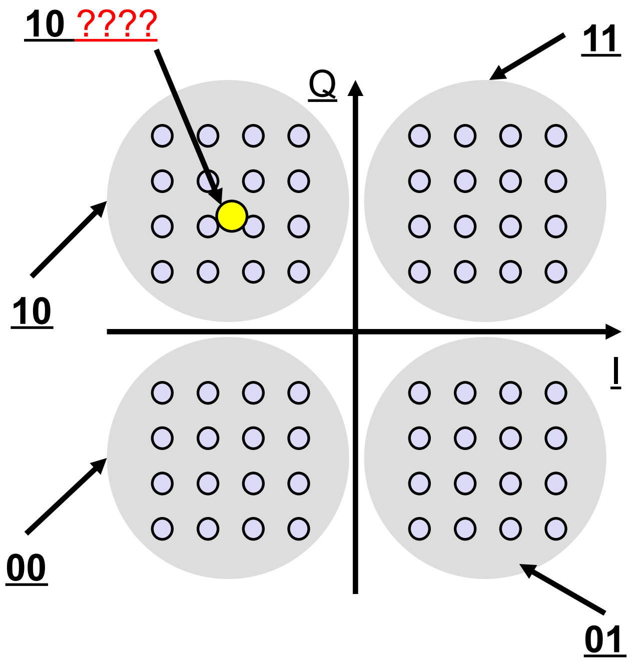


The mobile Video-call

- Ex. Let's assume the call generates the following bit sequence to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged as the following sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: **what if the channel has a high noise?**

- Many symbols are NOT hit correctly with high probability! ?



The mobile Video-call

- Ex. Let's assume the call generates the following bit sequence to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged as the following sequence:
- | 100010 | 011001 | 111100 | 000101 |

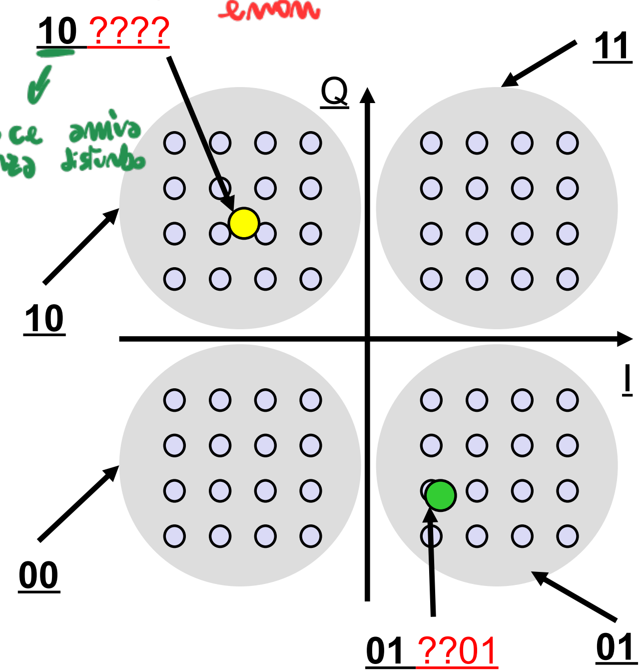
Q: what if the channel has a high noise?

- Many symbols are NOT hit correctly with high probability! ? ?

questi bit no, è veramente improbabile

questi bit possono avere molti errori

la voce arriva senza disturbo

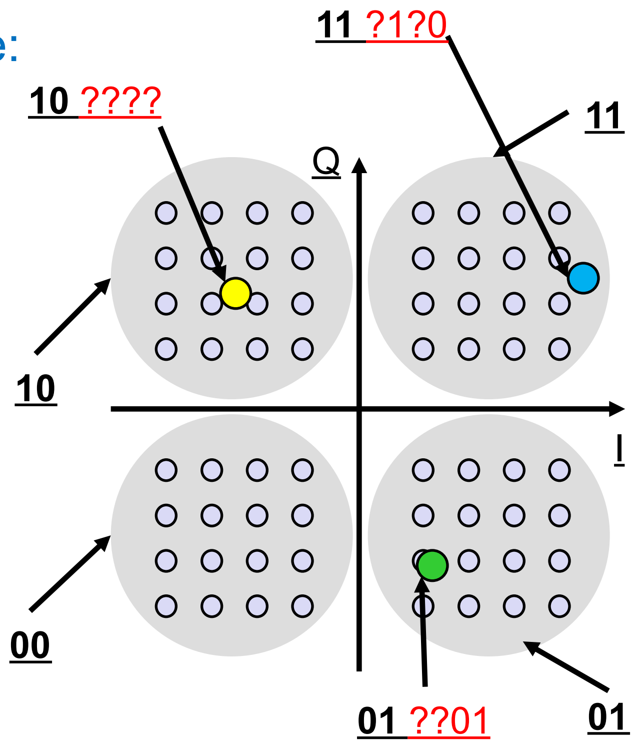


The mobile Video-call

- Ex. Let‘s assume the call generates the following bit sequence to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged as the following sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: what if the channel has a high noise?

- Many symbols are NOT hit correctly with high probability! ? ? ?

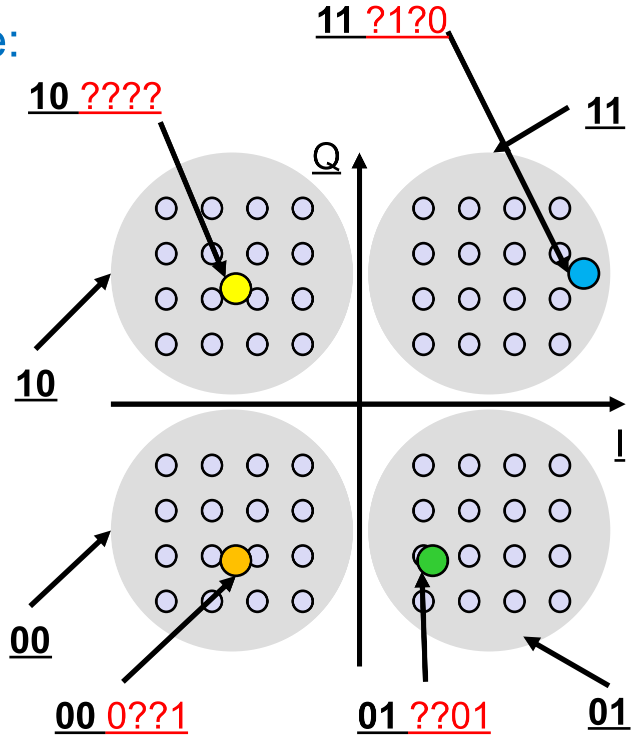


The mobile Video-call

- Ex. Let's assume the call generates the following bit sequence to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged as the following sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: what if the channel has a high noise?

- Many symbols are NOT hit correctly with high probability! ? ? ? ?
  BUT the right CLOUD is always hit correctly!

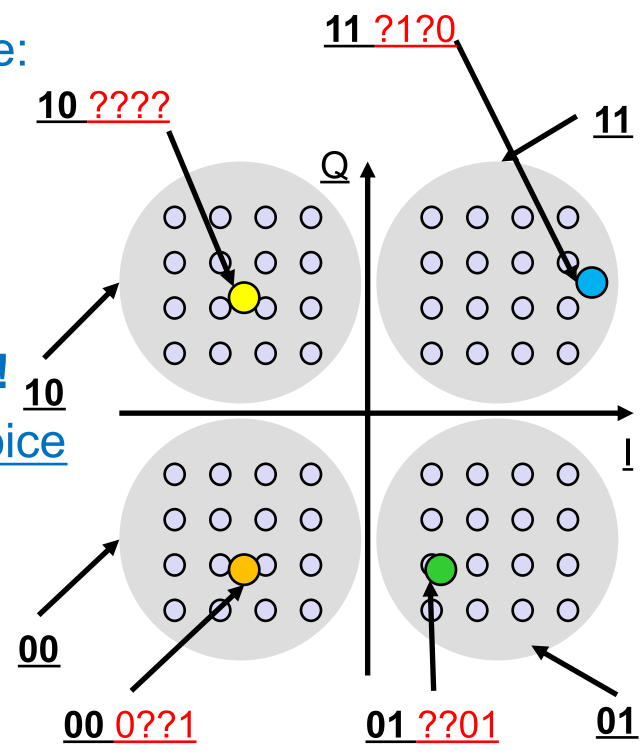


The mobile Video-call

- Ex. Let's assume the call generates the following bit sequence to transmit:
- Voice: 10 01 11 00…
- Video: 0010 1001 1100 0101…
- Which will be merged as the following sequence:
- 100010 011001 111100 000101

Q: what if the channel has a high noise?

- Many symbols are NOT hit correctly with high probability! ? ? ? ?
  BUT the right CLOUD is always hit correctly!
- <u>So the receiver is able to correctly detect the voice by sacrifying the video quality!</u>



Supercalifragilisticexpialidocious!!!!

Conclusion

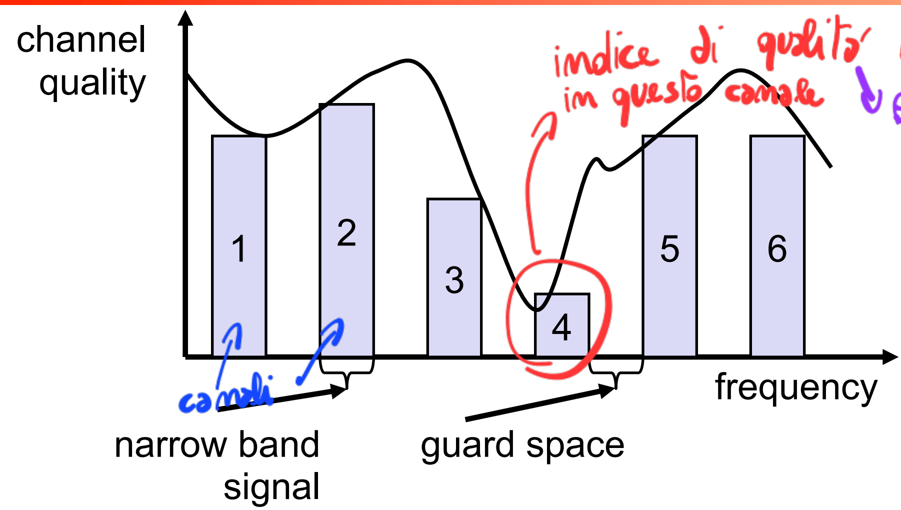
Where is the difference between the Good and the Bad in the wireless transmissions, given the same physical conditions?

NON è l' hardware → è il software che fa la differenza
↓
scelte algoritmiche

"It is mostly in the the choices about efficient and effective protocol components, data structures and algorithms and HW advances, used in a way based on correct assumptions and by exploiting in the most practical and "intelligent" way the opportunities to turn a drawback or limits into a practical advantage or synergy".

Previous examples clarify the active and relevant role of protocols to achieve a transmission potential in a harsh world.

Spreading and frequency selective fading



indice di qualità bassa in questo canale

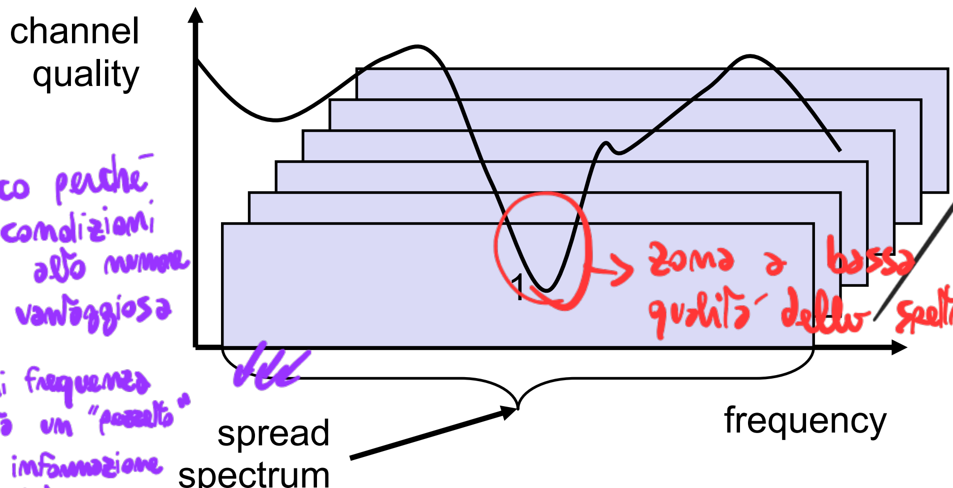
indice di qualità: Es. quantità di bit sbagliati individuati con la matrice di parità

canali con una o poche frequenze adiacenti

narrowband channels

vantaggi: sprecano poco spettro di frequenze

svantaggi: sensibile se c'è molto rumore



codice

spread spectrum channels

↳ vantaggio: le zone "cattive" (bassa qualità) dello spettro NON sono influenti se nella maggior parte delle frequenze la qualità dei canali è buona

→ migliore se c'è molto rumore

svantaggi:
- usa molte frequenze
- costoso da realizzare

ecco perché in condizioni di alto rumore è vantaggiosa

ogni frequenza porta un "pezzetto" di informazione dei bit

vedo la condiz. con le relative sinusoide

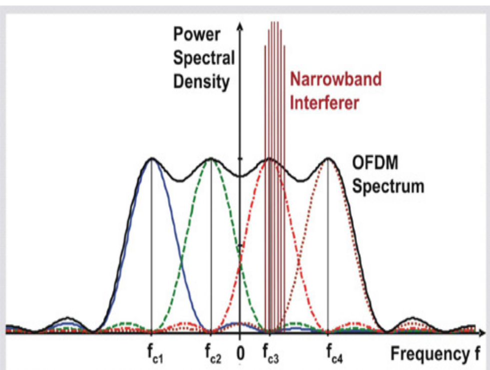
canali che usano tutto lo spettro di sequenze

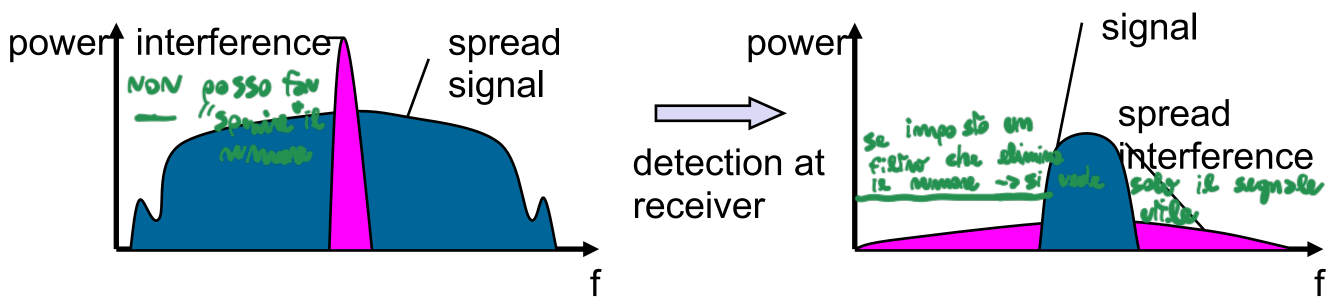
→ canali vengono differenziati da una caratteristica, come il codice dello chipping sequence

Spread spectrum technology

- **Problem of radio transmission: frequency dependent fading can wipe out narrow band signals for duration of the interference**
- **E.g. DSSS modulation and correspondent CDMA access technique spread narrowband signal into a broadband signal using special code**
- **protection against narrow band interference**

SPREAD SPECTRUM CHANNEL





protection against narrowband interference

- **Side effects:**
  - coexistence of several signals without dynamic coordination
  - tap-proof (cannot be detected without knowing the code)
- **Spread spectrum modulation Alternatives: Direct Sequence, Frequency Hopping**

Spread spectrum technology

- **intuitive example: narrowband interference effect on transmission:**
  - → simboli come "lettere dell'alfabeto" nell'esempio
  - transmit "Hello World" coded using narrowband "yellow" frequency and broadband "many colors" frequencies

H e l l o W o r l d — Narrowband → uso una sola frequenza (gialla)

sequenza dei salti decisa da un algoritmo → H e l l o W o r l d — Broadband FHSS (frequency hoping) → salti di frequenze su diverse narrowband

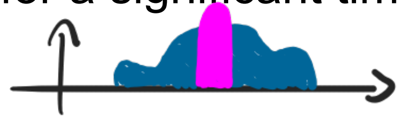
Hello World — Broadband CDMA → "spalma" ogni simbolo su tutte le sequenze → usiamo tutte le frequenze

spread spectrum channel

Narrowband interference → frequenza "gialla"

time

- a burst of yellow interference adds to the signal for a significant time: what is the result at the receiver? siamo qua



INTERFERENZA →

H e ? ? ? ? ? r l d — Narrowband

H e l l o W ? r l d — Broadband FHSS → se ritrasmetto magari riesco a individuare l'errore / non c'è più errore

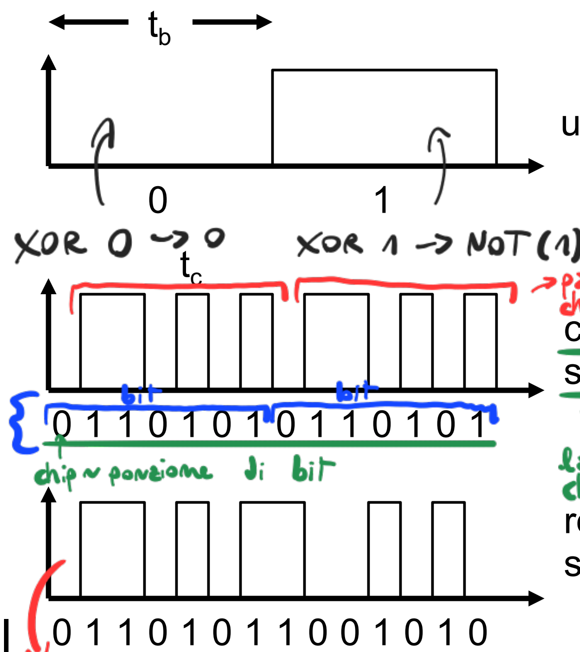
ogni bit è spalmato su ogni frequenza dell'intervallo dello spettro

Hello World → si distingue comunque il simbolo → il rumore è "di fondo" come se non ci fosse — Broadband CDMA

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) I

↳ uso tutto lo spettro per codificare le chipping sequence

- **XOR of the signal with pseudo-random number (chipping sequence, or Barker sequence)**
  - many chips per bit (e.g., 128) result in higher bandwidth of the signal (low throughput)



- **Advantages**
  - reduces frequency selective fading
  - in cellular networks 1 bit = 7 chip
    - base stations can use the same frequency range
    - several base stations can detect and recover the signal
    - soft handover

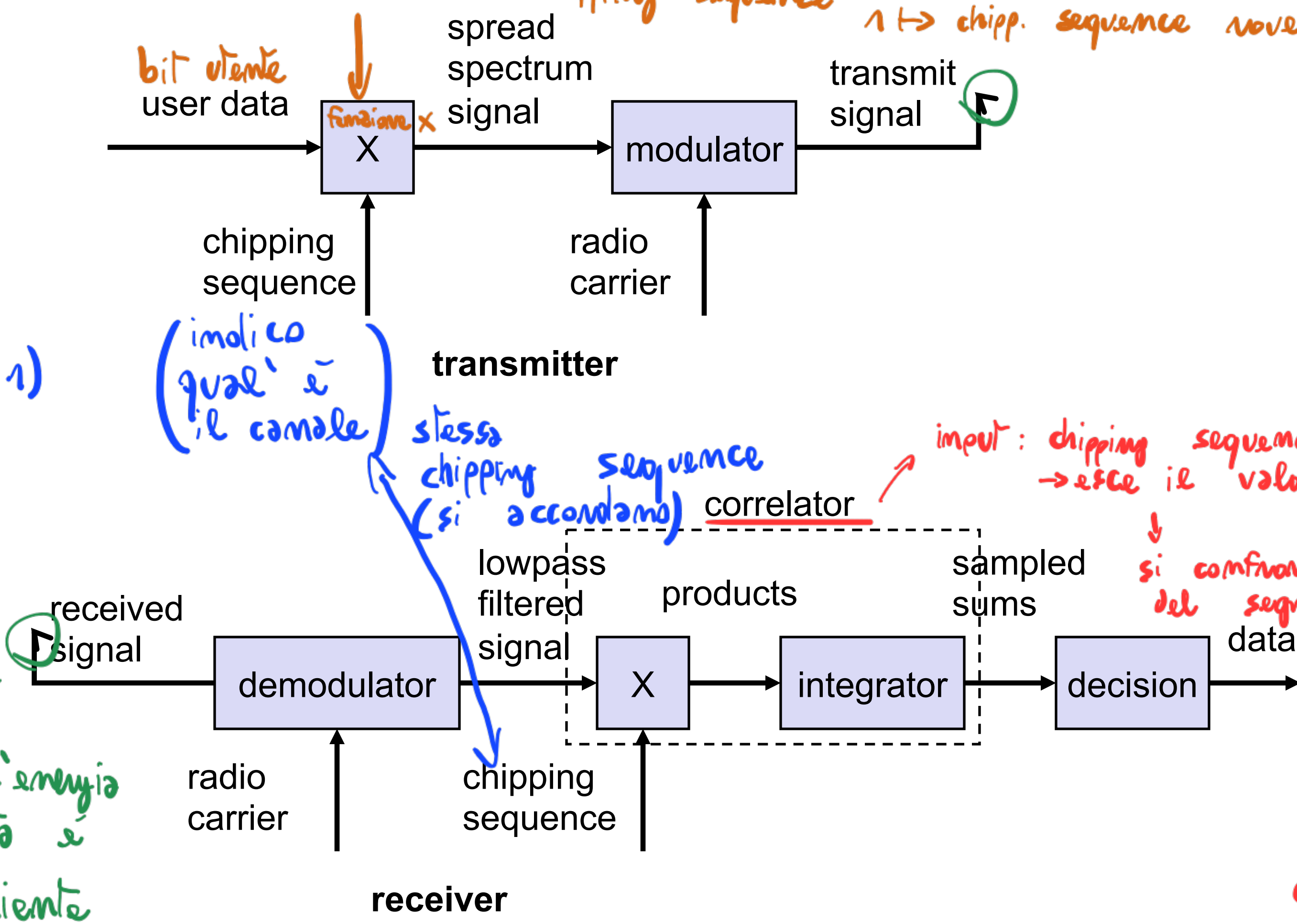
t_b: bit period
t_c: chip period

ogni chipping sequence devono essere tali che i loro effetti energetici siano statisticamente uniformi (sommati piatto) ed ognuno di essi dovevano essere distinguibili sommando c'è un filtro statistico e che selezioni chipping sequence

- **Disadvantages**
  - precise power control and synchronization necessary

=> Serve avere una buona sincronizz.
tra trasmittente e ricevente:
Devo fare in modo che i
chip vengano letti in modo
corretto -> se vado troppo veloce / troppo piano
il ricevente non li "legge" correttamente

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) II



XOR: entra chipping sequence
0 ↦ rimane tale
1 ↦ chipp. sequence rovesciata

bit utente

funzione x

1) (indica qual'è il canale)

stessa chipping sequence (si accordano)

input: chipping sequence + X: XOR
→ esce il valore del bit
↓
si confronta il valore del segnale ricevuto e se una quantità di chip è sufficiente riconosco il corrispondente bit

se l'energia arrivata è sufficiente

→ retro compatibile con i vecchi access point wi-fi

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) III

IEEE 802.11b DSSS channel frequency assignment

Channel ID nella banda DSM (free)	Channel (center) frequencies (GhZ)
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462
12	2.467
13	2.472
14	2.484

→ 2412 Mhz

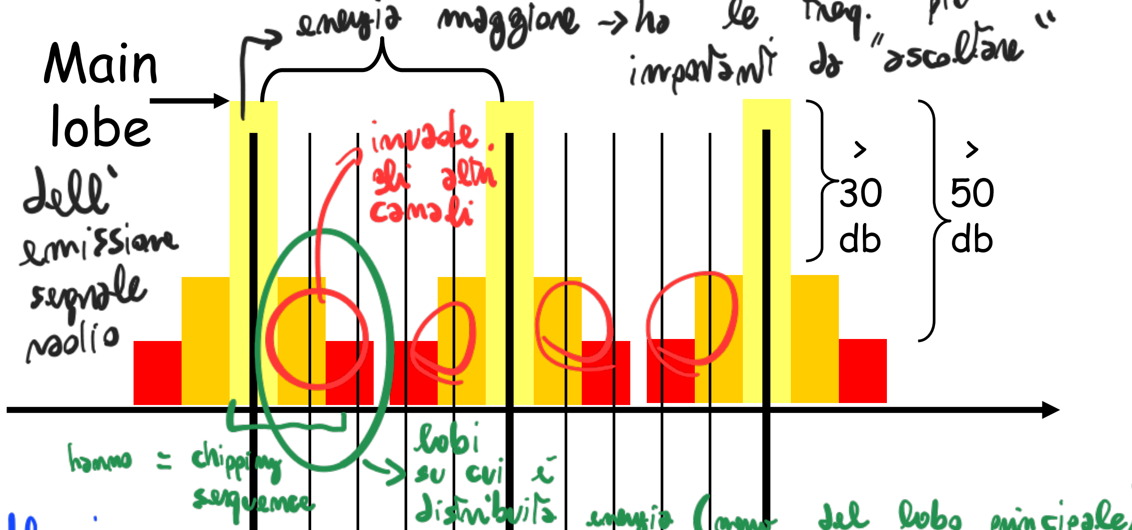
canale subito adiacente (separaz. 5hz tra i canali)

Non Overlapping channels

DSSS channel frequency rule

25 Mhz (spacing)

NON dà problemi di sovrapposizione



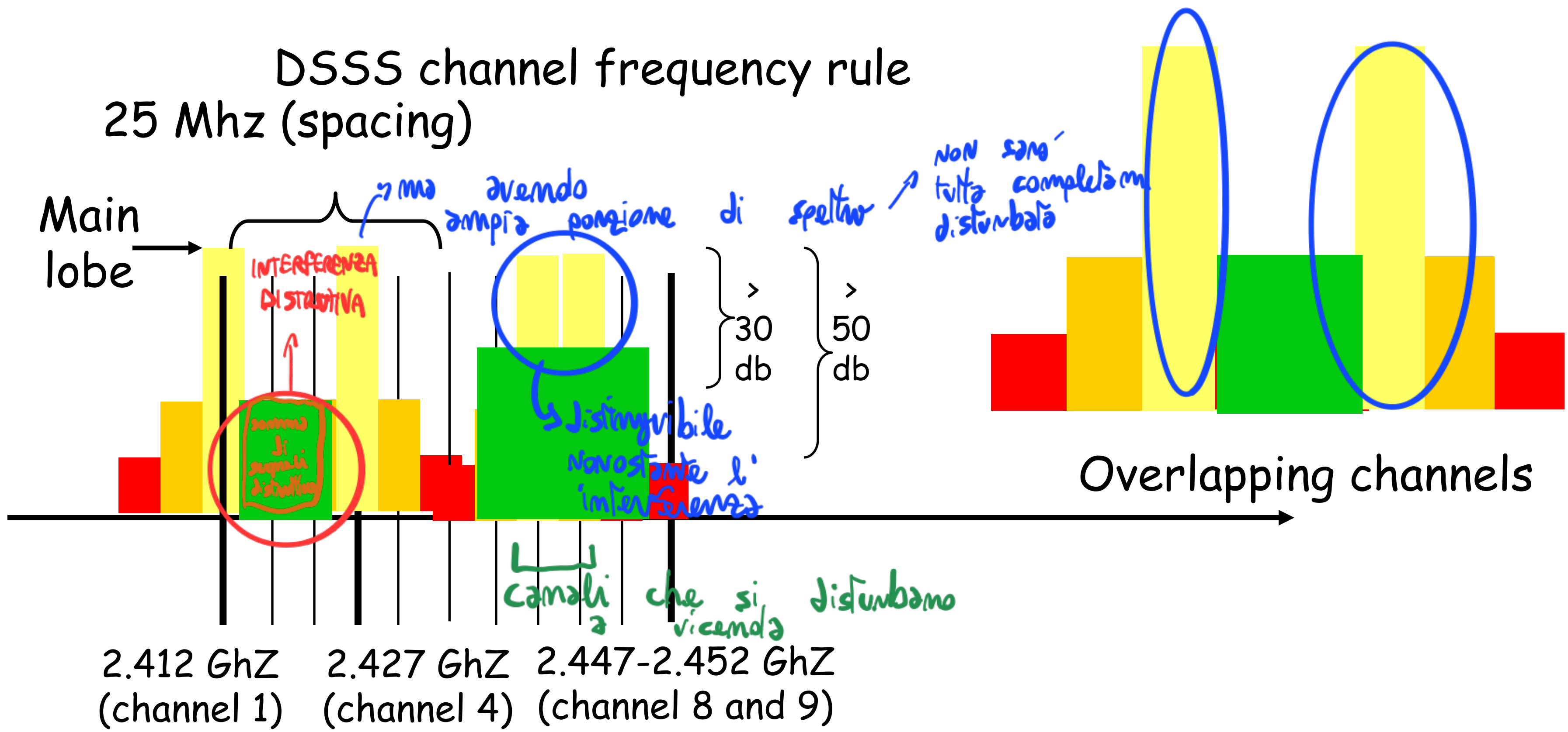
2.412 GhZ (channel 1)

2.437 GhZ (channel 6)

2.462 GhZ (channel 11)

gli unici canali che NON hanno sovrapposizioni di segnale → sono separati

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) IV



⇒ Se scelgo canali distanti, ho più probabilità di avere la possibilità a livello energetico di "comprendere i bit" nonostante le interferenze grazie all'ampia distribuz. sulle freq. di spettro

Code Division Multiple Access (CDMA)

Come funziona:

trasm. sulla stessa frequenza e nello stesso momento

- **Sender A** → trasmittente sul canale A
  - bit 0 da trasmettere; codice del canale A: 6 chip
  - sends $A_d = 1$, key $A_k = 010011$ (assign: „0“= -1, „1“= +1) = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)
    - mappatura di valori ↓ per ragioni algebriche
  - sending signal $A_s = A_d * A_k = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)$
    - XOR
    - chip che trasmetto
- **Sender B** → trasmittente sul canale B
  - bit 0 da trasmettere; codice del canale B: 6 chip
  - sends $B_d = 0$, key $B_k = 110101$ (assign: „0“= -1, „1“= +1) = (+1, +1, -1, +1, -1, +1)
    - mappatura di valori per il codice (chiave) (scelto statisticamente per B)
  - sending signal $B_s = B_d * B_k = (-1, -1, +1, -1, +1, -1)$

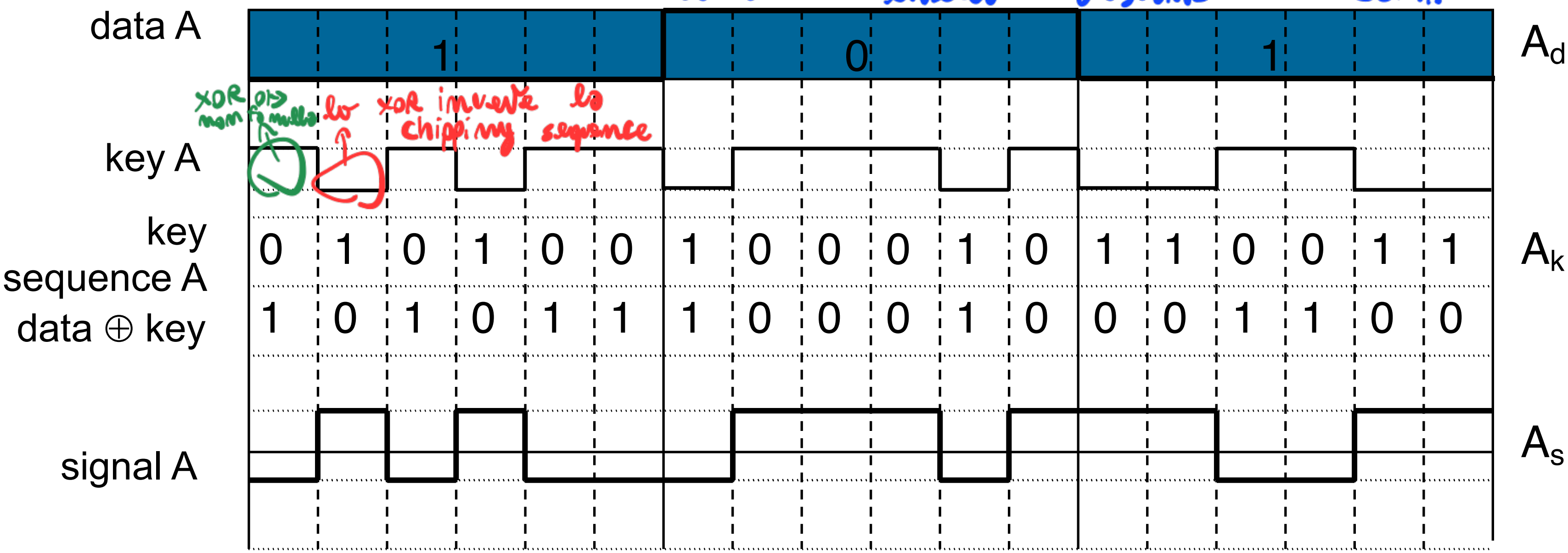
devono essere statisticamente NON correlati (somma di loro produce una distribuz. uniforme)

e grazie al codice (dimensione matematica) riusciamo a capire il valore del bit (nella "mammellata" di segnali)

- **Both signals superimpose in space**
  - interference neglected (noise etc.)
  - $A_s + B_s = (-2, 0, 0, -2, +2, 0)$ → segnale che ricevo → somma algebrica delle chipping sequence: effetto dell'interferenza sul canale → non si riesce a capire il bit trasmesso
    - $-1+(-1)$ $-1+1$ $-1+1$ $-1+(-1)$
- **Receiver wants to receive signal from sender A**
  - apply key A_k bitwise (inner product) → con mappatura
    - Dal demodulatore: $A_e = (-2, 0, 0, -2, +2, 0) \bullet A_k = 2 + 0 + 0 + 2 + 2 + 0 = 6$
      - prodotto vettoriale; INTEGRATORE; ↳ somma algebrica
      - >0 → bit 1 ("skyline dritto")
      - <0 → bit 0 ("skyline rovesciato")
    - result greater than 0, therefore, original bit was „1“
  - receiving B
    - $B_e = (-2, 0, 0, -2, +2, 0) \bullet B_k = -2 + 0 + 0 - 2 - 2 + 0 = -6$, i.e. „0“

CDMA on signal level I

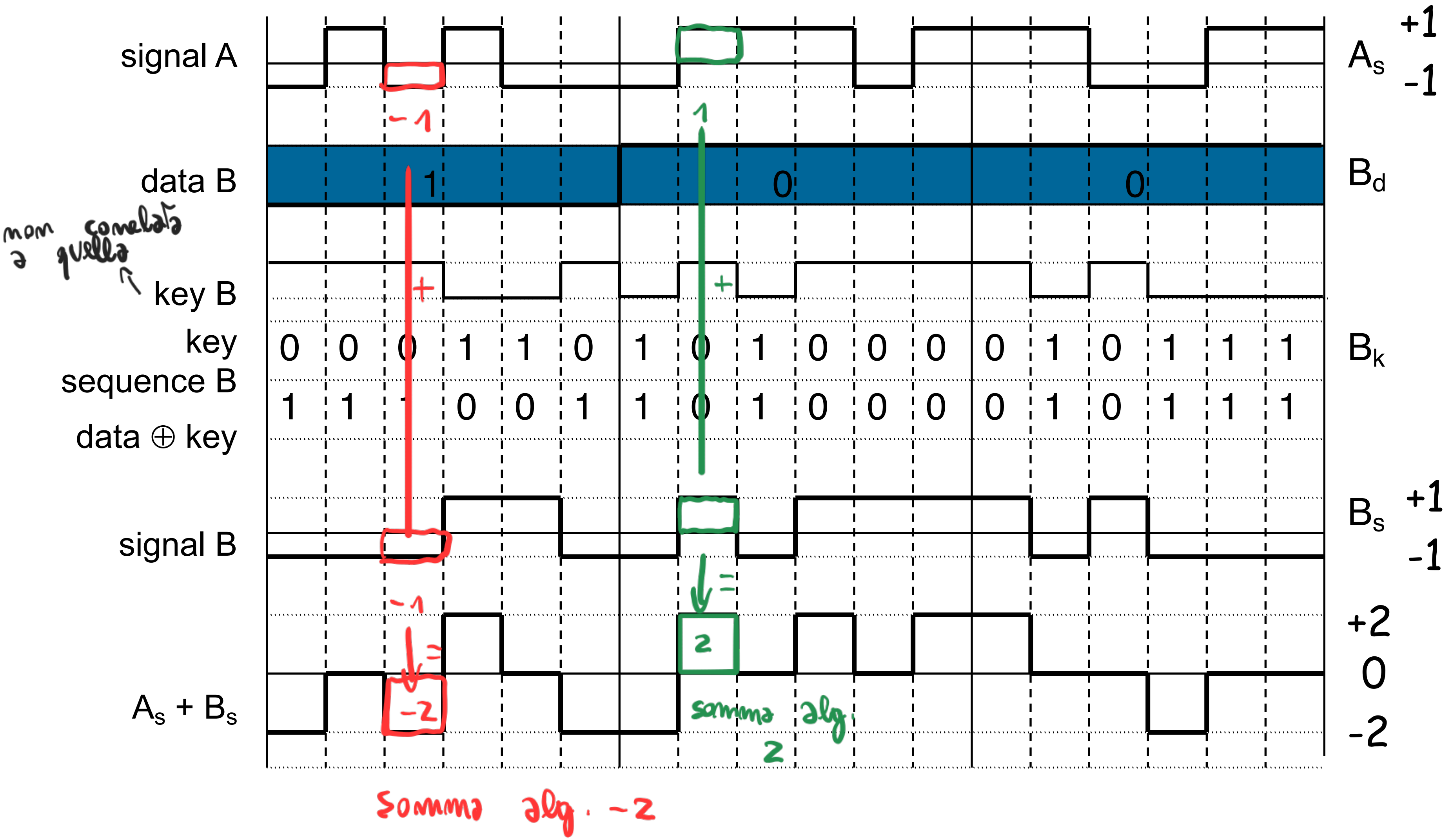
Questo istogramma fornisce una visione grafica di ciò che succederà a livello algebrico in CDMA



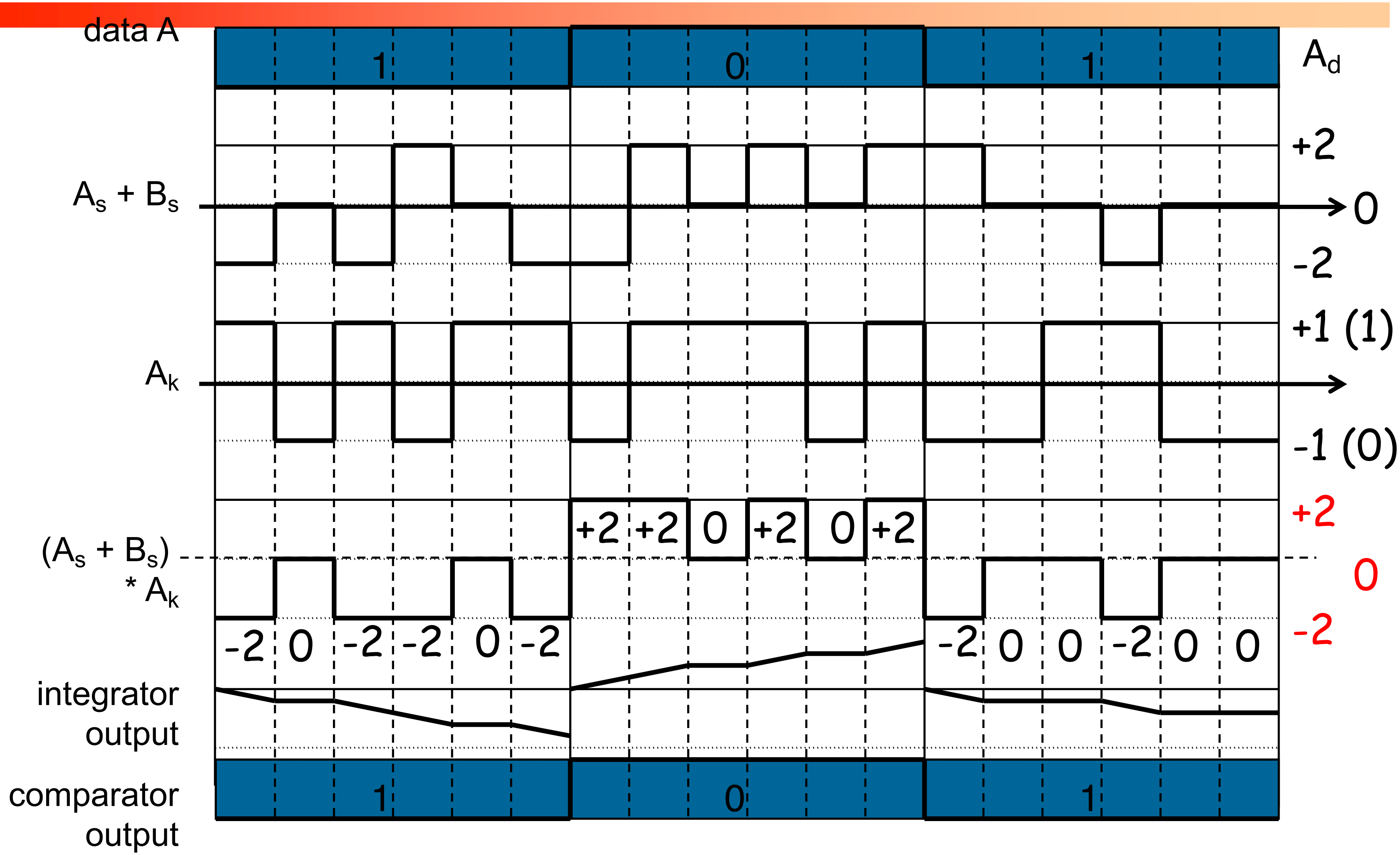
→ Ogni bit della sequenza verrà codificato usando una porzione della chipping sequence

Real systems use much longer keys resulting in a larger distance between single code words in code space.

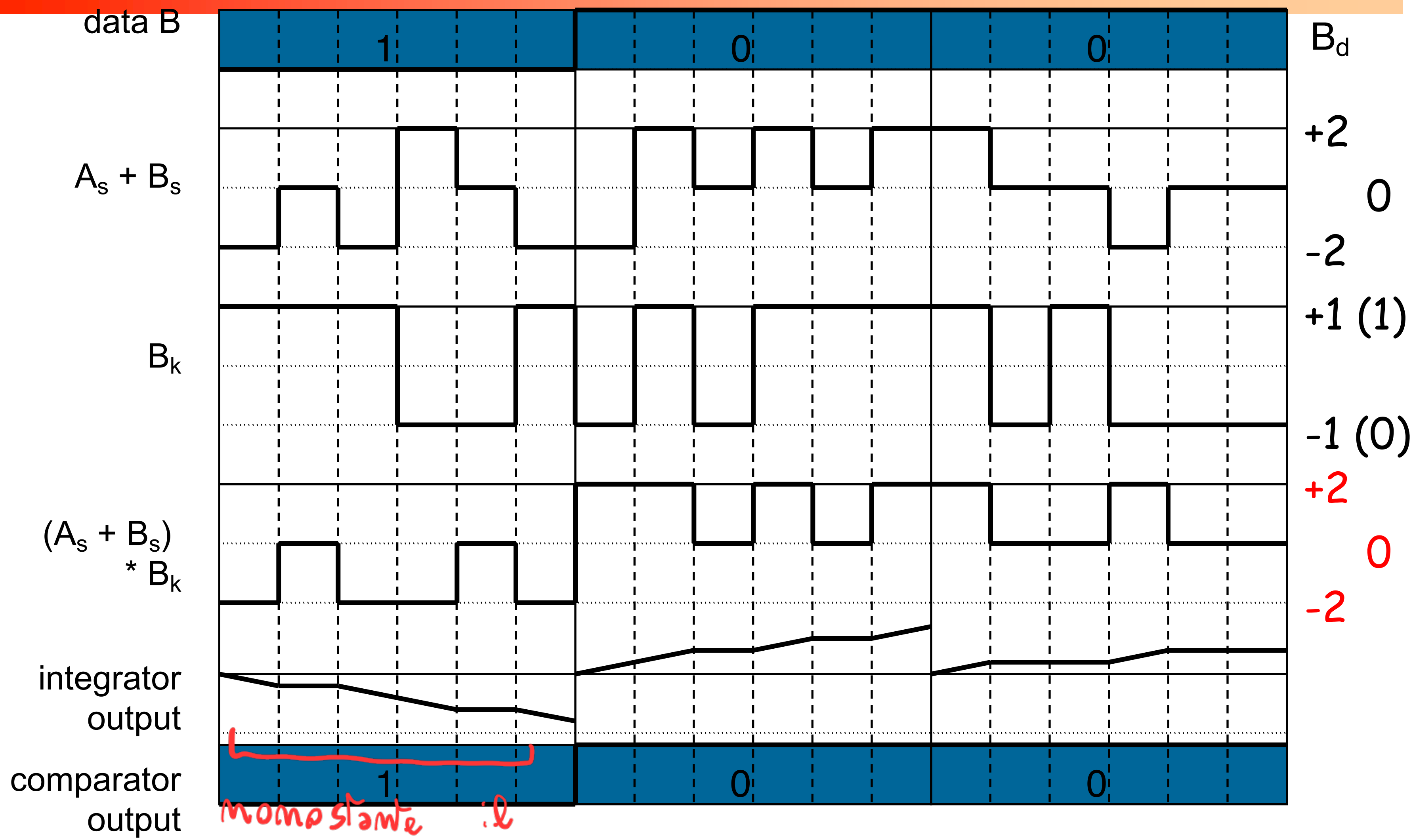
CDMA on signal level II



CDMA on signal level III

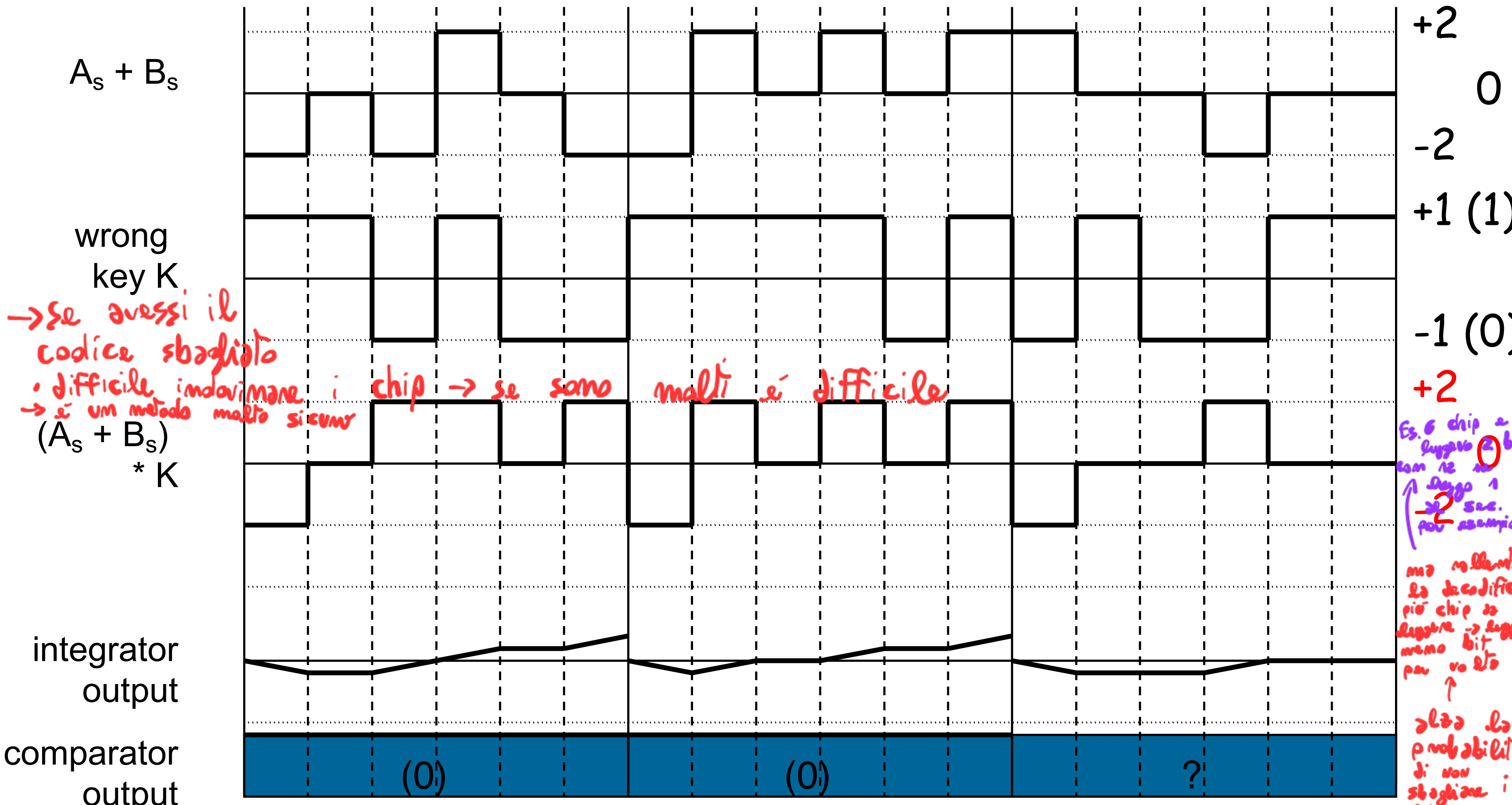


CDMA on signal level IV



nonostante il rumore dovuto alle interferenze → non è sufficiente ad impedire di riconoscere il bit in questione

CDMA on signal level V



→ se avessi il codice sbagliato
• difficile indovinare i chip → se sono molti è difficile
→ è un metodo molto sicuro

Es. 6 chip e leggevo 2 bit, con 12 ne leggo 1 sec. per esempio

ma rallenta la decodifica più chip da leggere → leggo meno bit per volta

alza la probabilità di non sbagliare i bit

⇒ Caso estremo: Se ho più canali e la loro interferenza è tale da non far comprendere i bit → si aumentano i chip delle chiavi (Es. da 6 a 12) così da aumentare il tempo di durata di un simbolo

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) I

=> I salti di frequenze sono determinati da un algoritmo → si usa un generatore pseudo-casuale e un seme generatore (della funzione) → che è l'identificatore della scheda di rete (32 bit)

- **Discrete changes of carrier frequency**
  - sequence of frequency changes determined via pseudo random number sequence (e.g. seed = f(host identifier in Bluetooth))

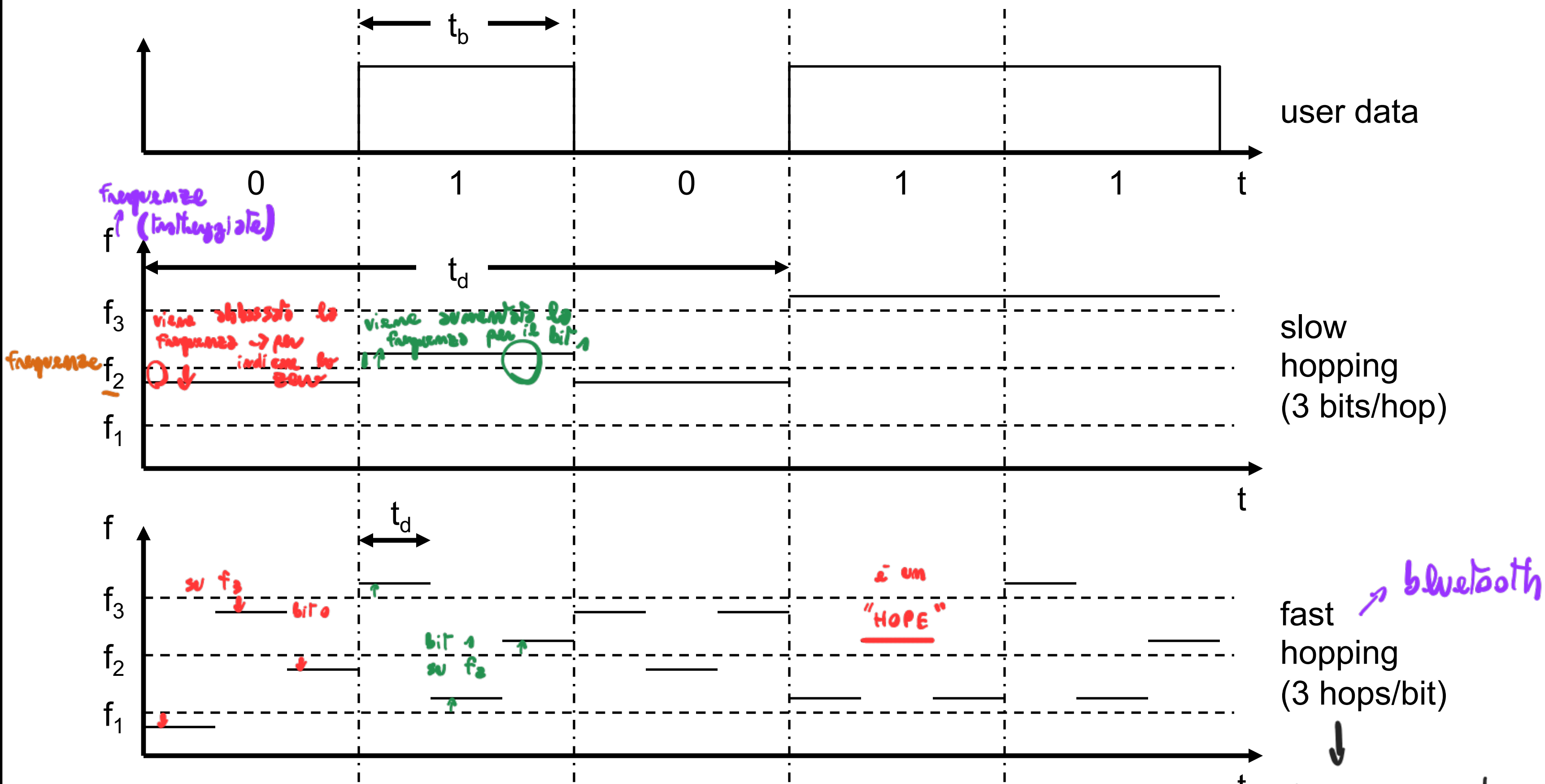
le dispositivo che genera il canale bluetooth passa il suo id all'altro dispositivo → ho lo stesso seme → conoscendo la funzione di generazione pseudo-casuale (e il seme di generaz.) l'algoritmo calcola la stessa sequenza di salti di frequenze

- **Two versions**
  - Fast Hopping:
    several frequencies per user bit
    → salti più veloci della durata dei bit
  - Slow Hopping:
    several user bits per frequency
    → salti più lenti della durata dei bit

su ogni frequenza vengono trasmessi 3 bit → poi si salta ad un altra frequenza

- **Advantages**
  - frequency selective fading and interference limited to short period
  - simple implementation
  - uses only small portion of spectrum at any time
- **Disadvantages**
  - not as robust as DSSS
  - simpler to detect

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) II



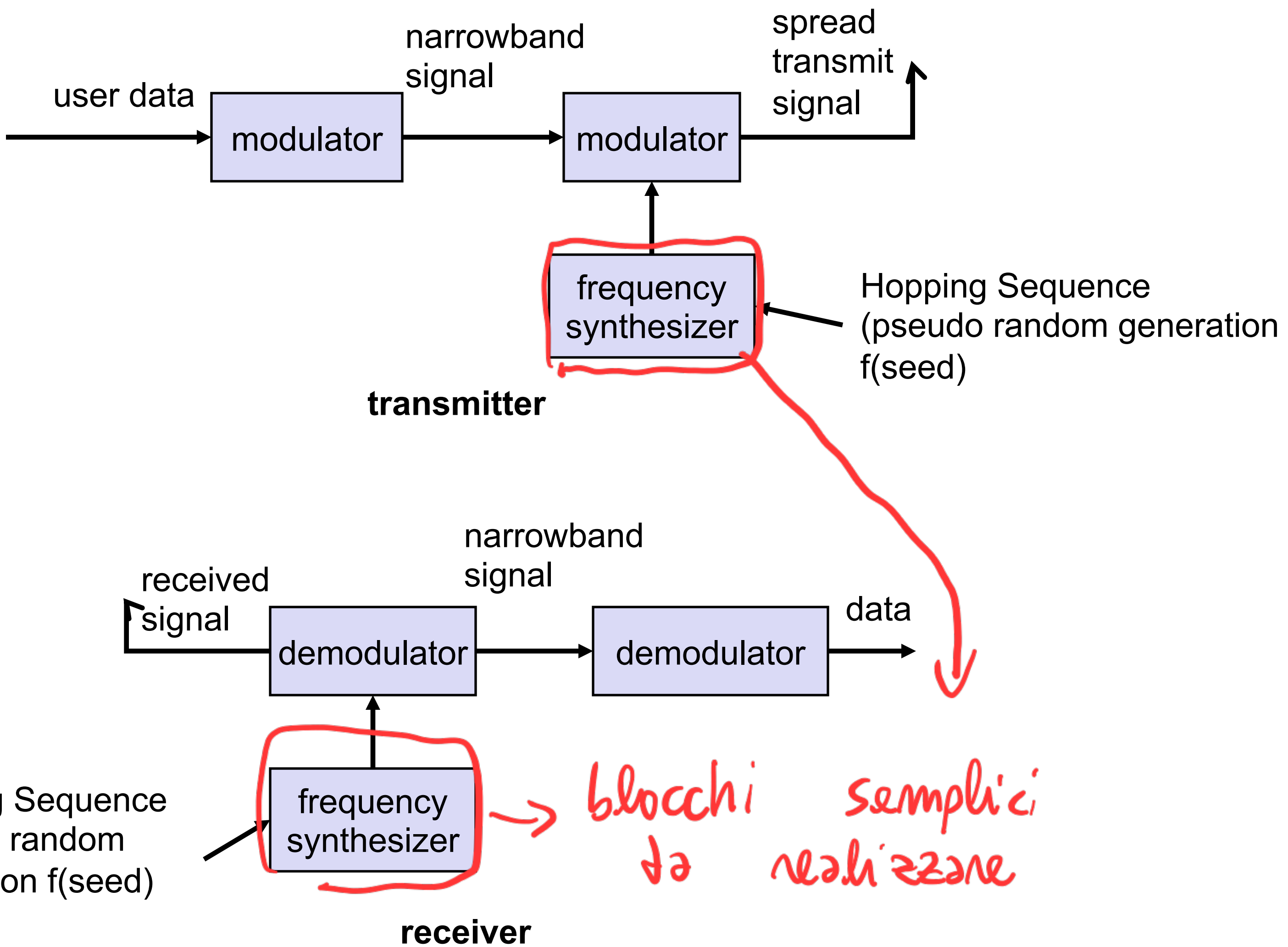
t_b: bit period t_d: dwell time

si può andare a maggior bit-rate: anche se ci sono molte collisioni su hope → meccanismo di protezione dagli HOPS degli altri dispositivi

Esempio vantaggio FAST HOPPING:

- 2/3 HOPE chiavi

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) III



=> è una TECNOLOGIA efficiente e a basso costo e molto affidabile

OFDM → Tecnologia "Orthogonal ..."

- **Very accurate adjacent communication channels**

  E' una tecnologia che trasmette dati in modo concorrente (allo stesso tempo) in sotto-canali paralleli

  - Transmit data concurrently in parallel subcarriers (sotto carrier o sotto frequenza)

    → Si "ascoltano" i sub carrier tutti insieme

    - No need for separate filter for each sub-channel (like in FDM)
    - High bandwidth efficiency (see Nyquist rate formula)
    - Problem: doppler shift (at high speed) of subcarrier frequencies

    ↓ porzione di spettro da frequenza A a fr. B e lo suddivido in subcarrier

  → I sub carrier sono pacchetti di frequenze

  - Harmonics cancelation, low cost Fast Fourier Transform chips

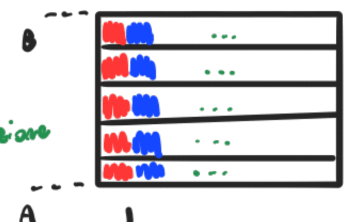
    mappatura di funzioni in altre composte

    → vantaggio: permette di facilitare la descrizione di un fenomeno con una funzione diversa, più facile da trattare

  - Convolution coding (error correction with redundant information)

    o inventa dimensioni aggiuntive grazie alla matematica { facilita i passaggi algebrici

    - More or less similar to: subcarriers transmit "parity bit"



↓ sequenze di bit che viaggiano su subcarrier diverse

  - OFDM channels: 20 Mhz divided in 52 sub-carriers (300 Khz)
    - 4 subcarriers used as pilot (management) → contengono informazioni di protocollo
    - 48 subcarriers used for data (symbols coding = 1 symbol per subcarrier at a time) = 48 concurrent symbols
  - OFDM in 802.11g is not compatible with DSSS in 802.11b!

⇒ OFDM permette la massima efficienza nella trasmissione

Esempio didattico con matrice di bit di parità (oggi si usa la convoluzione)

Ho 4 subcarrier:

0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0
0	1	0	1	0	1

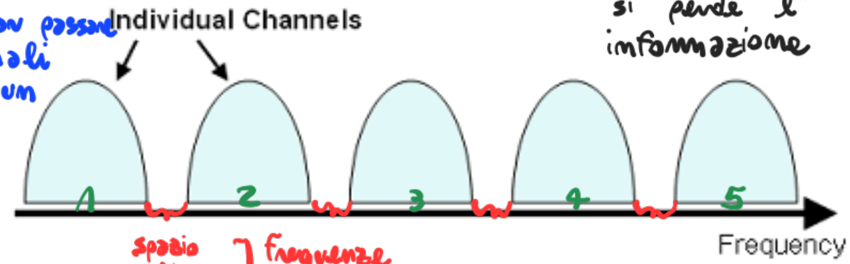
subcarrier di controllo

ERRORE

se in fondo ad ogni subcarrier mettessi un bit di parità per un numero di bit per ogni subcarrier

OFDM → è soggetto ad un problema: EFFETTO DOPPLER, fa variare la frequenza → rischio: il bit esce dal subcarrier su cui viaggiava, si perde l'informazione

- Reprise: Frequency division multiplexing (FDM)
  ↓ cioè far passare più canali avendo un unico vettore
  - non overlapping channels

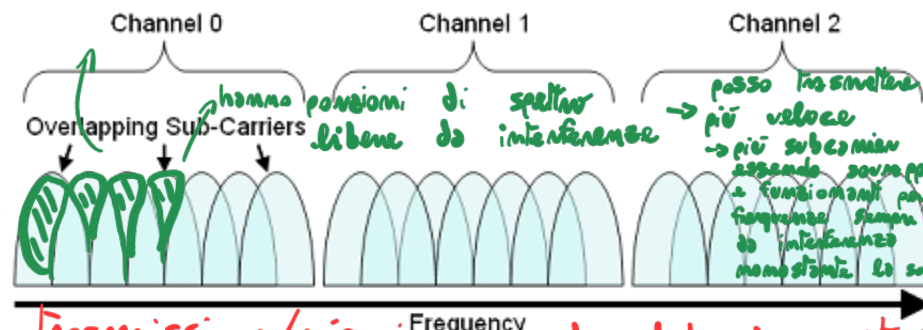


spazio di guardia] frequenze non utilizzate per comunicare

- OFDM: frequency division multiplexing in which a single channel utilizes multiple sub-carriers on adjacent overlapping frequencies

"impacchetto" i subcarrier in "canali"

Frequenze sovrapposte dei subcarrier: → subcarrier sovrapposti →



hanno porzioni di spettro libere da interferenze

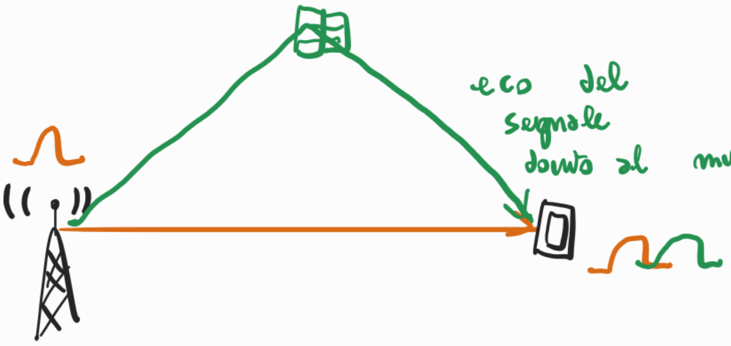
→ posso trasmettere più veloce → più subcarrier essendo sovrapposti e funzionanti perché hanno frequenze sempre libere da interferenza nonostante la sovrapposiz.

⇒ Dedichiamo un subcarrier alla trasmissione/ricezione di bit di parità

- Spectral efficiency (no guard space) → sono sovrapposte le frequenze
- Better symbol rate

→ È l'ORTOGONALITÀ che permette la sovrapposizione dei subcarrier, che sono matematicamente funzioni periodiche

Altro effetto dovuto al multipath: INTERSYMBOL INTERFERENCE

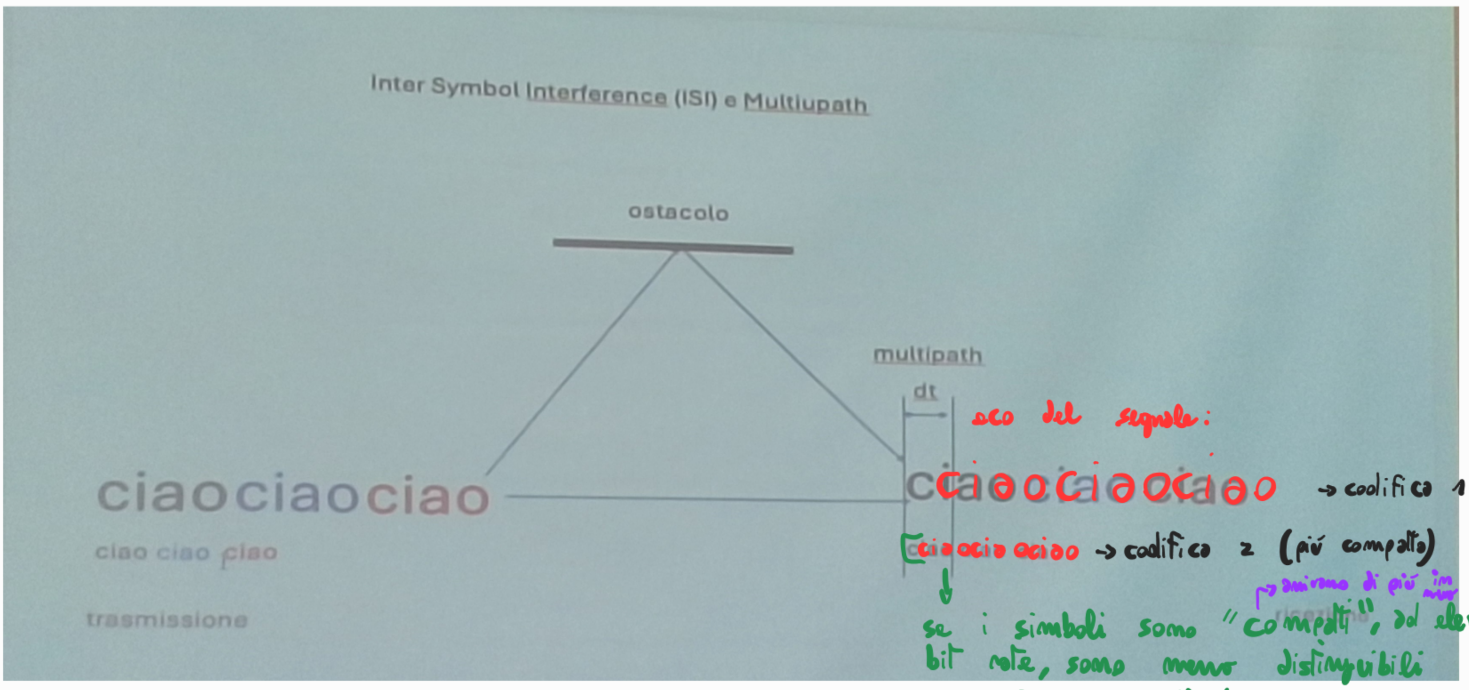


eco del segnale dovuto al multipath (percorso più lungo)

→ l'eco del segnale va a sovrapporsi sul simbolo successivo
→ c'è il rischio che vengano modificati i bit

→ Diminuisco la dimensione temporale dei simboli

Esempio Bononi:

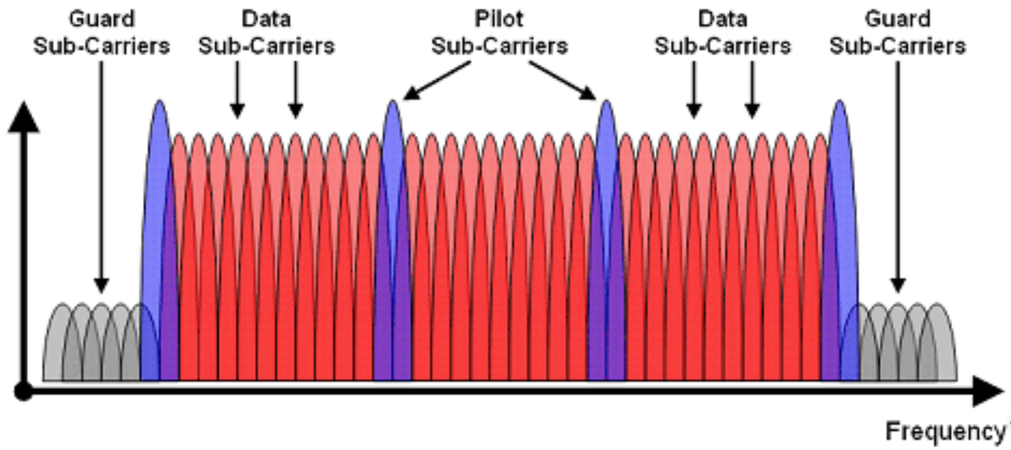


se i simboli sono "compatti" (→ arrivano di più in meno tempo), ad elevato bit rate, sono meno distinguibili per colpa del ritardo (eco) dello stesso segnale

→ Si preferisce simboli "lunghi" (per far capire l'esempio visivamente) (codifica 1) nell'esempio, più basso bit rate rendono meno problematico

e.g. OFDM

- **E.g. IEEE 802.16 (WiMAX):** internet access across long wireless communications links (up to 30 miles)
- 1 OFDM channel = 128 to 2048 sub-carriers
  - 1 sub-carrier bandwidth: 9.76 Khz (11.16 kHz in practice)
    - In 1.25 MHz there is space up to 128 subcarriers
    - …Up to 20 MHz (2048 subcarriers)
  - BPSK, QPSK, 16-QAM, or 64-QAM modulation



N.B. Frequency

How OFDM works

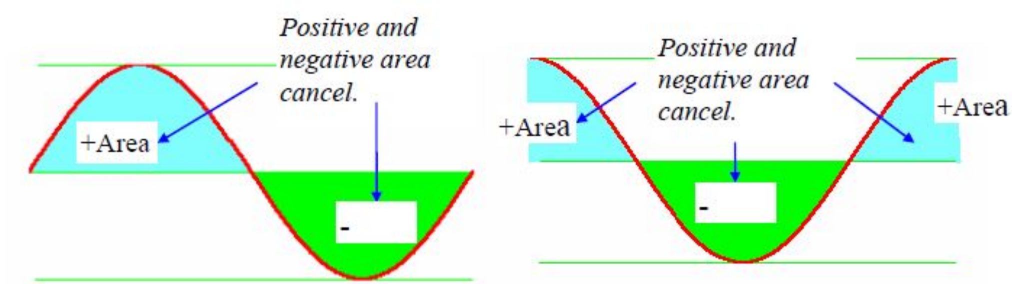
→ perché Orthogonal? → Ogni frequenza dentro il subcarrier è ortogonale alle altre

- **1- The importance of orthogonal subcarriers**

  → permette di "cancellare" le frequenze che NON mi interessano

  ∃ durata K dove l'energia della sottocampana (area) positiva e quella negativa si equivalgono

  - **Sin(x) * Sin(kx) = orthogonal signal (Harmonics orthogohality)**
  - **Cos(x) * Cos(kx) = orthogonal signal**
  - **In general, all sin(mx), sin(nx), cos(nx), cos(mx) are orthogonal**
  - Orthogonal means that integral of signal (t) is zero over period T. This allows simultaneous transmissions on different carriers with no interference

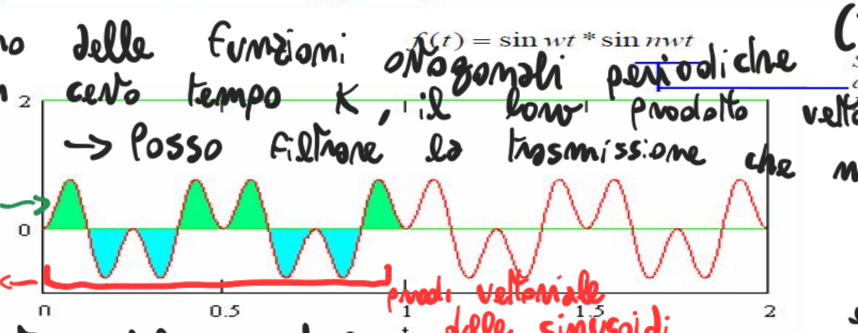


→ Ci sono delle funzioni ortogonali periodiche (frequenze delle trasmissioni) che su un certo tempo K, il loro prodotto vettoriale è pari a zero

→ Posso filtrare la trasmissione che mi interessano

↓

ecco perché segnali sovrapposti possono coesistere trasportando l'informazione



somma dell'energia: campane verdi + campane blu = 0

durata del simbolo

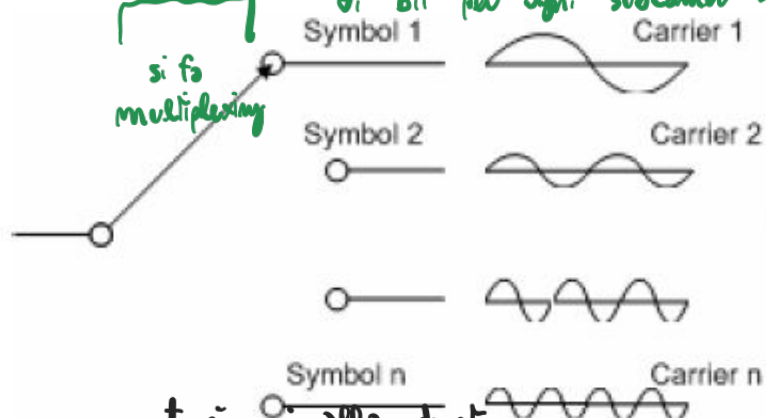
prodotto vettoriale delle sinusoidi

→ La durata del simbolo dipende da K

How OFDM works

- E.g. OFDM with 4 carriers, 1 symbol per second (total for 4 carriers)
- Bit stream to be modulated (replace 0 with -1): 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 -1….
- Split the bit sequence in 4 sub-sequences

switching: ciclica di bit — si fa multiplexing — assegnazione per ogni subcarrier → alg. round robin



carrier 1 → C1 (1 Hz): 1 1 1 -1 1 -1 1 -1…

carrier 2 → C2 (2 Hz): 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1….

carrier 3 → C3 (3 Hz): -1 1 1 1 1 -1 -1 1….

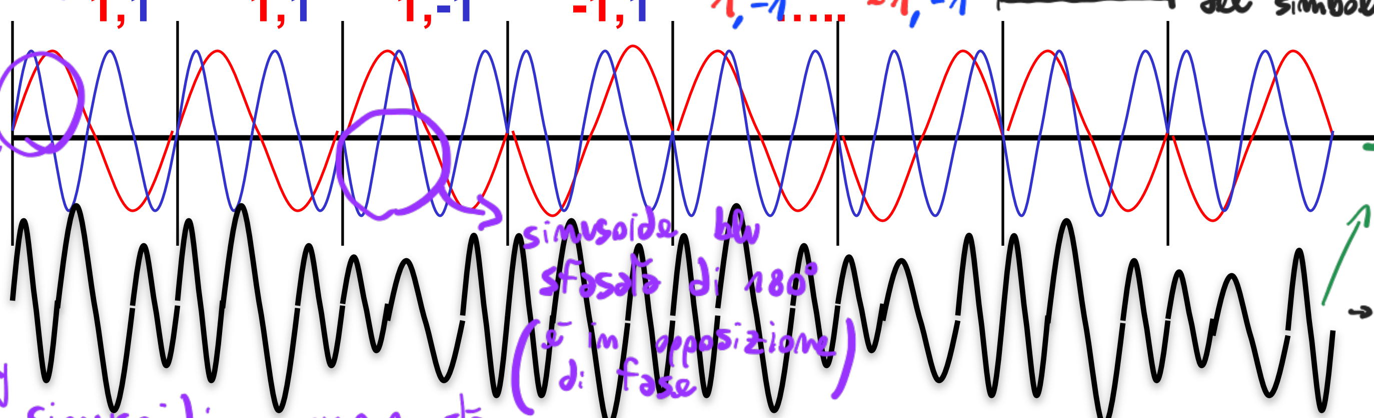
carrier 4 → C4 (4 Hz): -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 ….

→ 1 ciclo completo
→ 2 cicli completi

t è pari alla durata del simbolo

carrier 1: sinusoide rossa: f = 1 Hz

carrier 2: sinusoide blu: f = 2 Hz



sinusoide blu sfasata di 180° (è in opposizione di fase)

sinusoidi sovrapposte nello spazio e nel tempo

Da qua capisco l'informazione, devo isolare la sinusoide che mi interessa e non considerare le altre → Uso le TRASFORMATE di FOURIER

→ sinusoide nera: somma vettoriale delle sinusoidi dei 4 carrier dell'esempio importante: dentro i sistemi di comunicazione serve che la durata dei simboli sia lunga abbastanza da non essere più veloce del calcolo delle trasformate di Fourier (dirette e inverse) → oggi, un processore le fa in c.a. 10 μs

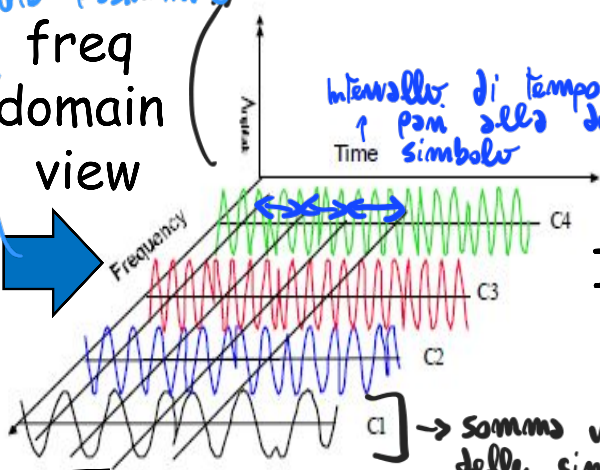
How OFDM works

Si parte lato trasmittente:

lato trasmittente Dalla sinusoide nera, usando le anti trasformate di Fourier

freq domain view

intervallo di tempo di osservaz. ↑ pari alla durata del simbolo

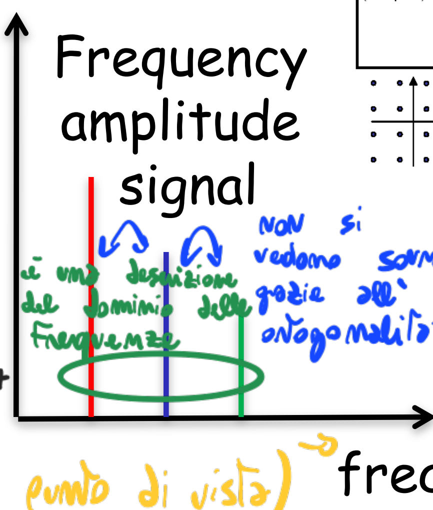


→ somma vettoriale delle sinusoidi di c2,c3,c4

time domain view

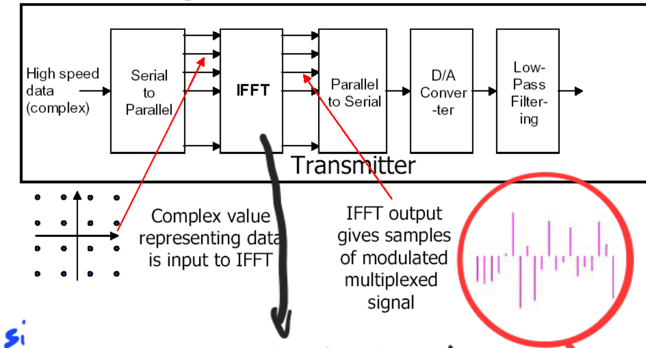
→ lato ricezione (è come un punto di vista)

IFFT / FFT



è una descrizione del dominio delle frequenze

non si vedono sovrapposte grazie all'ortogonalità



fa la trasformata inversa di Fourier

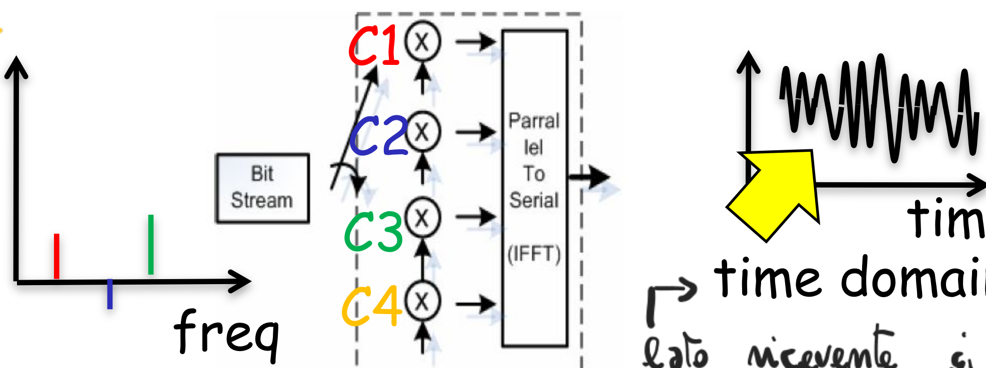
somma dell'energia delle frequenze

Now think at C1, C2… bits like if they are variable amplitudes of frequencies…

…and apply the IFFT to transform it in a time domain signal:

Lato ricezione

1 -1 1….



time domain signal

→ lato ricevente si guarda il dominio del tempo

lato ricevente: si usa la FFT trasformata diretta di Fourier

…and viceversa!

Summary of OFDM

→ Wi-Fi, DAB, tutte tecnologie OFDM
→ canali da 20 MHz, ognuno contiene 52 subcarrier
48 → subcarrier
4 → subcarrier di controllo → trasportano informazioni di protocollo

→ 250.000 simboli al secondo → ogni simbolo contiene un bit

- OFDM encoding: ≈ 250.000 phase modulations per second

Data Rate (Mbps)	modulation	Bits coded per phase transition	R = fraction of carriers used for convolution (bit di protezione)	Length of 1 symbol at the given data rate (#subcarriers * bits coded per symbol)	Data bits encoded in 1 symbol (bit dati)
6	DBPSK	1	1/2	48	24
9	DBPSK	1	3/4	48	36
12	DQPSK	2	1/2	96	48
18	DQPSK	2	3/4	96	72
24	16-QAM	4 (4 bit per simbolo)	1/2	192	96
36	16-QAM	4	3/4	192	144
48	64-QAM	6	2/3	288	192
54	64-QAM	6	3/4	288	216

D per differential

↑ 2 simboli ↑ Binary phase...

convolution → per rilevare e correggere gli errori ↓ schemi più complessi della matrice di parità

prestazione minima e solida → 6

aumento il bit rate

1/2 ma la metà dei bit → sono di protezione

48 (48 bit su 48 carrier)

24 → bit non di protezione, contengono dati → i BIT DATI

3/4 → se il canale fa pochi errori, diminuisco la protezione

dovuto al fatto che ↑

→ Questa tabella serve per riferirci ad uno standard

=> Se non tornano gli acknowledgement → diminuisco il bit rate