

# 802.11: modulazioni a confronto

**Normando Marcolongo**

**20 dicembre 2003**

**Tivoli**

# Obiettivi dell'intervento

- Cenni sulle tecniche di “Spread Spectrum”
- Quali modulazioni vengono impiegate nello “strato fisico” dei sistemi IEEE802.11
- Assumerò che siano note le basi delle trasmissioni digitali

# Tutta la serie 802.11

IEEE Std	Velocità	Freq.	Note
802.11	1-2Mb/s	2.4GHz	1997, FHSS & DSSS
802.11a	<54Mb/s	5GHz	1999
802.11b	5.5-11Mb/s	2.4GHz	Seconda generazione
802.11g	<54Mb/s	2.4GHz	Terza generazione

# Il modello ISO-OSI



Application Layer

Presentation Layer

Session Layer

Transport Layer

Network Layer

Data Link Layer

Physical Layer

TCP/IP

AX.25

802.11

802.11: modulazioni a confronto.  
Normando iW6OWQ

# Cos'è il MAC

- **Significa Medium Access Control**  
**controllo di accesso al mezzo**
- **Il mezzo è la banda occupata dalla**  
**trasmissione**
- **Obiettivo: uso efficiente del mezzo**

# Lo strato fisico

- **Immediatamente sotto allo strato MAC e **diviso in due substrati:****
  - **PLCP: physical layer convergence procedure (aiuta l'RTX a funzionare, tipicamente sincronizzazione)**
  - **PMD: physical medium dependent (è il vero e proprio RTX)**

# Lo strato fisico (2)

**PHY**

**PLCP:  
sincronizzazione**

**PMD: vera e  
propria  
trasmissione**

# Lo strato fisico (3)

- **802.11 (2Mb/s):**
  - Frequency hopping spread spectrum (FHSS):  
*non più in uso*
  - **Direct sequence spread spectrum (DSSS)**
- **802.11b (11Mb/s): High rate DSSS**

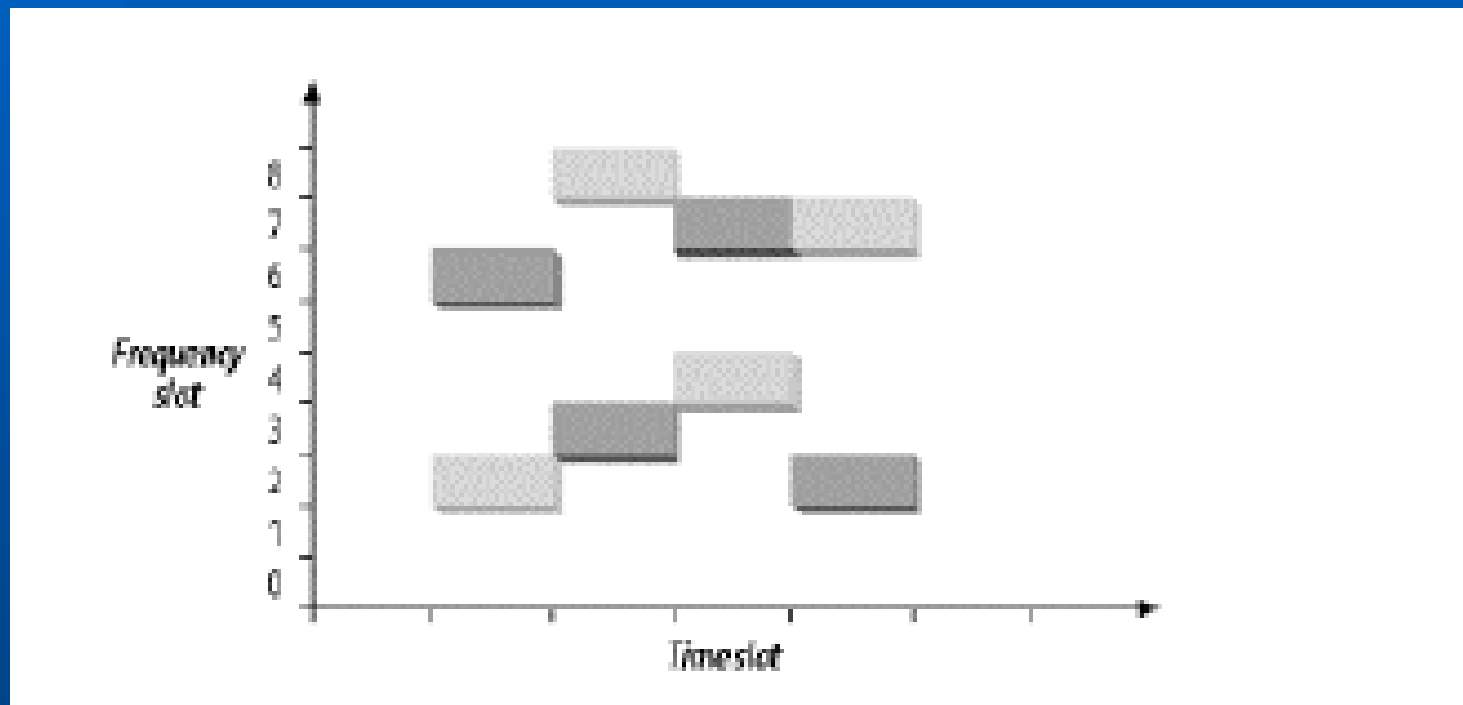
# Lo spread spectrum

- **Trasmissione “tradizione”**: più potenza possibile nello spettro più stretto possibile.
- **Spread spectrum**: uso di “trasformazioni matematiche” per disperdere lo spettro originale del segnale da trasmettere in uno spettro molto più largo. Una operazione inversa viene effettuata in ricezione.
- Ogni disturbo a banda stretta viene, in ricezione, praticamente trasformato rumore bianco. Ciò non significa che il front-end di un ricevitore non possa essere “accecato” da un fortissimo segnale a banda stretta nella banda di funzionamento.

# 802.11 FH PHY

- **Relativamente economico**
- **Cambio rapidissimo della frequenza di trasmissione in maniera pseudo-casuale (*dwell time*)**
- **TX e RX devono essere sincronizzati e conoscere la sequenza pseudo-casuale delle frequenze di trasmissione**
- **Non più in uso nelle apparecchiature in commercio Wi-Fi**

# 802.11 FH PHY (2)



# 802.11 FH PHY (3)

- Il tempo di uso di una frequenza è di circa 0.4s (*dwell time*)
- Un hop set è di 26 frequenze
- Il beacon trasmette quale hop set è in uso e un *timestamp* per la sincronizzazione
- Ogni canale è largo 1MHz

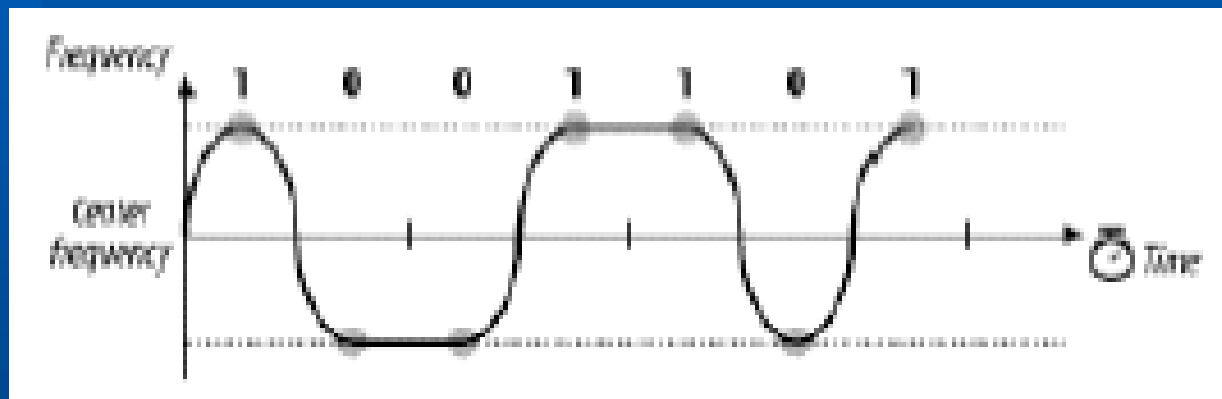
# 802.11 FH PHY (4)

- 1MHz di banda equivale rozzamente a una velocità di 1Mb/s
- Usando una codifica a 4 livelli (2 bit trasmessi in un ciclo) si arriva a 2Mb/s
- Usa la modulazione GFSK: Gaussian frequency shift keying

# GFSK

- Come l'FSK di *packet* memoria:  $F_1$  per l'1 e  $F_2$  per lo 0.
- Usa un filtro calcolato appositamente per la riduzione dell'occupazione di banda attraverso una transizione a fase e frequenza continue tra un simbolo e un'altro. La forma d'onda viene sintetizzata tipicamente per mezzo di DSP.

# Esempio



# Ecco il PLCP: lo ricordavamo?

- Aggiunge un preambolo di 80 bit utili alla sincronizzazione più altre informazioni come velocità della trama trasmessa.
- “Sbianca” il segnale: viene applicato un algoritmo ai bit in modo che somigli il più possibile a rumore bianco. Alla ricezione viene “colorato”.



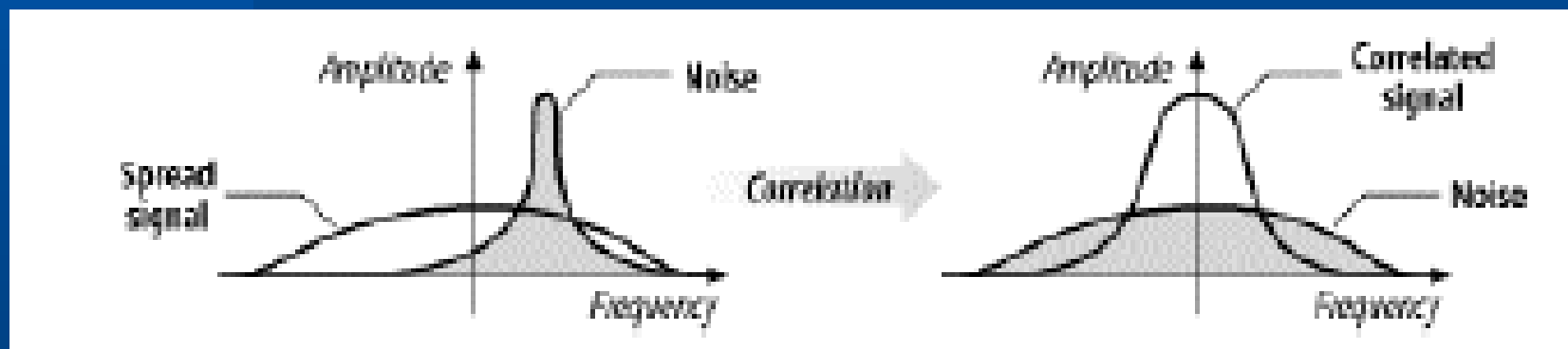
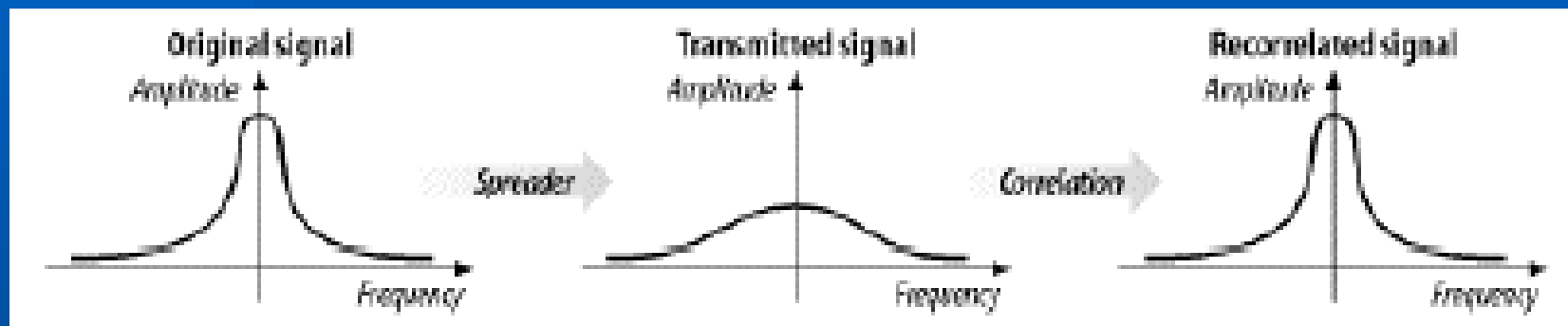
# E pure il PMD...

- **Supporto per il *diversity*.**
- **Pilotaggio degli stadi di potenza in modo tenere ogni canale nel *dwell time* non più largo di 1MHz.**
- **Modulazione vera e propria 2GFSK o 4GFSK. Il preambolo viene sempre trasmesso in 2GFSK.**

# 802.11 DS PHY

- Tollerata un SNR (rapporto segnale/rumore) peggiore rispetto al FH.
- Tecnicamente si presta per velocità più elevate. Di costosa realizzazione è un modulatore ad alta velocità che compie i salti di frequenza richiesti dal FH.

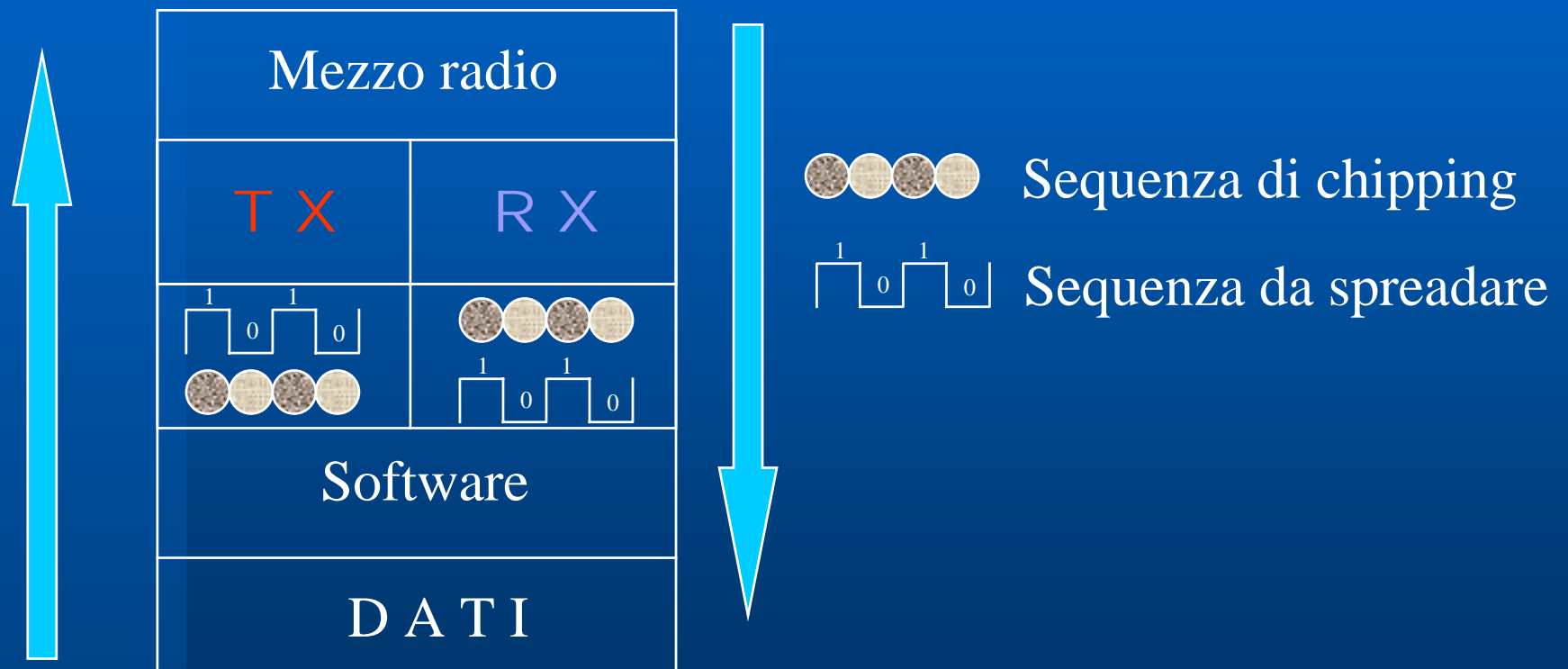
# 802.11 DS PHY (2)



# Come avviene il DSSS

- A *chip* è una cifra binaria usata dal processo di dispersione.
- I bit sono i dati di “alto livello”, i chip sono solo una parte della codifica e non portano nessuna informazione.
- I flussi di chipping sono anche chiamati codici di rumore pseudo casuale.
- Questi flussi vengono generati ad una velocità molto più grande rispetto ai dati da trasmettere.

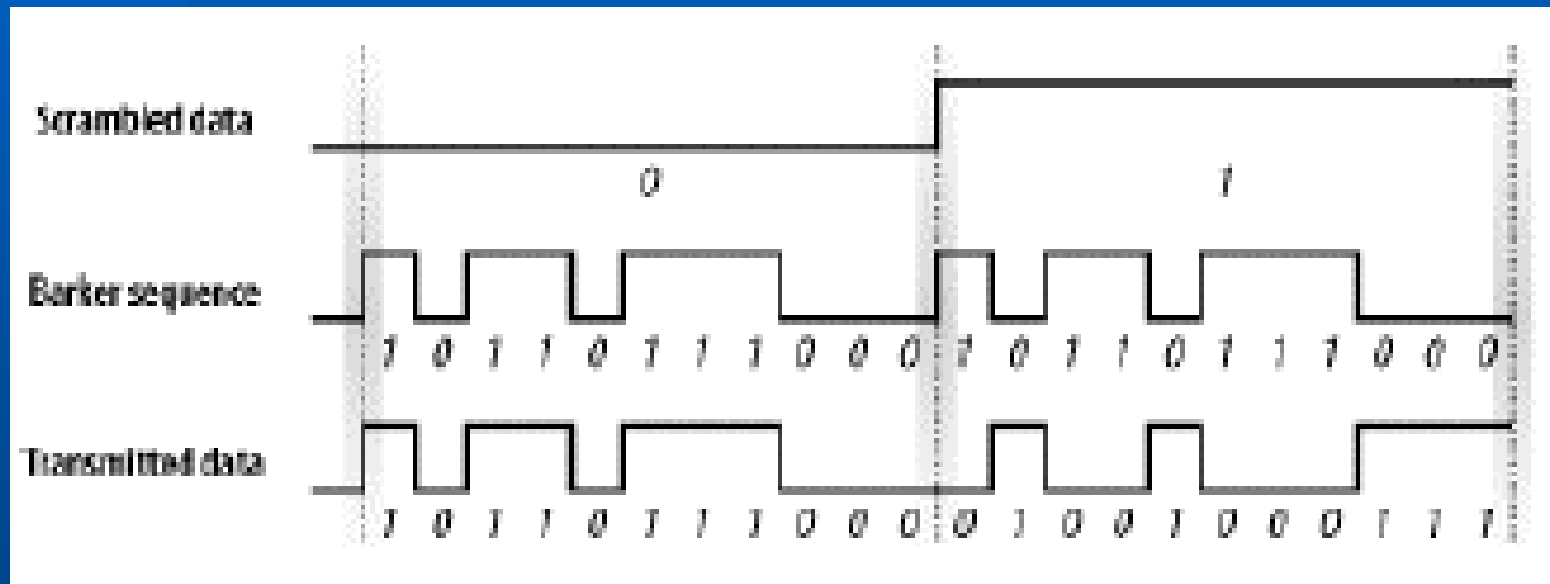
# Come avviene il DSSS (2)



## Come avviene il DSSS (3)

- Molti chip sono usati per codificare un singolo bit in una serie di chip.
- È la sequenza di bit trasportata dal flusso di chip che viene trasmessa in RF.
- In ricezione un “correlatore” mette a confronto la sequenza pseudo casuale nota al segnale ricevuto determinando se il bit trasmesso era un 1 o uno 0.

# Esempio di DSSS



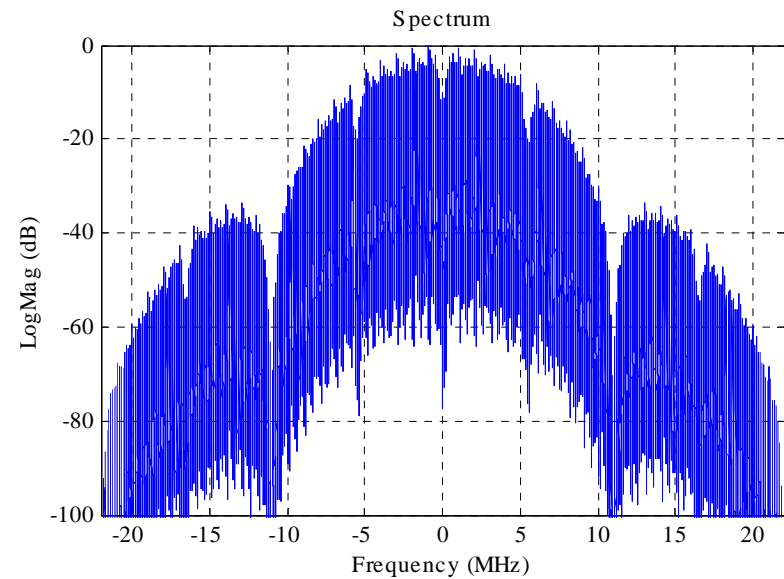
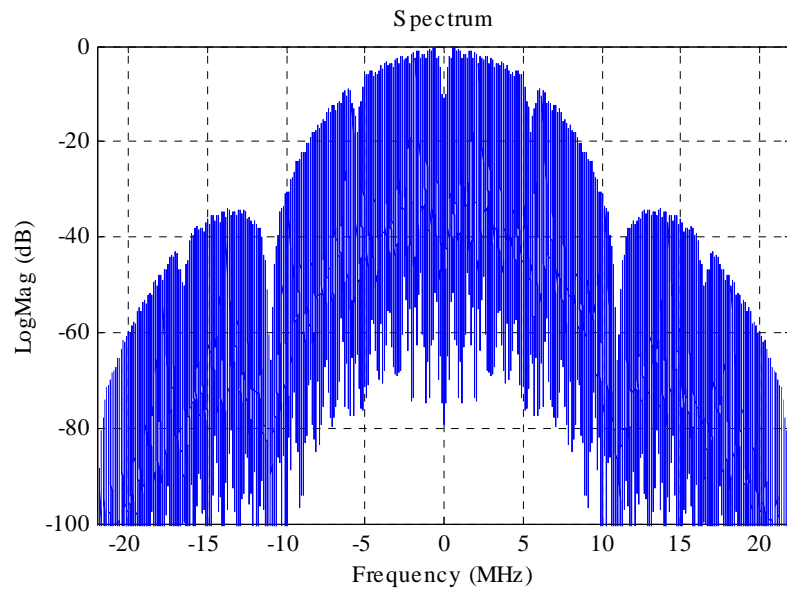
# Proprietà della sequenza PRN

- È stata adottata per il flusso di chip una sequenza di Barker lunga 11 bit.
- Ogni bit diventa quindi rappresentato da 11 bit.
- L'attributo chiave della sequenza di Barker è la buona funzione di autocorrelazione. Ciò significa che il ricevitore ha vita più semplice e quindi un funzionamento migliore in ambienti di rumore anche molto difficili.
- È relativamente tollerante all'interferenza da multipath.

# Arrivano i canali

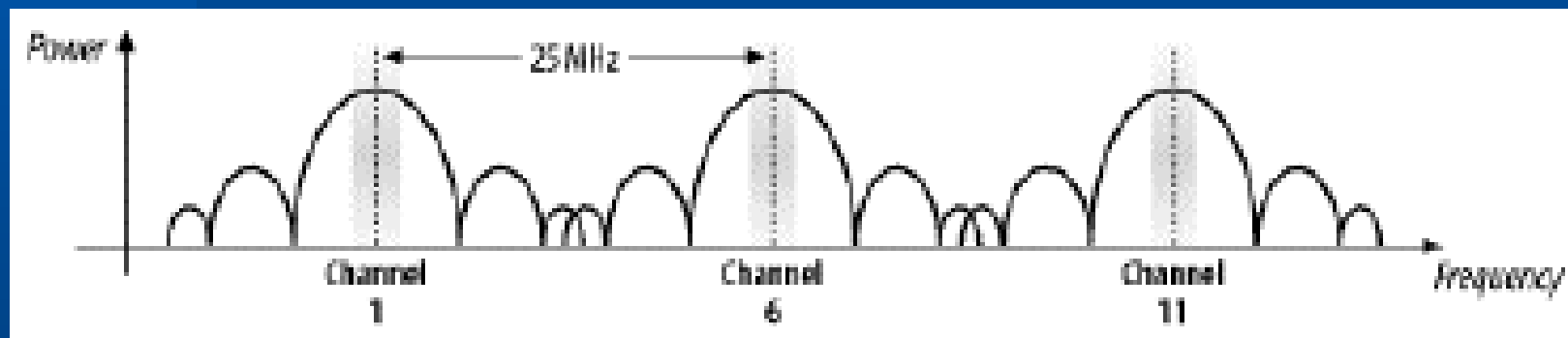
- 13 canali spazati di 5MHz
- Gran parte dell'energia di una trasmissione 802.11 DS è concentrata in 22MHz

# Lo spettro per 1 e 2Mb/s DS



# Spaziatura ottimale

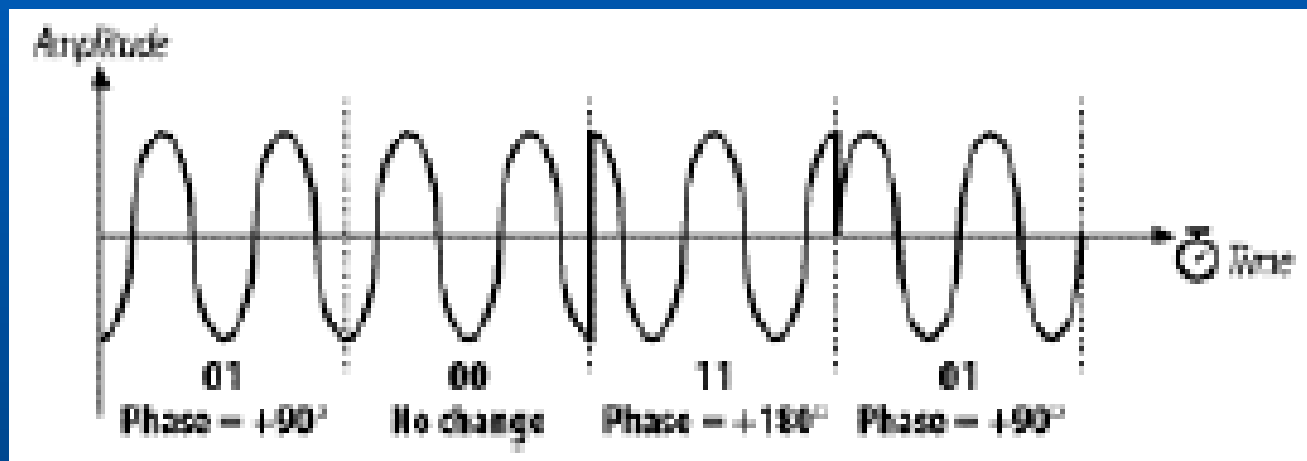
- Per prevenire interferenze bisogna quindi spaziare le “celle” adiacenti di 5 canali



# DPSK

- La modulazione usata per trasmettere il flusso *DS spreaded* è il DPSK.
- Non è la fase assoluta l'informazione trasmessa ma il cambiamento: nessun cambiamento 0, cambiamento di fase 1. Non è necessario che TX e RX abbiano lo stesso riferimento di fase (impossibile).
- Per aumentare la velocità si usa il DQPSK: 4 fasi, 2 bit per volta. Ovvie limitazioni di SNR.

# Esempio di DQPSK

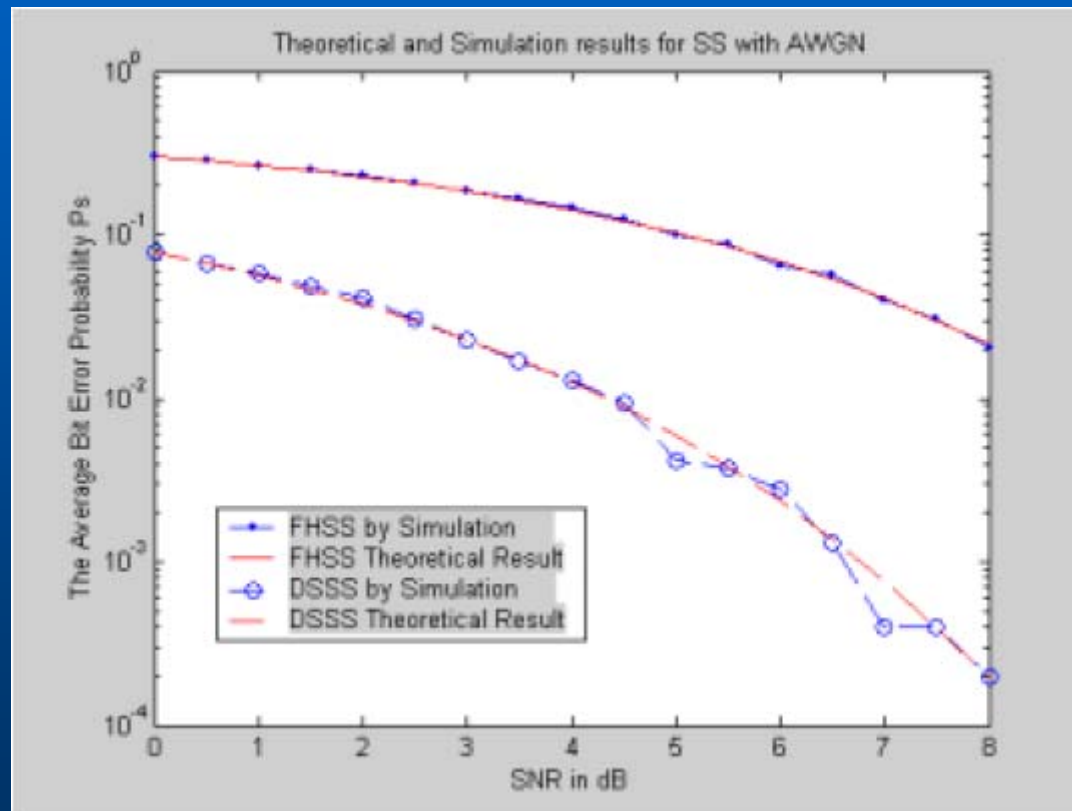


# PLCP e PMD per DS

- Simili alle caratteristiche del FH per sincronizzazione e “sbiancamento”.
- Il preambolo viene sempre trasmesso in DBPSK a 1Mb/s, il resto del frame, se possibile, a 2Mb/s con DQPSK.



# Prestazioni del FHSS e DSSSS



802.11: modulazioni a confronto.  
Normando iW6OWQ

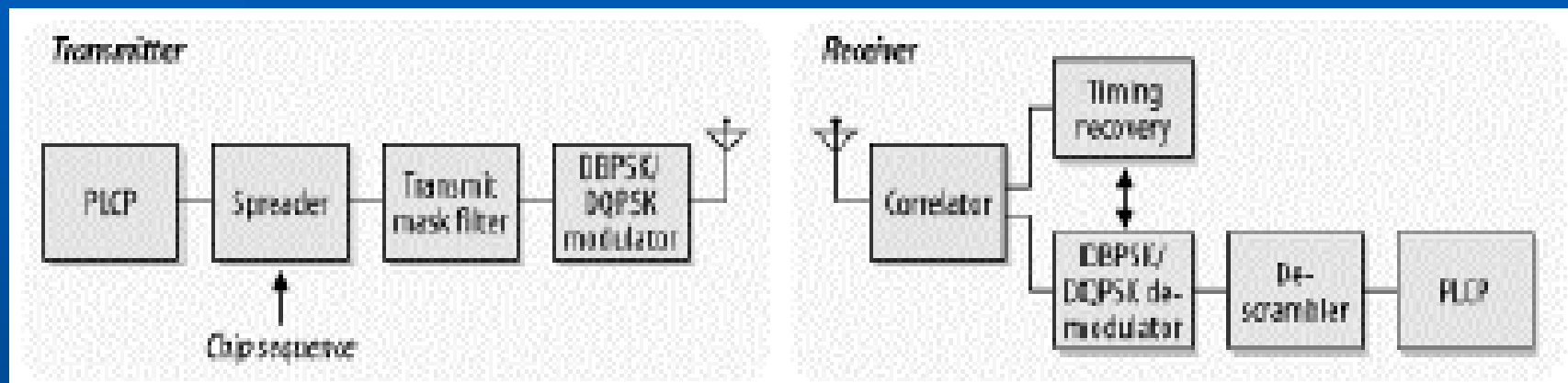
# DSSS contro FHSS: prestazioni

- **Minore probabilità di errore a parità di SNR a causa dell'uso del xPSK (più efficiente rispetto al xFSK di almeno 3dB).** 😊
- **Meno resistente a disturbi a larga banda che nel caso del DSSS colpiscono con più probabilità tutti i 20MHz di banda.**
- **Meno resistente a disturbi a banda stretta che fanno decadere la qualità del segnale ricevuto comunque e non solo nel caso di "hit" di un hop del FH.**

# Perché allora il DSSS?

- ***Velocità!***

# Schema a blocchi del sistema



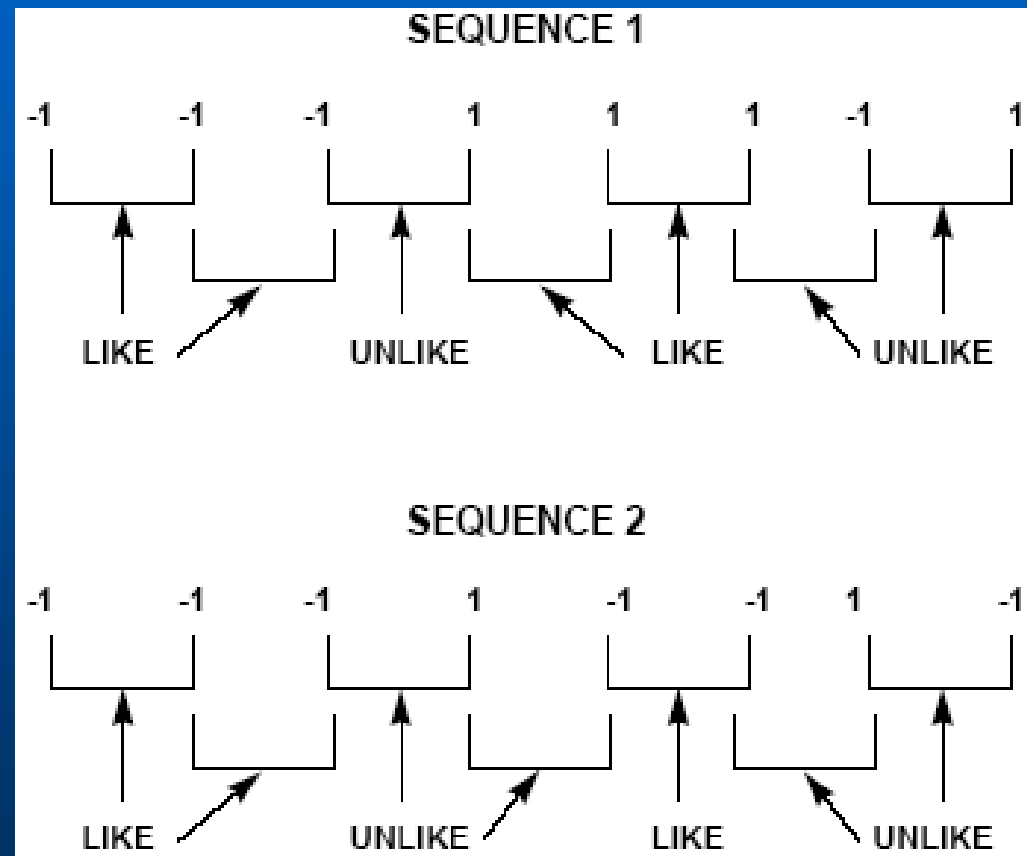
# Sempre più divertente...

- Nel 1999 nasce l'HR/DSSS: high rate DSSS.
- Fino a 11 Mb/s.
- Stessa canalizzazione del vecchio DSSS.
- Abbandono del xPSK per una codifica/modulazione completamente diversa.

# La codifica CCK

- È una codifica simile allo spreading già visto con la differenza che la sequenza di spreading è parzialmente derivata dagli stessi dati da trasmettere.
- Il “background” matematico è proibitivo 😊

# CCK più in dettaglio



802.11: modulazioni a confronto.  
Normando iW6OWQ

# CCK più in dettaglio (2)

PAIR SEPARATION	SEQUENCE 1		SEQUENCE 2	
	LIKE	UNLIKE	LIKE	UNLIKE
1	4	3	3	4
2	4	3	3	4
3	1	5	5	1

- Tali codici mostrano quindi una profonda simmetria... Cosa li rende appetitosi per un sistema di comunicazione?

## CCK più in dettaglio (3)

- Essi hanno una autocorrelazione estremamente piccata con picchi residui marginali.
- *Passo in avanti*: le proprietà mostrate per una sequenza binaria si possono riportare per una sequenza di fasi.

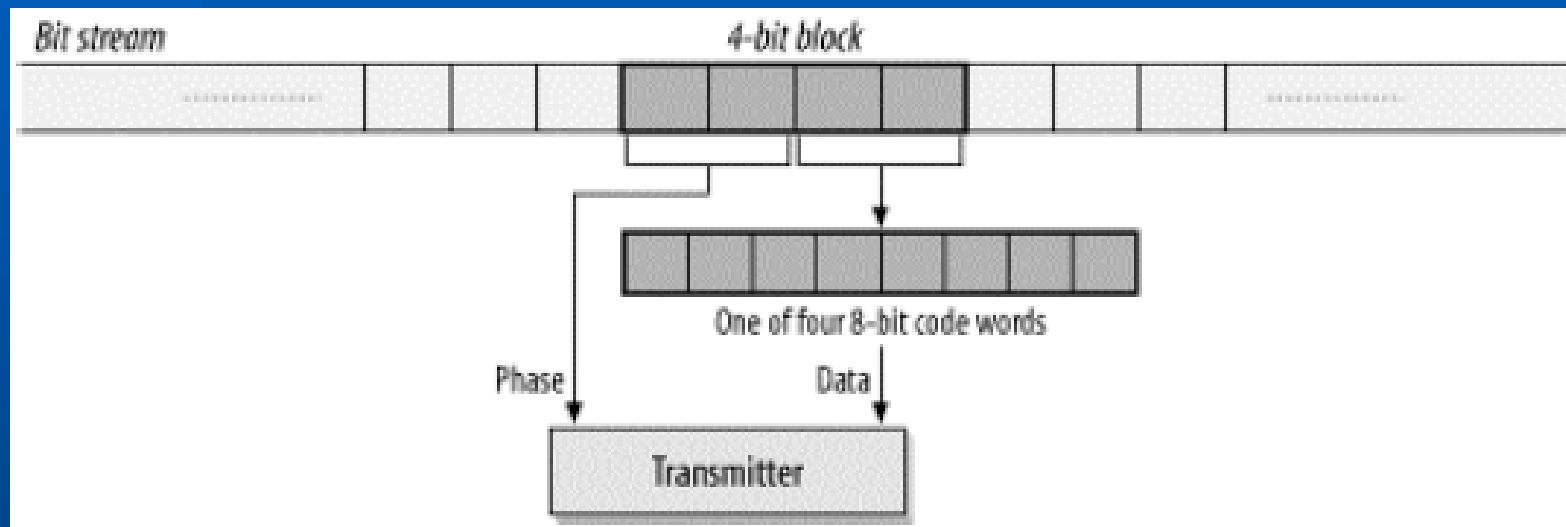
# Generazione del CCK

- Il codice complementare usato nel CCK comprende 65536 parole composte da 8 fasi di un QPSK ( $=4^8$ ).
- 64 di queste parole sono praticamente “ortogonali” ovvero particolarmente distinguibili.
- Pensiamo ai tre assi cartesiani, ortogonali per definizione.

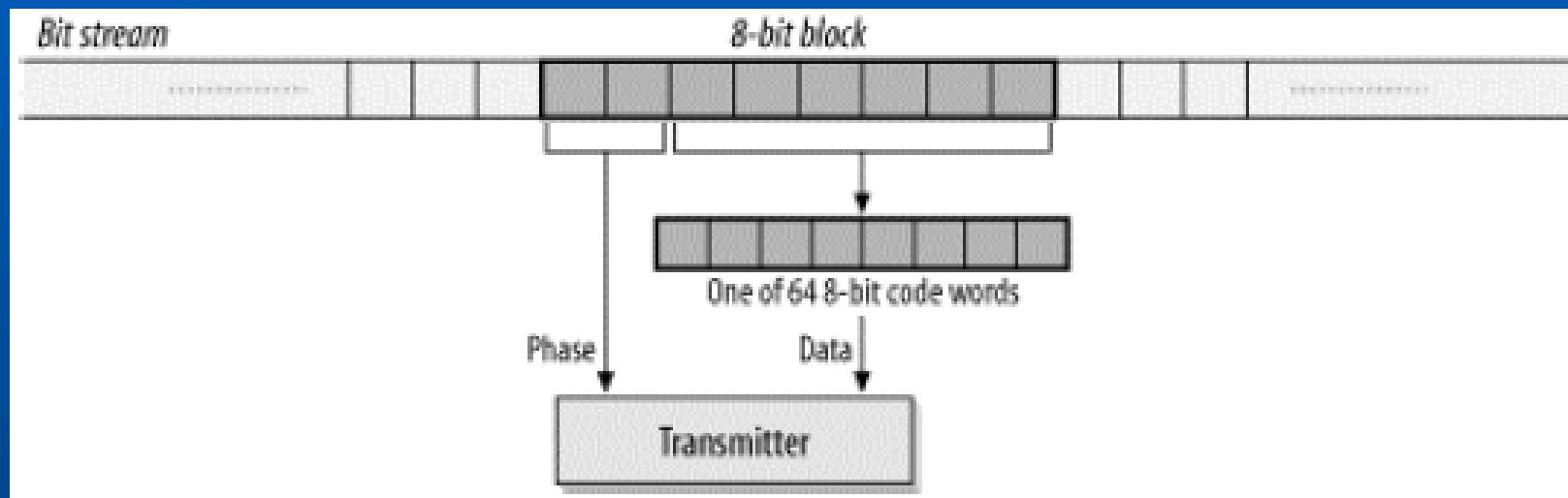
# Generazione del CCK (2)

- Lo spreading è effettuato con le parole del codice complementare che hanno una lunghezza di 8 chip a una velocità di 11Mchip/s.
- Trasmetto 6 bit scegliendo una parola di 8 chip. Altri 2 bit vengono inviati direttamente al trasmettitore per “ruotare” l’intera parola scelta.

# Generazione del CCK a 5.5Mb/s



# Generazione del CCK a 11Mb/s



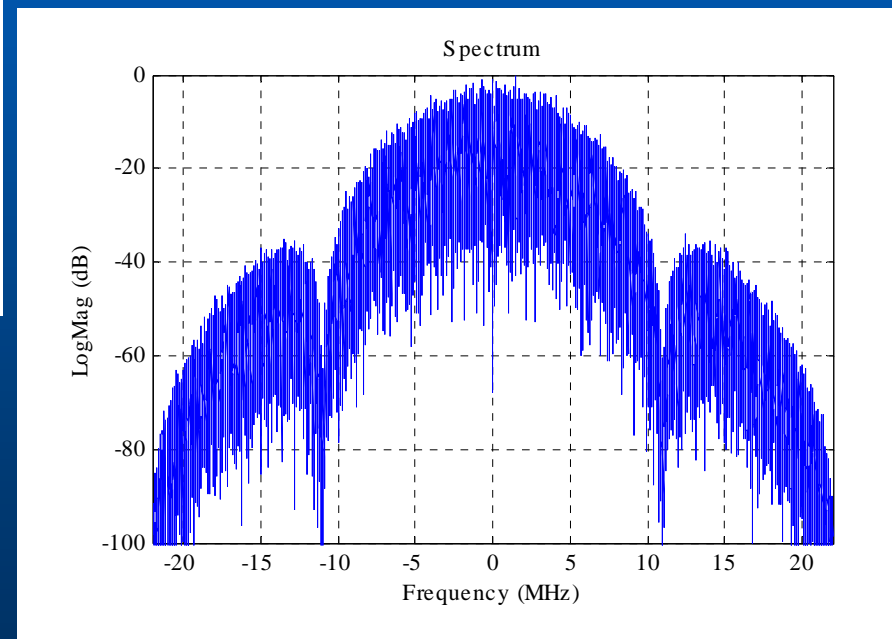
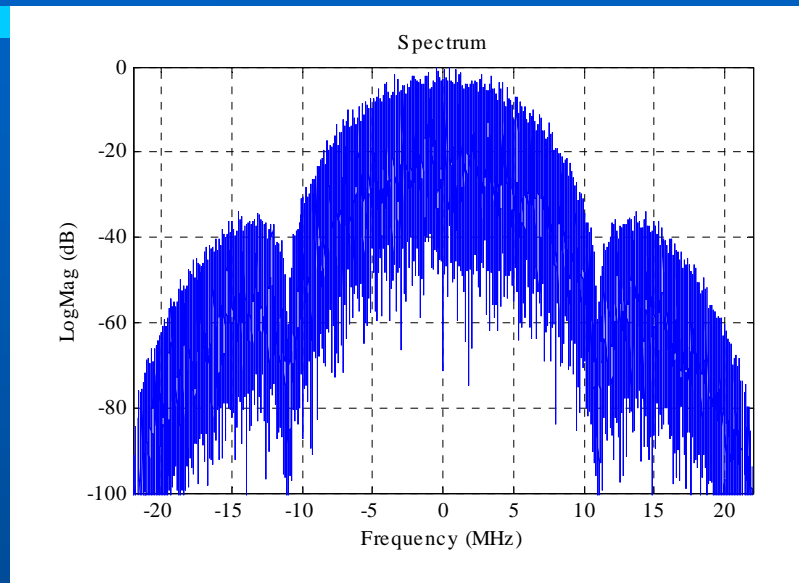
# PLCP per l'HR/DSSS

- **Due formati: un preambolo lungo e uno corto per performance più spinte. Quest'ultimo viene usato solo se tutte le stazioni lo supportano, ne basta una che non lo supporti perché tutte devono tornare a usare il lungo.**
- **La parte iniziale viene (a seconda della lunghezza scelta del preambolo) trasmessa comunque a 1 o 2Mb/s in DBPSK (lungo) o DQPSK (corto).**

# PMD per l'HR/DSSS

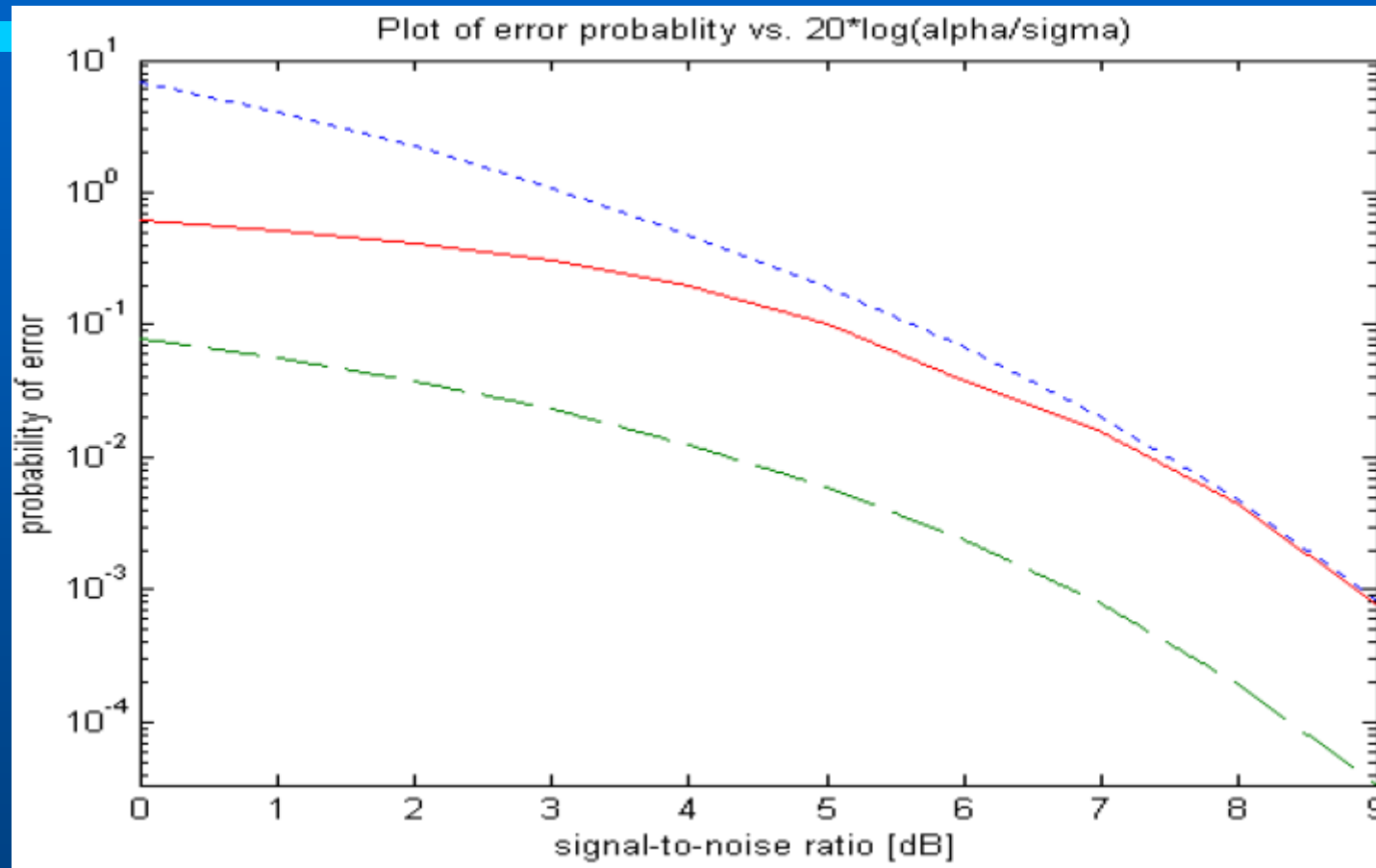
- Il trasmettitore è molto più complesso. Ma...
  - È architetturealmente compatibile con il classico DSSS e, come visto, supporta anche velocità intermedie come 5.5Mb/s.
  - *Anche per questo motivo il FH essendo architetturealmente molto diverso non è stato incluso nei più comuni chipset.*

# Spettro di HR/DSSS 5.5 e 11Mb/s



802.11: modulazioni a confronto.  
Normando iW6OWQ

# Performance del CCK



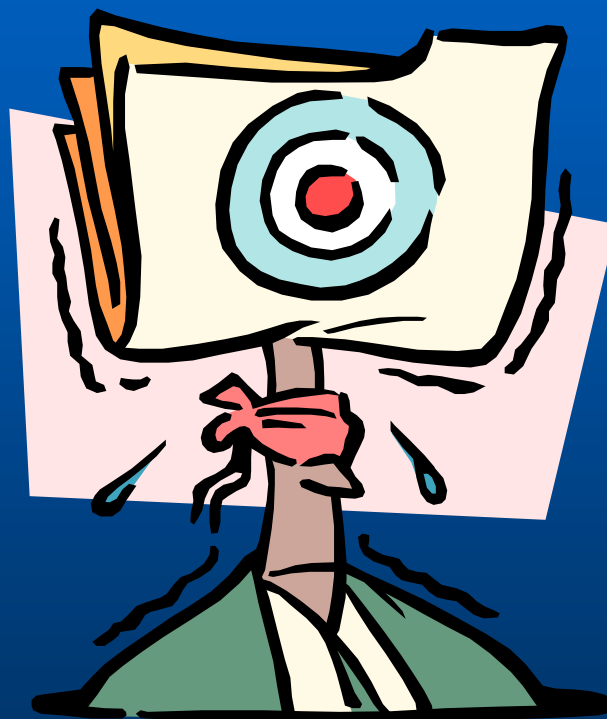
# Performance del CCK (2)

- **Esempio:  $P_e$  di  $10^{-1}$  (1 bit errato ogni 10)**
  - DSSS 0dB di SNR
  - CCK 5dB di SNR

# Tolleranza al multipath

- **Fondamentalmente nessuno degli schemi di modulazione tollera il multipath.**
- **Ci possiamo difendere soltanto usando antenne più direttive possibile.**
- **Soluzione al multipath: usare antenne opportunamente accoppiate con uno sfasatore regolabile in modo da cancellare la riflessione indesiderata... E quando affittiamo??? 😊**

# Domande???



802.11: modulazioni a confronto.  
Normando iW6OWQ