

Nuove tecnologie di modulazione per 3G, TV Broadcasting e Wireless LAN

C.R.S.T.

Centro Ricerche Sistemi Tecnologici

Relatore: Carlo Mozetic - Roma 2007



Agenda



- I mercati delle Wireless LAN e della TV digitale
- Rivisitazione delle tecnologie:
 - Tecnologie tradizionali, Single Carrier Modulation (SCM – 3G)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Paragoni fra differenti sistemi commerciali OFDM:
 - W-Lan
 - DVB-T
 - DAB
- Misure su sistemi OFDM
 - Esempi di troubleshooting su sistemi OFDM

Agenda



- **I mercati delle Wireless LAN e della TV digitale**
- Rivisitazione delle tecnologie:
 - Tecnologie tradizionali, Single Carrier Modulation (SCM – 3G)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Paragoni fra differenti sistemi commerciali OFDM:
 - W-Lan
 - DVB-T
 - DAB
- Misure su sistemi OFDM
 - Esempi di troubleshooting su sistemi OFDM

I mercati delle Wireless LAN

- **Le W-LAN sono state progettate per essere una valida alternativa alle wired-LAN perché:**

- **La cablatura degli edifici è costosa e può essere di difficile attuazione**
 - **I luoghi dove avvengono frequenti riorganizzazioni necessitano di reti temporanee (ad esempio sale di conferenza e fiere pubbliche)**
- **Esse offrono connettività dati, ma anche VoIP**
- **Gli standard delle W-LAN stanno inseguendo le performances delle wired-LAN:**
 - **1Mb/s → 11Mb/s → 54 Mbps → 108Mbps?**



Comparazione fra differenti standards per W-LAN

	802.11b*	IEEE 802.11 802.11a	802.11g	ETSI HyperLan
Banda utilizzata	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	5GHz
Bit-Rate nominale	11Mbps	54Mbps	54Mbps	54Mbps
Bit-Rate max reale	7Mbps	35Mbps	35Mbps	35Mbps
Bit-Rate tipico per utente	700Kbps-7Mbps	n/a	n/a	n/a
Capacità Access Point	~50 utenti	n/a	n/a	n/a
Copertura	10-40m @11Mbps	5-10m @35Mbps 10-40m @15Mbps	n/a	n/a

* 802.11b non usa la tecnologia OFDM

Applicazioni W-Lan



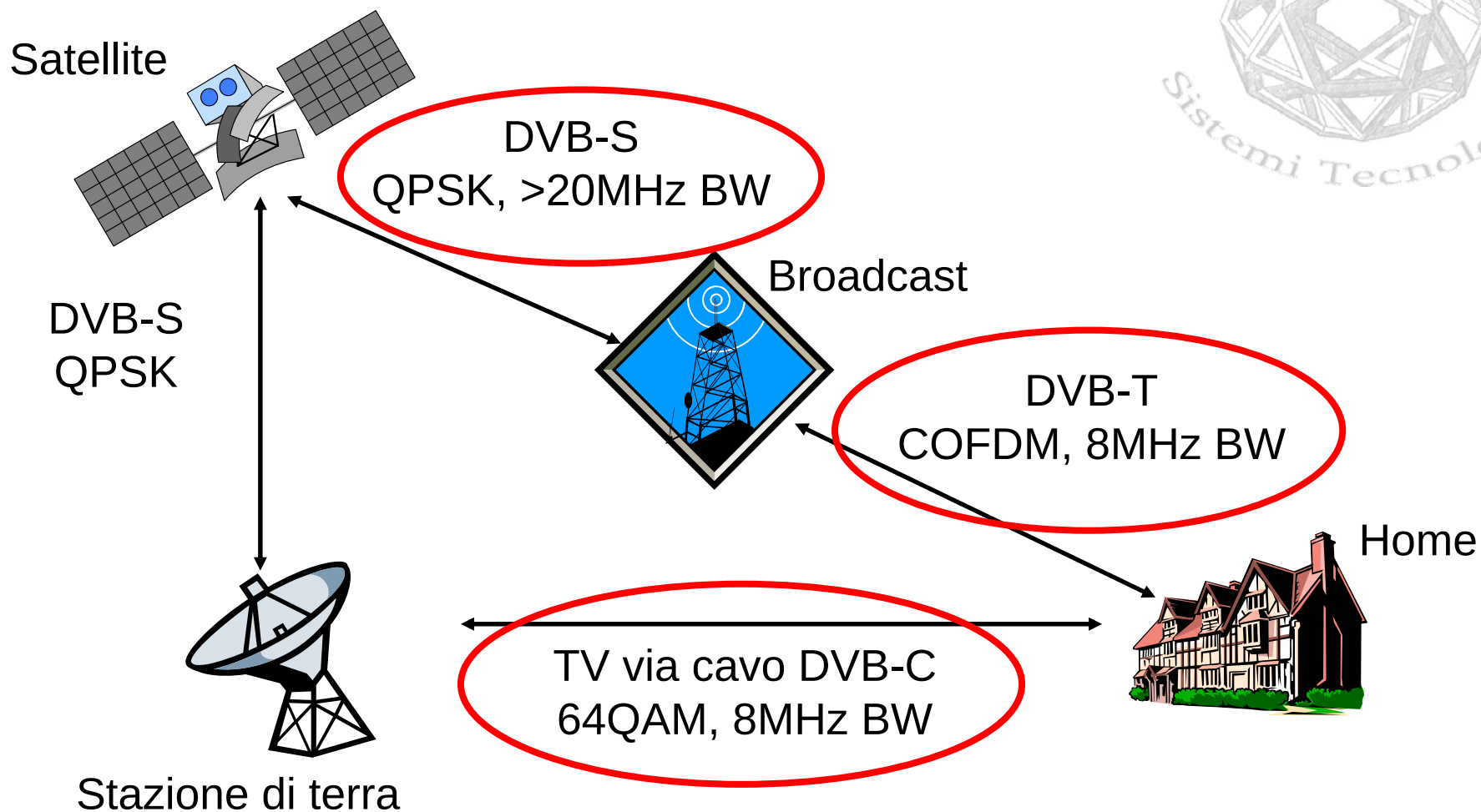
- **Le principali applicazioni sono orientate alle comunicazioni:**
 - **Connettività dati (come alternativa alle wired-Lan)**
 - **Voice over W-Lan (VoIP)**
- **Altre applicazioni sono orientate all'integrazione dei processi di produzione**
- **Reti a corto raggio (Bluetooth™)**

Il mercato della TV digitale

- L'impatto della trasformazione della rete di diffusione, da analogica a digitale
- La maggiore rivoluzione dal 1960 (PAL/SECAM standards)
- Tutti i maggiori paesi europei coinvolti; differenti timeframes
- Due obiettivi principali:
 - Aumentare e stabilizzare la qualità del segnale TV ricevuto
 - Implementare un canale di ritorno (servizi interattivi) per estendere la comunità digitale



Lo scenario DVB



Il sistema DVB è composto da una famiglia di standards

Agenda



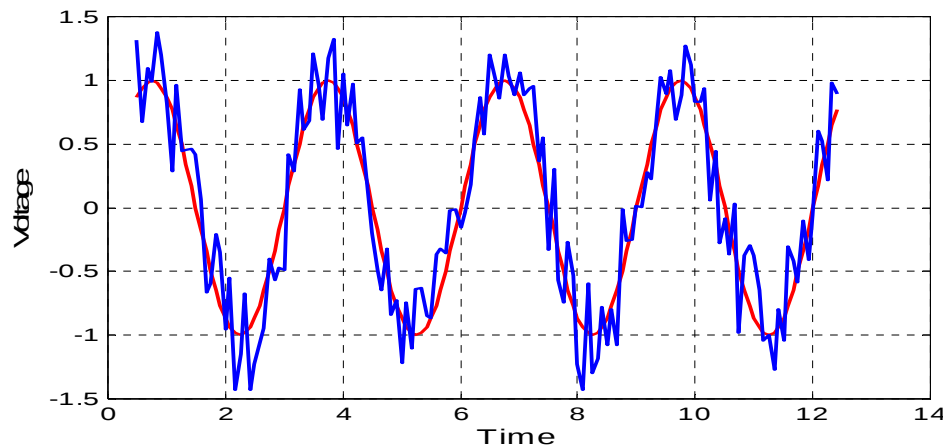
- I mercati delle Wireless LAN e della TV digitale
- **Rivisitazione delle tecnologie:**
 - Tecnologie tradizionali, Single Carrier Modulation (SCM – 3G)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Paragoni fra differenti sistemi commerciali OFDM:
 - W-Lan
 - DVB-T
 - DAB
- Misure su sistemi OFDM
 - Esempi di troubleshooting su sistemi OFDM

Tecnologia SCM

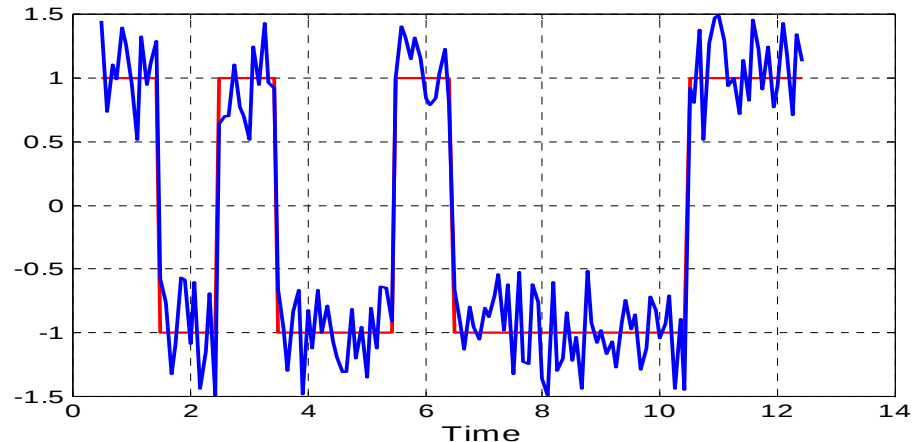
SCM=Single Carrier Modulation



- **Evoluzione diretta dalla modulazione analogica**
- **I Bit costituiscono dei simboli a loro volta presi da un alfabeto predefinito**

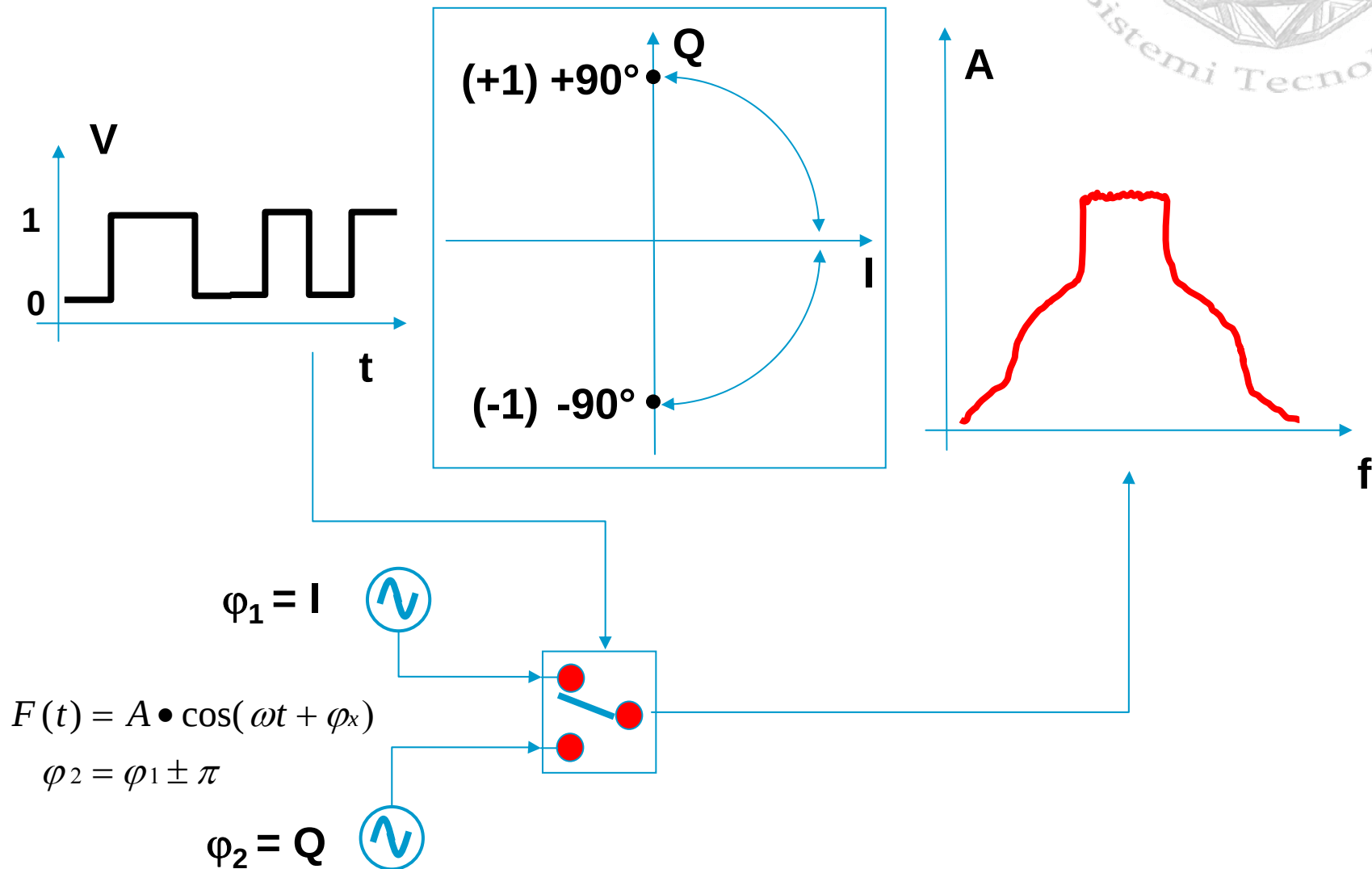


ANALOGICO: Fedele riproduzione dei segnali trasmessi in ricezione (?)

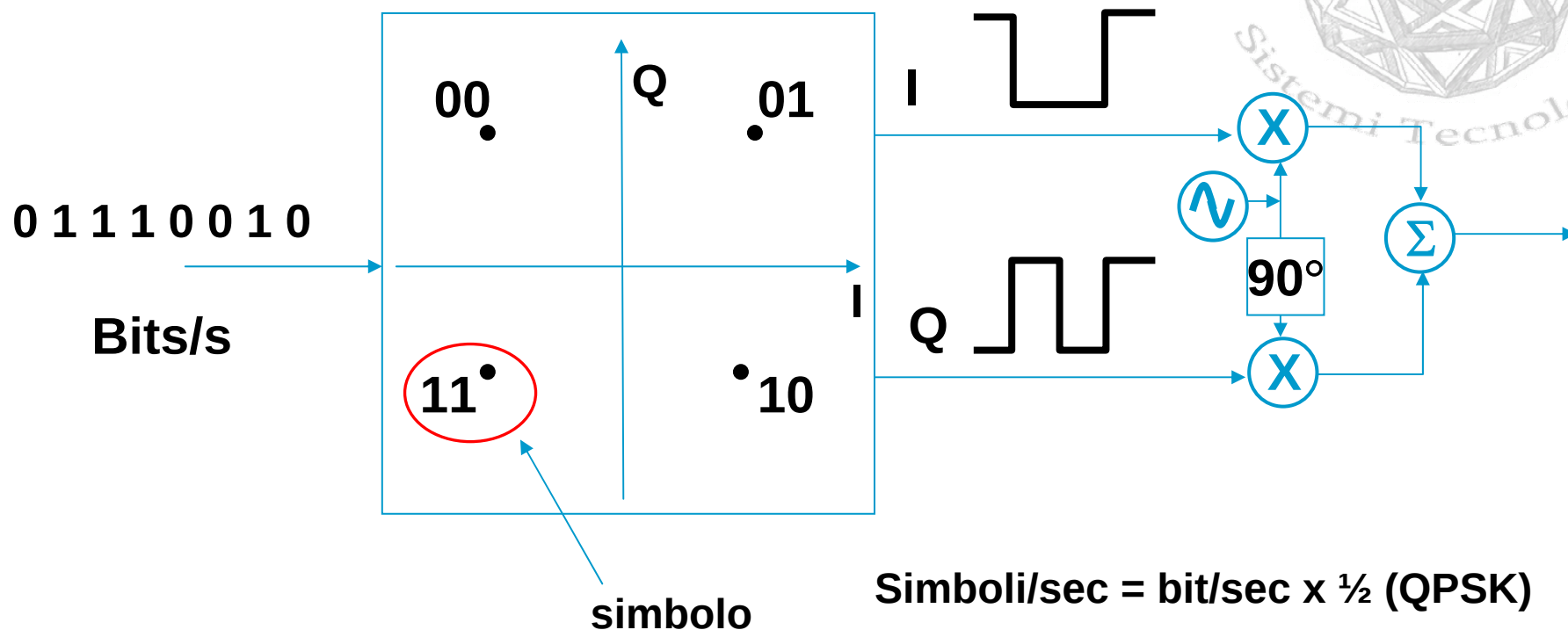


DIGITALE : Decidere quale simbolo è stato inviato partendo da un alfabeto predefinito

Modulazione di un segnale digitale



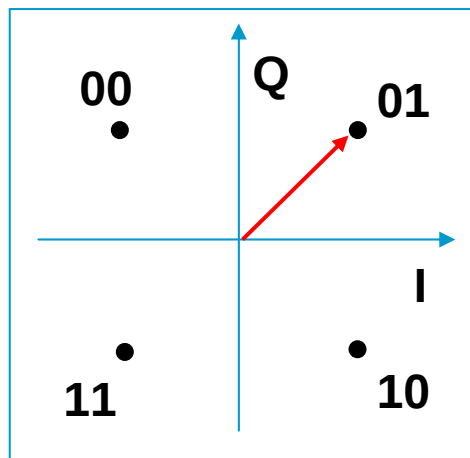
Esempio di trasmissione SCM: modulatore QPSK



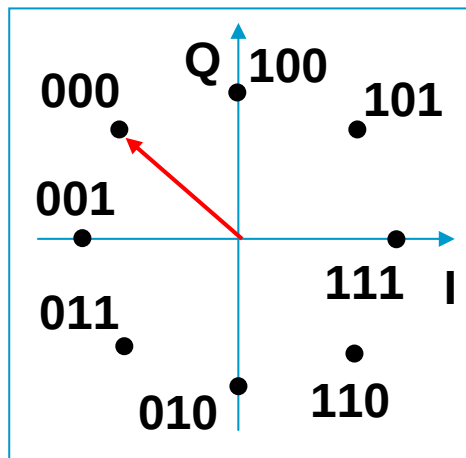
Nota:

Lo spettro occupato dipende dalla banda dei segnali I e Q (velocità di informazioni al secondo) e dalla risposta dei filtri di banda base

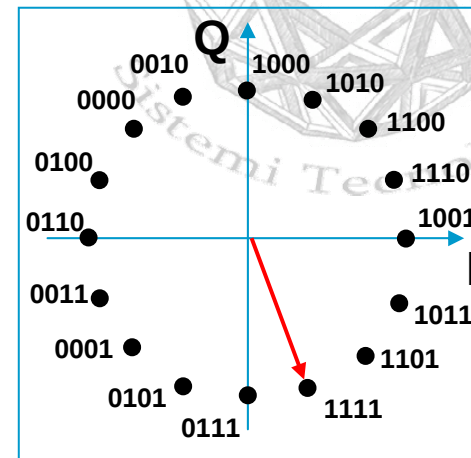
Trasmissione SCM: altri tipi di modulazione digitale



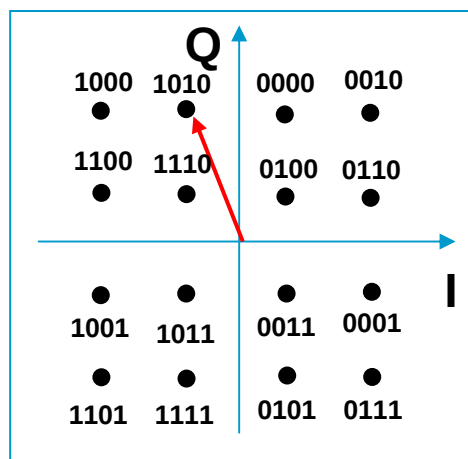
QPSK



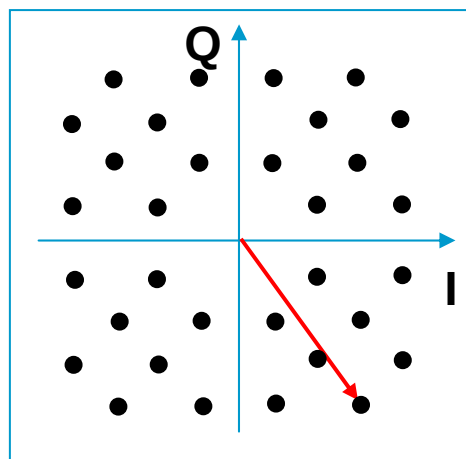
8PSK



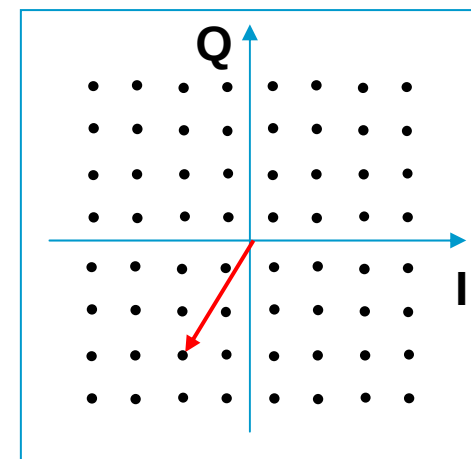
16PSK



16QAM



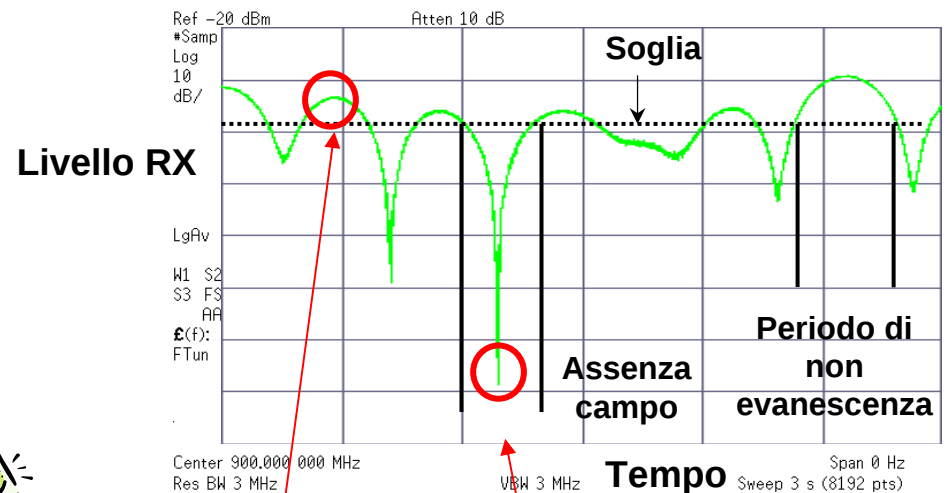
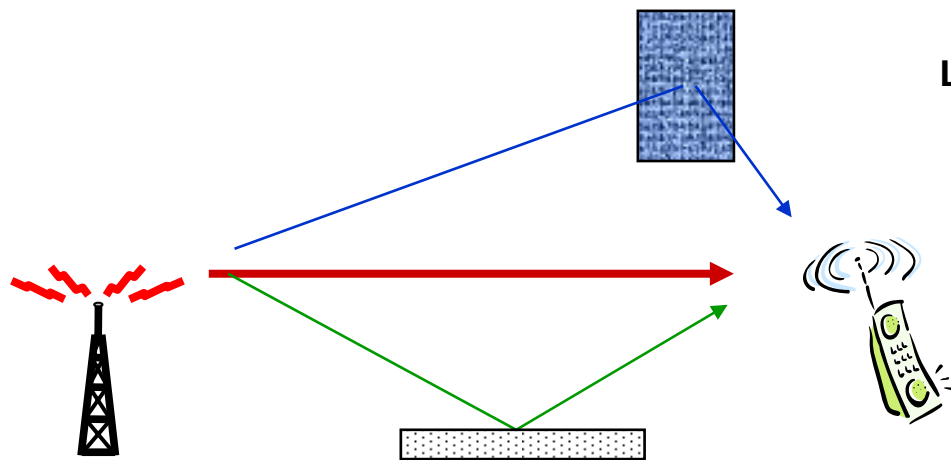
32QAM



64QAM

Comportamento di una trasmissione radio in ambienti wireless

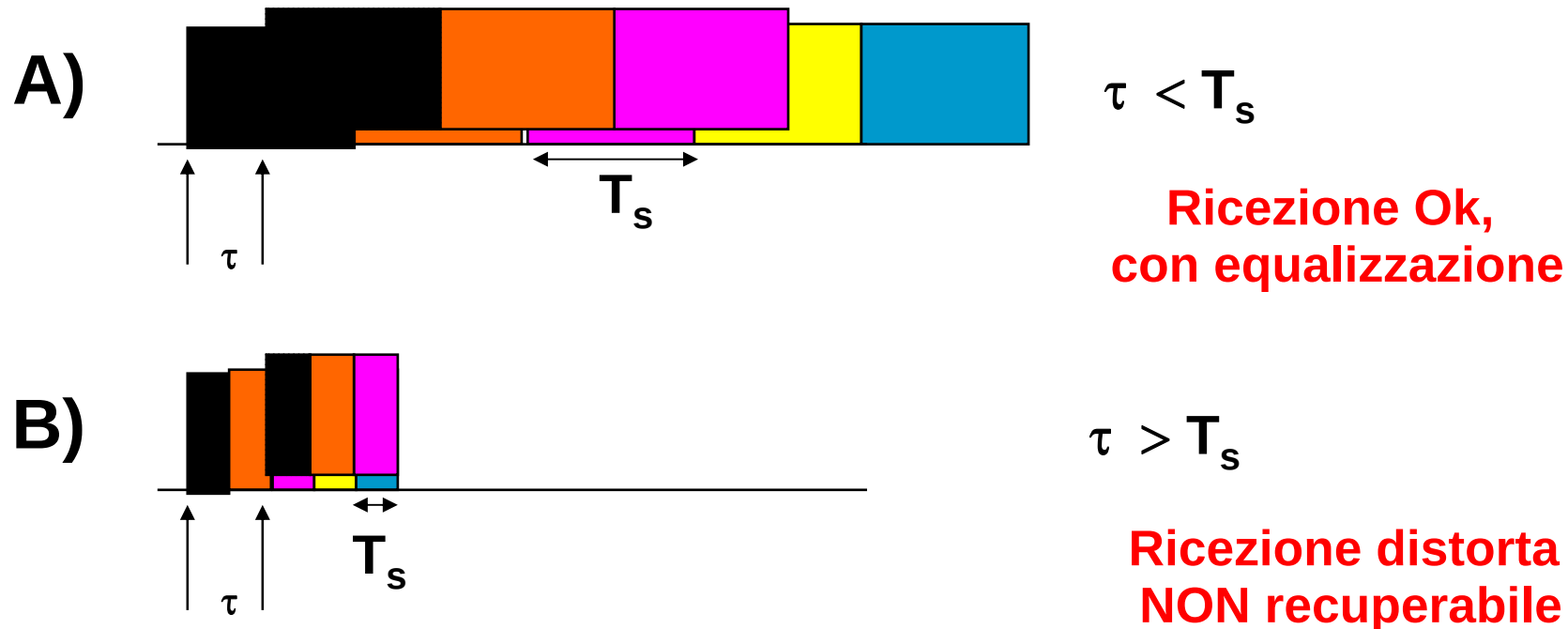
- Una trasmissione in ambienti wireless è quasi sempre affetta da problematiche legate all'esistenza di riflessioni multiple (interferenze Multi-path)



Al ricevitore:

Il delay spread di canale e il symbol-rate

- τ è il delay spread nel canale di propagazione
- T_s è il periodo di un simbolo in trasmissione



Canali ad elevato symbol-rate possono essere affetti da forti distorsioni causati da multipath che non consentono di recuperare il segnale ricevuto

Data Rates utilizzati dalle comuni tecnologie digitali



- GSM: 270Kbps (33.8Kbps per utente)
- Private Mobile Networks: es. TETRA: 36Kbps
- UMTS: up to 2Mbps → *ma usa la tecnologia CDMA*
- Bluetooth: grossomodo 700 Kbps → *ma usa il frequency hopping*
- Digital Radio Links: centinaia di Mbps → *ma si tratta di un punto-punto*
- Wireless LAN: 1Mbps/11Mbps/54Mbps/...
- Digital TV: MPEG stream at >20 Mbps...

→ **OFDM**

La tecnologia CDMA: esempio di generazione dei codici

Hadamard Matrix

$$\begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & \overline{H_n} \end{bmatrix}$$

$\equiv$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Walsh codes

$$\left[\begin{array}{cc|cc} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \right]$$

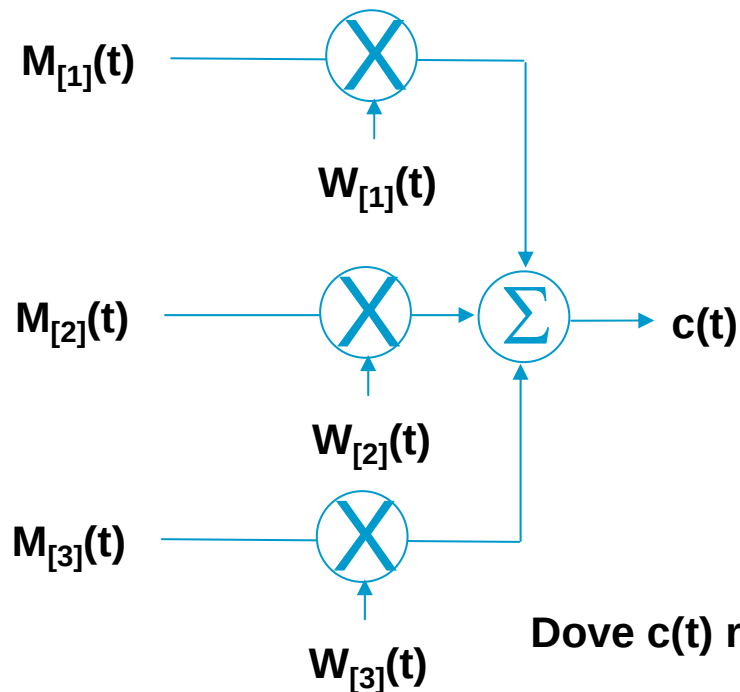
1	1	1	1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1

La tecnologia CDMA: esempio di codifica



messaggio m1	1	-1	1
messaggio m2	1	1	-1
messaggio m3	-1	1	1

codice w1	-1	1	-1	1
codice w2	-1	-1	1	1
codice w3	-1	1	1	-1



m1(t)	1				-1				1			
m1(t)	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
w1(t)	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
m1(t) w1(t)	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
m2(t)	1				1				-1			
m2(t)	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
w2(t)	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
m2(t) w2(t)	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
m3(t)	-1				1				1			
m3(t)	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
w3(t)	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
m3(t) w3(t)	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1

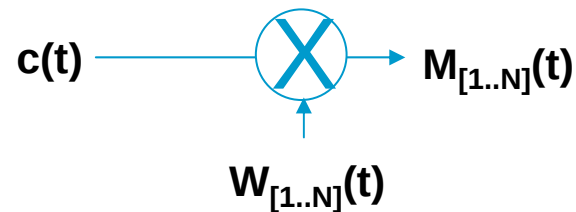
Dove $c(t)$ rappresenta il segnale composto da trasmettere

La tecnologia CDMA: esempio di decodifica



messaggio m1	1	-1	1
messaggio m2	1	1	-1
messaggio m3	-1	1	1

c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w1(t)	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
c(t) w1(t)	1	-1	1	3	1	-1	-3	-1	1	3	1	-1
m1(t)				4				-4				4



c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w2(t)	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
c(t) w2(t)	1	1	-1	3	1	1	3	-1	1	-3	-1	-1
m2(t)				4				4				-4

c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w3(t)	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
c(t) w3(t)	1	-1	-1	-3	1	-1	3	1	1	3	-1	1
m3(t)				-4				4				4

La tecnologia CDMA: effetto del multipath (caso: $\tau = T_s$)

Segnale correlato

c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w1(t)	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
c(t) w1(t)	1	-1	1	3	1	-1	-3	-1	1	3	1	-1
m1(t)				4				-4				4

c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w2(t)	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
c(t) w2(t)	1	1	-1	3	1	1	3	-1	1	-3	-1	-1
m2(t)				4				4				-4

c(t)	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w3(t)	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
c(t) w3(t)	1	-1	-1	-3	1	-1	3	1	1	3	-1	1
m3(t)				-4				4				4

Segnale NON correlato

c(t)	-1	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w1(t)	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
c(t) w1(t)	1	-1	1	-1	-3	-1	1	3	1	-1	-3	-1	
m1(t)				0				0				-4	

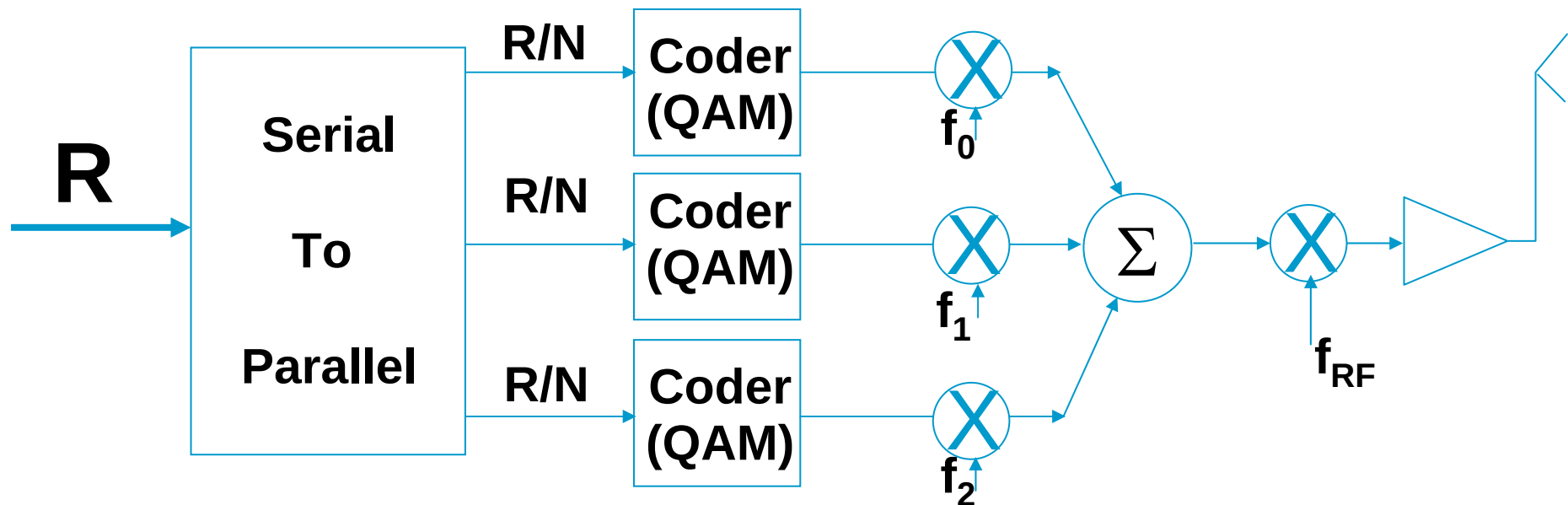
c(t)	-1	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w2(t)	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	
c(t) w2(t)	1	1	-1	-1	-3	1	-1	3	1	1	3	-1	
m2(t)				0				0				4	

c(t)	-1	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1
w3(t)	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	
c(t) w3(t)	1	-1	-1	1	-3	-1	-1	-3	1	-1	3	1	
m3(t)				0				-8				4	

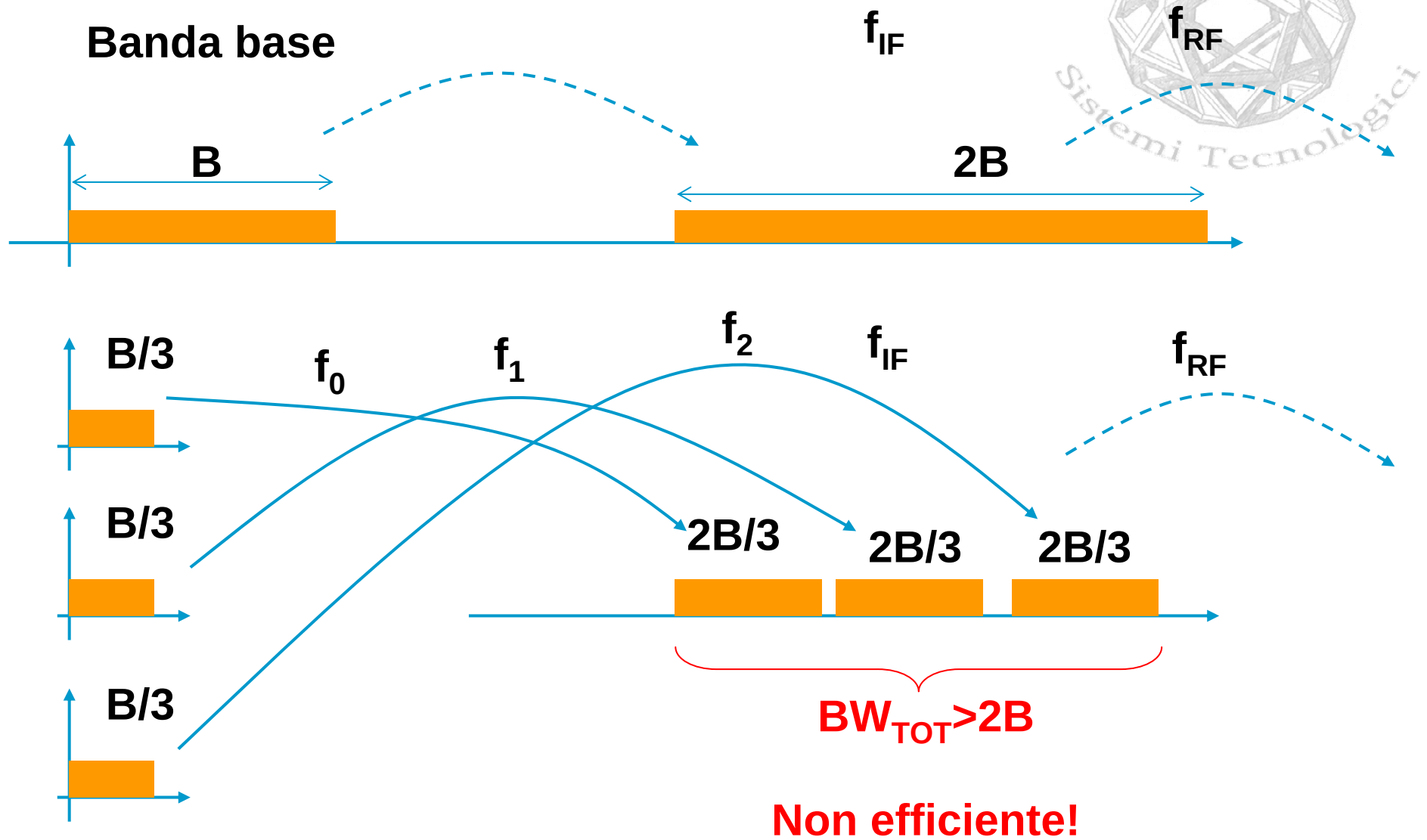
Le riflessioni si traducono in segnali non correlati che vengono ignorati dal sistema

Da “Single Carrier Modulation” (SCM) a “Frequency Division Multiplexing” (FDM)

- Un flusso di informazioni ad alta velocità modulato su una singola portante è troppo sensibile al multipath...
- **IDEA: dividerlo in più flussi a velocità più bassa da modulare a loro volta su portanti differenti**

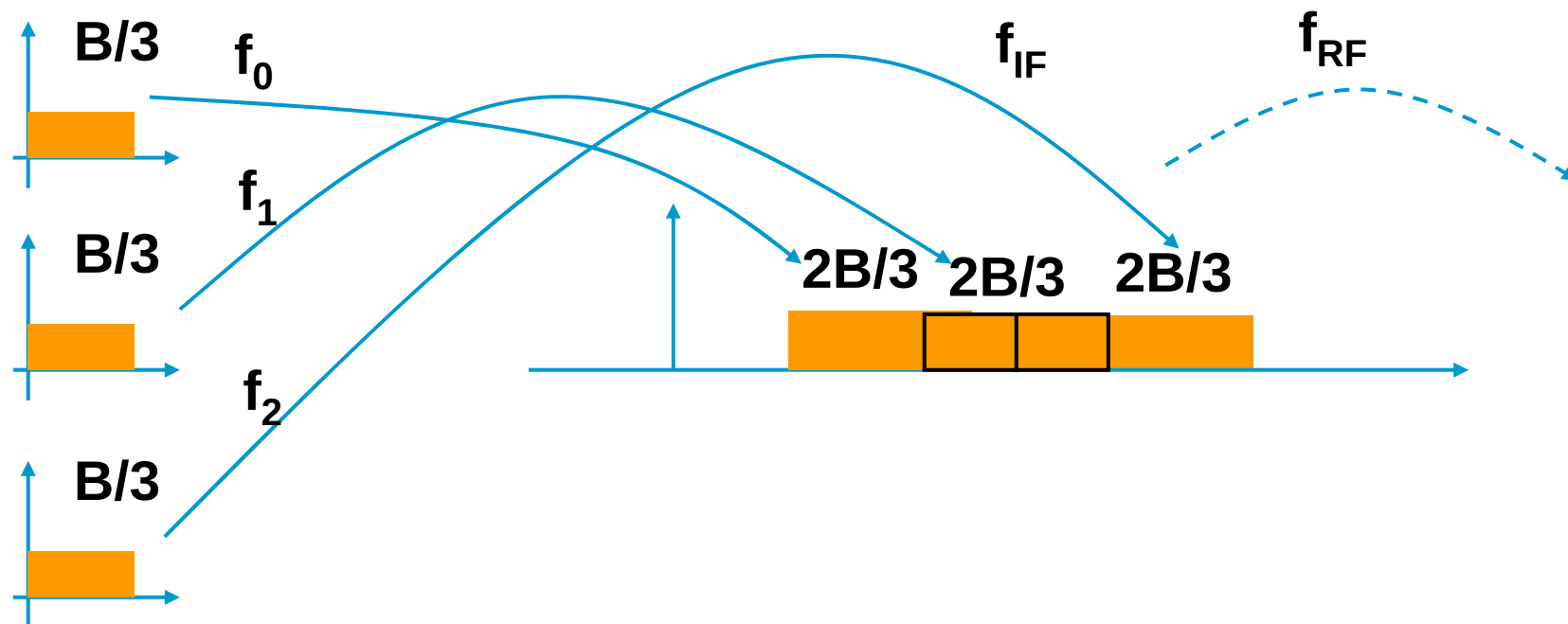


Efficienza di banda FDM - Esempio: $N=3$



Dall'FDM all'Orthogonal FDM (OFDM)

- Se le sottoportanti venissero scelte fra un set di frequenze ortogonali fra loro, ogni sotto banda può essere parzialmente sovrapposta alle altre...



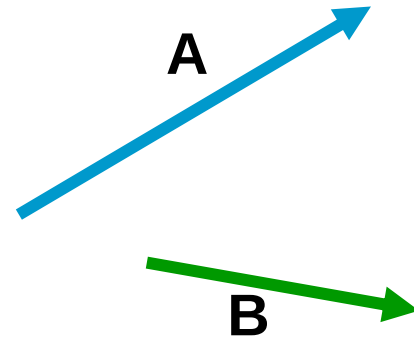
Che significa che le frequenze sono ortogonali ??

Concetto di ortogonalità



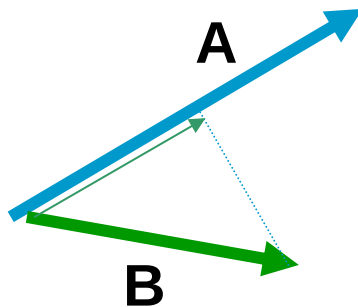
- **L'ortogonalità non è un concetto fisico**
- **L'ortogonalità è un'idea che appartiene al dominio della matematica e dell'algebra**
- **L'ortogonalità è una proprietà definita secondo una funzione di misura specifica**

Ortogonalità esempio 1: vettori in uno spazio a 2 dimensioni

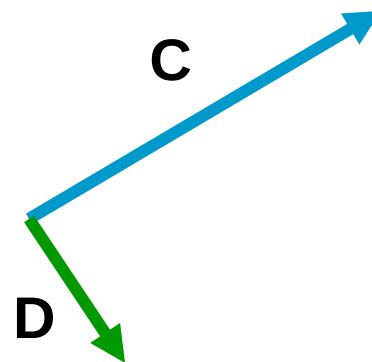


**A e B sono
ortogonali ?**

Funzione di misura F = prodotto scalare



**NO:
A e B non sono
ortogonali**



**SI:
C e D sono
ortogonali**

Ortogonalità esempio 2: Vettori numerici



$$A = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]$$

A e B sono ortogonali ?

$$B = [1 \quad -1 \quad -1 \quad 1]$$

A e C sono ortogonali ?

$$C = [1 \quad 1 \quad 1 \quad -1]$$

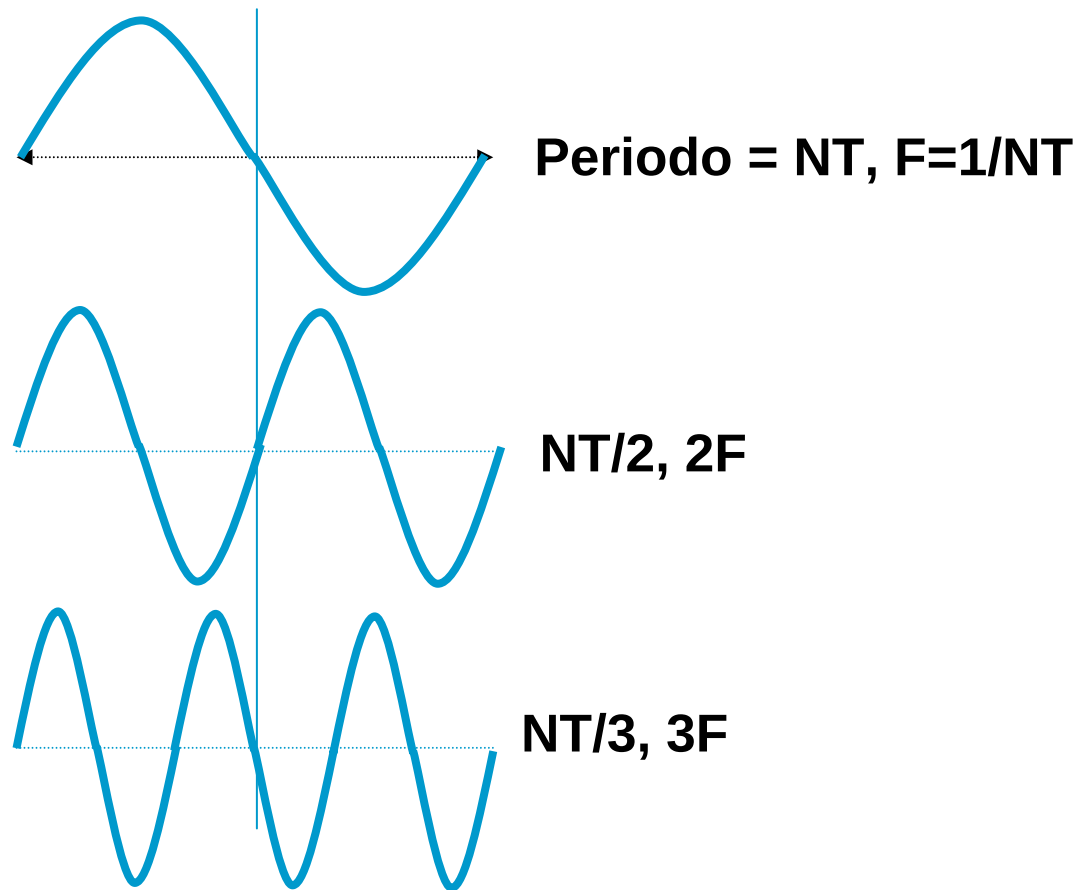
Funzione di misura F = prodotto scalare

$$A \cdot B = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] * [1 \quad -1 \quad -1 \quad 1]^T = 1 - 1 - 1 + 1 = 0 \quad \text{A e B sono ortogonali}$$

$$A \cdot C = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] * [1 \quad 1 \quad 1 \quad -1]^T = 1 + 1 + 1 - 1 = 2 \quad \text{A e C non sono ortogonali}$$

$$A \cdot A = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] * [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T = 1 + 1 + 1 + 1 = 4$$

Ma anche le onde sinusoidali a frequenze differenti possono essere ortogonali...



$$F_1(t) = \sin(2\pi F t)$$

$$F_2(t) = \sin(2\pi 2F t)$$

$$F_3(t) = \sin(2\pi 3F t)$$

F_1 , F_2 , F_3 sono ortogonali !

Frequenze ortogonali...

$$F_1(t) = \sin(2\pi F t) = \sin(2\pi (1/NT) t)$$

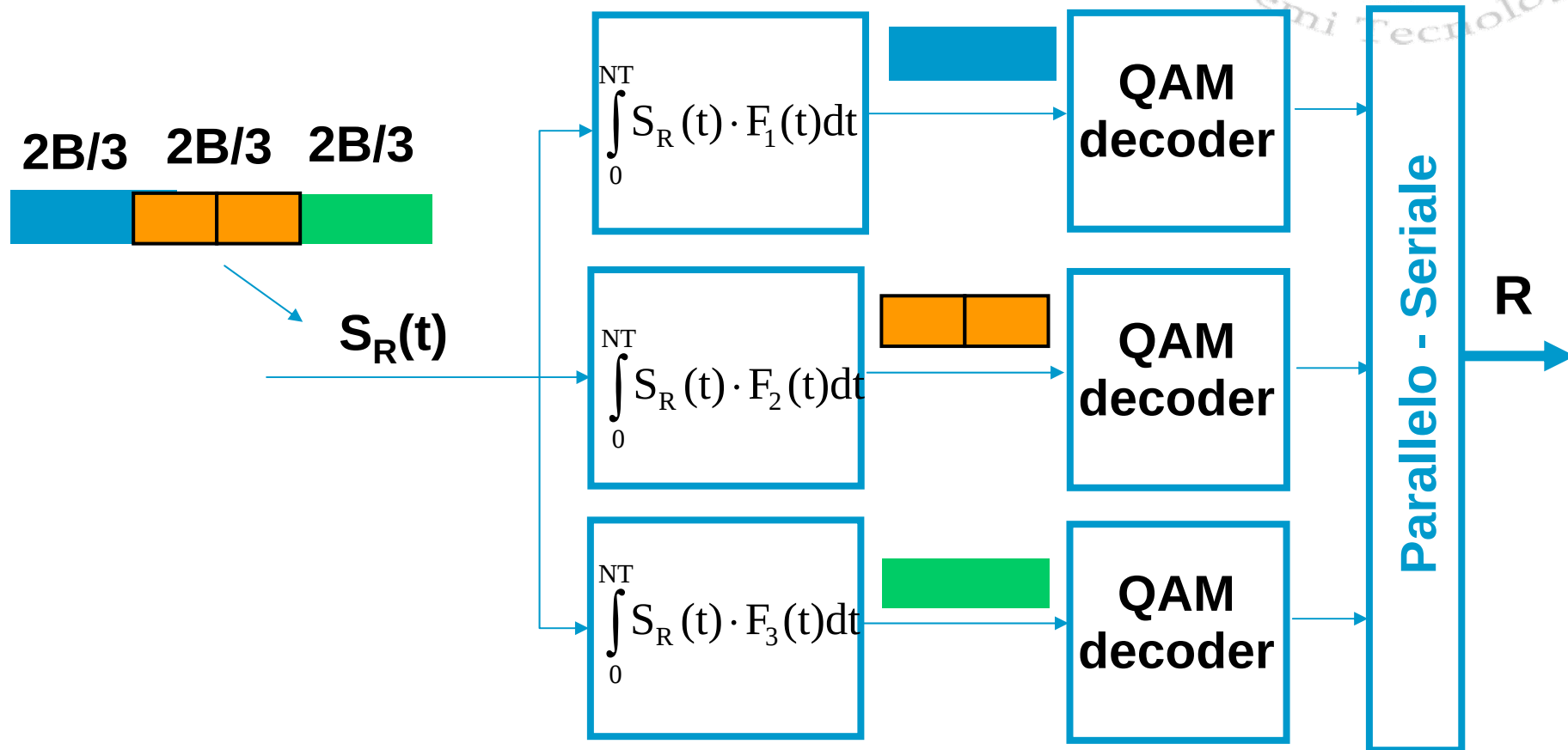
$$F_2(t) = \sin(2\pi 2F t) = \sin(2\pi (2/NT) t)$$

$$\int_0^{NT} F_1(t) \cdot F_2(t) dt = 0!!$$

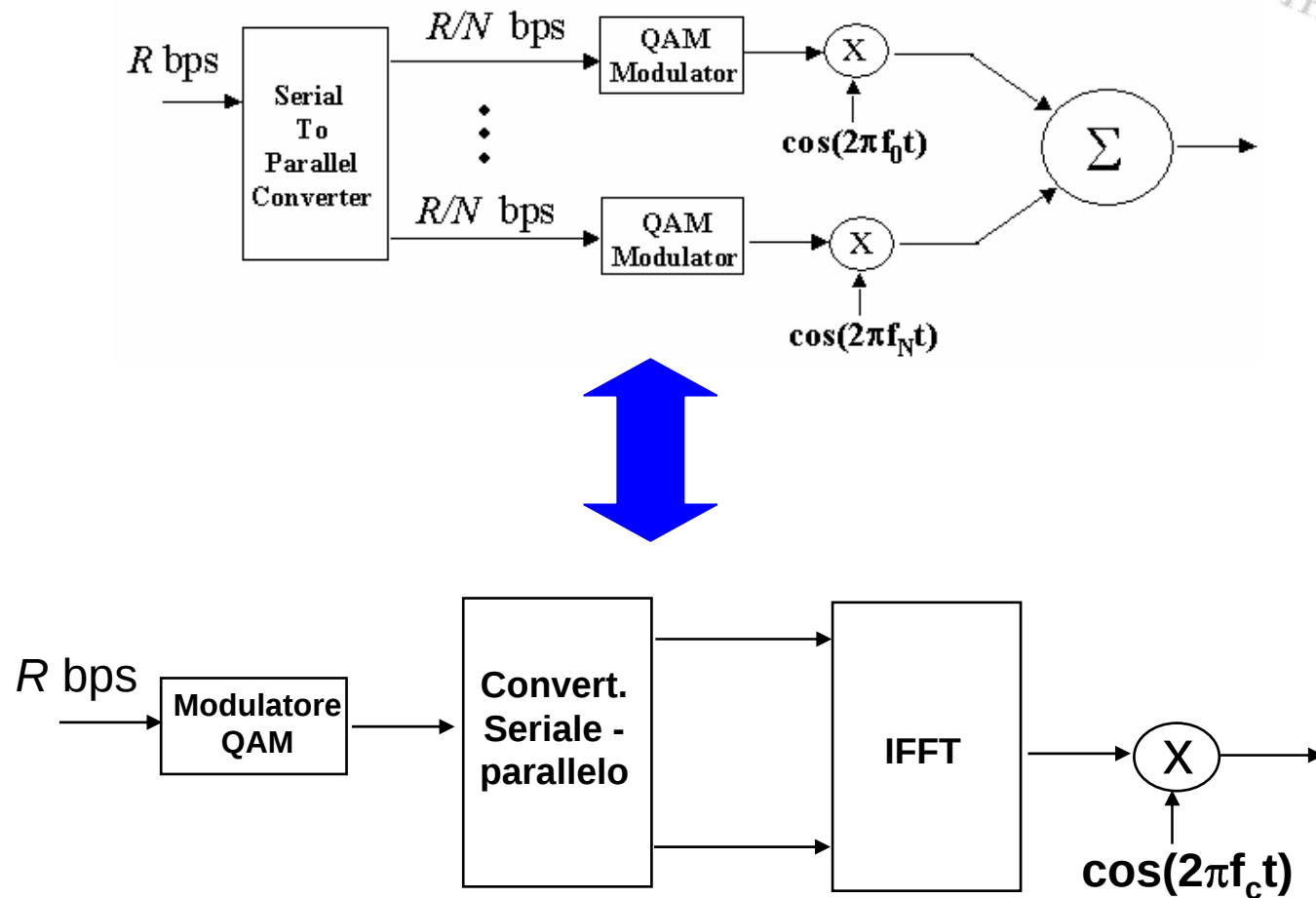
$$\int_0^{NT} F_1(t) \cdot F_1(t) dt \neq 0!!$$



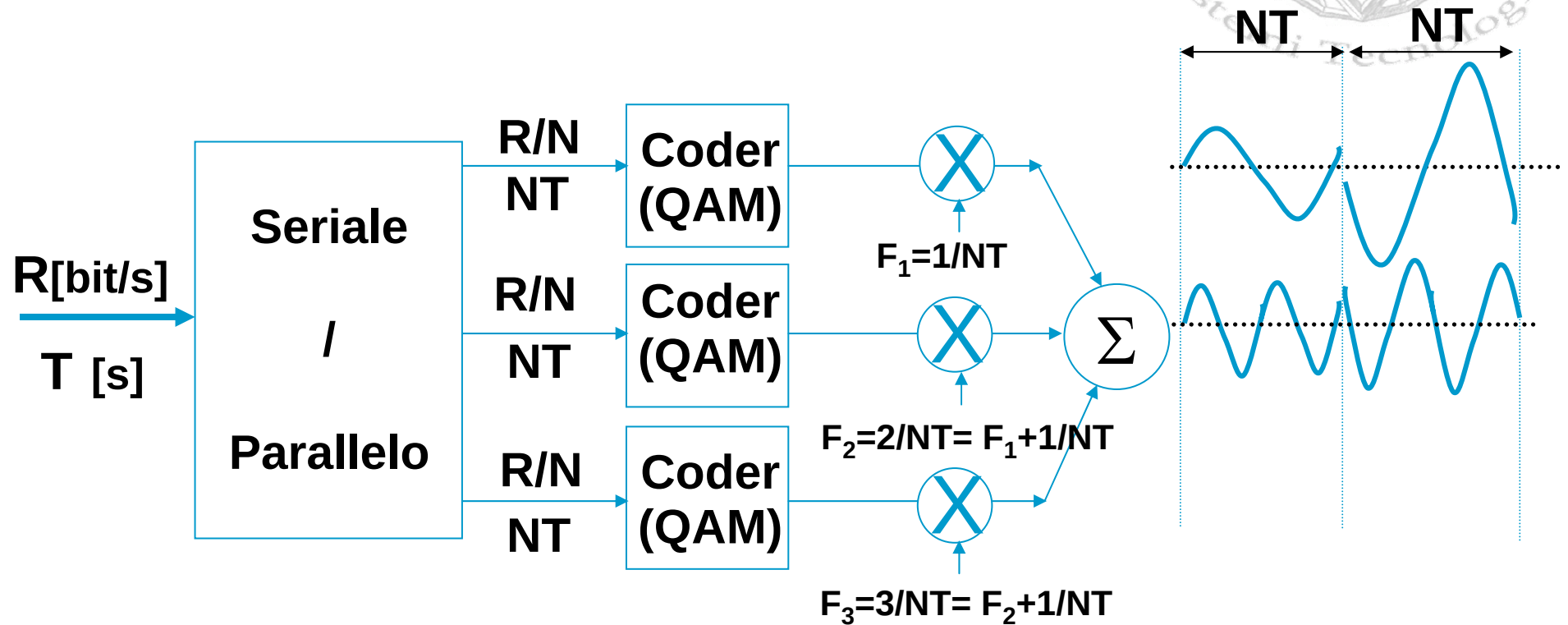
Ricevitore OFDM



La costruzione di un segnale OFDM è equivalente a una FFT inversa

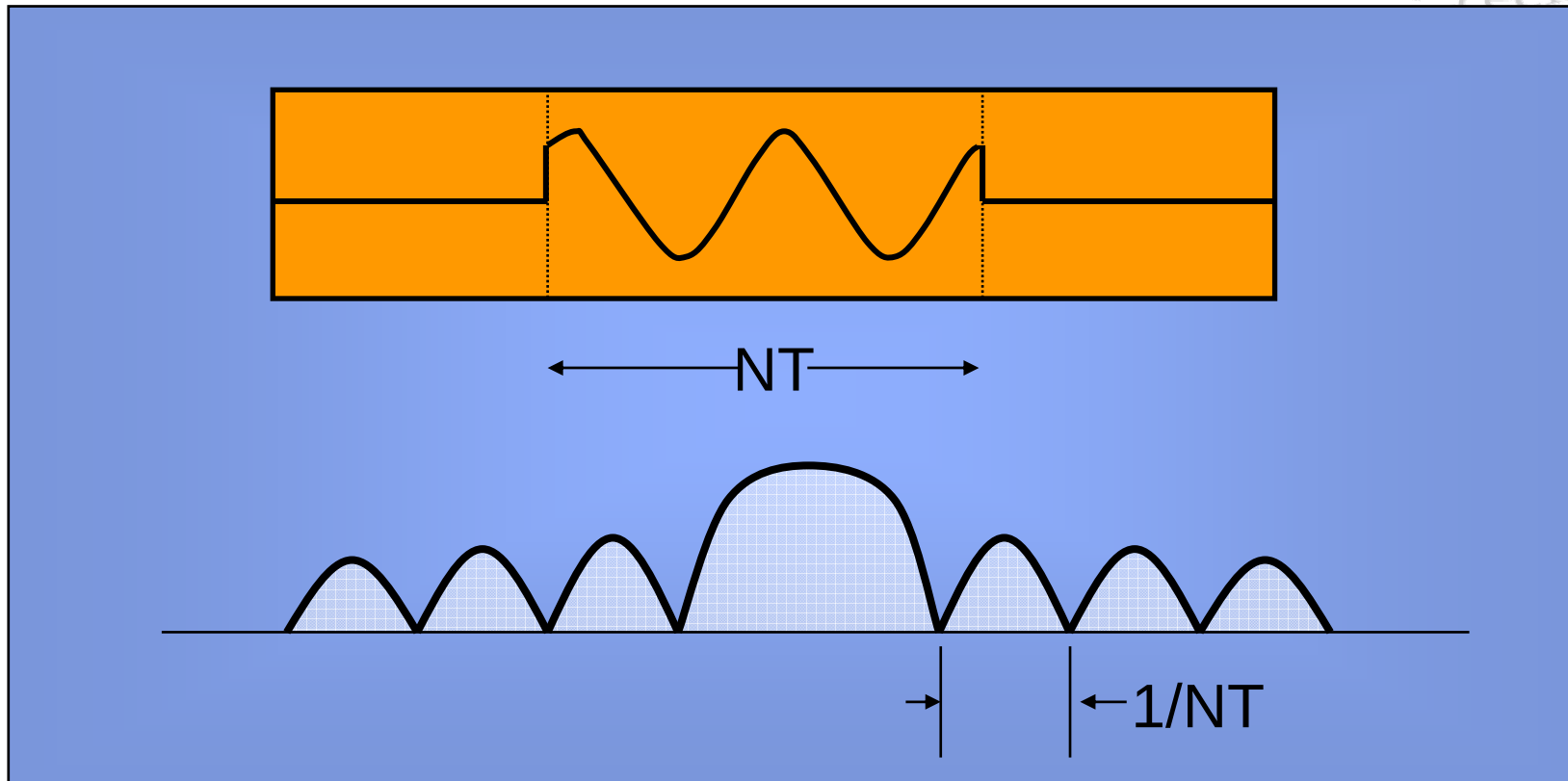


Un approccio più intuitivo sui segnali OFDM

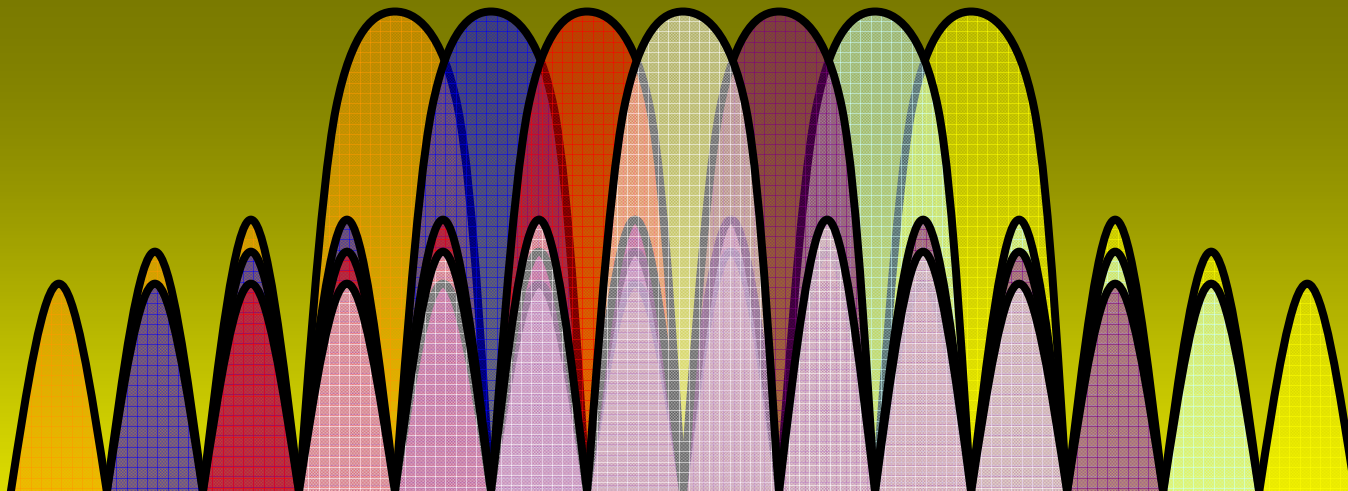


$1/NT$ è il ΔF fra frequenze adiacenti

Lo spettro di ciascuna portante modulata
ha una tipica forma $\text{Sin}(x)/x$

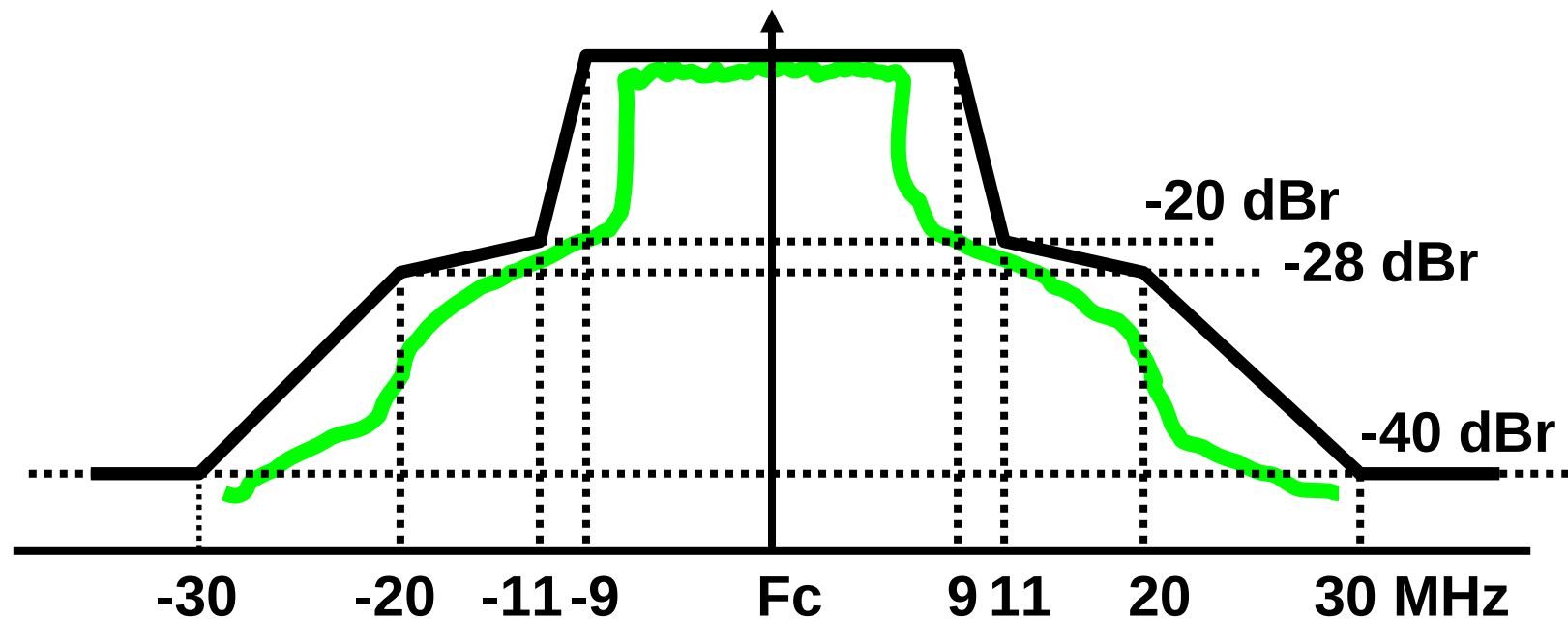


OFDM: Portanti ortogonali



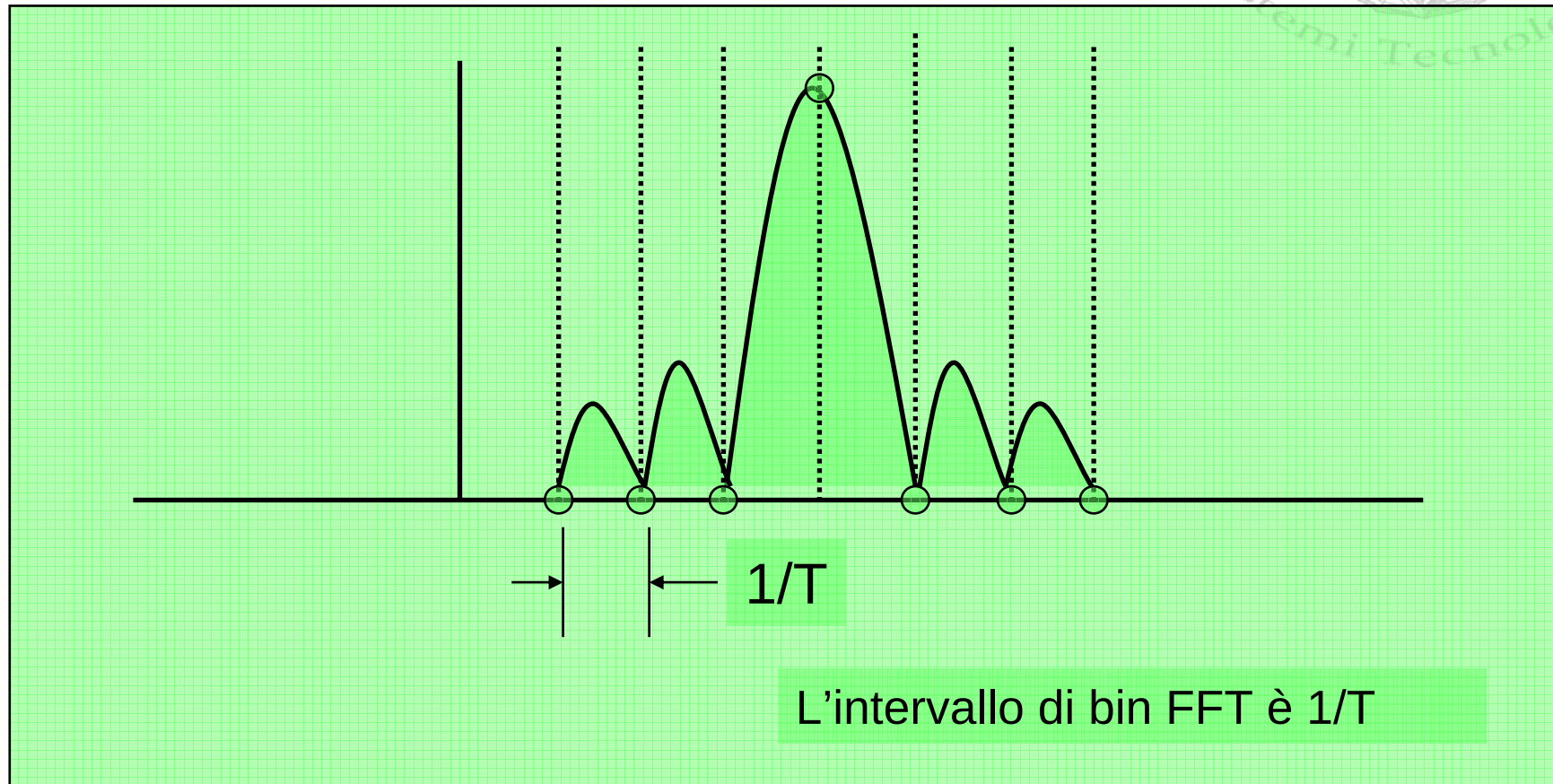
- Fitta sovrapposizione di portanti
- I nulli di ogni sottoprodotto di modulazione coincide con il centro di ciascuna portante annullando qualsiasi interferenza

Lo spettro di un canale W-LAN 802.11A e maschera dei limiti



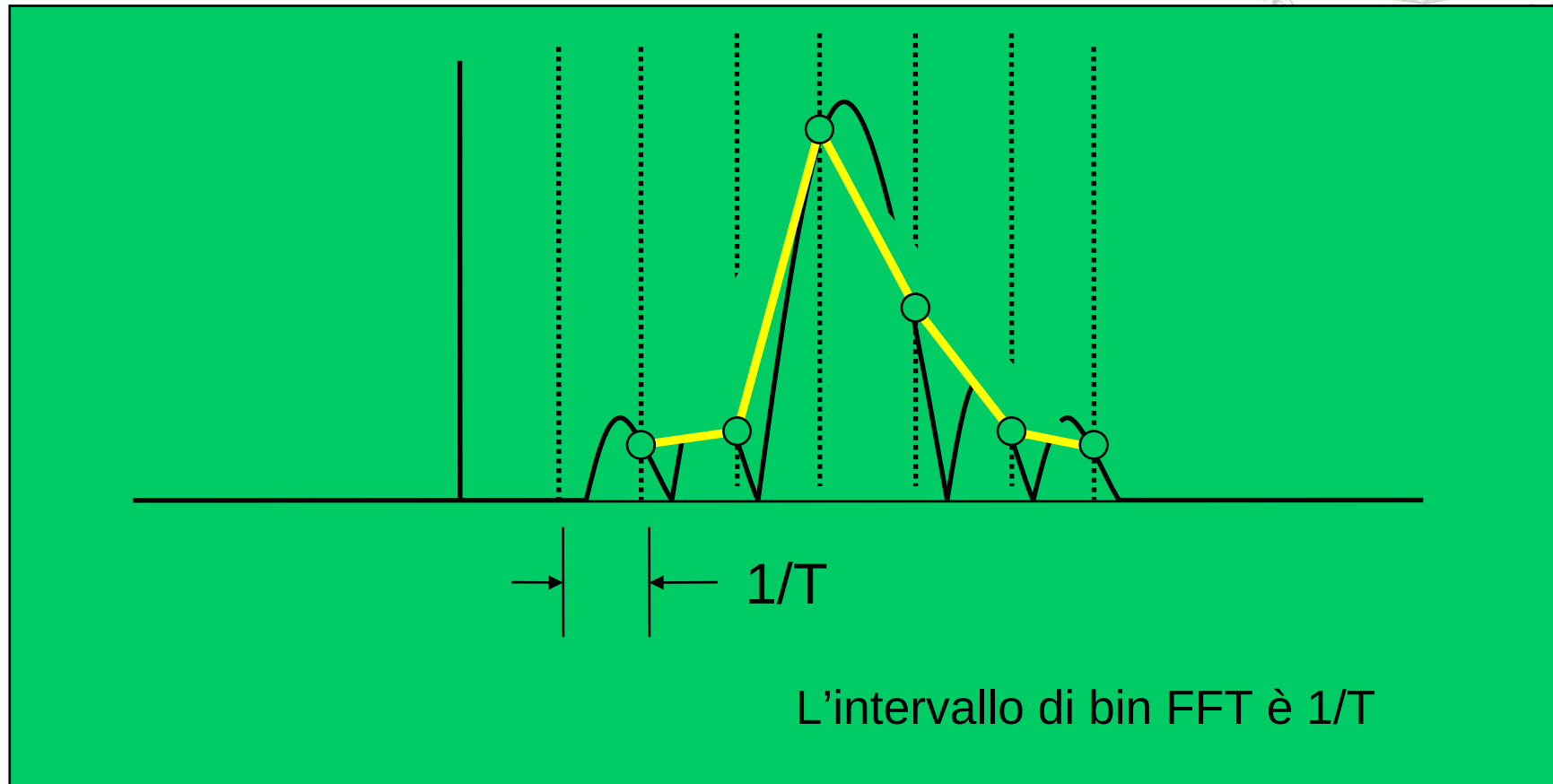
Ricevitore FFT

I nulli sono “*On Bin*” se il tono è “*On Bin*”



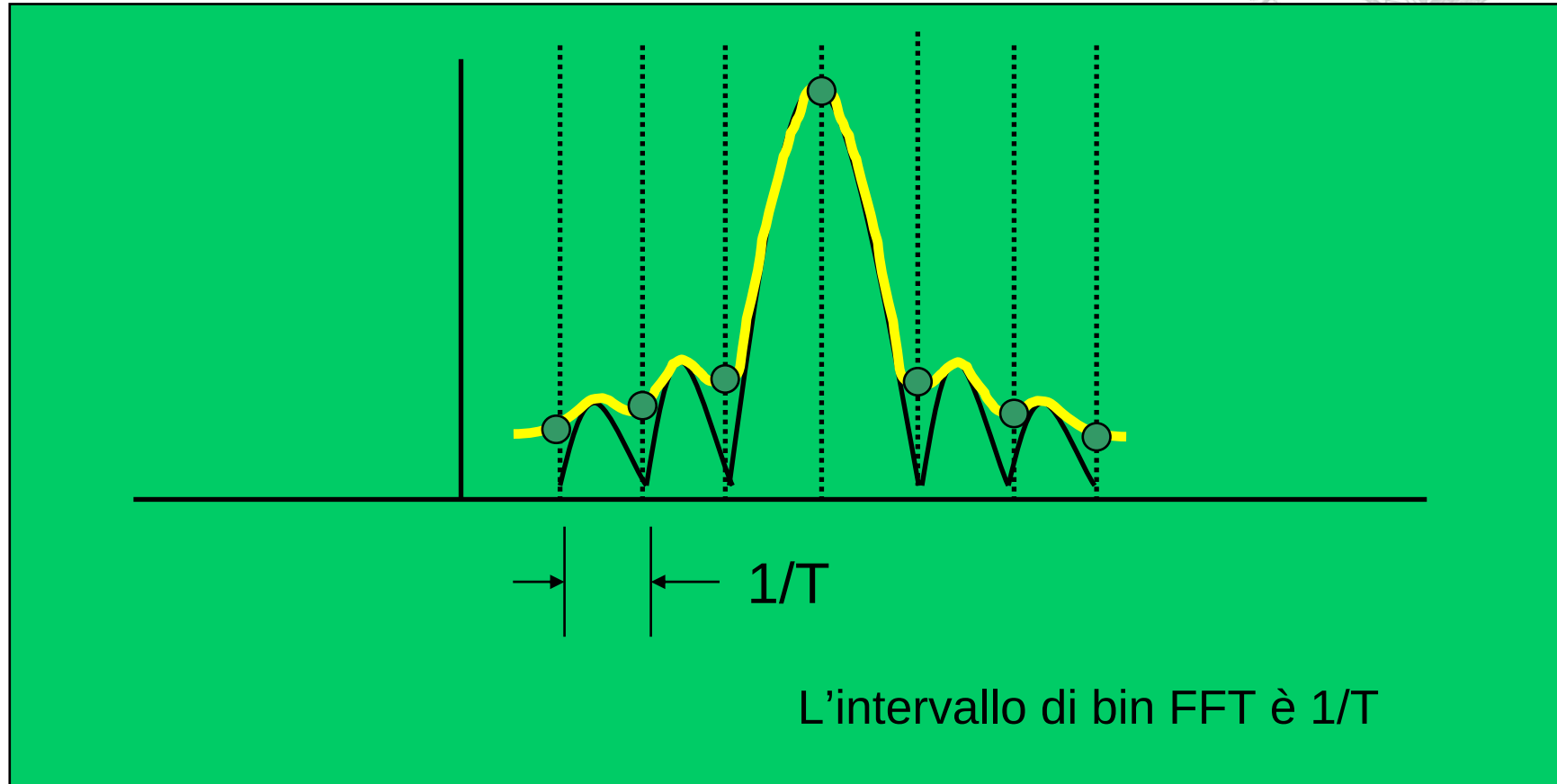
Perdita di ortogonalità

Gli errori in frequenza causano una interferenza fra le portanti per perdita di ortogonalità



Ricevitore FFT

Anche un eccessivo rumore di fase causa interferenze fra le portanti (Inter-Carrier Interference)



Conclusioni sulla tecnologia OFDM



- **Vantaggi:**

- Sistema robusto alle interferenze da riflessioni (multipath interference)
- Implementazione conveniente utilizzando algoritmi FFT

- **Svantaggi:**

- Sensibile a problemi di rumore di fase
- Sensibile a problemi di centratura in frequenza
- Sensibile a fenomeni aleatori legati alla temporizzazione

Agenda

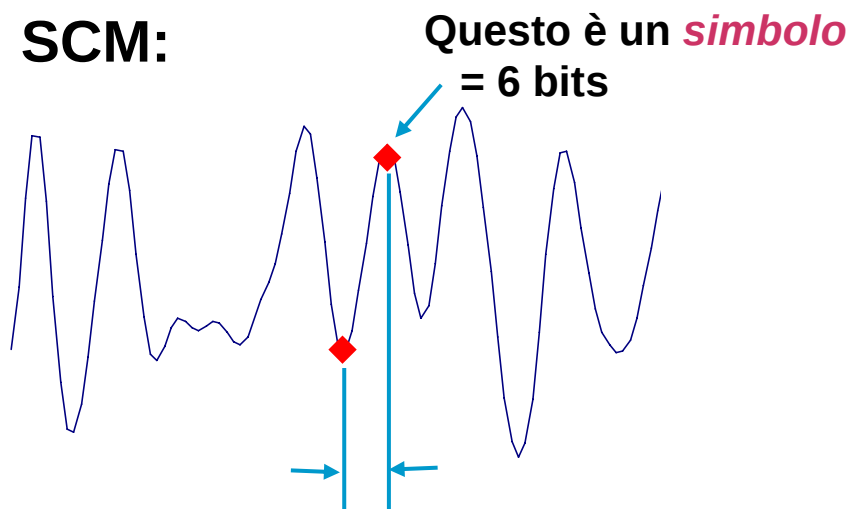
- I mercati delle Wireless LAN e della TV digitale
- Rivisitazione delle tecnologie:
 - Tecnologie tradizionali, Single Carrier Modulation (SCM – 3G)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- **Paragoni fra differenti sistemi commerciali OFDM:**
 - **W-Lan**
 - **DVB-T**
 - **DAB**
- Misure su sistemi OFDM
 - Esempi di troubleshooting su sistemi OFDM



OFDM rispetto a SCM *(I numeri sono riferiti all'802.11a)*

Visione nel dominio del tempo

SCM:

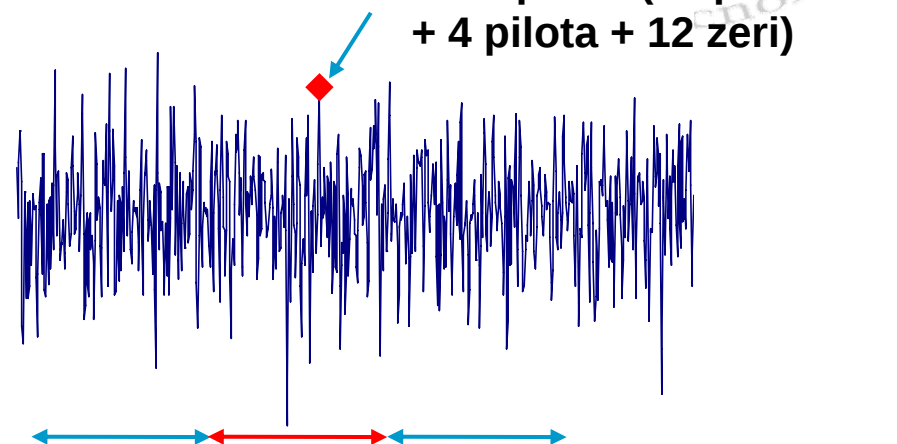


1 Simbolo = .083 usec

Data rate = 54 Mbits/sec
@ $\frac{3}{4}$ coding = 72 Mbits/sec
@ 64QAM = 12 MSym/sec

1 simbolo = 1 punto nel tempo
1 punto nel tempo = 1 simbolo

OFDM:



1 Simbolo = 4.0 usec

Data rate = 54 Mbits/sec
@ $\frac{3}{4}$ coding = 72 Mbits/sec
@ 48 carriers = 1.5 Mbits/sec
@ 64QAM = 250 kSym/sec

1 simbolo = 1 punto nel tempo **e** in frequenza
1 punto nel tempo = ~senza significato

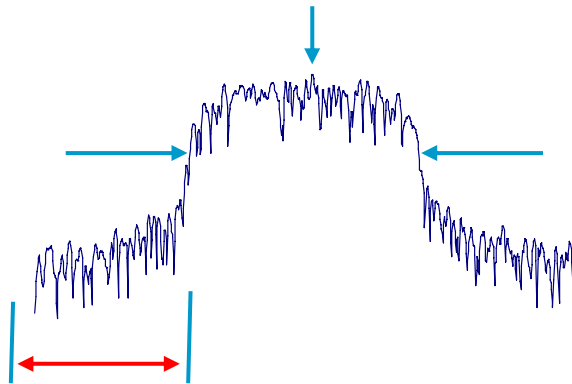
OFDM rispetto a Single Carrier Modulation

Visione nel dominio della frequenza



Banda =
Velocità di simbolo $\times (1+\alpha)$

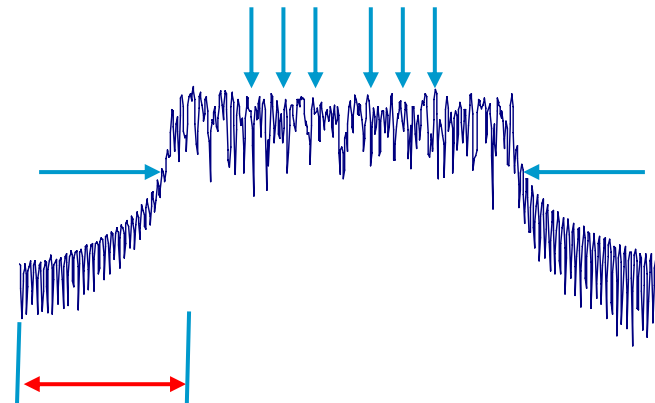
1 portante



Canale adiacente =
Distorsione

Banda =
Numero portanti $\times$ spaziatura

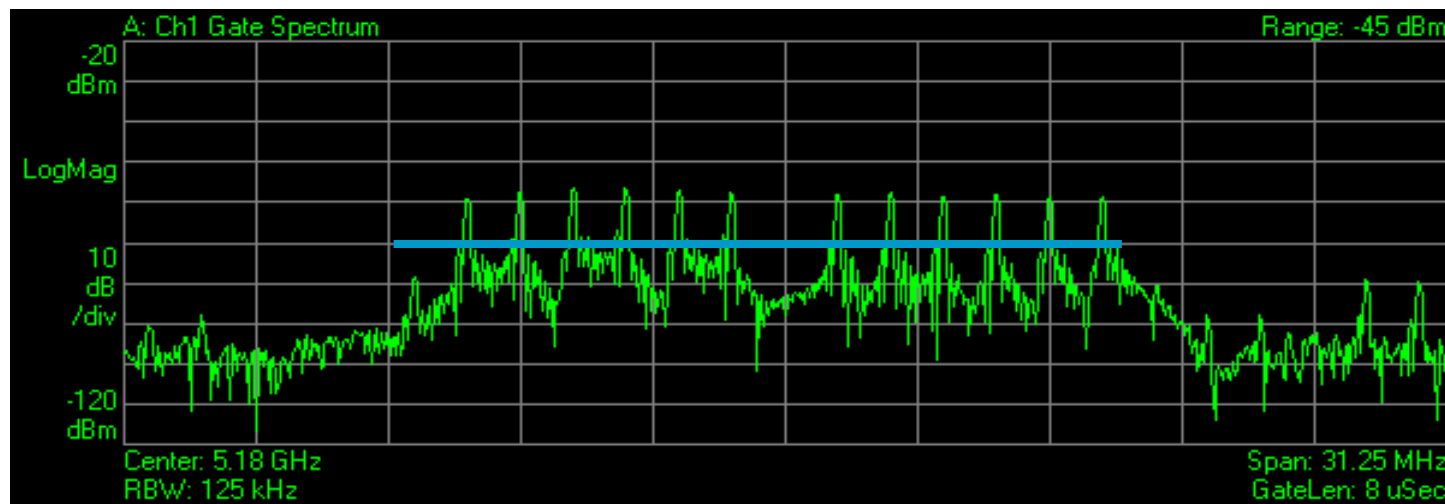
N carriers



Canale adiacente =
Normale Roll-off

Non tutte le portanti hanno lo stesso compito: Le portanti pilota

- Alcune portanti predefinite trasmettono sempre gli stessi dati
- Vengono utilizzate dal ricevitore per stimare la distorsione del canale:
 - → Equalizzazione dinamica / Channel Tracking



**Il Channel Tracking può essere applicato su
Ampiezza/Fase/Temporizzazione**

Sistemi OFDM (1)



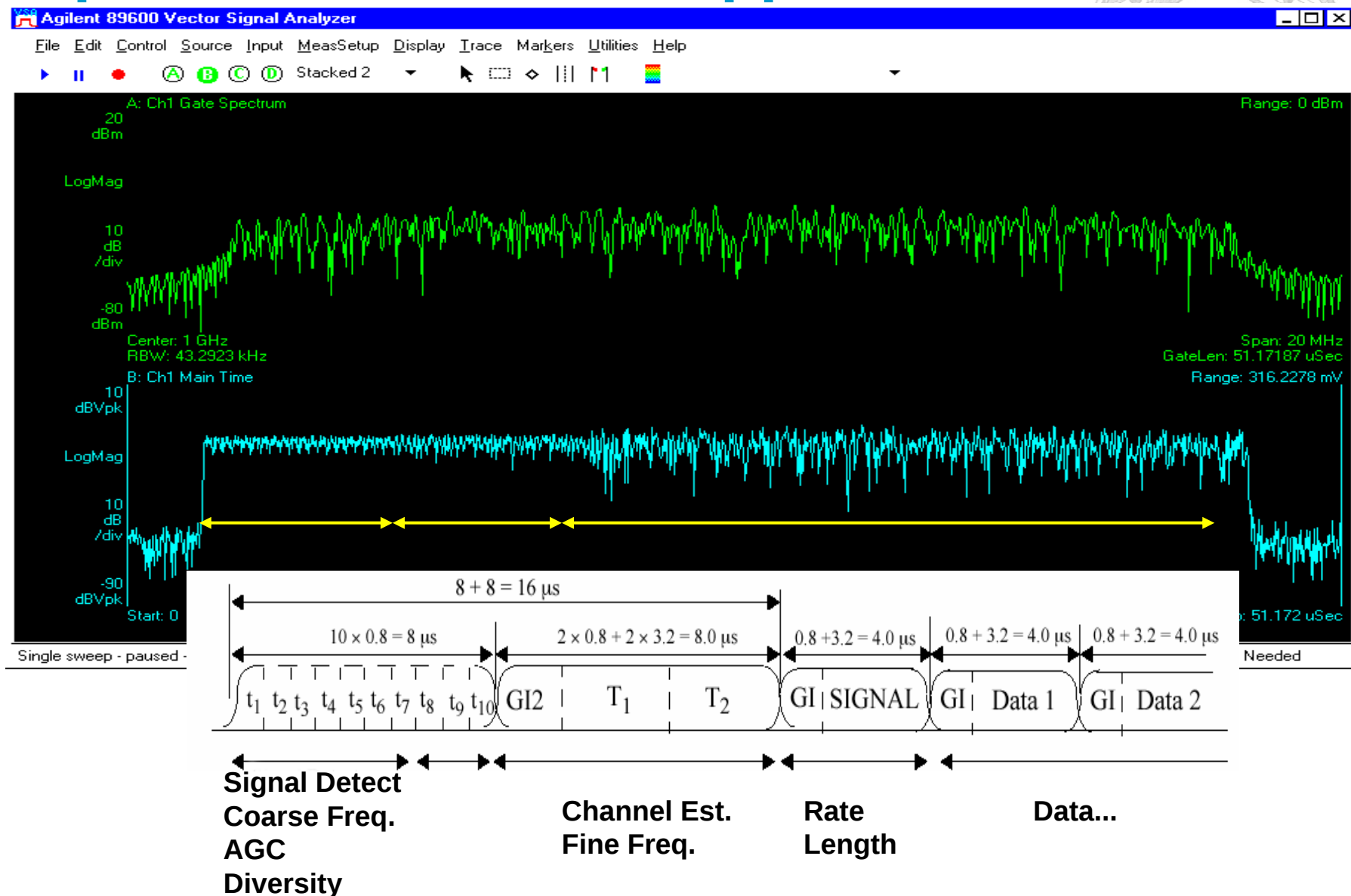
	<i>DVB-T</i>	<i>DAB</i>	<i>802.11A</i>
<i>BW</i>	8 MHz	1.5 MHz	18 MHz
<i>Carriers</i>	1705	1536	48
	6817	384	4 (sync)
		192	
		768	
<i>Carrier Spacing</i>	4.464 kHz	1 kHz	312.5 kHz
	1.116 kHz	4 kHz	
		8 kHz	
		2 kHz	
<i>Pilot/Sync Mod.</i>	BPSK	QPSK	BPSK
<i>Data Modulation</i>	QPSK	DQPSK	BPSK,
	16 QAM		QPSK
	64 QAM		16 QAM
			64 QAM

Sistemi OFDM (2)



	<i>DVB-T</i>	<i>DAB</i>	<i>802.11A</i>
<i>Max Guard Interval (max delay spread)</i>	56 usec (2k) 224 usec (8k)	246 usec 62 usec 31 usec 123 usec	0.8 usec
<i>Equalizer</i>	Yes	No	Yes
<i>Pulse Shape</i>	Rect	Rect	Raised Cosine
<i>Pilot/Sync</i>	Continuous and Scattered Pilots	Null and Phase Ref. symbols	Short and Long Training Symbols
<i>Carrier at TX frequency</i>	Yes	Yes, but not used	Yes, but not used

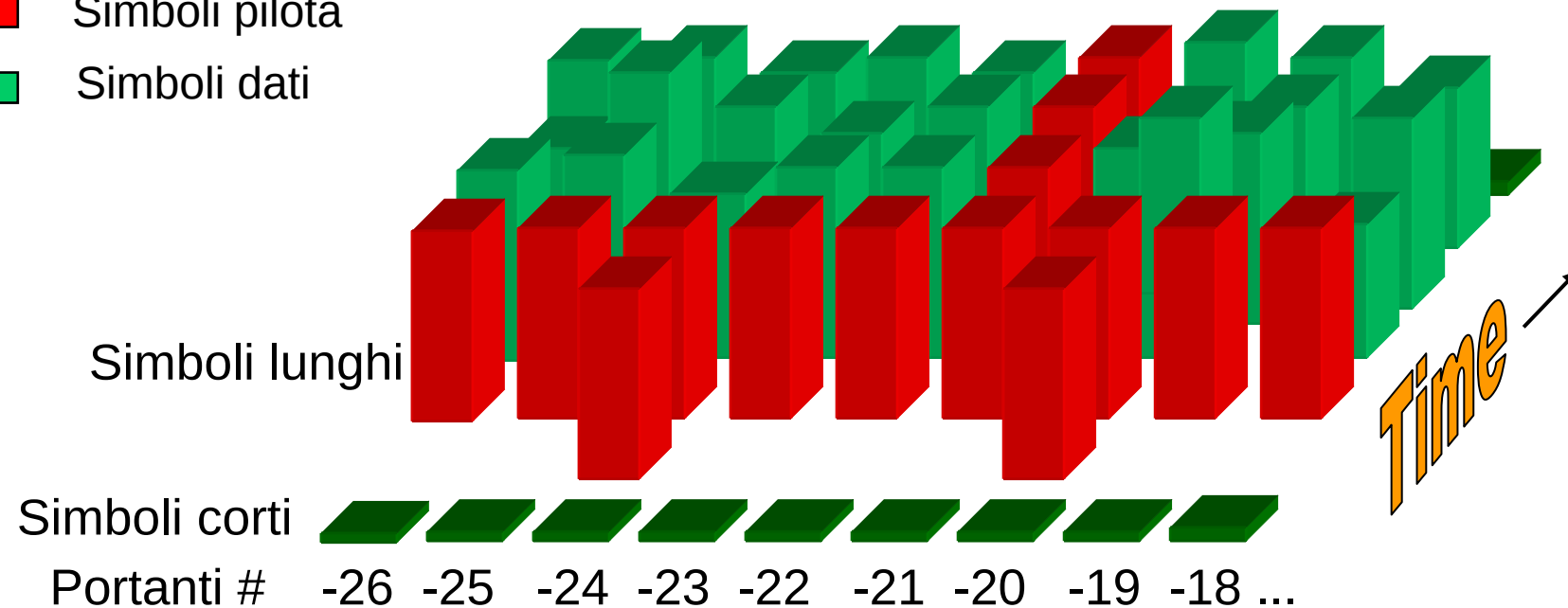
Spettro 802.11A, Involuppo del burst



802.11A Assegnazione delle portanti

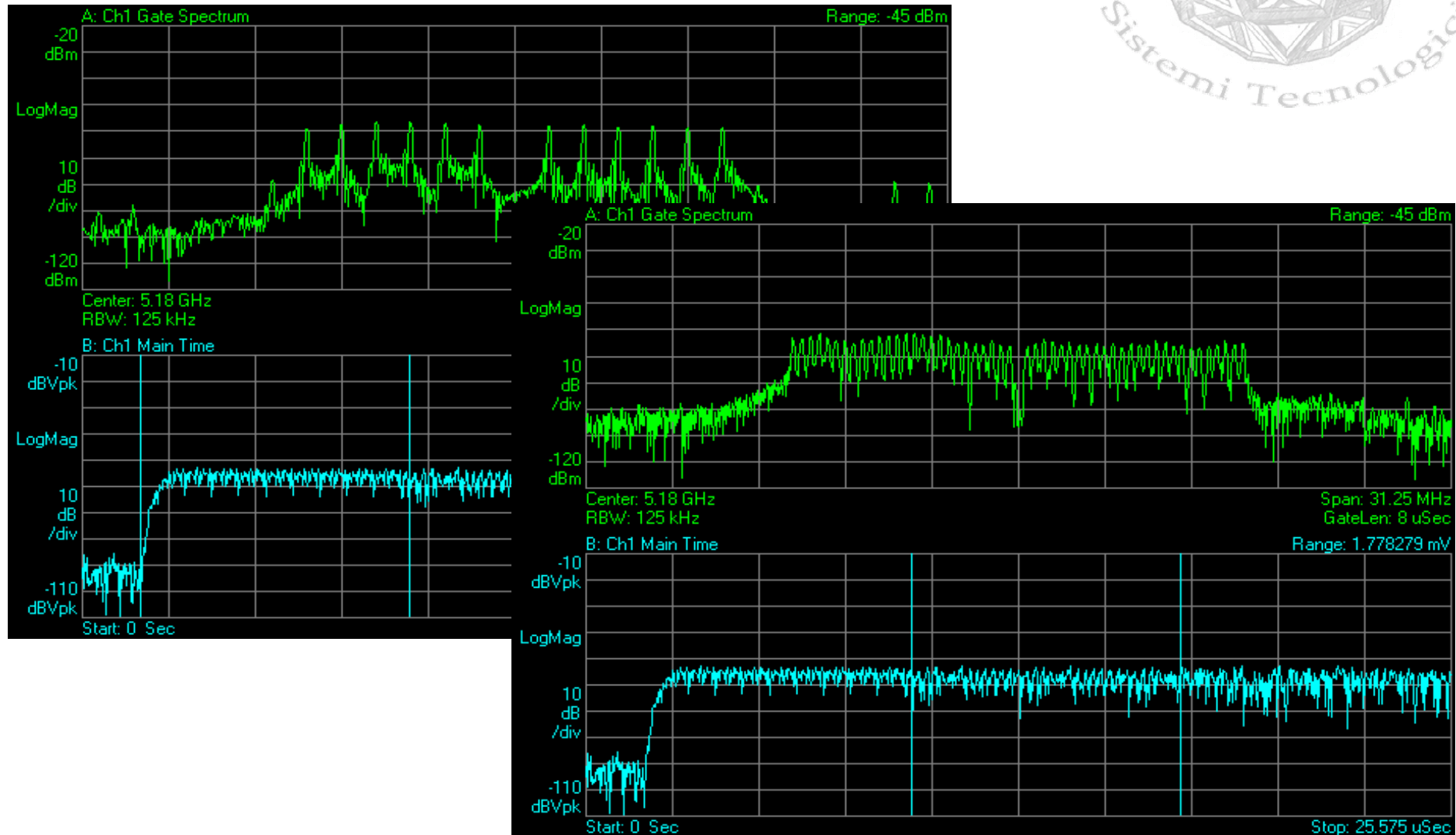


- Simboli pilota
- Simboli dati



Analisi spettrale “Time-Gated”

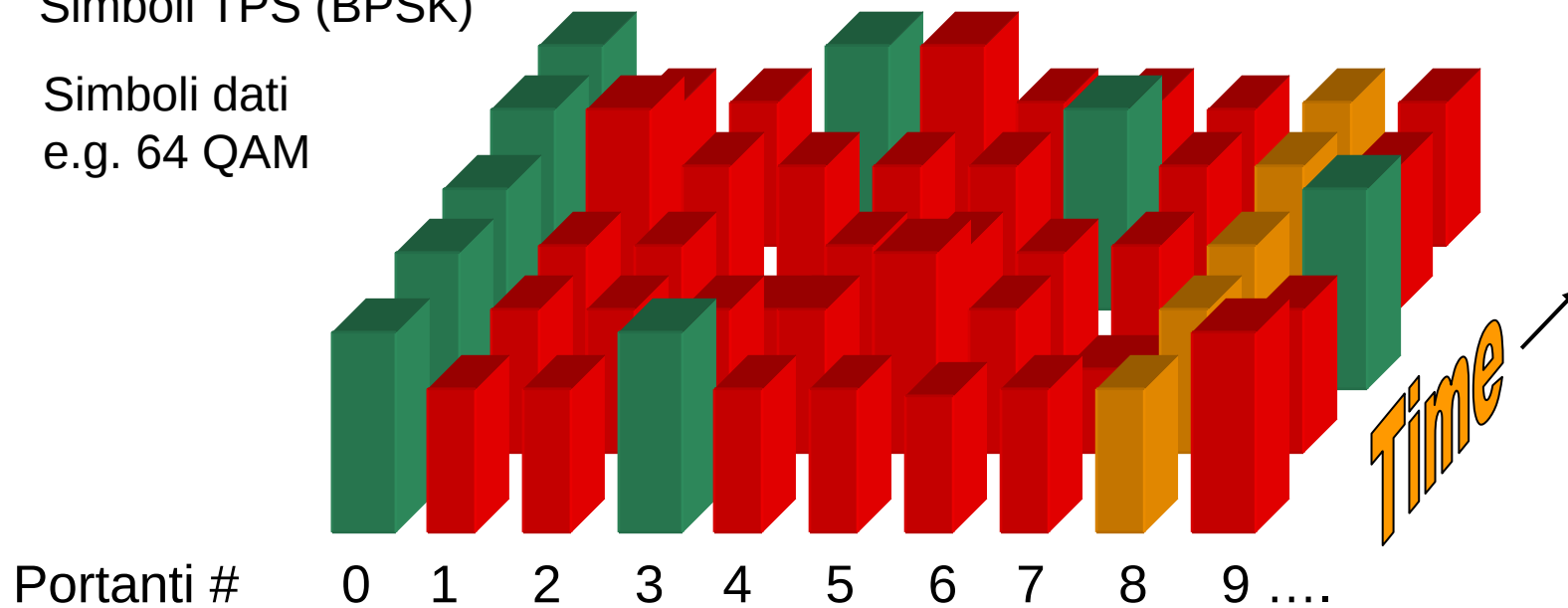
Gate sincronizzato con gli elementi del preambolo



DVB-T Assegnazione delle portanti

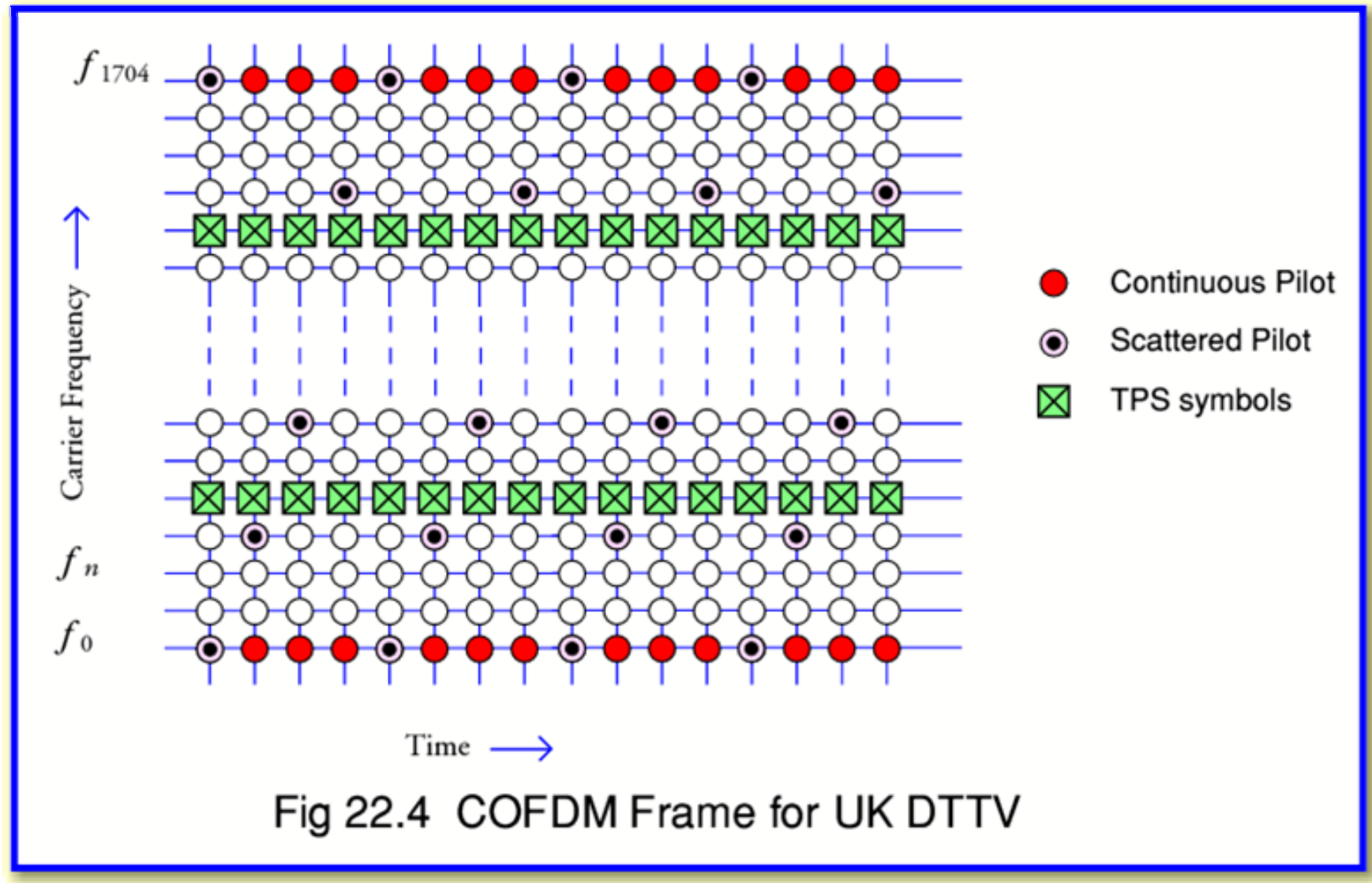
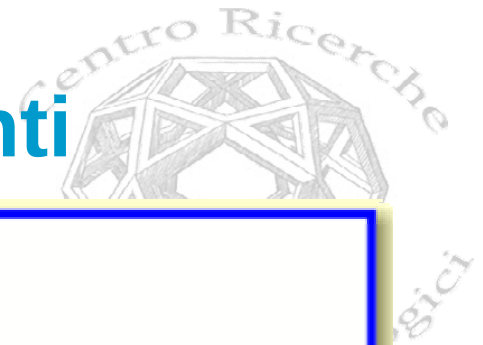


- Portanti pilota continue o scattered
- Simboli TPS (BPSK)
- Simboli dati
e.g. 64 QAM

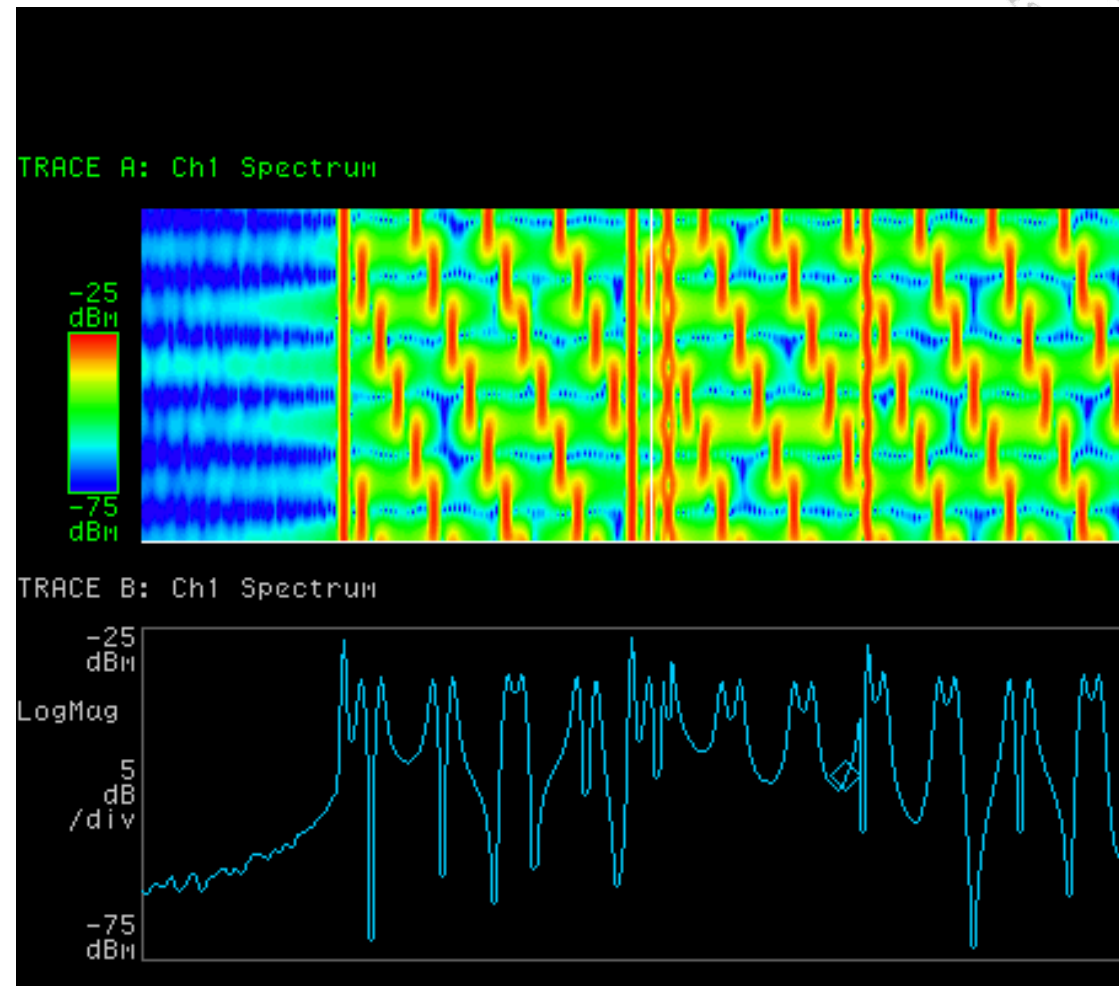


TPS = Transmission Parameter Signalling

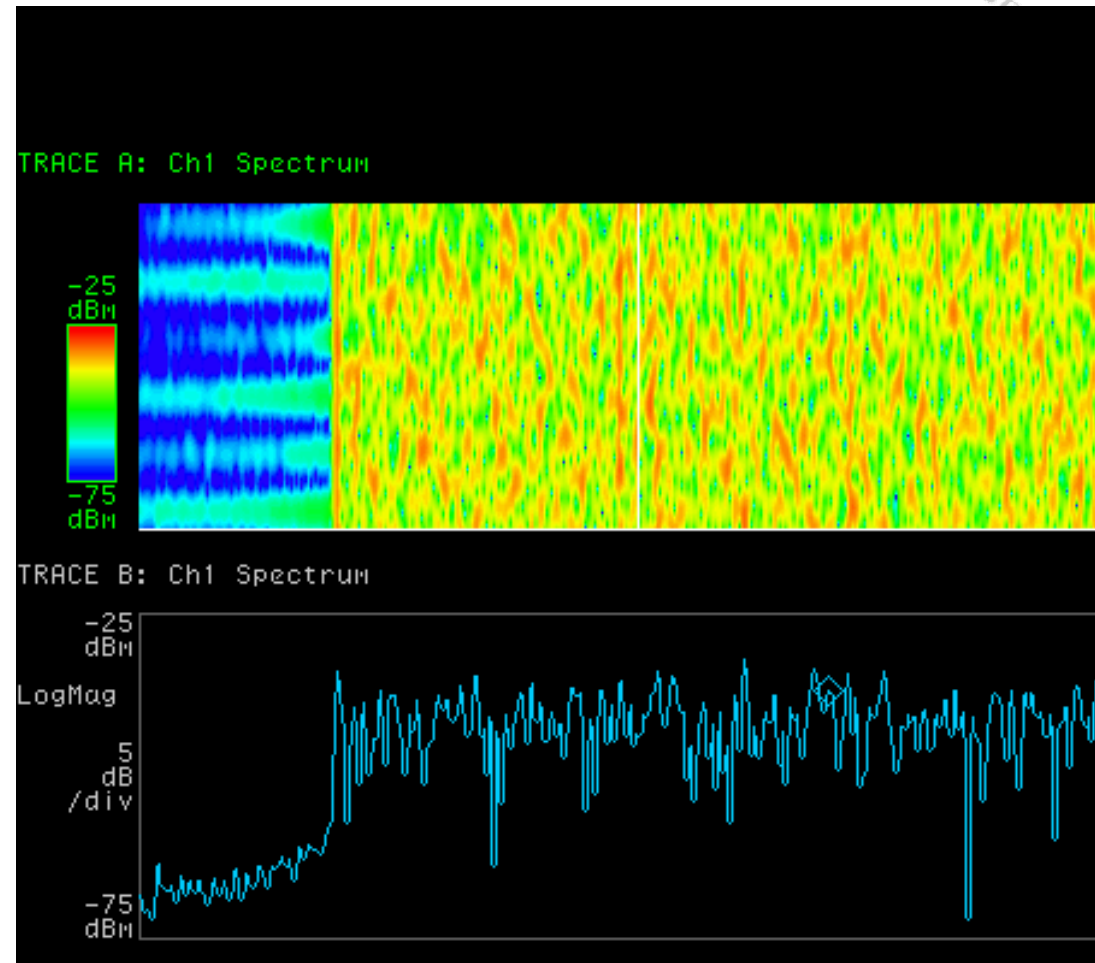
DVB-T Assegnazione delle portanti



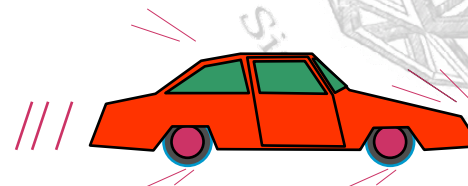
DVB-T: Spettrogramma delle sole portanti pilota e di quelle “scattered” (in rosso)



DVB-T: Segnale con pilota e dati



Il sistema DVB-T ha diverse possibilità: 2K o 8K?



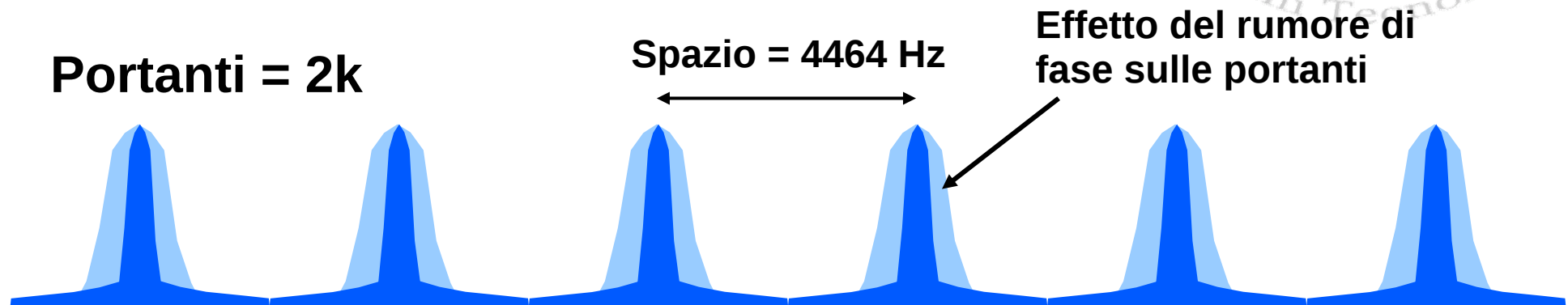
2k (1705 portanti)

8k (6817 portanti)

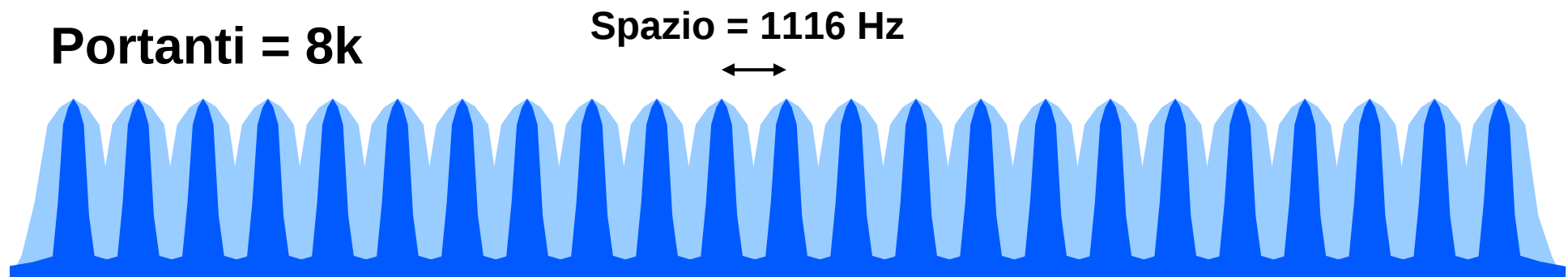
Un sistema 2K può gestire una velocità 4 volte superiore prima che le portanti si sovrappongano a causa dell'effetto Doppler

2K o 8K?

Sensibilità al rumore di fase



2k è più robusto



2K o 8K?

Capacità di inseguire le variazioni del canale

I simboli **2k** arrivano con frequenza 4329 Hz

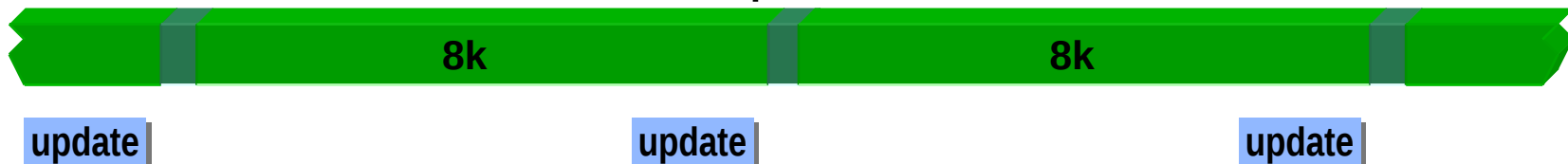


4 simboli necessari per catturare le port. pilota

2k segue + veloce

Pertanto, in modalità 2k, il min. tempo fra due completi aggiornamenti è 924 usec

I simboli **8k** arrivano con frequenza 1082.25 Hz



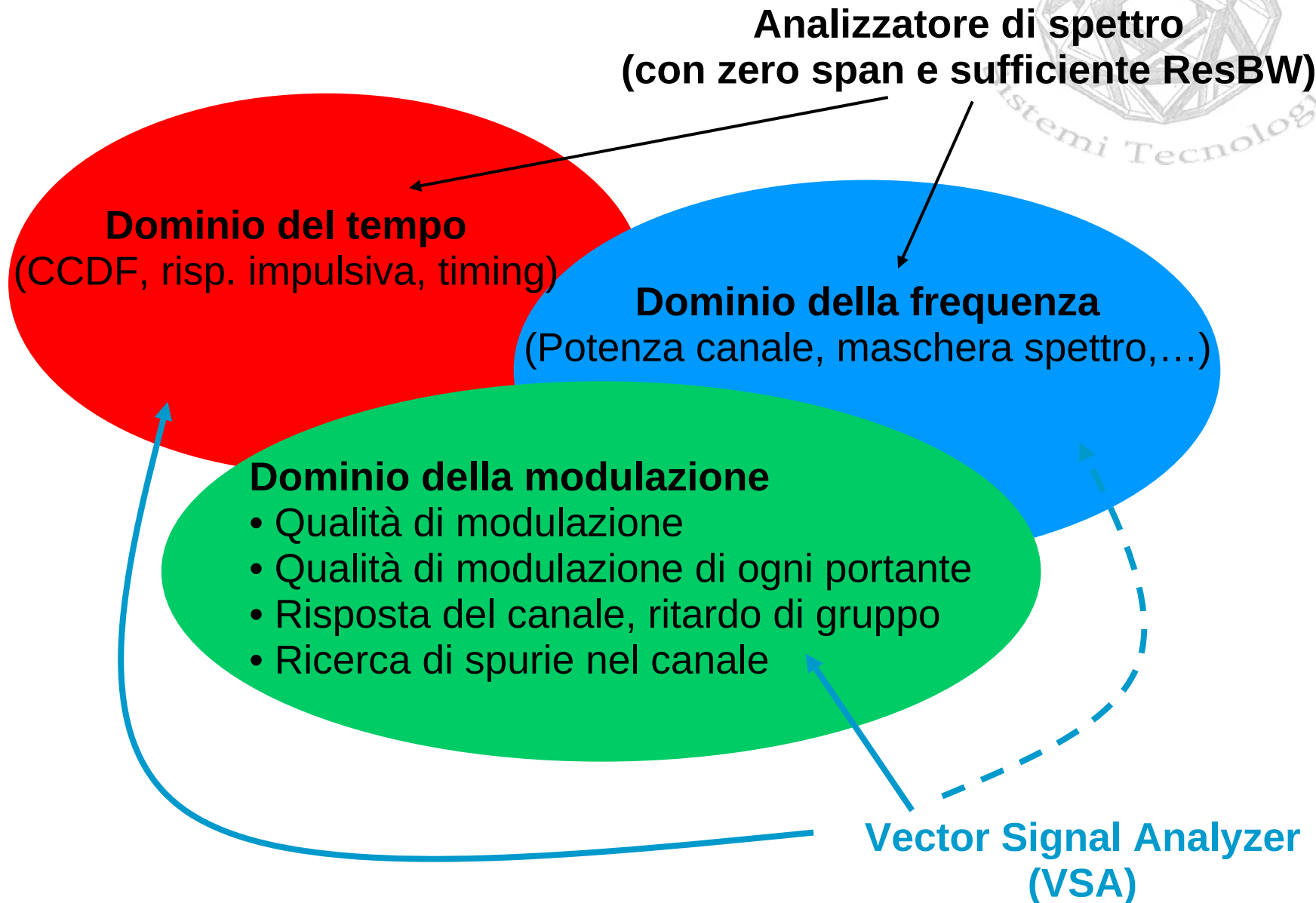
Mentre, in modalità 8k, il min. tempo fra due completi aggiornamenti è 3.7 msec

Agenda

- I mercati delle Wireless LAN e della TV digitale
- Rivisitazione delle tecnologie:
 - Tecnologie tradizionali, Single Carrier Modulation (SCM – 3G)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Paragoni fra differenti sistemi commerciali OFDM:
 - W-Lan
 - DVB-T
 - DAB
- **Misure su sistemi OFDM**
 - **Esempi di troubleshooting su sistemi OFDM**



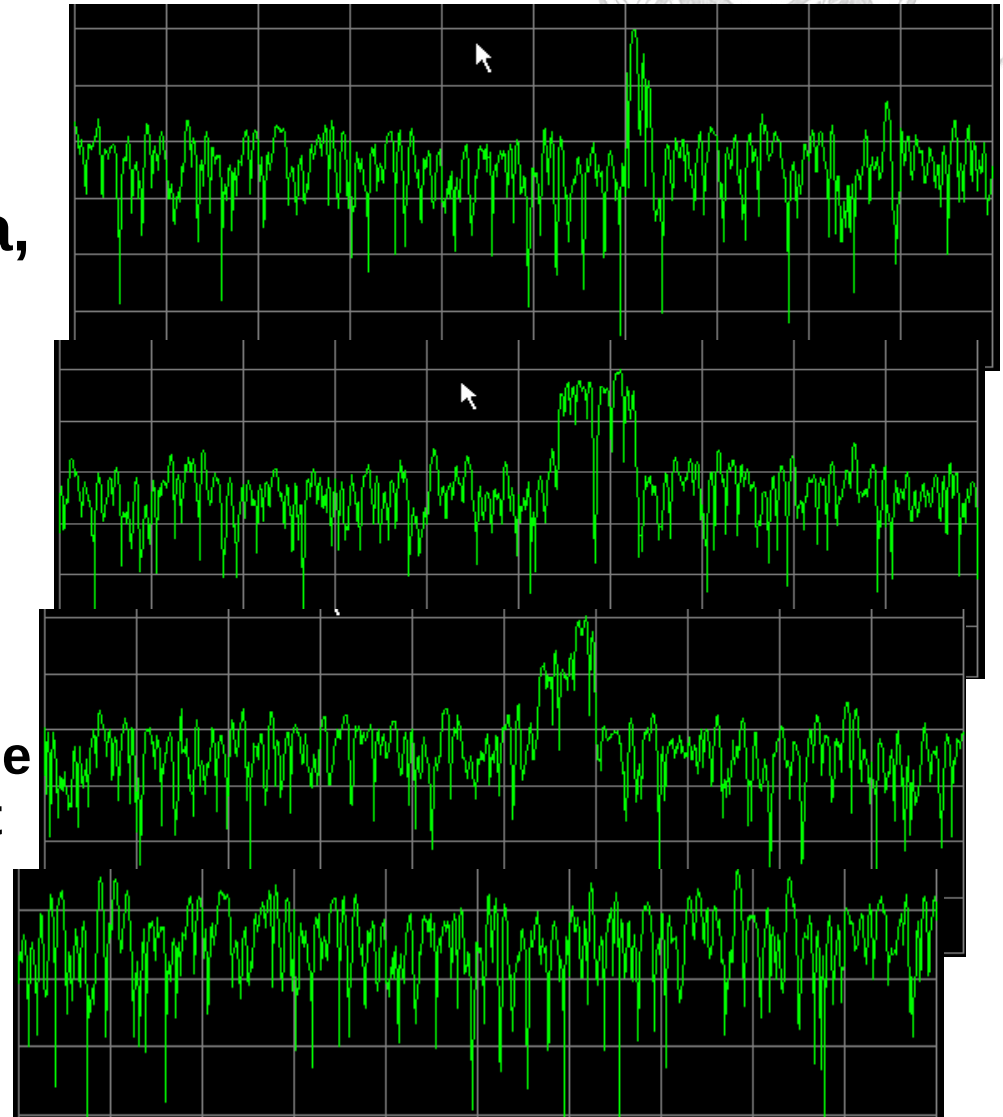
Misure sui sistemi OFDM



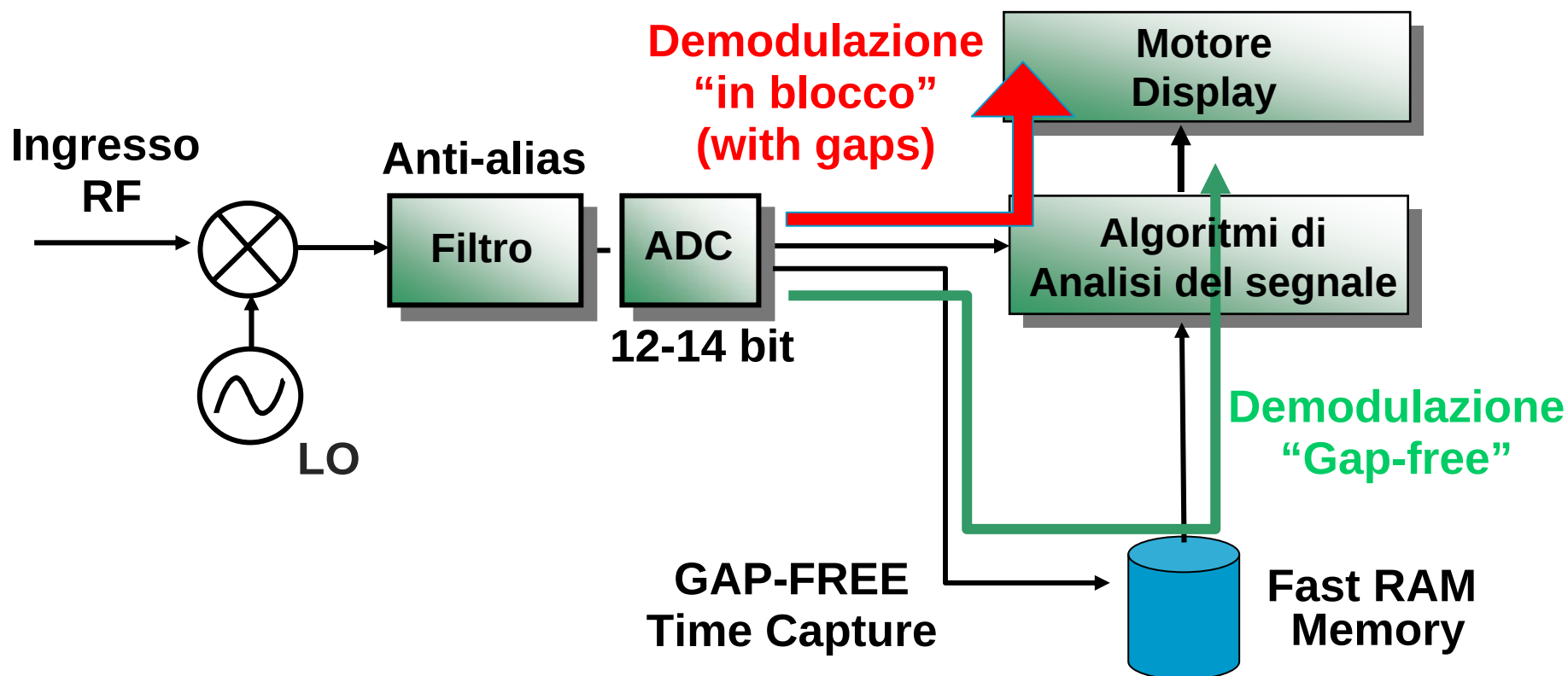
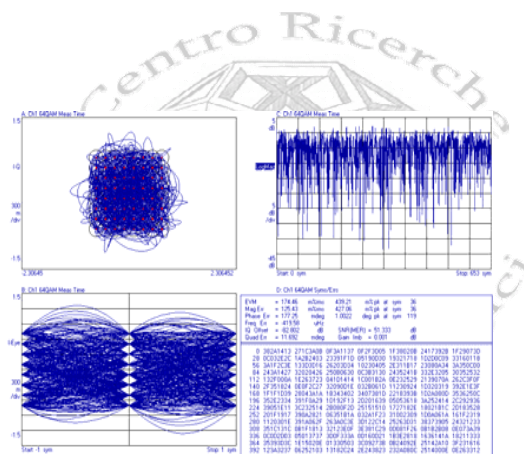
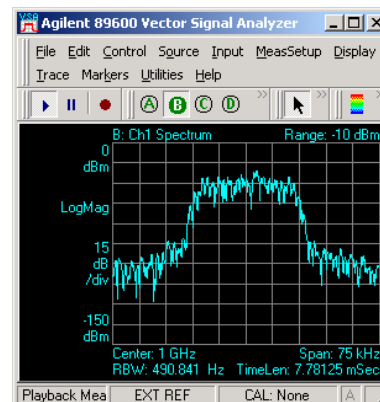
Pura analisi spettrale



- E' ancora un metodo fondamentale per analizzare lo spettro, misurare la banda, per ricercare le spurie, ma:
- Non dà sufficienti informazioni
- Non lavora in tempo reale
- Fornisce l'involuppo solo nel dominio del tempo
- Non ha nessuna cattura temporale per un'analisi dettagliata del burst
- Perdita di informazioni nelle modalità combinate di analisi: tempo e spettro



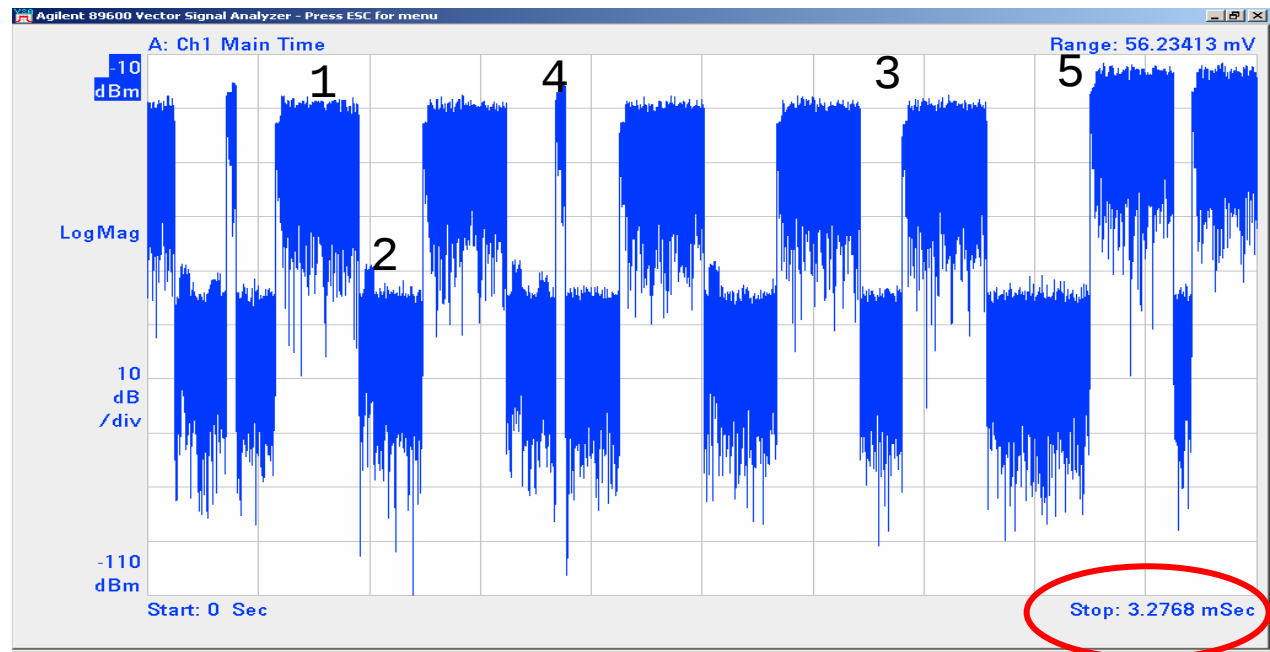
Vector Signal Analysis: l'approccio nel dominio del tempo



La “Time Capture Capability” è ideale per:

- Registrare ogni singolo evento
- Registrare segnali non statici (esempio 802.11a)
- Riproduzione di segnali registrati attraverso un generatore di funzioni arbitrarie
- Condivisione con altri tools per la simulazione

Struttura a
impulsi di un
trasferimento dati
(esempio 802.11a)



Analisi del segnale OFDM

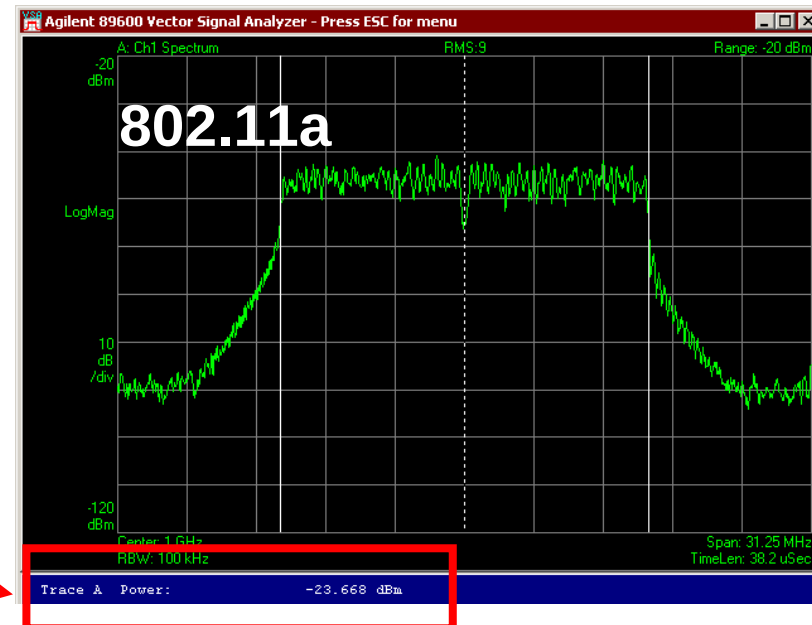
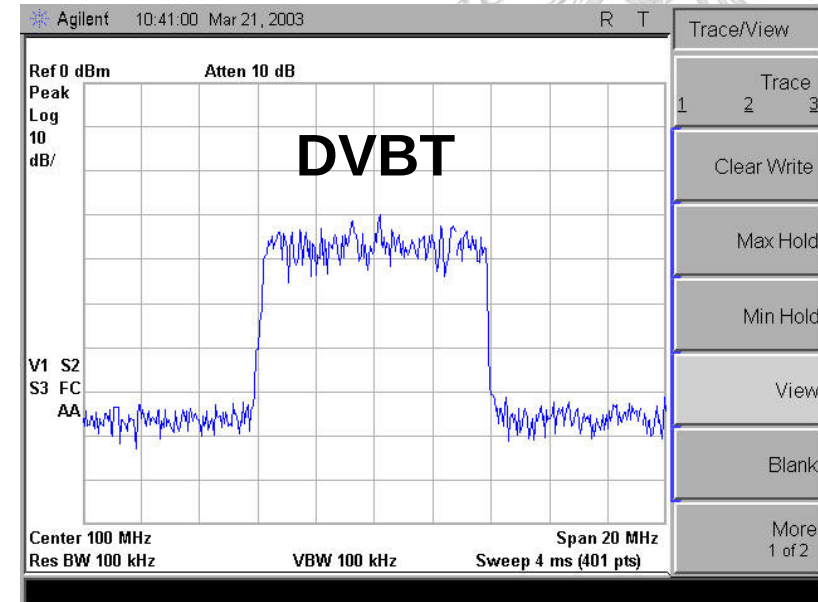
Analisi dello spettro

- Potenza del canale
- Impegno di banda
- Forma dello spettro

(linearità, fianchi (shoulders)..ecc

- Spurie fuori dal canale

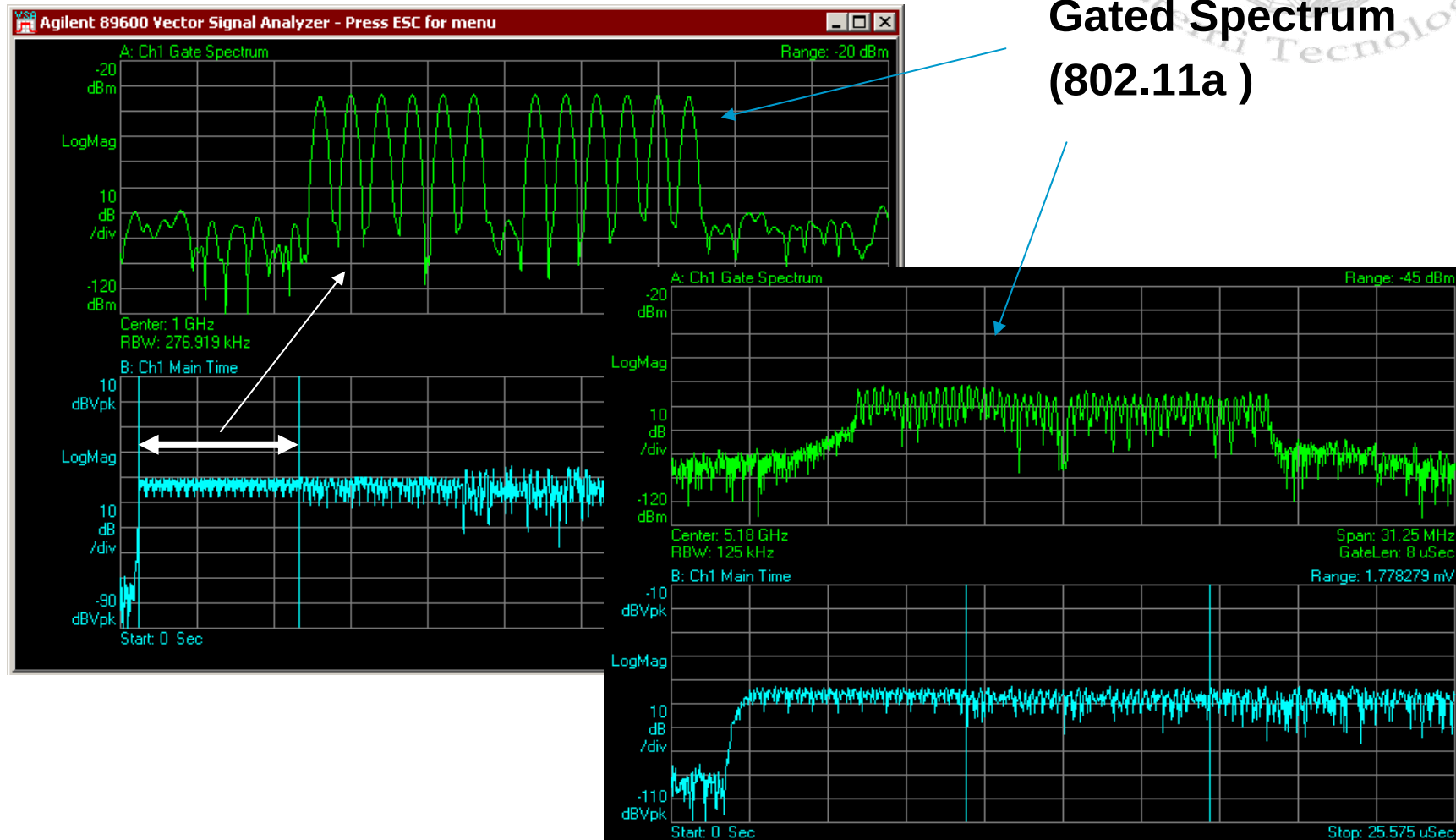
Potenza del canale



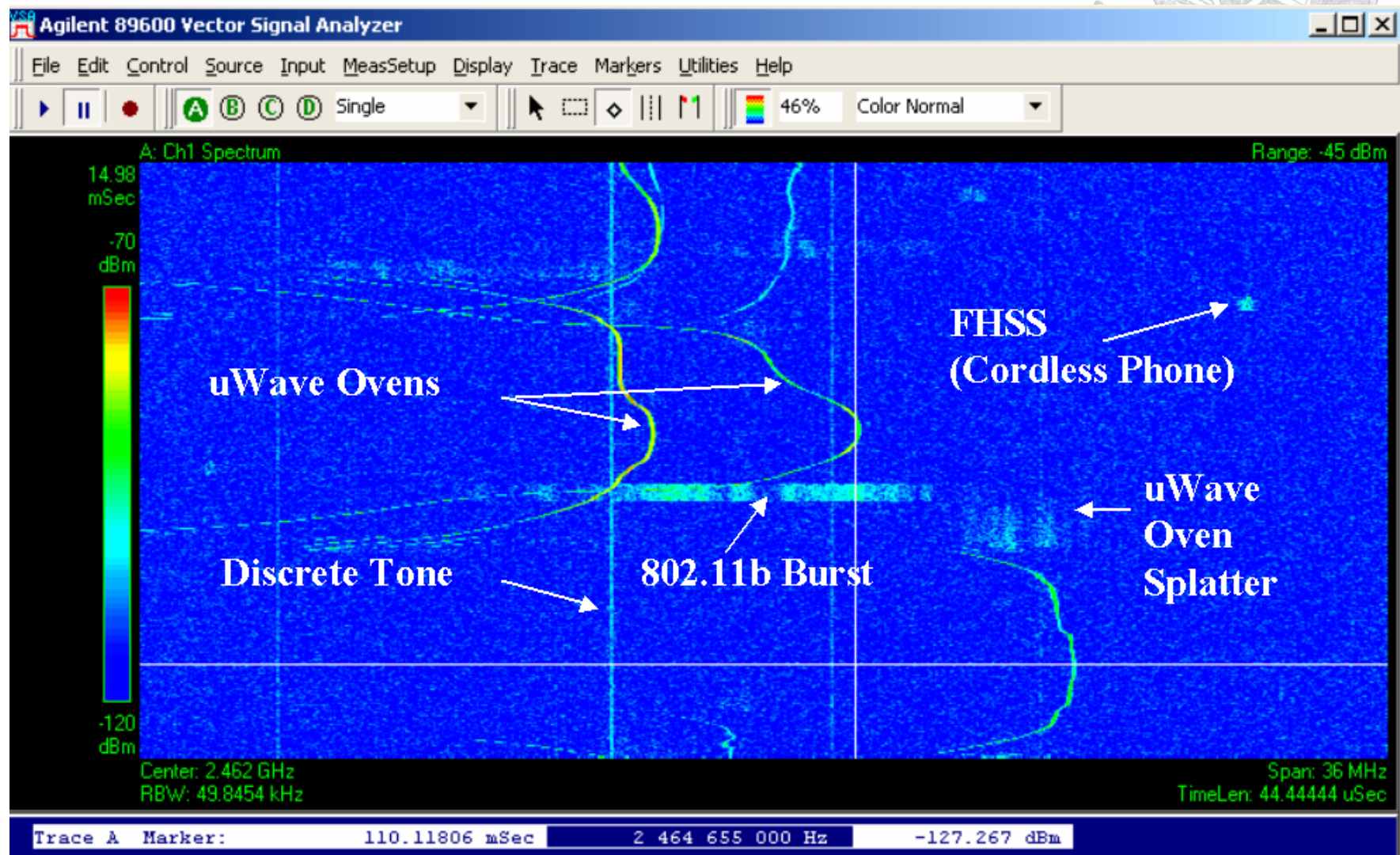
Vista combinata tempo&spettro: Time Gating



Gated Spectrum
(802.11a)



Esempio di cattura nel tempo, attività nella banda a 2.4 GHz



Caratterizzazione del segnale nel dominio del tempo:

CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function)

E' un'analisi quantitativa dettagliata dell'andamento della potenza RF

E' il **Rapporto** normalizzato della potenza P_k/Avg

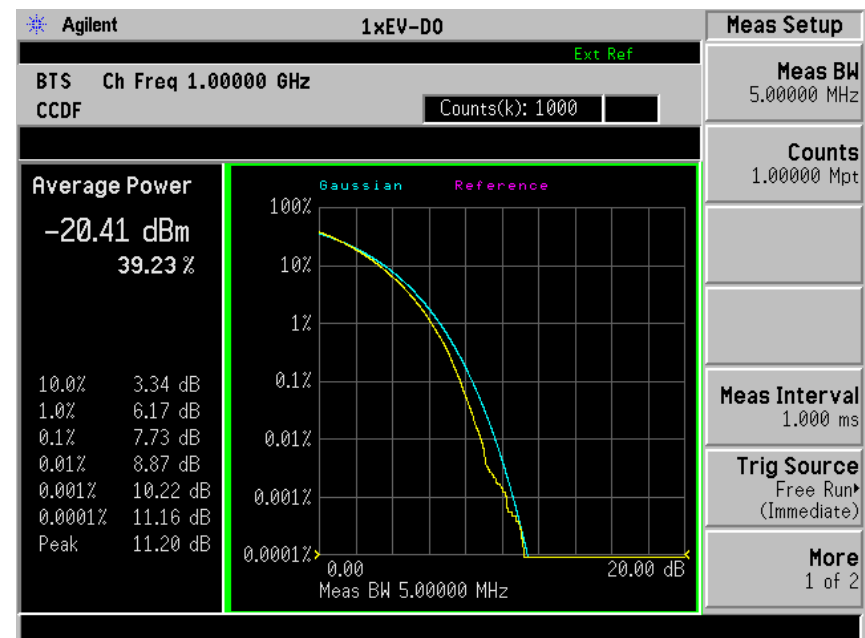
Si misura prima e dopo gli amplificatori

Permette di verificare se i vecchi amplificatori sono in grado di gestire i nuovi segnali

Tensione I o Q

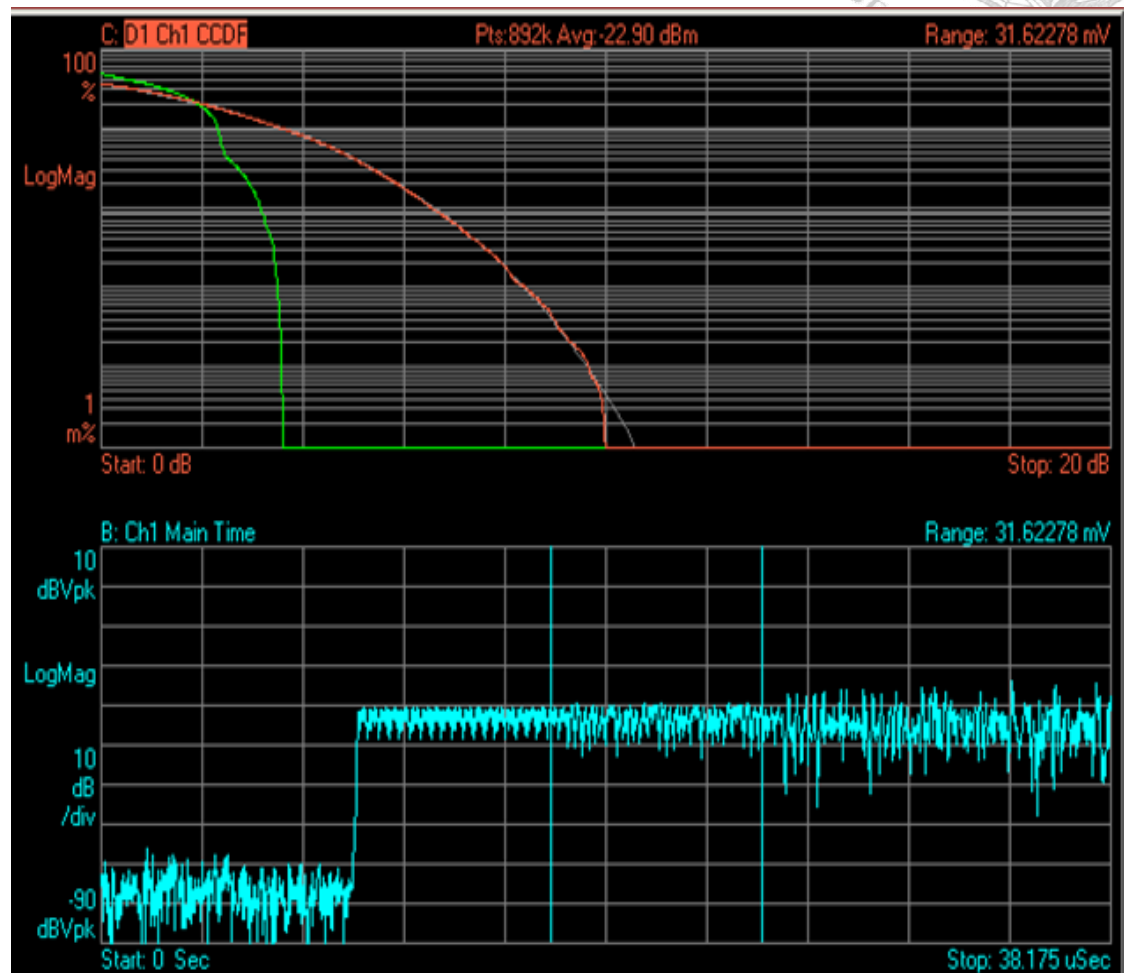
**Segnale
modulato**

tempo



Caratterizzazione del segnale nel dominio del tempo:

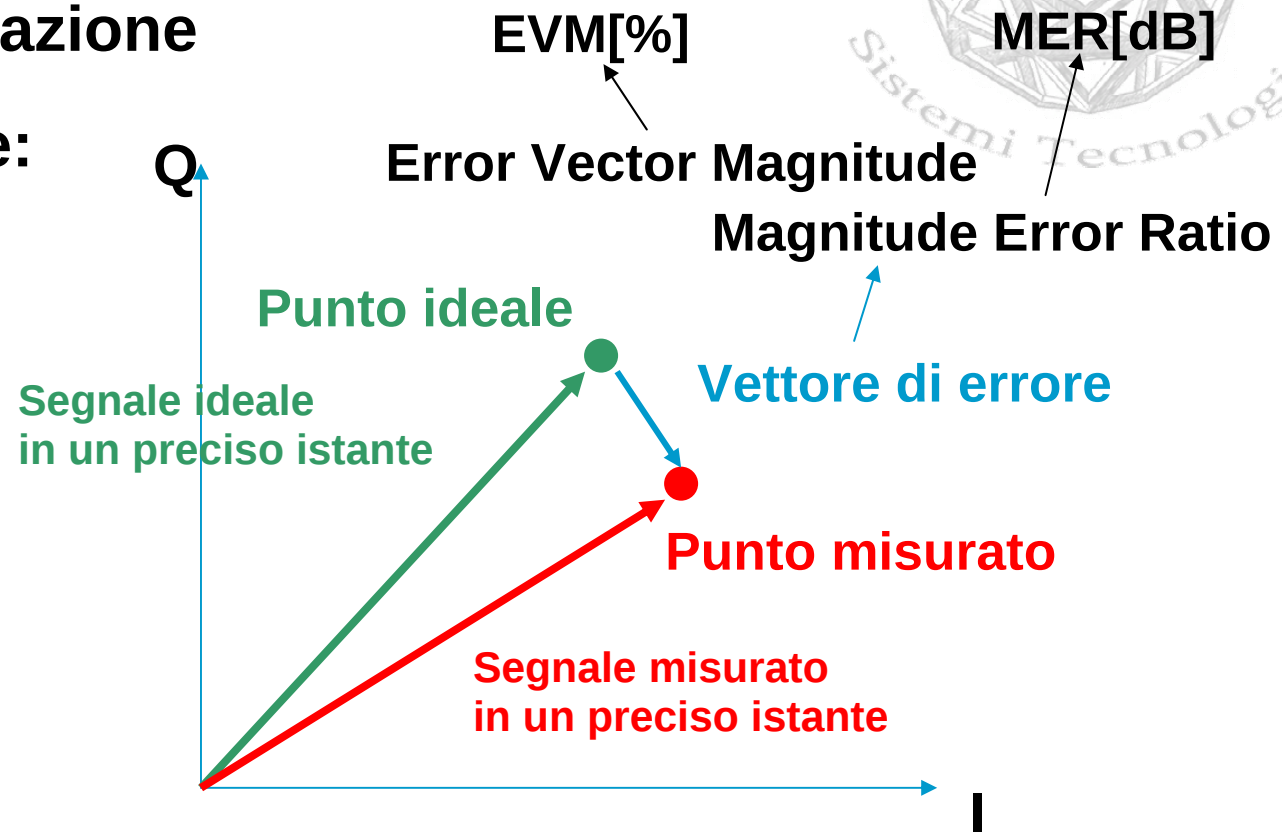
Gated CCDF (CCDF misurato in una finestra temporale predefinita)



Analisi della qualità di modulazione

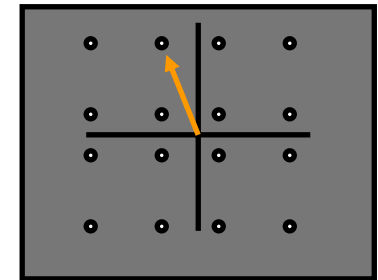
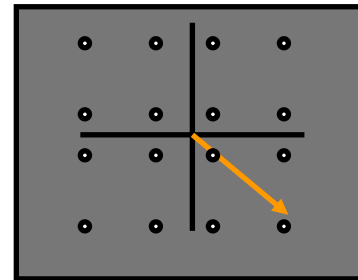
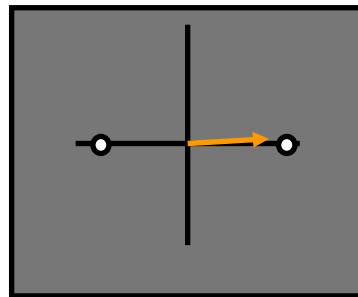
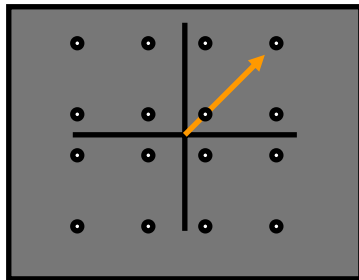
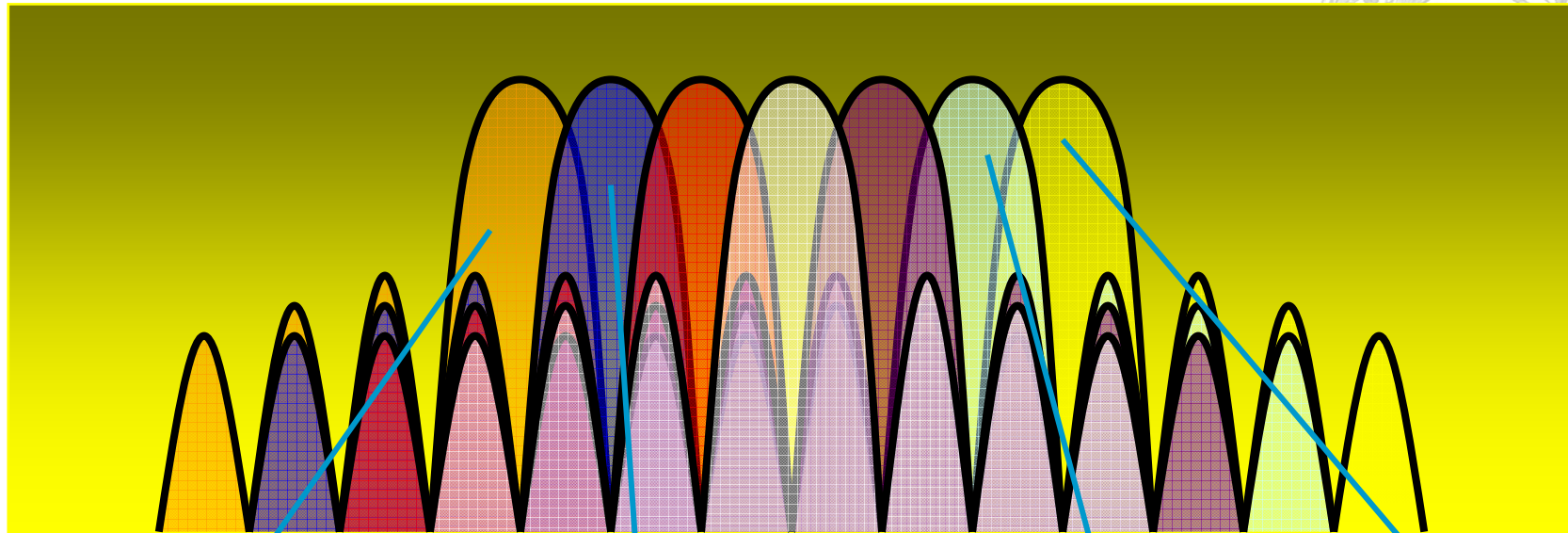
- Errori di modulazione

Concetto di base:



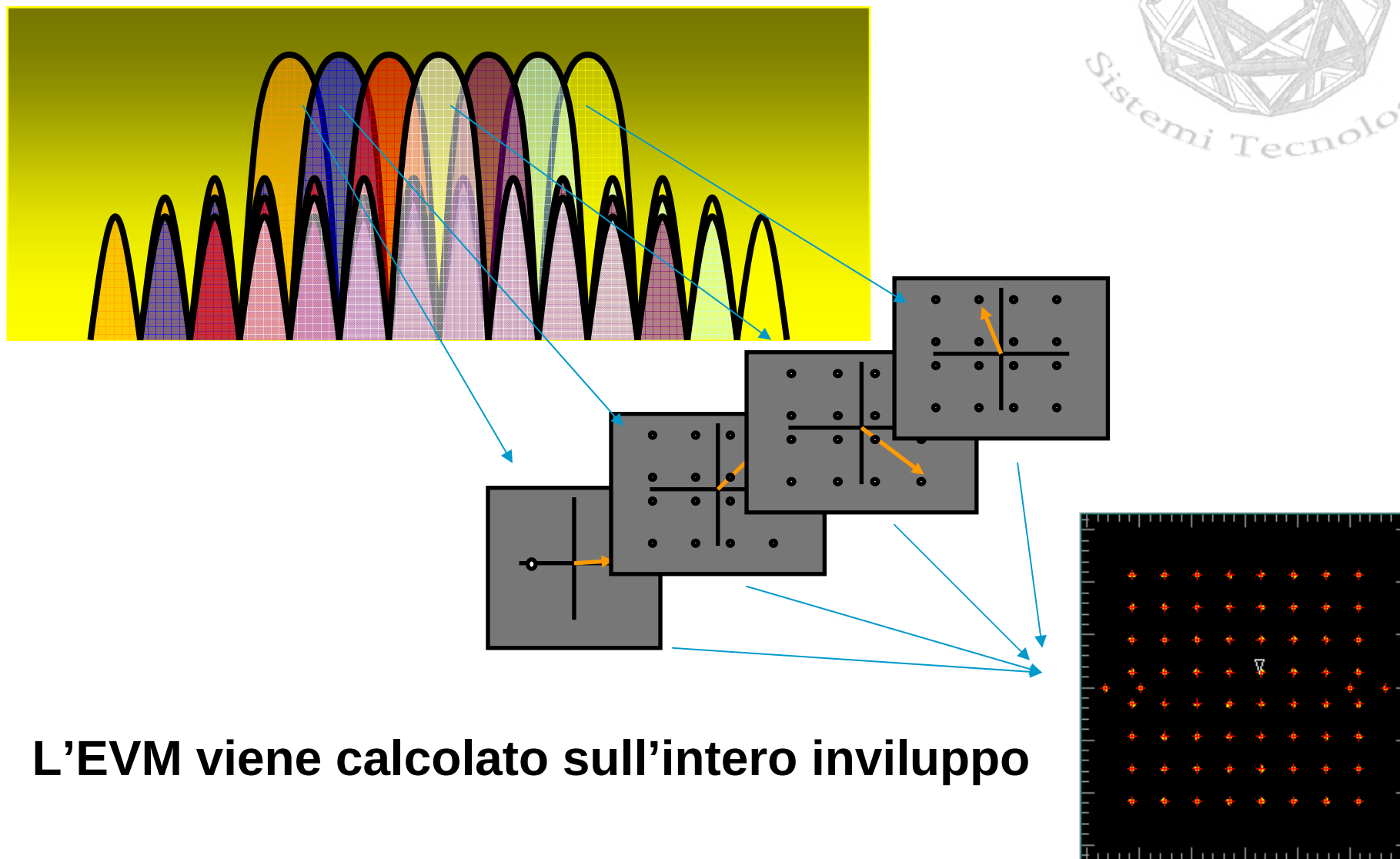
Il segnale misurato non è mai uguale al segnale ideale, a causa del rumore, distorsioni del trasmettitore, fenomeni di propagazione, ecc.

Qualità di modulazione su ogni singola portante...



- La misura dell'EVM di ciascuna portante non dà una visione complessiva dell'inviluppo

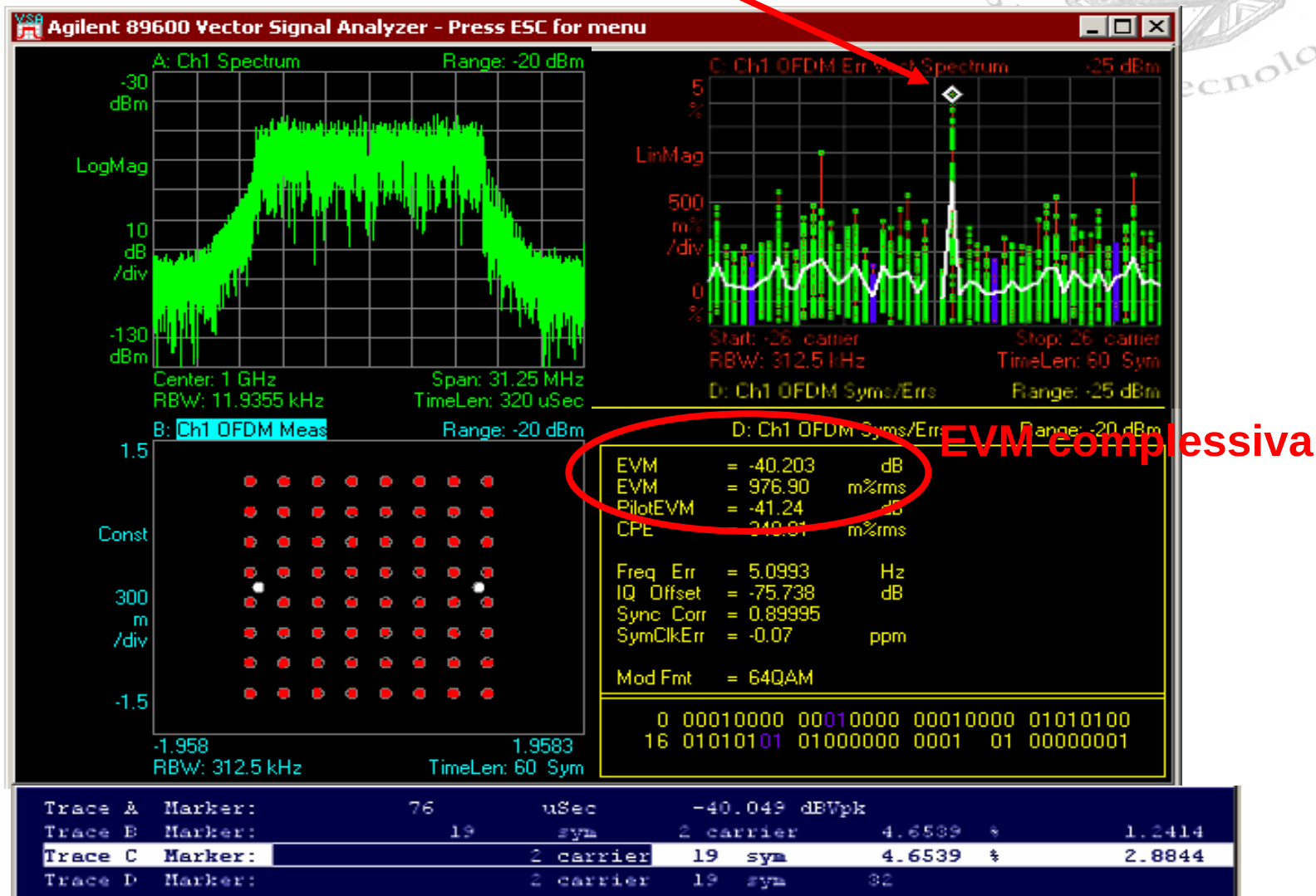
Qualità di modulazione: visione composita



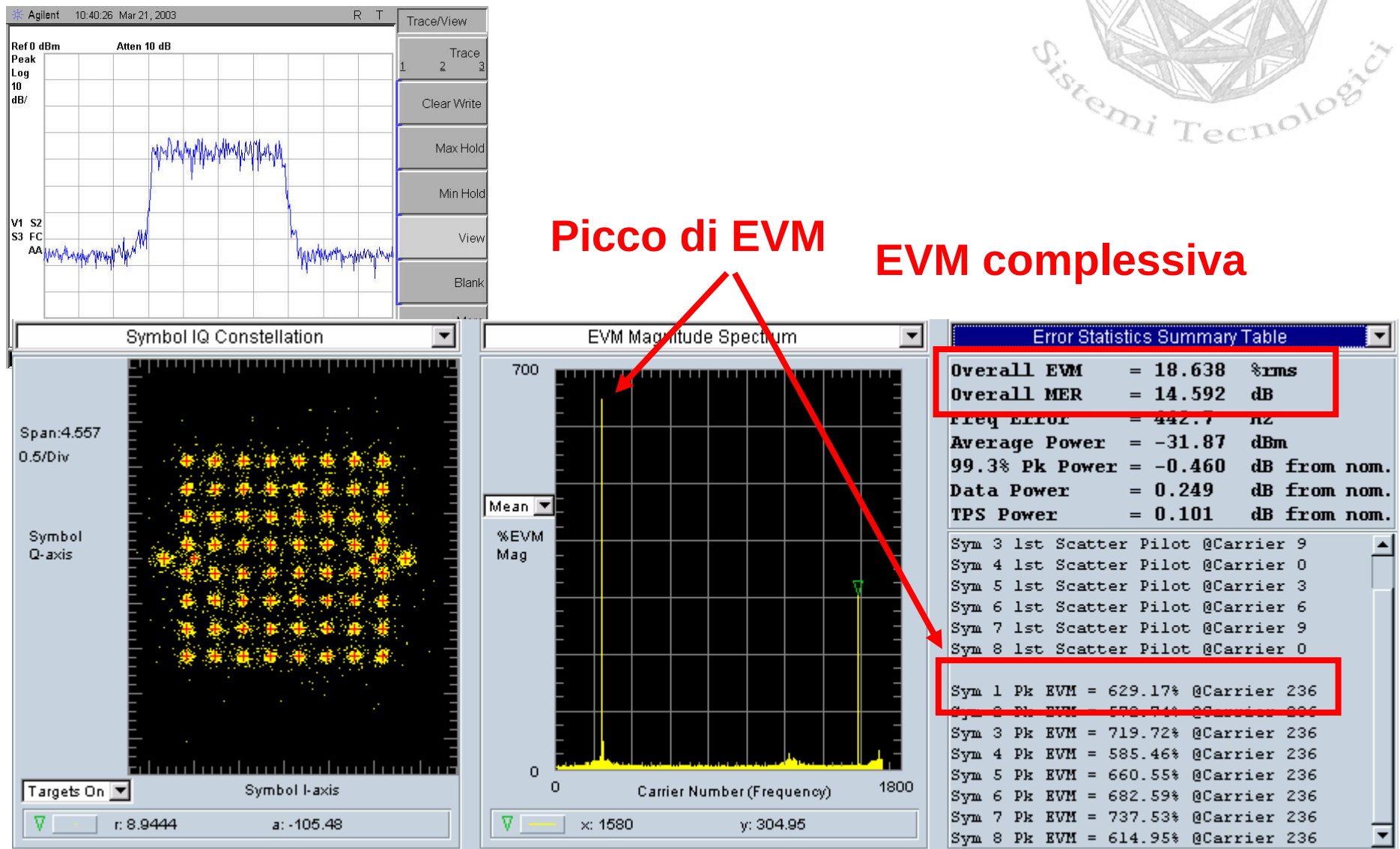
L'EVM viene calcolato sull'intero inviluppo

Qualità di modulazione: es. segnale 802.11a

Picco di EVM su una singola portante



Qualità di modulazione: es. segnale DVB-T



Conclusioni

- I sistemi OFDM si sono spostati dai libri di testo al mondo reale
- Molto robusto alle interferenze causate dal multipath, ma compensato dall'incremento della complessità HW
- **Sistema complesso = Test complesso!**
- E' necessario valutare la complessità dei test nei termini dei loro elementi di base, ovvero: frequenza/potenza/tempo/qualità di modulazione
- Tools necessari per un'analisi adeguata:
 - Analizzatore di spettro con rivelatore rms e capacità di misurare la potenza reale del canale
 - Vector Signal Analyzer (VSA) con opportune caratteristiche

