

Corso di laurea magistrale in Ingegneria delle  
Telecomunicazioni

Misure Elettroniche per le Telecomunicazioni

# **Fondamenti di sistemi DVB e misure per la caratterizzazione di trasmettitori DVB**

ing. Gianfranco Miele  
g.miele@unicas.it

# Agenda

## Introduzione

- Cenni storici sul DVB Project
- Cenni storici sugli standard DVB
- OFDM

## DVB-T

- Cenni sul trasmettitore
- Misure sul trasmettitore

# Agenda

## Introduzione

- **Cenni storici sul DVB Project**
- Cenni storici sugli standard DVB
- OFDM

## DVB-T

- Cenni sul trasmettitore
- Misure sul trasmettitore

# Timeline

**ELG**  
(1991)

**Lancio DVB-S  
Francia**  
(1994)

**DVB  
Project**  
(1993)

**Lancio  
DVB-C**  
(1995)

**DVB-S**  
(1993/94)

**DVB-C**  
(1994)

1990

1992

1994

1996

# Timeline

**DVB-T**  
(1997)

**DVB-H**  
(2004)

**Lancio DVB-T  
Svezia e UK  
(1998)**

**Switch-off  
Berlino  
(2003)**

**DVB-S2**  
(2005)

**Lancio DVB-H  
Italia  
(2006)**

1997

1999

2001

2003

2005

# Agenda

## Introduzione

- Cenni storici sul DVB Project
- **Cenni storici sugli standard DVB**
- OFDM

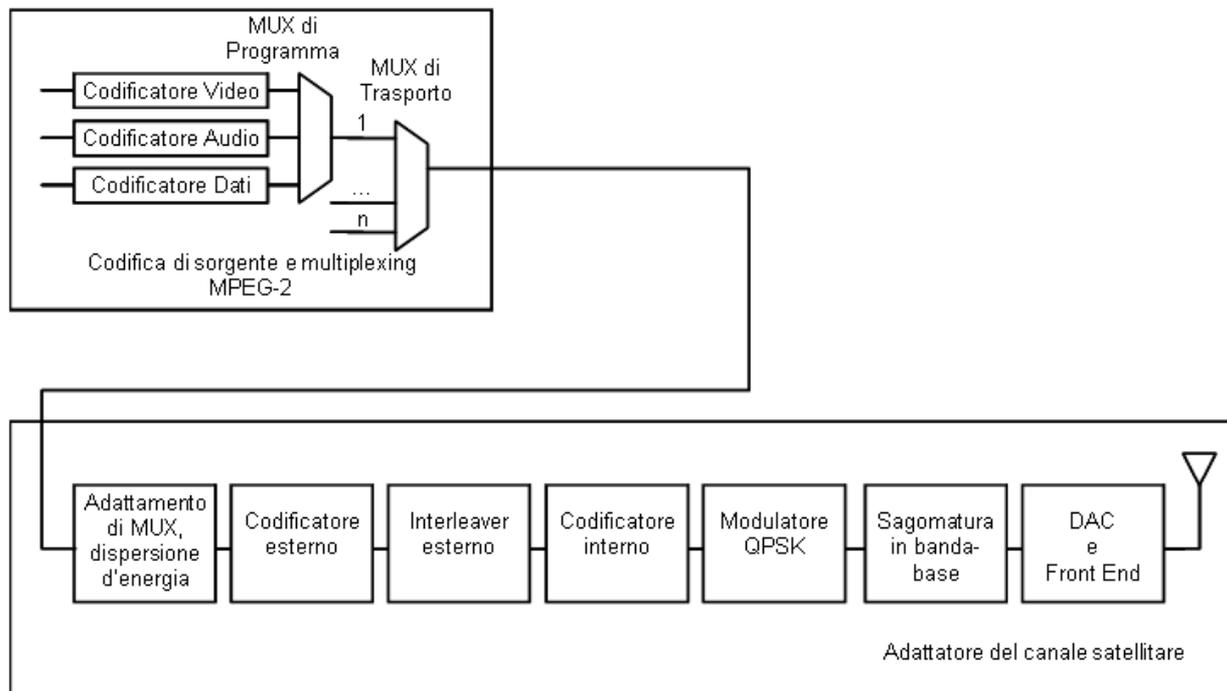
## DVB-T

- Cenni sul trasmettitore
- Misure sul trasmettitore

# DVB-S

È il primo standard che è stato sviluppato fu quello per la trasmissione di segnali televisivi digitali via satellite.

Approvato dall'ETSI nel 1994 con il seguente nome EN 300421.



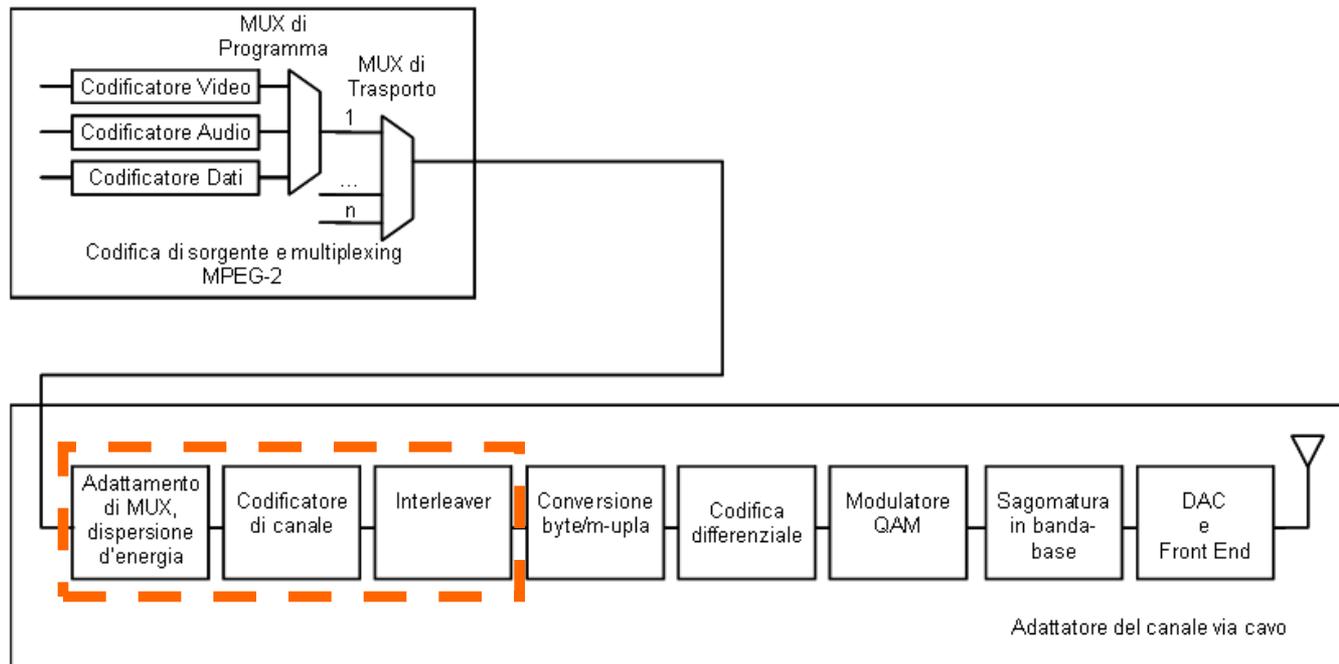
## Caratteristiche

- Banda di utilizzo
  - uplink 14-19 GHz
  - downlink 11-13 GHz
- Codificatore esterno RS(204,188)
- Interleaving esterno convoluzionale
- Codifica interna convoluzionale (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
- Schema di modulazione QPSK
- Coefficiente di roll-off 0.28

# DVB-C

Il secondo standard che è stato sviluppato fu quello per la trasmissione di segnali televisivi digitali via cavo.

Approvato dall'ETSI nel 1994 con il seguente nome EN 300429.



## Caratteristiche

- Codificatore esterno RS(204,188)
- Interleaving esterno convoluzionale
- Schema di modulazione QAM (16-QAM,32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM)
- Coefficiente di roll-off 0.15
- Banda del canale 2-10 MHz

# DVB-T

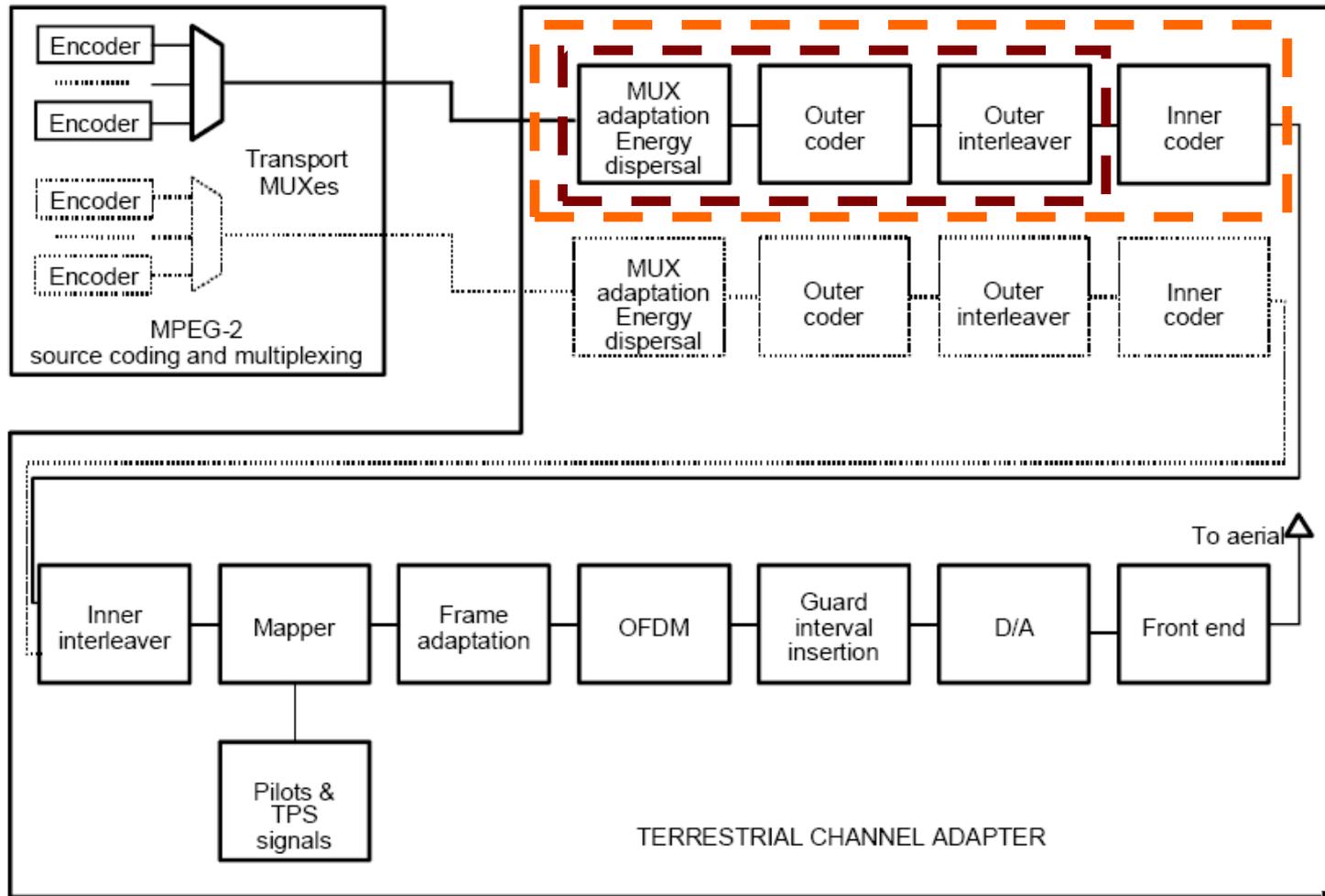
Sebbene la televisione digitale via satellite e via cavo fosse accessibile a molti utenti nel mondo, il DVB Project decise di progettare un nuovo sistema di diffusione per le seguenti motivazioni:

- Molti paesi non hanno una copertura satellitare o, comunque è inadeguata. In molti casi un servizio sostitutivo non è possibile oppure molto costoso.
- I precedenti sistemi non sono adatti per fornire servizi locali o municipali.
- Non consentono la ricezione mobile.

Introduzione della televisione digitale terrestre

**DVB<sup>®</sup> T**  
TERRESTRIAL

# DVB-T



## Caratteristiche

- Banda di utilizzo (UHF, VHF)
- Codificatore esterno RS(204,188)
- Interleaving esterno convoluzionale
- Codifica interna convoluzionale (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
- Interleaving interno
- Modulazione COFDM
- Schema di modulazione QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- Banda del canale 6-8 MHz

# DVB-H

È una evoluzione dello standard DVB-T, che consente di ricevere segnali televisivi e applicazioni multimediali su dispositivi palmari (smartphone, PDA).

Questi dispositivi soffrono di due problemi:

- consumo delle batterie;
- effetto doppler.

Per combattere tali problematiche nel DVB-H vengono effettuate alcune variazioni al livello fisico DVB-T e vengono introdotte nuove caratteristiche nel livello datalink.

# Agenda

## Introduzione

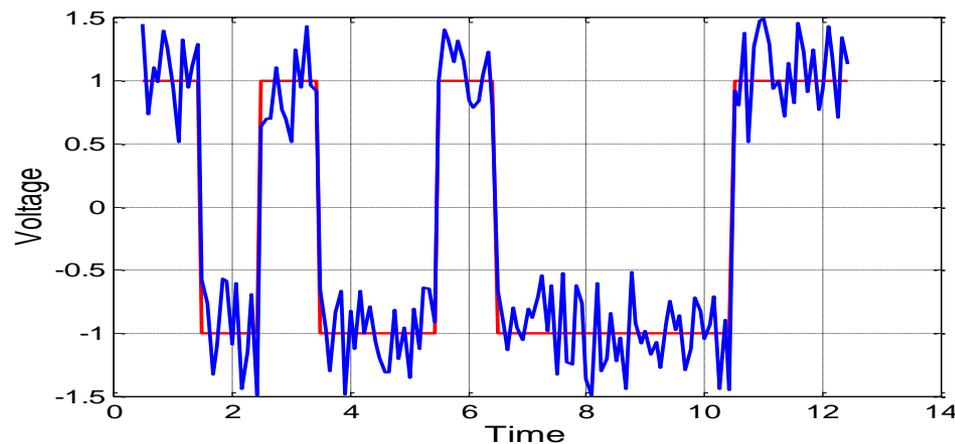
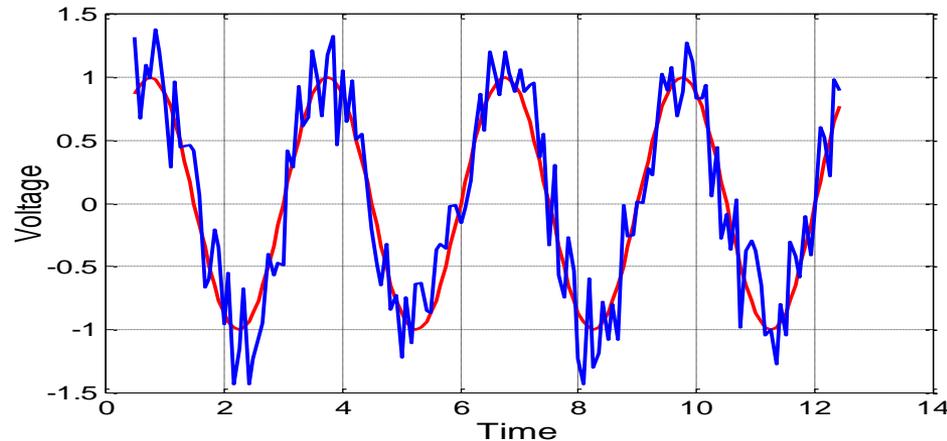
- Cenni storici sul DVB Project
- Cenni storici sugli standard DVB
- **OFDM**

## DVB-T

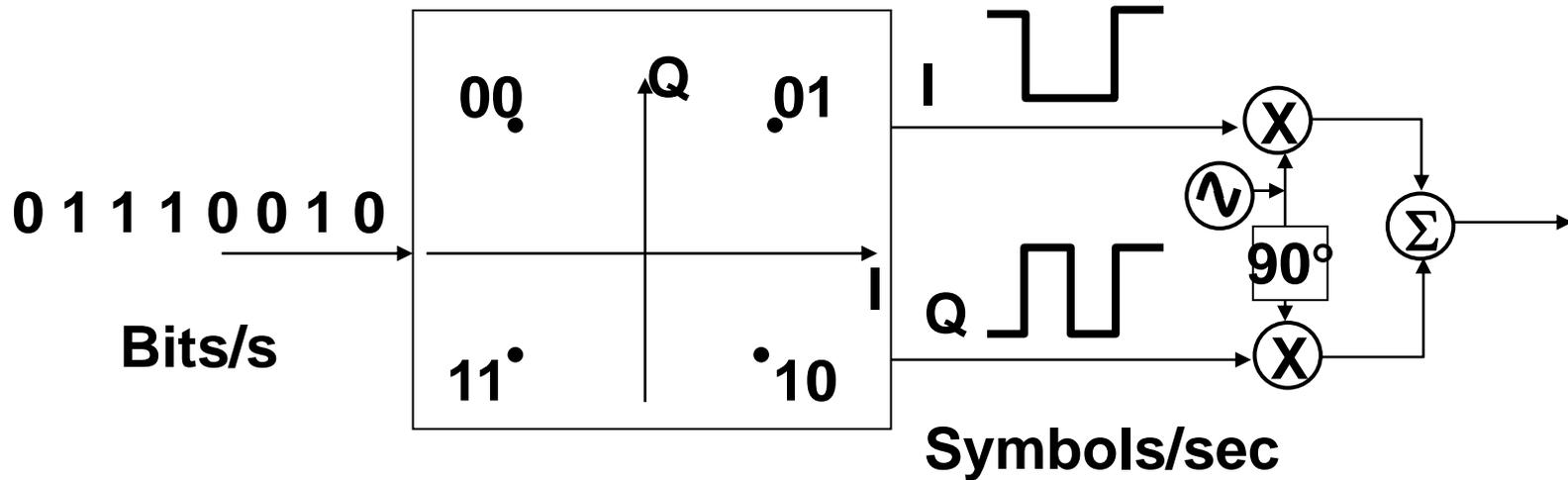
- Cenni sul trasmettitore
- Misure sul trasmettitore

# SCM (Single Carrier Modulation)

- Evoluzione diretta dalla modulazione analogica
- Bit sono prima mappati in simboli presi da un alfabeto predefinito



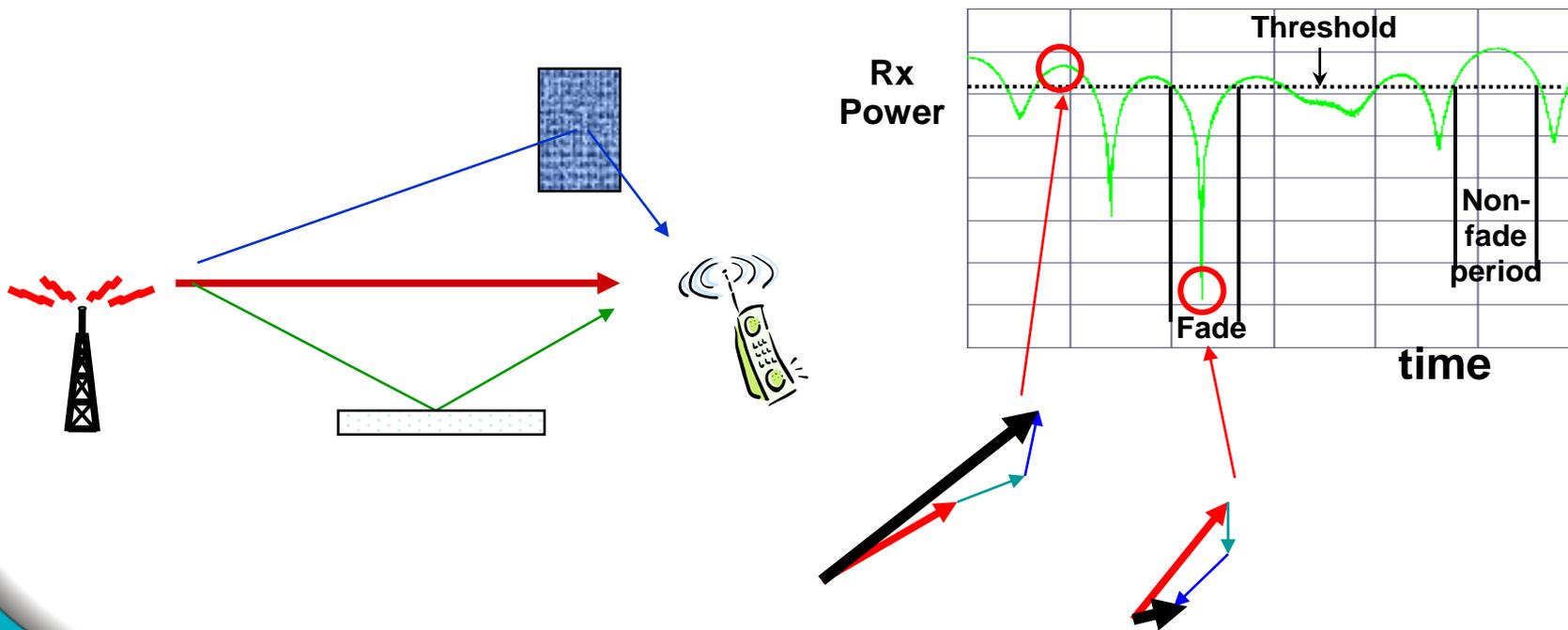
# Modulatore SCM



- Lo spettro occupato è collegato alla banda I/Q (quindi all'information rate), e alla banda del filtro di shaping

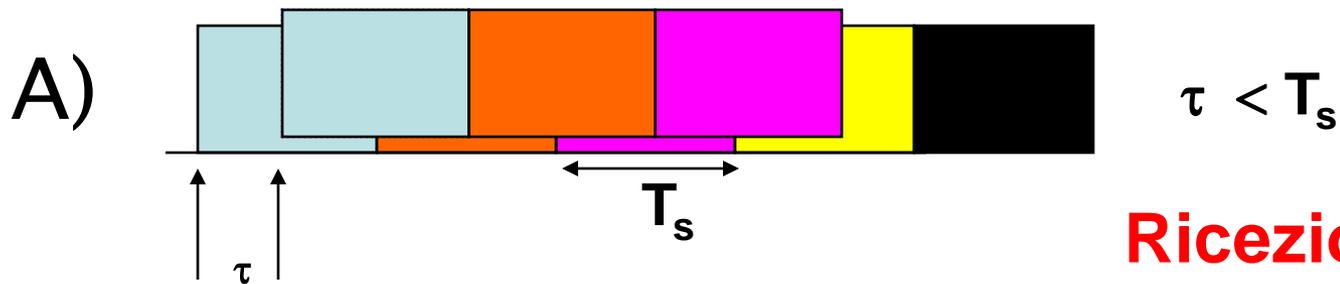
# Comportamento SCM in ambienti wireless

La trasmissione in ambiente wireless è limitata principalmente dal problema delle riflessioni multiple cioè dall'interferenza multipath



# Channel delay spread e bitrate

- $\tau$  è il ritardo introdotto dalla propagazione nel canale
- $T_s$  è il periodo di simbolo



**Ricezione Ok,  
con equalizzazione**



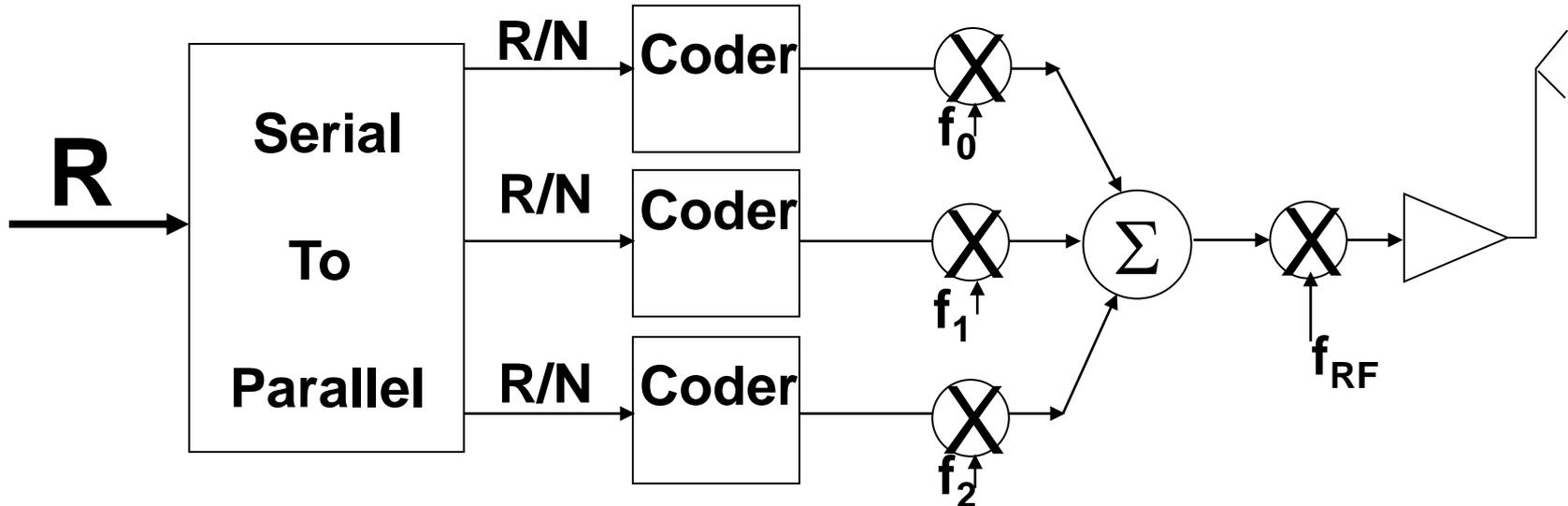
**Ricezione distorta,  
NON recuperabile**

**Flussi ad elevati tassi sono sensibili alla distorsione  
dovuta al multipath**

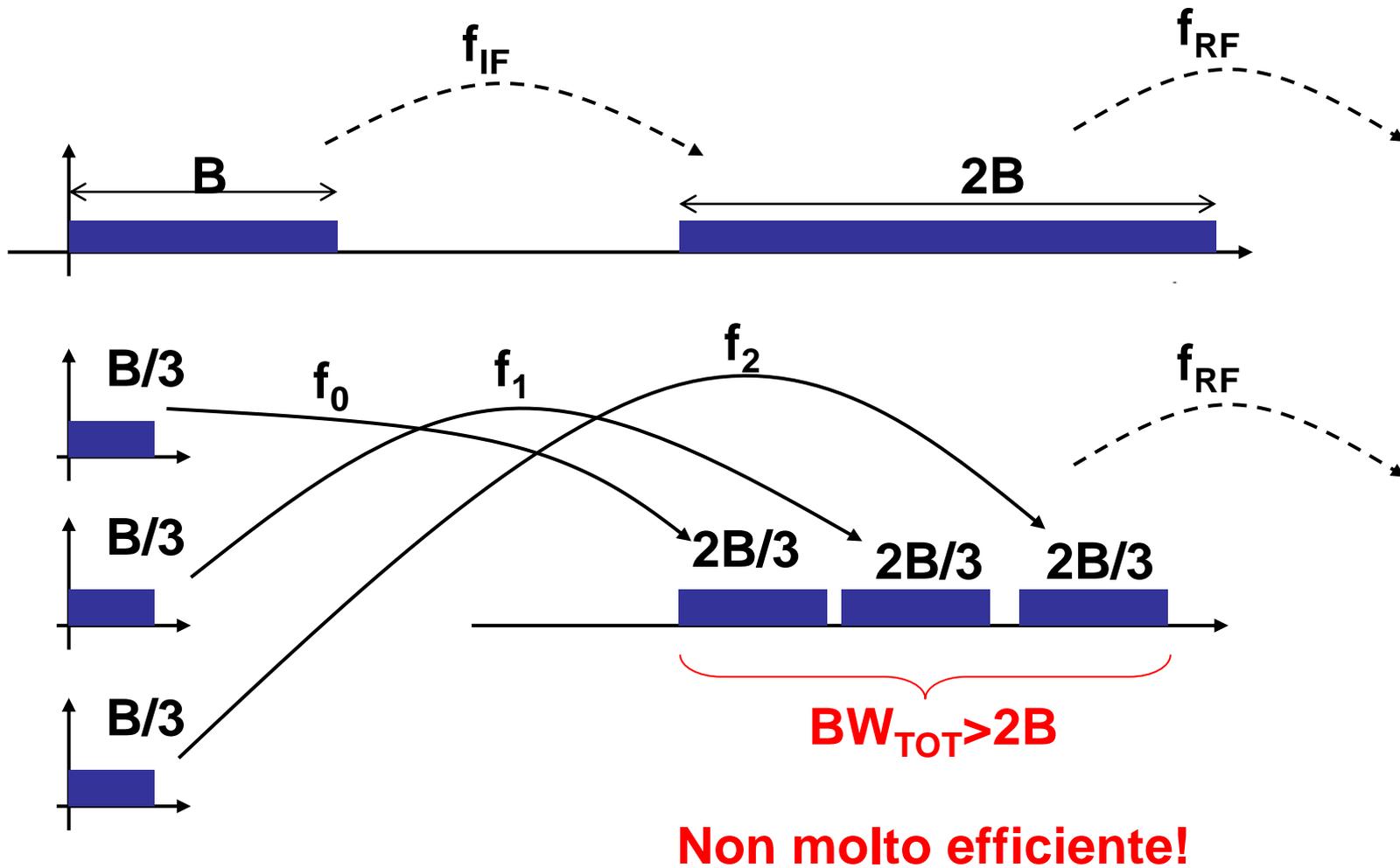
# FDM

Poiché un flusso informativo ad elevato tasso modulato su una singola portante è molto sensibile al multipath.

Dividere quel flusso in più flussi informativi ad un rate più basso

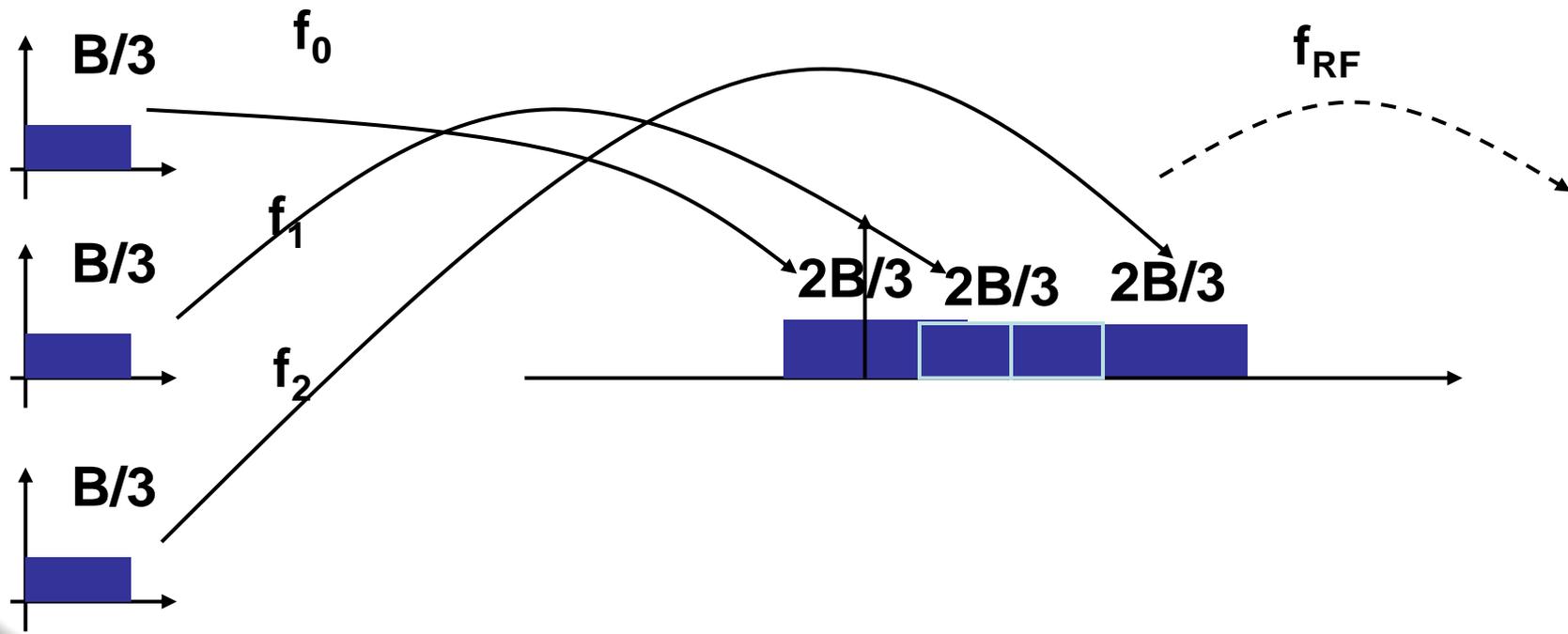


# FDM

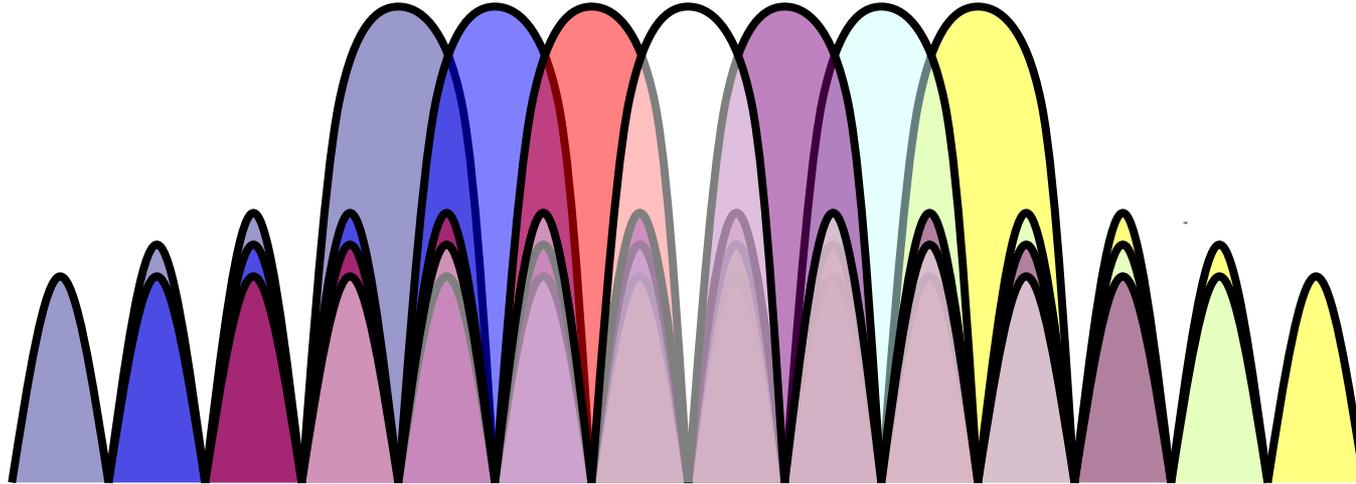


# OFDM

Se le sottoportanti sono scelte da un set ortogonale, le sottobande possono essere parzialmente sovrapposte.

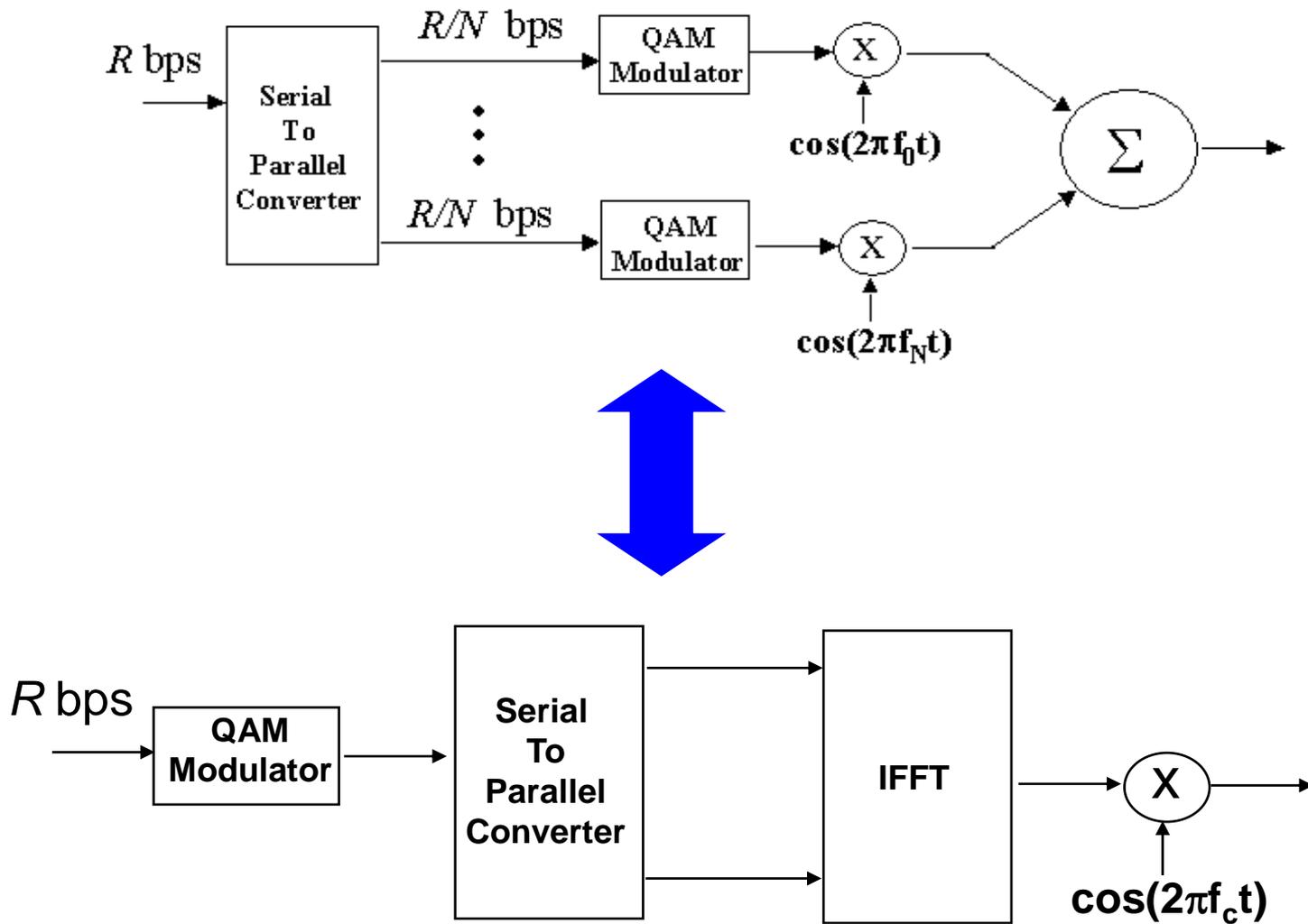


# OFDM

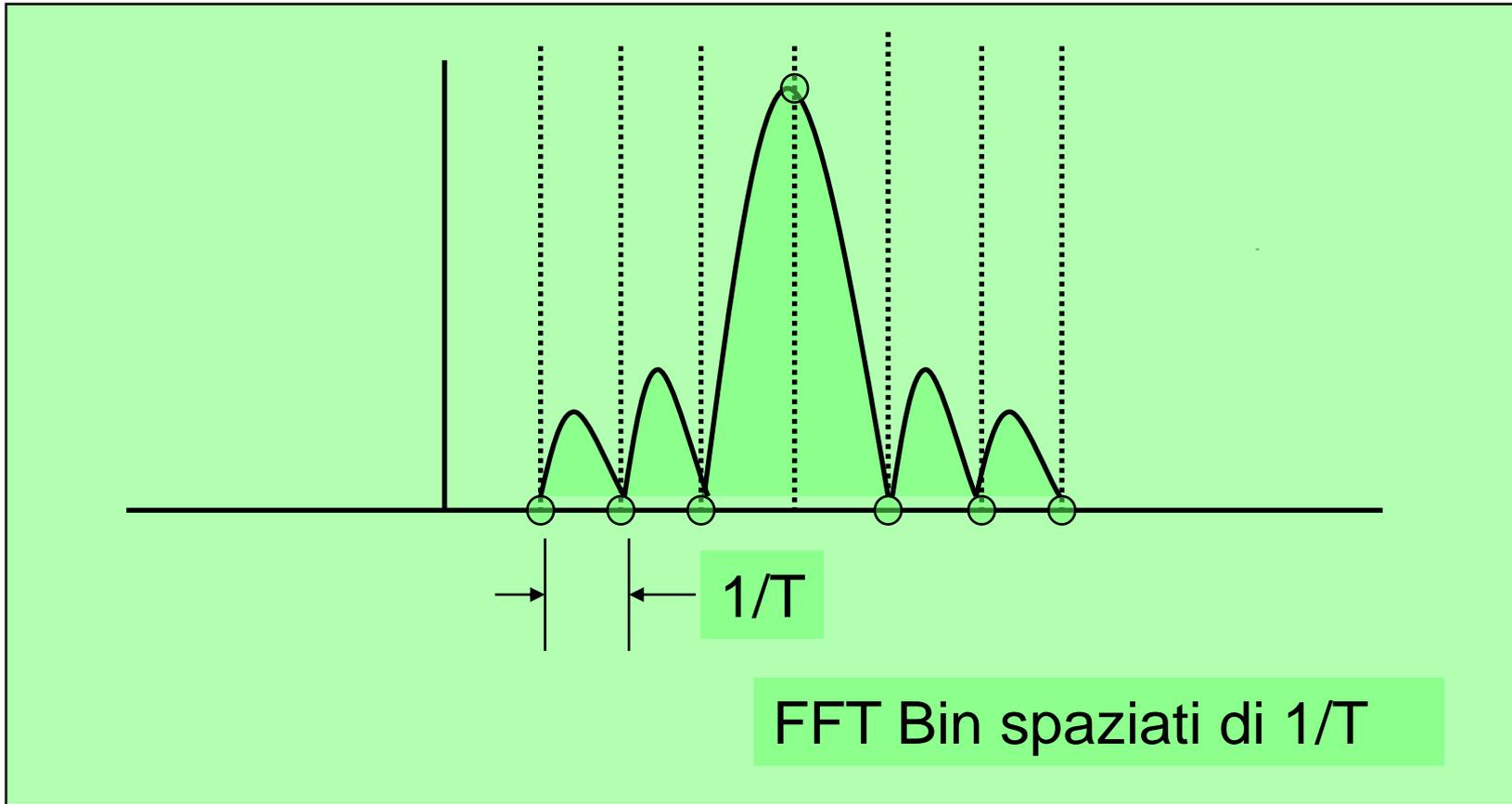


- **Portanti parzialmente sovrapposte**
- **I nulli dello spettro di ogni portante cade al centro di tutte le altre portanti al fine di ottenere una interferenza interportante nulla.**

# OFDM

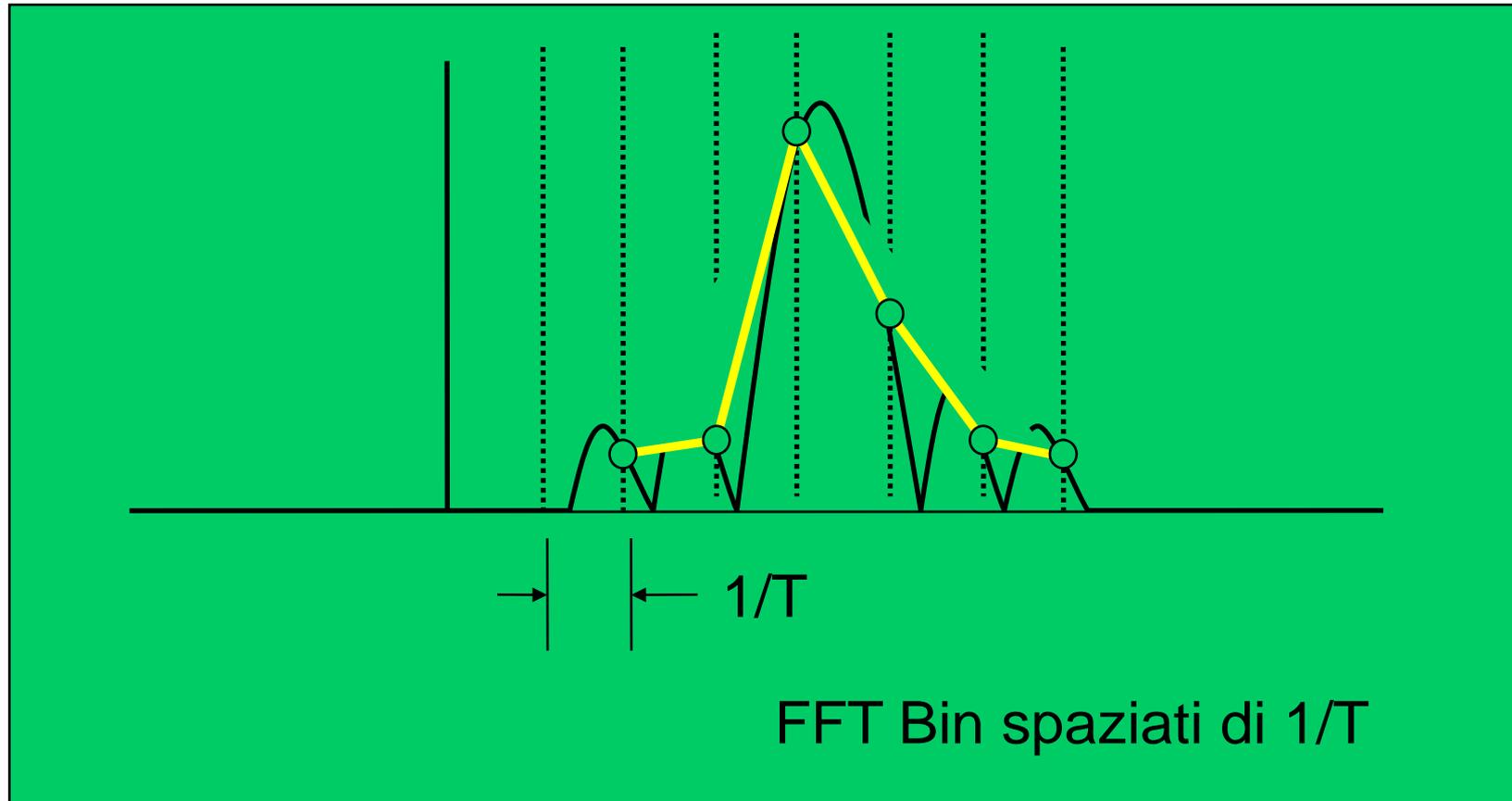


# Ricevitore OFDM

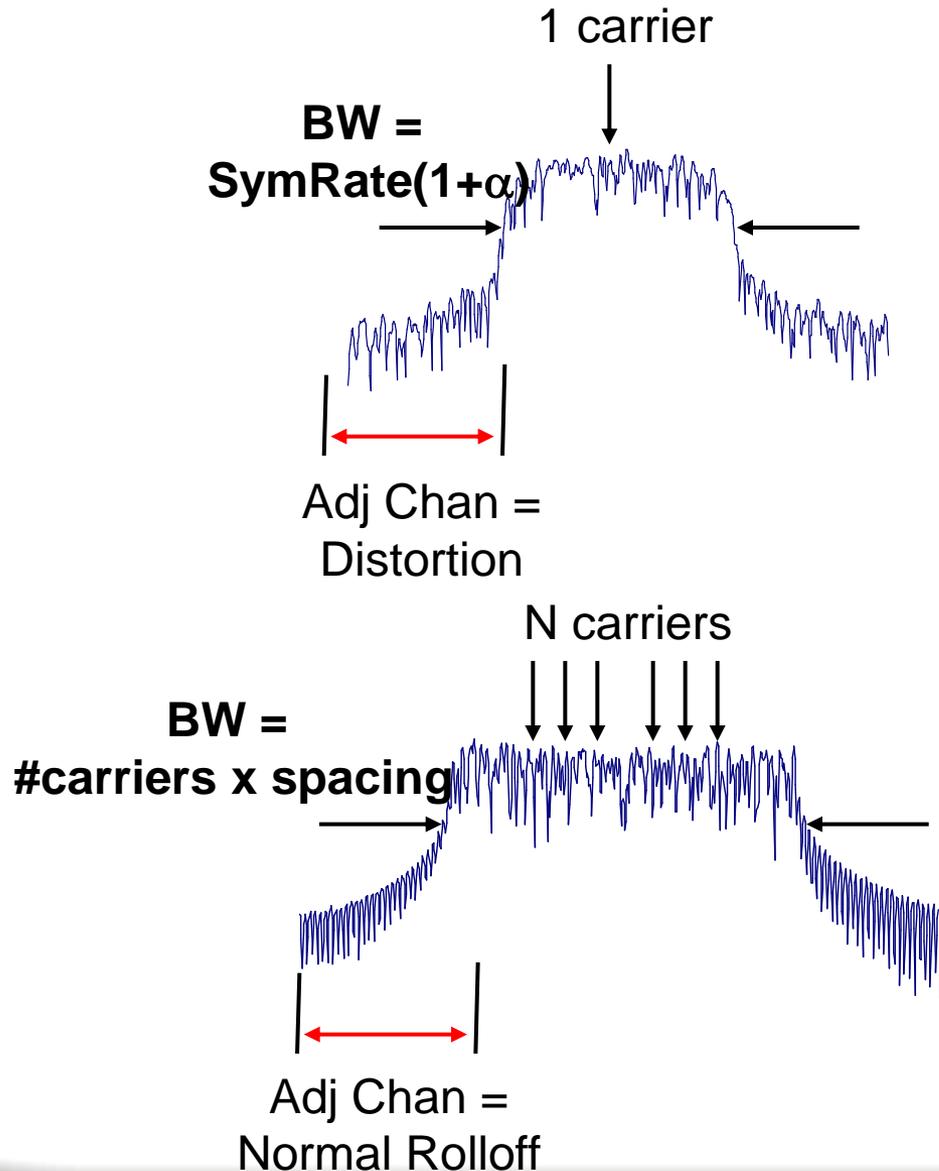


# Ricevitore OFDM

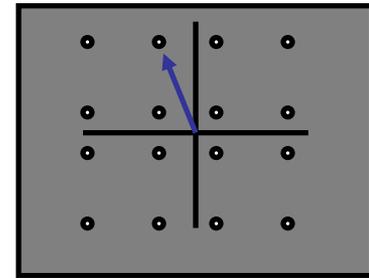
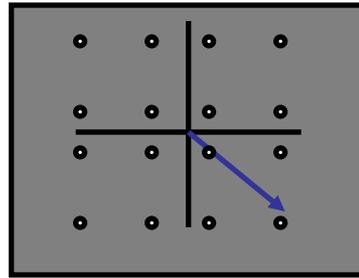
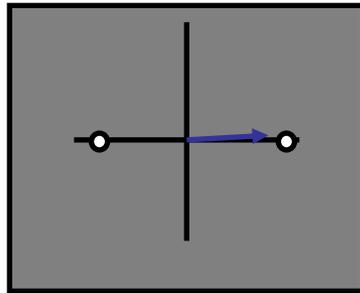
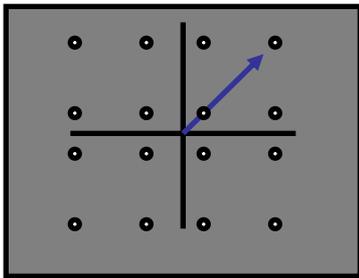
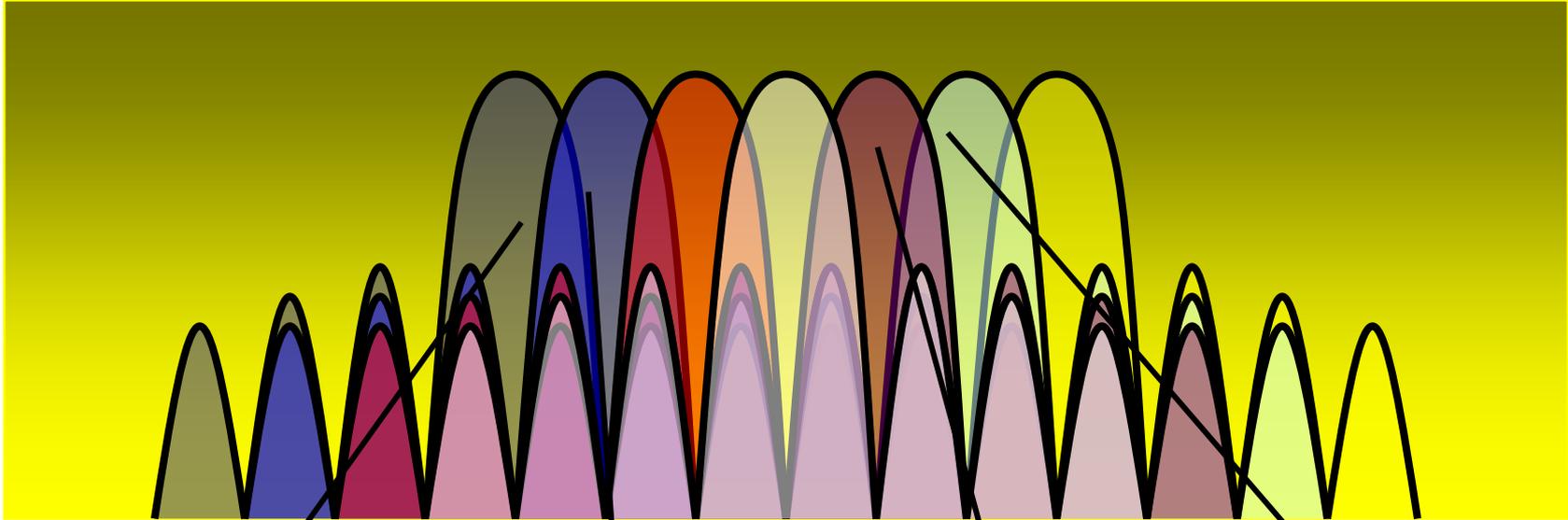
Errori in frequenza causano interferenza interportante.



# Spettro OFDM



# Possibile utilizzo modulazioni diverse su ogni portante



# Agenda

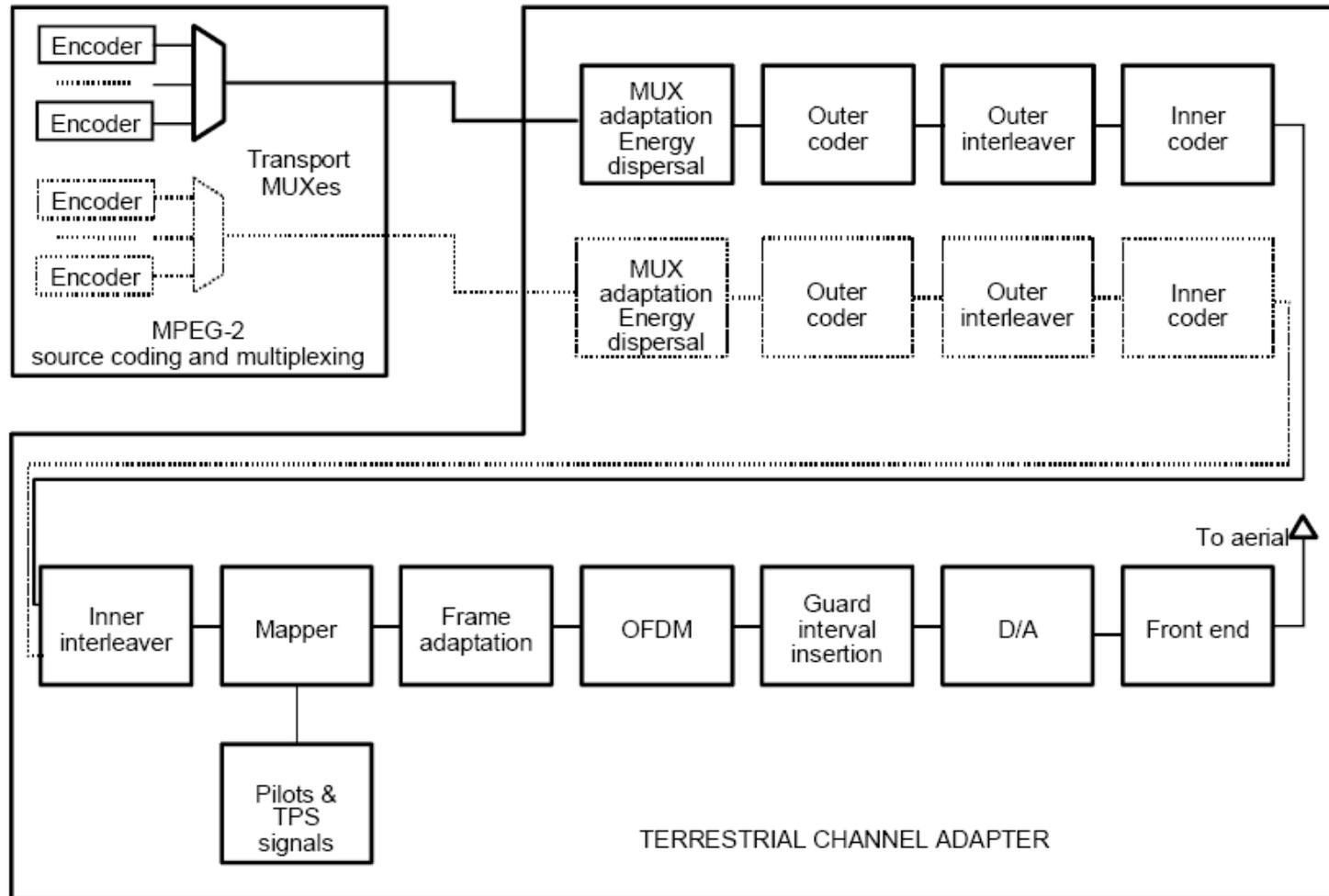
## Introduzione

- Cenni storici sul DVB Project
- Cenni storici sugli standard DVB
- OFDM

## DVB-T

- **Cenni sul trasmettitore**
- Misure sul trasmettitore

# DVB-T



# Codifica di canale

## Transport multiplex adaptation and randomization for energy dispersal

Ha il compito di adattare il transport stream MPEG-2 in uscita dal multiplexer alle caratteristiche del trasmettitore, effettuando una randomizzazione del flusso dati al fine di assicurare adeguate transizioni binarie al modulatore.

Il flusso dati in uscita al multiplexer è organizzato in pacchetti di lunghezza fissa pari a 188 byte.

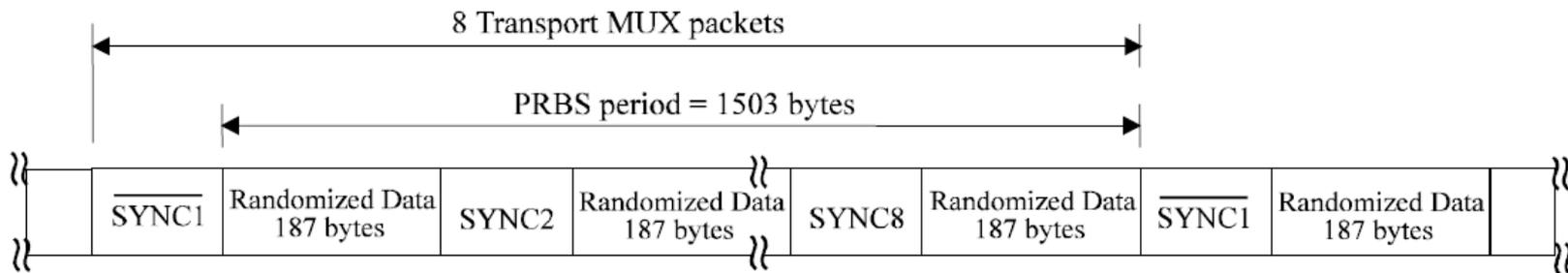
SYNC 1 byte	MPEG-2 transport MUX data 187 bytes
----------------	--

# Codifica di canale

## Transport multiplex adaptation and randomization for energy dispersal

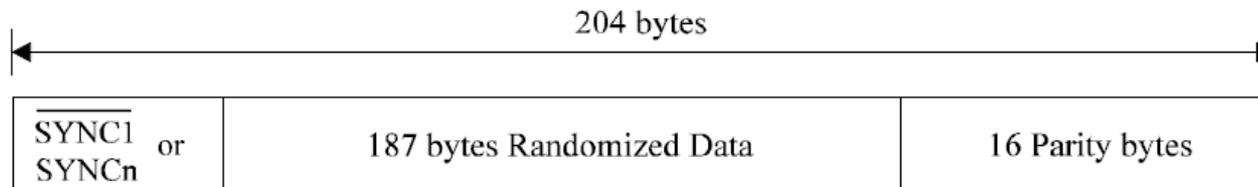
La randomizzazione viene eseguita attraverso l'utilizzo di generatore di una sequenza binaria pseudocasuale (PRBS).

Al fine di fornire un segnale di un segnale di inizializzazione al generatore, il primo MPEG-2 sync byte di un gruppo di otto pacchetti è invertito bit a bit.



# Codifica esterna

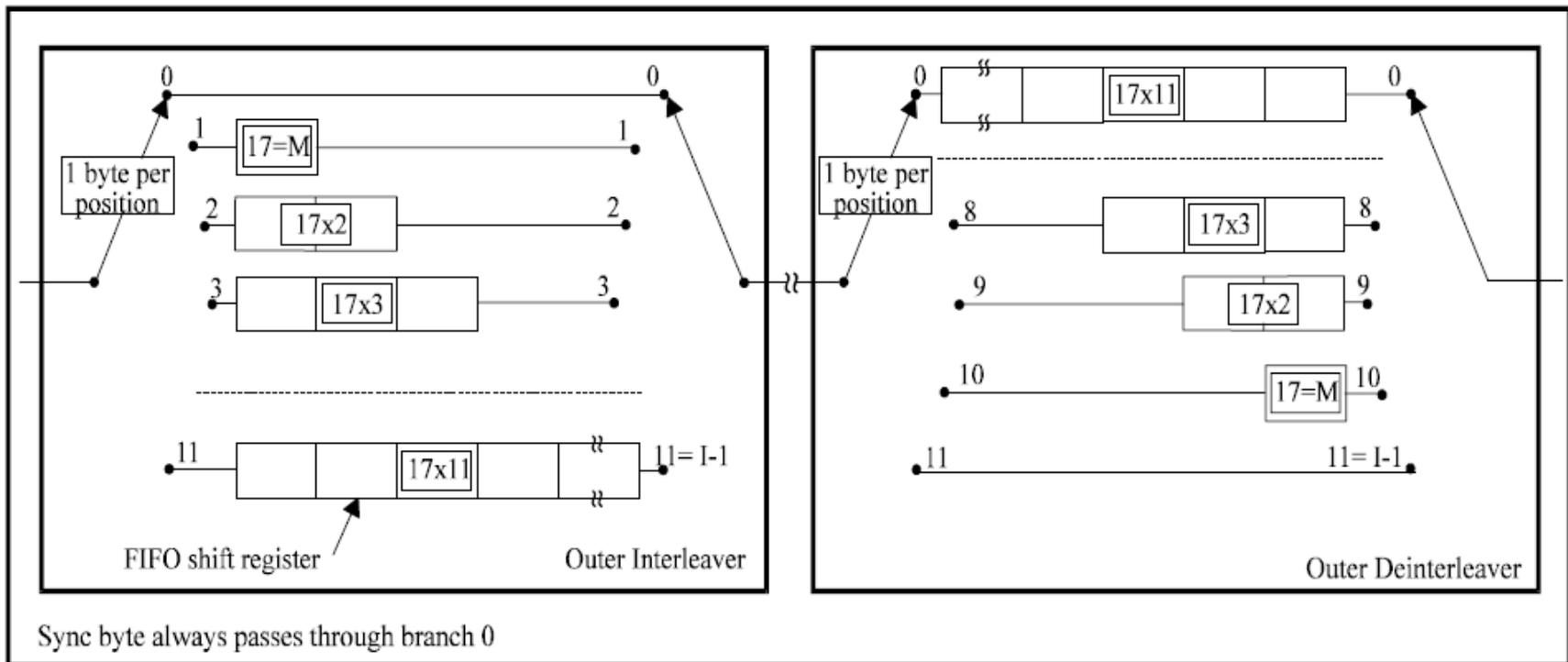
**In questo blocco viene effettuata la codifica del pacchetto randomizzato utilizzando un codificatore Reed-Solomon RS(204,188, t=8) shortened code**



**La codifica viene applicato all'intero pacchetto incluso il sync byte. Essa aggiunge 16 byte di parità con la conseguente possibilità di correggere fino a 8 byte ricevuti errati in una word da 204 byte.**

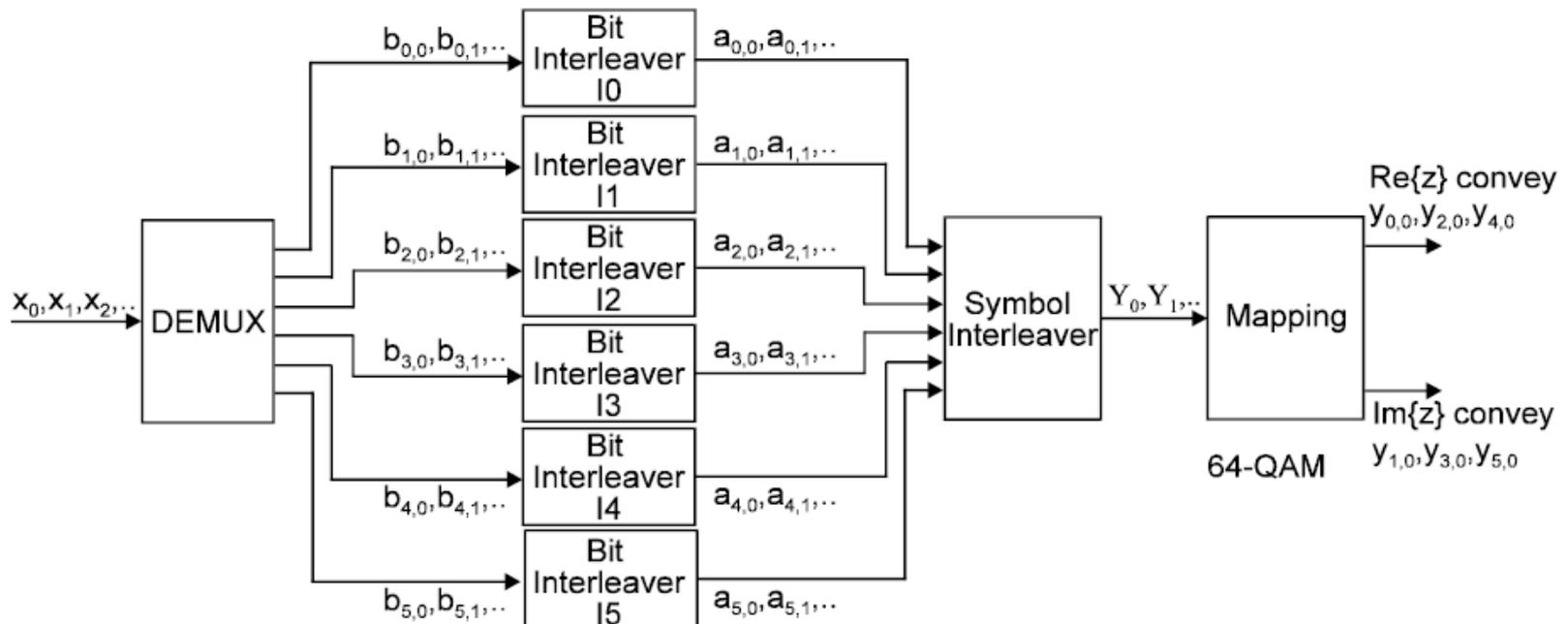
# Interleaver esterno

Il processo di interleaving è basato su un interleaver convoluzionale, composto da 12 rami.



# Interleaver interno

L'interleaving interno è composto da un bit-wise interleaver seguito da un symbol interleaver.



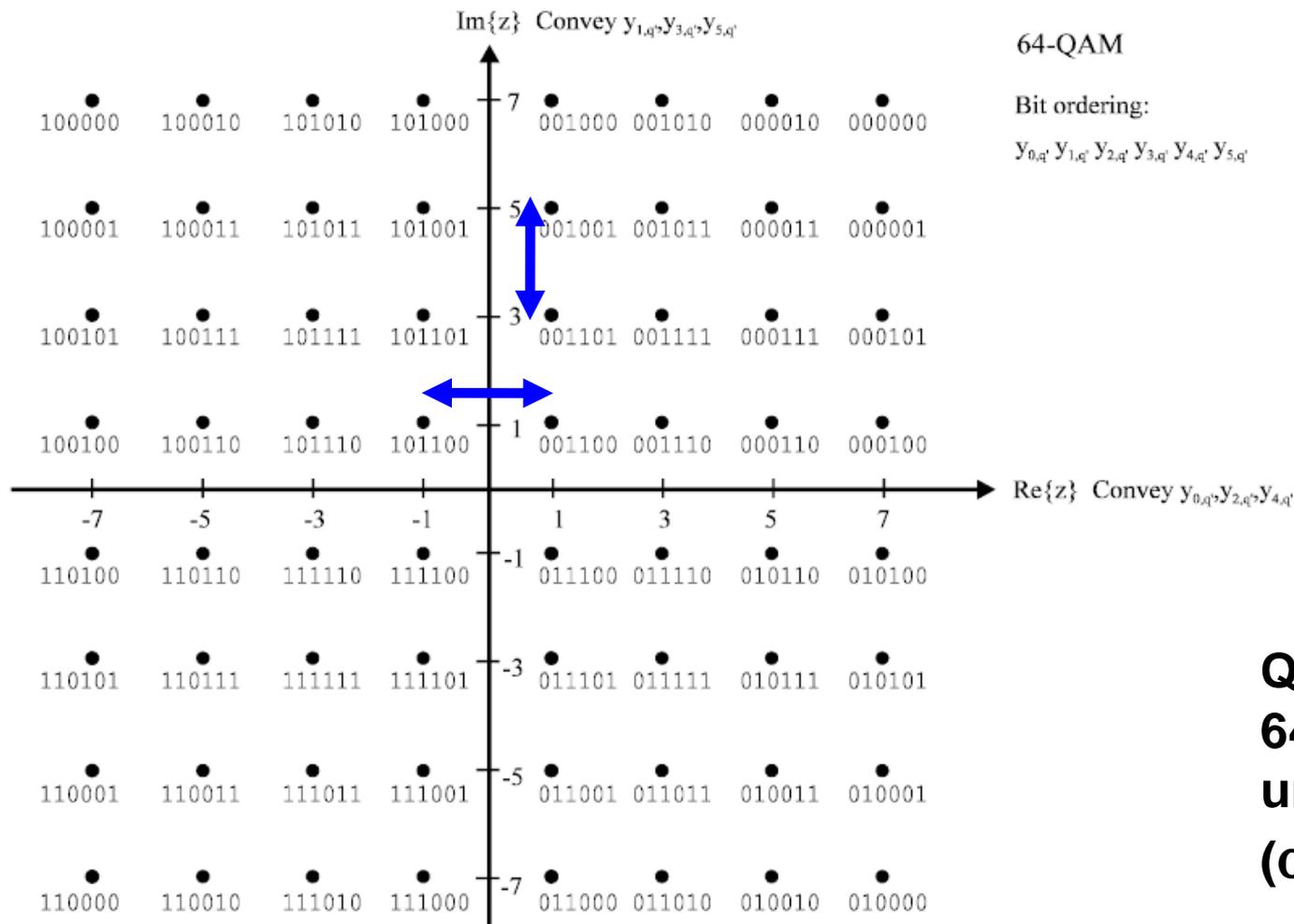
# Mappatura

**Tutte le portanti dati vengono modulate utilizzando lo stesso schema di modulazione (QPSK, 16-QAM, 64-QAM).**

**Nel caso di trasmissione non gerarchica è possibile utilizzare anche due costellazioni non uniformi (16-QAM, 64-QAM)**

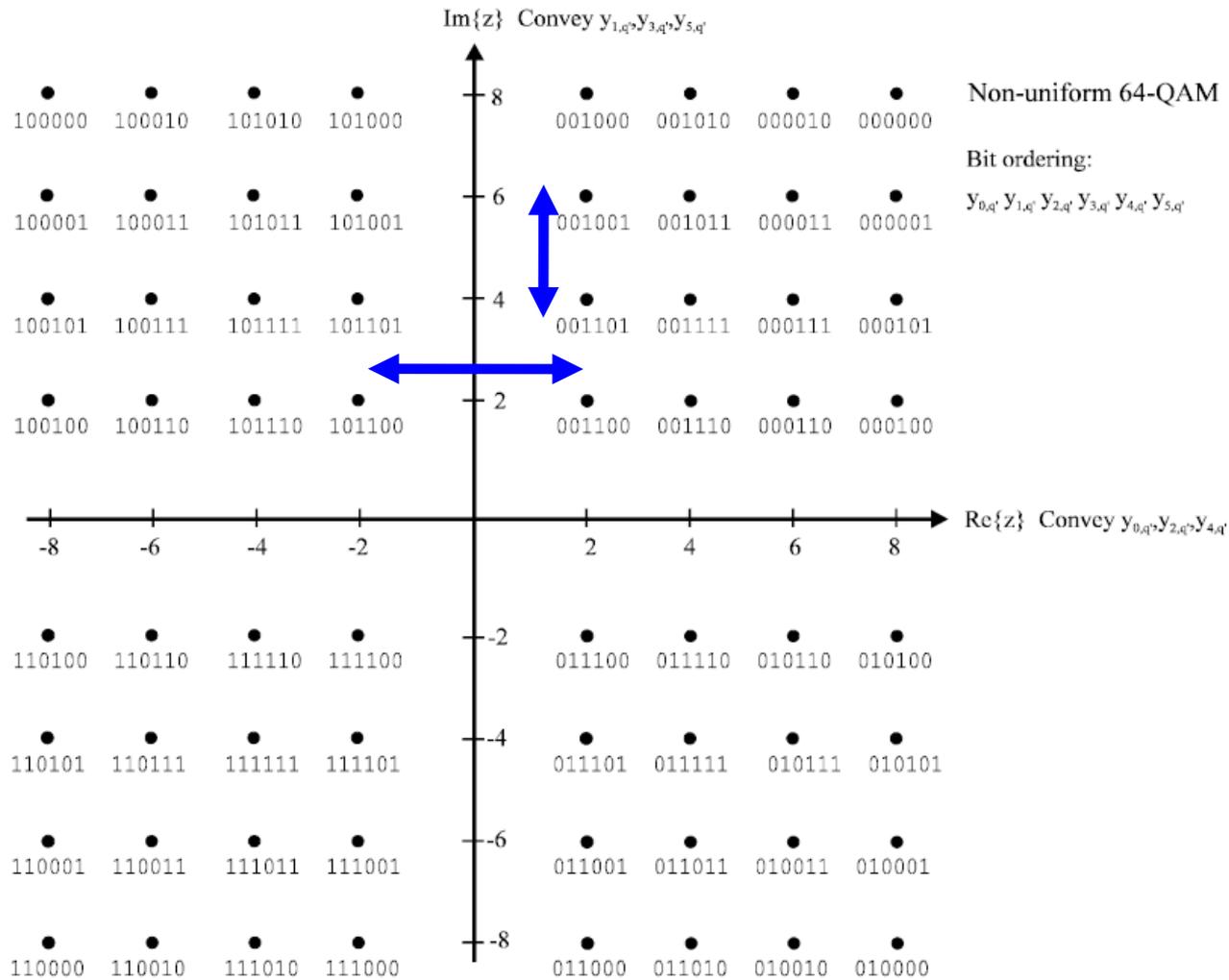
**L'esatta proporzione della costellazione dipende da un parametro  $\alpha$  che può assumere tre valori 1, 2, 4 e rappresenta il rapporto tra la minima distanza tra due simboli HP e la minima distanza tra due simboli qualsiasi della costellazione.**

# Mappatura



**Questa è una  
64-QAM  
uniforme  
( $\alpha=1$ )**

# Mappatura



Questa è una  
64-QAM non  
uniforme  
( $\alpha=2$ )

# Mappatura

I simboli dopo essere modulati vengono divisi per un fattore di normalizzazione

Modulation scheme		Normalization factor
QPSK		$c = z/\sqrt{2}$
16-QAM	$\alpha = 1$	$c = z/\sqrt{10}$
	$\alpha = 2$	$c = z/\sqrt{20}$
	$\alpha = 4$	$c = z/\sqrt{52}$
64-QAM	$\alpha = 1$	$c = z/\sqrt{42}$
	$\alpha = 2$	$c = z/\sqrt{60}$
	$\alpha = 4$	$c = z/\sqrt{108}$

# Frame OFDM

**Il segnale trasmesso è organizzato in frame composte da 68 simboli OFDM.**

**Ogni 4 frame costituiscono una superframe.**

**La durata di un simbolo OFDM è  $T_s = T_U + \Delta$ .**

**Ogni simbolo è composto da 6817 portanti (8k) e 1705 portanti nel caso (2k) ed ognuna porta un simbolo modulato.**

**In aggiunta ai dati una frame contiene:**

- **Celle pilota diffuse**
- **Celle pilota continue**
- **Portanti di segnalazione**

# Modulazione OFDM

**Parametri OFDM in frequenza per le modalità 8k e 2k e per un canale da 8 MHz.**

Parameter	8K mode	2K mode
Number of carriers $K$	6 817	1 705
Value of carrier number $K_{\min}$	0	0
Value of carrier number $K_{\max}$	6 816	1 704
Duration $T_U$ (see note 2)	896 $\mu\text{s}$	224 $\mu\text{s}$
Carrier spacing $1/T_U$ (see notes 1 and 2)	1 116 Hz	4 464 Hz
Spacing between carriers $K_{\min}$ and $K_{\max}$ $(K-1)/T_U$ (see note 2)	7,61 MHz	7,61 MHz

Mode	8K mode				2K mode			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Guard interval $\Delta / T_U$	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duration of symbol part $T_U$	8 192 $\times T$ 896 $\mu\text{s}$ (see note)				2 048 $\times T$ 224 $\mu\text{s}$ (see note)			
Duration of guard interval $\Delta$	2 048 $\times T$ 224 $\mu\text{s}$	1 024 $\times T$ 112 $\mu\text{s}$	512 $\times T$ 56 $\mu\text{s}$	256 $\times T$ 28 $\mu\text{s}$	512 $\times T$ 56 $\mu\text{s}$	256 $\times T$ 28 $\mu\text{s}$	128 $\times T$ 14 $\mu\text{s}$	64 $\times T$ 7 $\mu\text{s}$
Symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10 240 $\times T$ 1 120 $\mu\text{s}$	9 216 $\times T$ 1 008 $\mu\text{s}$	8 704 $\times T$ 952 $\mu\text{s}$	8 448 $\times T$ 924 $\mu\text{s}$	2 560 $\times T$ 280 $\mu\text{s}$	2 304 $\times T$ 252 $\mu\text{s}$	2 176 $\times T$ 238 $\mu\text{s}$	2 112 $\times T$ 231 $\mu\text{s}$

# Agenda

## Introduzione

- Cenni storici sul DVB Project
- Cenni storici sugli standard DVB
- OFDM

## DVB-T

- Cenni sul trasmettitore
- **Misure sul trasmettitore**

- Modulation Error Ratio (MER)

**Scopo:** E' una singola figura di merito che consente l'analisi di K portanti.

**Metodo:** Ricevuti N simboli, per ogni simbolo viene effettuata la decisione del simbolo trasmesso. Il vettore errore è definito come la distanza dalla posizione ideale del simbolo scelto e la posizione del simbolo ricevuto. La distanza può essere espressa da un vettore le cui coordinate sono  $(\delta I_j, \delta Q_j)$ .

- **Modulation Error Ratio (MER)**

**La somma dei quadrati delle ampiezze dei simboli ideali è diviso per la somma dei quadrati degli errori. Il risultato espresso in dB è definito MER.**

$$MER = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} dB = 20 \log_{10} \left\{ \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}} \right\} dB$$

**Un'altra figura di merito calcolabile è il Error Vector Magnitude (EVM). Questo indice è strettamente correlato al MER, infatti l'uno può essere calcolato a partire dalla conoscenza dell'altro.**

- Error Vector Magnitude (EVM)

Esso è definito così

$$EVM_{RMS} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{S_{\max}^2}} \times 100\%$$

$S_{\max}$  è l'ampiezza del vettore del simbolo più esterno alla costellazione.

La relazione che collega l'EVM con il MER è

$$EVM = \frac{1}{MER \times V}$$

Dove  $V = S_{\max} / S_{rms}$  e, deve essere calcolato su un numero di simboli 10 volte maggiore dei simboli della costellazione.

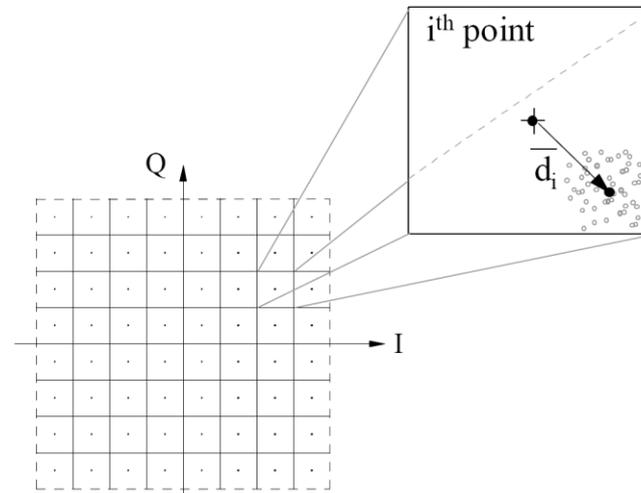
QAM format	Peak-to-mean voltage ratio (V)
16	1.341
32	1.303
64	1.527

- **System Target Error (STE)**

**Scopo:** Lo scostamento del centro delle nubi dalla posizione ideale del simbolo riduce l'immunità al rumore del sistema e indica la presenza di tipi speciali di distorsioni come AI e QE.

**Metodo:** Per ognuno degli  $M$  simboli della costellazione si calcola la distanza  $d_i$  tra il punto teorico del simbolo ed il punto corrispondente alla media del nuvola di quel particolare simbolo.

Questa quantità è chiamata **Target Error Vector (TEV)<sub>i</sub>**.



- System Target Error (STE)

Dal modulo degli  $M$  TEV si calcola la media e la deviazione standard (entrambe normalizzate al  $S_{rms}$ ), ottenendo il System Target Error Mean (STEM) ed il System Target Error Deviation (STED):

$$TEV_i = \bar{d}_i = (\delta\bar{I}_i, \delta\bar{Q}_i) \quad \text{dove} \quad \delta\bar{I}_i = \frac{1}{N_S} \sum_{j=1}^{N_S} \delta I_{i,j} \quad \delta\bar{Q}_i = \frac{1}{N_S} \sum_{j=1}^{N_S} \delta Q_{i,j}$$

$$STEM = \frac{1}{M \times S_{rms}} \sum_{i=1}^M |\bar{d}_i| \quad STED = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M |\bar{d}_i|^2}{M \times S_{rms}^2} - STEM^2}$$

- Amplitude Imbalance (AI)

**Scopo:** Per separare le distorsioni QAM risultanti dall'AI dei segnali I e Q da tutte le altre distorsioni.

**Metodo:** Si calcolano i guadagni  $v_I$  e  $v_Q$  da tutti i punti della costellazione eliminando tutte le altre influenze.

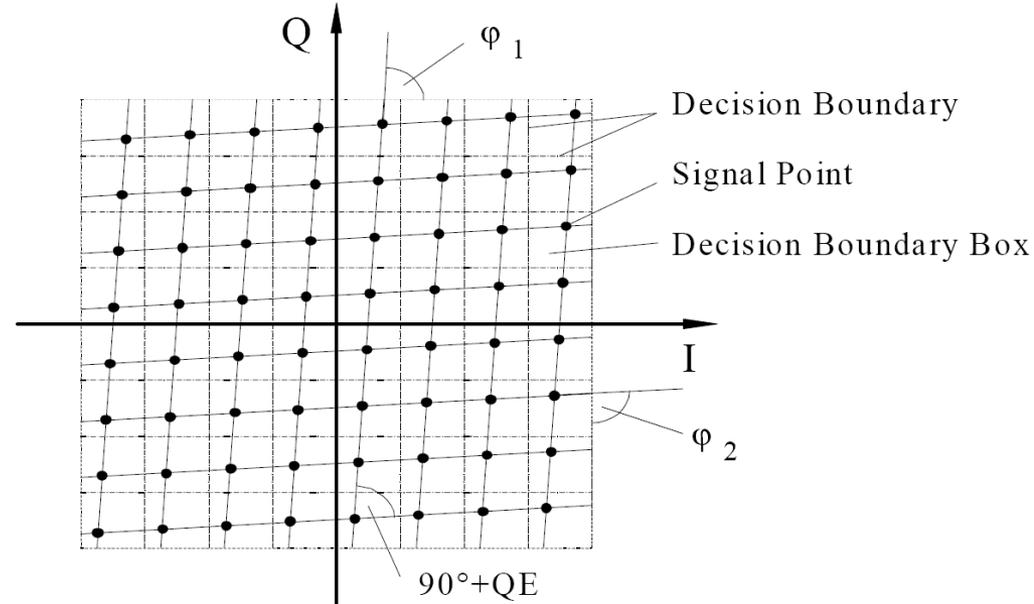
$$AI = \begin{cases} \left( \frac{v_I}{v_Q} - 1 \right) \times 100\% & v_I \geq v_Q \\ \left( 1 - \frac{v_Q}{v_I} \right) \times 100\% & v_Q > v_I \end{cases}$$
$$v_I = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{I_i + (\bar{d}_i)_I}{I_i}$$
$$v_Q = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{Q_i + (\bar{d}_i)_Q}{Q_i}$$

- Quadrature Error (QE)

**Scopo:** Le fasi dei due segnali in ingresso al modulatore I e Q devono essere ortogonali. Se questo non accade si ha una distorsione del diagramma della costellazione.

**Metodo:** Si cercano gli errori del diagramma di costellazione come illustrato in figura e si valuta la differenza di fase  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$  dopo aver eliminato tutte le eventuali altre influenze.

$$QE = \frac{180^\circ}{\pi} \times (\phi_1 - \phi_2) [^\circ]$$



- **Phase Jitter (PJ)**

**Scopo:** Il PJ di un oscillatore è dovuto alle fluttuazioni della sua fase o frequenza. Quindi un segnale digitale modulato con un oscillatore affetto da PJ introduce una incertezza nel ricevitore, perché non può seguire le fluttuazioni di fase.

**Metodo:** Il PJ può essere calcolato utilizzando il seguente algoritmo:

1. Si calcola la fase tra l'asse I ed il vettore del simbolo ricevuto ( $I_{rcvd}, Q_{rcvd}$ );

$$\phi_1 = arctg \left( \frac{Q_{rcvd}}{I_{rcvd}} \right)$$

2. Si calcola la fase tra l'asse I ed il vettore corrispondente al simbolo ideale ( $I_{ideal}, Q_{ideal}$ );

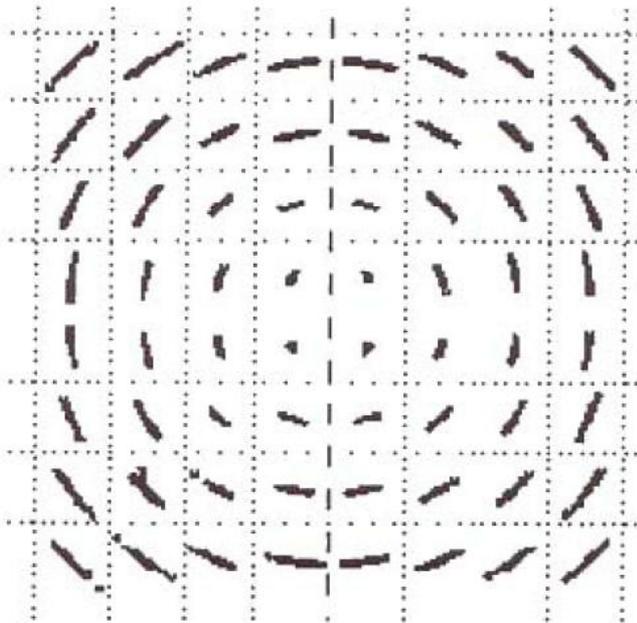
$$\phi_2 = arctg \left( \frac{Q_{ideal}}{I_{ideal}} \right)$$

- Phase Jitter (PJ)

3. Si calcola l'errore di fase

$$\phi_E = \phi_1 - \phi_2$$

4. Da N errori di fase si calcola l'RMS Phase Jitter



$$PJ = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \phi_{E_i}^2 - \frac{1}{N^2} \left( \sum_{i=1}^N \phi_{E_i} \right)^2}$$