

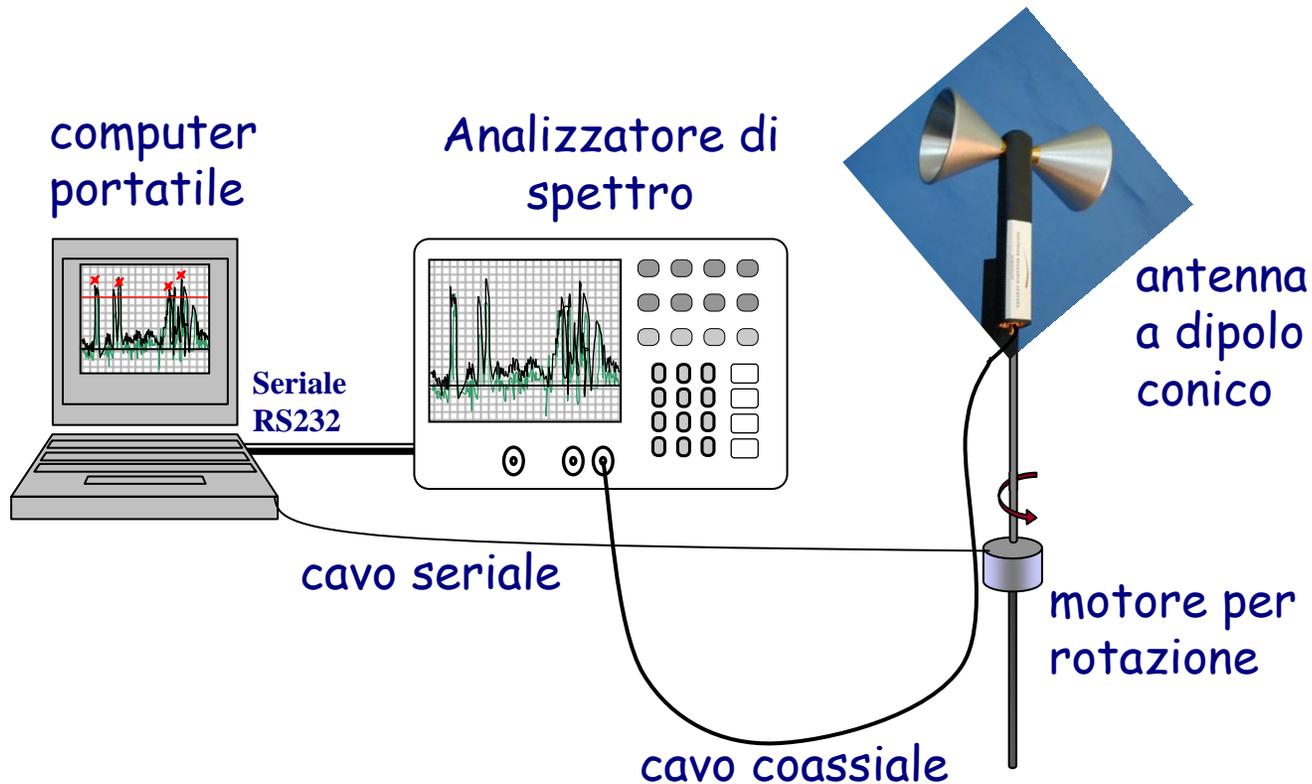
Capitolo 13

Tecniche di modulazione in segnali radio

Impatto ambientale dei campi elettromagnetici

Misure a banda stretta

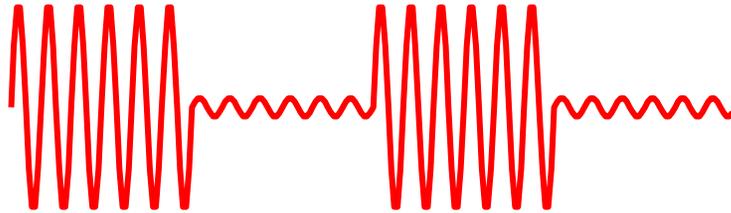
- Elemento fondamentale per le misure a banda stretta è l'analizzatore di spettro.
- L'analizzatore di spettro permette di visualizzare lo spettro del segnale che gli viene fornito in ingresso, ovvero la sua composizione in frequenza.
- **Per poter correttamente interpretare la lettura dell'analizzatore bisogna conoscere il suo funzionamento e il tipo di segnale che gli si presenta in ingresso.**



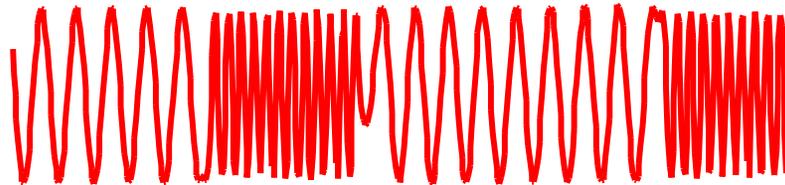
Tecniche di modulazione

$$V(t) = \hat{V} \text{sen}(2\pi f t + \varphi)$$

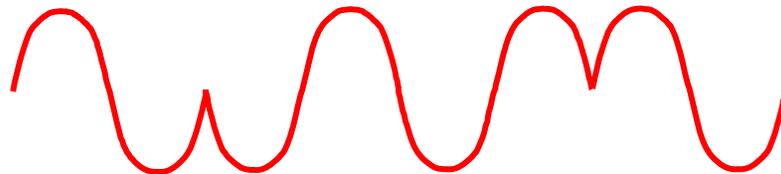
Ampiezza



Frequenza

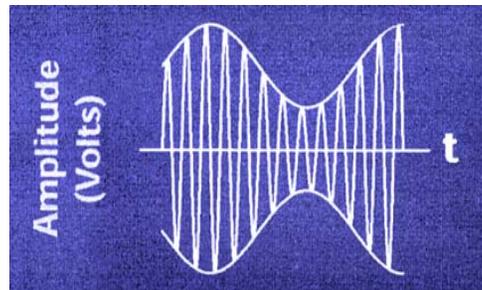


Fase



Modulazione ampiezza: radio Onda Media e Corta

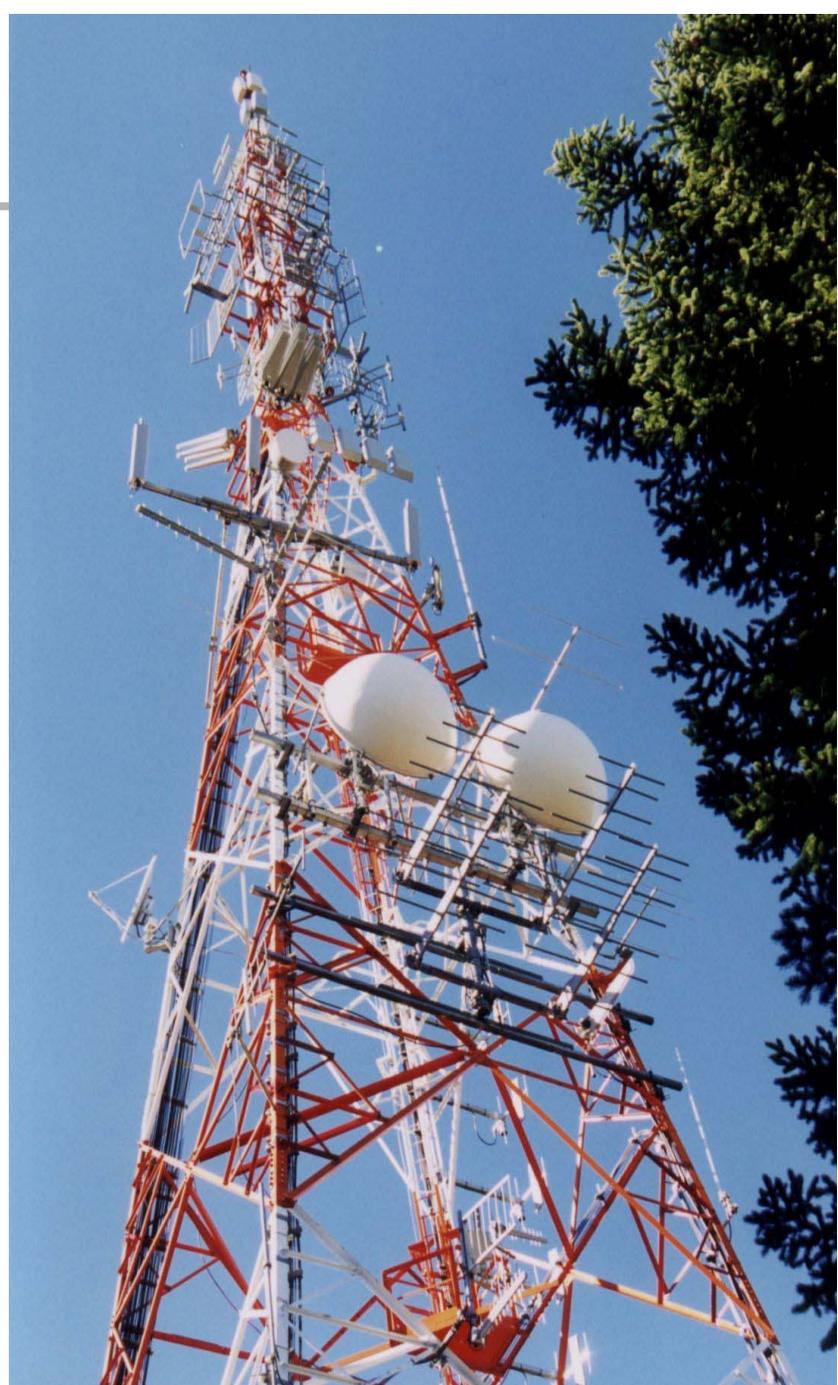
- la prima rete di radiodiffusione è stata realizzata in OM tra gli anni 20 e 30
- l'intervallo di frequenza coperto dalla radiodiffusione in OM è: 0.5 -1.6 MHz
- la rete OM impiega potenze da alcuni kW a centinaia di kW
- la rete OM per le sue caratteristiche di propagazione è adatta per servire capillarmente il territorio italiano
- la rete OM funziona in modulazione di ampiezza



- l'intervallo di frequenza coperto dalla radiodiffusione in OC è: 3 - 30 MHz
- il servizio OC viene svolto con trasmettitori a modulazione d'ampiezza
- l'emissione è del tutto simile a quella dei trasmettitori in OM

Modulazione ampiezza: Televisione analogica

- Il servizio televisivo in Italia è iniziato negli anni 50
- il servizio di telediffusione viene svolto in banda VHF (50-88 MHz e 174 - 223 MHz) ed in banda UHF (470 - 860 MHz)
- i trasmettitori TV impiegano potenze variabili da pochi W a qualche kW riferite al picco di sincronismo
- Il segnale TV analogico è vera in modulazione di ampiezza secondo uno standard (ITU tipo G) che prevede la modulazione negativa del segnale (ampiezza minima sul segnale bianco e massima sul segnale nero)
- la polarizzazione tipica del segnale TV è orizzontale

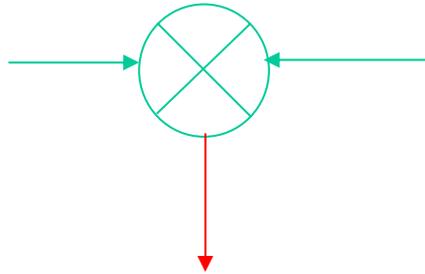


Modulazione di ampiezza: teoria

- Nella modulazione di ampiezza la portante viene moltiplicata per un segnale (modulante) che trasporta l'informazione

portante

$$e(t) = E_c \cos(\omega_c t)$$



segnale modulante

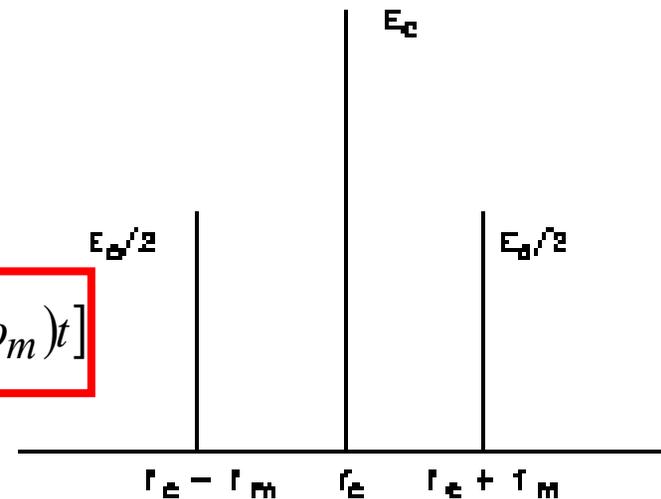
$$m(t) = 1 + m \cos(\omega_m t)$$

segnale modulato

$$e(t) = E_c m(t) \cos(\omega_c t) = E_c [1 + m \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_c t)$$

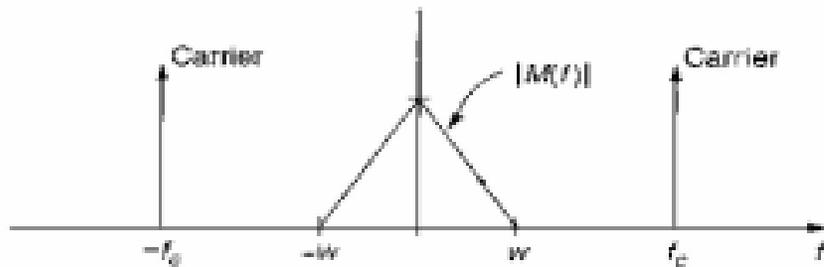
$$e(t) = E_c \cos(\omega_c t) + E_c m \cos(\omega_m t) \cos(\omega_c t)$$

$$e(t) = E_c \cos(\omega_c t) + E_c \frac{m}{2} \cos[(\omega_c + \omega_m)t] + E_c \frac{m}{2} \cos[(\omega_c - \omega_m)t]$$

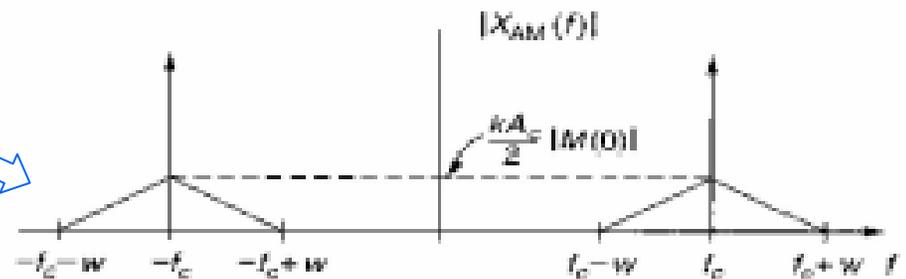


Modulazione di ampiezza: teoria

- La modulazione d'ampiezza è sostanzialmente un processo di moltiplicazione tra un segnale portante che non trasporta l'informazione e un segnale modulante, che è quello che trasporta l'informazione.
- Nel processo moltiplicativo, le componenti in frequenza del segnale modulante vengono traslate per occupare una posizione diversa nello spettro del segnale (da banda base a banda intorno alla portante).
- La larghezza di banda nella AM è determinata dalla frequenza del segnale modulante. La larghezza di banda totale è pari a due volte la massima frequenza del segnale modulante.
- m rappresenta il fattore di modulazione.
- Modulando al 100% ($m=1$, ampiezza del segnale modulato tra 2 volte ampiezza segnale portante e 0):
 - ciascuna banda laterale raggiunge un'ampiezza pari alla metà rispetto alla portante
- L'ampiezza delle bande laterali in genere non supererà la metà dell'ampiezza del segnale modulato.

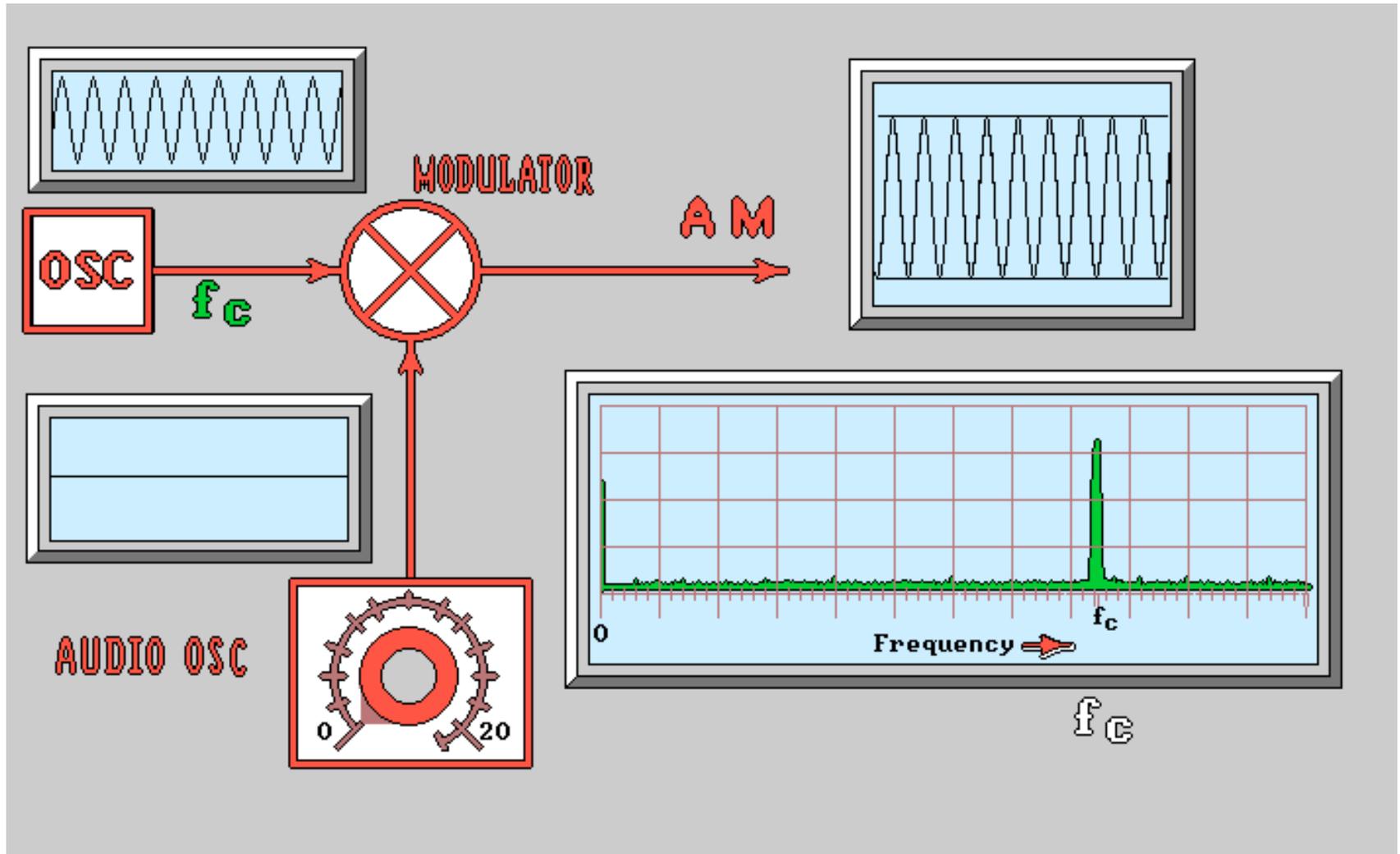


(a) Message and carrier amplitude spectra



(c) AM amplitude spectrum

Modulazione di ampiezza



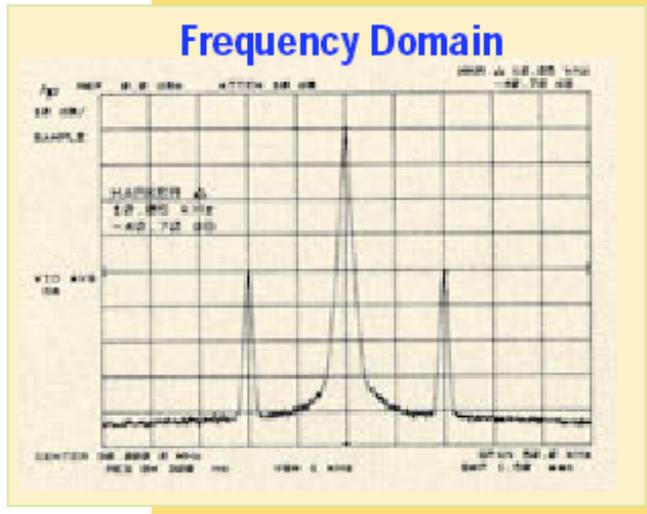
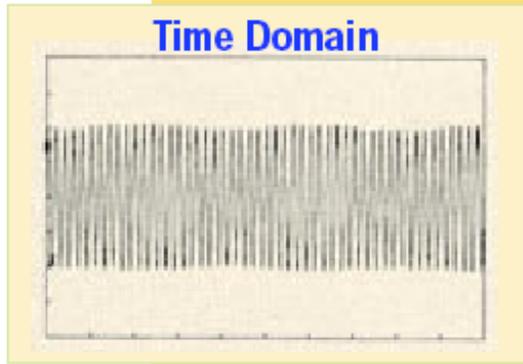
Larghezza di banda al variare della frequenza del segnale modulante

Modulazione di ampiezza: segnali nel tempo ed in frequenza

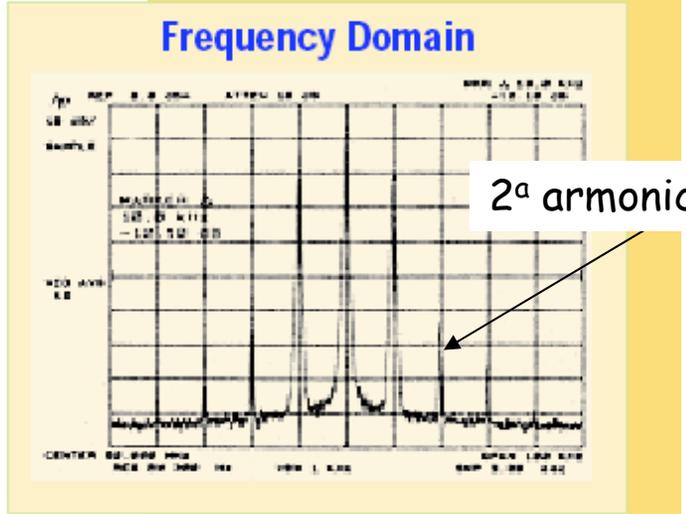
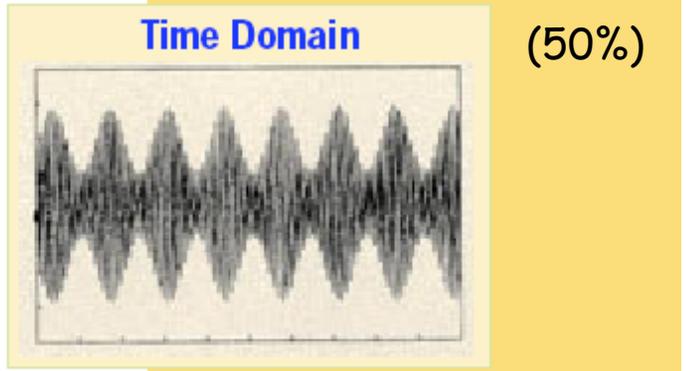
L'ampiezza del segnale nel tempo varia

In frequenza
dovrei vedere lo spettro del segnale modulante. Siccome lo guardo utilizzando delle finestre temporali (in ognuna delle quali l'ampiezza del segnale può assumere valori diversi) anche nello spettro vedrò un segnale che 'balla' al variare del tempo

Time and frequency domain views of low level (2%) AM.



An amplitude-modulated carrier in the time domain.



Modulazione frequenza: radio

- l'intervallo di frequenza coperto dalla radiodiffusione in FM è: 88.5 -108 MHz
- la rete FM consente di irradiare un segnale audio di qualità migliore ed offre servizi ausiliari (RDS - Radio Data System)
- le emissioni avvengono in polarizzazione verticale con potenze impiegate da alcuni W ad alcuni kW
- la potenza di uscita non varia con la modulazione

Modulazione in frequenza: teoria

- Il segnale modulante è usato per variare la frequenza del segnale portante.
- L'ampiezza del segnale modulato, pertanto, rimane costante nel tempo

$$v(t) = A \cos(\omega_c t + m \sin \omega_m t)$$

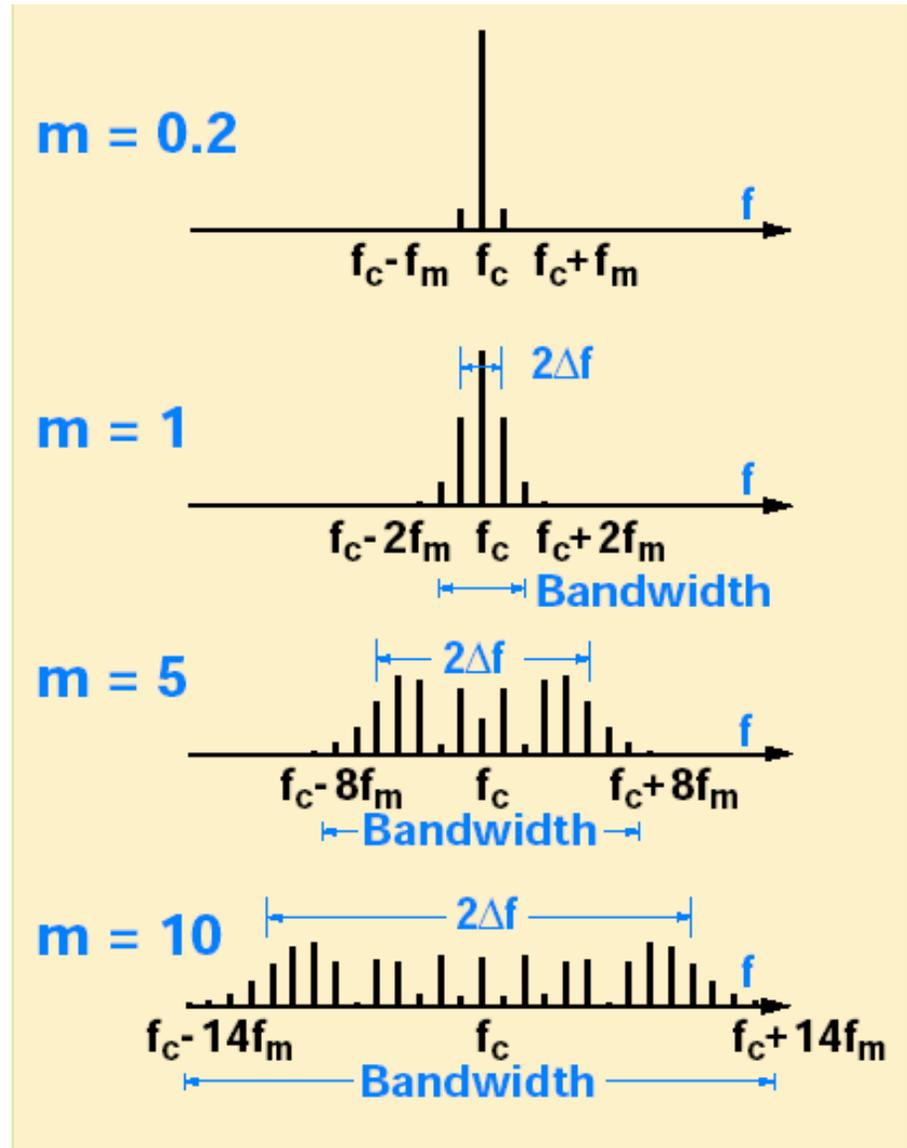
$m = \text{indice di modulazione}$

- La frequenza istantanea del segnale modulato è $(\omega_c + m \sin \omega_m t)$
- L'occupazione di banda si ottiene in modo approssimato dalla regola di Carson:

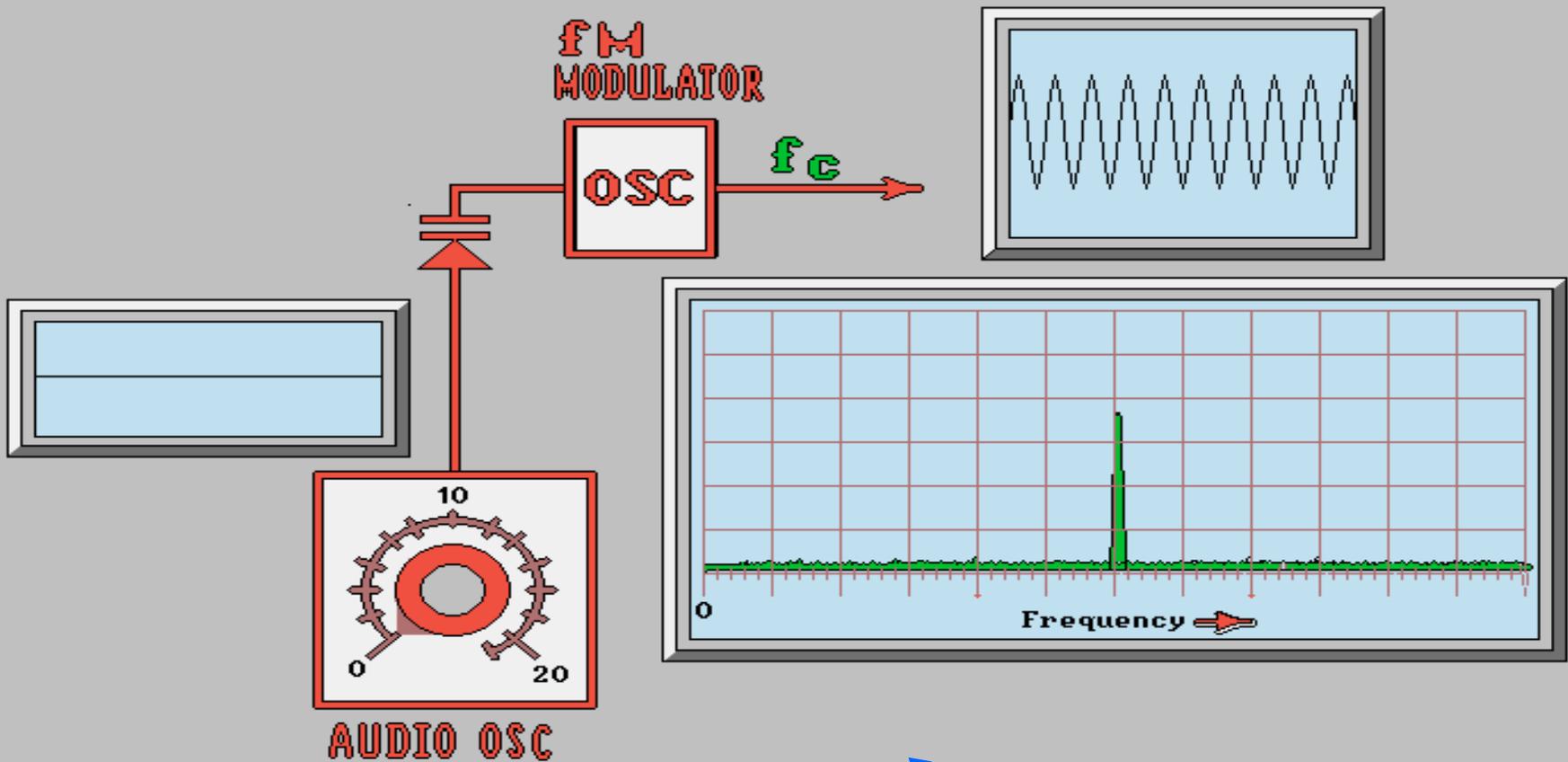
$$B = 2(m + 1) f_m$$

- ad esempio, per le radio FM

$$B = 2(5+1)15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$$



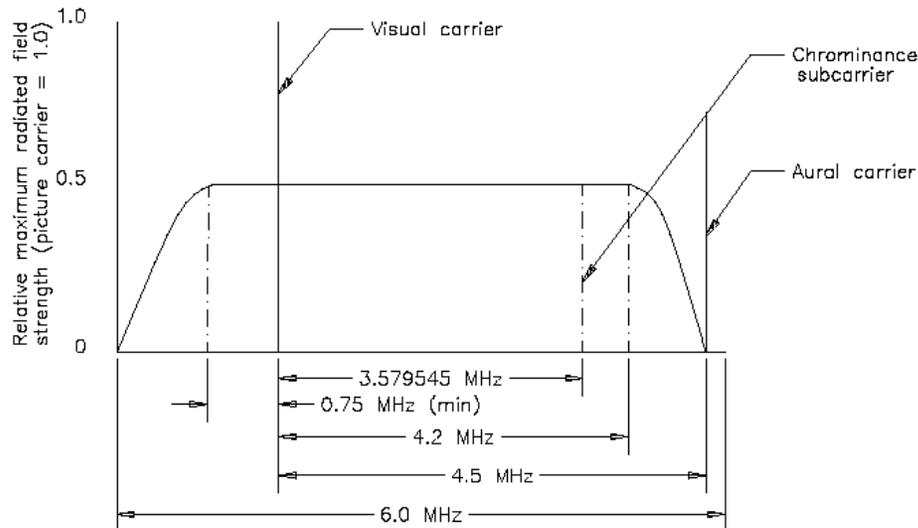
Modulazione frequenza



- spettro istantaneo
- nell'analizzatore di spettro quello che vedrò sarà una campana intorno alla portante di ampiezza fissa

Modulazione vestigiale

- Nella modulazione AM, l'informazione è ripetuta uguale nelle due bande laterali (inferiore e superiore). Eliminando una delle due bande, si risparmierebbe potenza e banda mantenendo lo stesso grado di informazione nella trasmissione
- Poiché per eliminare completamente una banda si dovrebbe usare un filtro ideale (per esempio passa alto per eliminare la banda inferiore) con una pendenza infinita, si è sviluppata una tecnica intermedia che prende il nome di Modulazione di ampiezza con banda laterale vestigiale (VSBAM).
- Nella VSBAM una banda laterale (l'inferiore) è attenuata fortemente.
- **E' ad esempio usata nella trasmissione del segnale televisivo analogico**



Occupazione banda per trasmissioni TV (USA - in Europa si arriva ad un'occupazione di circa 8 MHz per canale)

Figure 15.4 Idealized amplitude characteristics of the FCC standard waveform for monochrome and color TV transmission. (Adapted from: FCC Rules, Sec. 73.699.)

Modulazione vestigiale

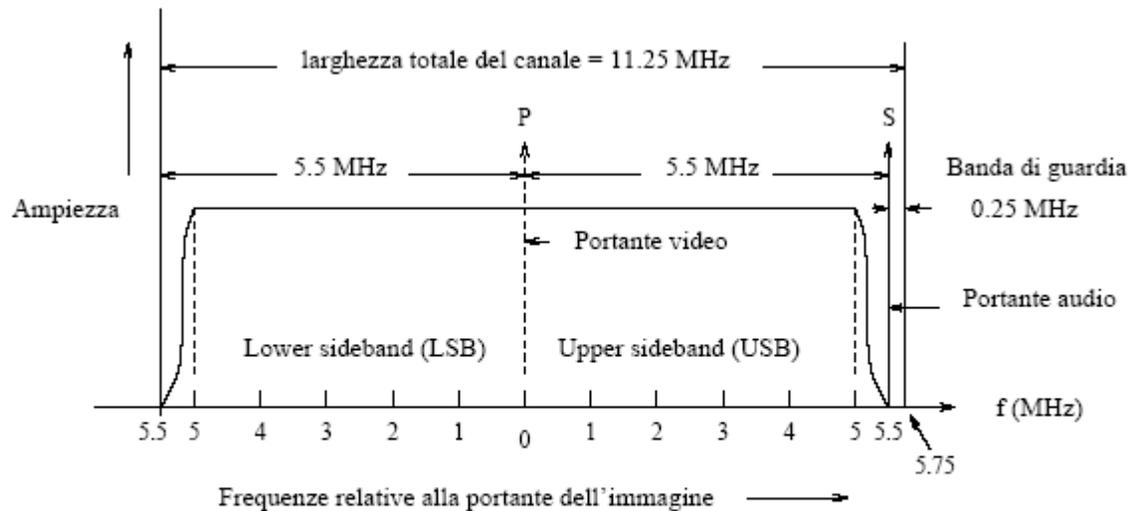


Figura 1.16 Larghezza di banda totale del canale televisivo trasmesso mediante VSB. In totale sono 7 MHz.

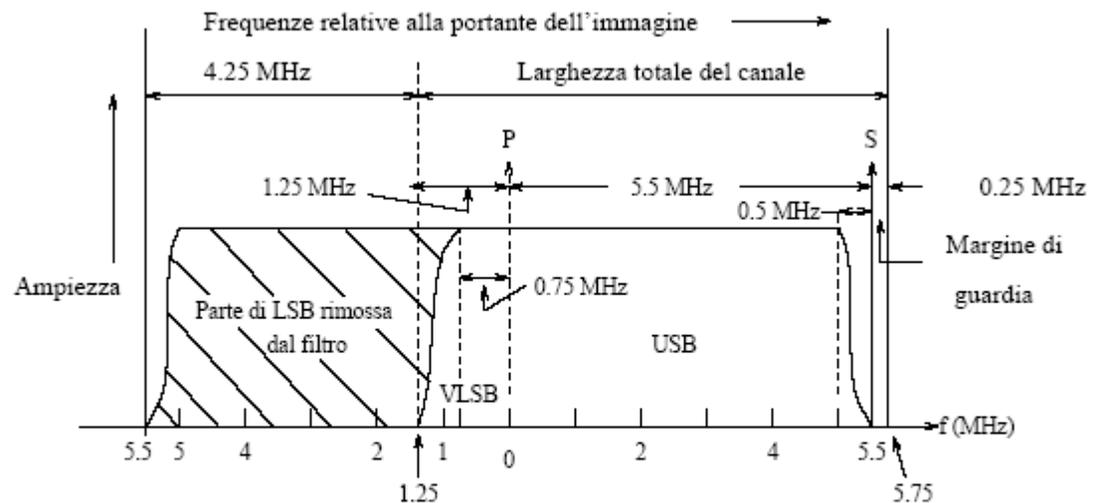
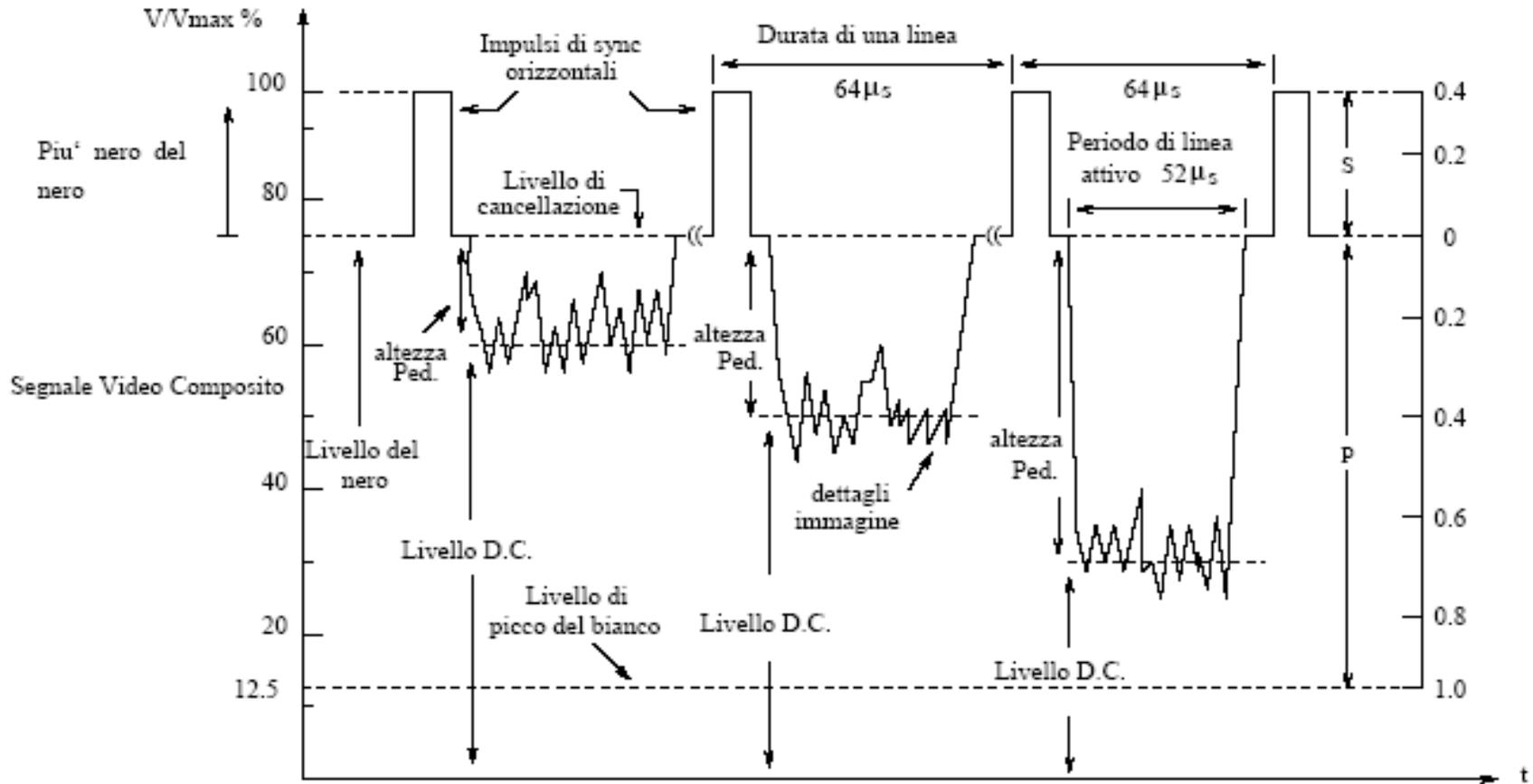


Figura 1.17 Larghezza di banda totale del canale televisivo trasmesso mediante VSB. In totale sono 7 MHz.

Segnale TV - tempo



- Il segnale televisivo trasmette il segnale di luminanza (bianco-nero) e due di crominanza per il colore (AM). Poi c'è il segnale audio, eventualmente stereo (FM).
- La trasmissione video nel tempo avviene riga per riga, alla fine di una riga viene trasmesso un segnale di sincronismo che corrisponde al livello del nero.

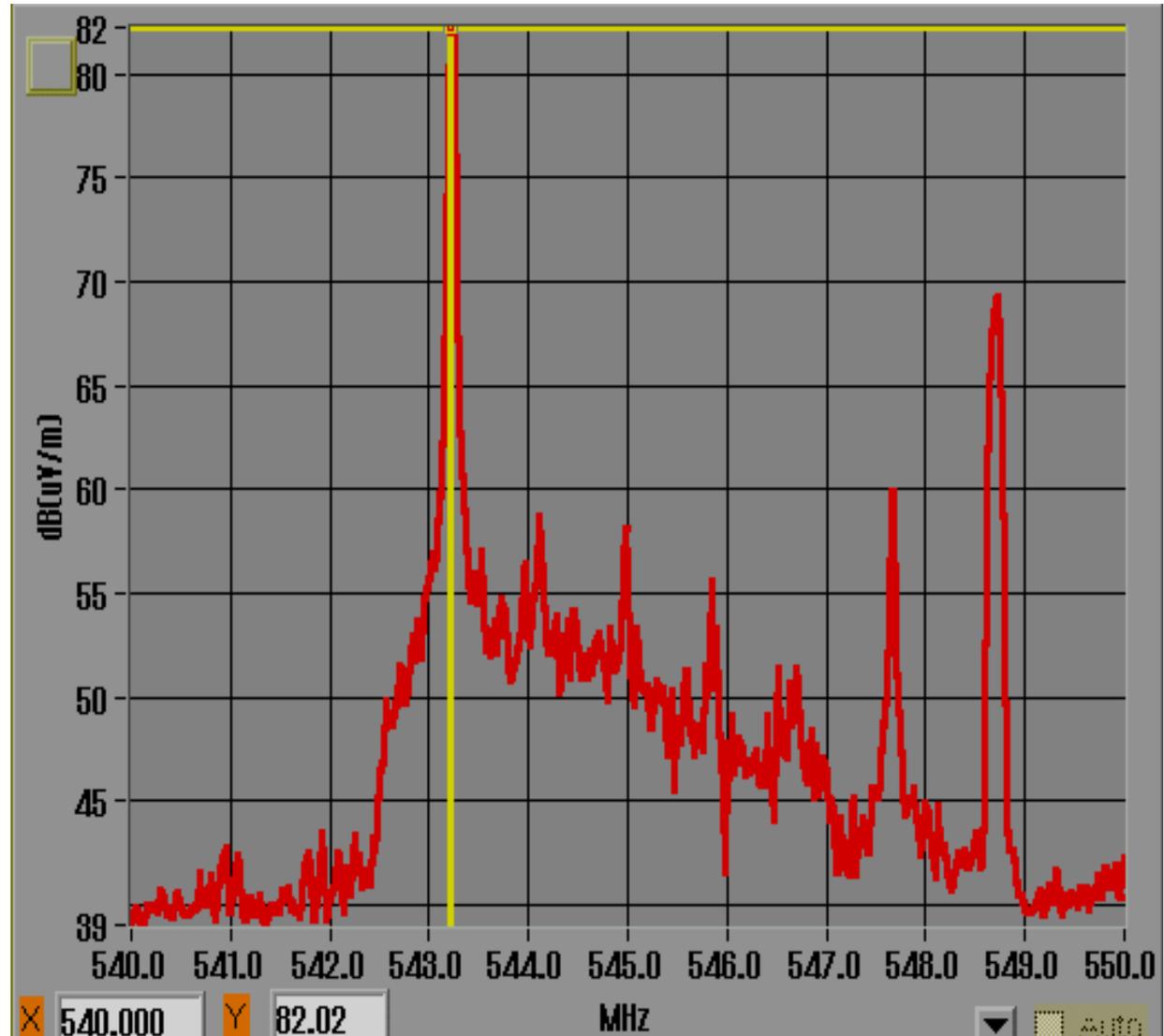
Segnale TV

Segnale video:

Il livello del nero nel segnale video è a -2.7 dB rispetto al picco di sincronismo.

La sottoportante audio dei trasmettitori TV ha un livello di -13 dB rispetto al picco di sincronismo.

La sottoportante stereo, quando è presente, si trova ad un livello di -20 dB riferita al picco di sincronismo.



Segnale TV - occupazione frequenza

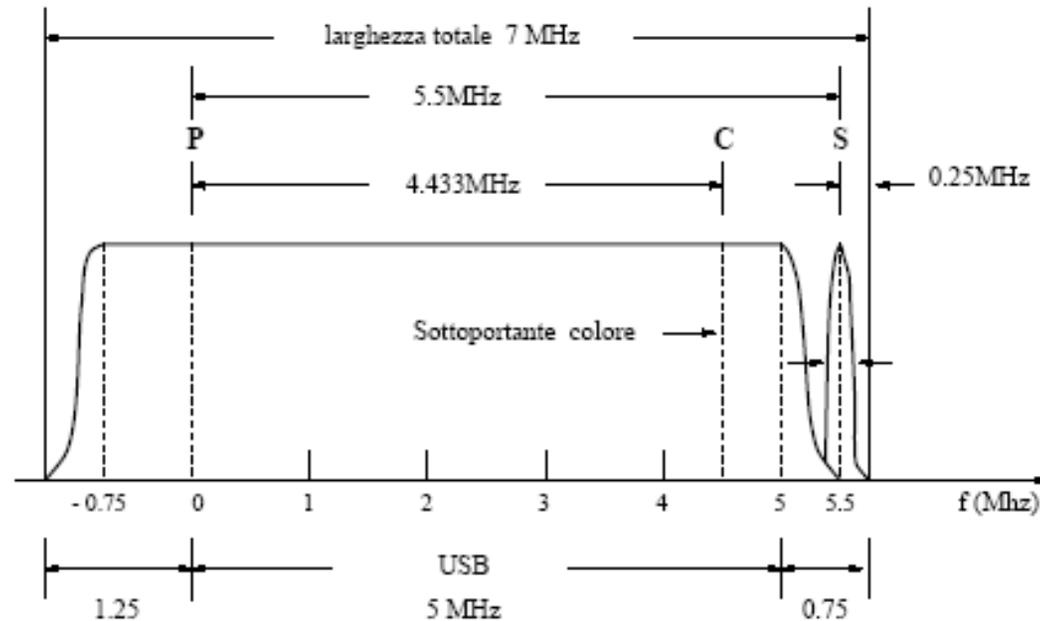


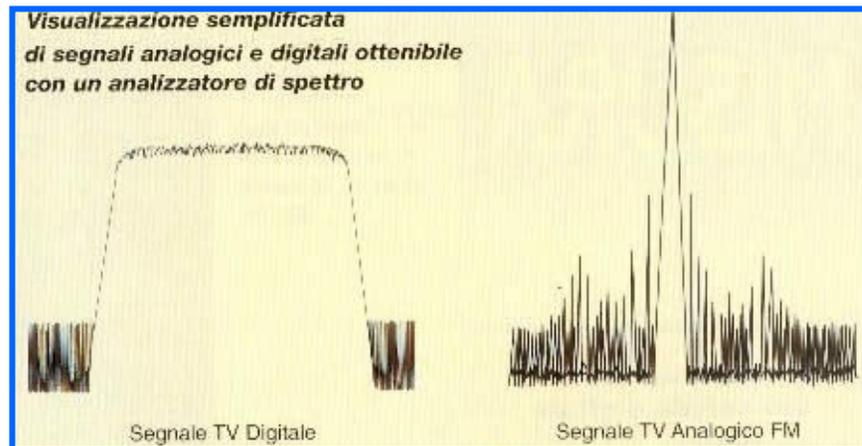
Figura 1.18 Spettro di un canale televisivo CCIR 625 linee (usato in India ed in Europa, esclusa la Gran Bretagna). C è la sottoportante colore.

Segnale TV digitale - occupazione in freq.

Nel segnale TV analogico non è in realtà occupato tutto lo spettro, tanto che con il digitale, sfruttando tecniche di compressione di segnale, nello stesso intervallo di frequenza al posto di un canale se ne hanno 4 o 5 a seconda della risoluzione scelta...

In particolare, la Televisione Digitale Terrestre (DVB-T digital video broadcasting - terrestrial) elimina la ridondanza del segnale analogico:

- ridondanza nel tempo
- ridondanza nello spettro

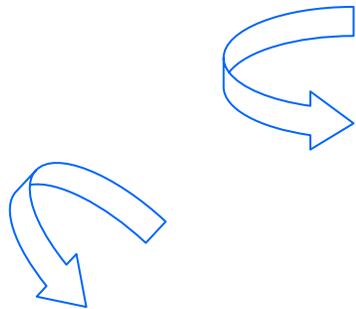


Segnale TV digitale - occupazione in freq.

- ✓ Ridondanza nel tempo

L'immagine televisiva è ottenuta per righe. Risulta che:

- ✓ Due linee successive sono quasi uguali
- ✓ Due campi successivi sono quasi uguali

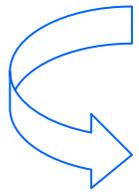


Compressione del segnale televisivo (MPEG-2)

- Elimina la ridondanza nel tempo:
 - Codifica MPEG-2 del segnale audio/video
 - MPEG-2 convenzionale o evoluto (tv ad alta definizione)

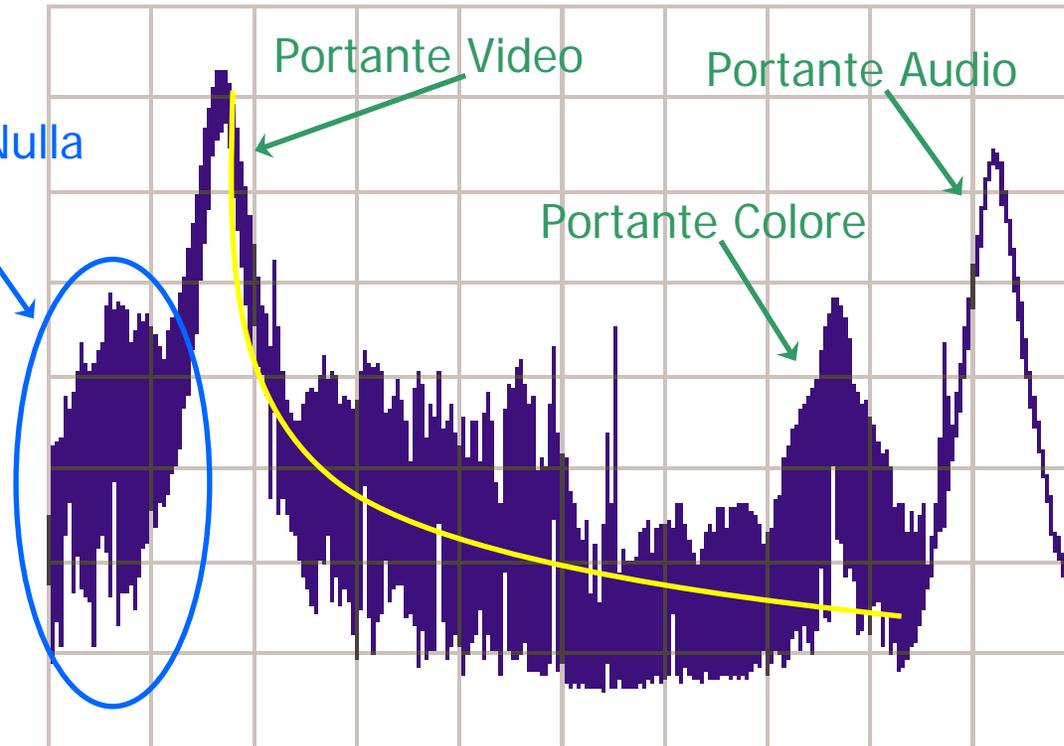
Segnale TV digitale - occupazione in freq.

- ✓ Ridondanza nello spettro



Informazione Nulla

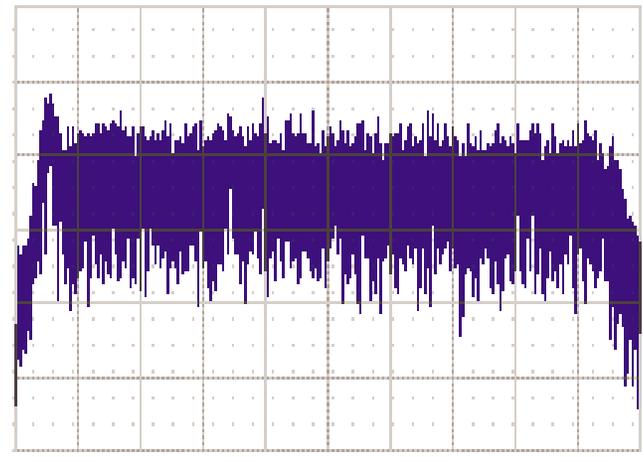
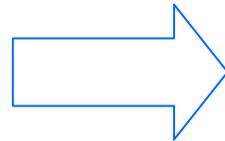
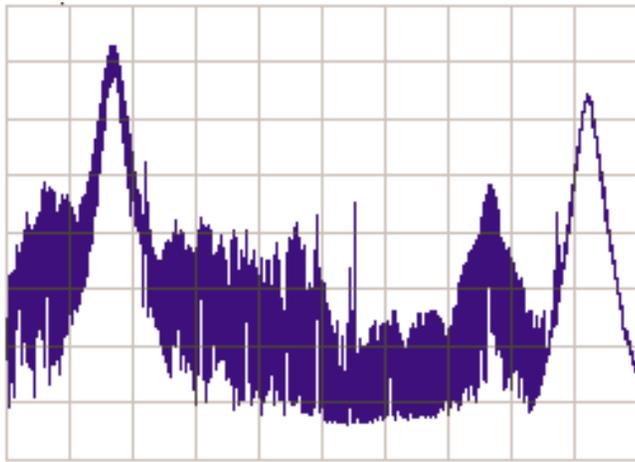
Canale analogico televisivo



8 MHz

Segnale TV digitale

- Elimina la ridondanza nella frequenza:
 - Modulazione multiportante COFDM (*coded orthogonal frequency division multiplexing*)
 - Distribuzione del flusso dati totale tra moltissime portanti (modo 2k - modo 8k) equispaziate in frequenza all'interno del canale
 - In sostanza, il segnale originale è suddiviso in **tanti segnali paralleli più lenti**, ognuno dei quali modula col sistema **QPSK, 16QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation* a 16 livelli), o **64QAM**, una delle **portanti indipendenti** (2k o 8k) che affiancate occupano un normale canale televisivo da 8 MHz.
 - Per ampliare la capacità di trasmissione sulle reti terrestri e favorire la diffusione di un maggior numero di programma ad alta definizione è stato recentemente definito il sistema DVB-T2, che rispetto al DVB-T, introduce anche la modulazione **256QAM**.



DVB-T occupazione di banda

Table 4: Numerical values for the OFDM parameters for the 8K and 2K modes for 8 MHz channels

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 μ s	224 μ s
Carrier spacing $1/T_U$ (see notes 1 and 2)	<i>1 116 Hz</i>	<i>4 464 Hz</i>
Spacing between carriers K_{\min} and K_{\max} $(K-1)/T_U$ (see note 2)	<i>7,61 MHz</i>	<i>7,61 MHz</i>
NOTE 1: Values in italics are approximate values. NOTE 2: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in tables E.1 and E.2.		

ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01)

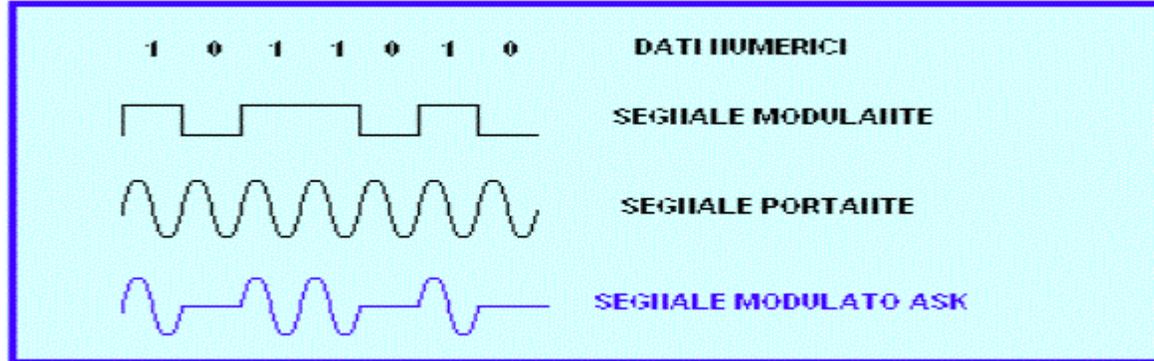
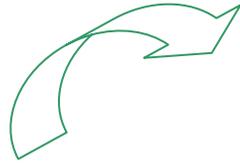
European Standard (Telecommunications series)

Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television

Modulazione digitale

- Si chiamano modulazioni numeriche quel tipo di modulazioni in cui il segnale modulante è di tipo numerico e sono impiegate nella trasmissione dati fra modem, nei ponti radio, nei cellulari, nei collegamenti via satellite.
- Essenzialmente sono tre:
 - ASK
 - FSK
 - PSK

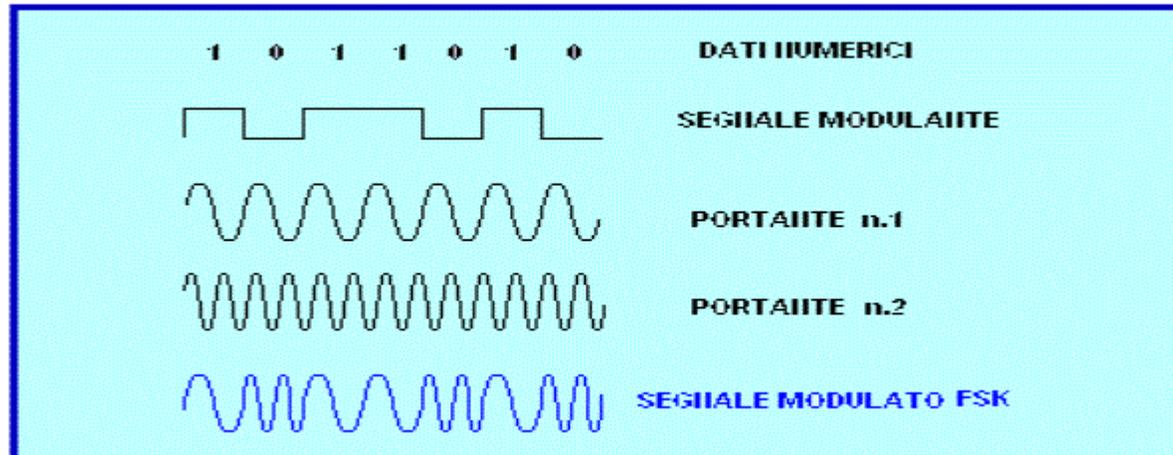
MODULAZIONE ASK



Nella ASK il segnale digitale, che costituisce l'informazione da trasmettere, va a modulare una portante sinusoidale facendone variare l'ampiezza in modo tale da far corrispondere all'uno logico la portante stessa e, allo zero logico l'assenza della portante. Questo tipo di modulazione, di facile realizzazione sia nei modulatori sia nei demodulatori, è stata usata sempre nelle telescriventi e in qualche tipo di ponte radio a breve distanza. E' molto sensibile al rumore, per questo oggi è utilizzata poco, nonostante sia stata impiegata per prima.

MODULAZIONE FSK

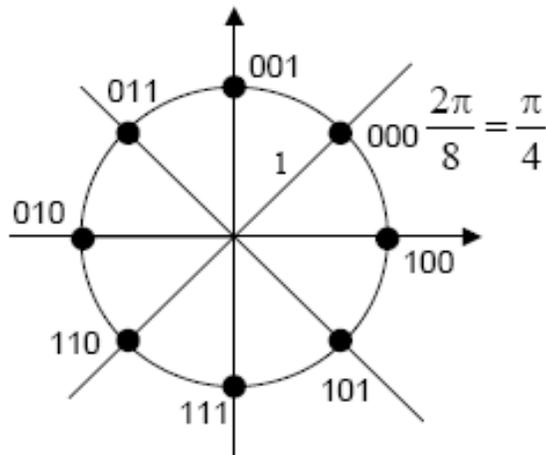
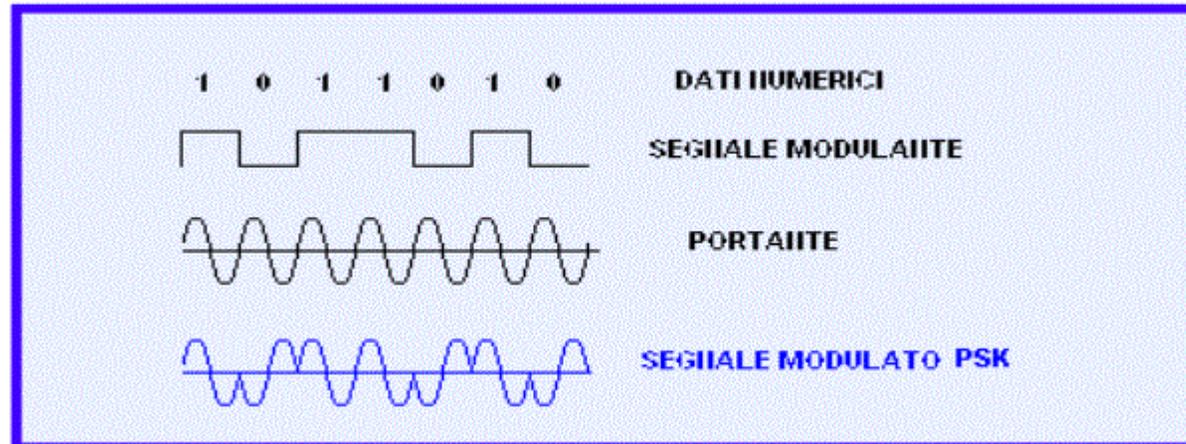
Nella modulazione FSK si hanno due portanti a frequenze diverse che vengono abbinate ai due valori logici binari 1 e 0. Questo tipo di modulazione è stata usata nei primi modem, molto lenti rispetto a quelli odierni, ed è alla base della modulazione usata nel sistema GSM



Modulazione digitale - fase

MODULAZIONE PSK

Nella modulazione PSK, si ha una sola portante e quindi i due valori numerici uno e zero sono fatti corrispondere alle due fasi della stessa frequenza: 0° e 180° .



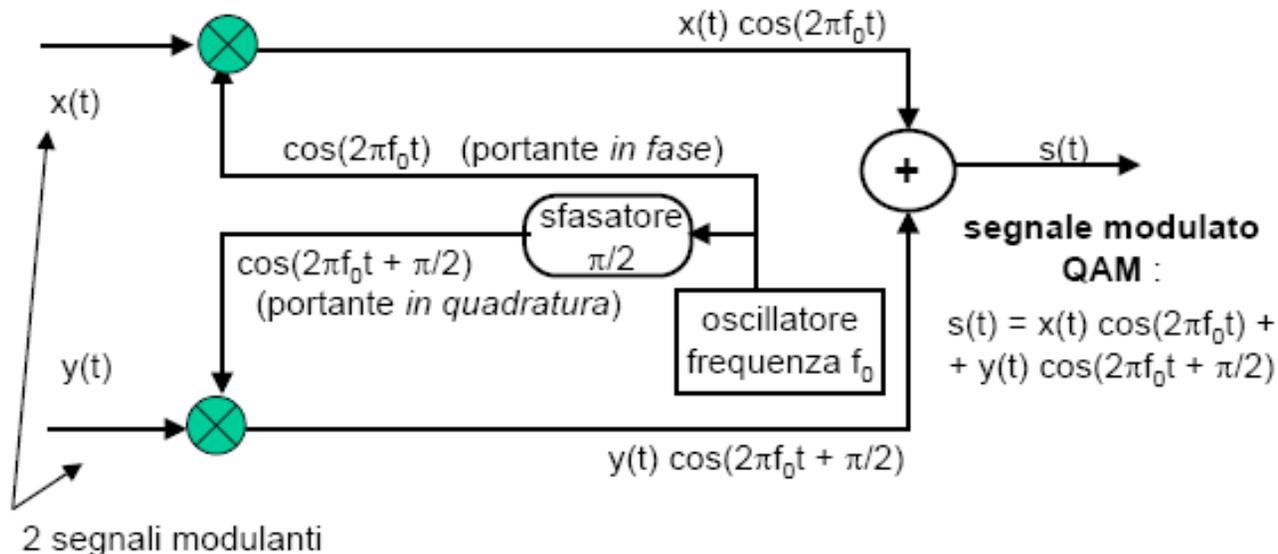
- Il nome 8-PSK (analogamente al 4-PSK) deriva dal fatto che le posizioni dei punti, in coordinate polari (r, ϕ) sono differenziate soltanto in base alla fase ϕ ($r = 1 = \cos t$).

Modulazione digitale - QAM

MODULAZIONE QAM PSK

Per aumentare la velocità di trasmissione dell'informazione, mantenendo costante la velocità di modulazione, invece di trasmettere solo due valori angolari, 0° e 180° , si trasmette un maggior numero di angoli diversi fra loro, e per consentire una più facile demodulazione in ricezione, visto che il demodulatore potrebbe commettere errore di interpretazione, si fa variare anche l'ampiezza del segnale modulato dando luogo così alla modulazione QAM PSK.

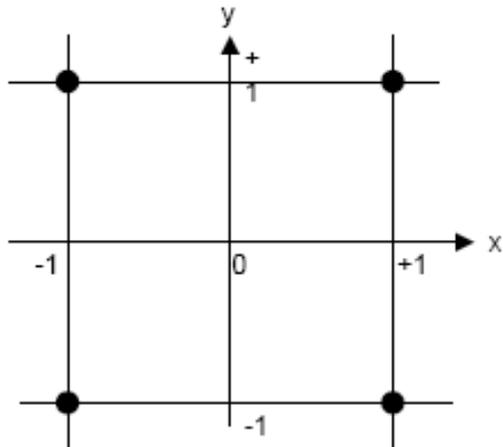
- Inoltre, il segnale viene trasportato da due portanti ($\sin(2\pi f_0 t)$ e $\cos(2\pi f_0 t)$) ortogonali tra loro, ovvero tali da trasportare in contemporanea due informazioni indipendenti.
- Le più moderne modulazioni numeriche, quelle quindi che determinano grandi velocità di trasmissione, sono quindi modulazioni di fase e di ampiezza.



Modulazione QAM

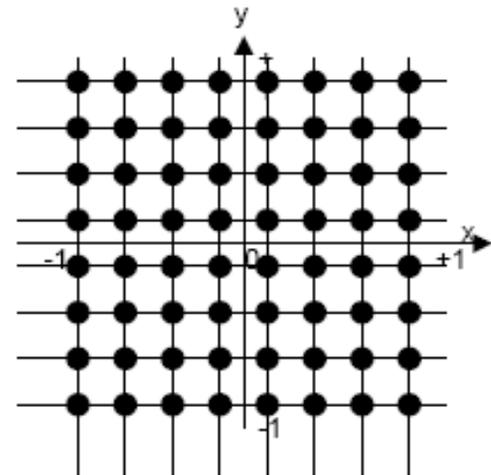
$\alpha = 2^1 = 2$ livelli.

Modulazione 4-QAM
(4-PSK, QPSK)



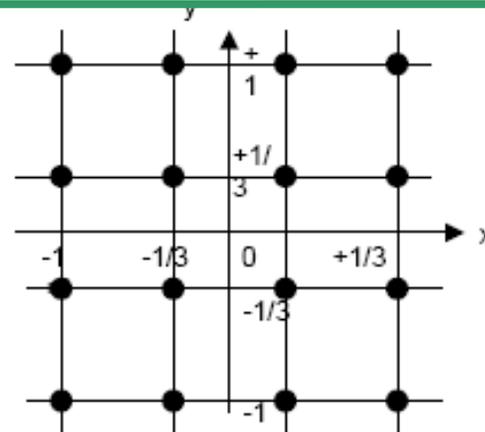
$\alpha = 2^3 = 8$ livelli.

Modulazione 64-QAM



$\alpha = 2^2 = 4$ livelli, con
ampiezze di impulso +1,
+1/3, -1/3, -1.

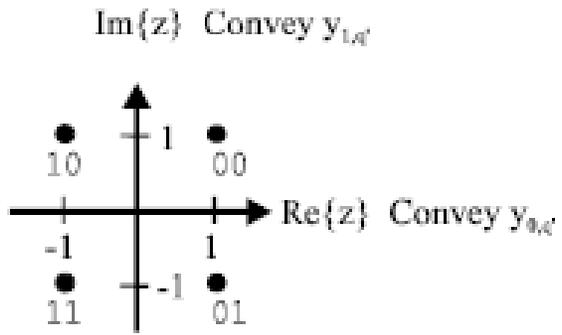
La *costellazione* è costituita
da un insieme di 16 punti
disposti a forma di reticolo
regolare a maglie quadrate.



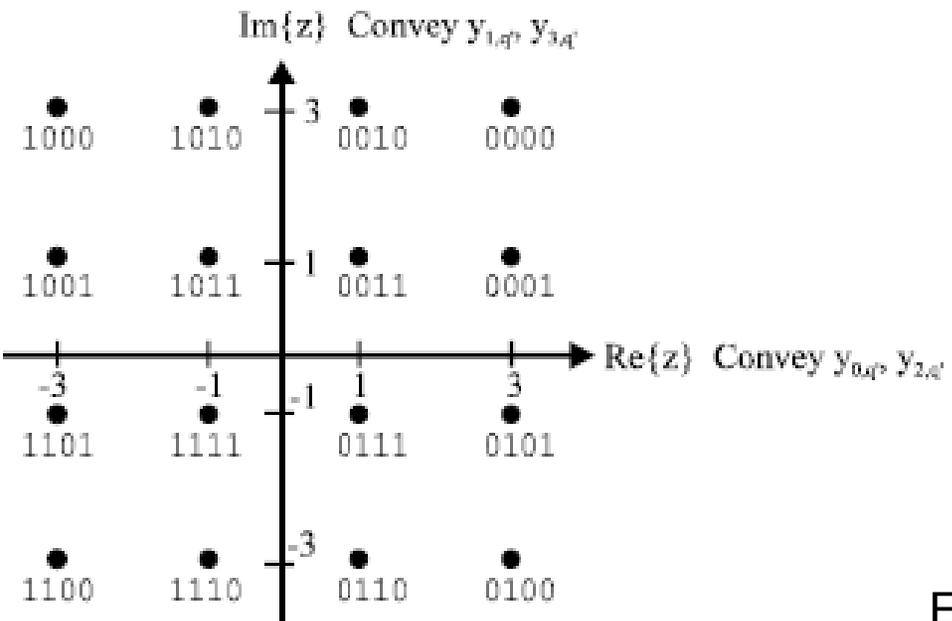
modulazione
16-QAM

Standard ETSI - Modulazione QPSK e QAM

The exact values of the constellation points are $z \in \{n + j m\}$ with values of n, m given for the various constellations:



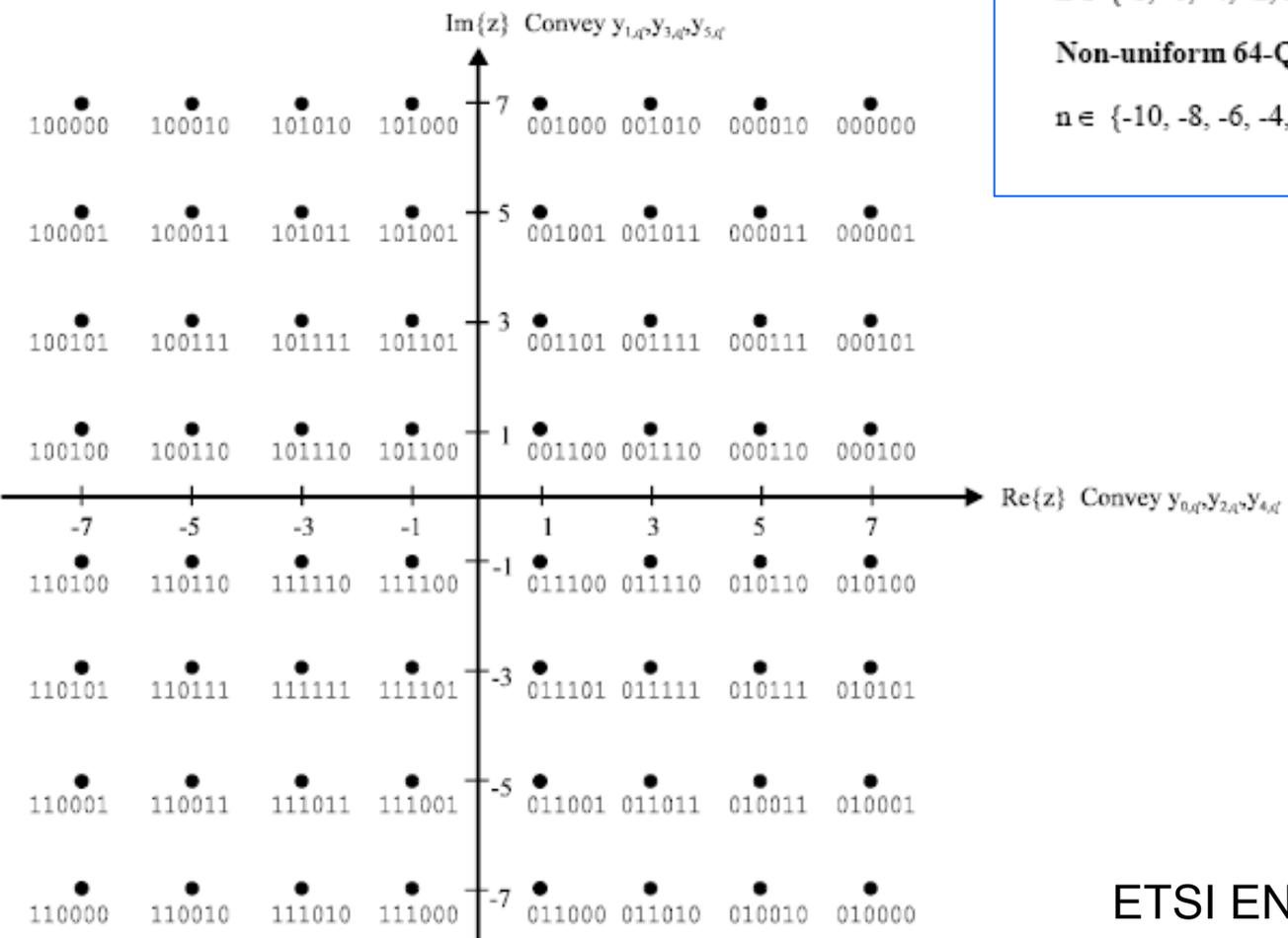
- QPSK**
 $n \in \{-1, 1\}, m \in \{-1, 1\}$
- 16-QAM (non-hierarchical and hierarchical with $\alpha = 1$)**
 $n \in \{-3, -1, 1, 3\}, m \in \{-3, -1, 1, 3\}$
- Non-uniform 16-QAM with $\alpha = 2$**
 $n \in \{-4, -2, 2, 4\}, m \in \{-4, -2, 2, 4\}$



16-QAM
 Bit ordering:
 $y_{0,q}, y_{1,q}, y_{2,q}, y_{3,q}$

Standard ETSI - Modulazione 64QAM

64-QAM (non-hierarchical and hierarchical with $\alpha = 1$)
 $n \in \{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}, m \in \{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}$
Non-uniform 64-QAM with $\alpha = 2$
 $n \in \{-8, -6, -4, -2, 2, 4, 6, 8\}, m \in \{-8, -6, -4, -2, 2, 4, 6, 8\}$
Non-uniform 64-QAM with $\alpha = 4$
 $n \in \{-10, -8, -6, -4, 4, 6, 8, 10\}, m \in \{-10, -8, -6, -4, 4, 6, 8, 10\}$



Occupazione in frequenza

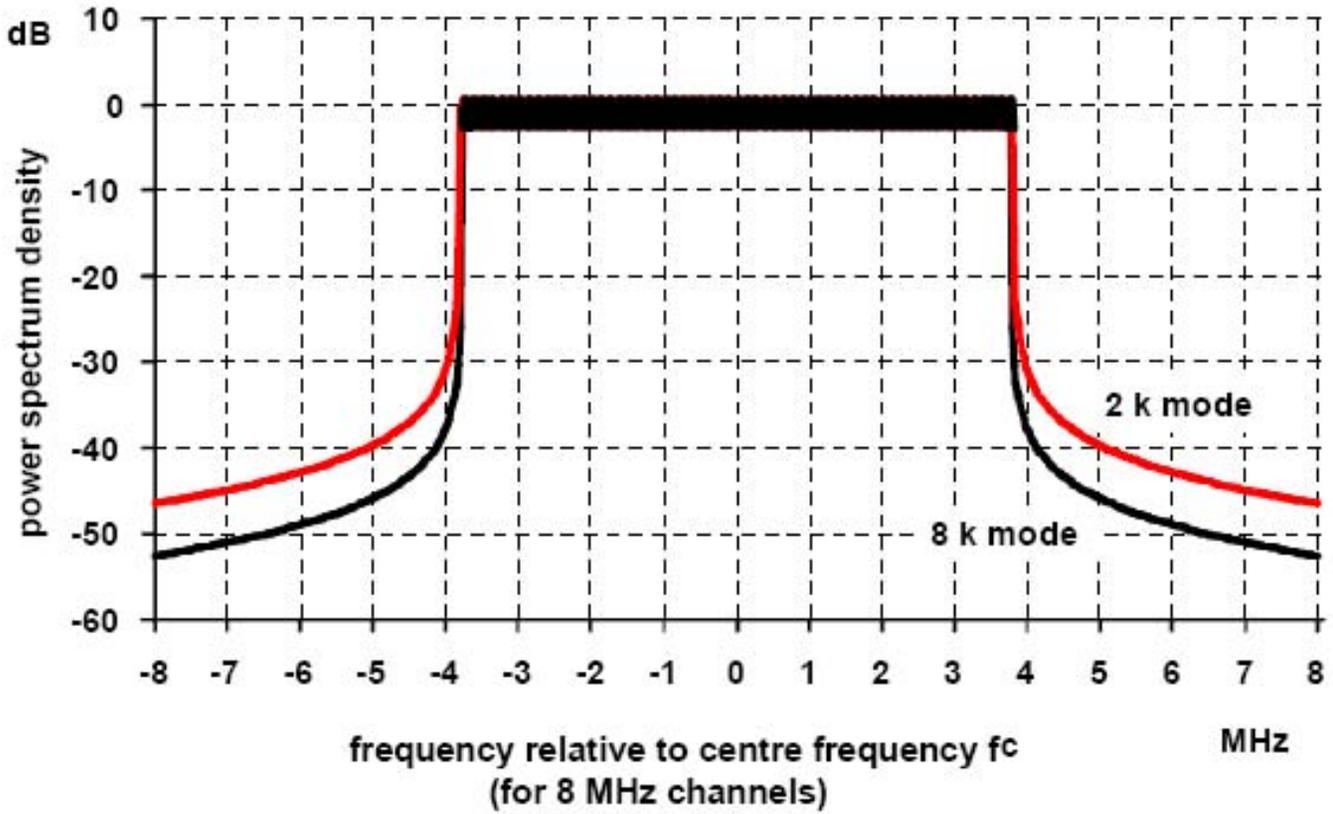
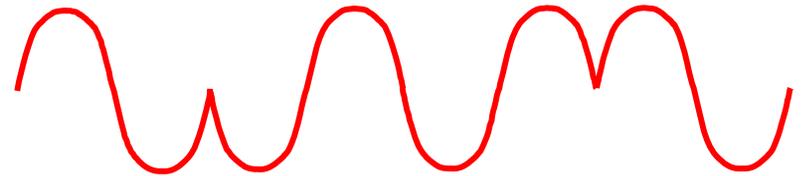


Figure 4: Theoretical UHF DVB transmission signal spectrum for guard interval $\Delta = T_u/4$

Modulazione digitale: telefonia mobile

- Il sistema *GSM* è un sistema digitale: l'informazione è codificata in bit binari
- vi sono moltissimi tipi di possibili modulazioni digitali.
- Il sistema *GSM* utilizza la modulazione *GMSK* (Gaussian minimum shift keying)
- La sequenza di 1 e 0 che codifica l'informazione è usata per modulare la portante. Tuttavia, se la variazione è brusca, si allarga molto la banda del segnale. Allora,
 1. prima di modulare la portante, integro la sequenza, in modo da diminuire i 'salti': modulazione *MSK*
 2. prima dell'integratore la sequenza transita per un filtro gaussiano, allora la 'rect' diviene un impulso gaussiano e si può restringere la banda. Parametro che si può variare è il prodotto: BT (B: banda a -3 dB del filtro gaussiano, T: durata del simbolo)

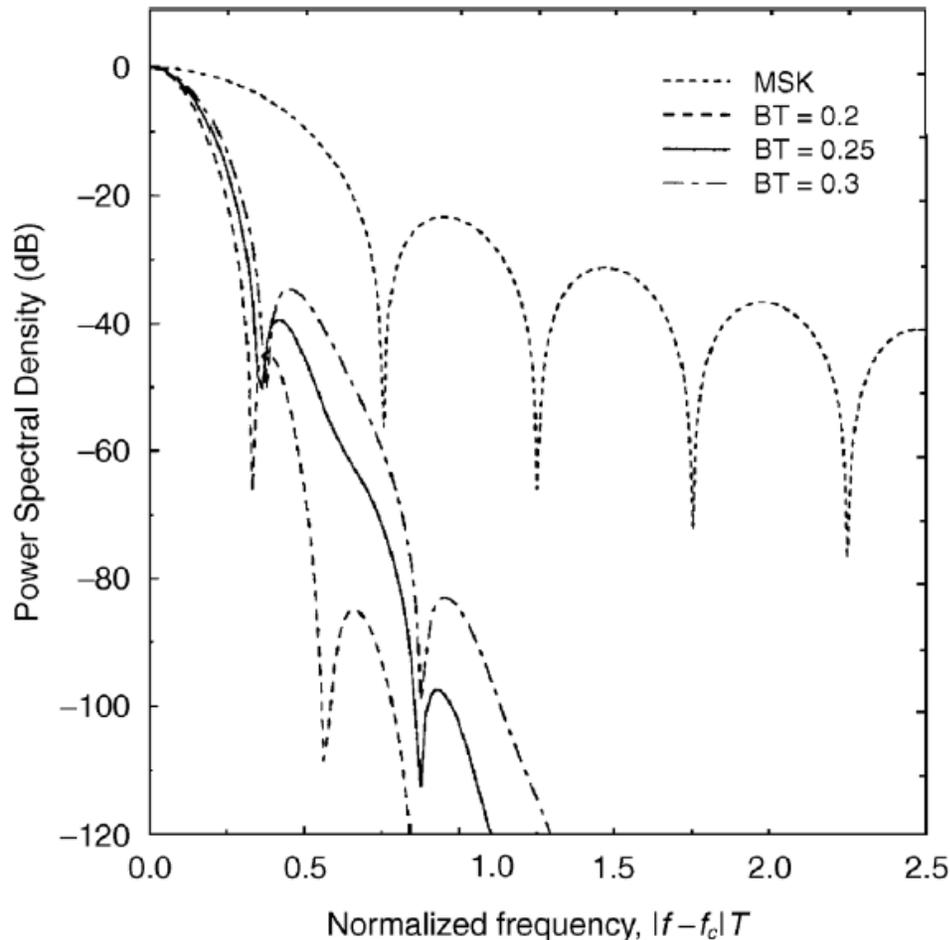


Modulazione digitale GMSK, informazioni tempo e frequenza

$$u(t) = A \cos \left[2\pi f_0 t + 2\pi h \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau + \varphi_0 \right]$$

$v(t)$ = stringa digitale
prefiltrata da un
filtro gaussiano

BT = banda del filtro gaussiano per
tempo simbolo (GSM usa BT=0.3)



- E' una modulazione di fase, pertanto si dovrebbe vedere un segnale a campana di ampiezza costante. In realtà nel tempo c'è anche una divisione (TDMA) di ogni 'frame' in 8 slot temporali. In ogni slot ci può essere o meno una chiamata per cui la trasmissione è discontinua. L'unico segnale che rimane costante è quello di segnalazione (BCCH) che viene sempre trasmesso a potenza costante.

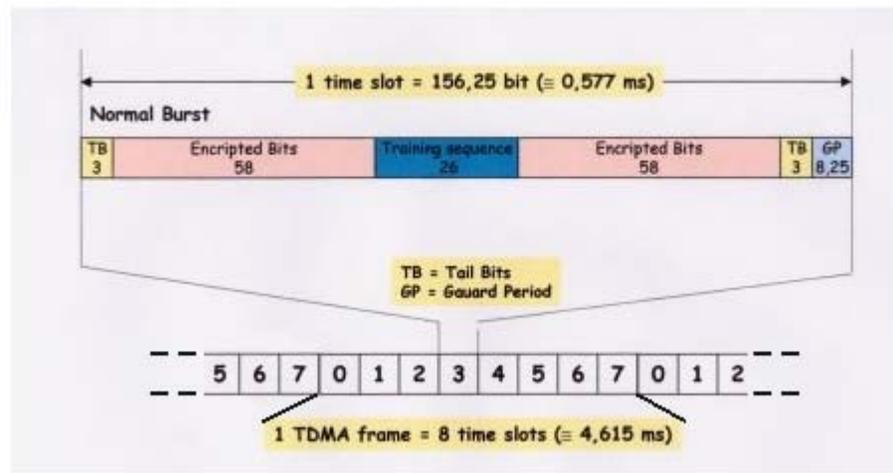
Le frequenze GSM

Banda	Nome	Canale	Uplink(MHz)	Downlink(MHz)	Note
GSM 400	GSM 400	++ - ++	450,4 - 457,6	460,4 - 467,6	utilizzato in Africa , ecc.
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	utilizzato in USA , Sudamerica e Asia .
GSM 900	P-GSM 900	1-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con cui è nato il GSM e la più diffusa nel mondo
	E-GSM 900	975 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	<i>GSM esteso</i> , estensione del GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	<i>GSM ferroviario (GSM-R)</i> , viene utilizzato dalle compagnie ferroviarie europee per le comunicazioni in movimento.
GSM1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	utilizzato in Nordamerica , è incompatibile con il GSM-1800 in quanto le frequenze si sovrappongono.

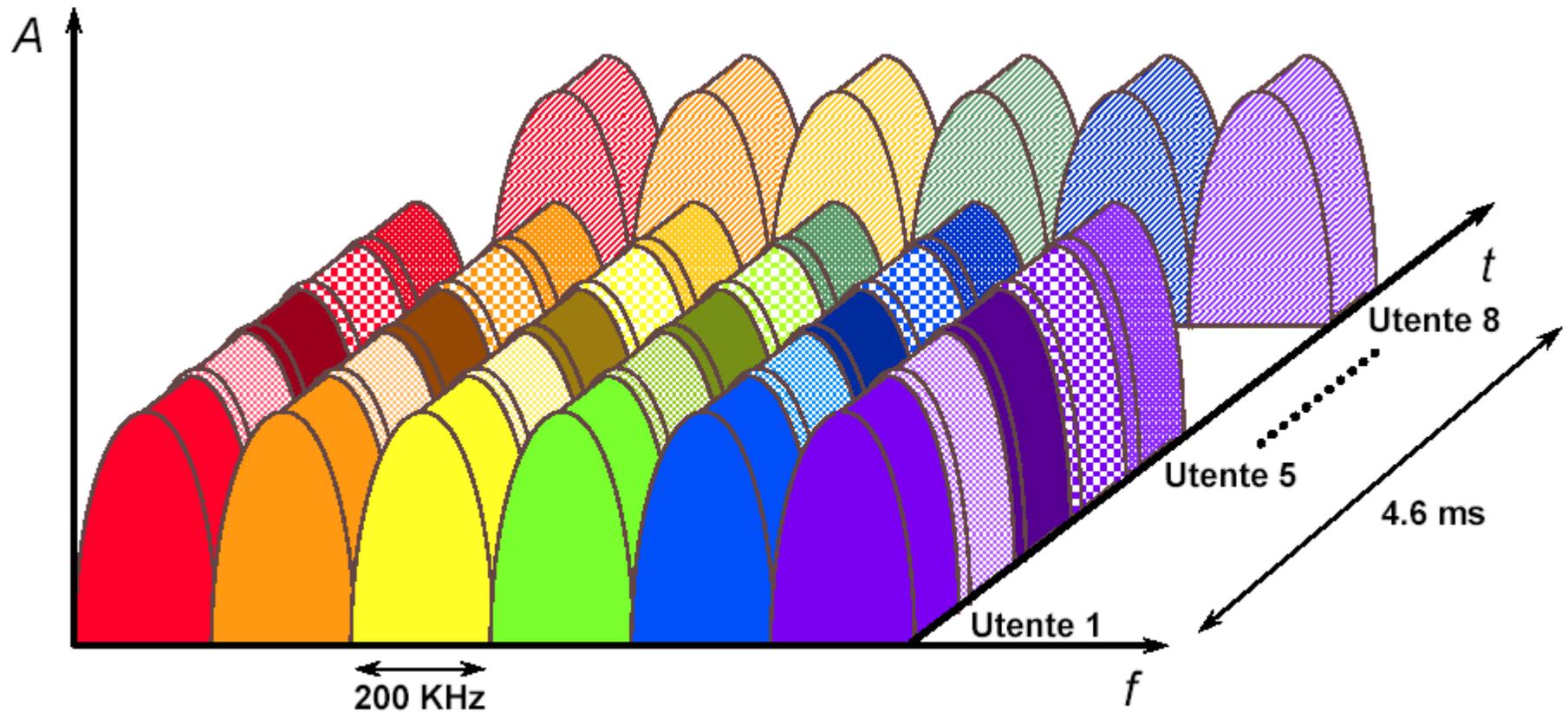
- La direttiva GSM del 1987 riservava l'uso di una parte della banda di frequenza 900MHz alle tecnologie di accesso note sotto il nome di GSM (Global System for Mobile o originariamente Groupe Spécial Mobile. Le misure consentono ai telefoni 3G l'utilizzo delle frequenze GSM in base all'accordo raggiunto nel mese di luglio dal Parlamento europeo e dal Consiglio dei ministri, nato per modernizzare la normativa europea GSM, che in questi anni ha avuto un ruolo molto importante, ma che era altresì divenuta obsoleta, con la crescita di importanza dei servizi dati su rete UMTS.
- Le nuove norme consentono inoltre di adattare più facilmente l'attribuzione delle frequenze radio nella banda dei 900 MHz per consentire anche l'applicazione delle nuove tecnologie a banda larga ad alta velocità di quarta generazione;

Il segnale GSM

- Il segnale GSM occupa due bande da 25MHz: tra 890 e 915 MHz si trova la banda di uplink (cioè i segnali che dal telefonino vanno verso la stazione base) e tra 935 e 960MHz quella downlink (viceversa). Queste bande sono suddivise ognuna in 124 canali (FDMA: Frequency Division Multiple Access) da 200kHz.
- In ogni canale viene applicata la tecnica a divisione di tempo (TDMA: Time Division Multiple Access), ospitando 8 utenti in una trama (Frame) composta da slot di 577µs.
- All'interno di ogni slot vengono trasmessi 148 bit tra sincronizzazioni e informazione più un periodo di silenzio pari alla durata di 8 bit e un quarto (periodo di guardia). I bit vengono trasmessi con modulazione GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying, simile alla FSK (Frequency Shift Keying), cioè allo Zero viene assegnata una frequenza f_0 e all'Uno una frequenza leggermente diversa f_1 , intorno alla frequenza nominale del canale che si sta utilizzando.
- la struttura della trama fa sì che il segnale di un utente abbia una periodicità pari a $8 \times 0.577 = 4.616\text{ms}$ che corrisponde ad una frequenza fondamentale di 217Hz



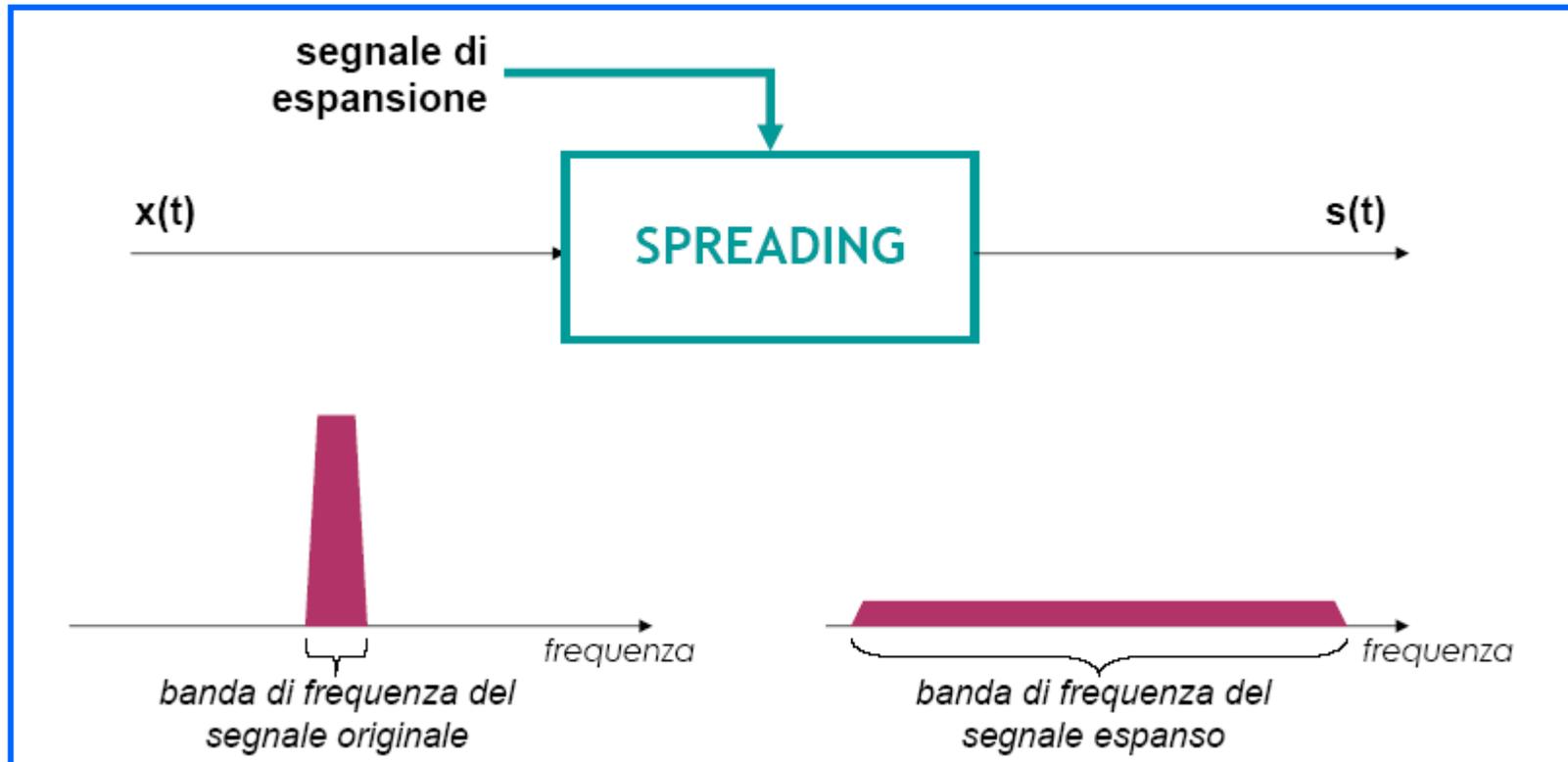
Struttura GSM



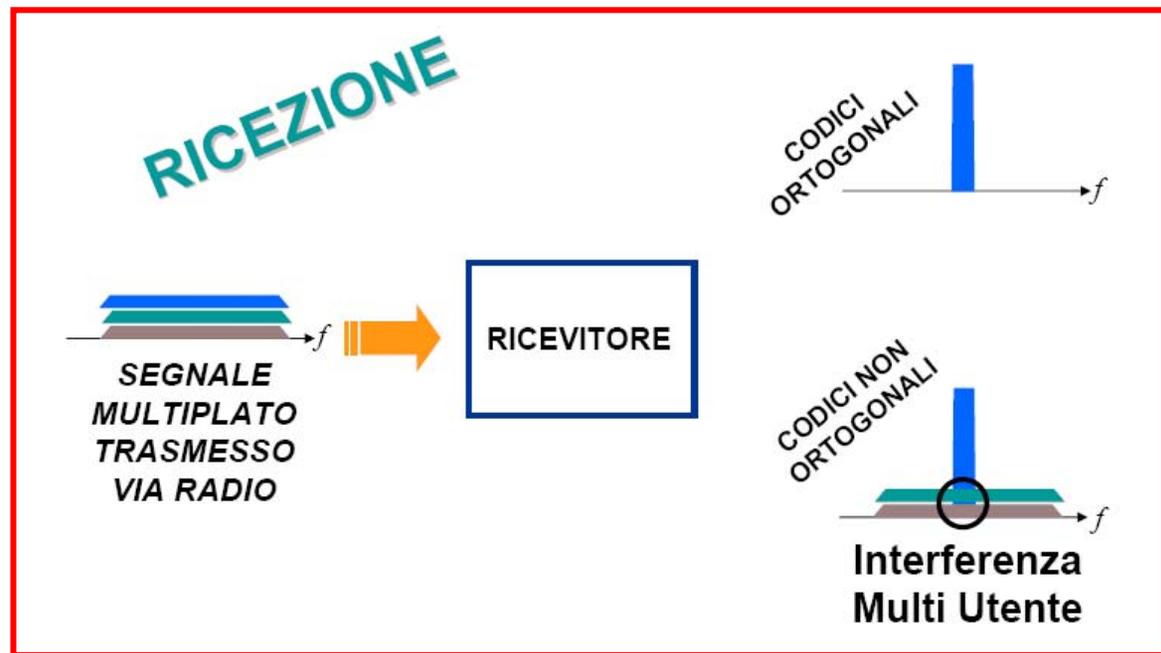
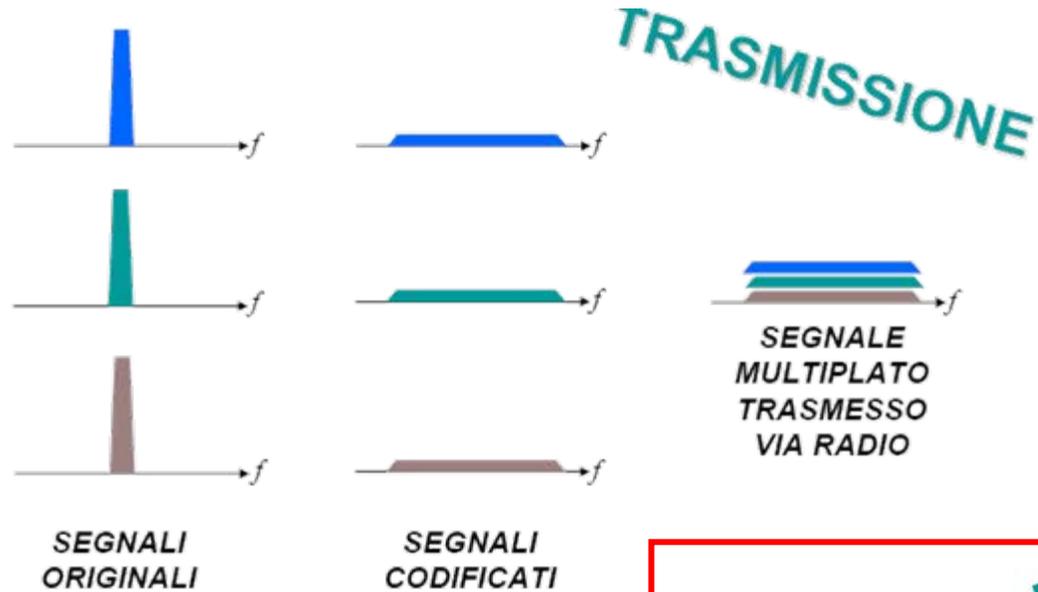
Nel GSM ogni frequenza gestisce al più 8 chiamate contemporaneamente assegnando ad ogni utente un intervallo temporale (detto slot)

Modulazione digitale: il sistema UMTS

- L'accesso radio UMTS si basa sulla tecnica W-CDMA
 - ogni bit del segnale utente viene moltiplicato per un codice opportuno (codice CDMA); contestualmente, la banda occupata dal segnale aumenta.
 - la banda occupata dal W-CDMA è circa 5 MHz (CDMA a banda stretta occupano circa 1 MHz)

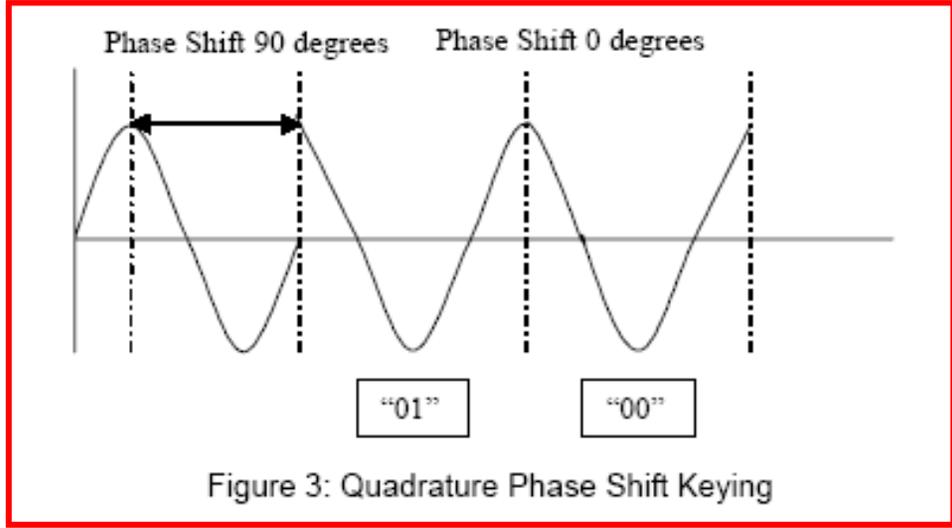


W-CDMA

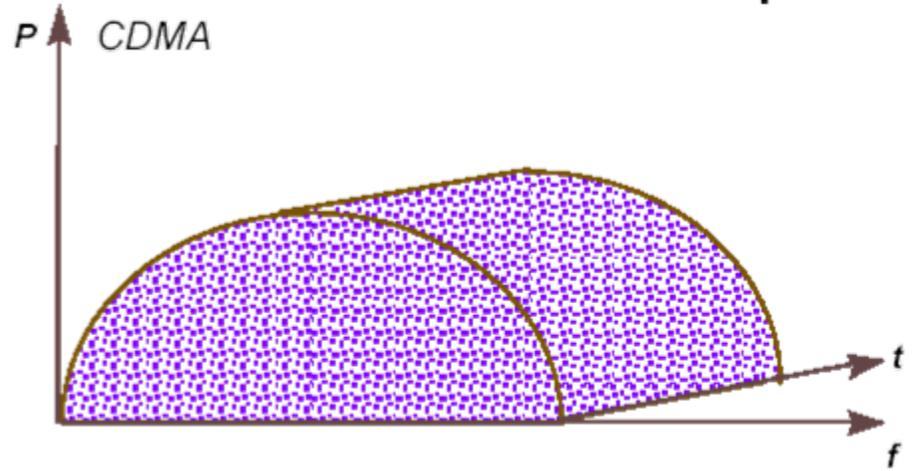


UMTS: modulazione

Il segnale trasmesso via radio sfrutta la modulazione QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)



P ⇒ Ampiezza
f ⇒ Frequenza
t ⇒ Tempo



Frequenze UMTS

1900 - 1920	1920 - 1980	1980 - 2010	2010 - 2025	2025 - 2110	2110 - 2170
TDD	FDD_UL	Not Used	TDD	Not Used	FDD_DL

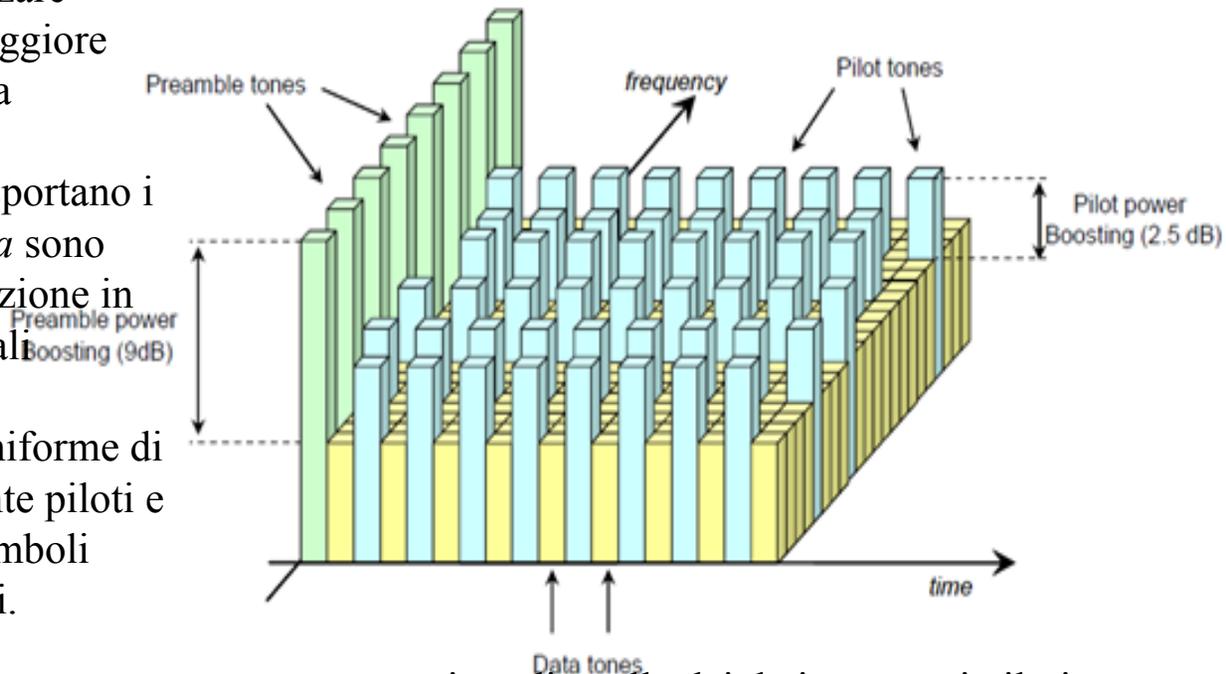
- Dai 1920 MHz ai 1980 MHz in uplink e dai 2110 ai 2170 MHz in downlink, con modalità FDD (Frequency Division Duplex, trasmissione digitale voce alla stessa velocità nelle due direzioni (simmetria) che consente un'ampia mobilità e offre piena mobilità di esercizio, è associata al W-CDMA), e in una parte non appaiata, dai 1900 ai 1920 MHz e dai 2010 ai 2025 MHz con modalità TDD (Time Division Duplex, tecnologia per la gestione del traffico asimmetrico nell'UMTS come ad esempio la navigazione su internet, offre una mobilità limitata risultando non adatta su ambienti coperti, indoor).
- Le bande indicate vengono suddivise in portanti da 5 MHz.
- Le frequenze dai 1980-2010 MHz e 2170-2200 MHz sono state riservate al segmento satellitare (S-UMTS) così da consentire l'effettiva copertura globale.

Modulazione digitale: il segnale WiFi

- Il segnale WiFi è definito dagli standard IEEE 802.11b/g
 - **IEEE 802.11b (Wi-Fi)** (emesso nel 1999): opera alla frequenza di 2.4 GHz con 83 MHz di larghezza di banda e velocità di trasmissione lorda di 11 Mbit/s; usa in prevalenza la tecnica di modulazione DS-SS (*Direct Sequence-Spread Spectrum*). Ad oggi la maggior parte delle WLAN implementano completamente la versione 802.11b HR-DSSS (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum* estensione dello standard DSSS) con tecnica di modulazione CCK (Complementary Code Keying).
 - **IEEE 802.11g** (ratificato nel giugno 2003): estende, per mezzo di una modulazione aggiuntiva (la OFDM su 3 canali radio), le caratteristiche dello standard IEEE 802.11b (2.4 GHz); con esso è pianificata la compatibilità per offrire una velocità di trasmissione teorica massima di 54 Mbit/s lordi;.
- Il simbolo Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) termine con cui si identificano in genere i dispositivi 802.11 indica l'appartenenza del dispositivo stesso alla *Wi-fi Alliance*, che raccoglie numerosi costruttori di hardware (Cisco, Nokia, Intel, Broadcom, Philips, Asus, ecc.). L'organizzazione è nata con l'obiettivo di certificare l'interoperabilità di prodotti 802.11, portando ad una comune (o comunque interoperabile) implementazione di quelle parti dello standard lasciate libere al costruttore.

Segnale WiFi: modulazione OFDM

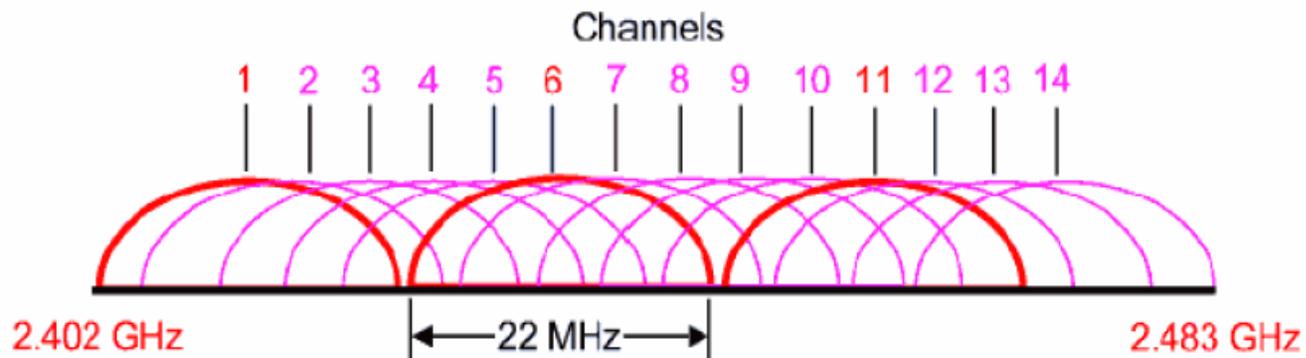
- La modulazione OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), è una modulazione di tipo multi-portante, che utilizza un numero elevato di sottoportanti ortogonali tra di loro. Ognuna delle sottoportanti è generalmente modulata individualmente con tecniche di tipo *phase-shift keying* (PSK) o *quadrature-amplitude modulation* (QAM). Il segnale multi-portante può essere quindi considerato la somma di N segnali indipendenti, tutti aventi la stessa banda e con frequenze portanti f_i , per $i = 0, 1, \dots, N - 1$.
- Le *sottoportanti di preambolo* vengono trasmesse con potenza più elevata per un periodo molto breve, per sincronizzare l'istante di inizio del frame. La maggiore trasmissione di potenza è realizzata spegnendo, per tutta la durata del preambolo, le portanti che non trasportano i sincronismi. Le *sottoportanti pilota* sono utilizzate invece per la sincronizzazione in frequenza, per compensare eventuali distorsioni di canale. Esse sono caratterizzate dalla trasmissione uniforme di dati costanti e ripetuti. Normalmente piloti e preamboli non coincidono e i preamboli sono in numero maggiore dei piloti.



- I preamboli sono caratterizzati da una potenza sempre maggiore di quella dei dati, mentre i piloti sono trasmessi ad una potenza che può essere maggiore o minore di quella dei dati ma sempre minore di quella dei preamboli.

Segnale WiFi: canali

- Gli standard 802.11b e 802.11g dividono lo spettro in 14 sottocanali da 22 MHz l'uno (Fig. II.3), parzialmente sovrapposti tra loro in frequenza, quindi tra due canali consecutivi esiste una forte interferenza.
- I due gruppi di canali 1, 6, 11 e 2, 7 e 12 non si sovrappongono fra loro e vengono utilizzati negli ambienti con altre reti wireless. I soli canali utilizzabili in tutto il mondo sono il 10 e 11 dato che la Spagna non ha concesso i canali dall'1 al 9 e molte nazioni si limitano ai primi 11 sottocanali.
- Ogni canale è costituito da 52 sottoportanti attive su un totale di 64 e spaziate di 0.3125 MHz con una durata di simbolo di 4 μ s e modulation rate di 12 Msymbol/s. Le sottoportanti pilota sono 4 localizzate nelle posizioni -21, -7, 7, 21 rispetto alla sottoportante centrale mentre i preamboli sono 12 localizzati alle posizioni -24, -20, -6, -12, -8, -4, 4, 8, 12, 16, 20, 24, sempre rispetto a quella centrale.



Segnale WiFi: spettro

