

1

Francesca Cuomo

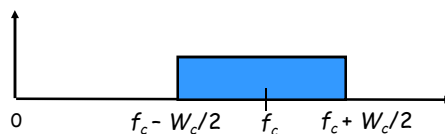
Lo strato Fisico

Parte 4

Modulazione numerica

2

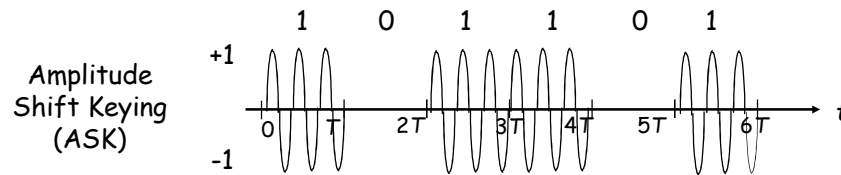
Canali passa-banda



- I canali passa-banda sono passanti per un intervallo di frequenze centrate intorno ad una frequenza centrale f_c
 - Canali radio channels, modem telefonici e xDSL
- I modulatori numerici (**Modem**) utilizzano forme d'onda che hanno frequenze che sono passanti per un canale passa-banda
- Un segnale sinusoidale di frequenza f_c è centrato nella banda del canale
 - Un modulatore inserisce l'informazione in una sinusoide $[\cos(2\pi f_c t)]$

3

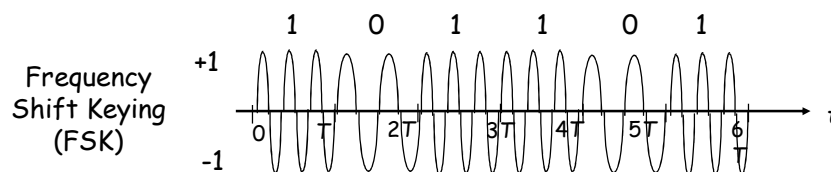
Modulazione di Ampiezza



- Un modulatore ASK mappa ogni bit informativo nell'ampiezza di una sinusoide a frequenza f_c
 - "1" trasmissione del segnale sinusoidale
 - "0" nessun segnale
- Il demodulatore individua i periodi in cui è presente il segnale e i periodi in cui il segnale è assente

4

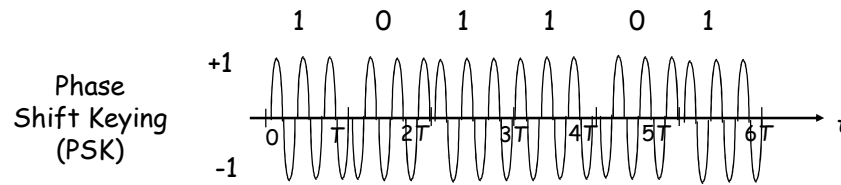
Modulazione di Frequenza



- Un modulatore FSK mappa ogni bit informativo nella frequenza di un segnale sinusoidale
 - "1" trasmissione di un segnale di frequenza $f_c + \delta$
 - "0" trasmissione di un segnale di frequenza $f_c - \delta$
- Un demodulatore individua la potenza intorno alle frequenze $f_c + \delta$ o $f_c - \delta$

5

Modulazione di Fase



- Un modulatore PSK mappa ogni bit informativo nella fase di un segnale sinusoidale
 - "1" trasmissione del segnale $A \cos(2\pi ft)$ → fase 0
 - "0" trasmissione del segnale $A \cos(2\pi ft + \pi)$ → fase π
- E' equivalente a moltiplicare un segnale $\cos(2\pi ft)$ per $+A$ or $-A$
 - "1" trasmissione del segnale $A \cos(2\pi ft) \rightarrow$ moltiplicazione per A
 - "0" trasmissione del segnale $A \cos(2\pi ft + \pi) = -A \cos(2\pi ft) \rightarrow$ moltiplicazione per $-A$

6

Modulazione e Demodulazione PSK

- Un segnale $\cos(2\pi f_c t)$ viene modulato moltiplicandolo per A_k per T secondi (durata di un simbolo)

$$A_k \rightarrow \text{moltiplicazione} \rightarrow Y_i(t) = A_k \cos(2\pi f_c t)$$

$\cos(2\pi f_c t)$

Segnale trasmesso nell k -mo intervallo

- Il segnale ricevuto viene demodulato moltiplicandolo per $2\cos(2\pi f_c t)$ per T secondi e successivamente filtrandolo con un filtro passa-basso

$$Y_i(t) = A_k \cos(2\pi f_c t) \rightarrow \text{moltiplicazione} \rightarrow 2A_k \cos^2(2\pi f_c t) = A_k \{1 + \cos(2\pi 2f_c t)\}$$

$2\cos(2\pi f_c t)$

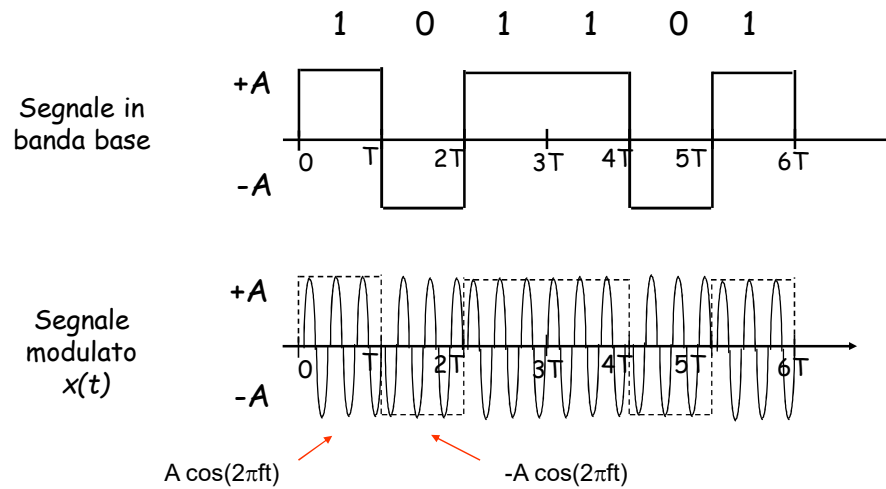
Filtro passa-basso

$X_i(t)$

Segnale ricevuto durante il k -mo intervallo

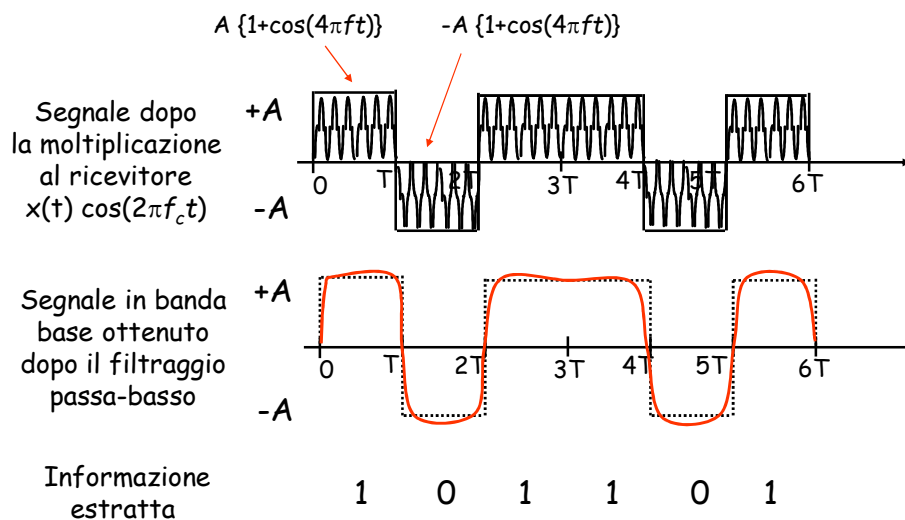
7

Esempio di modulazione



8

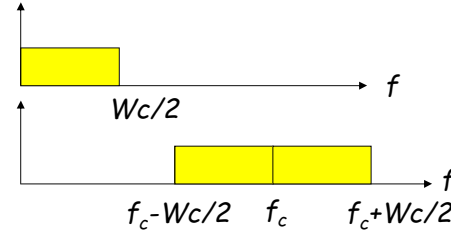
Esempio di demodulazione



9

Banda in trasmissione

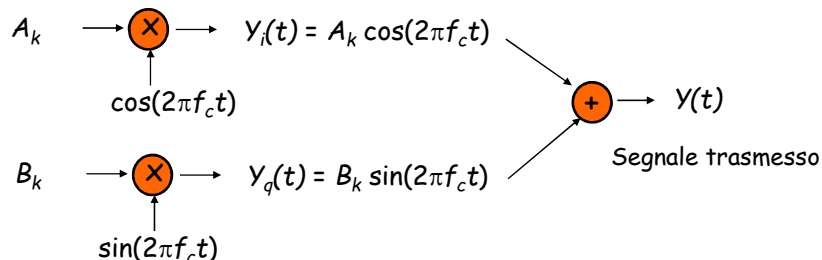
- Se il segnale in banda base $x(f)$ ha banda $W_c/2$ Hz
- il segnale modulato $x(t)\cos(2\pi f_c t)$ ha banda uguale a W_c Hz
- Se il canale di comunicazione ha banda W_c Hz
 - Il canale in banda base ha una larghezza di banda disponibile uguale a $W_c/2$ Hz
 - Un sistema di modulazione supporta $(W_c/2) \times 2 = W_c$ impulsi/secondo
 - Quindi W_c impulsi/secondo per W_c Hz = 1 impulso/Hz
 - si ricorda che la trasmissione in banda base supporta 2 impulsi/Hz



10

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

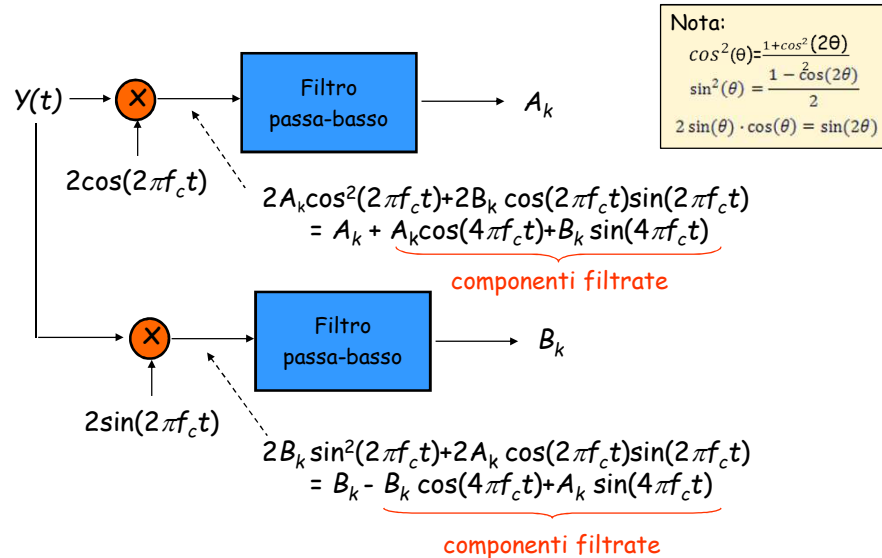
- QAM usa una trasmissione a due dimensioni
 - A_k modula il segnale **in fase** $\cos(2\pi f_c t)$ per T secondi
 - B_k modula il segnale **in quadratura** $\cos(2\pi f_c t + \pi/2) = \sin(2\pi f_c t)$ per T secondi
 - Si trasmette la somma delle componenti in fase ed in quadratura



- I segnali $Y_i(t)$ and $Y_q(t)$ occupano entrambi la banda passante del canale
 - la modulazione QAM supporta 2 impulsi/Hz

11

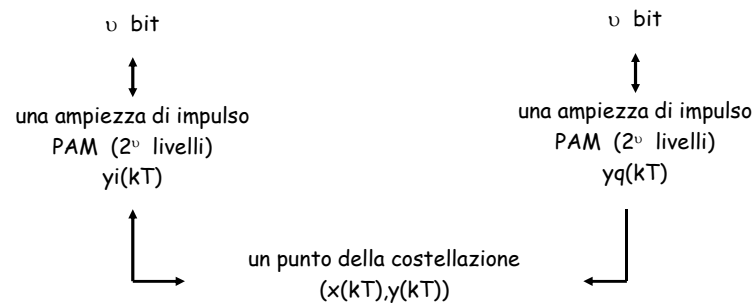
Demodulazione QAM



12

Costellazione dei segnali

- Ogni T secondi vengono trasmessi $2v$ bit del segnale di ingresso

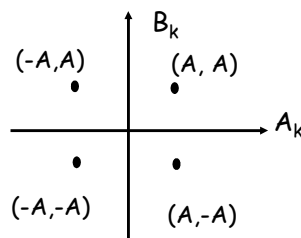


13

Costellazione di segnali

- Ogni coppia (A_k, B_k) definisce un punto nel piano
- La **costellazione** di un segnale è l'insieme dei punti che può assumere un segnale
- Caso $v=1$: 4-QAM (4-PSK, QPSK)

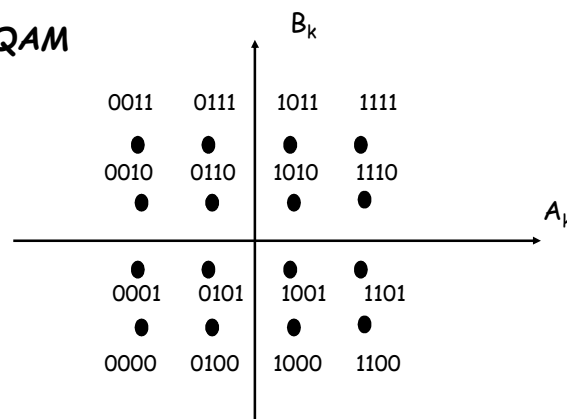
4 possibili punti in T sec
(2 bit/impulso)



14

Costellazione di segnali

- Caso $v=2$: 16 QAM



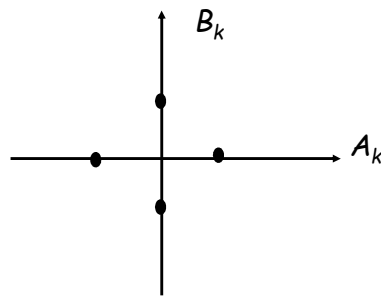
16 possibili punti in T sec
(4 bit/impulso)

15

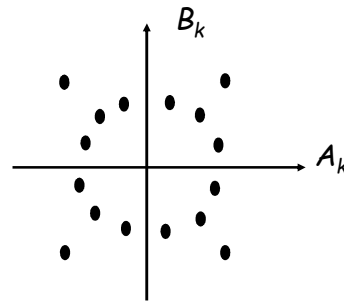
Altre Costellazioni di segnale

■ Punti scelti in ampiezza e fase

$$A_k \cos(2\pi f_c t) + B_k \sin(2\pi f_c t) = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \cos(2\pi f_c t + \tan^{-1}(B_k/A_k))$$



4 possibili punti in T sec

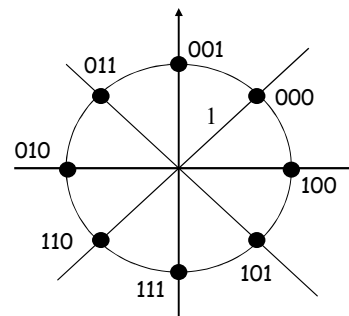


16 possibili punti in T sec

16

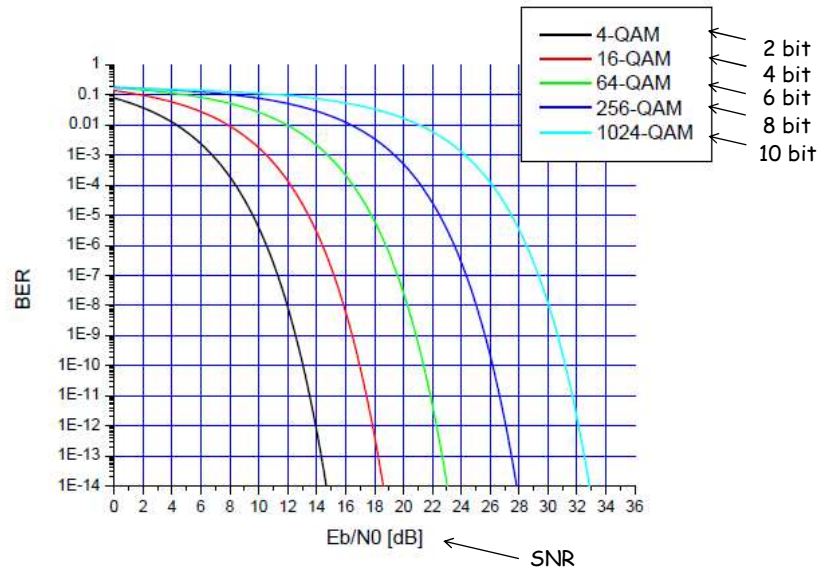
Altre Costellazioni di segnale

- ✓ Modulazione numerica con *signal set* a 8 punti disposti su una circonferenza di raggio 1, equidistanziati.
- ✓ 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 ($r = 1 = \cos t$).



17

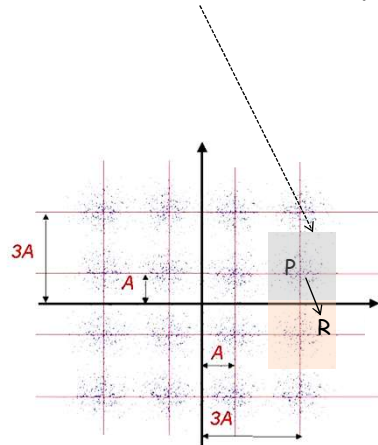
Prestazioni QAM



18

Effetto del rumore

Si individua nel piano del signal set delle *regioni di decisione* associate ai punti della costellazione



- La generica regione di decisione associata a un punto P è costituita da tutti i punti del piano più vicini a P che a tutti gli altri punti del signal set.
- Si ha una *decisione errata* (corrispondente a uno o più bit errati nel segnale binario demodulato) quando rumore è tale da far cadere il punto ricevuto R al di fuori della regione di decisione relativa al punto trasmesso P.