

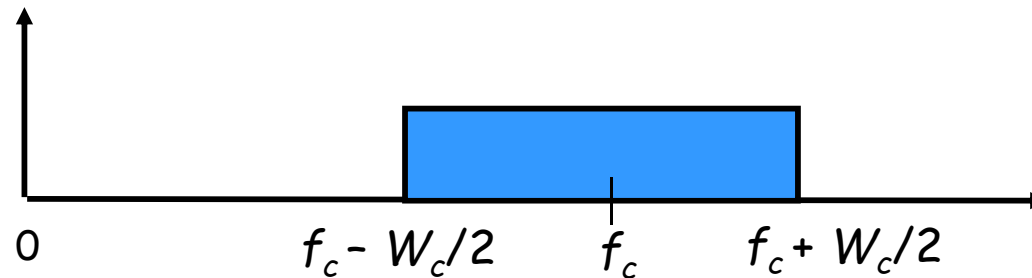


Marco Listanti

# Lo strato Fisico

## Parte 4 Modulazione numerica

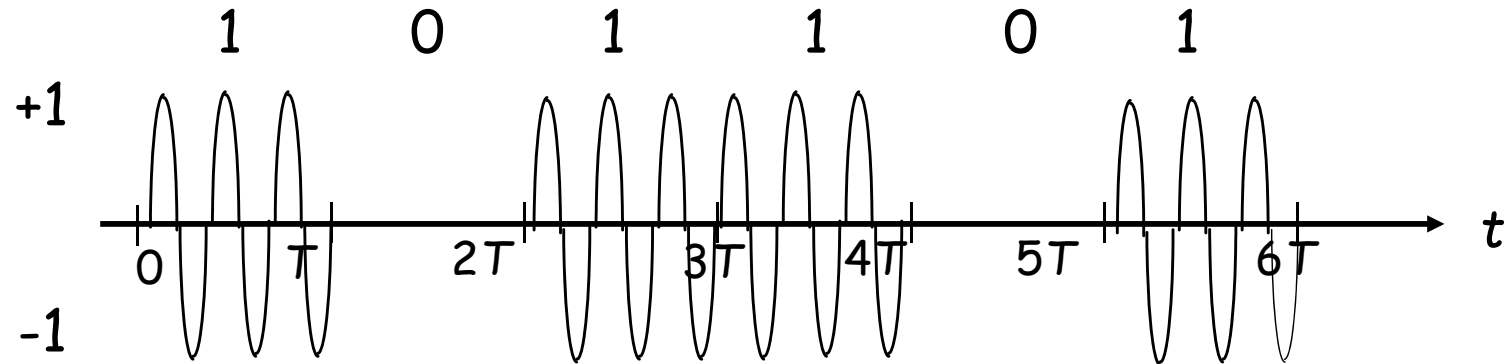
# Canali passa-banda



- 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  $[\cos(2\pi f_c t)]$

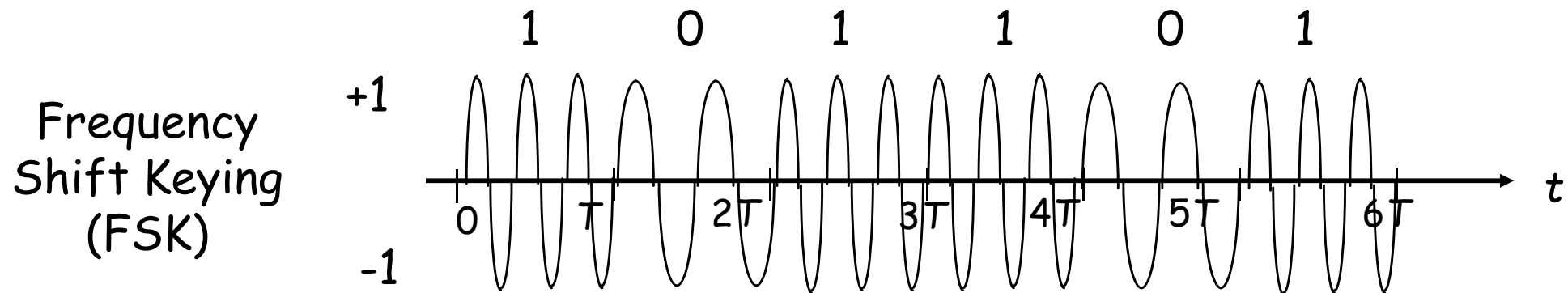
# Modulazione di Ampiezza

Amplitude  
Shift Keying  
(ASK)



- 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

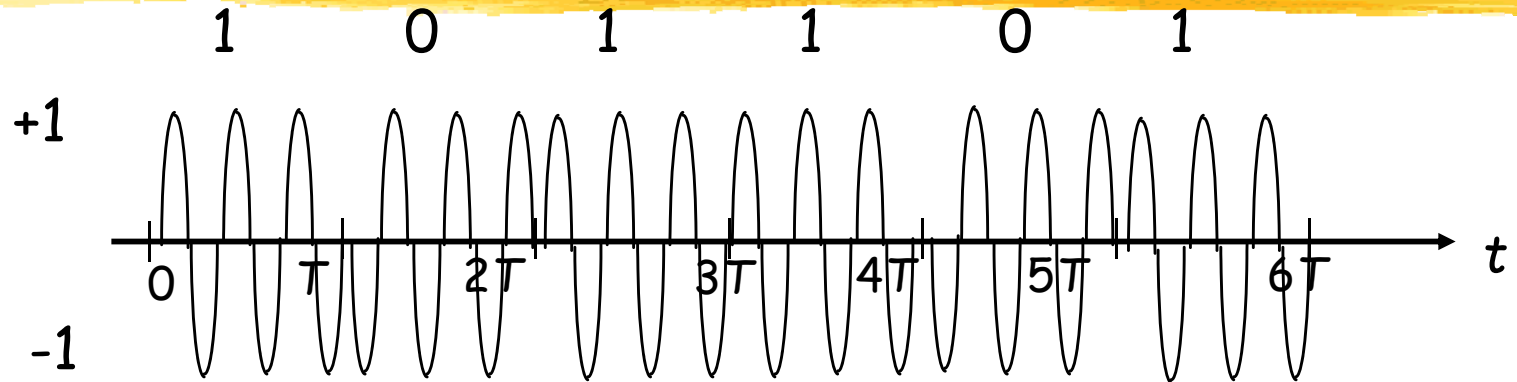
# Modulazione di Frequenza



- 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  $f_c - \delta$

# Modulazione di Fase

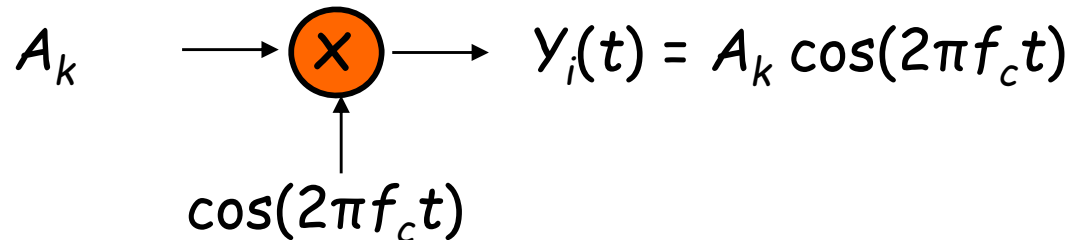
Phase  
Shift Keying  
(PSK)



- 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  $\pi$
- 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  $-A$

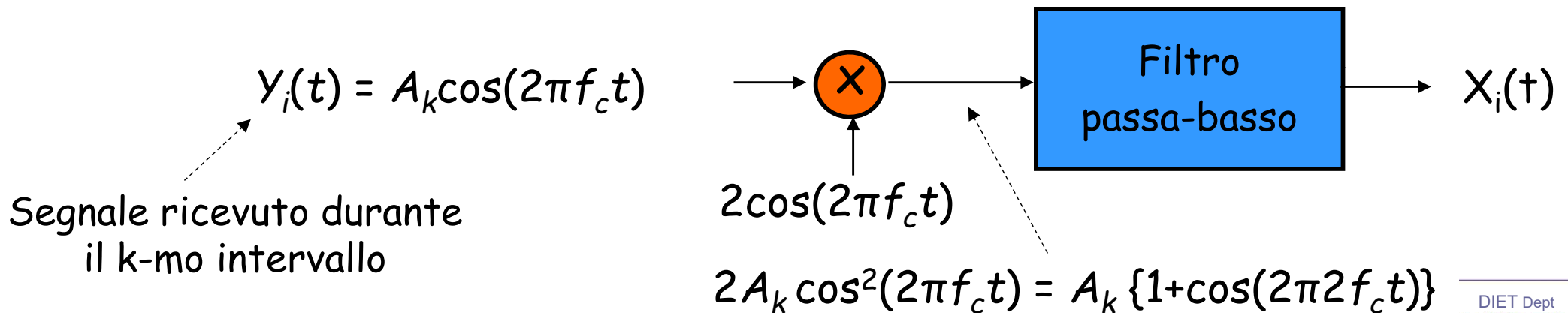
# Modulazione e Demodulazione PSK

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



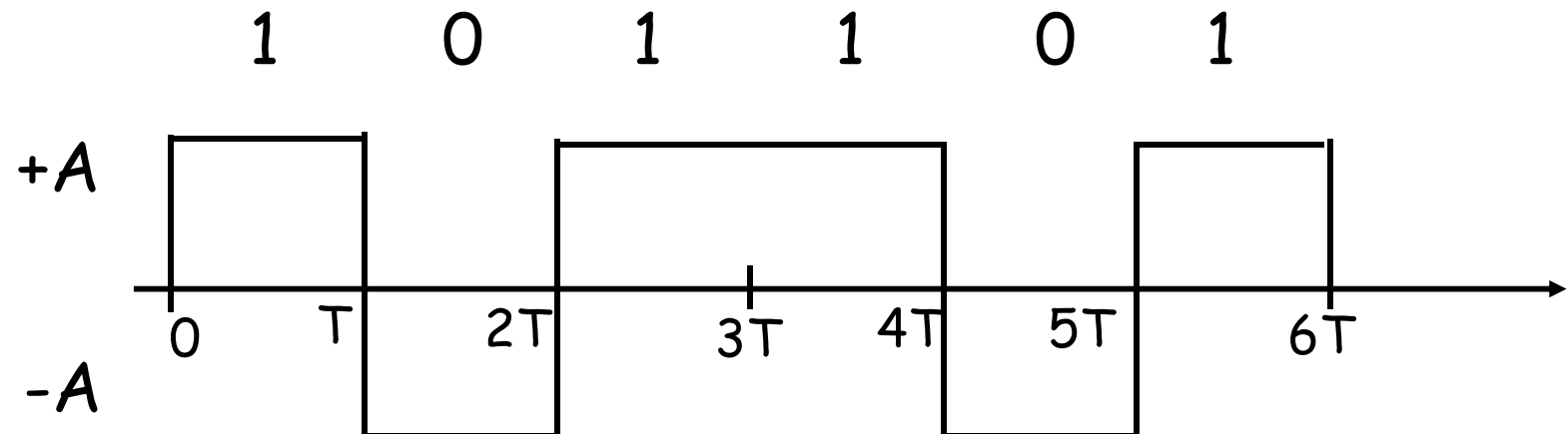
Segnale trasmesso  
nell  $k$ -mo intervallo

- 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

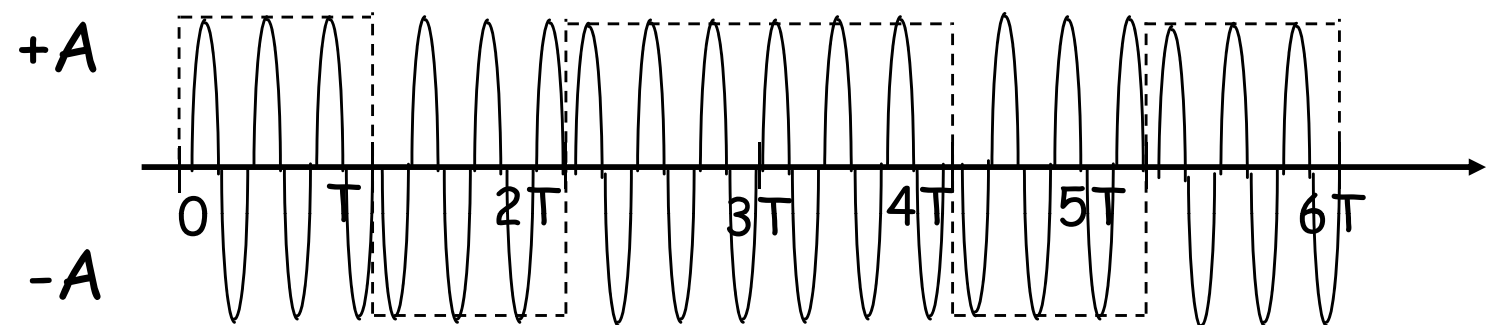


# Esempio di modulazione

Segnale in  
banda base



Segnale  
modulato  
 $x(t)$



$A \cos(2\pi ft)$

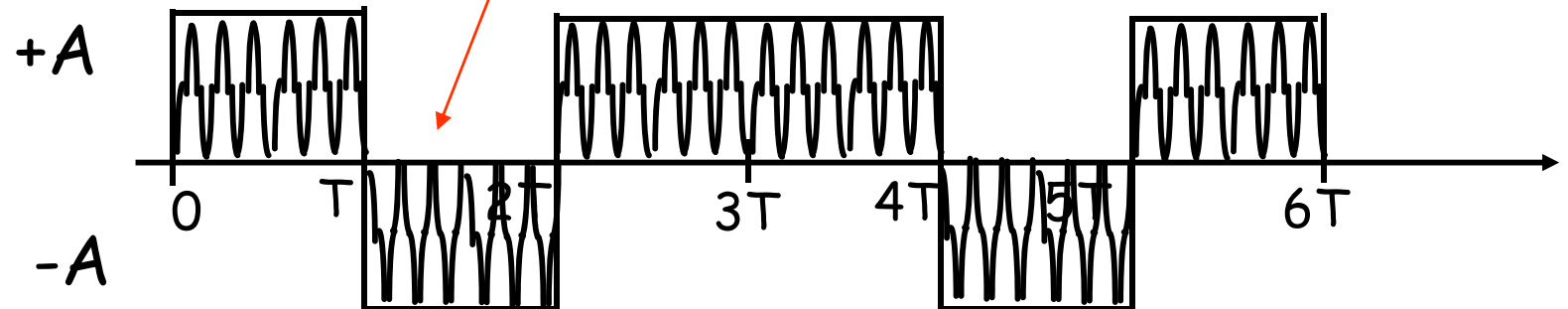
$-A \cos(2\pi ft)$

# Esempio di demodulazione

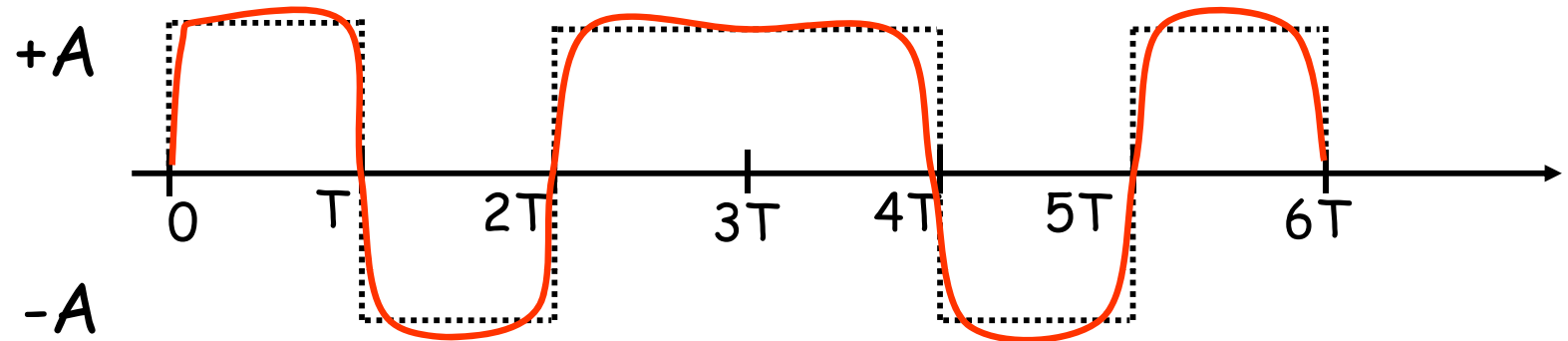
$$A \{1 + \cos(4\pi ft)\}$$

$$-A \{1 + \cos(4\pi ft)\}$$

Segnale dopo  
la moltiplicazione  
al ricevitore  
 $x(t) \cos(2\pi f_c t)$



Segnale in banda  
base ottenuto dopo  
il filtraggio passa-  
basso



Informazione  
estratta

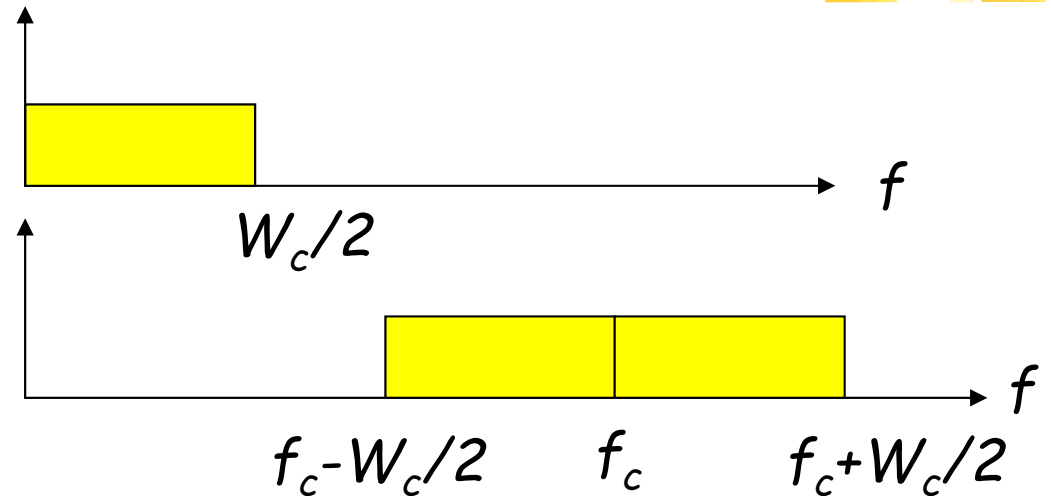
1 0 1 1 0 1



# Banda in trasmissione

■ Se il segnale in banda base  $x(t)$  ha banda  $W_c/2$  Hz

■ il segnale modulato  $x(t)\cos(2\pi f_c t)$  ha banda uguale a  $W_c$  Hz



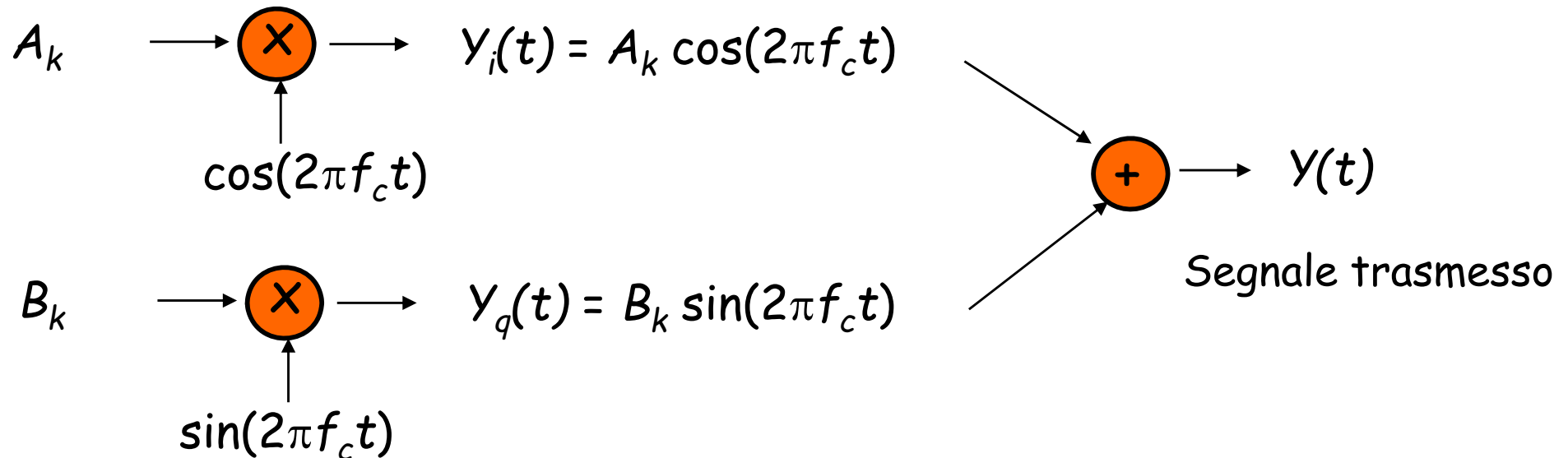
■ Se il canale di comunicazione ha banda  $W_c$  Hz

- 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

# Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

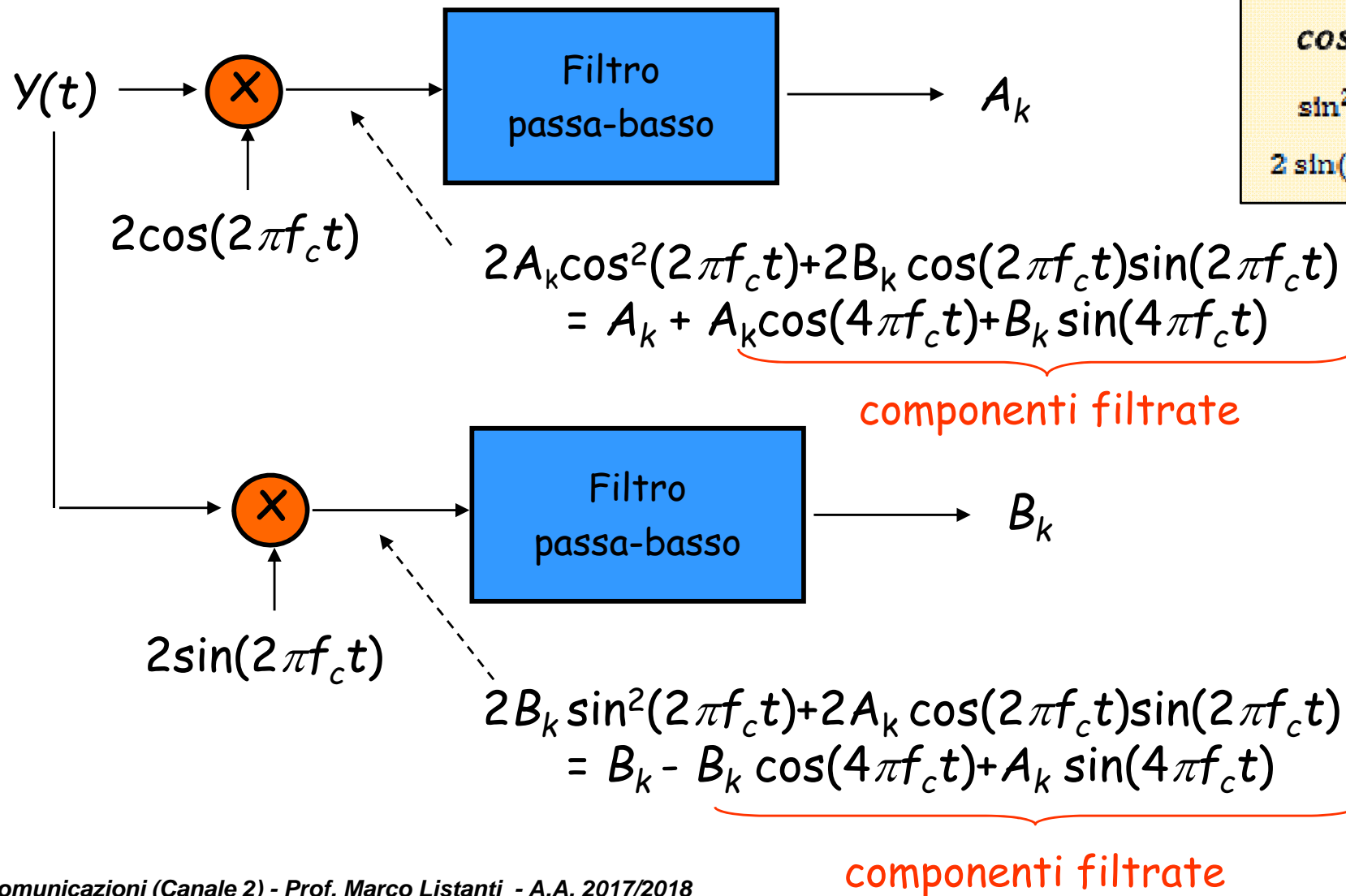
## ■ QAM usa una trasmissione a due dimensioni

- $A_k$  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

# Demodulazione QAM



Nota:

$$\cos^2(\theta) = \frac{1 + \cos(2\theta)}{2}$$

$$\sin^2(\theta) = \frac{1 - \cos(2\theta)}{2}$$

$$2 \sin(\theta) \cdot \cos(\theta) = \sin(2\theta)$$

# Costellazione dei segnali

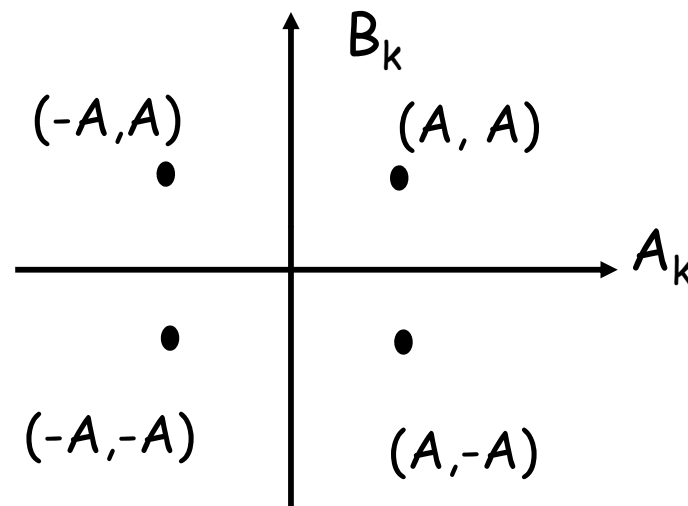
- Ogni  $T$  secondi vengono trasmessi  $2^v$  bit del segnale di ingresso



# Costellazione di segnali

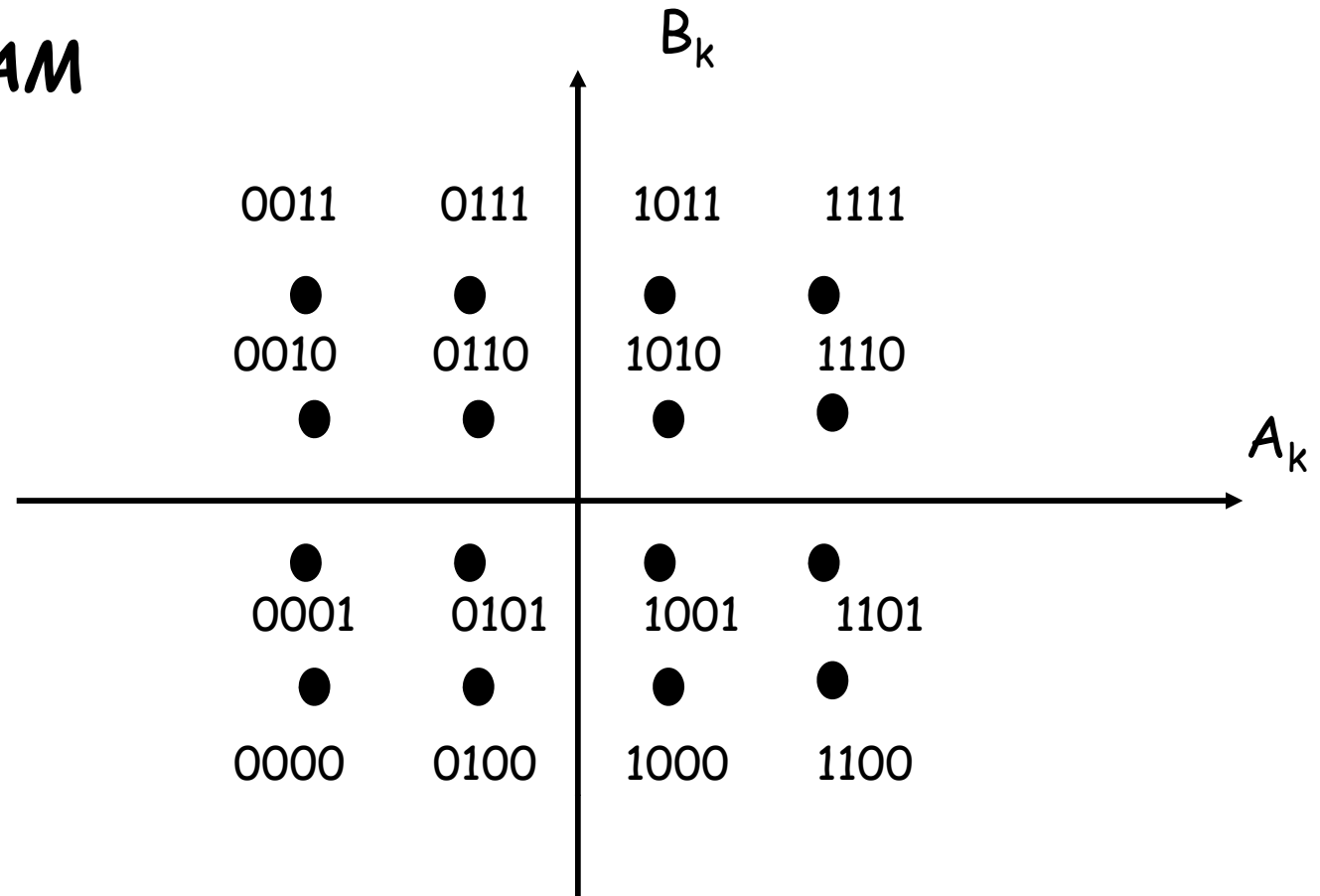
- Ogni coppia  $(A_k, B_k)$  definisce un punto nel piano
- La **costellazione** di un segnale è l'insieme dei punti che può assumere un segnale
- Caso  $v=1$ : 4-QAM (4-PSK, QPSK)

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



# Costellazione di segnali

## ■ Caso $v=2$ : 16 QAM

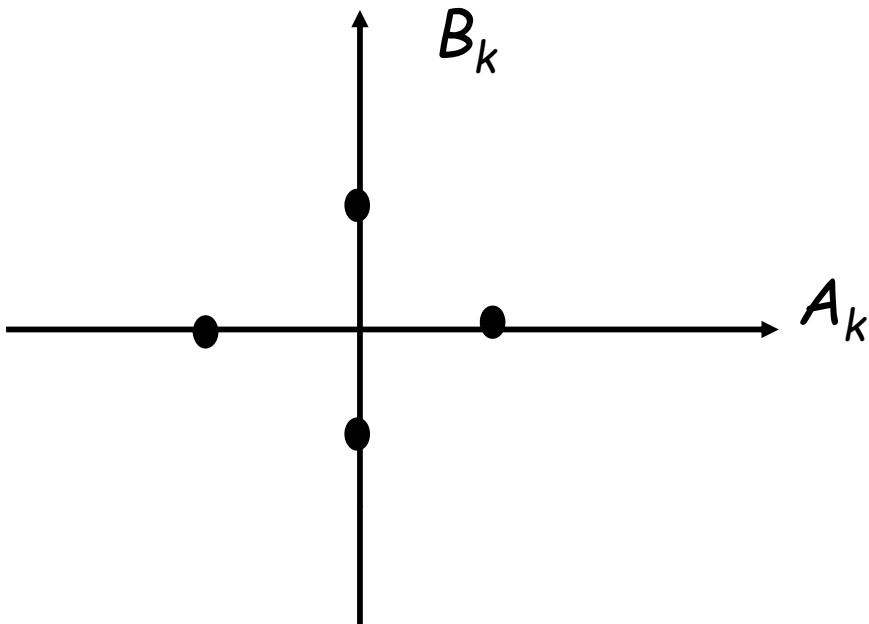


16 possibili punti in T sec  
(4 bit/impulso)

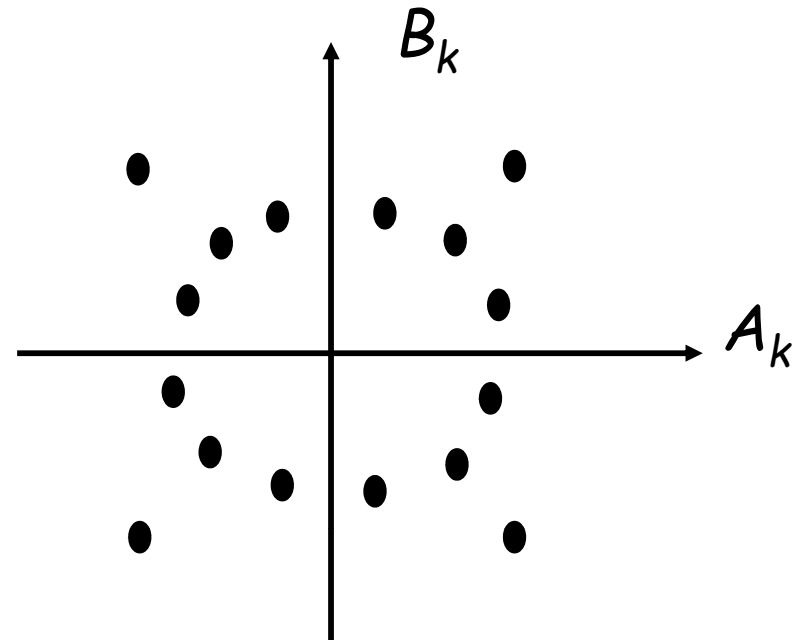
# Altre Costellazioni di segnale

## ■ Punti scelti in ampiezza e fase

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



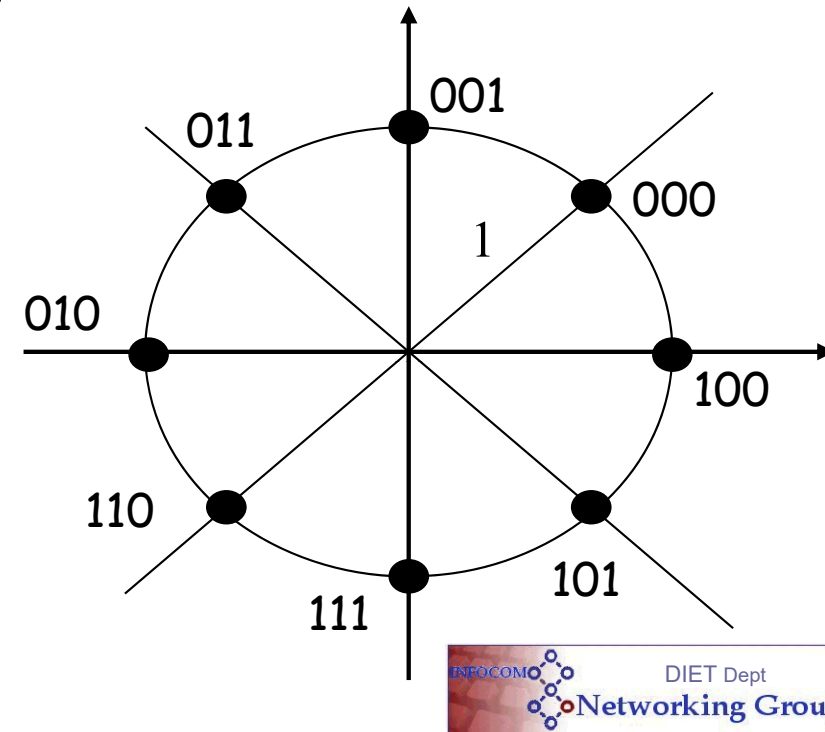
4 possibili punti in T sec



16 possibili punti in T sec

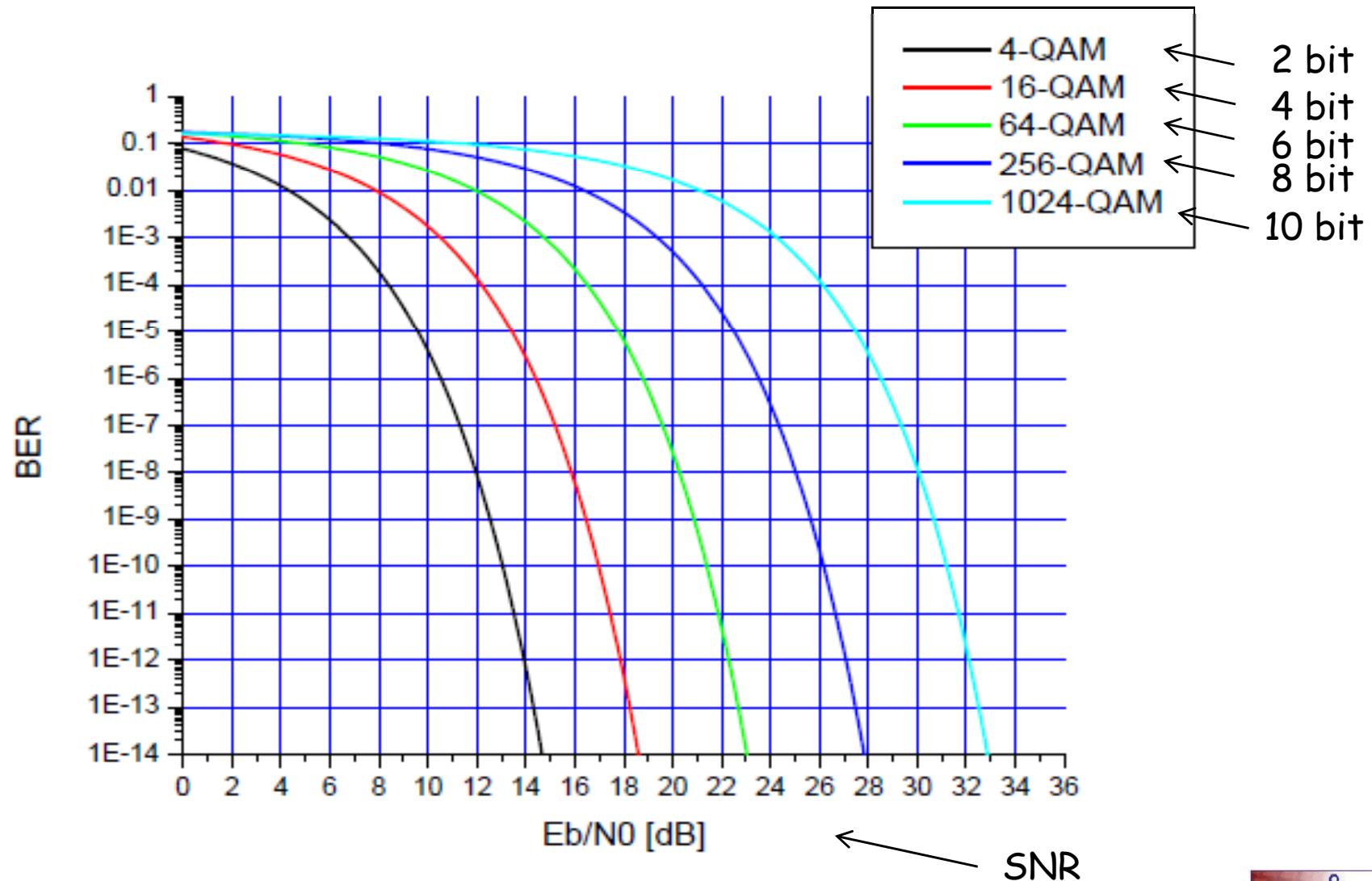
# Altre Costellazioni di segnale

- ✓ 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  $(r, \varphi)$  sono differenziate soltanto in base alla fase  $\varphi$  ( $r = 1 = \text{cost}$ ).



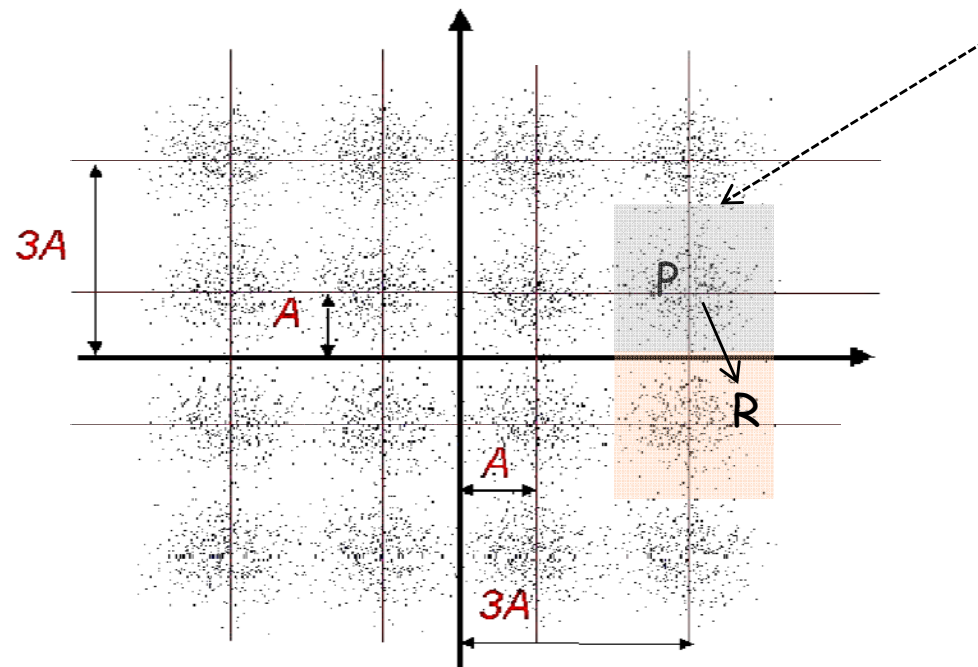


# Prestazioni QAM



# 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  $P$ .