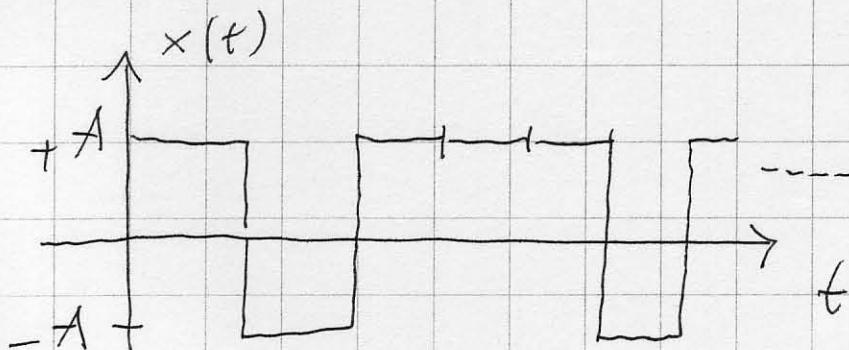


TECNICHE DI TR. NUMERICA

* Tr. di sequenze di "1" e "0" ... → BINARIA.



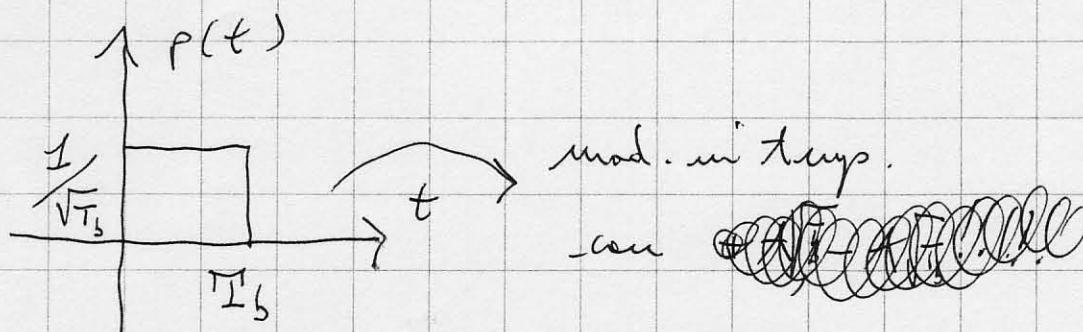
Transmission of sequences of "1" or "0" (Binary signalling)

The receiver have to "estimate" if the transmitted signal was "1" or "0".

* Se Ric. deve "STIMARE" se è stato trasmesso 1 oppure 0 (è più facile distinguere le segnale trasmessi come nel caso analisis)

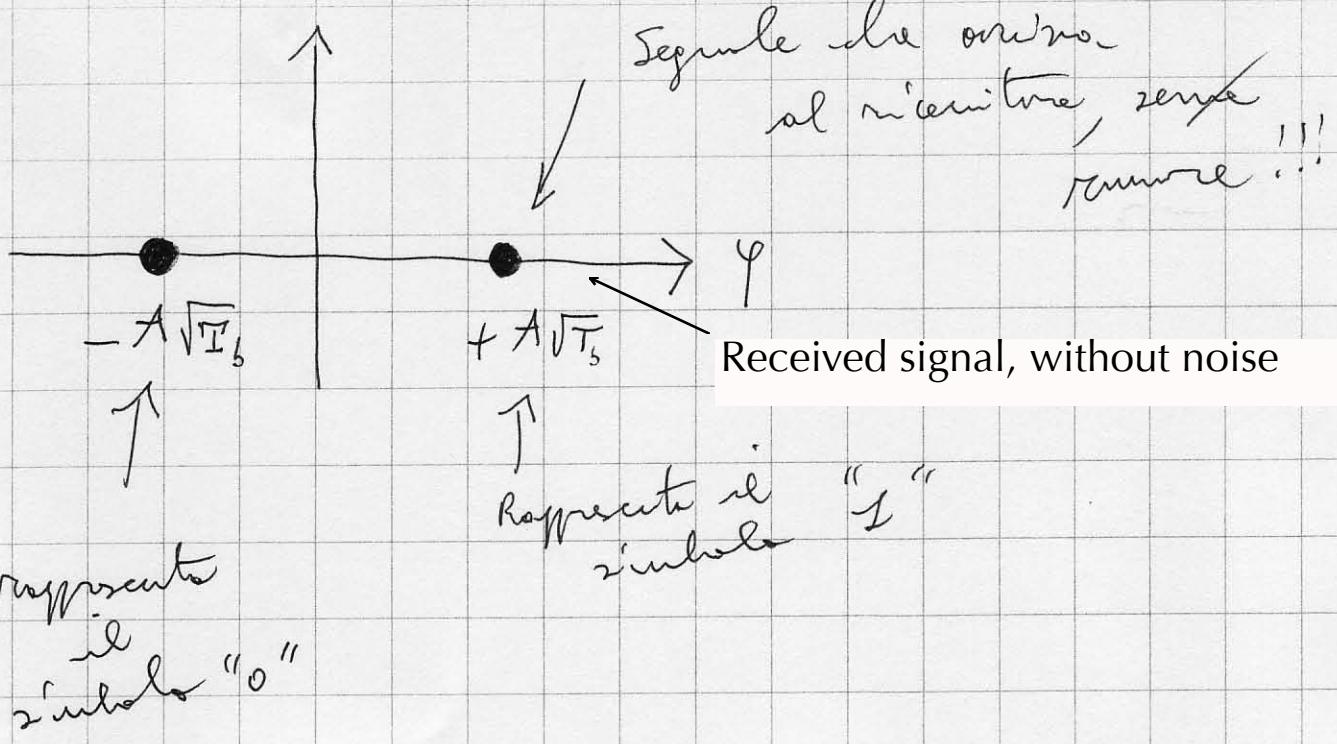
It is a special case of Amplitude Modulation, but with a different meaning of the involved waveforms (Pulse Amplitude Modulation, PAM)

* È una mod. di AMPIEZZA ...

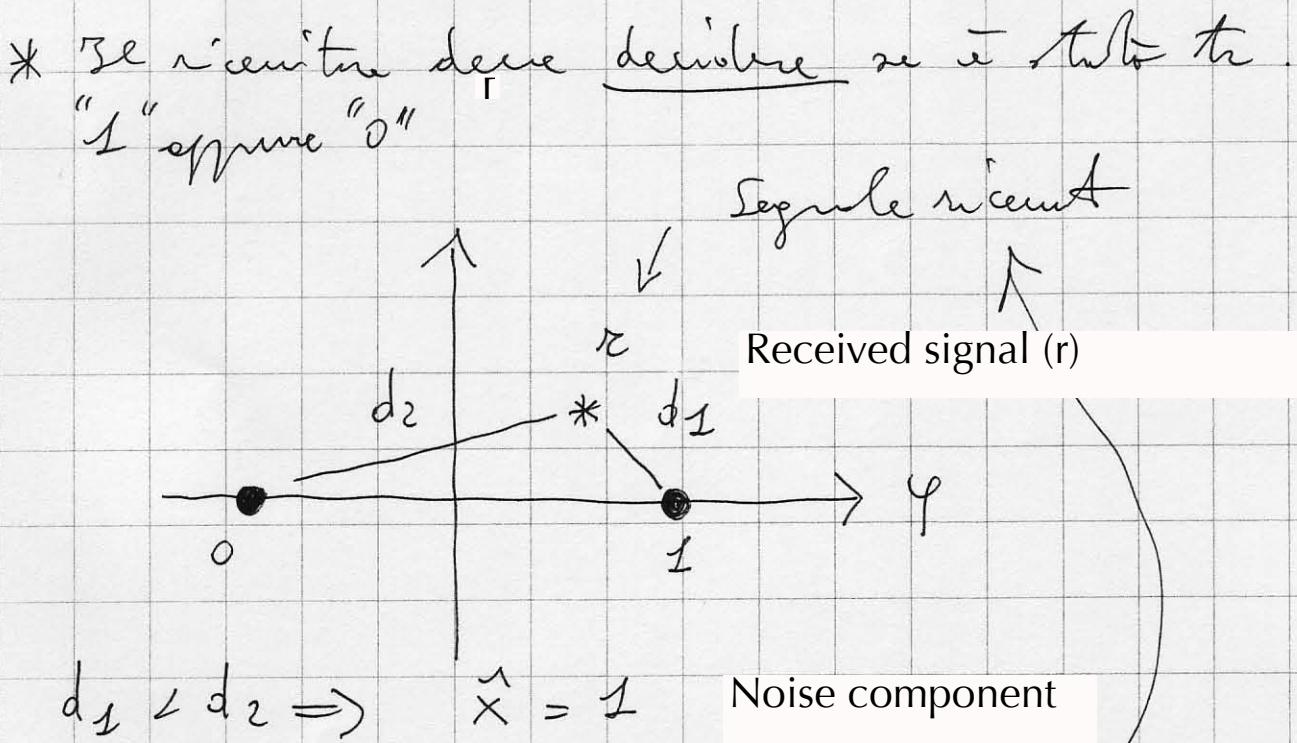


$$1 \rightarrow +A\sqrt{T_b}$$

$$0 \rightarrow -A\sqrt{T_b}$$



Observing the received signal, the receiver have to "decide" if the transmitted signal was "1" or "0".



$$r(t) = x(t) + n(t)$$

remove overplot al segnale !!!

Performance: probability of errors (P(E))

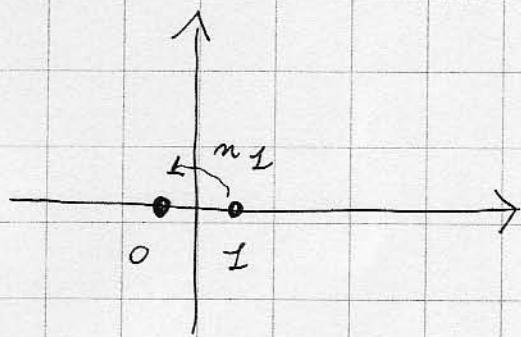
* PRESTAZIONI : Probabilità - di ERRORE ...
delle rice.



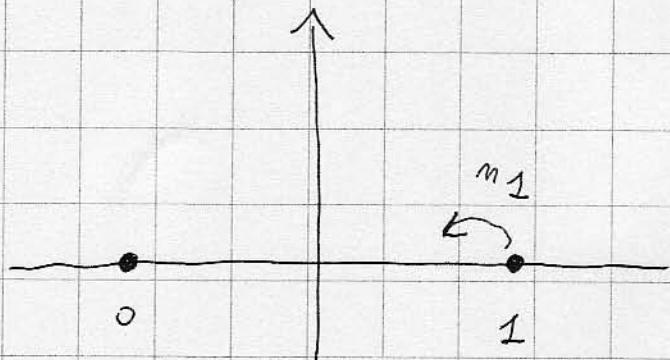
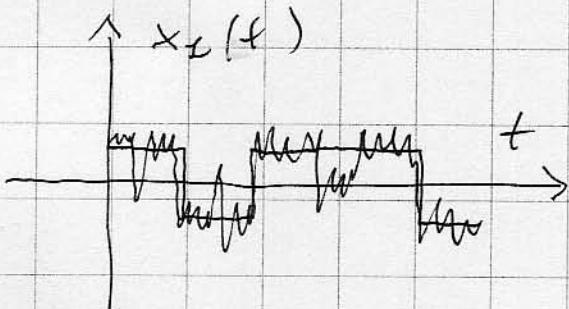
$$(P(E))$$

The error probability depends on the "distance" between the possible signals

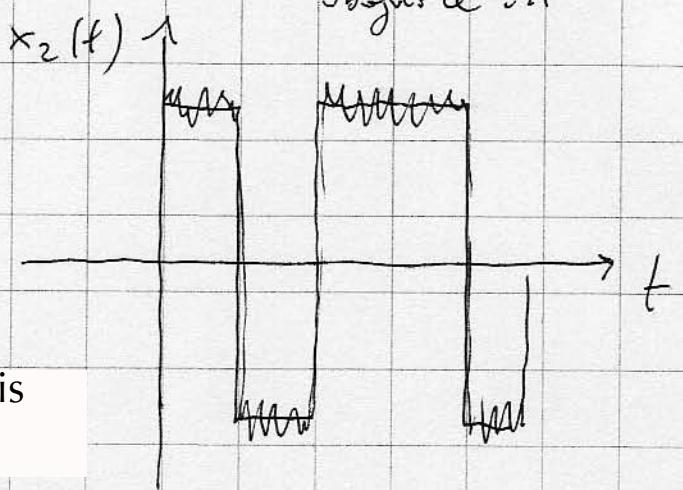
* Più i due punti sono vicini, maggiore sarà lo $P(E)$!!!



m_1 fa SBAGLIARE !!!



m_1 NON FA SBAGLIORE !!!



The distance between the possible signals is related to the transmitted power

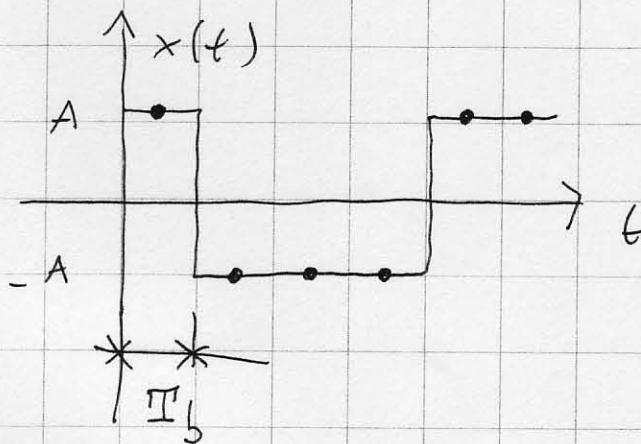
* La distanza tra i punti è legata alla POTENZA TRASMESSA !!!

$$d = 2\sqrt{E} \quad , \quad E = P \cdot T_b = \frac{P}{T_b} \xrightarrow{\text{Potenza}} \text{Energy}$$

Bit-rate: number of bits transmitted in one second

* RITMO di TRASMISSIONE:
di bit trasmessi al sec. !!!

* $r_b = \frac{1}{T_b}$ [bit/sec]

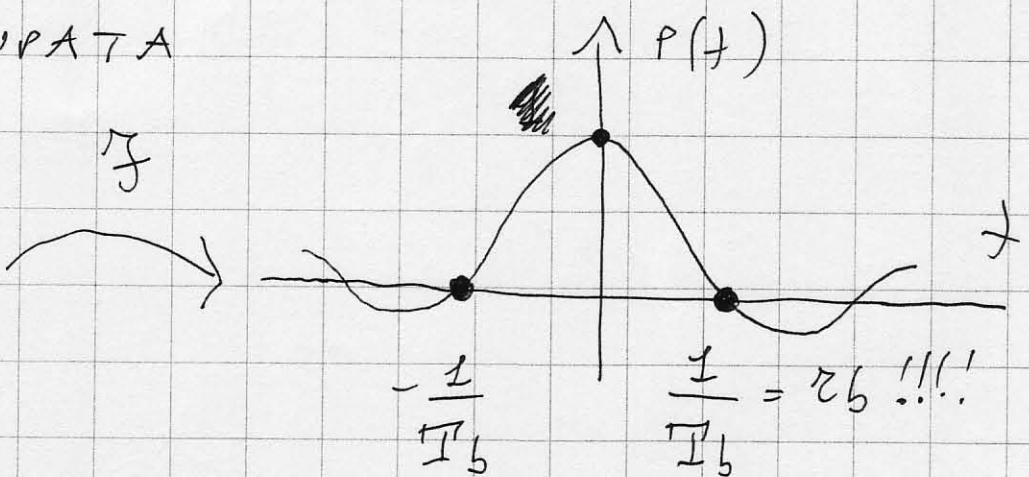
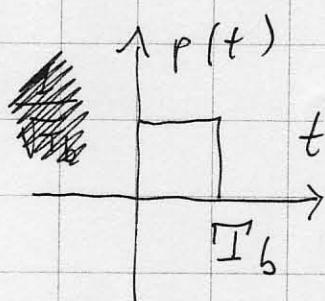


* $r_b \uparrow, T_b \downarrow, E = \frac{P}{r_b} = P T_b \downarrow, P(E) \uparrow$!!!



Bandwidth is related directly to r_b

* BANDA OCCUPATA



* $B_f \approx r_b$!!!



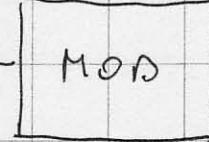
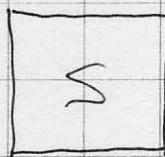
RICEVITORE

Receiver

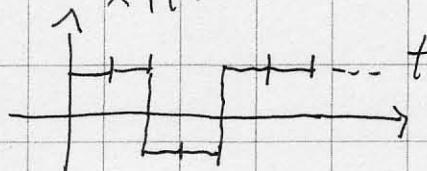
* RICEVITORE

Source
S
Source
che emette 1, 0 ...

110011...



$x(t)$



t

)

(

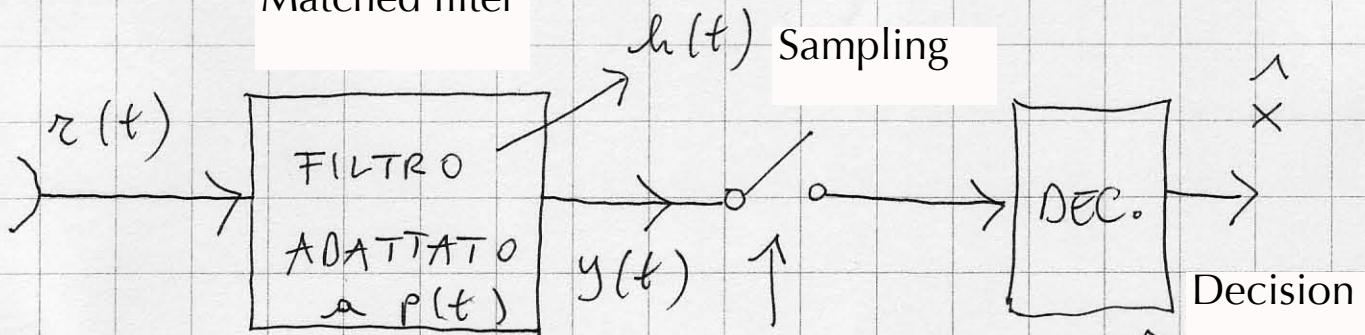
)

Anale

Channel and
noise

RUMORE

Matched filter



Sampling

X

Decision

Comparatore (T_b)

!!!

Esegue l'operazione

 T_b

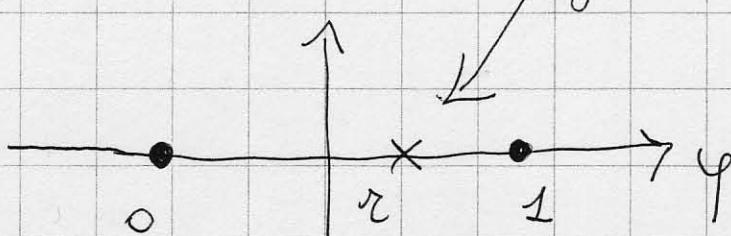
$\int r(t) \cdot p(t) dt$

DECIDE

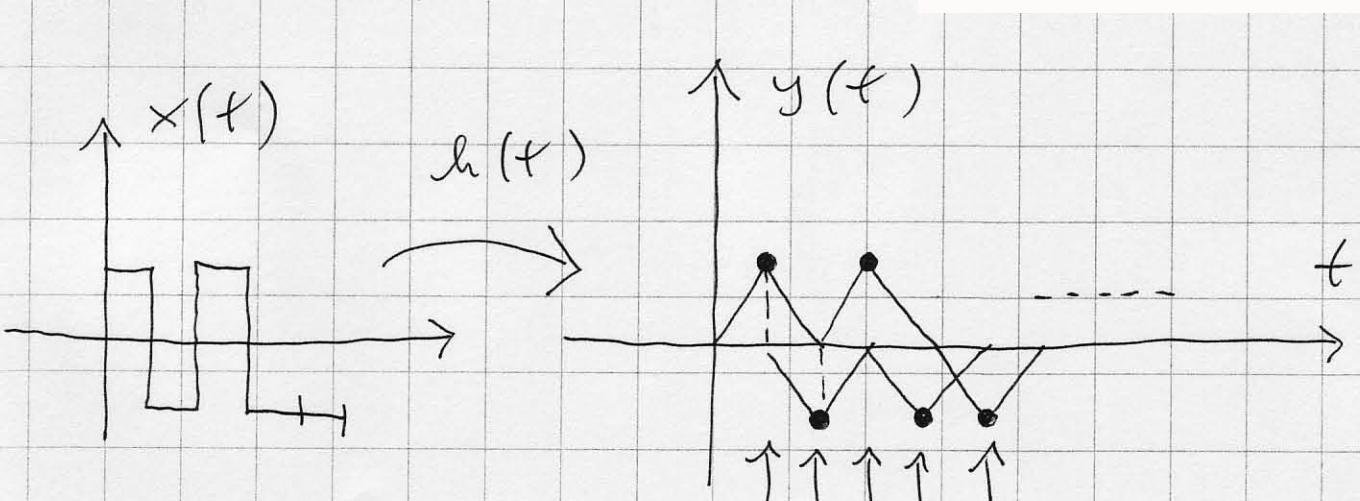
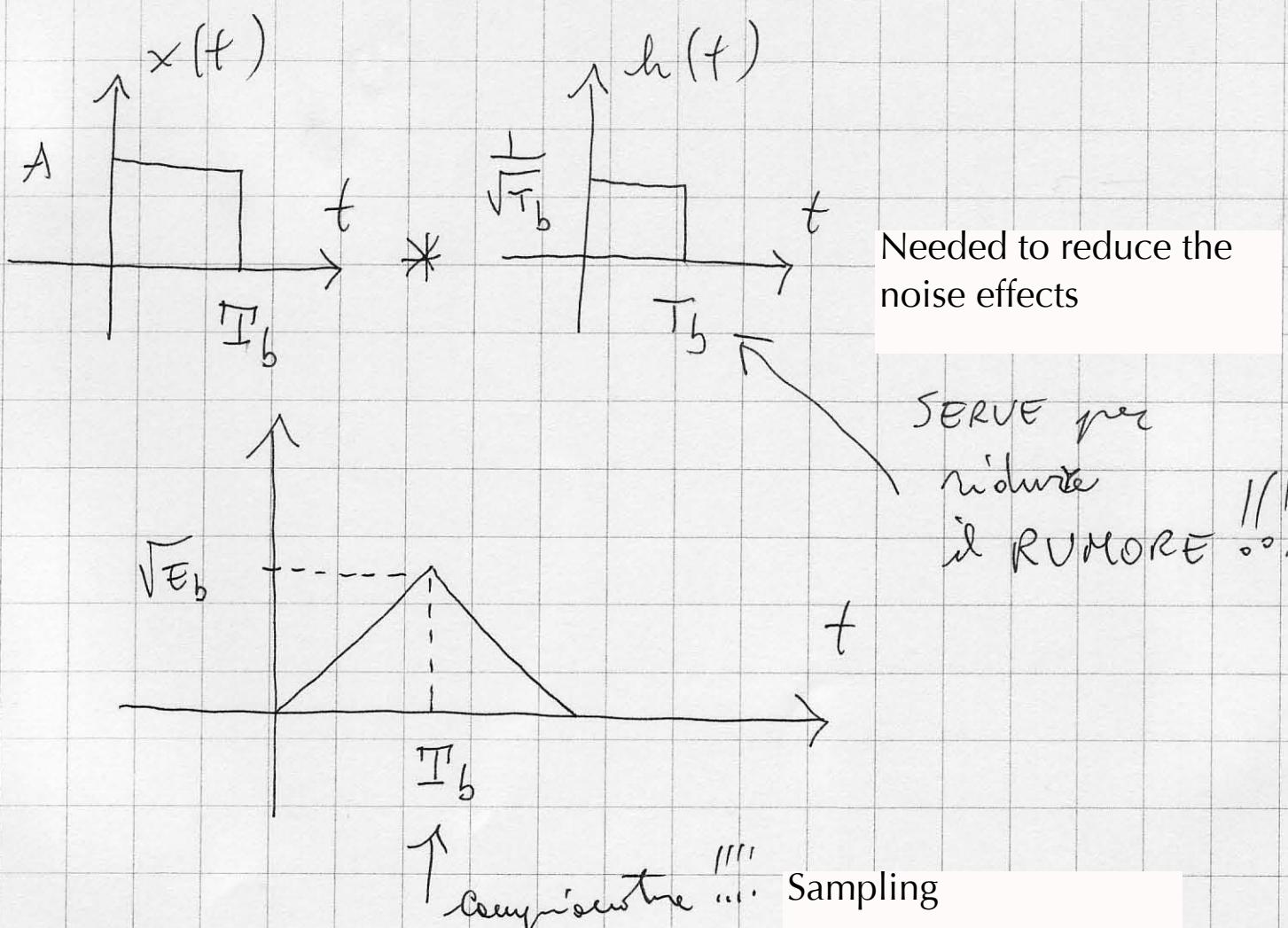
se è 1 o 0 !!!

The receiver "projects" the received signal in the signal space

* PROIETTA "il segnale ricevuto nello spazio dei segnali TR."



$$\left\{ \begin{array}{l} r > 0 \Rightarrow "1" \\ r < 0 \Rightarrow "0" \end{array} \right.$$



When the received and filtered signal is sampled, it is important to reduce the Inter Symbol Interference (ISI), as much as possible (ideally: $ISI=0$)

* Al _compensative deve avere

INTERFERENZA INTERSIMBOLEA

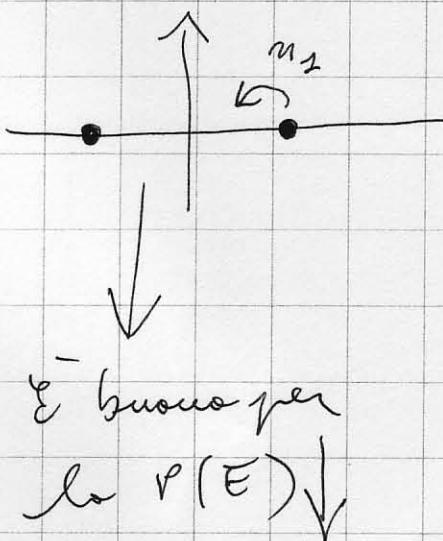
(ISI) NULLA!!!!

Receiver filtering: reduces the noise, but modify (enlarge temporally and change the shape) the transmitted pulse



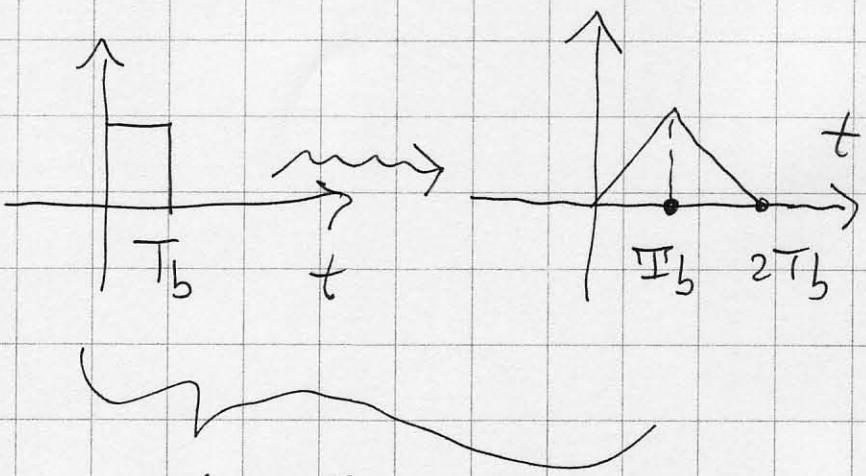
FILTORE di RIEZIONE

RIVOLGE il
rumore



è buono per
la $P(E)$

allargare l'impulso
trasmesso !!!



Si può generare ISI

In the real systems it is very important to control the ISI

ISI $\Rightarrow P(\epsilon) \uparrow$

* Nel sistema reale è molto raro.

che $ISI = 0$!!!

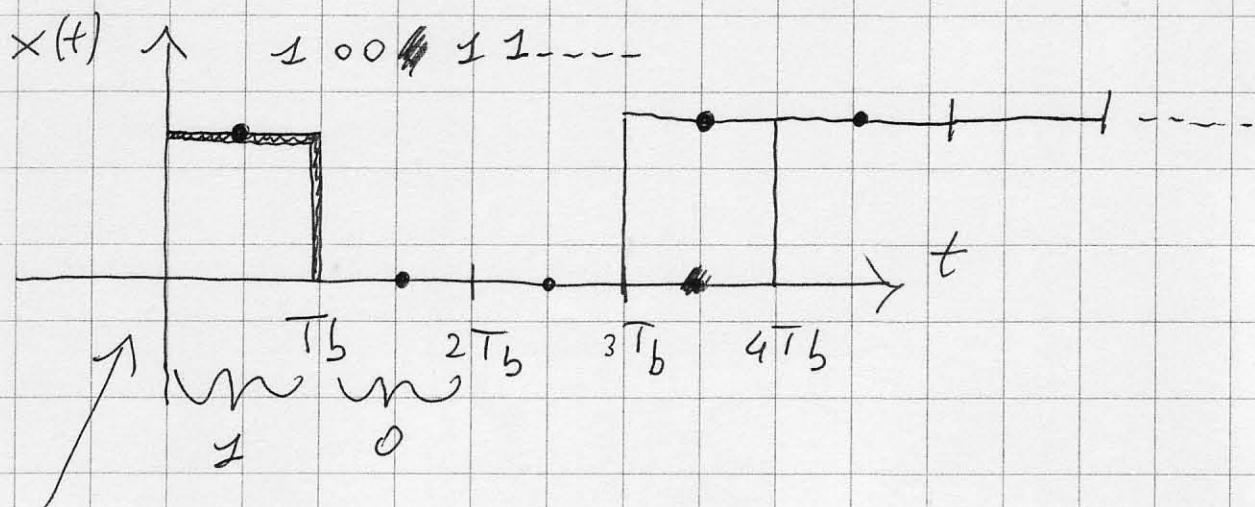
ISI different from 0: increase T_b , decrease r_b (not good)

distanziare di più
(i simboli
trasmessi) !!!

* Se $ISI \neq 0 \Rightarrow$ ~~devo~~ aumentare T_b

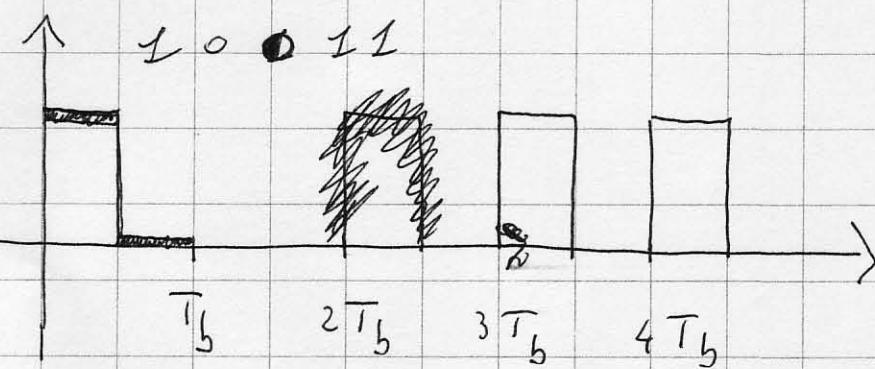
ma $T_b \uparrow \Rightarrow r_b \downarrow$!!!

ALTRI tipi di modulazione BINARIA

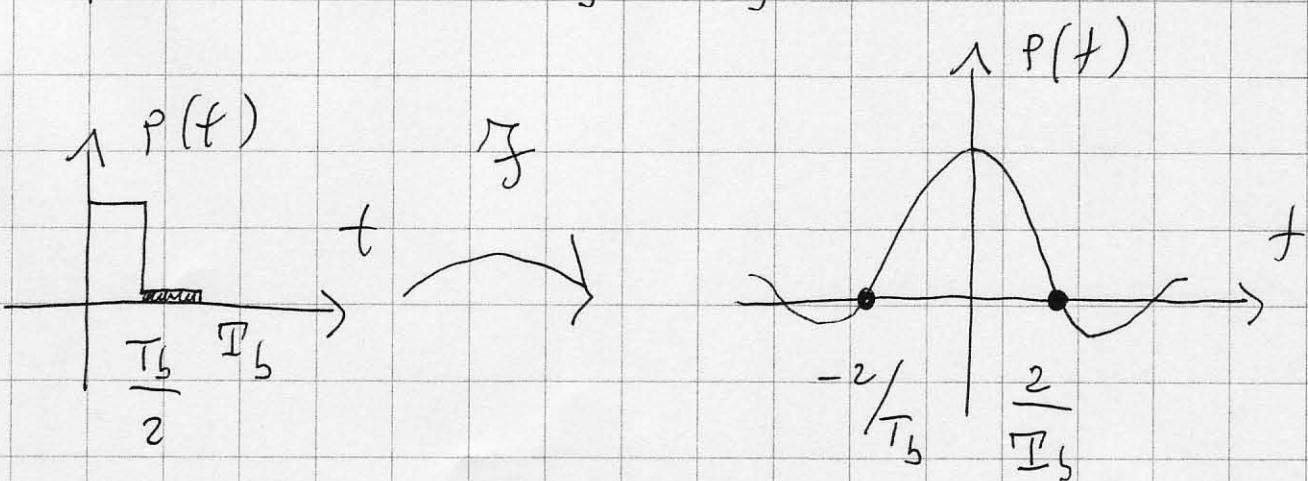


NRZ : NON RETURN to ZERO : $B_T \approx 2b$

* TR. a 100 Mb/s n circa in rete e in fibra (602.12)



RZ

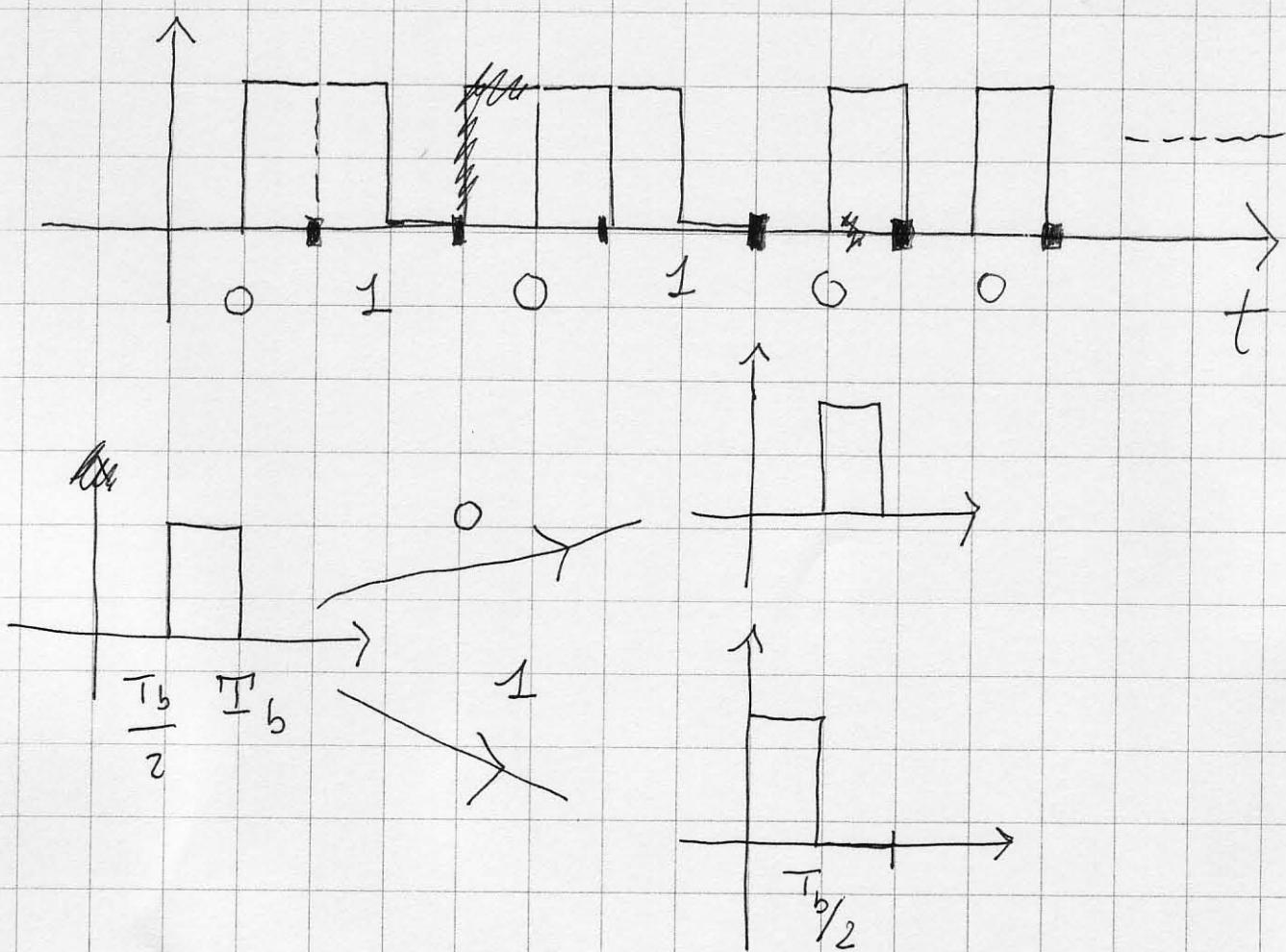


* $B_T \approx 2 \cdot 2b$

(in ricezione)

* È più facile la sincronizzazione!!!

* Codificazione MANCHESTER



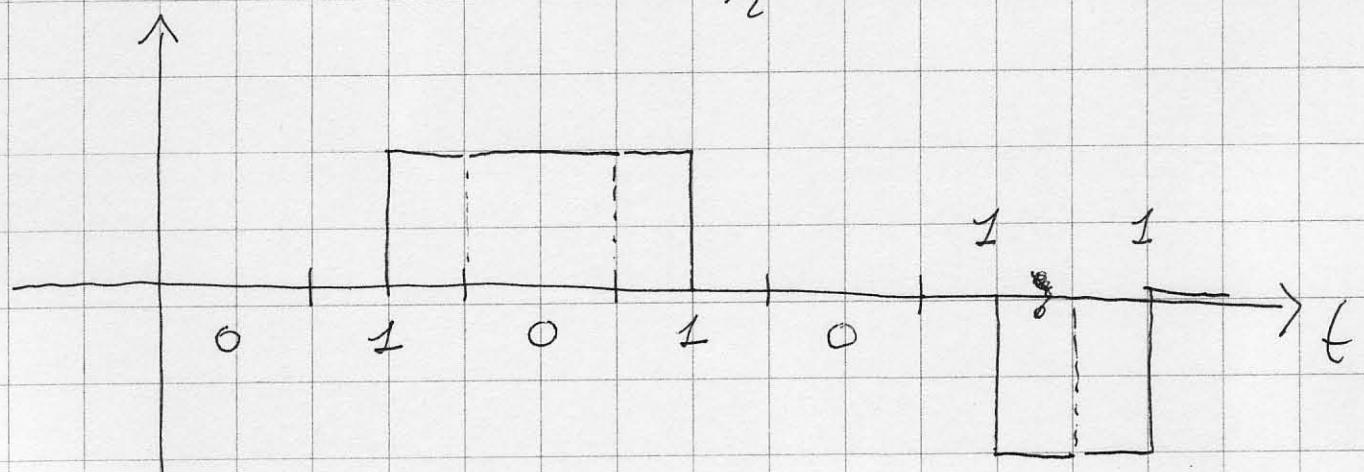
* Si vede allora 1 transizione in ogni tempo T_b

* $B_T \approx r_b \cdot 2$

* Se trasmetto tutti 1111 o tutti 0000
ha un recupero del sincronismo
facile da realizzare !!.

* È utilizzata in ETHERNET a 10 Mb/sec
e TOKEN RING.

MLT-3



0 : nessun TRANSIZIONE !!!

T_b

1 : transizione a metà bit

TRANSIZIONI con logico :

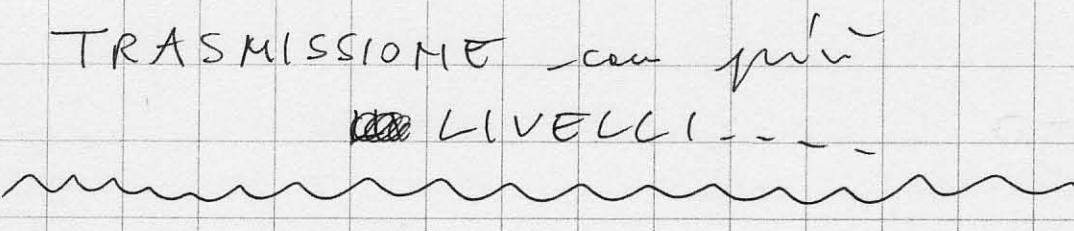
$0 \rightarrow +, + \rightarrow 0, 0 \rightarrow -, - \rightarrow 0, \dots$

* ε per mantenere lo stesso livello logico belli

* $B_T \approx 26$

* ETHERNET 802.3 100 BaseTX } 100 Mb/s
FDDI TP-PMD } 2 Gb/s
in canale
in rete

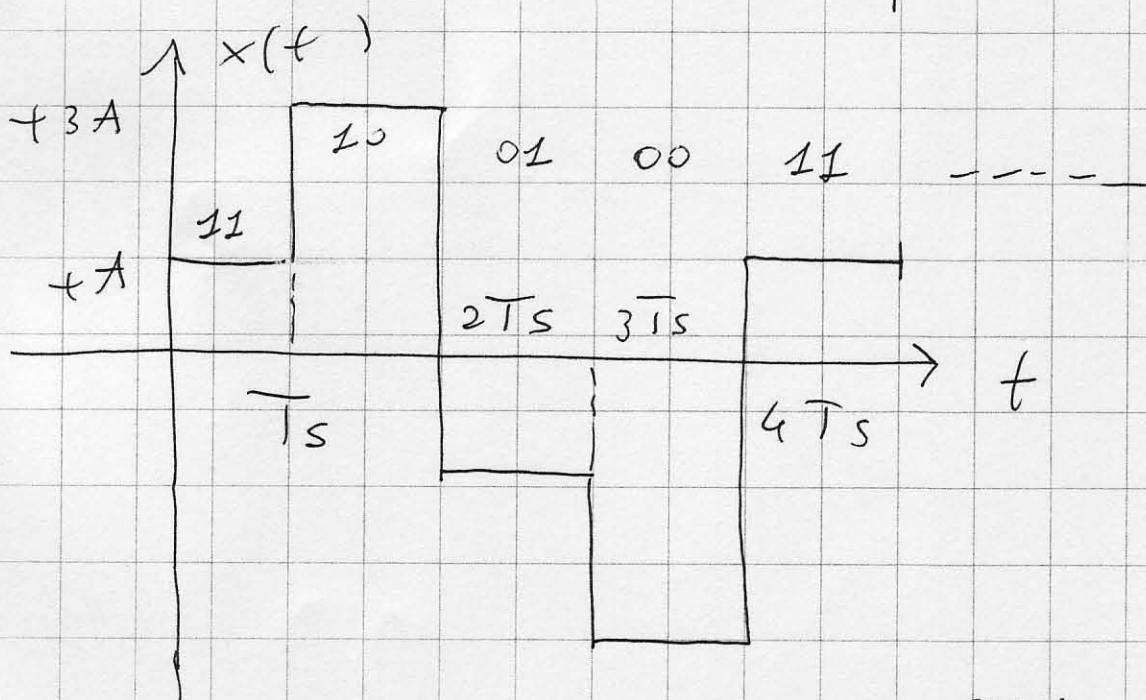
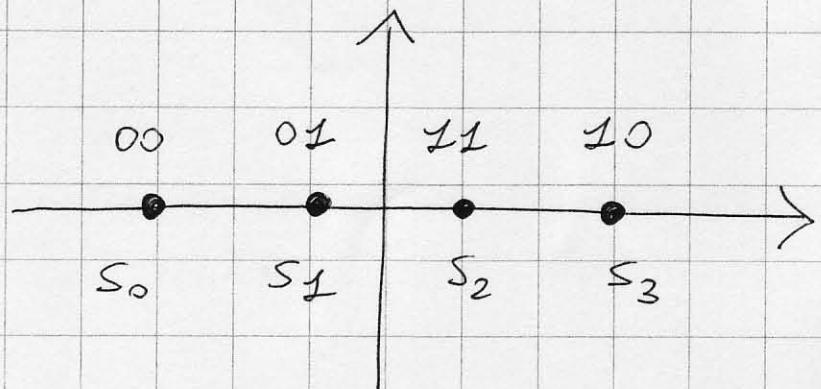
MULTI-LEVEL TRANSMISSION



With 4 levels, I can sent 2 bits per symbol !!!

- * Se uso 4 livelli, trasmetto 2 bit per ogni simbolo trasmesso

$$\begin{aligned} +3A &\Rightarrow 10 \\ +A &\Rightarrow 11 \\ -A &\Rightarrow 01 \\ -3A &\Rightarrow 00 \end{aligned}$$



$$T_s = 2 T_b \Rightarrow r_s = \frac{r_b}{2} \quad !!!!$$

- * $B_T \approx r_s = \frac{r_b}{2} \quad !!!! \Rightarrow$ È la metà della banda spettro !!!

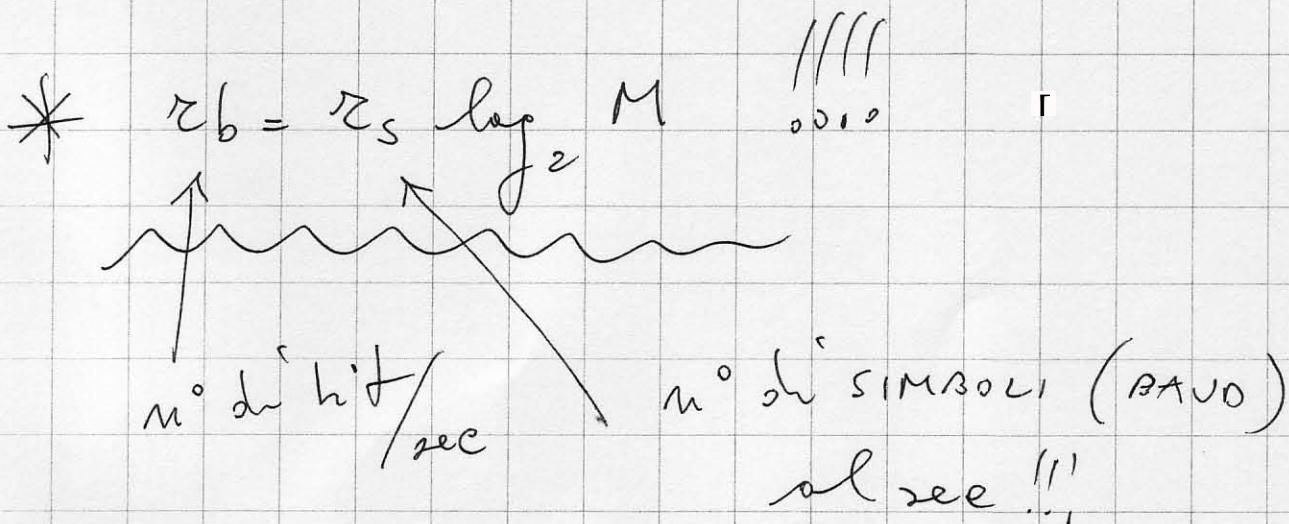
BT is reduced by a factor of 2 ($\log_2(4)$)

Using M levels, every symbol carry $\log_2(M)$ bits

* Se ha M livelli, ogni simbolo porta $\log_2 M$ bit !!

BAUD: number of symbols per second

n° di simboli al sec : BAUD



The bits are "grouped" in blocks of $\log_2(M)$ bits; each block is associated to a transmitted symbol

* raggruppo i bit da trasmettere in
gruppi di $\log_2 M$ bit

Ogni gruppo identifica uno simbolo

M messaggi

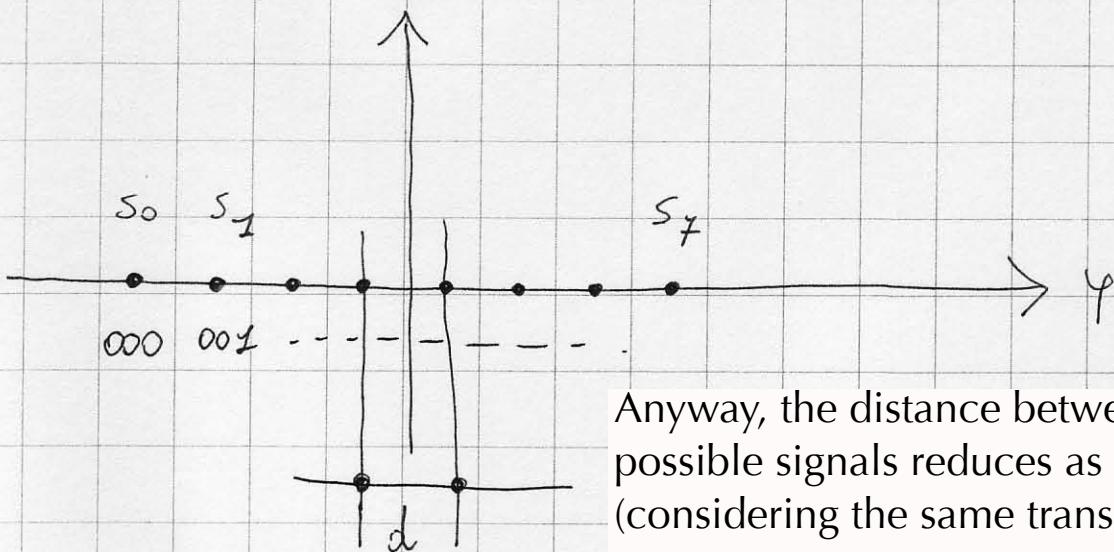
Each possible group of bits identify one of the M possible transmitted symbols (message)

$$B_T \approx r_s = \underline{r_b} \quad \dots$$

$\log_2 M$

* $M \uparrow \Rightarrow B_T \downarrow$

Ex. 8 LEVELLI \Rightarrow 3 bit / simbolo



Anyway, the distance between the possible signals reduces as M increases (considering the same transmitted power)

* la distanza "d" tra i livelli, diminuisce all'aumentare del n° di livelli M (se teniamo cost. pot. costante)

As a result, $P(E)$ increases !!!

$\hookrightarrow P(E)$

* M grande \Rightarrow Distanza ridotta
 $\Rightarrow P(E)$ aumentata

To summarize:

as M increases, BT decreases, but $P(E)$ increases;

to have the same $P(E)$, we should increase the transmitted Power (in the end, we balance BT and P)

\hookrightarrow aumento di $P(E)$
 deve TR. con pot.
 maggiore !!!

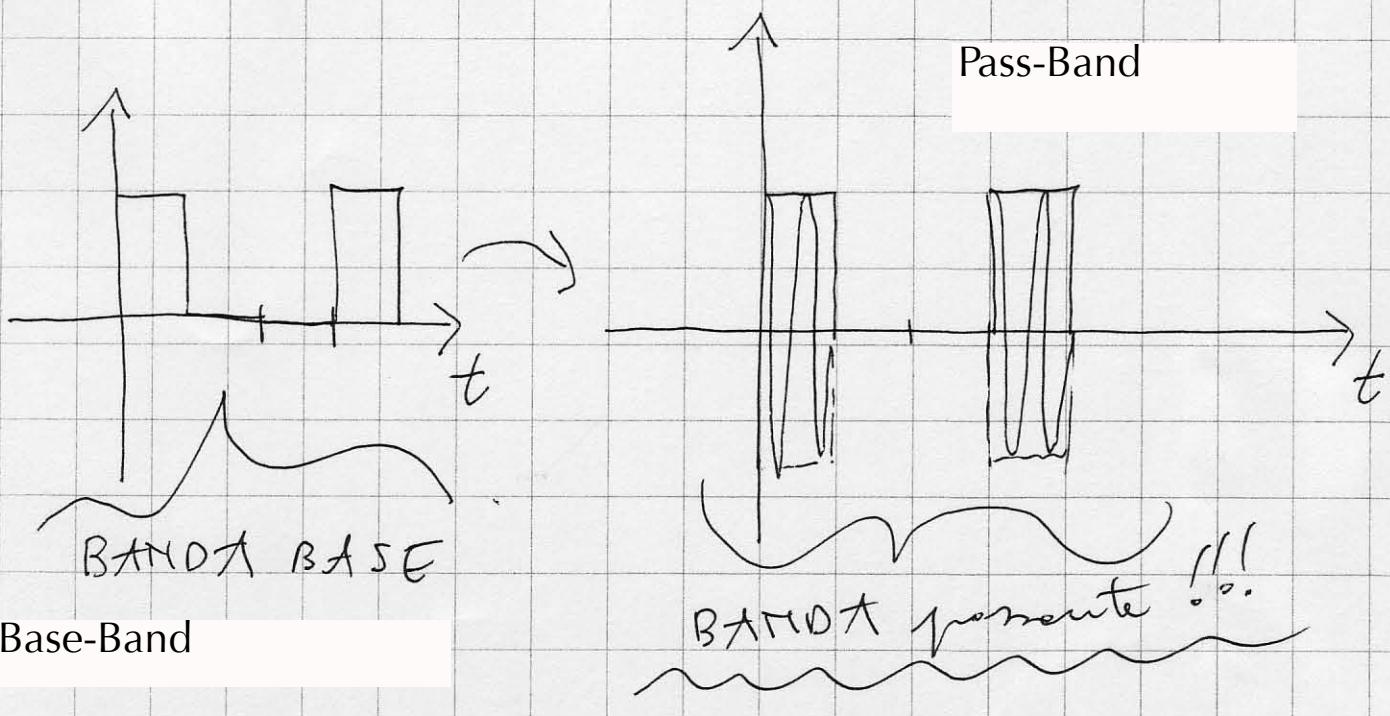
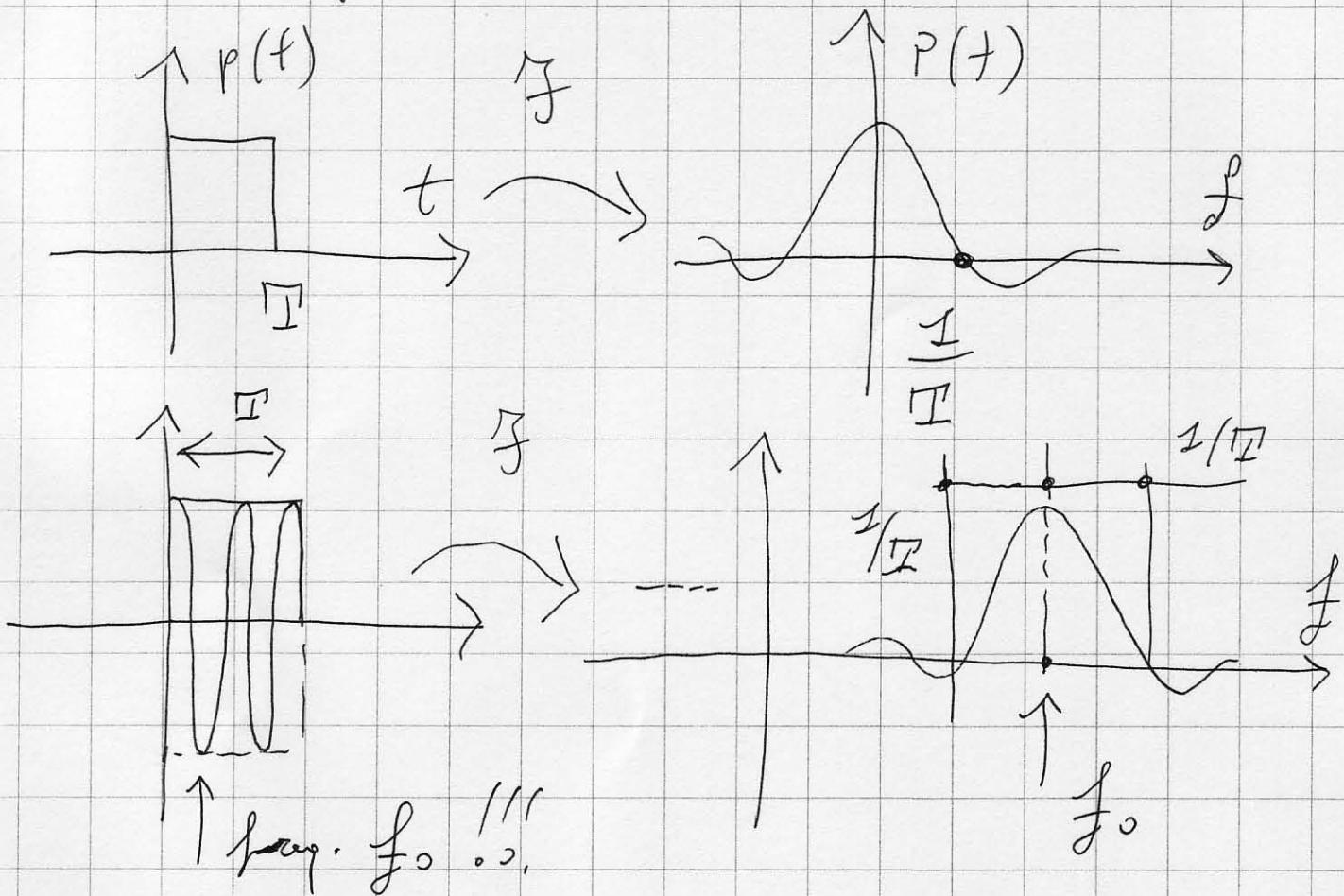
BAND-PASS TRANSMISSION

14

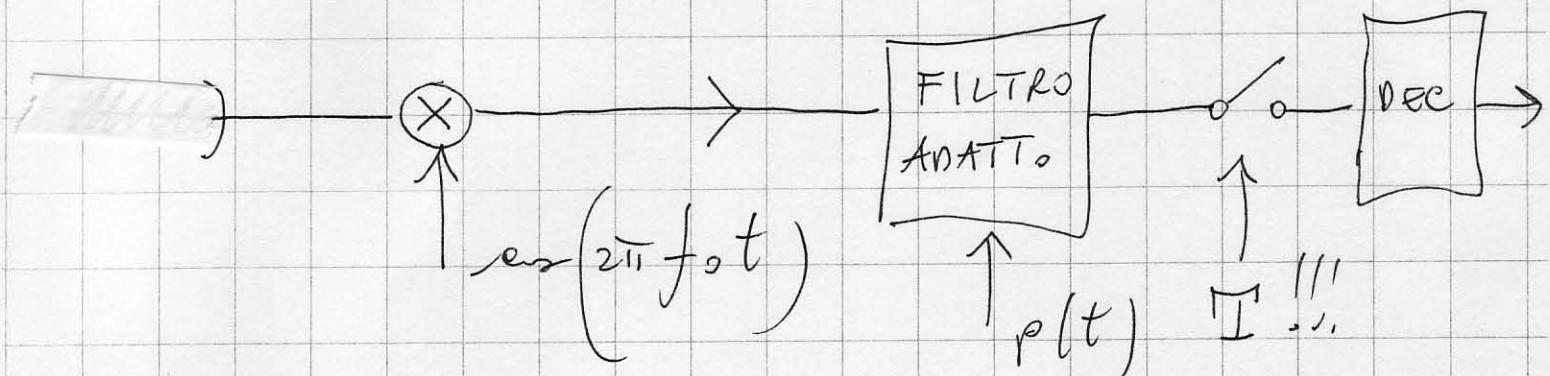
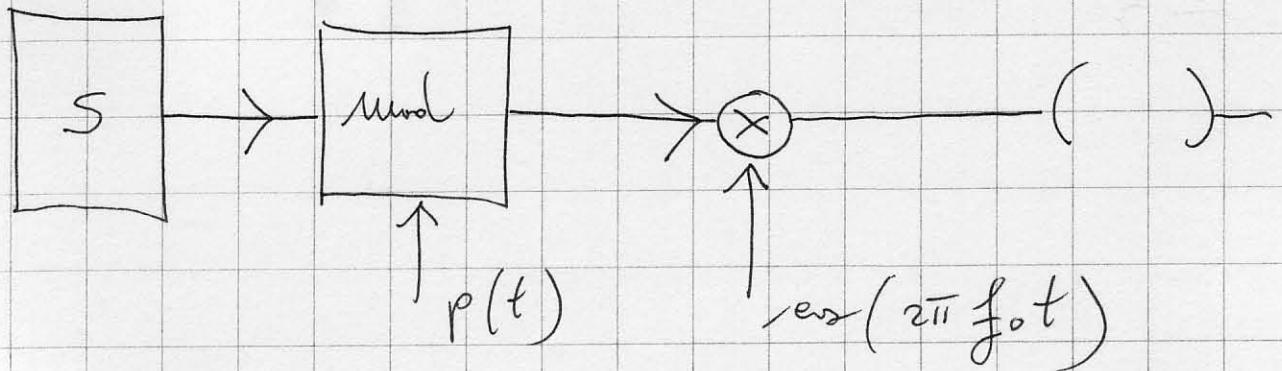
TR. in Bande PASSANTE

It is possible to "modulate" the amplitude of a sinusoidal carrier using the PAM signal

* Possiamo modulare (spostare in freq.)
il segnale messo !!!



110011 ...



Important: at the receiver side, we need to know the carrier (f_0 , phi), and T

* Al ricevitore DEVE concordare
 $\cos(2\pi f_0 t)$ (sincr. di PORTANTE)
 e il T (sincr. di simbolo) !!!.

In other words, we need the carrier and symbol synchronization

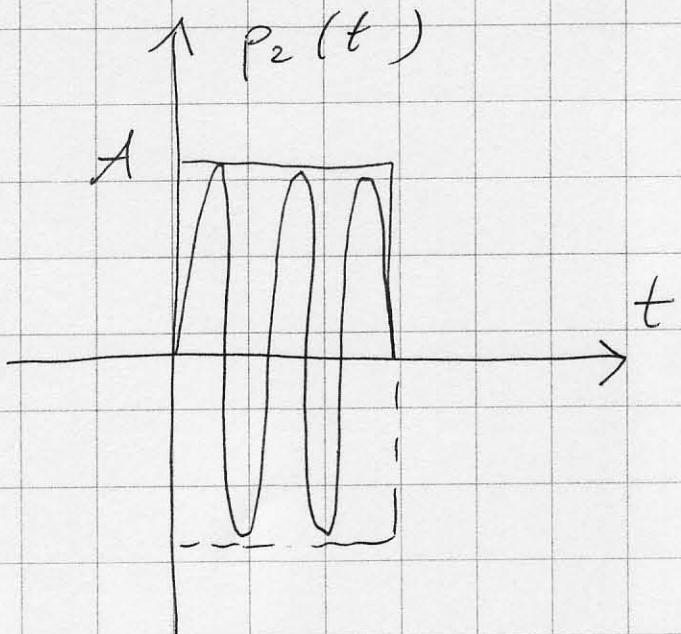
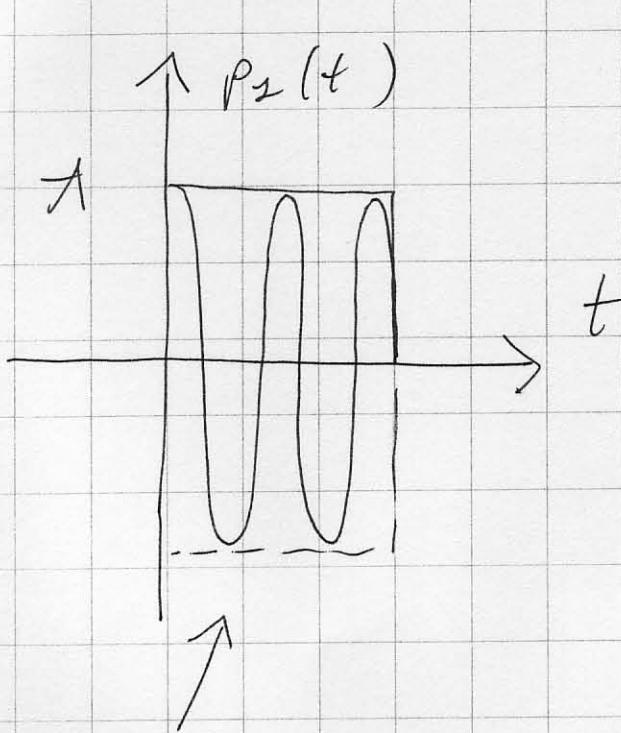
* modulazione
 (sincronismo in
 freq.)

Advantages:
 we can change the operating frequency;
 we can have a multiple access to the channel; ...

}
 - posso cambiare la freq.
 a seconda del canale
 (entro un ...)
 }
 - posso trarre segnali
 contemporaneamente

We can also use QAM ...

* POSSO usare due portelli in QUADRATURA !!!



$$P_1(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$$

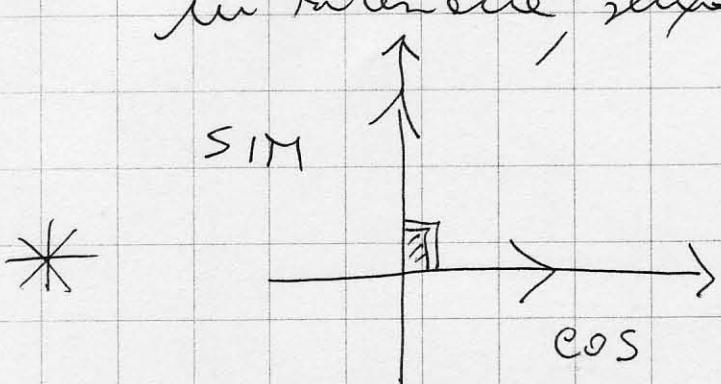
$$P_2(t) = A \sin(2\pi f_0 t)$$

sono
ORTOGONALI

tra di
loro

POSSO separarli

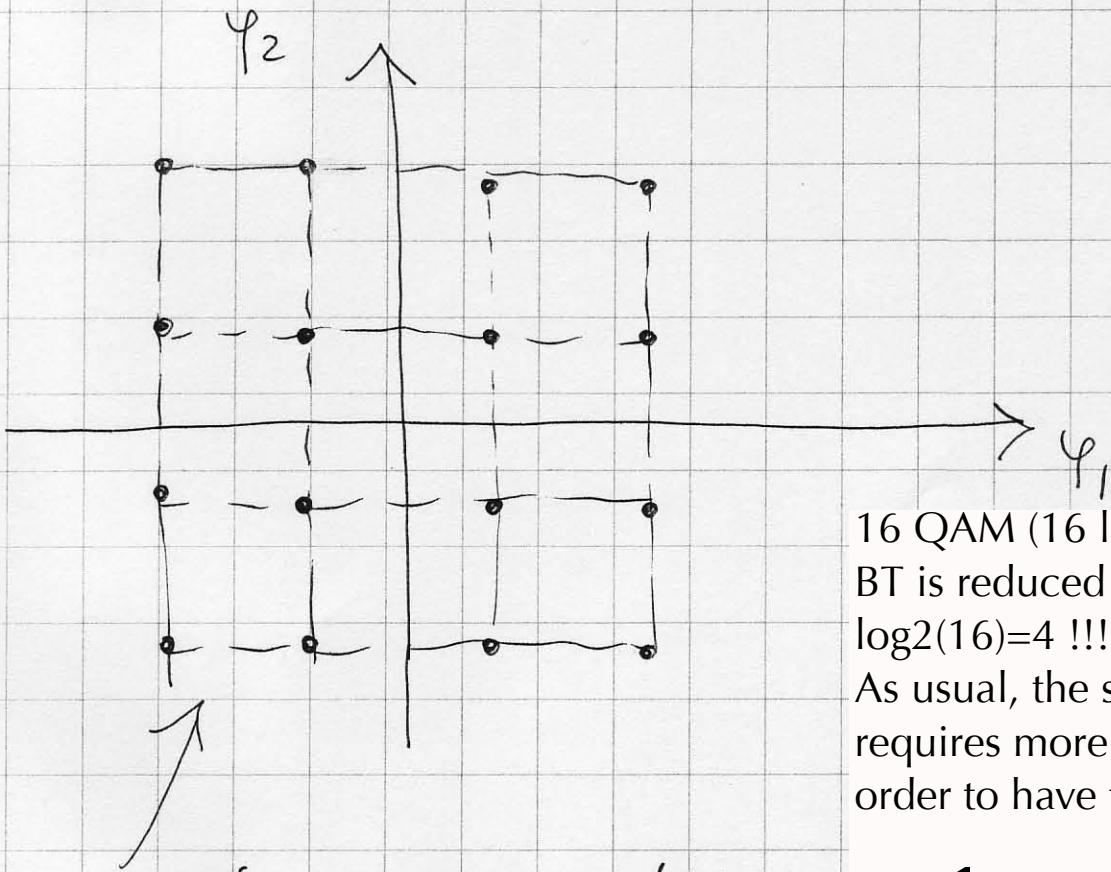
in ricezione, senza commettere errori !!!



If the signals are orthogonal (at the receiver side !!!), the receiver can demodulate without errors

Digital QAM ...

MODULAZIONE con portante
in quadratura



16 QAM (16 levels):
BT is reduced by a factor of
 $\log_2(16)=4$!!!
As usual, the system
requires more power in
order to have the same P(E)

Modulazione 16 QAM

$$r_s = \frac{r_b}{\log_2 16} = \frac{r_b}{4}$$

To summarize: QAM is
efficient in the use of the BT,
but requires more Power

* uso una banda 4 volte minore
rispetto allo standard 2 binari !!!

* M-QAM: efficiente nell'uso dello
BTMSA, ma richiede
tanta potenza !!!

Modo QAM

QAM: efficient use of the BT; requires a coherent receiver; it is not robust against the nonlinearities (it requires a linear TR system)

* uso efficiente della BTNDT

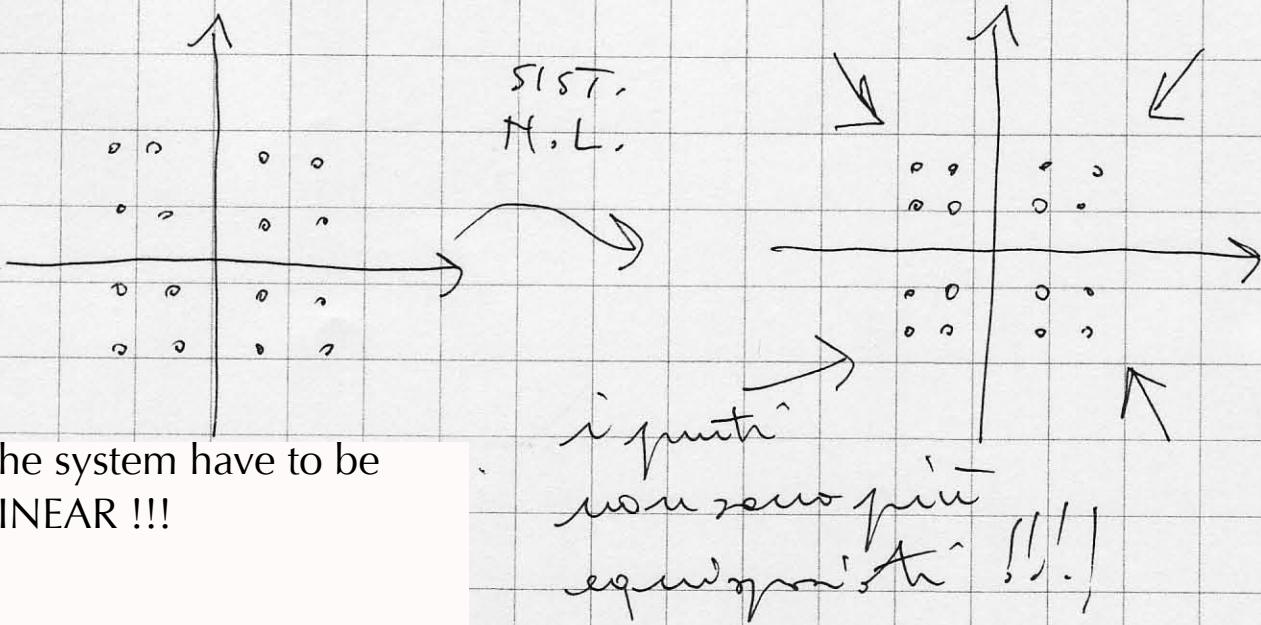
$$r_s = \frac{r_b}{\log_2 M}$$

The receiver is similar to analog QAM ...

* Schema di mod- e demod - semplici
(2 portanti in quadratura)

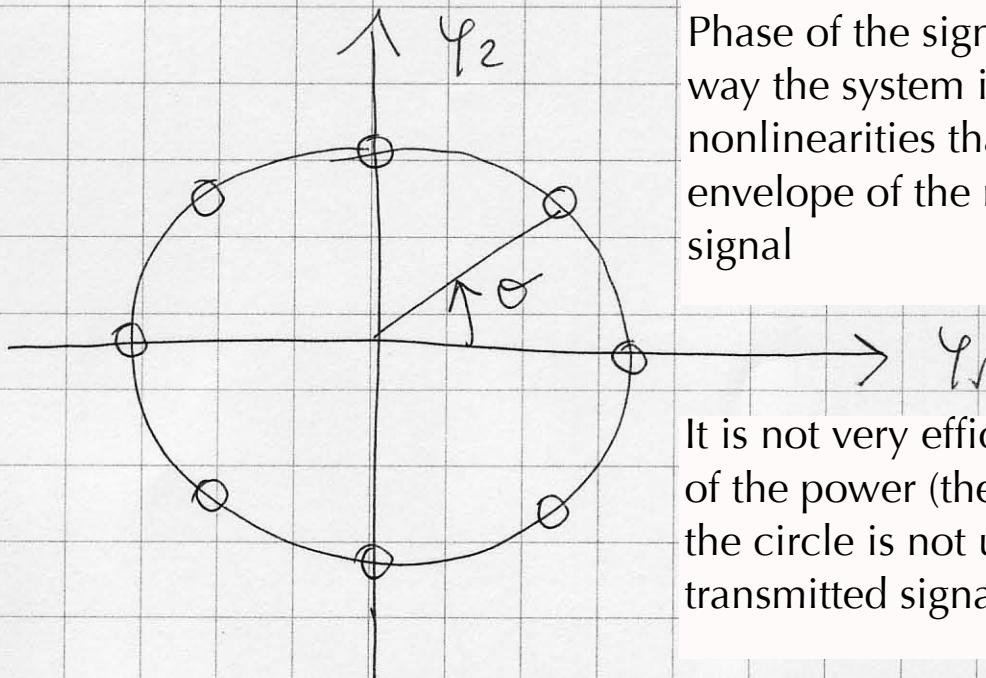
* RICHIEDONO un sistema LINEARE !!!

si quanto l'inf. è nelle
AMPIETTE del segnale



Modulazione PSK

- * L'inf. sta nello sime del simbolo trasmesso



The information is in the Phase of the signal; in this way the system is ROBUST to nonlinearities that change the envelope of the modulated signal

It is not very efficient in the use of the power (the "area" inside the circle is not used by the transmitted signals)

- * E meno sensibile alle nonlineità del sistema di TR.

- * Usa meno potere lo potenza DISPONIBILE

(l'ATRAT non è ben sfruttato come nelle mod. QAM) ...

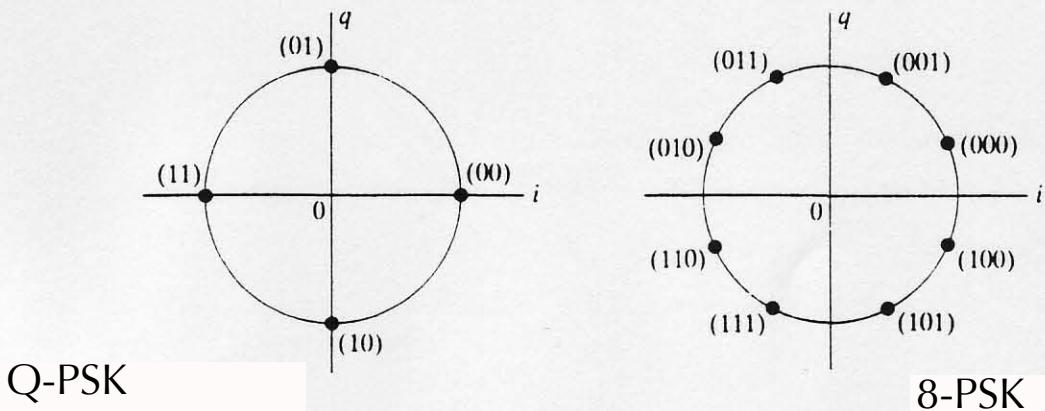
- * Richiede un RIC. SINCRONO come nelle mod. QAM !!!

It needs a coherent receiver, as QAM

"Constellations" M-PSK

Costellazioni M-PSK

In figura sono riportati alcuni casi di costellazioni PSK.



Considerando come funzioni base le funzioni ortogonali seno e coseno, i vettori rappresentativi dei segnali giacciono su circonferenze di raggio $\sqrt{E_s} = A_c \sqrt{T/2}$.

Se i segnali sono equispaziati, si ha un segnale antipodale nel caso binario e biortogonale nel caso quaternario.

In figura i bit sono stati assegnati utilizzando il codice di Gray, in modo che da un punto ad un altro cambi un solo bit.

The points associated to the possible signals are on a circle (has the same energy);

The bits are associated to the signals using the Gray mapping (adjacent signal differs only in one bit)

General characteristics

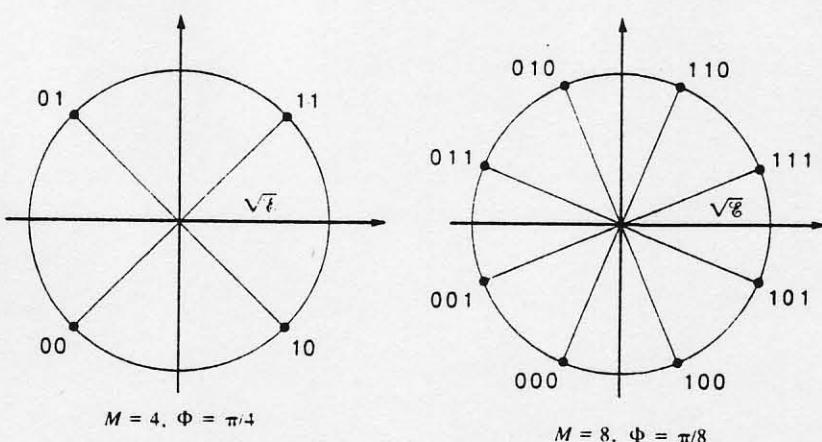
Caratteristiche generali

Osservando la figura si può vedere come il caso PSK abbia delle similitudini con il caso ASK.

Infatti, al crescere di M , *le dimensioni dello spazio dei segnali non cambiano* e quindi si ha un *aumento dell'efficienza di banda all'aumentare di M* .

D'altra parte, all'aumentare di M i segnali si avvicinano (a parità di energia) per cui le prestazioni degradano.

Per mantenere quindi le stesse prestazioni si dovrà aumentare l'energia dei segnali.



As for QAM, increasing M , the BT decreases, but the distance between the signals is reduced, and therefore $P(E)$ decreases. To obtain the same performance, we should increase the energy of the signals (Remember that the Energy of a signal is the square of the distance from the origin: $E = ||x||^2 = d_0^2$)

PSK: the coherent receiver

Ricevitore PSK

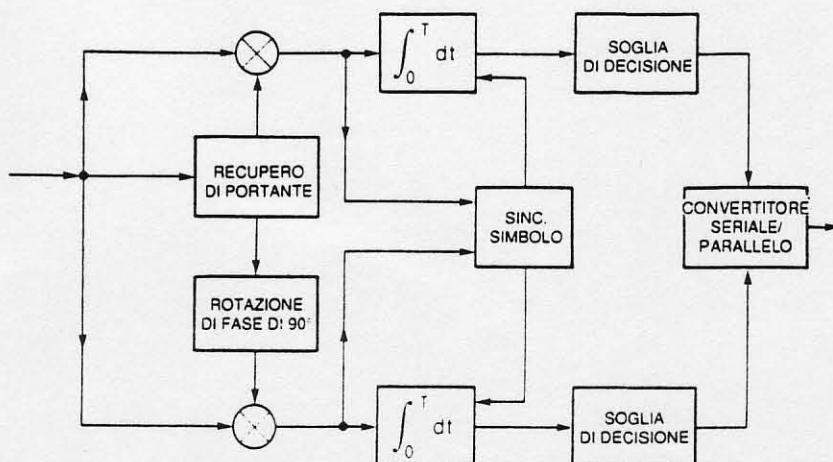
La ricezione ottimale comporta l'uso di due correlatori in quadratura (nel caso binario ne basta uno) e la disponibilità in ricezione delle forme d'onda

$$\cos(\omega_c t + \vartheta), \sin(\omega_c t + \vartheta)$$

Si deve quindi conoscere la frequenza e la fase della portante (ricezione coerente).

Si dovranno quindi determinare mediante i due correlatori le componenti del vettore ricevuto.

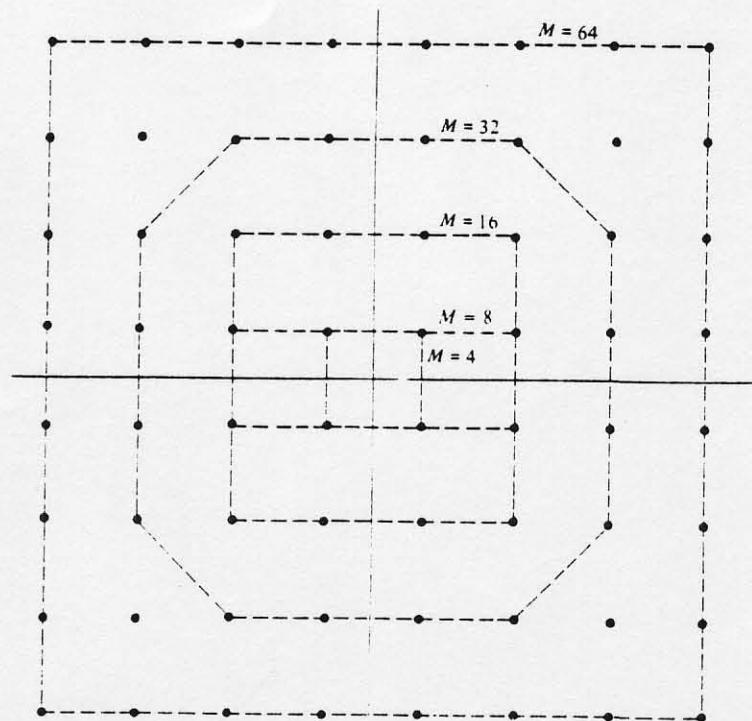
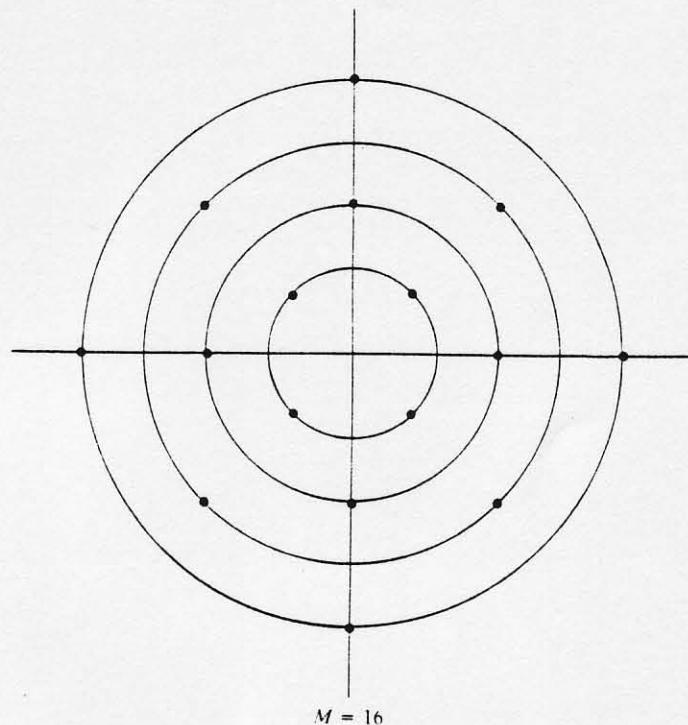
La decisione sul valore più probabile della fase trasmessa dovrà essere presa esaminando in quale delle regioni di decisione giace il vettore ricevuto, oppure si deve calcolare l'angolo del vettore ricevuto e vedere a quale delle possibili fasi è più vicino.



We have to recover the carrier informations; then we project the received signal in the signal space, and decide to which possible signals is more related (minimum distance)

More examples of bi-dimensional constellations

Esempi di costellazioni bidimensionali



Optimal constellations ...

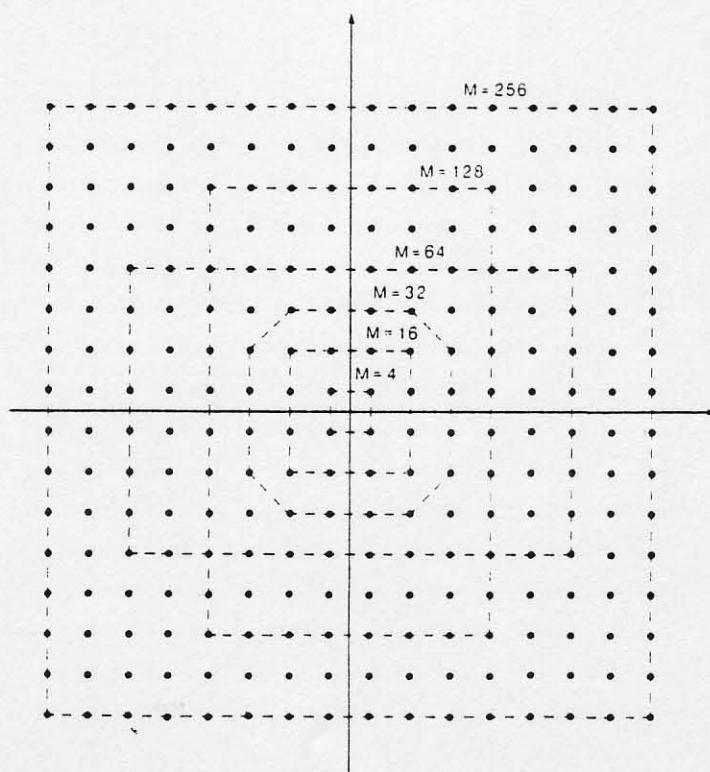
Costellazioni ottimali

As M increases, QAM is better than PSK; the rectangular constellations could be demodulated separately as a sum of 2 PAM in quadrature; the decision could be taken considering separately the two axes.

Essi hanno il vantaggio di poter essere realizzati come *somma di due sistemi PAM su portanti ortogonali*.

Inoltre la decisione sul simbolo trasmesso può essere fatta confrontando separatamente le componenti del segnale ricevuto con un insieme di soglie.

Quando $\log_2 M$ è pari tale demodulazione è ottima; diversamente è quasi ottima.



Modulazione di frequenza

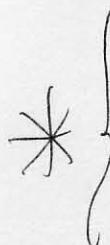
Quando il modulatore traduce i bit emessi dalla sorgente in una variazione della frequenza di una portante abbiamo una modulazione di frequenza digitale.

Si hanno due metodi principali di modulazione digitale di frequenza che differiscono per l'entità dei salti di fase tra un simbolo e il successivo.



Nel sistema **FSK** (Frequency Shift Keying, FSK) **il segnale digitale controlla un interruttore che seleziona la frequenza modulante** in un banco di M oscillatori.

To produce the modulated signal we can switch between two oscillators (it is difficult to guarantee the continuity in the signal phase ...)



Tali discontinuità vengono evitate nel caso di **FSK a "fase continua"** (**CPFSK**), dove **il segnale di ingresso modula la frequenza di un singolo oscillatore**.

We can also use a single controlled oscillator (phase continuity, but system with memory: Continuos Phase Modulation)

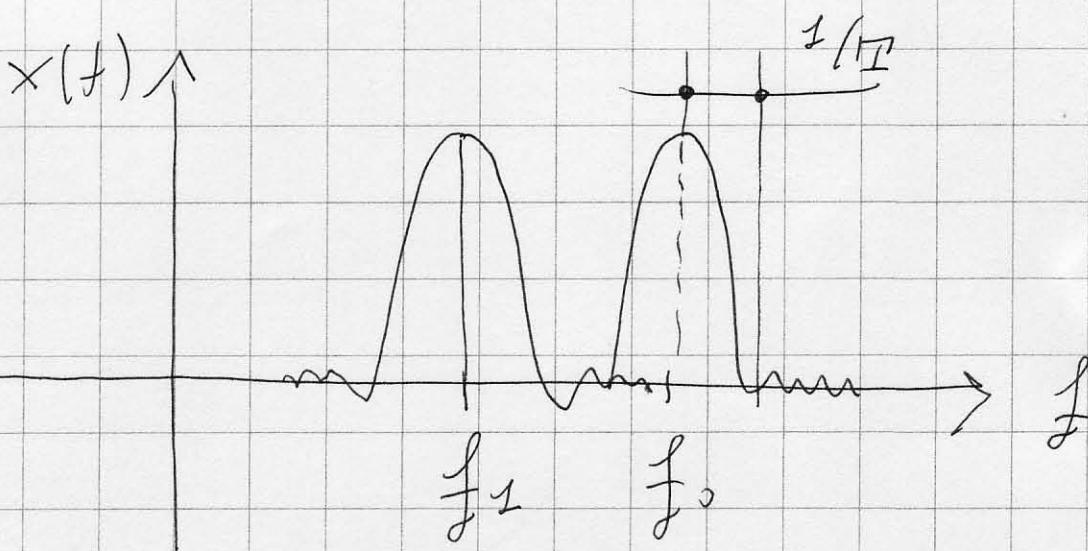
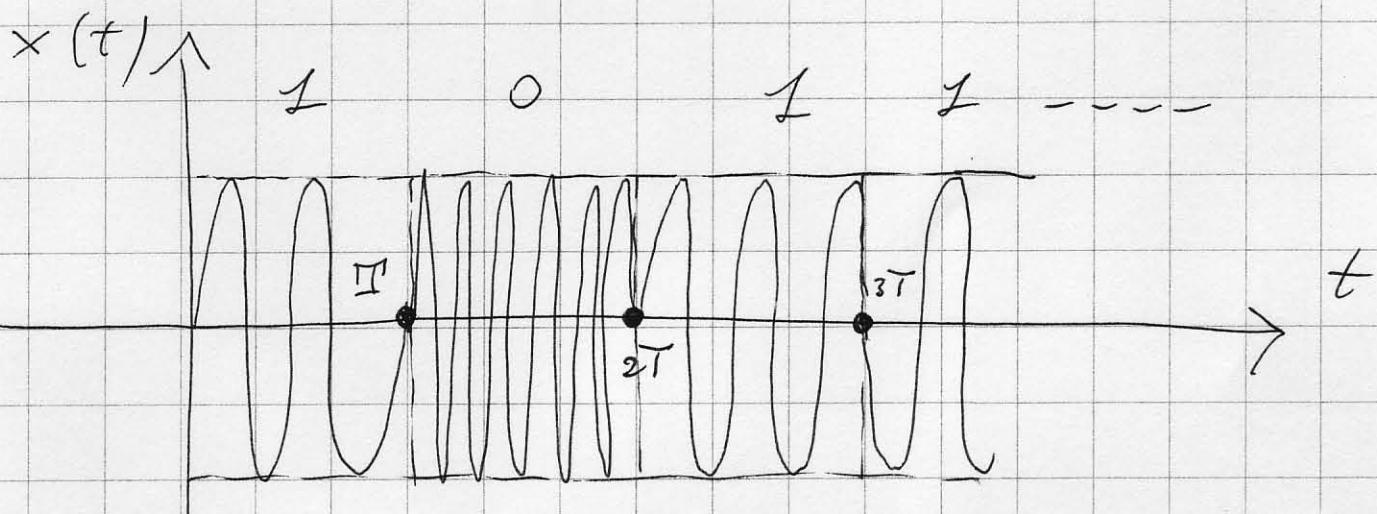
The set of possible signals is described by this equation

$$s_i(t) = A \cos(\omega_i t + \phi_i), \quad 0 \leq t \leq T, \quad i = 1, 2, \dots, M$$

Modulation FSK

The transmitted signals are distinguished by changing the carrier frequency.

* nelle mod. FSK (freq. shift keying)
 i vari simboli vengono distinti usando freq. diverse



* $\Delta f = \frac{k}{T}$ In this case the symbols are orthogonal

M - FSK

* M binelli \Rightarrow M freq. distinte !!!

$$B_T = (M+1) \frac{T}{T_s} = \frac{(M+1)}{(\log_2 M)} \approx b$$

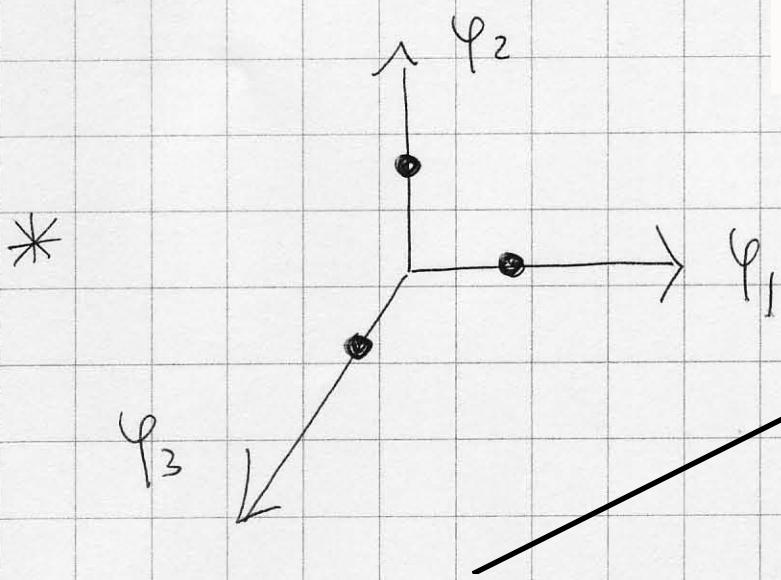
$$T_s = T_b \log_2 M$$

The BT increases as M increases (opposite to QAM, PSK !!!)



$$M \uparrow \Rightarrow B_T \uparrow$$

Opposite to what happen in QAM



It is more effective in the use of POWER;
moreover, the constant envelope give robustness
to the nonlinearities

* È più efficiente nell'uso della
POTERITÀ !!!

* INVILUPPO COSTANTE \Rightarrow ROBUSTA alle
NONLINEARITÀ !!

Coherent reception:

M matched filters adapted to the M possible transmitted signals;
The complexity of the receiver and BT increase as M increases;
Usually the signals are selected to be orthogonal (obtained selecting Delta f = 1/T).

Ricezione coerente

Nel caso di *ricezione coerente*, il ricevitore ottimale è costituito da una batteria di filtri adattati agli M possibili impulsi.

La complessità di tale ricevitore è molto elevata e cresce al crescere di M, così come la banda occupata dal segnale modulato.

Se per la trasmissione è disponibile una banda sufficientemente estesa, sarà possibile scegliere le M frequenze in modo che tali impulsi siano ben distinguibili in presenza di rumore, per esempio in modo che siano ortogonali.

Per questo basterà scegliere le frequenze a intervalli regolari pari a $\Delta f = 1/T$, con fase qualsiasi.

Per la probabilità di errore valgono le relazioni viste per i segnali ortogonali.

CONFRONTO tra i vari sistemi
di mod. numerico

(QAM, PSK)

Modulazione lineare

} uso efficiente della
 banda a disposizione
 non robusti alle NL
 (a volte i PSK)

RICEVITORE SINCRONO !!!

- +++ Effective use of the Bandwidth;
- Needed the synchronous (coherent) receiver (carrier recovery);
- Not robust (QAM) to the nonlinearities

Modulazione ad
envelope
costante

(FSK)

} uso eff. della POTENZA
 robusti alle NL !!!

Rice. SINCR. oppure ASINCRONO

- +++ Effective use of the POWER;
- +++ Robust to the nonlinearities (amplifier in saturation);
- +++ It is not mandatory the use of the coherent receiver;
- Need too much BT

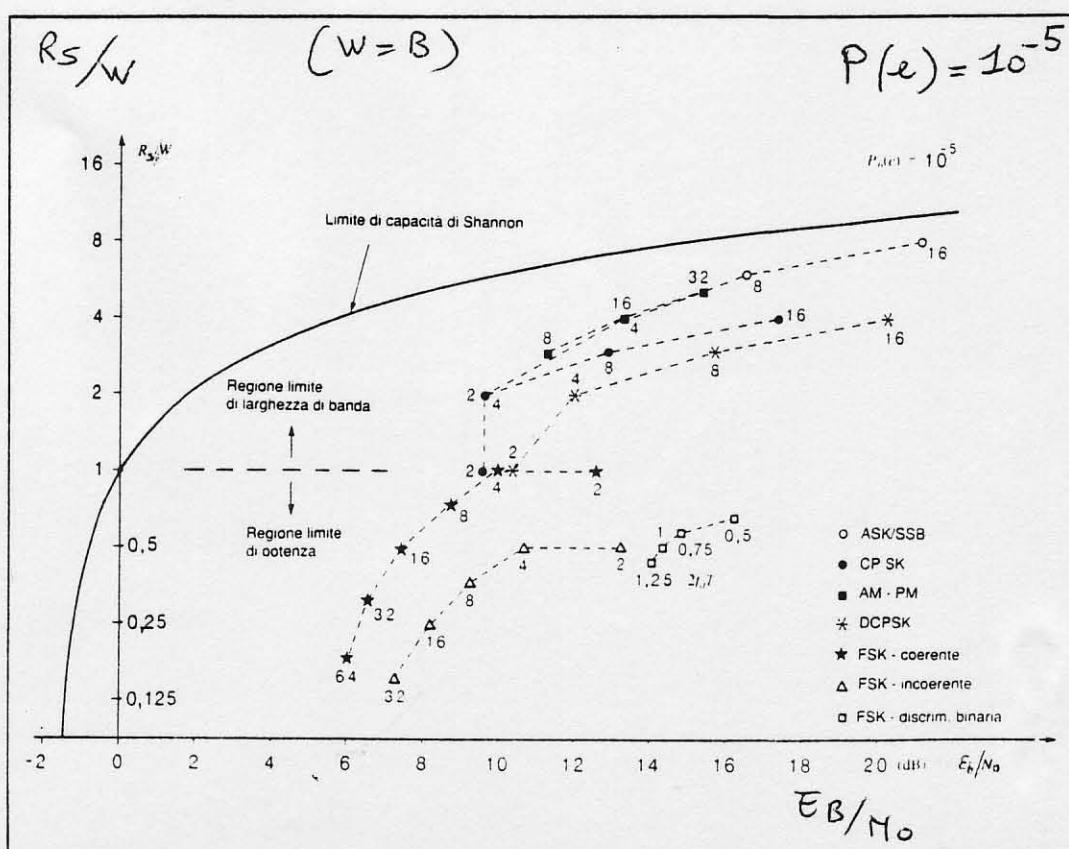
Confronto di prestazioni

Il grafico mostra come i sistemi ASK (PAM), CPSK (PSK demodulato coerentemente) e DCPSK (PSK differenziale coerente) sono tecniche di segnalazione efficienti in banda perché interessano la regione del piano in cui $R_s/W > 1$.

In questa regione la banda del sistema risulta limitata e le prestazioni possono essere migliorate operando sulla potenza (aumentando E_b/η_0).

Al contrario, i segnali FSK fanno un cattivo uso della banda, poiché essi coprono la regione del piano in cui $R_s/W < 1$.

Tuttavia tali sistemi guadagnano in termini di E_b/η_0 a discapito della banda per mantenere $P(e)$ costante.



PRINCIPALI UTILIZZI delle mod. numeriche

Possible applications

QAM : Buon uso dello banda, MA - libere

→ th: mi com' e nei punti radio
terrestri (modem + PONTRADIO)

QAM: Terrestrial cable and radio communications (Linear, reduced BT)

PSK : th: do satellite o rendo simile
(4 PSK, 8 PSK)

→ ROBUSTO alle NL

→ BUON USO dello BANDA

PSK: satellite and spatial communications

FSK : robusto alle NL, buon uso dello
POT, spreco di banda.

→ primi modem in banda fissa

→ (nello venire a fare continuo)

→ th: non c'è radioritmo GSM !!

FSK: first cable modem; CPM: GSM, due to constant envelope

→ INVILUPPO COSTANTE \Rightarrow robusto alle NL

→ non usare gli AMPL. in Saturazione