

# TELECOMUNICAZIONI

Si intende oggi con questo termine la comunicazione a distanza di informazioni di qualsiasi tipo, cioè immagini, suoni, filmati, testi dattiloscritti, dati numerici, software, per mezzo dei canali di comunicazioni consueti cioè :

- **LINEE METALLICHE ( doppino telefonico , cavo coassiale , guide d'onda )**
- **FIBRE OTTICHE**
- **ETERE ( ponti radio terrestri ; ponti radio con satelliti artificiali )**

In particolare le telecomunicazioni comprendono:

- **la telefonia fissa e mobile** ( trasmissione a distanza di comunicazioni orali )
- **la telegrafia** ( trasmissione di messaggi scritti )
- **la trasmissione dati** ( comunicazione con segnali numerici mediante i quali sono indicati, in codice, dati di varia natura, generalmente destinati a sistemi di elaborazione)
- **la trasmissione di fax** ( comunicazione di immagine )
- **la videotelefonia** ( comunicazione dell'immagine e della voce dei corrispondenti)
- **la radiodiffusione** ( comunicazione di suoni )
- **la televisione** ( comunicazione di suoni e di immagini via etere , anche per mezzo dei satelliti artificiali )
- **la filodiffusione** ( comunicazione di trasmissioni musicali in alta fedeltà via telefono a partire da un centro di diffusione )
- **la radionavigazione** ( comunicazione di segnali per l'assistenza alla navigazione marittima ed aerea) ecc.

# LE MODULAZIONI

Le **modulazioni** sono delle tecniche, che si applicano al segnale da trasmettere a distanza, allo scopo di adattarlo alle caratteristiche del canale di comunicazione, mantenendo però invariata la sua informazione.

Esaminiamo i motivi che inducono ad effettuare sempre l'operazione della **modulazione** prima della trasmissione di un segnale.

Immaginiamo una trasmissione radio, per ipotesi assurda, senza alcuna modulazione, in cui, cioè, la voce umana, trasformata da un microfono in corrente elettrica, venga irradiata via etere da un'antenna e catturata tramite un'altra antenna ricevente, da un secondo utente.

La banda utile della voce umana non supera i **5 KHz**, per cui, senza un'opportuna modulazione, anche la frequenza delle onde elettromagnetiche irradiata via etere sarebbe la stessa, con una serie di inaccettabili conseguenze:

- Le dimensioni ( lunghezze  $L$  ) delle antenne sarebbero assolutamente impensabili, visto che alla frequenza di 5 [ KHz ], la lunghezza d'onda  $\lambda$  corrispondente è di 60 Km e quindi le antenne, per avere una buona efficienza, dovrebbero essere lunghe o 15 Km o 30 Km
- ( $L \sim \lambda/2$  o  $\lambda/4$  )

$$\lambda = v / f \quad \text{con } v \sim 300.000 \text{ [ km / s ]} \rightarrow \text{velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto}$$

- La potenza necessaria ad alimentare un'antenna di queste dimensioni sarebbe enorme.
- Il trasmettitore risulterebbe pesante e voluminoso.
- Le frequenze sarebbero le stesse di tutti gli utenti, cioè il canale, senza modulazione, sarebbe unico, per cui **tutti ascolterebbero tutti**, cioè tutti gli utenti d'Italia, di Francia, della Cina si ascolterebbero contemporaneamente, rendendo assolutamente impossibile qualunque trasmissione.
- Essendo le comunicazioni di fatto pubbliche, non ci sarebbe, né ci potrebbe in alcun modo esservi alcuna forma di **privacy**.

Da quanto detto se ne deduce l'assoluta necessità della modulazione che, traslando in frequenza il segnale, ed allocando in canali diversi le trasmissioni di utenti diversi, invece, produce esattamente tutti i vantaggi opposti:

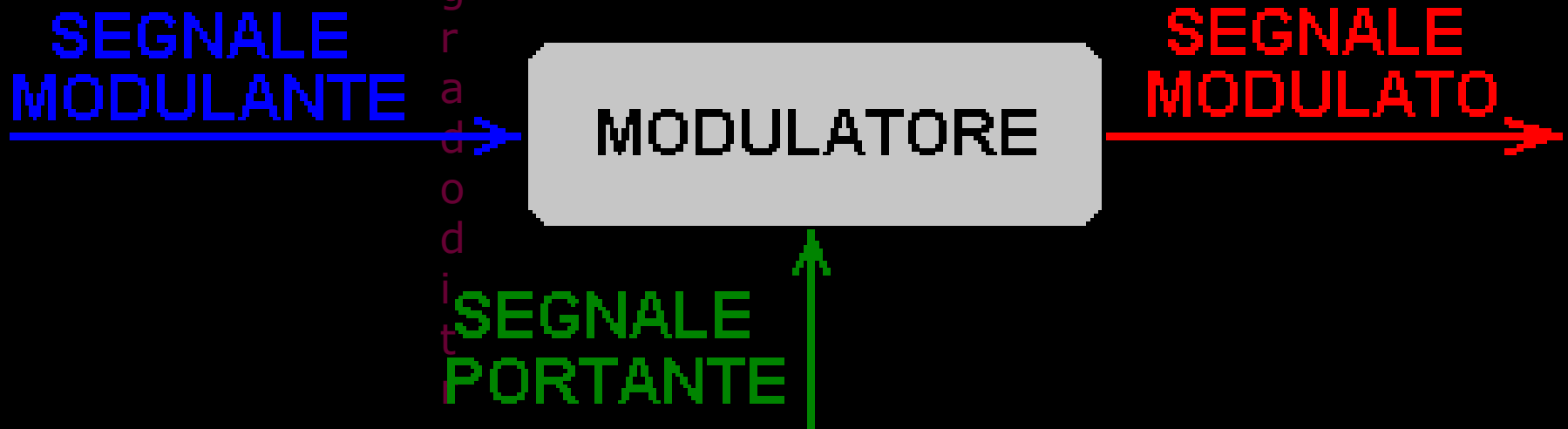
- Essendo la frequenza della trasmissione molto elevata, la lunghezza delle antenne diventa umanamente e praticamente possibile, per esempio in FM a 100 MHz , risulta : **75 cm**
- Conseguentemente la potenza impiegata diventa molto minore.
- Le dimensioni del trasmettitore diventano minime, basti guardare quelle contenute all'interno di un moderno cellulare e cioè qualche centimetro.
- Le frequenze sono diverse per ogni trasmissione, quindi sono possibili moltissime trasmissioni contemporanee senza interferenza reciproca.
- La privacy è rispettata per il motivo detto sopra.

**Chiariti i motivi base che convincono a modulare, vediamo in che cosa consiste la modulazione.**

# COMPONENTI DELLA MODULAZIONE

- Si tratta di adattare le caratteristiche dello spettro del segnale da trasmettere in modo che possa transitare bene attraverso il canale e, nel contempo, consentire la **multiplazione**, cioè la trasmissione contemporanea di molti segnali sullo stesso canale senza interferenza.
- Dunque deve essere sempre presente il segnale informativo, cioè l'informazione da trasmettere sotto forma di corrente elettrica o di tensione elettrica. Questa prende il nome di **modulante**.
- Deve essere però sempre presente anche un altro segnale, detto **portante**, che consentirà la traslazione in frequenza del segnale modulante, per consentirne tutti quei vantaggi della modulazione di cui si è detto.

- L'operazione di modulazione ha dunque bisogno di un modulatore, dispositivo elettronico in grado di traslare in frequenza il segnale mantenendo invariata l'informazione da trasmettere.



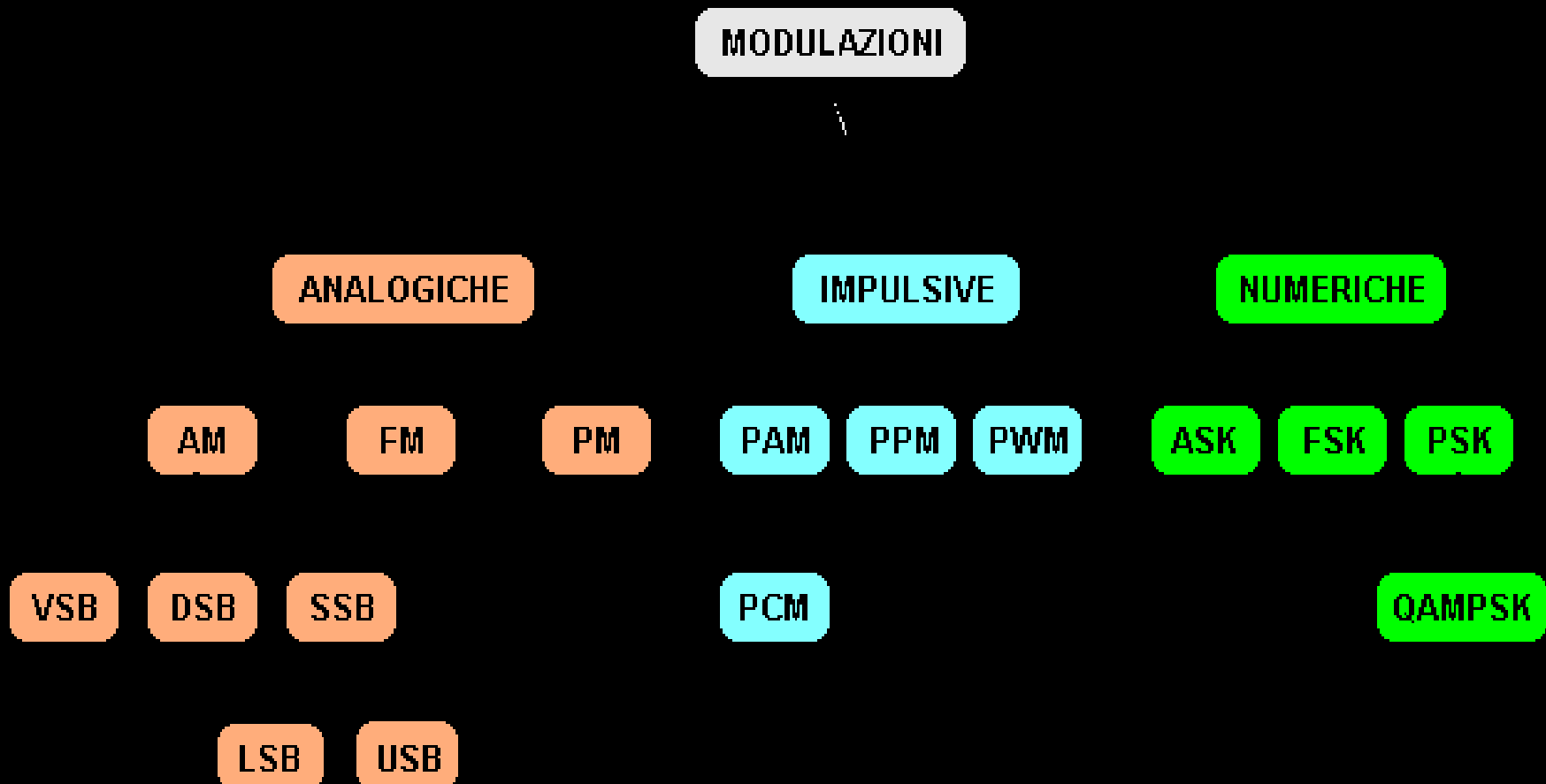
- In ricezione, naturalmente, avviene il procedimento inverso ed il segnale modulato, che ha attraversato il canale di trasmissione, viene demodolato dal demodulatore, rigenerando il segnale modulante originario che contiene l'informazione.





# CLASSIFICAZIONE DELLE MODULAZIONI

Vista la varietà e la generalità delle operazioni connesse con la modulazione, in quanto l'adattamento, per esempio, del segnale al canale si può intendere e realizzare in modi del tutto diversi a seconda che il segnale sia analogico o numerico, e che il canale sia un doppino telefonico, una fibra ottica, o l'etere, che hanno caratteristiche fisiche alquanto differenti, se ne deduce, come conseguenza, che si ha una classificazione delle modulazioni.

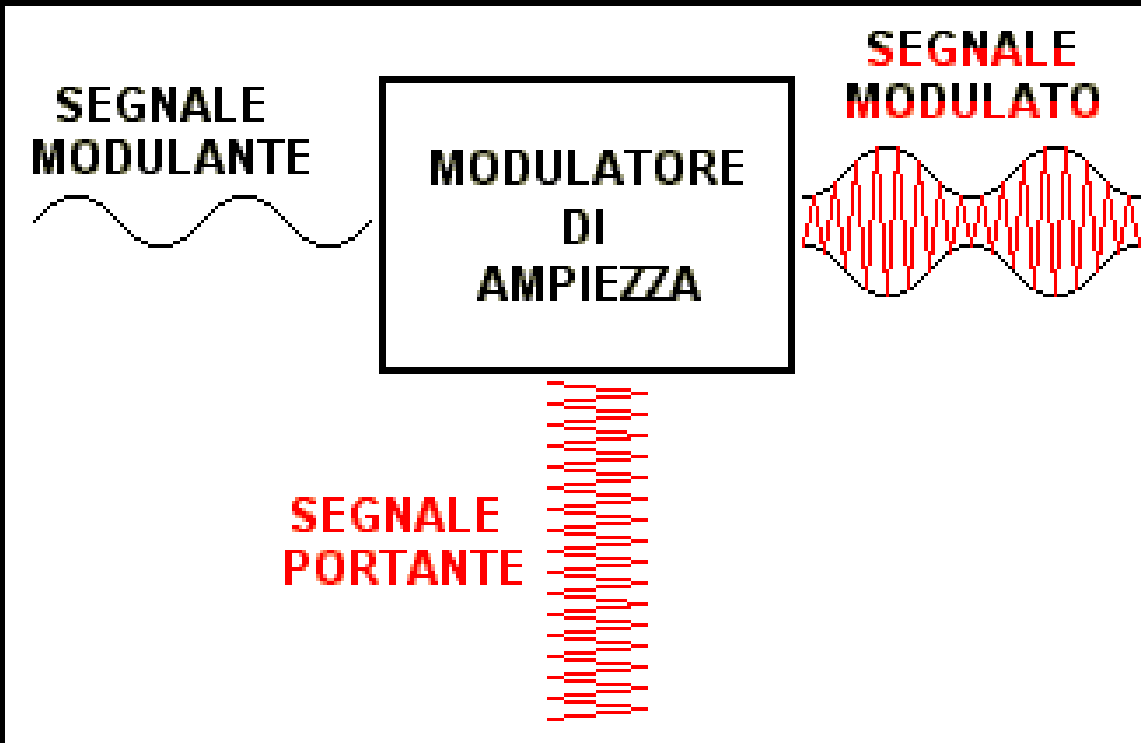


# MODULAZIONI ANALOGICHE

## MODULAZIONE DI AMPIEZZA AM ( Amplitude Modulation )

Modulare in ampiezza vuol dire far variare l'ampiezza di una **portante** a radiofrequenza (**ordine dei MHz**) secondo l'ampiezza di una **modulante** a bassa frequenza (**ordine dei KHz**).

È tuttora impiegata dalla RAI nelle radiodiffusioni nella gamma delle **onde medie** fra 0,52 e 1,6 [ **MHz** ], ma è poco seguita oggi perché molto disturbata ( specialmente di giorno ), in quanto molto sensibile al rumore.



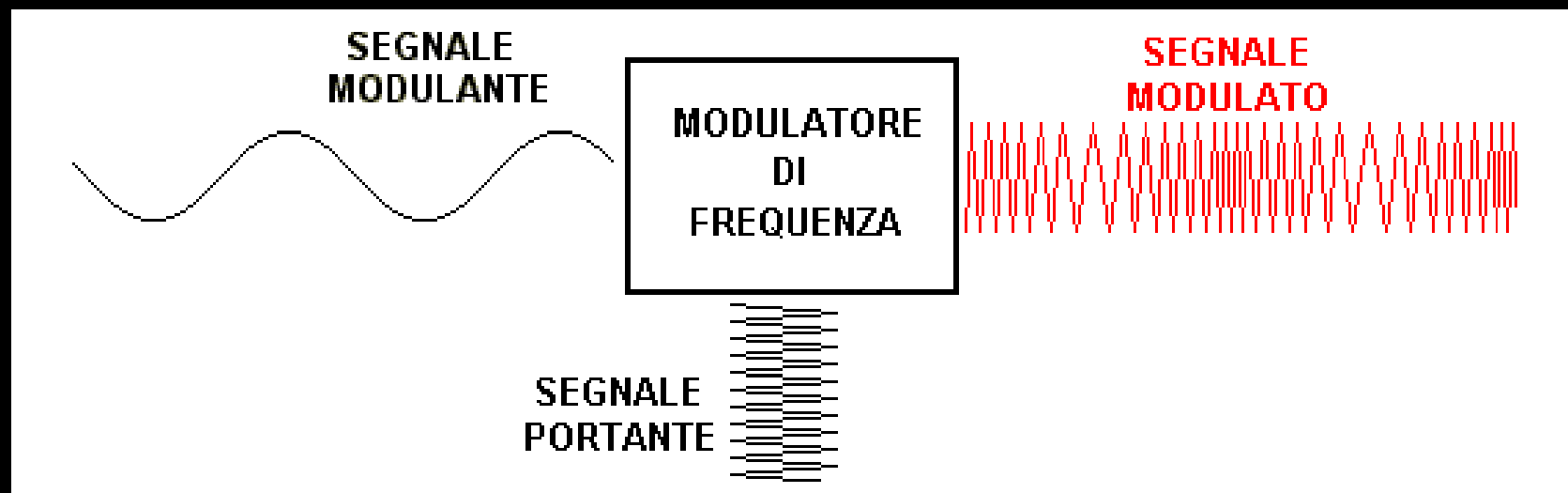
- Il segnale modulato generato, viene irradiato via etere da un' antenna. In ricezione un semplice diodo rivela il segnale modulante, per esempio la voce umana, e lo invia all'altoparlante che lo riproduce.

# MODULAZIONE DI FREQUENZA

## FM ( Frequency Modulation )

- La FM costituisce un considerevole miglioramento rispetto alla **AM** sia per immunità ai disturbi cui è invece molto soggetta la **AM**, che per numero di canali effettivamente disponibili, che per l'alta fedeltà delle trasmissioni.
- È usata anche per la parte **audio** del segnale televisivo, trasmesso via etere, per la **televisione satellitare analogica**, oltre che per alcune trasmissioni dei radioamatori. Era usata per i cellulari di tipo **ETACS**.
- Per le trasmissioni stereofoniche sono riservate in Italia le frequenze da **88 a 108 [ MHz ]** all'interno della banda **VHF** ( VERY HIGH FREQUENCY )
- Questo è un altro motivo che determina la bontà delle trasmissioni in stereofonia, in quanto la maggior parte dei disturbi, interferenze, rumori, avvengono nella banda che si estende fino a circa **50 MHz** e non oltre.

- Ha lo svantaggio di avere una **banda molto maggiore** della AM, per cui è stato necessario attribuirle una gamma di frequenze di cento volte più alta per consentire di usare larghezze di banda molto maggiori.
- Ha anche lo svantaggio di richiedere **circuiti alquanto più complessi** della AM sia in trasmissione che in ricezione.
- Nella modulazione di frequenza, l'**ampiezza** della modulante determina la variazione della **frequenza** della portante, mentre l'ampiezza della portante rimane invariata, come schematicamente è rappresentato nell'animazione seguente.
- La modulazione di frequenza (**FM**) è applicata nel campo delle trasmissioni stereofoniche nella gamma delle **VHF**.



## MODULAZIONE DI FASE PM ( PHASE MODULATION )

- La modulazione di fase è molto simile alla modulazione di frequenza, tant 'è che ambedue vengono chiamate modulazioni angolari.  
In questo caso la modulante va a modificare la fase della portante lasciandone invariata l'ampiezza.
- Anche in questo caso la banda è molto larga ed i circuito per realizzarla sono anche più complessi e sensibili di quella di frequenza. È usata però, in coppia con la modulazione di ampiezza, nel segnale cromatico della televisione.

# MODULAZIONI IMPULSIVE

- **TECNICA PCM**

- Intorno agli anni quaranta nacque l'esigenza di aumentare il numero di collegamenti telefonici interurbani.

Questa esigenza però si scontrava con la grande complicazione e il considerevole costo di impianto di grandi fasci di conduttori, ingombranti e difficili da connettere.

- Si pensò allora di **multiplare** un gran numero di collegamenti telefonici su un solo cavo coassiale.
- Esisteva già a quell'epoca una tecnica per risolvere questo problema e si chiamava **FDM** ( Frequency Division Multiplexing ), ma presentava alcuni difetti e limitazioni.
- Nacque allora la più moderna **TDM** ( Time Division Multiplexing ), realizzata tramite la modulazione codificata **PCM** ( Pulse Code Modulation ) .

- Esiste oggi un **PCM** Americano, un **PCM** Europeo, un **PCM** giapponese.
- Questo rappresentato a destra è uno schema del **PCM** telefonico europeo a **32** canali.





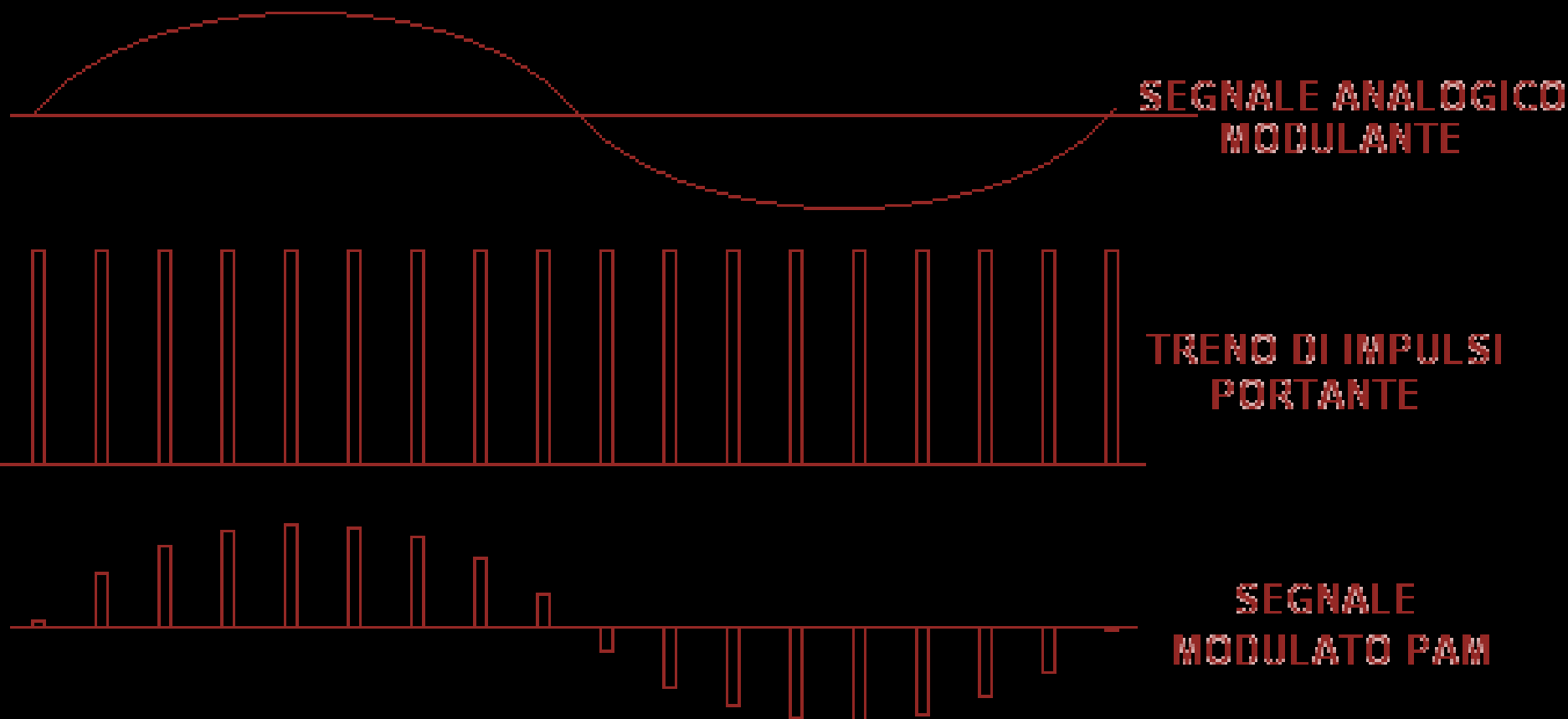
Il **PCM** si applica ai canali telefonici e, il tipo europeo, consente di :

- far transitare su un solo cavo coassiale 32 telefonate contemporaneamente, senza, naturalmente che interferiscano fra loro e indirizzarle, in ricezione, ciascuna all'utente richiesto come schematizzato nella figura di sopra.
- Dei **32** canali multiplexati, **30** sono canali vocali e **2** sono canali di servizio.
- Per realizzare la tecnica **PCM** si effettuano tre operazioni a partire dal segnale microfonico di partenza :
- **CAMPIONAMENTO**
- **QUANTIZZAZIONE**
- **CODIFICA**

# Campionamento

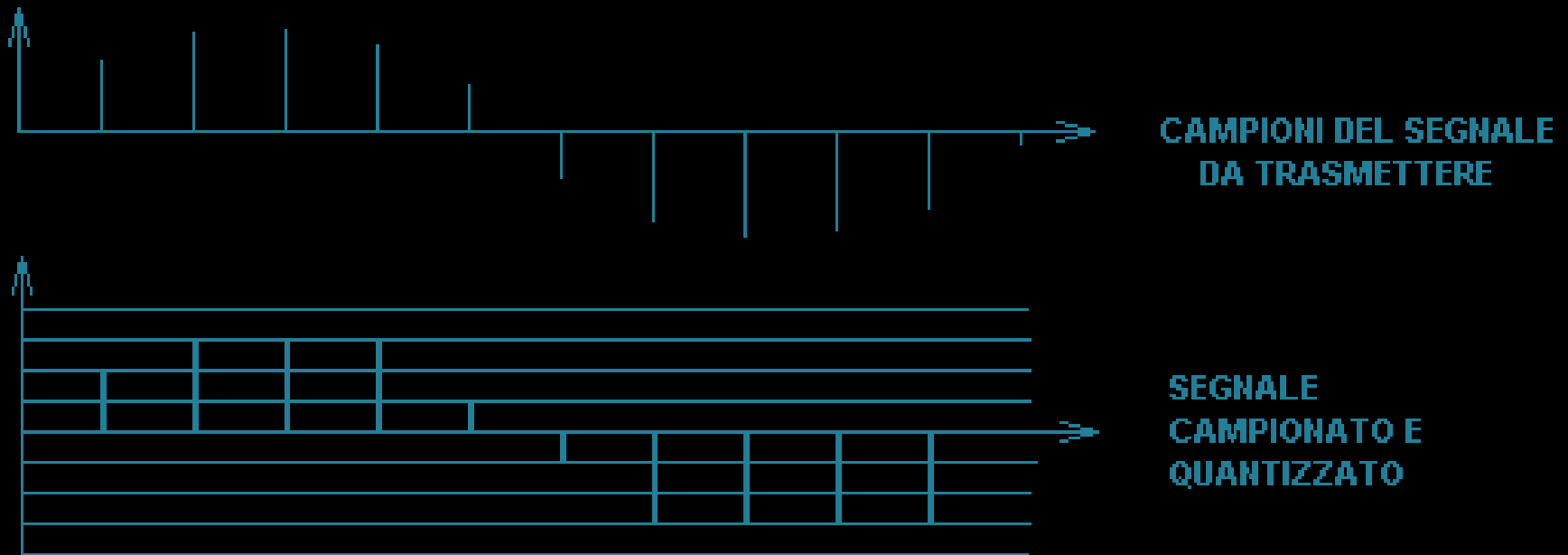
- In base al teorema di **SHANNON**, un segnale a banda limitata, compresa fra le frequenze  $f_{\min}$  ed  $f_{\max}$ , può essere rappresentato mediante una successione di **campioni** prelevati con una frequenza pari almeno a  $2 f_{\max}$ .
- In telefonia si assume come **frequenza di campionamento** il valore  **$f_c = 8 \text{ KHz}$** ,  
dato che la Banda Telefonica si estende  
**da 0 a 4000 [ HZ ] - BANDA LORDA**  
**da 300 a 3400 [ HZ ] - BANDA NETTA**
- Il **periodo di campionamento** corrisponde, naturalmente all'inverso della frequenza di campionamento, e cioè:

- Il segnale telefonico viene dunque per prima cosa **campionato**, cioè moltiplicato per una sequenza di impulsi equidistanti, separati dal periodo  $T_c$ , come si vede dalla figura seguente.
- Campionare significa effettuare un modulazione **PAM** ( Pulse amplitude Modulation )



# QUANTIZZAZIONE

- La fase successiva prende il nome di **quantizzazione**, e consiste nella scelta di **livelli discreti** per i campioni così ottenuti che, nell'esempio seguente sono **8** e di valori tutti uguali.



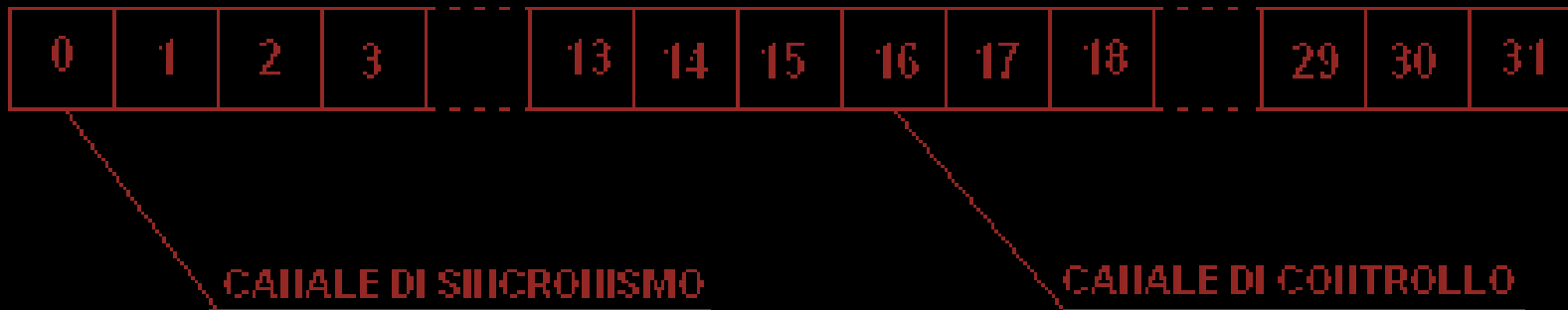
- Nella realtà invece i livelli sono **256**, di cui **128 positivi** e **128 negativi**, ed inoltre non sono tutti di valore eguale ma, per mantenere costante il rapporto **segnale/disturbo** su tutta l'escursione dell'ampiezza, sono anche di ampiezza variabile secondo una funzione logaritmica.
- E' evidente che in questa fase si compie un errore, detto **errore di quantizzazione**, in quanto il segnale vocale di partenza poteva assumere qualunque valore, all'interno della sua escursione verticale (codominio), essendo continuo, mentre il **segnale quantizzato può assumere solo alcuni valori precisi**.
- Scegliendo però un numero molto alto di livelli, **256**, non ha effetto sull'orecchio umano la variazione per intervalli discreti dell'ampiezza del segnale, perché risulta **al di sotto della soglia di sensibilità**.

# CODIFICA

- In questa terza fase gli impulsi, campionati e quantizzati, vengono **codificati**, cioè la loro ampiezza viene trasformata in una sequenza di bit secondo un codice binario.
- Ad esempio, se l'ampiezza del primo impulso è di **5 V**, verrà rappresentata dalla sequenza binaria : **101 ( es. con 3 bit )**
- In realtà nel **PCM Europeo**, essendo i livelli **256**, per rappresentare ogni campione, occorrono **8 bit**.
- Il segnale analogico allora viene trasformato in una sequenza di bit che in codice rappresentano le ampiezze di ciascuno dei campioni del segnale stesso.
- Tra una sequenza di **8 bit** e la successiva però, nel **PCM Europeo**, si trasmettono altre **31** sequenze di **8 bit** che rappresentano altri **31 canali telefonici** tutti **multiplexati** sullo **stesso cavo coassiale**.
- In un solo cavo pertanto transitano **32** segnali numerici che, indipendentemente l'uno dall'altro, vengono indirizzati ciascuno al proprio corrispondente utente destinatario.

- Si costituisce pertanto una **TRAMA** del **PCM** costituita da una sequenza temporale di **32** canali numerici, dal n. **0** al n. **31**, in cui il n. **0** serve per dettare il **sincronismo** al ricevitore ed il n. **16** per il controllo della bontà di trasmissione degli altri canali.

### TRAMA DEL PCM



- Il tempo di un canale ( **time slot** ) è naturalmente quello di tutta la trama diviso per **32** :

$$T_{CANALE} = \frac{T_{TRAMA}}{32} = \frac{125\mu\text{sec}}{32} = 3,9\mu\text{sec}$$

Ma poiché per ogni canale si trasmettono **8 bit**, il tempo dedicato alla trasmissione di **un bit** è quello di un canale diviso **8** :

$$T_{BIT} = \frac{T_{CANALE}}{8} = \frac{3,9\mu\text{sec}}{8} = 490\text{nsec}$$



- Poiché vengono trasmessi **32 canali** con **8.000 campioni al secondo**, ed ogni canale contiene **8 bit**, ogni secondo vengono trasmessi un numero di bit:

$$V_{tx} = 32 * 8.000 * 8 = 2,048 \text{ [Mbit/sec]}$$

Se è necessario trasmettere un numero maggiore di canali allora si raggruppano **4 gruppi da 30**, si trasmettono **120 canali** costituendo così un supergruppo del primo ordine.

Si possono formare così anche supergruppi da **480, 1920, 7680 canali**.

# MODULAZIONI NUMERICHE

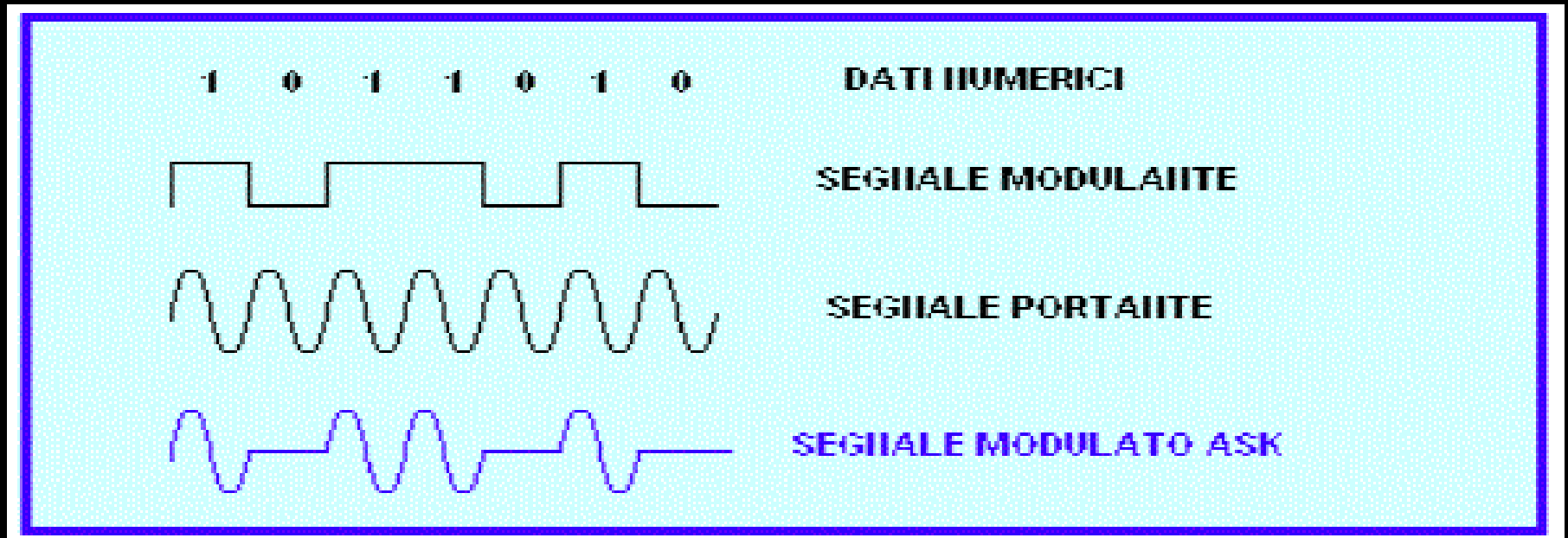
- Nelle modulazioni avviene una traslazione di frequenza dello spettro del segnale che consente di adattarlo al tipo di canale che deve attraversare.
- Si chiamano modulazioni numeriche quel tipo di modulazioni in cui il **segnale modulante** è di tipo numerico ( digitale ) e sono impiegate nella trasmissione dati fra modem, nei ponti radio, nei cellulari, nei collegamenti via satellite.

Essenzialmente sono le tre seguenti:

- **ASK**
- **FSK**
- **PSK**

# MODULAZIONE ASK

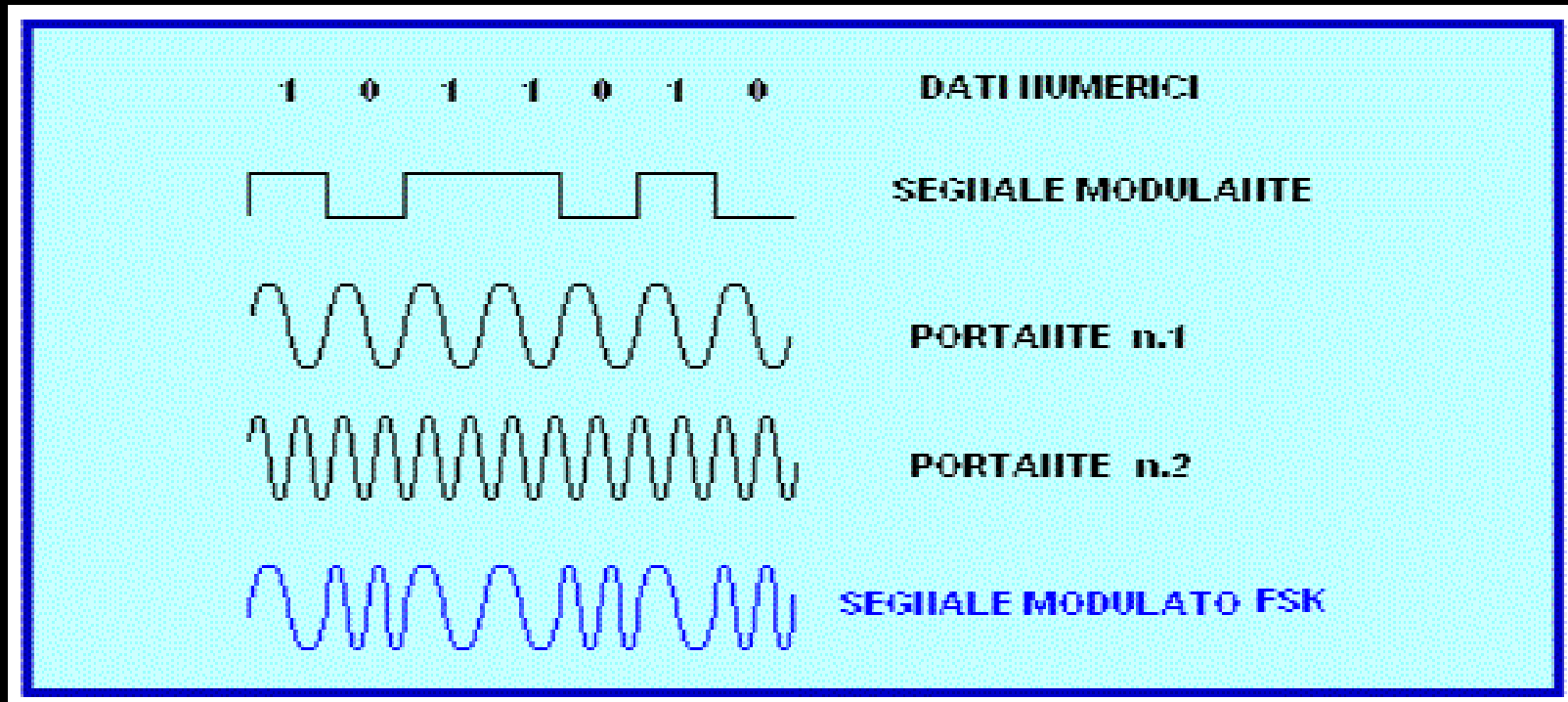
- Nella ASK il segnale digitale, che costituisce l'informazione da trasmettere, va a modulare una portante sinusoidale facendone variare l'ampiezza in modo tale da far corrispondere all'uno logico la portante stessa e, allo zero logico l'assenza della portante, come in figura.



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. Purtroppo è molto sensibile al rumore, per questo oggi è utilizzata poco, nonostante sia stata impiegata per prima.

# MODULAZIONE FSK

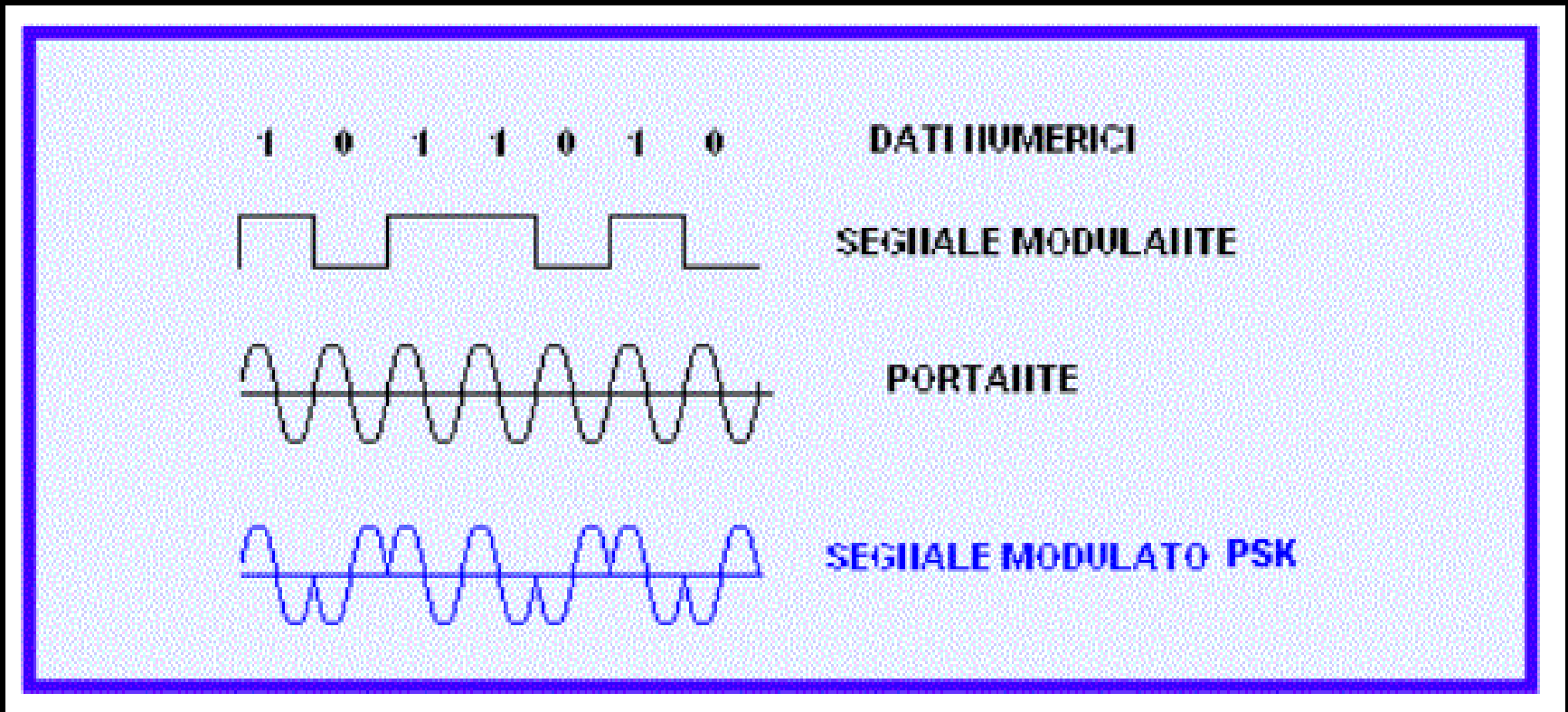
- Nella modulazione **FSK** si hanno due possibili portanti a frequenze diverse che vengono abbinate ai due valori logici binari **1** e **0** come in figura.



Questo tipo di modulazione è stata usata nei primi modem, **V21** e **V23** molto lenti rispetto a quelli odierni, ed è tuttora usata nei ponti radio e nelle trasmissioni fra **cellulari del tipo GSM**.

# 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:  $0^\circ$  e  $180^\circ$  come in figura.



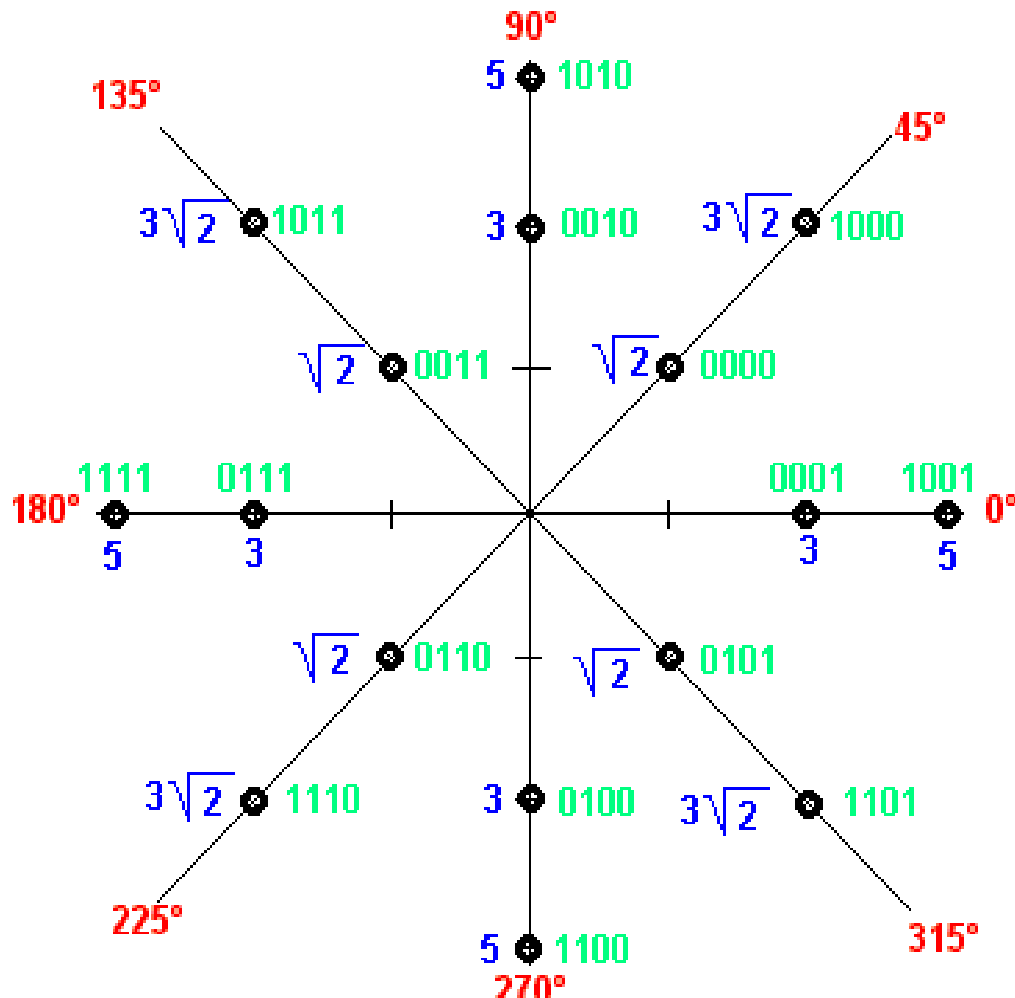
## MODULAZIONE QAM PSK

- Per aumentare la velocità di trasmissione dell'informazione, mantenendo costante la velocità di modulazione, invece di trasmettere solo due valori angolari,  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , oggi 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**.
- Le più moderne modulazioni numeriche, quelle quindi che determinano grandi velocità di trasmissione, sono quindi modulazioni di fase e di ampiezza. Questo tipo di modulazioni è usato soprattutto nel campo dei modem, ma anche dei ponti radio, delle trasmissioni satellitari.

# MODULAZIONE 16 QAM PSK

COSTELLAZIONE PER LA MODULAZIONE 16 QAMPSK

IN ROSSO: ANGOLI  
IN VERDE: QUADRIBIT  
IN BLU: AMPIEZZE



La modulazione 16 QAM PSK, è una modulazione numerica di ampiezza e fase a 16 livelli diversi.

I 16 simboli della modulazione (da 0000 a 1111) sono costituiti da due gruppi di 8 ciascuno.

In questo caso quindi si ha una sola portante sinusoidale, a una sola frequenza, ma si possono trasmettere 16 simboli diversi tra loro per cui, poiché  $2^4 = 16$ , l'informazione racchiusa in ogni simbolo che arriva a destinazione è eguale a 4 bit.

- un tratto di senoide con fase scelta fra:  $0^\circ$  -  $90^\circ$  -  $180^\circ$  -  $270^\circ$  e ampiezza 3V oppure 5V

Es : il codice 0001 è rappresentato dalla senoide alta 3 [ V ] con fase  $0^\circ$

- un tratto di senoide con fase scelta fra:  $45^\circ$  -  $135^\circ$  -  $225^\circ$  -  $315^\circ$  e ampiezza oppure .

Es : il codice 1011 è rappresentato dalla senoide alta 3V 2 con fase  $135^\circ$

- Ogni configurazione che arriva a destinazione, costituita da una fase angolare e un'ampiezza, porta con sé l'informazione di **4 bit**, secondo il diagramma a stella .