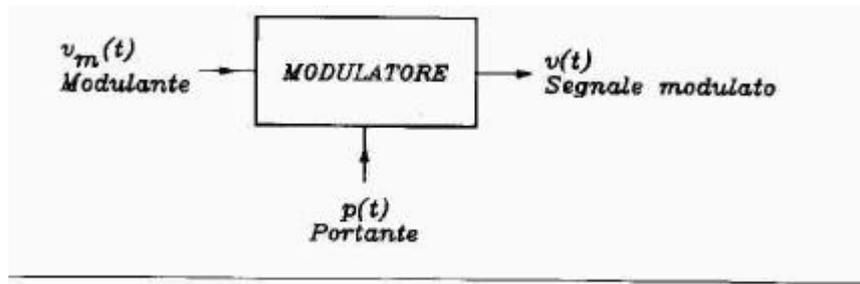


<b>LA MODULAZIONE IN BANDA TRASLATA</b>	<b>1</b>
<b>Modulazione impulsiva</b>	<b>3</b>
<b>Modulazioni su portante sinusoidale.</b>	<b>4</b>
Modulazione d'ampiezza (ASK Amplitude Shift Keying)	5
Modulazione di frequenza Frequency Shift Keying	6
<b>Modulazioni di fase e miste</b>	<b>8</b>
Modulazione 2-PSK o bipolar PSK o B-PSK	8
Modulazione 4-PSK	14
Modulazione DQPSK	18
Modulazione 8-PSK	18
<b>Modulazioni di tipo QAM (Quadrature Amplitude Modulation)</b>	<b>19</b>

## **LA MODULAZIONE IN BANDA TRASLATA**

Anche nel campo delle trasmissioni numeriche si ricorre alla modulazione: in luogo di trasmettere il segnale che contiene l'informazione, sulla linea è inviato un segnale portante le cui caratteristiche sono modificate dal segnale che trasporta l'informazione, detto segnale modulante.



Si parla di modulazione in banda traslata perché l'effetto che si ottiene è quello di traslare lo spettro del segnale modulante a frequenze più alte. I principali vantaggi della modulazione sono:

- Adattamento del segnale alla banda passante del mezzo trasmissivo: Ad esempio il segnale televisivo occupa le frequenze comprese fra 0 e 6 Mhz, appare logico che debba essere traslato per essere trasmesso via satellite alle frequenze dei Ghz
- Permette di distribuire più segnali contemporaneamente nello stesso canale trasmissivo. Se i segnali occupano tutti la stessa banda di frequenza, inviandoli sullo stesso canale interferiranno fra di loro, se li moduliamo, però, essi non si sovrappongono più e possono viaggiare contemporaneamente nello stesso canale trasmissivo (vedi figura)

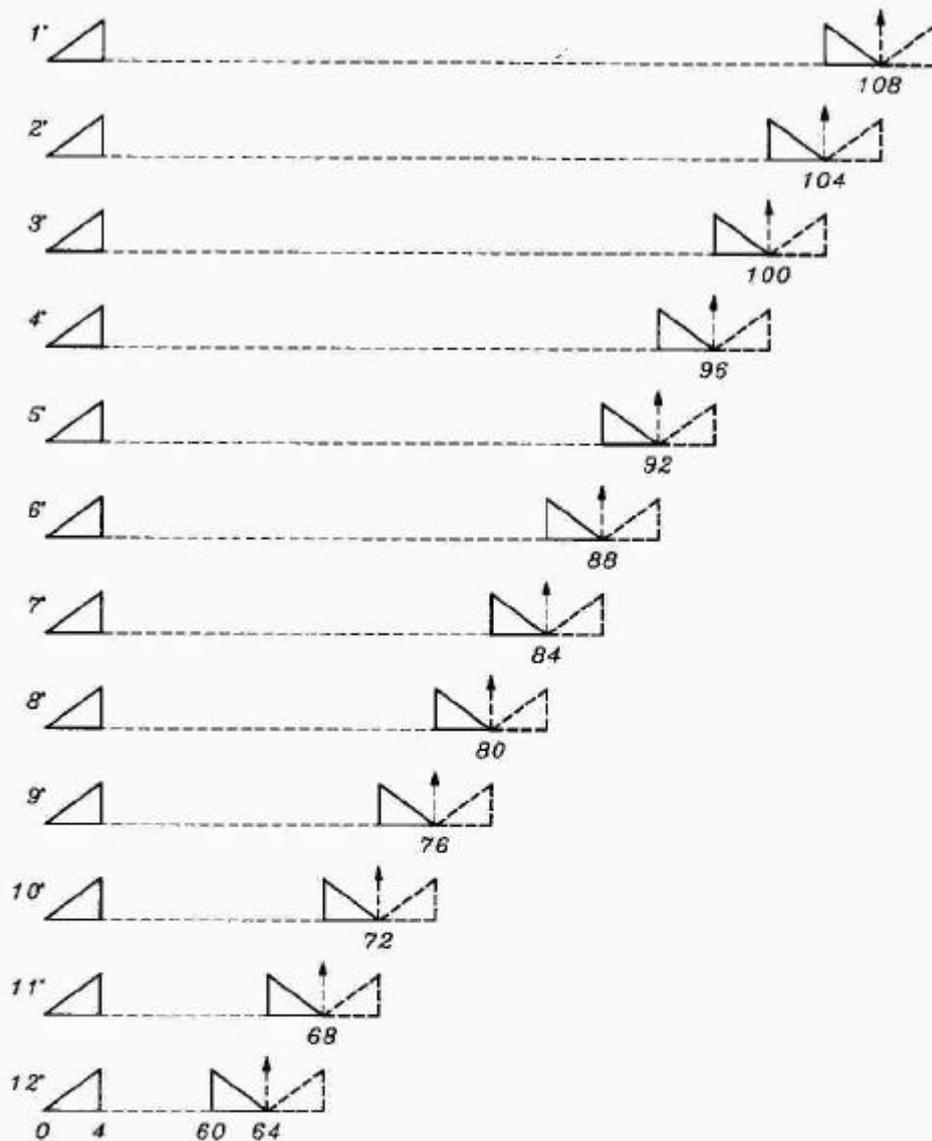


Fig. 3.57 - Allocations del gruppo primario del 1° ordine.

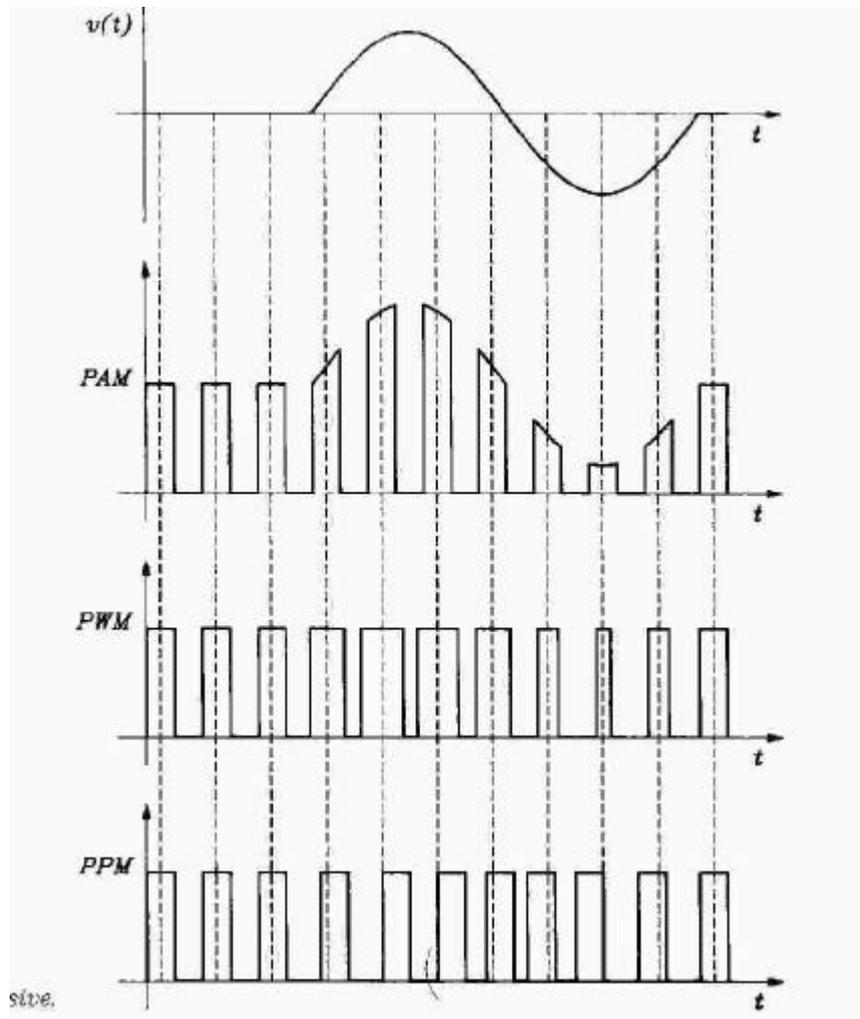
Tab. 1.

Ordine	Moltiplicazione	N° di canali	Allocazione in frequenza (KHz)
1°	12	12	60-108
2°	5	60	312-552
3°	5	300	812-2044
4°	3	900	8516-12388

## Modulazione impulsiva

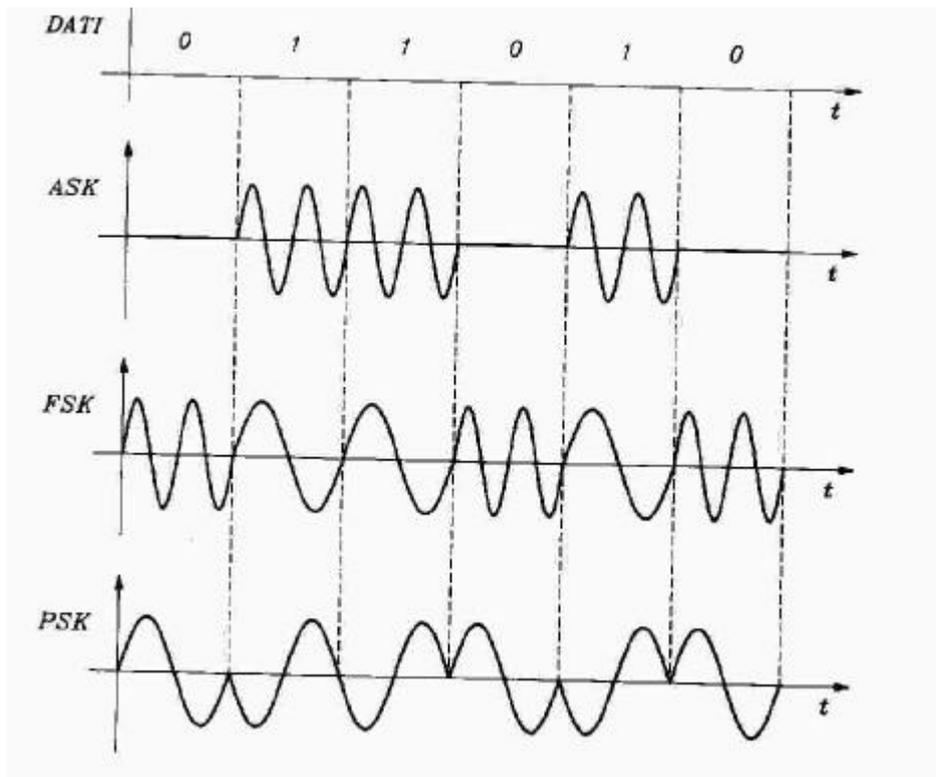
Questo tipo di modulazione è utilizzato nella telefonia digitale. In questo caso la portante è un segnale rettangolare di cui si può variare:

- L'ampiezza (Pulse Amplitude Modulation PAM)
- La posizione nel tempo (Pulse Position Modulation PPM)
- La durata dell'impulso (Pulse Duration Modulation PDM)



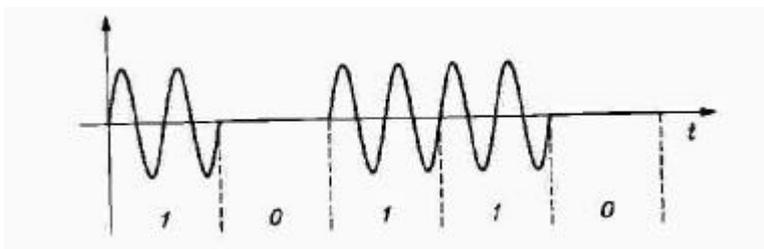
### ***Modulazioni su portante sinusoidale.***

Sono le modulazioni utilizzate dai modem e si ottengono variando i parametri di un segnale portante sinusoidale (ampiezza, fase, frequenza).



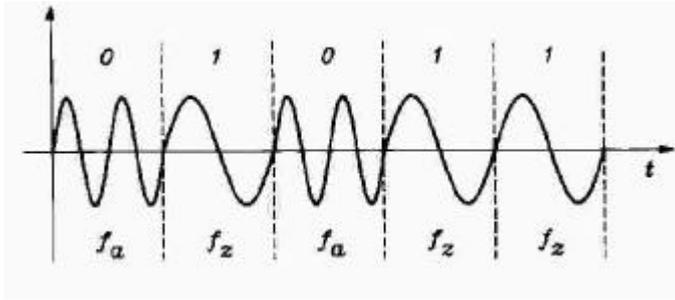
### Modulazione d'ampiezza (ASK Amplitude Shift Keying)

In questo tipo di modulazione è fatta variare l'ampiezza della portante fra due valori diversi di cui uno corrisponde al bit 0 e l'altro corrisponde al bit 1. Se in corrispondenza del bit 0 l'ampiezza della portante assume il valore nullo come in figura



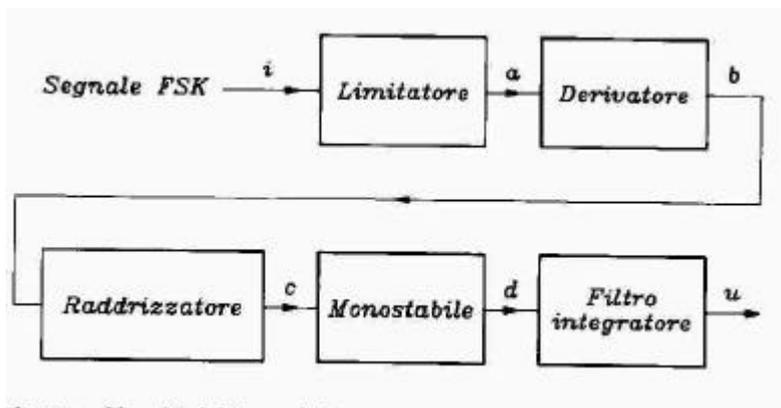
Si parla di modulazione On OFF Keying OOK. Questo tipo di trasmissione è poco usata perché molto sensibile ai disturbi dovuti al rumore e alle distorsioni introdotte dal canale trasmissivo.

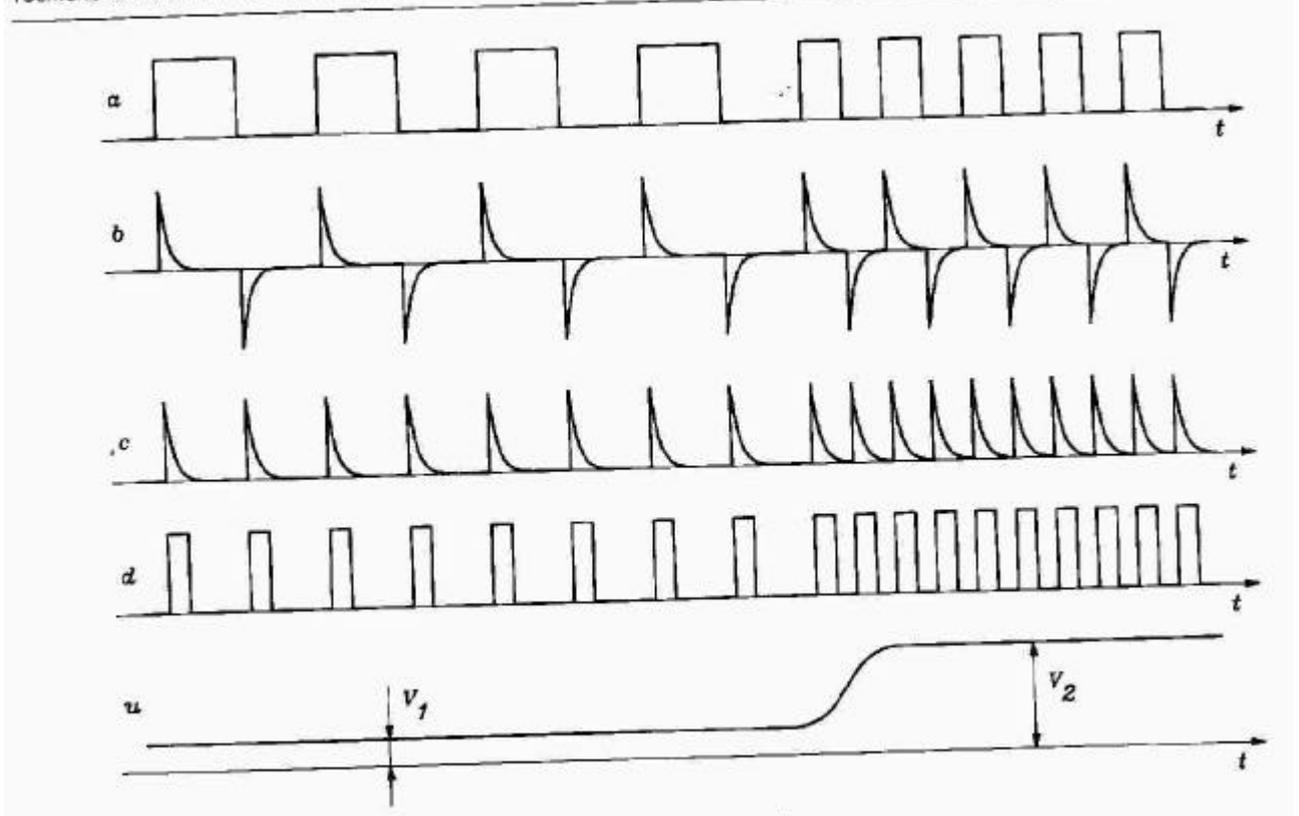
## Modulazione di frequenza Frequency Shift Keying



In questo tipo di modulazione la frequenza della portante varia secondo il bit che si vuole trasmettere. Al bit 0 corrisponde una frequenza  $f_a$ , al bit 1 corrisponde una frequenza  $f_z$ .

La modulazione si può effettuare, ad esempio, impiegando due oscillatori a frequenza diversa, quando si vuole trasmettere uno zero, è inviata in uscita la portante prodotta dal primo oscillatore, quando si vuole trasmettere un 1, si commuta e si manda in uscita la portante prodotta dal secondo oscillatore. Il demodulatore può essere realizzato, invece, nel seguente modo





La portante passa attraverso un circuito che ne limita l'ampiezza deformandola in una sorta di onda quadra (segnale a). Tale onda passa attraverso un derivatore. Il risultato è che (ricordate che la derivata di una costante è nulla) l'uscita del derivatore è costituita da tanti impulsi sui fronti di salita e discesa dell'onda quadra (segnale b). Questi impulsi saranno positivi in corrispondenza del fronte di salita dell'onda quadra e negativi in corrispondenza del fronte di discesa dell'onda quadra. Il blocco raddrizzatore ribalta gli impulsi negativi (segnale c). Questi impulsi funzionano da trigger per un circuito monostabile. Un monostabile è un circuito che si trova in un unico stato stabile, ad esempio la sua uscita si trova sempre a zero. Quando arriva un impulso sul suo ingresso, il circuito esce dal suo stato di stabilità producendo un impulso in uscita di durata dipendente dai

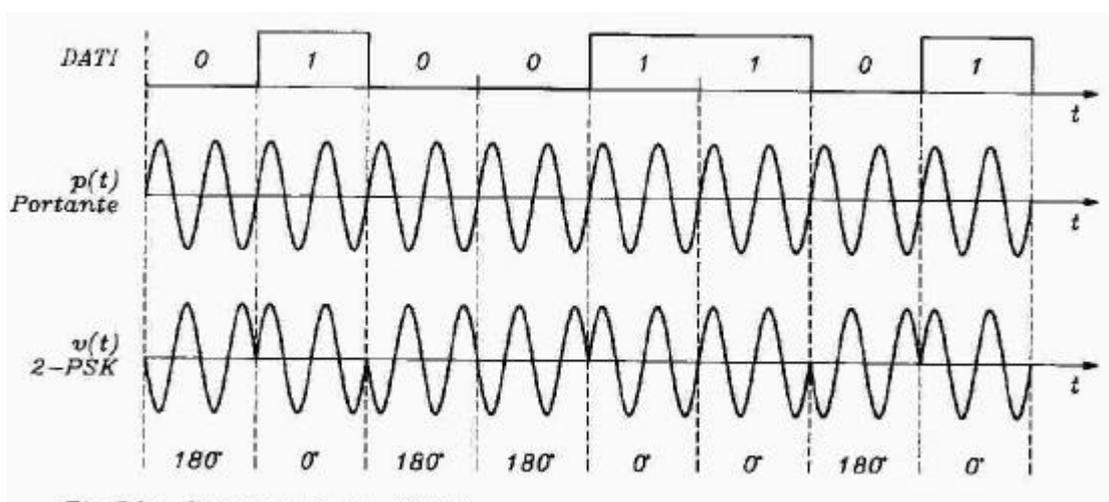
parametri del monostabile e poi ritorna nel suo stato normale (segnale d). Il filtro integratore fa sostanzialmente la media del segnale che riceve in ingresso. Ora se è stato trasmesso un bit pari a zero, la frequenza è elevata, per cui il numero d'impulsi prodotti per unità di tempo è elevato e il segnale fornito dall'integratore assume il valore V2. Se si trasmette un bit pari ad 1, la frequenza è in genere inferiore, il numero d'impulsi per unità di tempo è inferiore e l'uscita dell'integratore da una tensione pari ad un valore V1 inferiore al precedente.

### **Modulazioni di fase e miste**

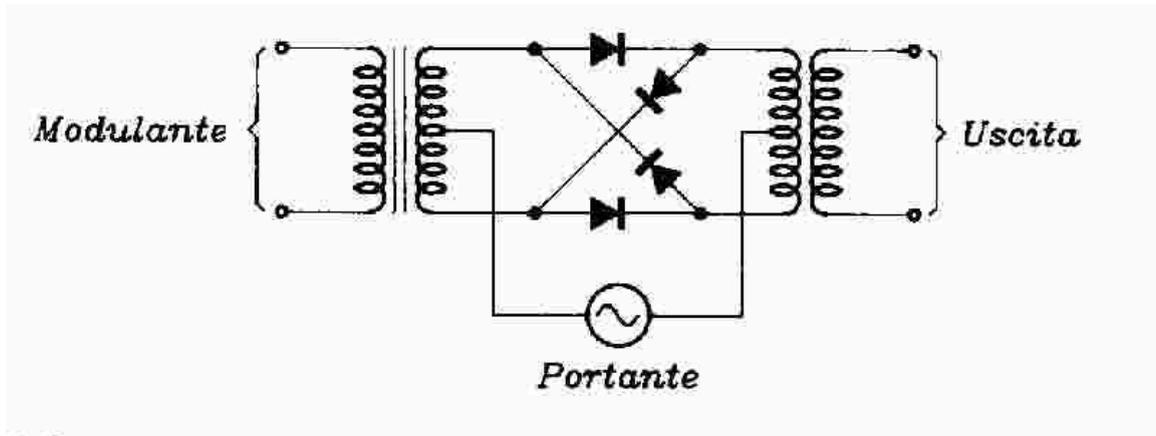
#### **Modulazione 2-PSK o bipolar PSK o B-PSK**

È una modulazione a due fasi in cui la portante mantiene ampiezza e frequenza costante. Quello che cambia è la fase che assume due valori diversi a seconda del valore del bit da trasmettere.

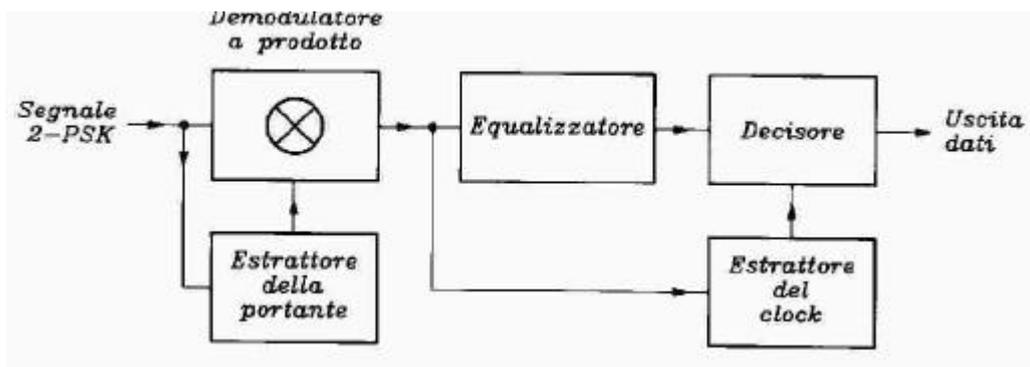
Bit	$\varphi$
1	$0^\circ$
0	$180^\circ$



Lo schema di principio di un modulatore PSK può essere il seguente, detto modulatore bilanciato



In questo circuito se il segnale modulante assume un valore positivo conduce la coppia costituita dal diodo orizzontale superiore e dal diodo inclinato verso sinistra, se la modulante è negativa conduce il diodo orizzontale inferiore e il diodo inclinato verso destra. Si creano, allora due percorsi di versi per la portante che attraverserà il secondario una volta in un senso positivo (fase 0) e l'altra in senso inverso (fase 180°).



Un esempio di demodulatore è quello della figura precedente. Il nucleo è un cosiddetto demodulatore a prodotto. Per comprenderne il funzionamento

dovremmo far riferimento alle vostre enormi conoscenze di trigonometria. Il segnale modulato sarà del tipo

$y(t) = A \cos(\omega t + m(t))$  dove  $m(t)$  è la fase modulata dal segnale modulante

Un circuito estrattore di portante fa in modo da ricavare la portante non modulata

$u(t) = \cos(\omega t)$ .

Eseguendo il prodotto si ha

$$\begin{aligned} Y(t) * u(t) &= A \cos(\omega t + m(t)) * \cos(\omega t) = A/2 * (\cos(\omega t + m(t) - \omega t) + \cos(\omega t + m(t) + \omega t)) = \\ &= A/2 * (\cos(m(t)) + \cos(2\omega t + m(t))) \end{aligned}$$

se facciamo passare questo segnale attraverso un filtro passabasso passa soltanto il segnale a bassa frequenza

$$A/2 * (\cos(m(t)))$$

Questo segnale è mandato ad un circuito decisore che lo campiona e decide se si tratta di uno zero o di un uno. L'equalizzatore serve perché, affinché si possa ricostruire l'informazione racchiusa nella fase del segnale modulato occorre recuperare gli sfasamenti introdotti dalla linea di trasmissione.

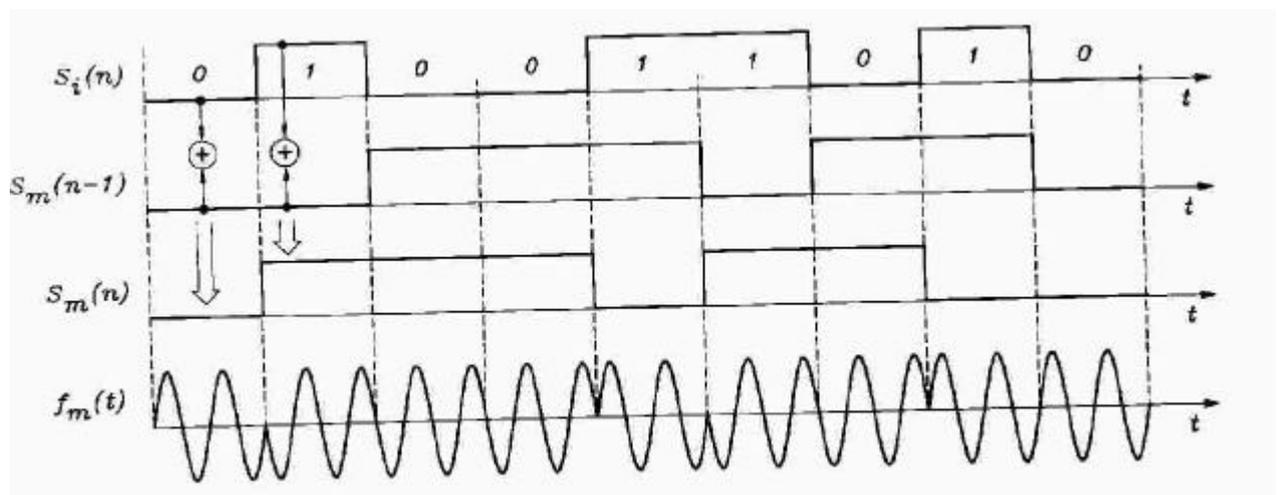
Modulazione differenziale 2-DPSK

Può accadere che non si riesca a contrastare l'effetto di sfasamento dovuto alla linea di trasmissione. In questo caso si ricorre alla modulazione di fase differenziale. Il concetto è molto semplice: stavolta non si associa al valore del bit un valore corrispondente della fase bensì lo sfasamento rispetto al bit precedente.

Supponiamo, ad esempio, di imporre la seguente codifica

Bit	$\Delta\varphi$
0	$0^\circ$
1	$180^\circ$

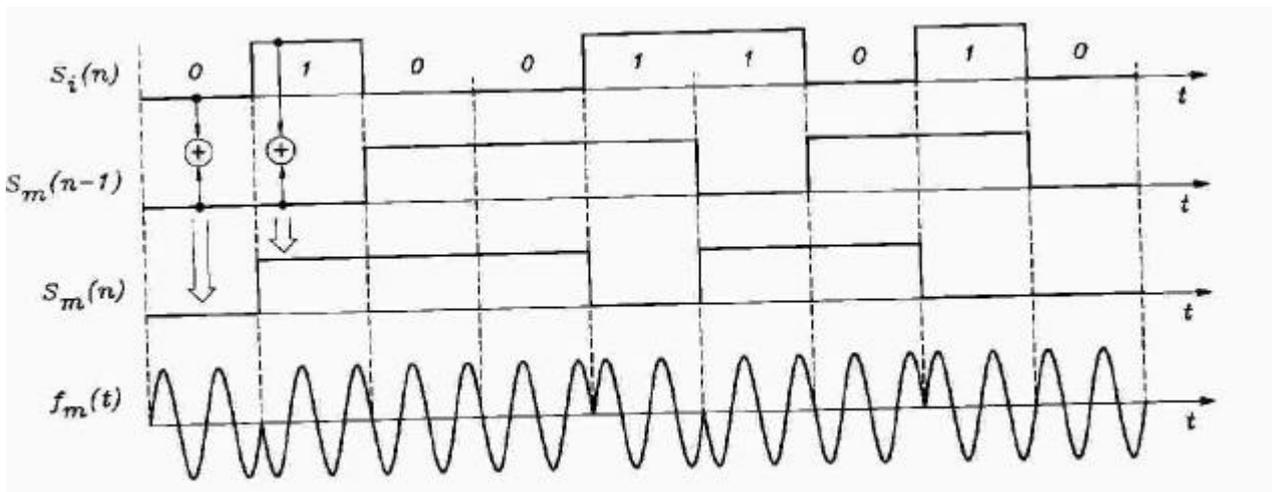
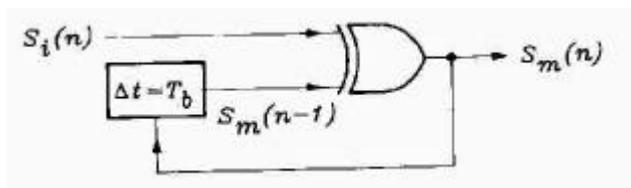
questo significa che trasmetto uno zero, la fase della portante modulata deve restare inalterata rispetto a quella corrispondente al bit precedente. Invece, se devo trasmettere un bit pari ad uno, la portante deve assumere una fase che differisce di 180 gradi rispetto alla precedente.



come si vede dalla figura il secondo bit è pari ad 1 per cui la portante è sfasata di  $180^\circ$  rispetto a quella del bit precedente. Il terzo bit trasmesso è uno zero, per cui la fase deve rimanere inalterata. Segue ancora uno zero per cui la fase rimane ancora inalterata, il quinto bit è un uno per cui la fase deve aumentare di  $180^\circ$ , il sesto bit è un uno per cui la fase aumenta ancora di  $180^\circ$  e così via.

Nell'ipotesi che la linea sfasi i segnali sempre della stessa quantità, poiché ora non c'interessa rilevare la fase assoluta della portante ma la sua differenza rispetto a quella del bit precedente, lo sfasamento introdotto dalla linea è automaticamente eliminato.

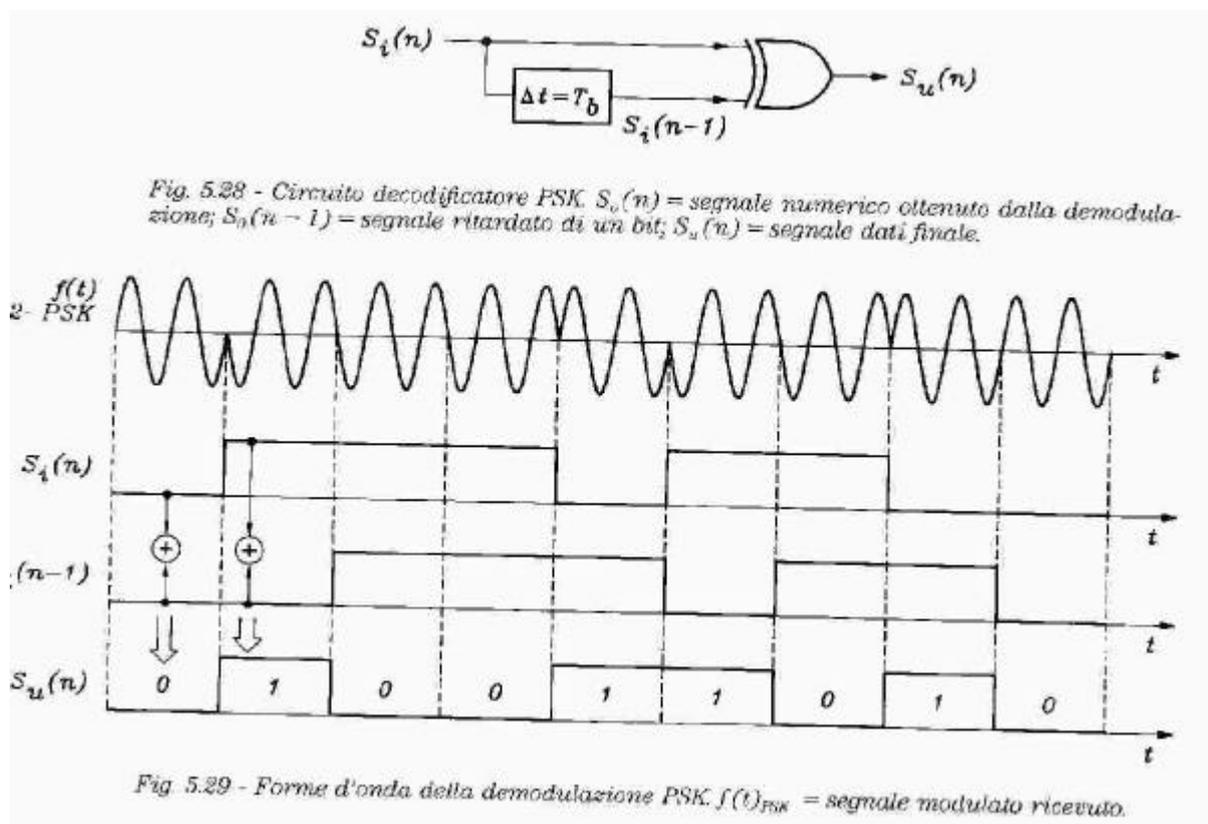
Supponiamo, infatti che la portante abbia ad un certo punto fase  $180^\circ$ . A causa dello sfasamento della linea la fase diventa  $180^\circ + a$ . Il bit successivo è un uno per cui la fase diventa  $180^\circ + 180^\circ + a$ . La loro differenza è sempre  $180^\circ$  quindi capisco senza pericolo d'errore che è stato inviato un uno. Lo schema di principio del codificatore è il seguente



come si può notare dallo schema, il segnale modulante è inviato ad una porta OR esclusiva. Non vi offendetevi se, pur essendo conscio delle vostre oceaniche conoscenze d'elettronica digitale, vi ricordo che un'OR esclusiva è una porta che dà un'uscita alta soltanto quando gli ingressi sono diversi fra loro. L'altro ingresso dell'OR è dato dalla sua uscita che è riportata in ingresso con un ritardo coincidente con la durata di un bit. Osserviamo ora lo schema. All'inizio entrambi gli ingressi sono bassi per cui l'uscita dell'OR è anch'essa bassa. Nell'intervallo successivo il segnale modulante è alto perché si vuole trasmettere un uno, mentre

l'altro ingresso della porta, essendo pari alla sua uscita ritardata, è basso. L'uscita dell'OR si porta allora d un poiché i suoi ingressi sono diversi e così via. Come si vede, si ottiene un segnale che cambia se rispetto al livello precedente se si trasmette un uno, mentre lascia il suo livello inalterato se si vuole trasmettere uno zero. Usando questo segnale per effettuare una normale modulazione PSK, si ottiene il risultato voluto.

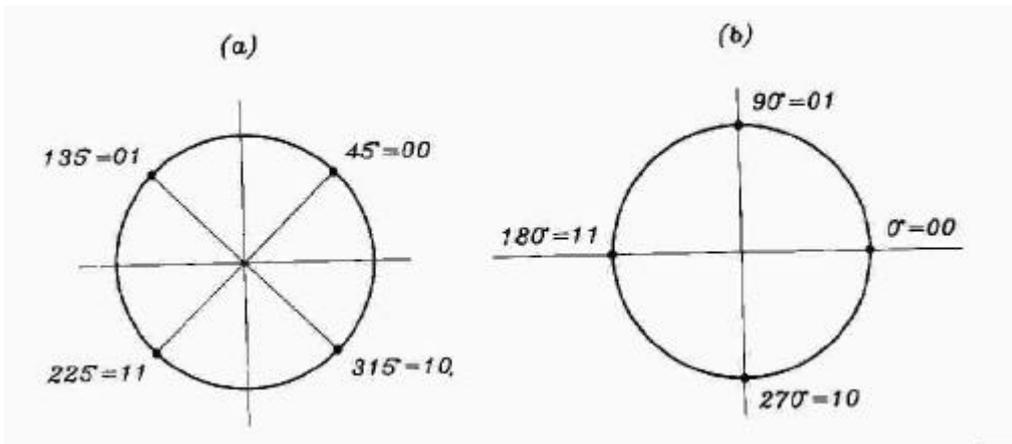
Il circuito demodulatore è il seguente



Che funziona in modo diametralmente opposto

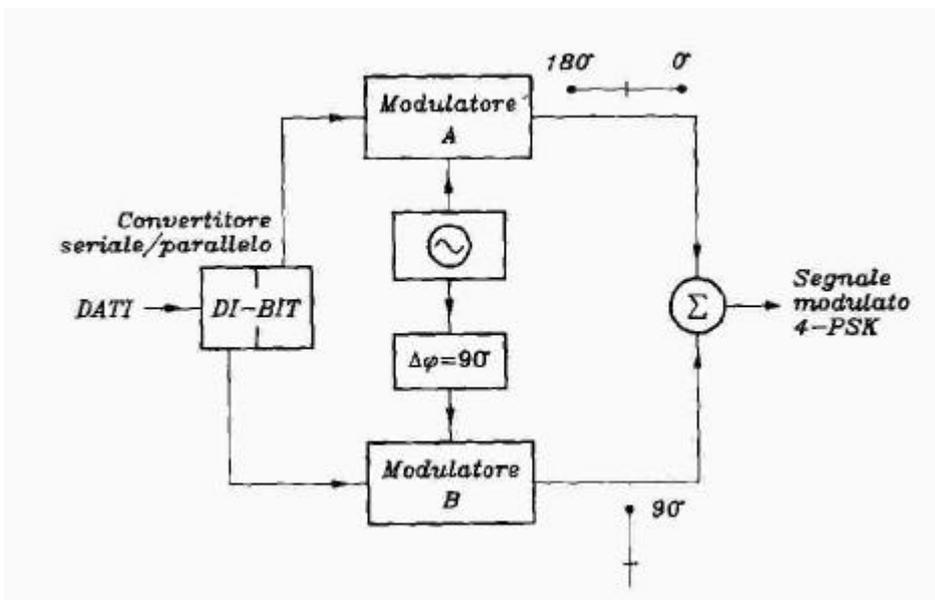
## Modulazione 4-PSK

In questa modulazione detta anche modulazione a 4 fasi, invece di attribuire una fase al bit 0 e un'altra al bit 1, i bit sono riuniti a coppie, e si assegna una fase differente ad ogni coppia. In figura due possibili schemi d'associazione diversi



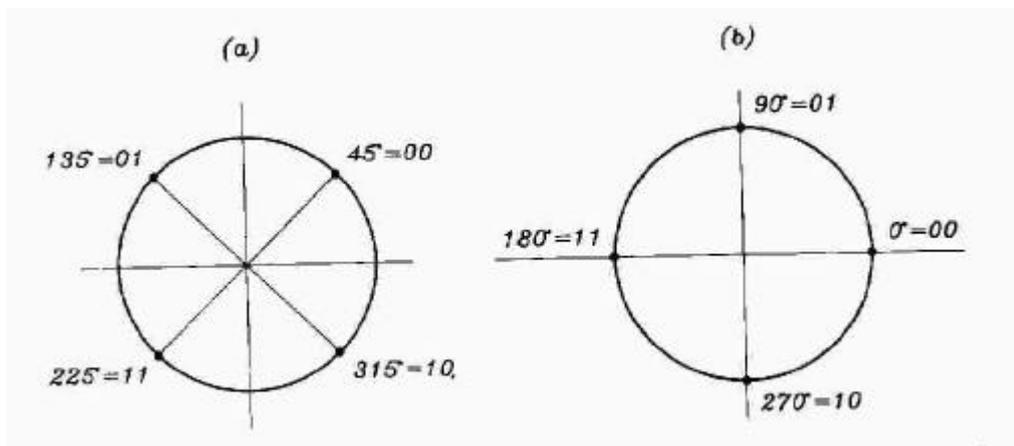
E' ovvio che la velocità di trasmissione raddoppia poiché, nello stesso intervallo di tempo, sono trasmessi due bit invece di 1.

Lo schema del modulatore è il seguente

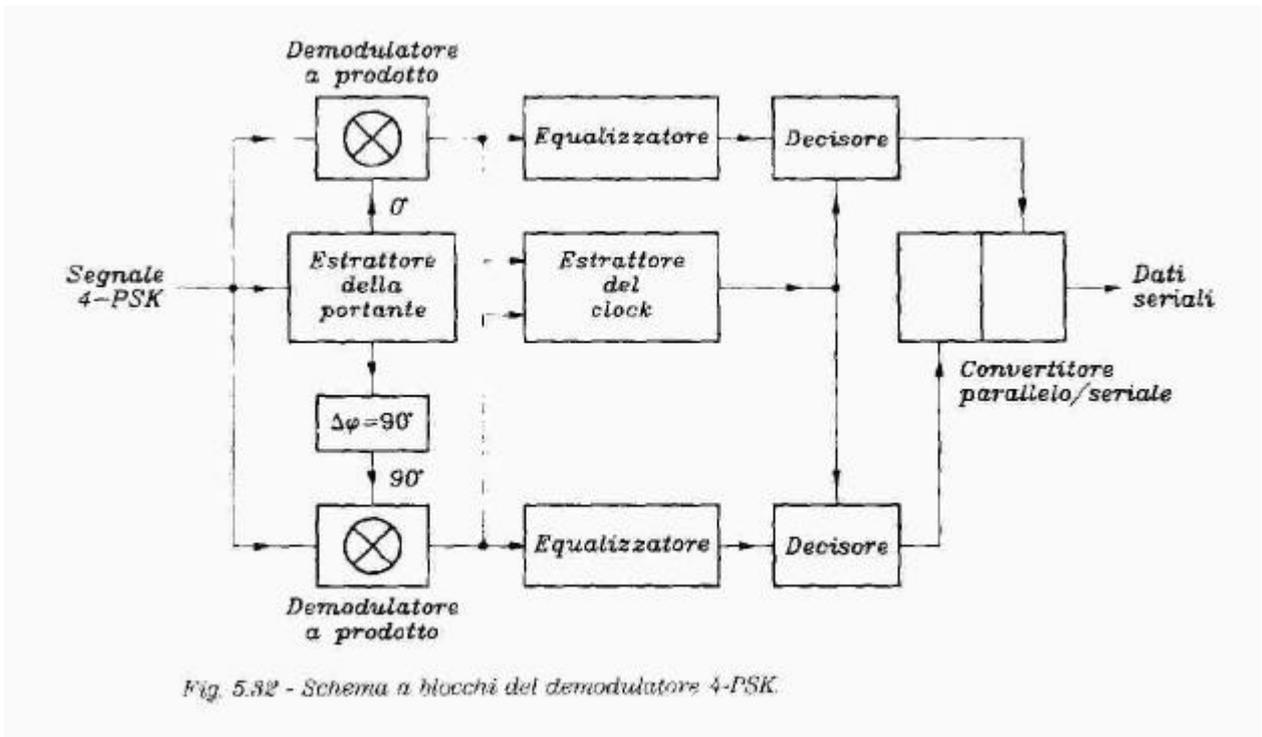


I bit raggiungono un convertitore da serie a parallelo. Il primo bit comanda il modulatore A, il secondo bit comanda il modulatore B. la stessa portante

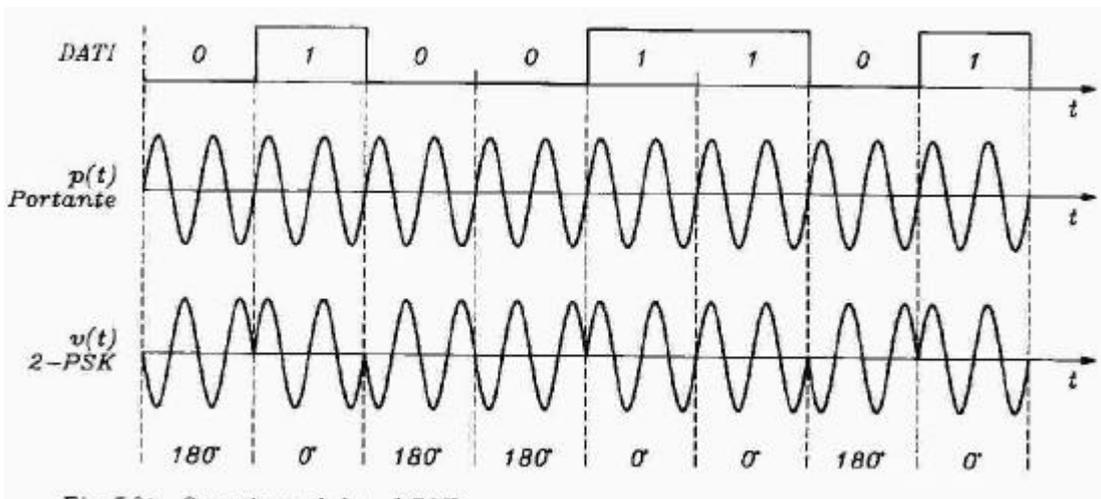
raggiunge entrambi i modulatori, però è sfasata di  $90^\circ$  prima di raggiungere il modulatore B. ciò significa che quando al modulatore A giunge il bit zero, in uscita ho la portante con fase  $0^\circ$ , mentre quando giunge il bit 1 in uscita ho la portante con fase  $180^\circ$ . Per il modulatore B, invece al bit zero corrisponde una fase di  $90^\circ$ , e la bit 1 corrisponde una fase di  $90+180=270^\circ$ . Ritorniamo allora allo schema vettoriale



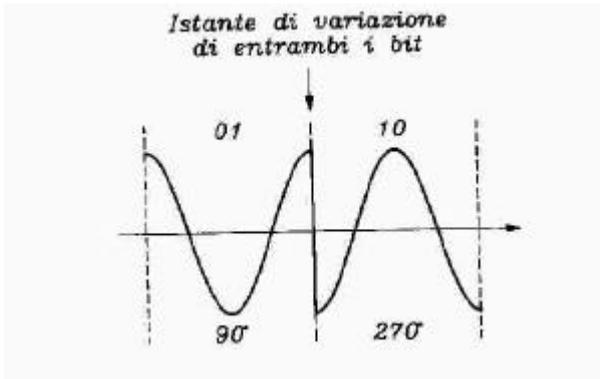
Consideriamo ad esempio quello di sinistra, se voglio trasmettere i bit 00, si ha che dal modulatore A esce un segnale sinusoidale con fase 0, rappresentabile dunque con un vettore che giace sul semiasse positivo delle ascisse, mentre dal modulatore B esce un segnale sinusoidale con fase di  $90^\circ$ , rappresentabile con un vettore che giace sul semiasse positivo delle ordinate. La loro somma vettoriale è un vettore con fase di  $45^\circ$ , per cui in uscita dal sommatore dello schema del modulatore, abbiamo una portante con fase di  $45^\circ$ . Con lo stesso ragionamento si ottengono tutte le altre fasi. Il demodulatore è semplicemente un raddoppio dello schema di un demodulatore di una 2-PSK



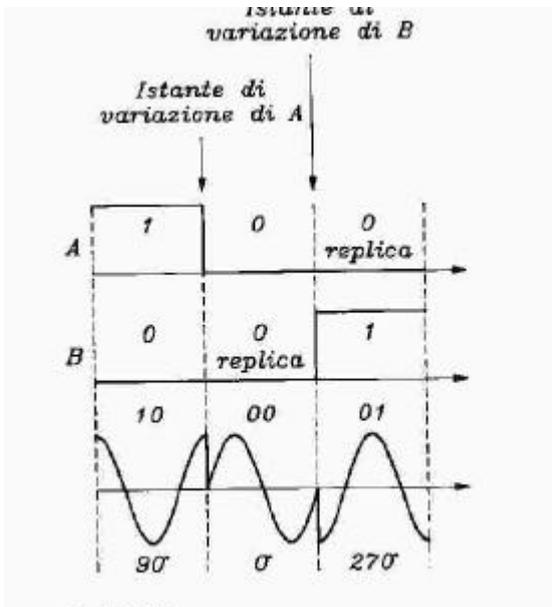
Nella modulazione 2-PSK le variazioni di fase si hanno sempre quando il segnale portante passa per lo zero



Ciò non avviene per la 4-PSK come si può vedere dalla seguente figura



Questi notevoli cambiamenti di livello della portante modulata possono causare effetti di distorsione d interferenza con i canali vicini. Per ovviare a questo problema esiste la variante denominata O-PSK Offset-PSK. Nel modulatore si fa in modo che il secondo bit, ad esempio, sia ritardato di mezzo periodo di clock, in modo che i due segnali non abbiano a variare contemporaneamente. In questo modo si ottengono variazioni di fase più graduali (vedi figura)



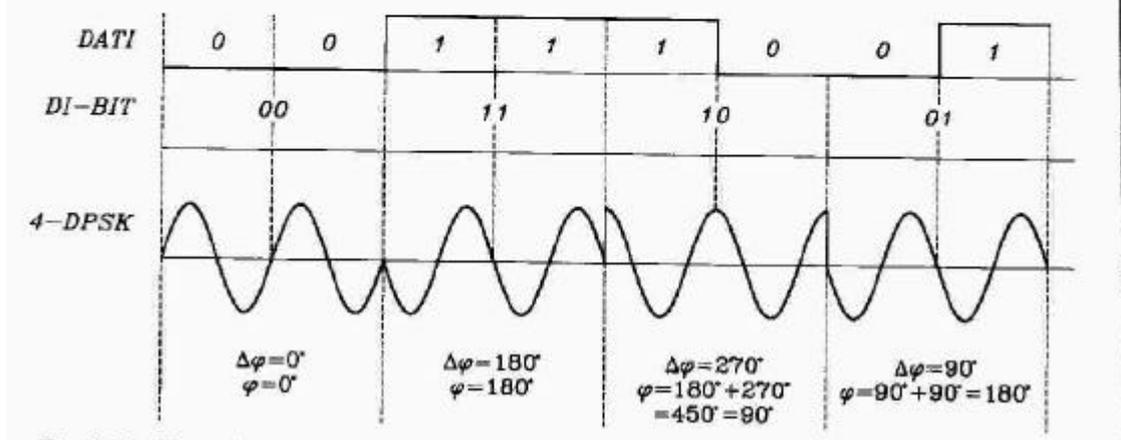
## Modulazione DQPSK

È una modulazione a fase a due bit come la 4-PSK, la differenza rispetto ad essa è che la coppia di bit non codifica la fase della portante ma la differenza di fase rispetto alla portante che codificava i due bit precedenti. (vedi figura)

Tabella 5.16 - Salti di fase nella DPSK

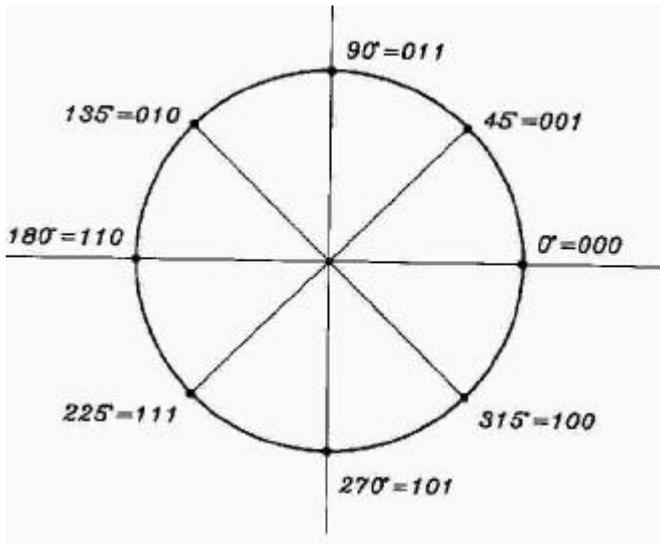
di-bit	$\Delta\varphi$ schema A	$\Delta\varphi$ schema B
00	$0^\circ$	$45^\circ$
01	$90^\circ$	$135^\circ$
11	$180^\circ$	$225^\circ$
10	$270^\circ$	$315^\circ$

Nella figura 5.35 viene riportata la forma d'onda ottenuta dalla sequenza 00111001, secondo lo schema A:



## Modulazione 8-PSK

In questo tipo di modulazione di fase i bit sono raggruppati in gruppi di tre bit che corrisponderebbero dunque a 8 combinazioni diverse. Si devono avere allora 8 fasi diverse per ogni combinazione di bit (vedi figura)



### ***Modulazioni di tipo QAM (Quadrature Amplitude Modulation)***

Queste modulazioni costituiscono una via di mezzo fra la modulazione ASK e la modulazione PSK. Supponiamo ad esempio di considerare la 16-QAM. In essa i dati sono raccolti in gruppi di 4 bit. In questo caso abbiamo 16 combinazioni possibili. Per ottenere 16 combinazioni possibili si combinano 4 fasi diverse e 4 ampiezze diverse della portante. Esiste anche la QAM differenziale in cui non s'impone una fase ma una differenza di fase rispetto al gruppo di bit precedente.