

Rivisto ed integrato CS^^ 03 2007

SITO DIDATTICO DIVULGATIVO SU TUTTI GLI ATTUALI SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI

Modulazioni digitali, multiplazioni, nuove tecniche

PROPAGAZIONE	CARTA DI SMITH	ANTENNE	GPS	LASER	FIBRE OTTICHE	BIBLIOGRAFIA
GUIDE D'ONDA	LINEE A R.F.	SEGNALI	RADAR	CELLULARI	LABORATORIO	INFORMAZIONE
MODULAZIONI	TELEVISIONE	TELEFONIA	RADIO	ESERCIZI	TELEMATICA	BACHECA LAVORO
CONTATTI	LINK UTILI	PONTI RADIO E SATELLITI			INFORMAZIONI SUL SITO	

RETE TELEFONICA

Banda lorda canale telefonico 4 KHz; netta 300 - 3400 Hz

impedenza doppino telefonico 600 ohm banda del filo di rame del doppino telefonico 2 MHz circa

La linea telefonica su rame è telealimentata a 48 V

L'apparecchio telefonico è collegato alla rete tramite una presa **tripolare** che va collegata ad una **cassetta di derivazione**, secondo lo schema seguente:

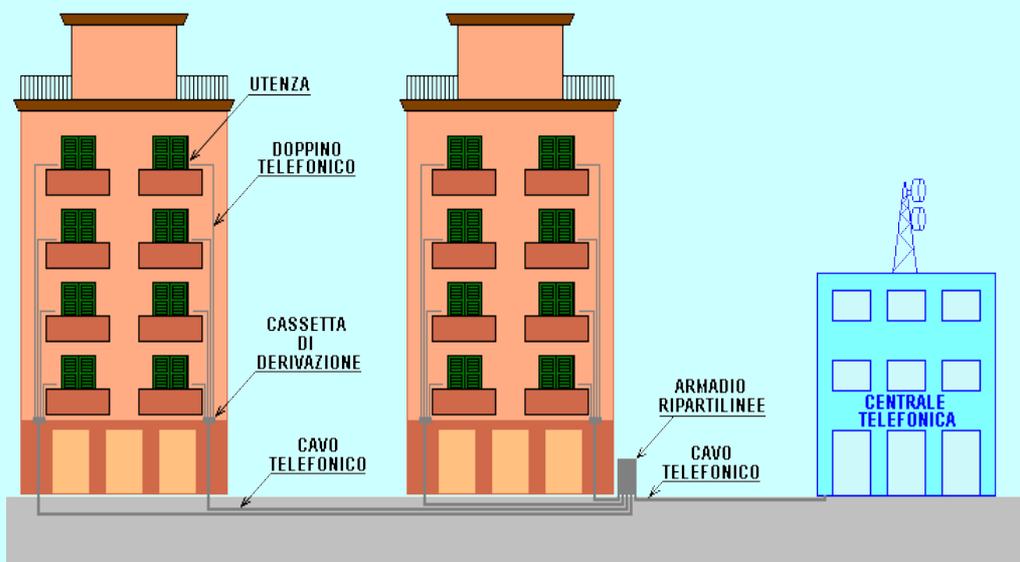


I due fori superiori servono per il collegamento dell'apparecchio alla rete esterna, mentre quello inferiore serve per effettuare **derivazioni interne**.

All'interno dei cavi telefonici i doppini sono sempre intrecciati ed il passo di intrecciamento è però diverso per ciascuno, al fine di eliminare i problemi di **diafonia**. (disturbo tra comunicazioni passanti in doppini adiacenti)

Tutti i **doppini telefonici** di vari edifici, provenienti dalle **cassette di derivazione**, vengono poi convogliati verso un unico **armadio ripartilinee** posto, di solito addossato ai piedi di un edificio, negli incroci, al centro di una zona da servire.

Dall'armadio, in cavo, si arriva infine alla **centrale telefonica urbana** più vicina tramite cavi sotterranei, secondo lo schema di figura.



2

Le centrali telefoniche sono di vario tipo e sono collegate fra loro normalmente in fibra ottica o in ponte radio con tipi di connessioni che possono essere a stella o a maglia a seconda del tipo.

I tipi di centrali principali sono:

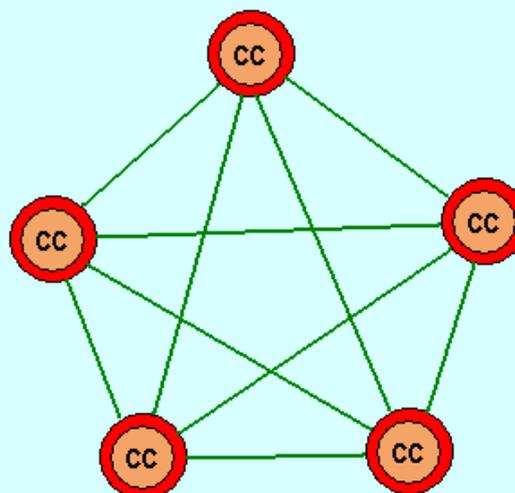
- **CENTRALE NAZIONALE**
- **CENTRALE DI COMPARTIMENTO**
- **CENTRALE DI DISTRETTO**
- **CENTRALE DI SETTORE**

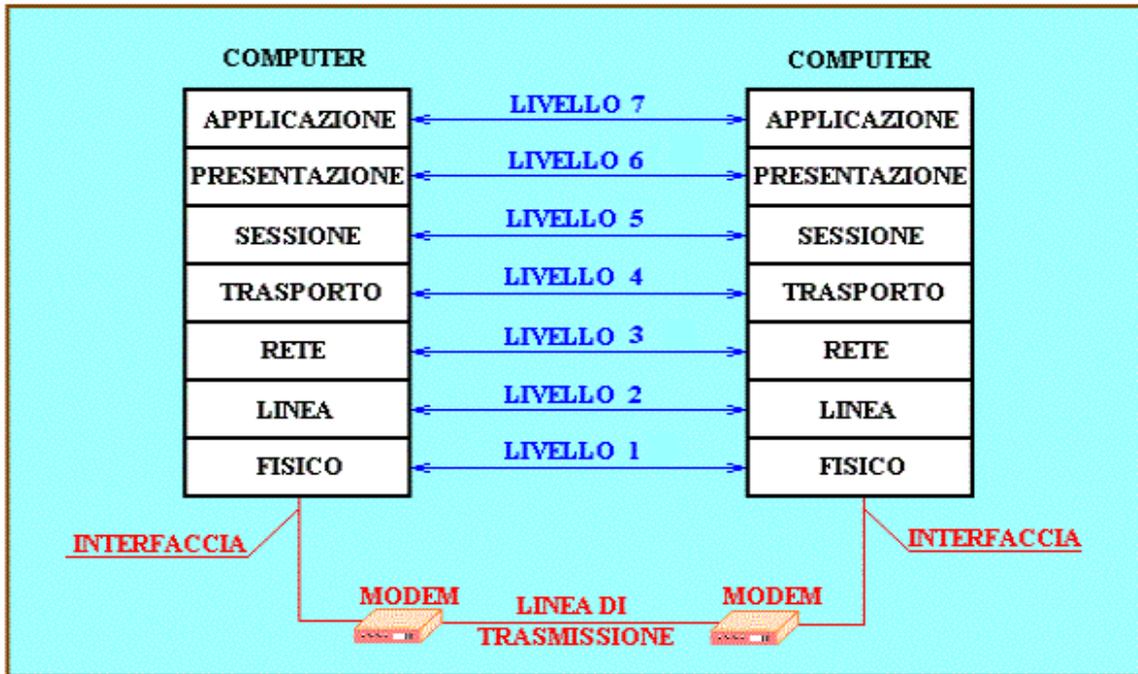
- **CENTRALE DI RETE URBANA**

Le **centrali di rete urbane**, poi, sono connesse a stella con le centrali di **settore** e queste, ancora a stella con quelle di **distretto**, e queste a stella con quelle di **compartimento**, come indicato in figura sotto.

Le **centrali di compartimento** sono connesse, al contrario delle altre, a maglia, come nella figura a destra, cioè ognuna è collegata direttamente con tutte le altre, senza passare attraverso una centrale intermedia.

Le centrali di **compartimento** sono **21**, coincidono con le capitali di **regione**, per cui ne esiste una per regione, con l'eccezione della **Sicilia** che ne ha due: **Catania** e **Palermo**.





I **PROTOCOLLI** sono una serie di norme che vanno applicate per rendere compatibili i collegamenti tra due sistemi di elaborazione dati.

A livello fisico devono quindi rendere compatibili le tensioni elettriche e le forme d'onda del **DTE** e del **DCE**, devono consentire un uguale tipo di trasmissione, cioè sincrona o asincrona, garantire le compatibilità meccaniche e funzionali tra i vari dispositivi (es. connettori)

DCE - DTE

DCE = Data Communication Equipment. Dispositivo per la comunicazione dei dati. Effettua la codifica di linea (modem in banda base) o la modulazione (modem analogico). Si intende di solito con questo termine il modem, cioè quel dispositivo in grado di consentire la comunicazione dei dati da un computer ad un altro per mezzo della linea telefonica

DTE = Data Terminal Equipment. Dispositivo terminale dei dati.

Con questa espressione si intende normalmente il **PC** o, comunque qualunque terminale in grado di trasmettere o ricevere dati, quindi dal grosso elaboratore centrale della NASA, ad esempio, al piccolo portatile connesso con modem ad internet. Nell'ambito del DTE è presente la **UCL (unità controllo linee)** che è la interfaccia (scheda) di I/O. Trasforma i dati da parallelo a seriale e viceversa e frequentemente fa la codifica di canale. (è analoga al chip 8251+RS232 od alla scheda di rete)



Oltre alla spina e presa telefonica tripolare

Rj11/Rj12 - Registered Jack tipo 11 o tipo 12

E' il nome del connettore usato per realizzare cablaggi telefonici.

E' un connettore a 4 (Rj11) o 6 poli (Rj12).

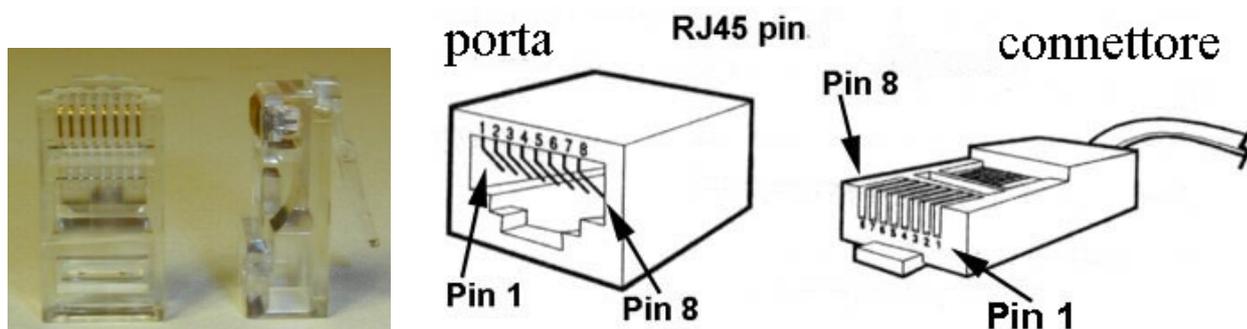
Viene usato per gli impianti analogici e normalmente solo i due connettori centrali vengono usati.

Questi portano sempre la linea.

I due connettori esterni (nel caso di un Rj11) quando usati portano la *linea di ritorno* che deve essere ovviamente gestita dal telefono/apparato in uso.

I CONNETTORI DI RETE

Un cavo di rete Ethernet 10/100/1000baseT utilizza un connettore (plug) denominato RJ45



Realizzare cavi di rete dritti ed incrociati 10/100/1000baseT

Il cavo

Il cavo è composto da 8 fili, ovvero 4 coppie arrotolate (twisted), ed è denominato **UTPcat5** (Unshielded Twisted Pair category 5).

Un cavo di rete gigabit ethernet (1000baseT) richiede un cavo UTPcat5e (enhanced) oppure CAT6.

Per un cavo 10/100baseT solo 4 fili sono effettivamente utilizzati, mentre un cavo 1000baseT utilizza tutti e 8 i fili disponibili.

Alcune considerazioni

- la lunghezza di massima di un cavo è di 100m
- non passare il cavo nel muro accanto ai fili della corrente
- il cavo dritto viene detto anche "patch" si usa tra PC ed hub layer 1 (switch layer 2, router layer 3)
- il cavo incrociato viene detto "cross" o "invertito" si usa tra PC e PC collegamento punto punto
- gli schemi riportati sotto sono per 10/100/1000baseT

Cavo dritto				
Nome	Pin	Colore	Pin	Nome
TX+	1	White/Orange	1	TX+
TX-	2	Orange	2	TX-
RX+	3	White/Green	3	RX+
BI	4	Blue	4	BI
BI	5	White/Brown	5	BI
RX-	6	Green	6	RX-
BI	7	White/Blue	7	BI
BI	8	Brown	8	BI

Cavo incrociato					(ordinati)
Nome	Pin	Colore	Pin	Nome	
TX+	1	White/Orange	3	RX+	1 White/Green
TX-	2	Orange	6	RX-	2 Green
RX+	3	White/Green	1	TX+	3 White/Orange
BI	4	Blue	7	BI	4 White/Blue
BI	5	White/Brown	8	BI	5 Brown
RX-	6	Green	2	TX-	6 Orange
BI	7	White/Blue	4	BI	7 Blue
BI	8	Brown	5	BI	8 White/Brown

MODULAZIONE

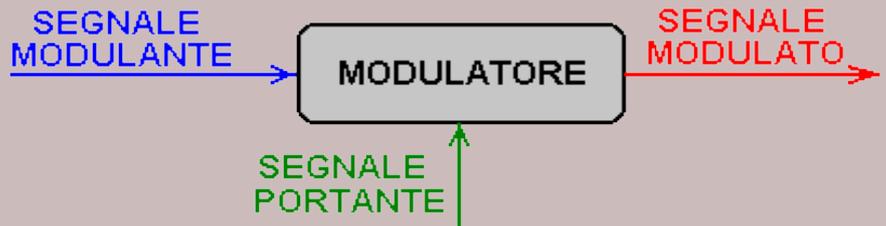
5

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 multiplexazione, 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.

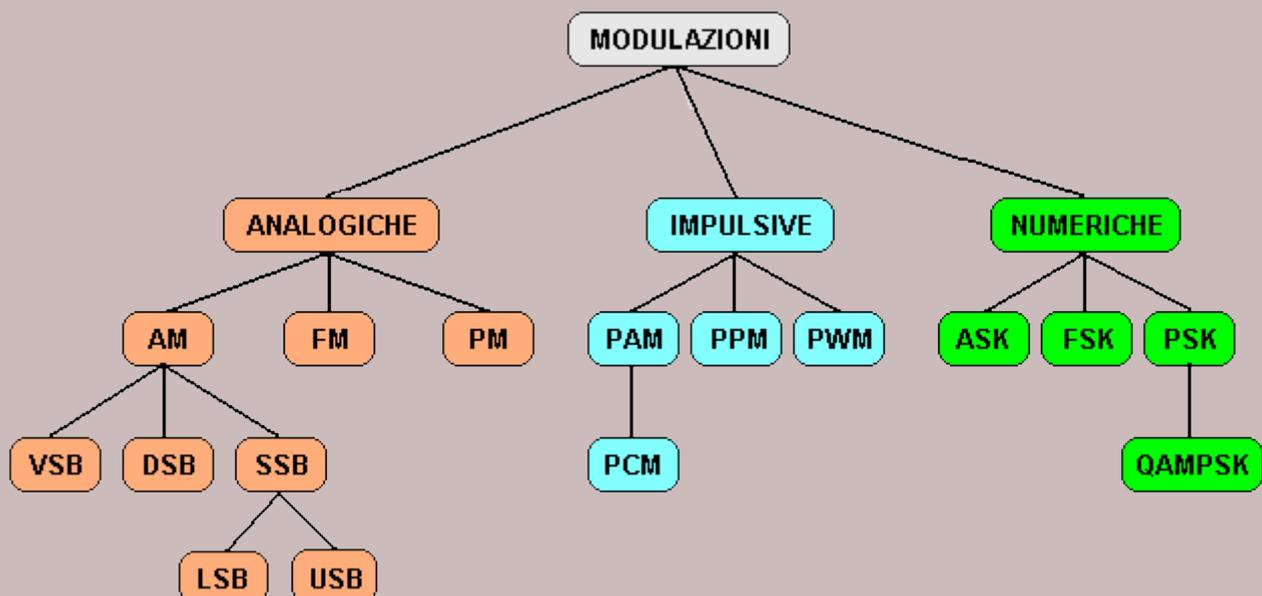


In ricezione, naturalmente, avviene il procedimento inverso ed il segnale modulato, che ha attraversato il canale di trasmissione, viene demodulato dal demodulatore, rigenerando il segnale modulante originario che contiene l'informazione.



CLASSIFICAZIONE DELLE MODULAZIONI

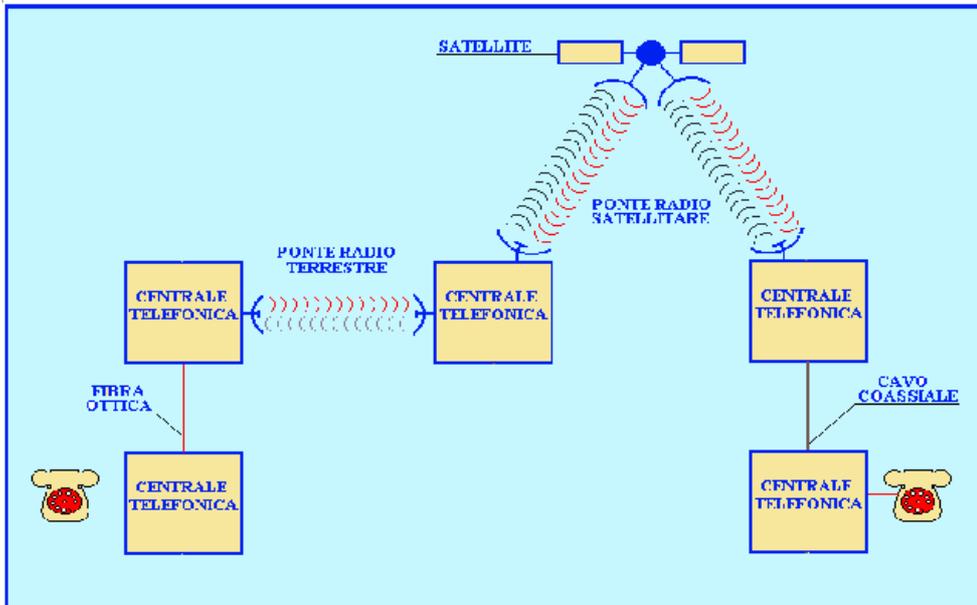
Vista la varietà e la generalità delle operazioni connesse con la modulazione, in quanto l'adattamento, per esempio, del segnale al canale si può intendere e realizzare in modi del tutto diversi a seconda che il segnale sia analogico o numerico, e che il canale sia un doppino telefonico, una fibra ottica,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



Quando si effettua un collegamento telefonico su linea commutata, l'utente non può sapere se è stata attivata una connessione per mezzo di un cavo coassiale, o di una fibra ottica, o un ponte radio, in quanto il segnale telefonico viaggia sotto forme diverse, ma mantiene sempre la stessa informazione che, immessa in linea dal primo utente telefonico, viene ricevuta intatta dal secondo utente.

E' necessario, perché ciò avvenga, che il segnale telefonico sia perfettamente adattato al mezzo di comunicazione, e ciò è possibile adattando il suo spettro e la sua forma, volta per volta al canale, proteggendolo da rumore, distorsioni, diafonia, ed altri disturbi che possano renderlo inintelligibile.

Dalla figura seguente si vede subito come due apparecchi telefonici possono essere messi in comunicazione tramite canali di tipo molto diverso, secondo quanto già spiegato precedentemente.



E' possibile anche che il tipo di canali interessati sia diverso a seconda del momento in cui si apre il collegamento, cosa che avviene quando due centrali sono collegate, ad esempio, sia in ponte radio che in fibra ottica, ed in tal caso la scelta del tipo di collegamento può avvenire in base all'intensità di traffico, o meglio, in base a quale linea risulti libera in quel momento.

PONTI RADIO NUMERICI

I ponti radio numerici sono quelli in cui la banda base è costituita da segnali digitali organizzati in una trama del tipo **PCM**

Oggi si tende sempre più a preferire i sistemi di trasmissione di tipo numerico per i numerosi vantaggi che essi hanno rispetto a quelli analogici e che si schematizzano di seguito.

- Possibilità di rigenerazione dei segnali a distanza.
- Possibilità di individuare e correggere gli errori in ricezione.
- Segretezza della trasmissione a seguito delle codifiche usate.
- Capacità di utilizzare le stesse strutture per trasmettere segnali di tipo diverso tra loro, cioè televisivi, telefonici, telegrafici, trasmissione dati, fax, ecc.
- Manutenzione semplificata per la limitatezza delle operazioni di controllo da eseguire.

Gli svantaggi nelle trasmissioni numeriche sono la maggiore larghezza di banda richiesta e la maggiore complicazione circuitale.

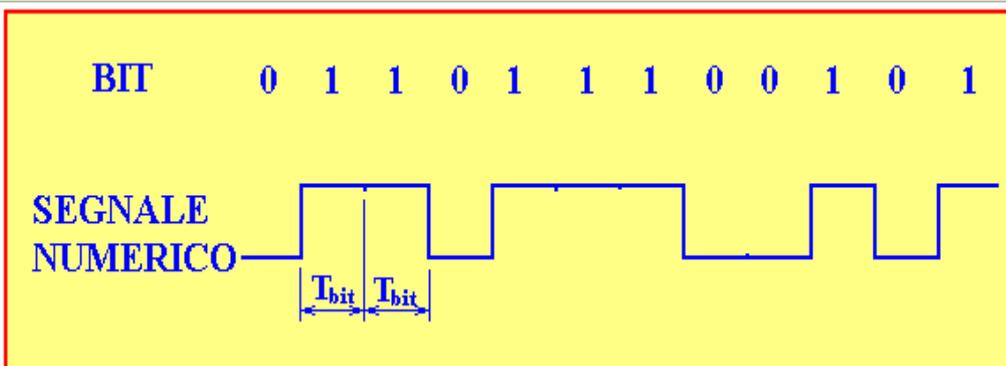
Nel complesso comunque, i sistemi numerici, considerando cioè sia i vantaggi sia gli svantaggi, risultano molto più convenienti di quelli analogici, per questo motivo quasi tutti i nuovi ponti radio sono di tipo numerico.

La modulazione **A.S.K.** è usata solo nei ponti di piccola capacità, mentre la **P.S.K.** ed ancor più la **Q.A.M. - P.S.K.** è usata in tutti gli altri casi.

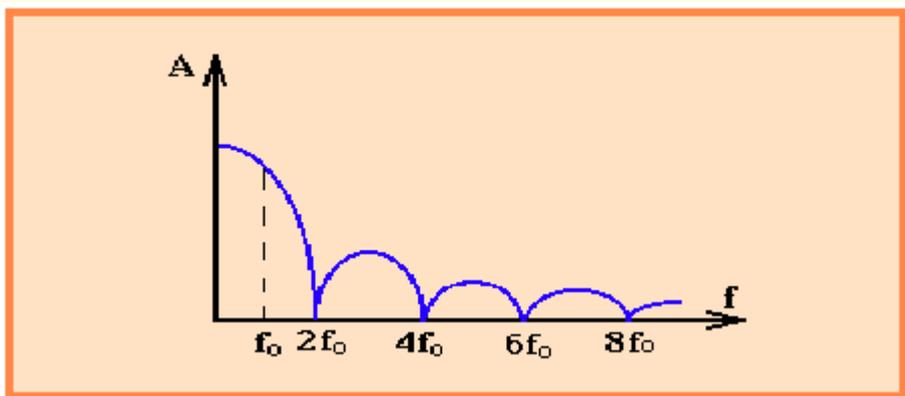
Se i dati da trasmettere via ponte radio sono di tipo telefonico, allora la centrale telefonica invia i suoi dati, ad esempio via cavo coassiale o via fibra ottica, già organizzati in tecnica **P.C.M.**, cioè già **multiplati**.

Ogni canale del **P.C.M.** di solito è codificato in **A.M.I.** (su rame) oppure in **H.D.B.3.** (su rame)

L'**informazione** che un computer gestisce si manifesta sotto forma di bit, ed i segnali elettrici corrispondenti sono numerici del tipo di quelli rappresentati nell'esempio accanto.

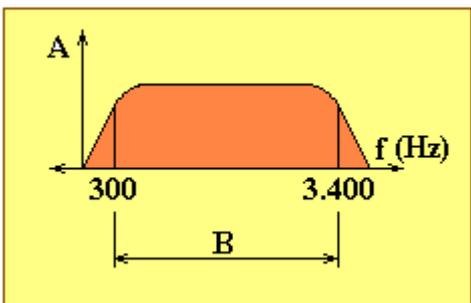


Lo studio dello sviluppo in serie e dell'integrale di **FOURIER**, però, ci dice che lo spettro di un segnale **aleatorio**, costituito da impulsi discreti rettangolari, come quello sopra schematizzato, comprende la componente continua ed ha larghezza di banda teoricamente infinita, come indicato nella figura accanto, dove la frequenza f_0 è uguale a:



$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot T_{bit}}$$

Ma la **rete telefonica nazionale**, come già detto più volte, ha una banda passante limitata, di **300 Hz – 3400 Hz, Z=600 ohm** ; per questo, un segnale del tipo indicato non può transitarvi senza, almeno, una serie indispensabile di modifiche e di adattamenti alla linea che assumono il nome di:



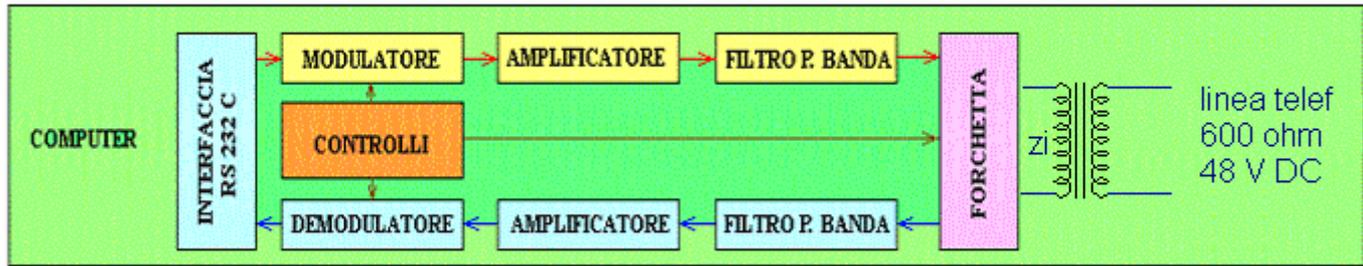
MODULAZIONI

Le modulazioni sono delle operazioni, effettuate sul segnale da trasmettere, per adattarlo alle esigenze dettate dal transito sulla linea prescelta.

Nel caso particolare dei modem fonici, le modulazioni applicate sono operazioni in cui un segnale di tipo numerico, come è quello generato da un computer, deve trasformarsi in uno analogico per transitare nella rete telefonica nazionale.

SCHEMA A BLOCCHI DI UN MODEM FONICO. DCE

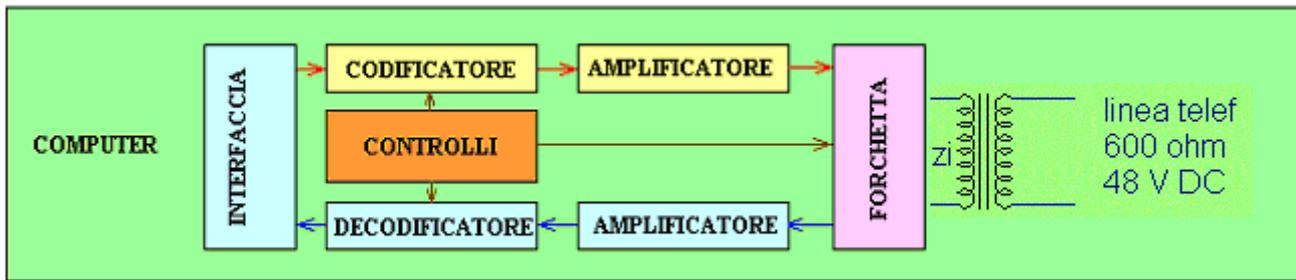
8

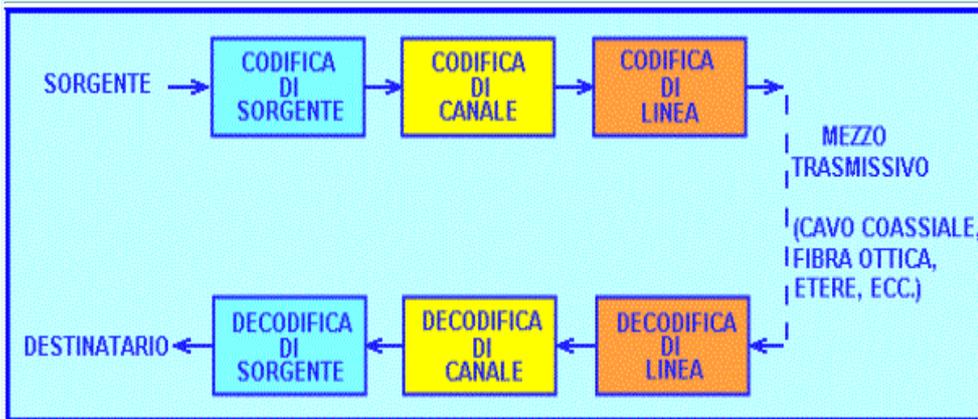


I dati numerici generati dal computer, attraversano l'interfaccia **RS 232 C** ed entrano nel modem che li trasforma in segnali analogici del tipo **FSK o PSK o QAM-PSK** poi li amplifica, li filtra eliminando i prodotti di intermodulazione generati dal modulatore, li immette nella linea telefonica attraverso la forchetta che nel caso specifico oltre che separare la linea di TX dalla RX ha un trasformatore (di linea) che blocca la continua della telealimentazione (48 V) e funziona da adattatore di impedenza ($Z = 600$ ohm impedenza della linea telefonica su doppino di rame). $Z_i = V/I_i = n^2 V_o / I_o = n^2 Z$

Questa consente ai segnali provenienti dal PC di entrare in linea senza rientrare nel modem ed ai segnali provenienti dal modem remoto, di entrare nella sezione demodulatrice del modem, senza entrare nella sezione modulazione.

SCHEMA A BLOCCHI DI UN MODEM IN BANDA BASE DCE





In un sistema di trasmissione dati si effettuano, di norma, tre tipi di **CODIFICHE**, nella fase di trasmissione, e tre corrispondenti **DECODIFICHE** in fase di ricezione, secondo lo schema indicato a sinistra:

3.2 CODIFICA DI SORGENTE livello sei ISO-OSI

La sorgente rappresenta l'informazione da trasmettere che può essere di vario tipo.

Se, ad esempio, è costituita da un testo dattiloscritto, allora colui che deve trasmetterlo, deve digitarlo alla tastiera del computer effettuando una prima **CODIFICA DI SORGENTE** convertendola da testo alfanumerico ad una sequenza di byte costituiti da otto bit ciascuno per mezzo del codice **ASCII**. **Scramblerizzazione; compressione senza perdita di dati: Huffman:zip od a perdita di dati ;lossy: JPEG mp3** In ognuno di questi casi sopra indicati l'informazione, costituita originariamente da un testo, è convertita tramite una codifica di sorgente, in una sequenza di bit, o in generale di simboli.

3.2 CODIFICA DI CANALE livello due ISO-OSI

La codifica di canale è volta a garantire che i bit da trasmettere arrivino a destinazione senza errori durante l'attraversamento del mezzo trasmissivo, ove sono sempre in agguato i disturbi di cui si è già detto.

Questo si realizza per mezzo della **CODIFICA DI CANALE** con l'aggiunta di bit (stringhe) ridondanti, cioè in più, che non contengono informazione, ma che consentono, una volta giunti a destinazione, di verificare se ci sono stati errori.

Si hanno così i **CODICI AD INDIVIDUAZIONE DI ERRORE** e, se si vuole anche correggerli, i **CODICI A CORREZIONE DI ERRORE**.

3.3 CODIFICA DI LINEA livello uno ISO-OSI

Questo tipo di codifica è necessario per adattare il segnale al tipo di linea in cui deve transitare.

Nelle centrali numeriche e nei computer i dati transitano in codice **NRZ** dove all'1 logico corrisponde il livello alto e allo 0 logico il livello basso.

Ora, nelle linee di trasmissione, siano esse il **DOPPIO TELEFONICO** che arriva a casa dell'utente, siano i **CAVI COASSIALI** o le **FIBRE OTTICHE**, non è possibile usare questo codice, perché non consente la rigenerazione della portante e perché, comprendendo una componente continua, non è in grado di attraversare i **TRASLATORI DIFFERENZIALI** delle centrali di commutazione.

Il problema della rigenerazione della portante si risolve talora con il codice **RZ**, con una transizione a metà periodo, in quanto il suo spettro contiene la frequenza della portante, ma comprende ancora una componente continua.

Quando il mezzo trasmissivo prevede lungo il suo percorso dei trasformatori che non consentono il passaggio della componente continua, allora bisogna modificare la forma del segnale in modo tale che esso non comprenda la componente continua cosa che si risolve con i codici **AMI o HDB3 o bifase**

CODICI NRZ – RZ - AMI - HDB3- bifase

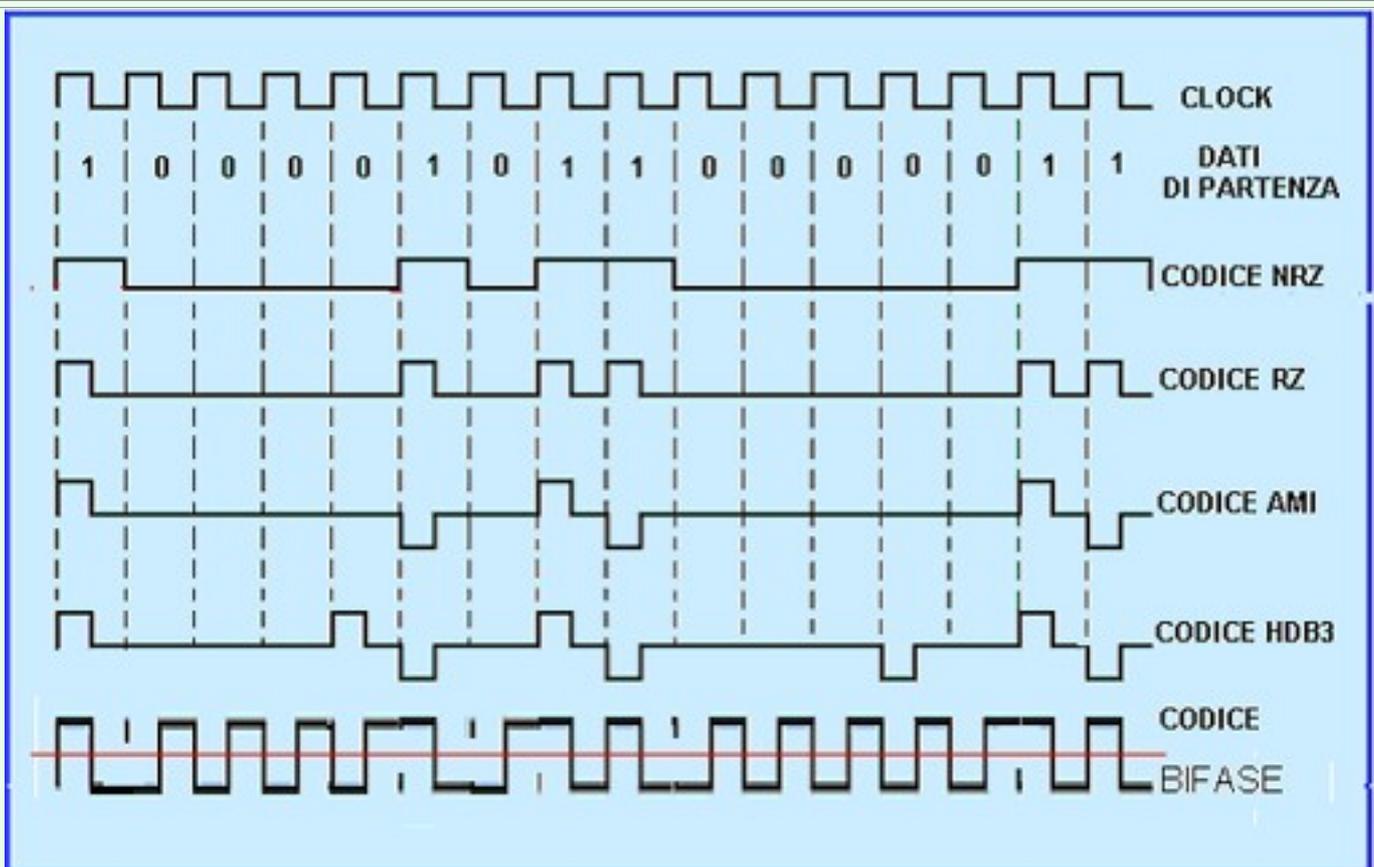
10

(**CODIFICA DI LINEA**) fatta dai modem in banda base

I dati sono generati dai computer in codice NRZ ($B= 1/Tb$), che viene poi trasformato in RZ ($B= 1/2Tb$) perché questo contiene nel suo spettro la portante consentendo, in ricezione, la sua rigenerazione

Nella codifica di linea, invece, uno dei codici più usati è il codice AMI ($B=1/2Tb$) a tre livelli in cui al bit 0 corrisponde sempre il livello 0, al bit 1 invece corrispondono alternativamente i livelli +1 e -1, in modo che il valore medio del segnale sia sempre zero.

Nel caso, inoltre che, come spesso avviene, in ricezione si debba rigenerare il clock di partenza ma si è in presenza di lunghe sequenze di zeri si usa, spesso, il codice HDB3 , anch'esso a tre livelli.



In questo, molto usato nel campo della telefonia numerica, e del quale si fa solo un cenno perché alquanto complesso, oltre a far corrispondere alternativamente +1 e -1 al bit 1 di partenza, come nel codice AMI , se sono presenti più di tre zeri consecutivi, il quarto bit zero viene rappresentato da un +1 o -1 (detto violazione) in modo da garantire la possibilità, in ricezione, di ricostruire il clock di partenza.

*Ricordare anche il codice **bifase o Manchester** ($B=1/Tb$) tipico delle reti locali di calcolatori*

il segnale microfonico di tipo analogico, viene convertito in digitale campionandolo, secondo il teorema di SHANNON, essendo la banda telefonica 4 khz, ad una frequenza di $f_c = 2B = 8$ KHz vengono quindi rilevati 8.000 campioni al secondo del segnale microfonico ed ogni campione è codificato con 13 bit ottenendo una velocità di trasmissione di:

$$v_t = 8000 \cdot 13 = 104 \text{Kbit/sec}$$

Questi bit, immessi in un codificatore /compressore vengono compressi a 13 kbit/sec senza perdere nulla nelle caratteristiche informative.

Nel tempo di 20 msec vengono costituiti dei blocchi di bit in numero di:

$$13.000 \cdot 0.02 = 260 \text{ bit}$$

durante la trasmissione in gsm, viene continuamente misurata l'intensità di campo dovuta ai vari canali e viene scelto continuamente, al variare del time slot, il canale con campo e rapporto s/n migliore.

si ottiene quindi che la frequenza di trasmissione è continuamente variabile.

Aggiungendo questa caratteristica allo scrambling, ed alla codifica, si capisce quanto nello standard gsm sia praticamente impossibile decifrare una trasmissione intercettata.

LA TEORIA DELLE COMUNICAZIONI SU RETE GSM

Le specifiche tecniche delle reti GSM sono state implementate nell'anno 1994 dal GSM Consortium in considerazione di due priorità:

- 1) Un sistema standard a livello mondiale.
- 2) Un sistema particolarmente sicuro, soprattutto per difendersi dalla clonazione degli apparati (tecnica illegale molto diffusa con i vecchi terminali analogici ETACS, detti anche di "prima generazione").

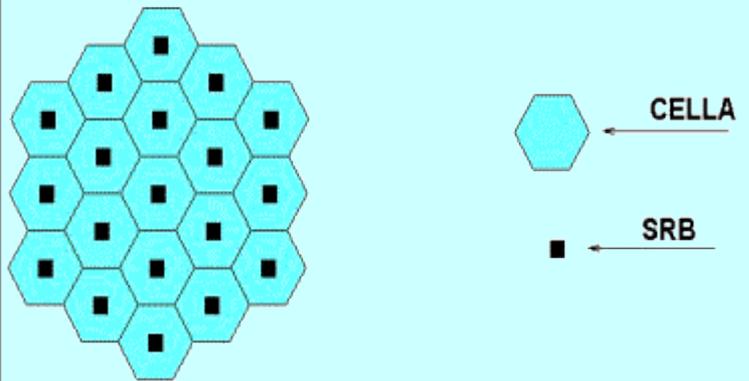
Un network GSM si compone essenzialmente di 4 sottosistemi:

- 1) MOBILE STATION (MS o terminale): una sorta di ricetrasmittitore particolarmente evoluto, il "telefonino".
- 2) BASE STATION SUBSYSTEM (BSS o "ponte"): è composta a sua volta di due elementi strutturali: la BTS (Base Transceiver Station) che si occupa di stabilire un contatto radio full duplex con il terminale GSM, e la BSC (Base Station Controller) che interagisce con la rete cellulare e con le altre BTS in zona.
- 3) NETWORK SUBSYSTEM (NS o nodo di commutazione): funziona come nodo di commutazione per una determinata zona, provvedendo altresì all'impostazione delle chiamate e alle procedure di autenticazione.
- 4) OPERATION AND SUPPORT SUBSYSTEM (OSS o "centrale"): è il "cervello" elettronico che gestisce in maniera centralizzata e computerizzata tutto il network GSM di un determinato operatore di telefonia mobile, vero cuore motore e punto nevralgico del sistema, l'unico punto dove l'intercettazione di una comunicazione GSM può avvenire all'occorrenza in maniera semplicissima e quasi immediata.

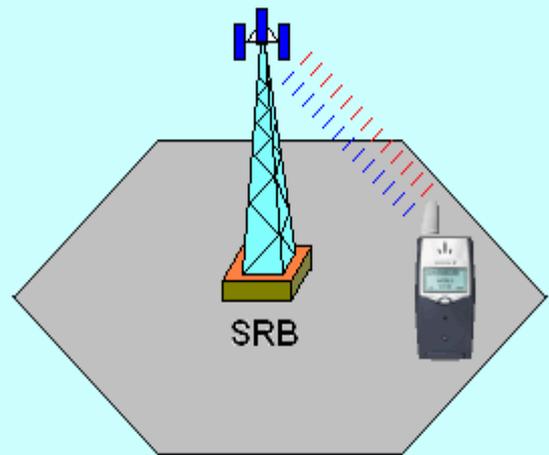
Più in avanti dettaglieremo alcune loro caratteristiche peculiari.

La superficie geografica della nazione italiana è stata suddivisa in tante aree a forma di **celle**, di solito esagonali.

DISTRIBUZIONE DEL TERRITORIO IN CELLE



Da qui il nome di telefoni **cellulari**, con al centro una **SRB** (**Stazione Radio Base**), talora detta **BTS** (**Base Transceiver Station**), che ha il compito di collegarsi a mezzo di onde elettromagnetiche con i cellulari presenti nella sua area d'azione.

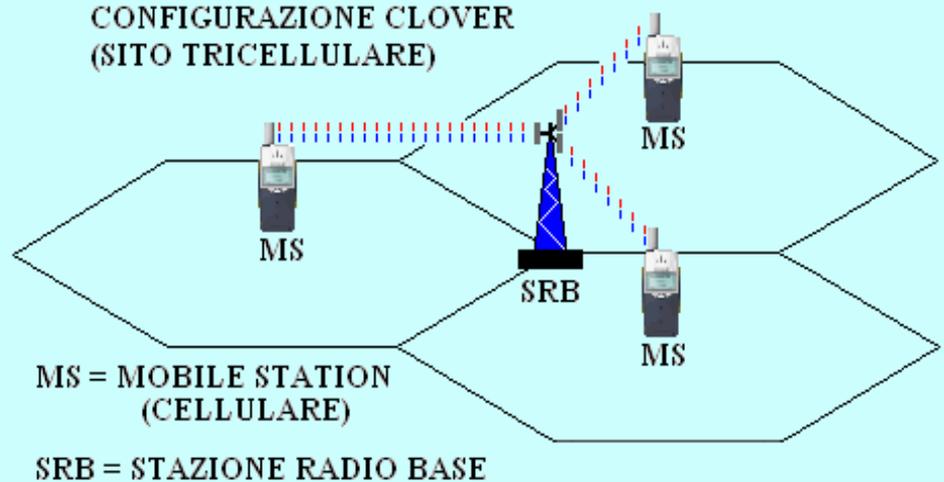


Il singolo telefono cellulare è in collegamento via radio con la **SRB** più vicina, quella che si trova al centro della sua cella.

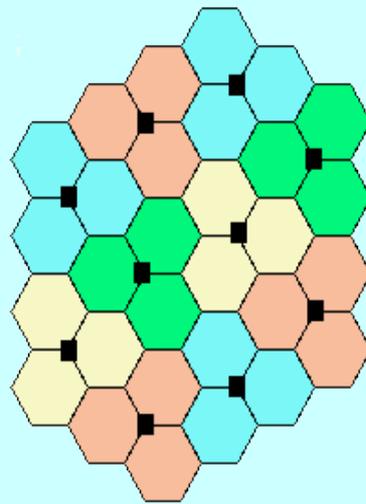
La configurazione monocellulare, con **SRB** al centro, è usata molto nelle zone poco abitate e con celle molto grandi.

Nelle grandi città si preferisce invece la configurazione clover dove una **SRB** è posta all'incrocio fra tre celle, ed i gruppi di celle sono disposti come in figura.

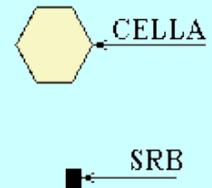
CONFIGURAZIONE CLOVER (SITO TRICELLULARE)



Esempio di SRB in configurazione CLOVER montata su traliccio

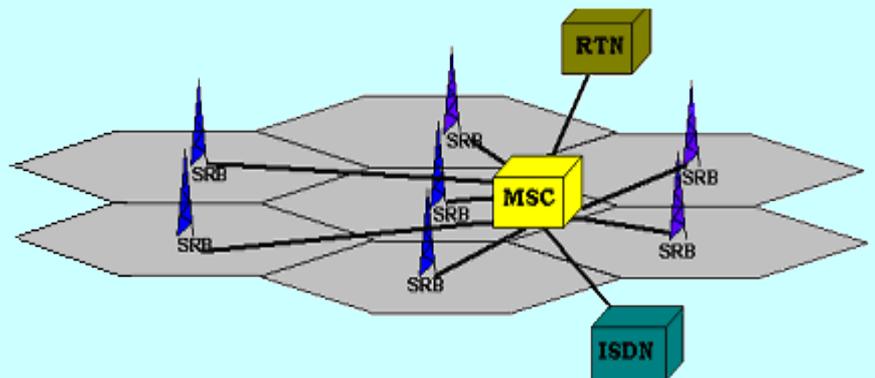


ESEMPIO DI SUDDIVISIONE DEL TERRITORIO IN GRUPPI DI TRE CELLE

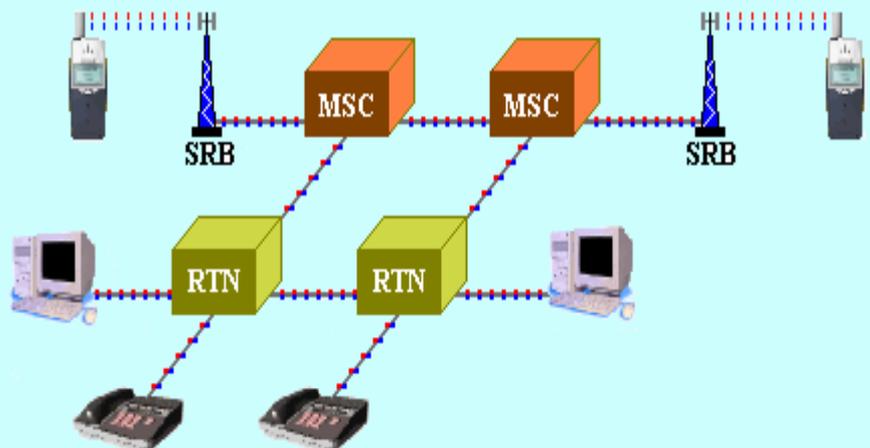


Tante SRB disposte su celle adiacenti sono collegate di norma a stella con cavi in fibra ottica con un centro di servizio e commutazione digitale, detto MSC (Mobile service Switching Center) che ha il compito di ricevere le chiamate dei cellulari che le SRB gli inviano, e di commutarle, cioè inviarle alla RTN (Rete Telefonica Nazionale) o alla rete ISDN (Integrated Service Digital Network) cui sono collegati direttamente.

Nel disegno qui accanto si vede un esempio di una MSC cui fanno capo 7 SRB in configurazione monocellulare ad essa collegate tramite fibra ottica



In questo modo ogni singolo cellulare può essere messo in collegamento con qualsiasi apparecchio telefonico della rete telefonica nazionale ma anche con qualsiasi altro cellulare o con un PC.



E' possibile trasmettere dei simboli diversi non scelti fra due tipi soltanto, ma fra molti.

*Questo metodo assume il nome di **CODIFICA MULTILIVELLO**, anche se non sempre sono trasmessi effettivamente livelli diversi di tensione, ma spesso semplicemente un numero di caratteri, diversi tra loro, maggiore di due.*

*L'informazione connessa alla scelta fra due soli livelli è di un bit, ma se la scelta avviene fra **M** simboli diversi ed equiprobabili, l'informazione è:*

$$Q = \log_2 M$$

*La massima velocità di modulazione, cioè di trasmissione di simboli al secondo, in un canale di banda passante **B** è, secondo il criterio di Nyquist:*

$$v_b = 2 \cdot B$$

*Ma, se ogni simbolo pervenuto a destinazione è scelto fra **M**, allora l'informazione ottenuta a destinazione, nello stesso periodo è:*

$$v = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

*Questa **v** si chiama **VELOCITÀ DI TRASMISSIONE** o **BITRATE** (frequenza di cifra), si misura in **Bit/sec bps** e, come si vede, è maggiore o, tutt'al più uguale alla **VELOCITÀ DI MODULAZIONE** $v_b=1/T_b$ o **BAUDRATE** (frequenza di simbolo **fs**) che, invece, si misura in **simboli/sec**.*

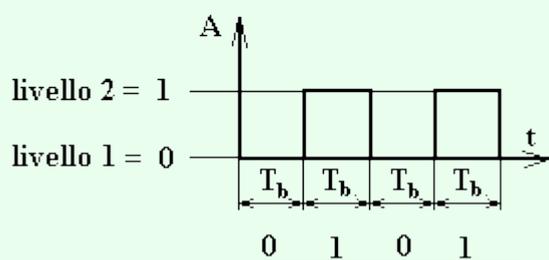
*Precisamente, se i livelli o i simboli sono più di due, il **BITRATE** risulta maggiore del **BAUDRATE** e, se i livelli sono eguali a **M**, la formula che lega queste due grandezze è: frequenza di cifra $f_c=v$ velocità di trasmissione dei dati bit rate **bps***

frequenza di simbolo $f_s = v_b = 1/T_b$ baud rate frequenza di cifra $f_c = v$ bps

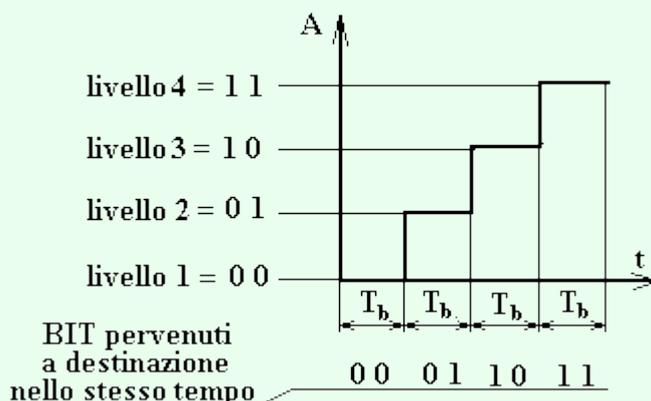
$$v = v_b \cdot \log_2 M$$

Supponiamo, ad esempio, di usare un codice in cui si trasmettono quattro livelli diversi di tensione invece di due, in questo caso per ogni livello in arrivo l'informazione sarà di due bit e non di uno solo.

CODICE A DUE LIVELLI



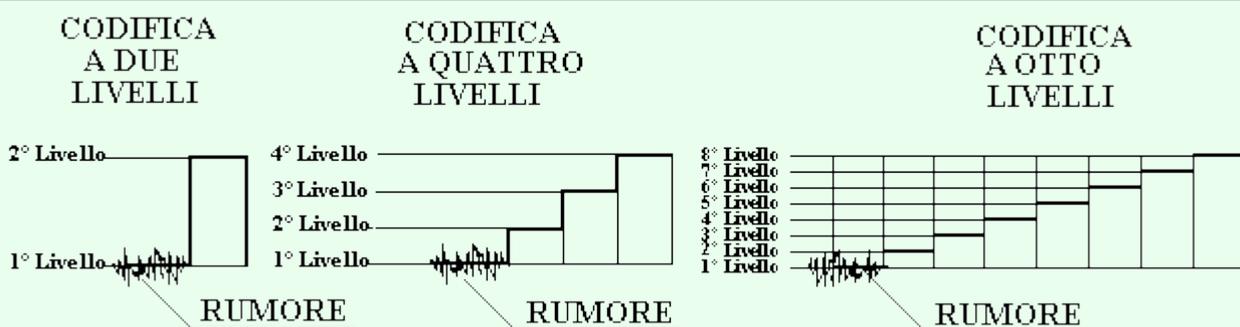
CODICE A QUATTRO LIVELLI



Infatti per distinguere quattro combinazioni sono necessari due bit, e poiché il tempo di arrivo di un livello di tensione è sempre lo stesso, perché determinato dallo stesso criterio di **NYQUIST**, otterremo che, mentre la velocità di modulazione rimane la stessa, la velocità di trasmissione invece raddoppia.

In questo modo, aumentando il numero dei livelli di tensione, è possibile aumentare la quantità di informazione che perviene a destinazione nello stesso tempo.

Ma aumentare il numero dei livelli, a parità di tensione massima, comporta che il singolo livello diventi sempre più piccolo, finché in ricezione non sia più distinguibile dal rumore, sempre presente, come indicato nel disegno seguente in cui si fa un esempio di codifica a due, a quattro e a otto livelli.



Esiste dunque un limite all'aumento dei livelli dettato, analiticamente da una formula, detta di **SHANNON**:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

In questa formula, **C** è detta **CAPACITÀ DI CANALE**, si misura in **BIT AL SECONDO**, ed indica la massima velocità teorica di trasmissione dei bit oltre la quale in ricezione essi vengono confusi con il rumore;

B indica la larghezza di banda del canale in esame e si misura in **Hz**; **S** è la potenza del segnale e si misura in **Watt**; **N** è la potenza del rumore e si misura in **Watt**;

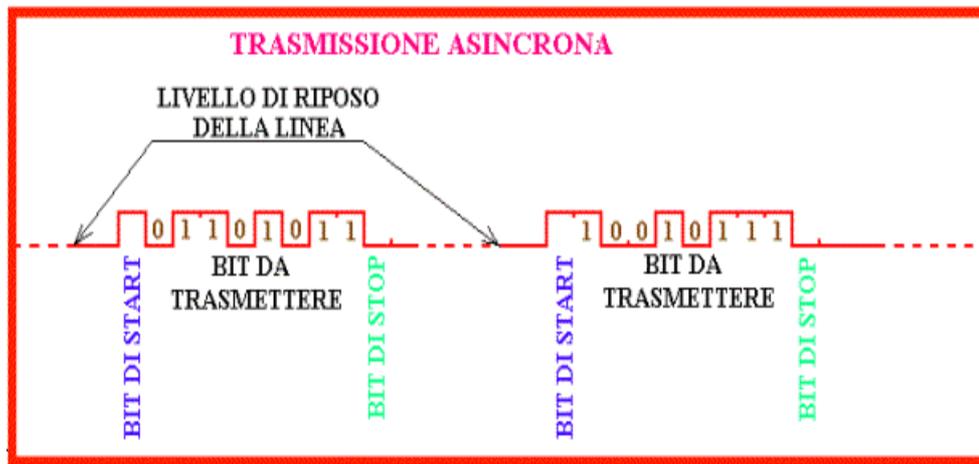
S/N è il **RAPPORTO SEGNALE / RUMORE** ed è **dimensionale** (di solito è espresso in **dB** ed occorre antitrasformarlo).

Si definisce **BER (Bit Error Rate)** il rapporto fra i bit pervenuti errati e i bit trasmessi

Si ricorda che per potere ricostruire il segnale digitale è sufficiente che il mezzo trasmissivo faccia passare la prima armonica cioè $B = 1/2T_b$. Sotto questa condizione non si verifica la distorsione di intersimbolo che consiste nell'anticipo o ritardo temporale tra segnali di bit adiacenti con relativa errata lettura

Mezzo trasmissivo non distorcente

$|F(j\omega)|=k$ cioè attenuazione costante a tutte le frequenze; ritardo temporale t_r per tutte le armoniche di un segnale che attraversano il mezzo trasmissivo costante fase $\phi = \omega \cdot t_r$ da cui $t_r = \phi / \omega = \text{costante}$



In questo tipo di trasmissione, i dati da trasmettere sono organizzati in caratteri isolati che sono immessi in linea separatamente ed in istanti diversi.

Il carattere, di solito è composto da 8 bit.

Il bit di start, all'apertura del collegamento, toglie la linea dalla posizione di riposo, che di solito è costituita dalla tensione zero, mentre il bit di stop lo rimette in condizione di riposo, alla chiusura del collegamento, secondo quanto schematicamente indicato in figura.

Questo tipo di trasmissione, se gode delle caratteristiche della semplicità, non è certamente il più rapido, in quanto ogni 8 bit ne deve aggiungere 2, soltanto per consentire la trasmissione che si appesantisce e rallenta del 25%.

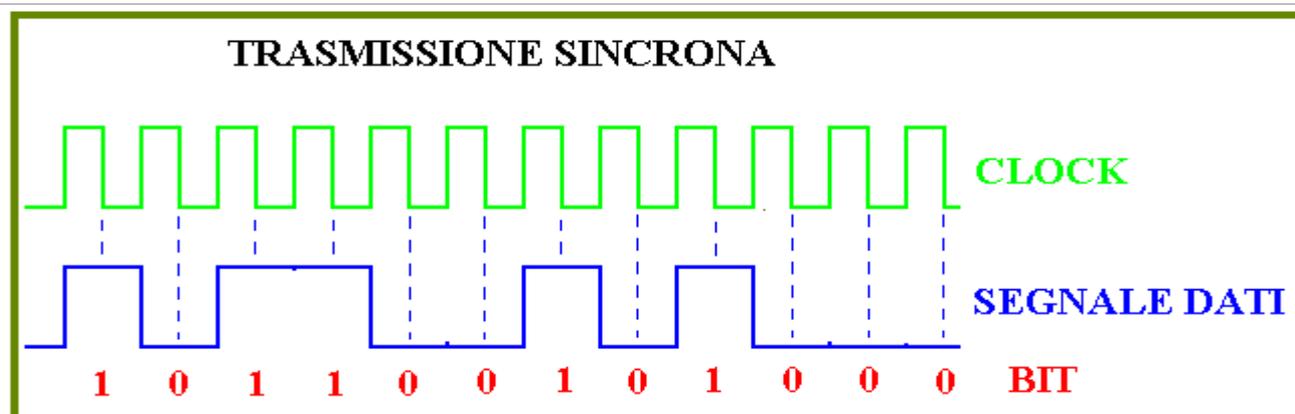
Inoltre, poiché non si trasmette il **CLOCK**, il sincronismo in ricezione sarà realizzato tramite la creazione di un clock locale che scatta alla ricezione del bit di start e che consente l'interpretazione dei dati ricevuti.

Prima del bit di stop può essere presente il bit di parità; di solito si trasmette come primo bit dati il LSBit

La trasmissione asincrona seriale via RS232 (è il connettore) avviene tramite codifica NRZ bipolare dove a 0 logico corrispondono per i dati +12 V ed a 1 logico per i dati -12 V. I controlli sono in logica diretta a riposo la linea è a -12V.

TRASMISSIONE SINCRONA

Nella **TRASMISSIONE SINCRONA**, viene generata **una portante numerica**, cioè un **clock**, di solito all'interno del modem, per sincronizzare la trasmissione dei dati, in modo che al fronte di discesa del clock corrisponda il centro del bit trasmesso ed al fronte di salita l'inizio o la fine del bit come indicato schematicamente in figura. (Nelle trasmissioni sincrone viene effettuata la codifica di lineadetta anche "modulazione" in banda base: AMI, Bifase



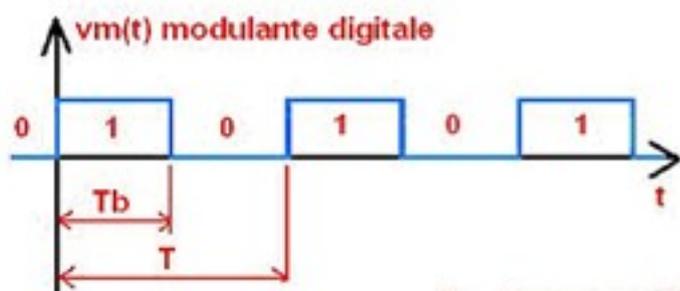
La portante numerica detta il tempo di bit T_{baud} indicando con il suo fronte di discesa, l'istante in cui effettuare il test in ricezione per paragonare il segnale in ricezione con metà del livello del bit per consentirne l'interpretazione.

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 e la portante di tipo analogico (banda stretta) e sono impiegate nella trasmissione dati fra modem, nei ponti radio, nei cellulari, nei collegamenti via satellite.

Essenzialmente sono le seguenti:

- ASK (Amplitude Shift Keying) => Modulazione d'ampiezza (deriva dall'AM)
- FSK (Frequency Shift Keying) => Modulazione di frequenza (deriva dalla FM)
- PSK (Phase Shift Keying) => Modulazione di fase (deriva dalla PM)
- DPSK (Differential Shift Keying) => Modulazione di fase (deriva dalla PM)
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation) => Modulazione mista di ampiezza e fase



Tb tempo di Baud

$1/Tb = fs = vb$ frequenza di simbolo, baud rate simboli/s

T periodo

f modulante $f_m = 1/T = 1/2Tb = vb/2$ Hz

fc frequenza di cifra

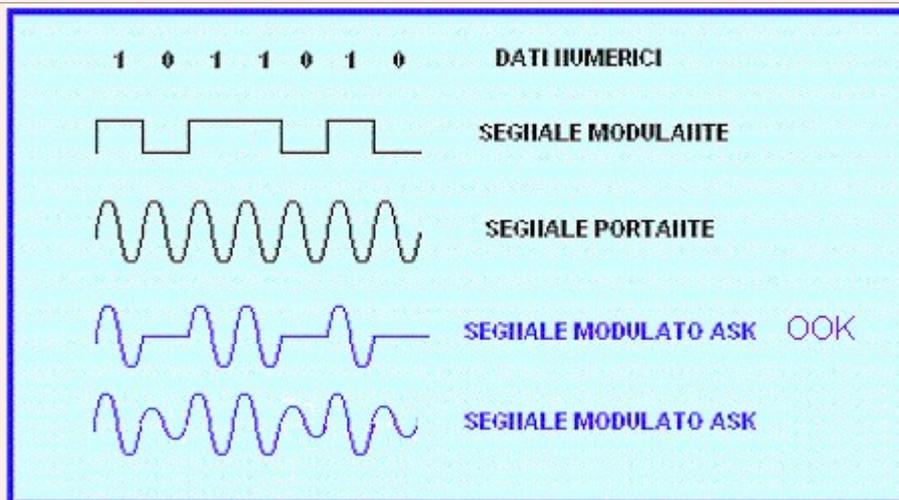
$v = fc$ frequenza di cifra cioè velocità di trasmissione dei dati, bit rate bps

nel caso di trasmissione a $M=2$ livelli $fc = fs$ bit rate = baud rate

nel caso di M livelli: $v = fc = \log_2 M / Tb = 2 f_m \log_2 M = vb Q$

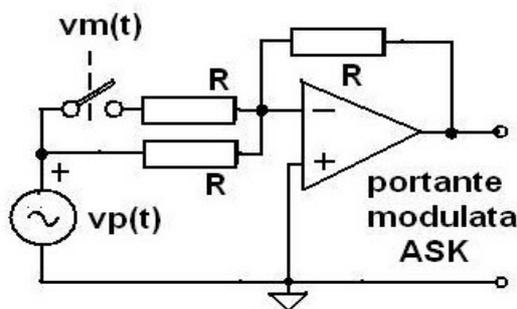
$\log_2 M = n^\circ$ bit, quantità informazione Q

Nella ASK/OOK 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.



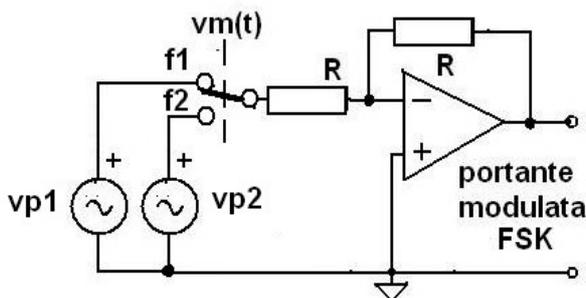
Questo tipo di modulazione, di facile realizzazione sia nei modulatori sia nei demodulatori, è stata usata sempre nelle telescriventi e in qualche tipo di ponte radio a breve distanza.

Purtroppo è molto sensibile al rumore, per questo oggi è utilizzata poco, nonostante sia stata impiegata per prima. Il passaggio da segnale a niente segnale provoca ulteriori armoniche che allargano la banda; si preferisce allora avere due diversi livelli di segnale che non siano nulli. La banda occupata è $B=2fm = 1/Tb = Vb$

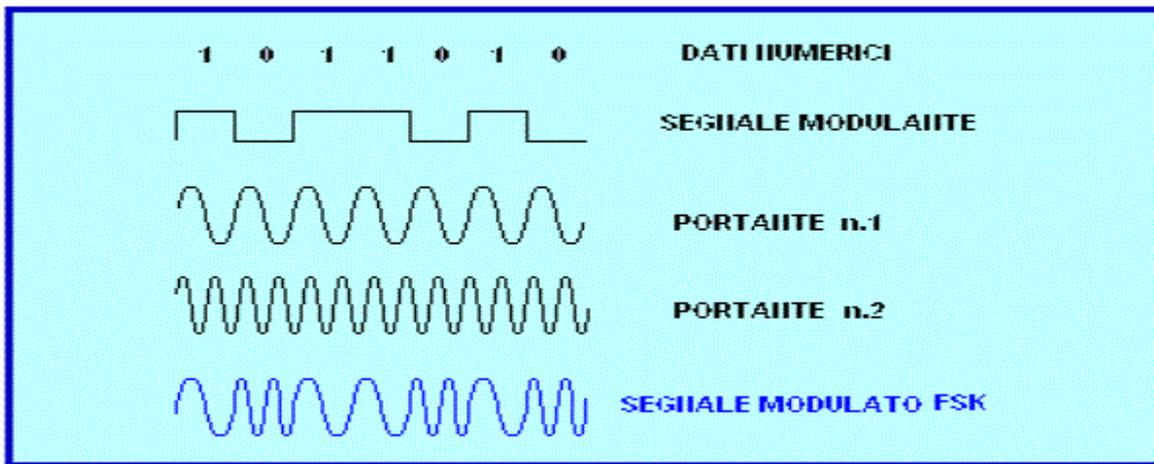


Schema di principio di un modulatore ASK $vm(t)$ = modulante digitale $vp(t)$ = portante analogica

MODULAZIONE FSK



Schema di principio di un modulatore FSK $vm(t)$ = modulante digitale $f1$ $f2$ frequenze cui si garantisce la continuità di fase per ridurre la banda occupata



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.

Ad esempio all'uno logico può essere assegnata una frequenza f_A mentre allo zero una frequenza f_B che solitamente è di valore maggiore rispetto f_A .

La scelta delle due frequenze deve essere fatta in modo da realizzare il migliore compromesso tra quattro diverse esigenze: limitare l'occupazione della banda; ottenere una sufficiente separazione tra le due frequenze in modo da evitare l'interferenza intersimbolica; mantenere il periodo relativo alle due sinusoidi minore o uguale alla frequenza di bit dell'informazione digitale e mantenere una continuità di fase nelle variazioni di stato.

Quest'ultima condizione, assolutamente necessaria, è richiesta per il corretto funzionamento del circuito di demodulazione, il quale, essendo solitamente costituito da un rivelatore di passaggio per lo zero, deve essere in grado di identificare con massima precisione il salto di frequenza.

L'indice di modulazione della FSK può essere ricavato elaborando la formula dell'indice di modulazione della FM in questo modo:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{\Delta f}{v_b/2} = \frac{f_B - f_A}{v_b}$$

Dove: $\Delta f = (f_B - f_A)/2$ è la deviazione di frequenza; f_m la frequenza massima della modulante e $v_b = 1/T_b = 2f_m$ [bit/sec] la velocità del segnale digitale. (baud rate)

Le frequenze f_A ed f_B sono state standardizzate dalle organizzazioni internazionali di normalizzazione in modo da permettere la comunicazione tra apparati modem prodotti dalle diverse aziende elettroniche. Ad esempio sono molto conosciute le raccomandazioni V.21 e V.23 dell' ITU-T

Con $m=0,66$ si ottiene un giusto compromesso tra larghezza di banda e rischi di interferenza tra f_B ed f_A da cui $B=2\Delta f = m f_m = 2 * 0,66 * v_b / 2 = 0,66 v_b$ (banda minore che con ASK)

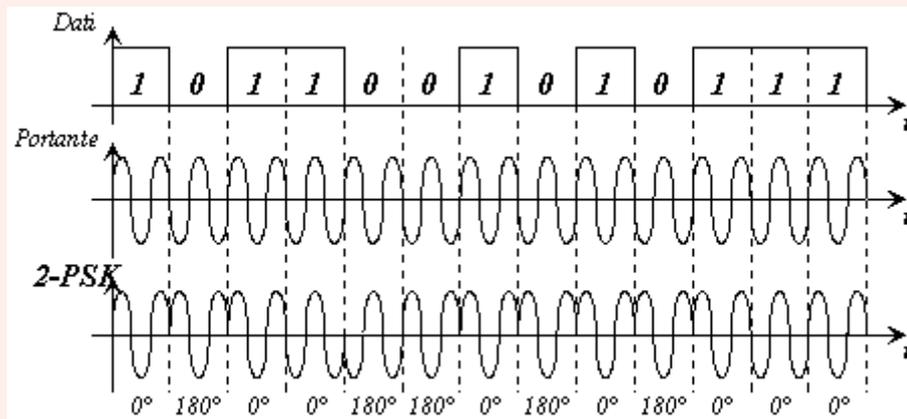
Questo tipo di modulazione è stata usata nei primi modem analogici , V21 e V23 molto lenti rispetto a quelli odierni, ed è tuttora usata nei ponti radio e nelle trasmissioni fra cellulari del tipo GSM. Il prefisso V indica trasmissione dati su mezzi analogici X su mezzi digitali

La modulazione PSK è una modulazione digitale di fase direttamente derivante dalla PM analogica. Nella PSK la portante è trasmessa con valori di frequenza e ampiezza costanti, mentre ciò che viene variato in relazione all'informazione digitale modulante è il valore della fase. La modulazione digitale di fase può essere applicata in vari modi, il più semplice è quello denominato **2-PSK** (o B-PSK - bipolar PSK) ma si utilizzano molto spesso anche la **2-DPSK**, la **4-PSK**, la **4-DPSK**, la **8-PSK** e la **8-DPSK**, ognuna delle quali può essere realizzata a sua volta con diverse modalità.

MODULAZIONE 2-PSK:

Nella modulazione 2-PSK la portante mantiene valori costanti per ampiezza e frequenza, ma assume due valori di fase a seconda del valore logico del bit del segnale modulante. Per garantire la massima protezione dal rumore e dalle interferenze vengono scelti i due valori di fase estremi *0gradi* e *180gradi*. L'assegnazione di questi valori si può effettuare, ad esempio, in questo modo:

Bit	sfasamento	Bit	sfasamento
1	0 gradi	0	180 gradi

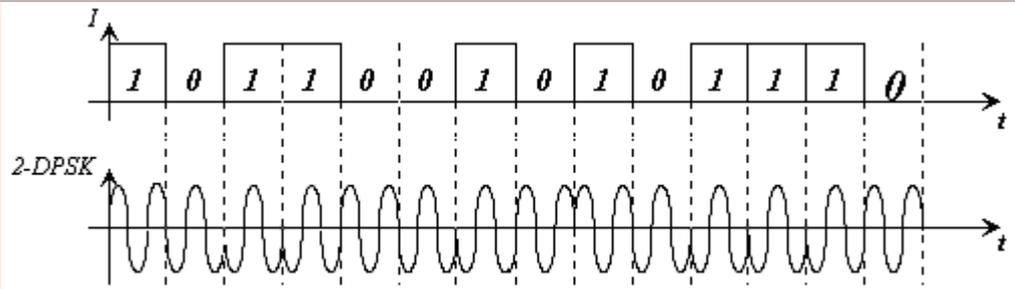


Nel caso in cui il canale trasmissivo sia anche leggermente distorto in fase la modulazione 2-PSK non è utilizzabile e quindi si ricorre alla modulazione di fase differenziale (2-DPSK).

MODULAZIONE 2-DPSK:

Nella modulazione DPSK il valore logico del bit (0 o 1) provoca un salto di fase $\Delta\phi$ rispetto alla fase assoluta del bit precedente. L'assegnazione dei salti di fase ai simboli logici può essere così effettuata:

Bit	$\Delta\phi$	salto di fase	Bit	$\Delta\phi$	salto di fase
1	180	gradi	0	0	gradi



La velocità di trasmissione ottenibile con questo tipo di modulazione (efficienza di banda) è pari a circa 1 bit/sec per ogni Hz di banda disponibile ed è per questa ragione che si ricorre spesso alla codifica multilivello. La banda occupata è $B=vb$ (analoga alla ASK)

MODULAZIONE QAM PSK

21

Per aumentare la velocità di trasmissione dell'informazione, mantenendo costante la velocità di modulazione, invece di trasmettere solo due valori angolari, 0° e 180° , 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.

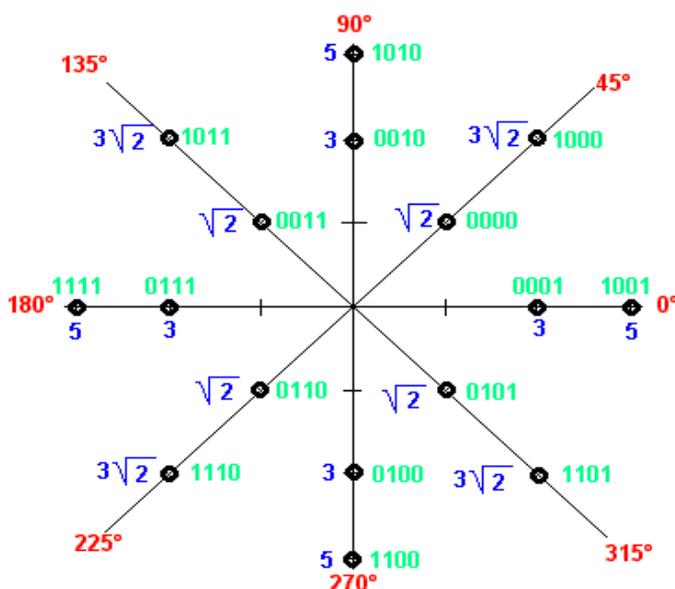
Questo tipo di modulazioni è usato soprattutto nel campo dei modem, ma anche dei ponti radio, delle trasmissioni satellitari.

*A parità di banda occupata $B= vb$ cresce la velocità di trasmissione di dati pari a vbQ
 Q quantità di informazione= $\log_2 M$*

MODULAZIONE 16 QAM PSK

COSTELLAZIONE PER LA MODULAZIONE 16 QAMPSK

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



I 16 simboli della modulazione sono costituiti da due gruppi di 8 ciascuno

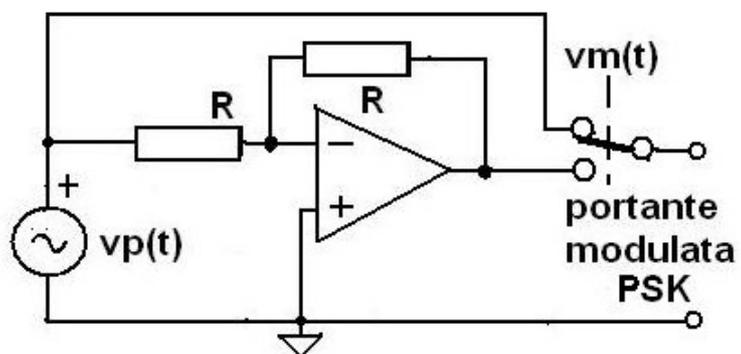
La modulazione 16 QAM PSK, è una modulazione numerica di ampiezza e fase a 16 livelli diversi.

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 sinusoide con fase scelta fra: 0° - 90° - 180° - 270° e ampiezza 3V oppure 5V;
 un tratto di sinusoide con fase scelta fra: 45° - 135° - 225° - 315° e ampiezza $\sqrt{2}V$ oppure $3\sqrt{2}V$.*

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 sinistra:



Schema di principio di un modulatore PSK

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 a moltiplicare 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** (**F**requency **D**ivision **M**ultiplexing = multiplex a divisione di frequenza), ma presentava alcuni difetti e limitazioni.*

*Nacque allora la più moderna **TDM** (**T**ime **D**ivision **M**ultiplexing = multiplex a divisione di tempo) e si tentò di realizzarla per mezzo delle tecniche già descritte impulsive **PAM**, **PWM**, **PPM**, che però costituirono solo una fase di passaggio, in quanto furono tutte presto superate dalla modulazione codificata **PCM** (**P**ulse **C**ode **M**odulation = modulazione codificata ad impulsi).*

*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

23

In base al teorema di SHANNON, un segnale a banda limitata, compresa fra le frequenze f_1 ed f_2 ($f_2 > f_1$) può essere rappresentato mediante una successione di campioni prelevati con una frequenza pari almeno a $2f_2$.

In telefonia si assume come frequenza di campionamento il valore di:

$$f_c = 8 \text{ KHz}$$

superiore di **1,2 KHz** al valore minimo:

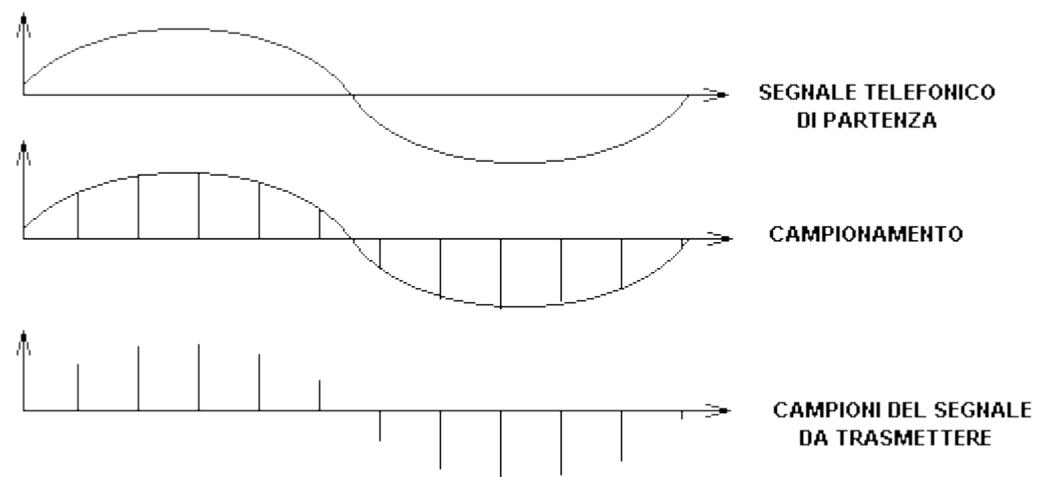
$$2f_2 = 6,8 \text{ KHz}$$

stabilito dal teorema di SHANNON.

Il periodo di campionamento corrisponde, naturalmente all'inverso della frequenza di campionamento, e cioè:

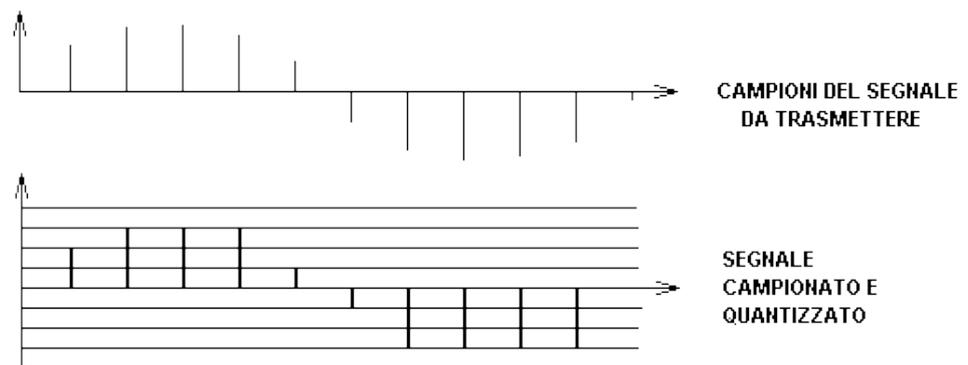
$$T = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{8000} = 125 \mu \text{ sec}$$

Il segnale telefonico viene dunque per prima cosa campionato, viene poi sostituito dalla sequenza di impulsi PAM, così ottenuti, come si vede dalla figura seguente.



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 eguali.



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, 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.

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**.

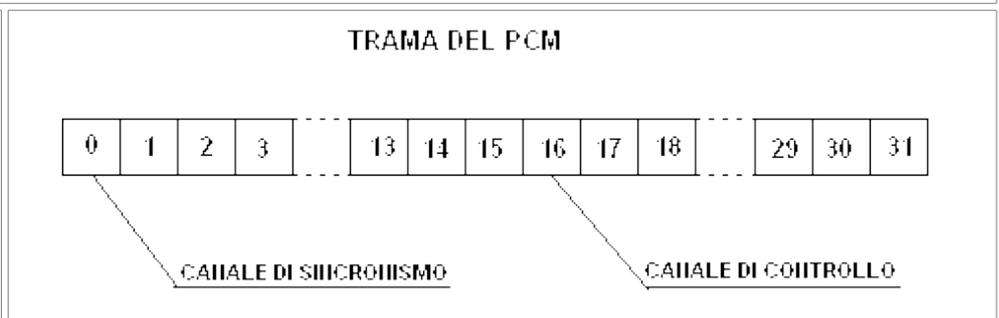
In realtà nel **PCM Europeo**, essendo i livelli **256**, per rappresentare ogni campione, occorrono **8 bit**.

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.



I canali vocali utili sono quindi **30**, mentre **2** sono di servizio.

In ricezione ogni canale viene inviato al destinatario richiesto in quanto esiste il primo canale di sincronizzazione.

Non appena viene ricevuto pertanto il segnale di sincronizzazione infatti, il ricevitore invia il successivo canale all'utente richiesto dal n.1, il seguente al n.2 ecc.

Il tempo di un canale è naturalmente quello di tutta la trama diviso per **32**:

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

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

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

Poiché vengono trasmessi **32 canali con 8000 campioni al secondo**, ed ogni canale contiene **8 bit**, ogni secondo vengono trasmessi un numero di bit:

$$v_{\text{BIT}} = 32 \cdot 8.000 \cdot 8 = 2.048 \text{ Mbit / sec}$$

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**.

Un metodo classico che consente di risolvere il problema della trasmissione di più segnali è quello di effettuare la trasmissione impiegando per ciascun segnale da trasmettere (ad esempio il segnale audio emesso da una stazione radio o la conversazione di un utente telefonico) una portante di frequenza diversa, compresa in una certa gamma, tale che gli spettri dei vari segnali modulati occupino bande di frequenza adiacenti e non sovrapposte. In altri termini N segnali con larghezza di banda B (*segnali in banda base*), appartenenti ad N canali di trasmissione, vengono traslati in frequenza e combinati in un unico segnale che presenta una larghezza di banda molto più ampia, multipla di B , contenente tutti gli N canali. La composizione di più segnali così ottenuta viene chiamata *multiplazione a divisione di frequenza* (FDM *Frequency Division Multiplexing*) e si basa essenzialmente sul principio della conversione di frequenza. Volendo illustrare con maggior dettaglio il concetto di FDM, si può far riferimento alla rete telefonica ove la tecnica FDM è ancora utilizzata, specie per collegamenti a grandi distanze. Poiché si considera per la banda fonica una larghezza lorda $B = 4$ kHz (per la comunicazione vera e propria sono utilizzate le frequenze da 300 Hz a 3400 Hz), ciascun canale multiplato occuperà sul mezzo trasmissivo una banda di 4 kHz, che dovrà essere distinta dalle bande relative agli altri canali. Il numero N di canali multiplabili dipenderà, in linea di principio, solo dalla capacità del mezzo trasmissivo di trasferire senza distorsioni un segnale complessivo con larghezza di banda $BT = NB = N * 4$ kHz. Il processo di traslazione della banda fonica, o *banda base*, per ottenere N *bande traslare* è realizzato generalmente mediante modulazione di ampiezza di N portanti, dette anche *frequenze vettrici*, con trasmissione della sola banda laterale superiore o inferiore (SSB).

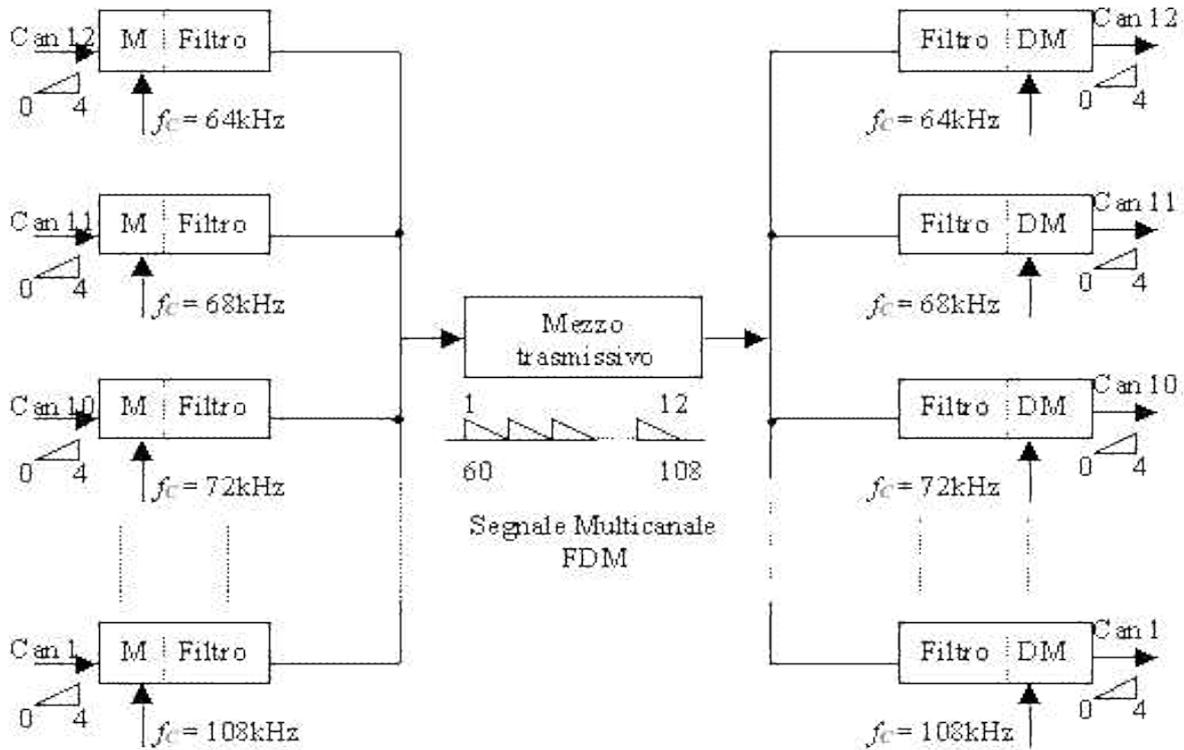


Fig. 1 Multiplazione di dodici 12 canali con tecnica FDM

Lo schema di principio di fig.1 illustra la multiplazione di 12 canali telefonici; i segnali di ciascun canale vengono traslati in frequenza ovvero modulati con portanti distanziate di 4 kHz (64, 68, ..., 108 kHz). La banda del segnale trasmesso ha una larghezza $BT = 12 \times 4$ kHz = 48 kHz. In ricezione naturalmente il segnale dovrà essere *demultiplato*; occorrerà quindi filtrare le bande relative a ciascun canale e demodulare l'onda risultante per estrarre i segnali in banda base trasmessi.

Nel sistema telefonico le frequenze delle varie portanti sono scelte con criteri che consentono, attraverso modulazioni e multiplazioni successive, di multiplare da un minimo di 12 fino a 2700 e anche 10800 canali telefonici. La gerarchia con cui vengono organizzate le varie fasi di multiplazione è normalizzata secondo convenzioni internazionali; esempi sono i sistemi N1 ed N2 riconosciuti dal CCITT (*Comitato Consultivo Internazionale Telegrafico e Telefonico*).

Occorre sottolineare che il segnale multicanale FDM è un *segnale* di tipo analogico e quindi sensibile alle distorsioni e alle degradazioni dovute al rumore.

Tecnologicamente si basa sullo standard DMT (Discrete Multi Tone) che si fonda sulle seguenti considerazioni:

1 Fissato lo spettro del doppino telefonico a 1,1 MHz, viene suddiviso in banda di 4 KHz l'una. Ne risultano 275 canali , di cui se ne utilizzano all'incirca gli ultimi 256

2 Utilizzando la tecnica FDM con modulazione QAM si distribuiscono i diversi segnali sui 256 canali

3 Per questo si creano 256 portanti sinusoidali che vengono modulate con la tecnica QAM dai segnali informativi, tutto come se ci fossero 256 modem

4 Le prime 7 sottobande (sette canali) si tengono a disposizione per la telefonia tradizionale. $7*4= 28$ KHz

5 I canali da 8 a 31 sono destinati alla trasmissione dati. $23*4= 92$ KHz

6 I canali da 32 a 256 sono destinati alla ricezione dati $224*4= 896$ KHz

7 Le differenze della larghezza di banda (voce, trasmissione dati, ricezione dati) comporta una notevole differenza della velocità con cui i segnali sono trasmessi.

8 Tale asimmetria risulta adatta ai collegamenti tipo Internet dove l'utente trasmette un numero limitato di informazioni rispetto a quelle che riceve.

9 La banda non è più limitata a 4 KHz per la totale digitalizzazione delle centrali telefoniche e la scomparsa degli apparati limitanti la banda fonica

10 Valori normalizzati per l'ADSL sono 128 Kbps per la trasmissione (upstream) e 640 Kbps per la ricezione (downstream)

11 Il modem ADSL è in grado di separare i tre canali (POTS o canale telefonico vocale (0 - 4KHz). L'upstream o canale di uscita ed il downstream o canale di ingresso. La separazione tra le frequenze avviene mediante un filtro (splitter) installato presso l'abitazione utente.

12 Attualmente (2007) in [Italia](#) le velocità stanno aumentando e le offerte da 4, 6 e più megabit sono comuni, ma stanno diventando sempre più frequenti le offerte *ADSL 2+*, a 12, 20 e 24 megabit

13 Come l'ADSL2 a 4 megabit soltanto chi abita in vicinanza della centrale telefonica potrà godere di questa velocità. Il segnale decade rapidamente e a 5 km di distanza non è fattibile una linea più veloce di 640 kbit/sec.

14 Una ADSL, in quanto asimmetrica (cioè velocità di upload diverse da quelle di download) è adatta ad esempio al download via web, streaming audio/video, etc; sono invece penalizzate le applicazioni per la comunicazione (è infatti il caso del [VOIP](#)) e la condivisione a causa della generale bassa velocità di upload attualmente (2007) offerta dai vari gestori..In [Francia](#) (dal 2005,) e in [Germania](#) è stata introdotta la tecnologia [VDSL2](#) che fornisce una velocità **simmetrica** di 50 megabit/sec sia in download che in upload.

Nome standard	Tipo	V max in Downstream	Vmax in Upstream
ANSI T1.413-1998 Issue 2	ADSL	8 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.1	ADSL (G.DMT)	8 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.2	ADSL Lite (G.Lite)	1.5 Mbit/s	0.5 Mbit/s
ITU G.992.3/4	ADSL2	12 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.3/4 Annex J	ADSL2	12 Mbit/s	3.5 Mbit/s
ITU G.992.5	ADSL2+	24 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.5 Annex L	ADSL2+	24 Mbit/s	3.5 Mbit/s

