

**Materiale didattico
per il recupero
di Telecomunicazioni**

Classe 4D

A.S. 2013 - 2014

Istruzioni

Il seguente file contiene una parte di appunti per il ripasso degli argomenti e una serie di schede da compilare e consegnare al docente il giorno dell'esame.

Le schede da svolgere e consegnare sono le seguenti:

- *Scheda sui grafici delle modulazioni*
- *Scheda sui parametri e sulle caratteristiche delle modulazioni*
- *Scheda sui principali protocolli di telecomunicazioni (reti fisse, reti mobili, WLAN)*
- *Test di riepilogo a risposta chiusa con scelta multipla*

La modulazione

La modulazione si occupa di rendere il segnale idoneo alla trasmissione sul canale. La problematica nasce dal fatto che segnali informativi sono in prevalenza di natura passa-basso (sono concentrati per lo più a basse frequenze), mentre i canali trasmissivi che più comunemente si utilizzano per poter trasmettere più segnali modulati contemporaneamente sono tipicamente di natura passa-banda cioè trasmettono in una banda a frequenza diversa da quella del segnale informativo originario. In sostanza, occorre convertire in frequenza lo spettro del segnale informativo. Inoltre l'impiego di questa tecnica permette di trasmettere segnali elettrici a grande distanza e senza sovrapposizione di altre informazioni grazie a tecniche correlate di multiplazione. La modulazione è conveniente quindi per le seguenti ragioni:

- si può traslare la banda del segnale informativo nella banda del canale di comunicazione;
- se i segnali devono essere trasmessi mediante onde radio (comunicazione wireless) è necessario che l'antenna (in trasmissione come in ricezione) abbia una lunghezza proporzionale alla lunghezza d'onda. In banda base (cioè alle basse frequenze del segnale modulante), ad esempio per un segnale audio, λ è pari a 15km , quindi realizzare antenne di queste dimensioni sarebbe improponibile;
- modulando un segnale a frequenze diverse, è possibile far transitare su un mezzo trasmissivo più segnali;
- il segnale modulato può essere codificato così da ridurre gli effetti del rumore, in quanto la natura del segnale stesso è tale da concentrare il suo spettro nelle frequenze più basse, mentre i mezzi trasmissivi hanno un miglior rendimento a frequenze più elevate o comunque diverse dalla banda base del segnale originario;
- si ha infine una semplificazione dei circuiti adottati per la trasmissione e la ricezione dei segnali.

Dal punto di vista della realizzazione pratica, la modulazione consiste in un insieme di tecniche finalizzate ad imprimere il segnale informativo, detto modulante su di un altro segnale, detto portante, sviluppato ad alta frequenza (la frequenza della portante deve essere molto maggiore della frequenza della modulante). Il risultato di questa composizione è la modulazione che consiste nella conversione del segnale modulante dalla banda base di partenza alla cosiddetta banda traslata, a frequenza molto più alta. In sostanza il segnale portante si occupa del trasporto dell'informazione che è costituito dal segnale modulante e lo fa variando uno dei suoi parametri (ampiezza, frequenza o fase) in funzione dei valori dell'informazione da trasmettere.

Una volta modulato e codificato, il segnale è pronto per essere trasmesso sul canale.

Modulazioni Analogiche

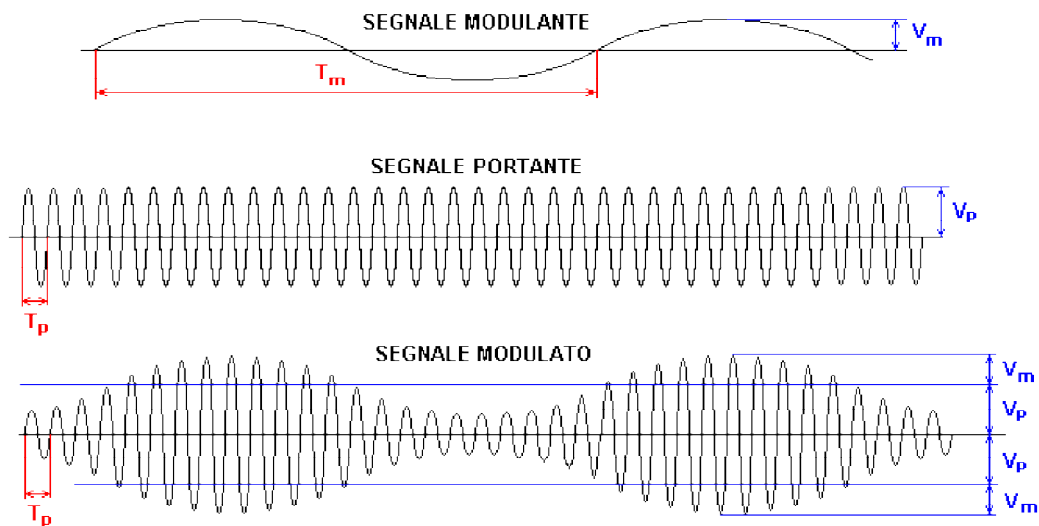
1. Modulazione di ampiezza

AM (Amplitude Modulation = Modulazione di ampiezza)

Modulare in ampiezza vuol dire far variare l'ampiezza di una portante a radiofrequenza secondo l'ampiezza di una modulante a bassa frequenza. L'operazione di modulazione di ampiezza si effettua partendo da un segnale elettrico prodotto da un oscillatore a radiofrequenza, cioè alle frequenze usualmente usate nelle trasmissioni radio che vanno dal megahertz in su, e che costituisce la portante. Di questo ci si serve per portare, appunto, a distanza l'informazione racchiusa nel segnale a bassa frequenza detto modulante.

Il segnale portante è costituito da una sinusoide, mentre la modulante è un segnale analogico, che può essere schematizzato, per semplicità di calcolo, in un'altra sinusoide, per effetto del teorema di Fourier per cui un qualsiasi segnale periodico od aperiodico, può sempre considerarsi come la somma di infinite sinusoidi. Nello schema seguente sono indicati i tre segnali: modulante, a bassa frequenza, portante, ad alta frequenza, modulato, con la frequenza della portante, ma l'ampiezza che varia secondo la modulante.

Sono indicati anche i periodi e le ampiezze dei tre segnali.



2. MODULAZIONE DI FREQUENZA

FM (Frequency Modulation: Modulazione di frequenza)

Inventata da Armstrong nel 1935, ma regolamentata solo nel 1961 in Europa all'interno delle radiodiffusioni stereofoniche, 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.

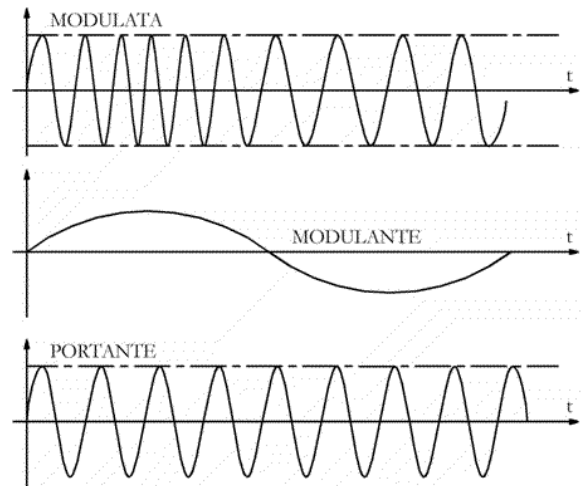
E' usata anche per la parte audio del segnale televisivo, trasmesso via etere, per la televisione satellitare analogica, oltre che per alcune trasmissioni dei radioamatori. Era usata per i cellulari di tipo ETACS. Per le trasmissioni stereofoniche sono riservate in Italia le frequenze da 88 a 108 MHz all'interno delle VHF.

Questo è un altro motivo che determina la bontà delle trasmissioni in stereofonia, in quanto la maggior parte dei disturbi, interferenze, rumori, ecc. hanno spettro 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, la frequenza della

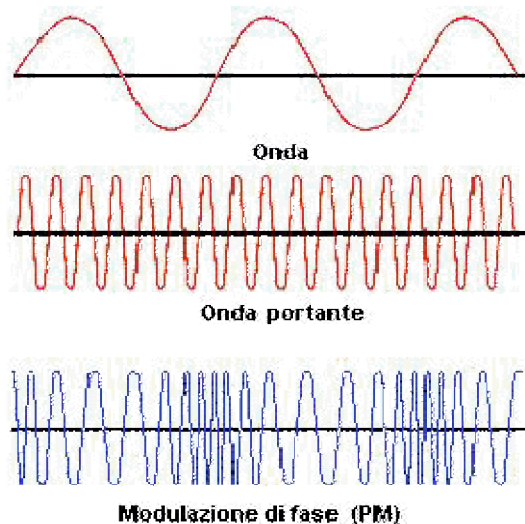
portante viene fatta variare secondo l'ampiezza della modulante, mentre l'ampiezza della portante rimane invariata, come schematicamente è rappresentato nell'animazione seguente.



3. MODULAZIONE DI FASE

PM (Phase Modulation = Modulazione di fase)

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.

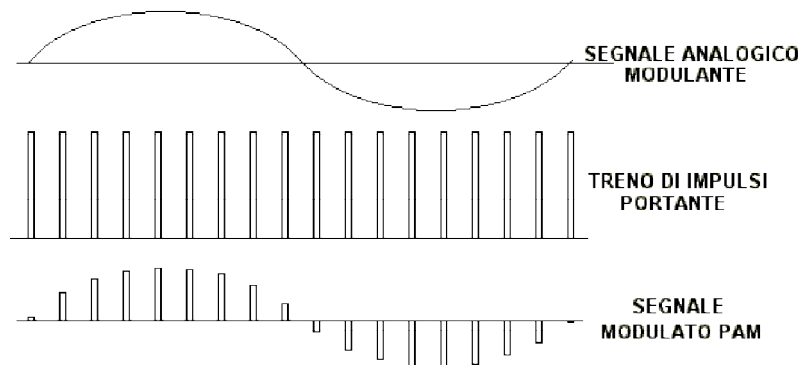
Modulazioni impulsive

Tecniche PAM, PWM e PPM

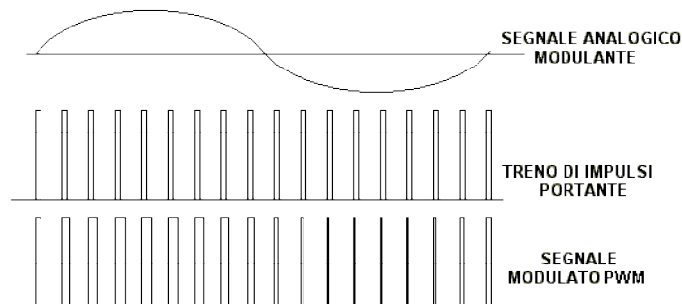
Si chiamano **modulazioni impulsive** quel tipo di modulazioni in cui la portante è costituita da un **treno di impulsi** e la modulante è di tipo **analogico**. Oggi sono poco usate perché in molte applicazioni sono state superate dalla tecnica **PCM**. Si suddividono in:

- **PAM** (Pulse Amplitude Modulation = modulazione ad ampiezza di impulsi)
- **PWM** (Pulse Width Modulation = modulazione a larghezza di impulsi)
- **PPM** (Pulse Position Modulation = modulazione a posizione di impulsi)

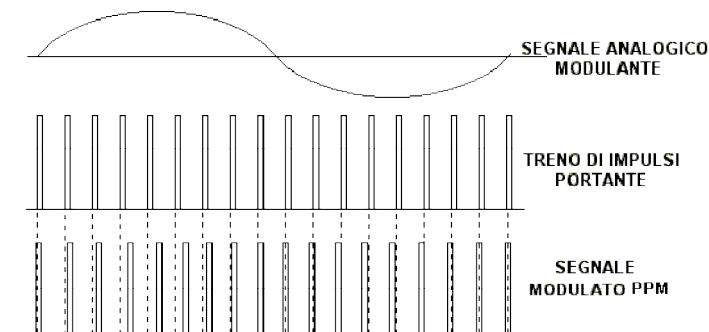
Nella **PAM** il segnale analogico modulante va a variare l'ampiezza del treno di impulsi che costituisce la portante:



Nella **PWM** le ampiezze degli impulsi sono tutte eguali e l'informazione data dal segnale modulante va a variare la larghezza, cioè la durata dell'impulso come nello schema seguente.

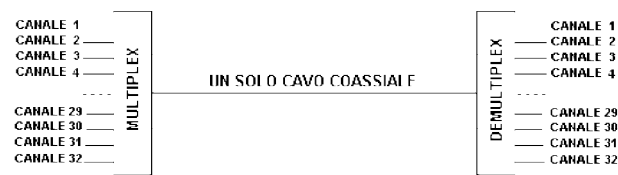


Nella **PPM** invece le ampiezze degli impulsi sono tutte eguali, le loro durate anche, ma la loro posizione, anticipata o ritardata rispetto a quella di riposo, racchiude l'informazione della modulante. Quanto più il segnale analogico ha ampiezza maggiore, tanto più ritardata è la posizione degli impulsi rispetto alla posizione di riposo. Quanto più il segnale analogico ha ampiezza maggiore in modulo ma di segno negativo, tanto più è anticipata la loro posizione.



Tecnica PCM

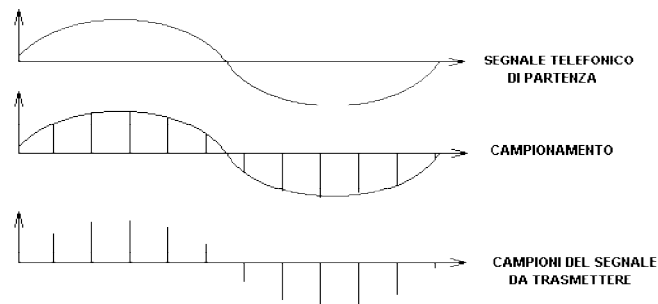
Intorno agli anni 40 nacque l'esigenza di aumentare il numero di collegamenti telefonici interurbani. Si pensò allora di moltiplicare un gran numero di collegamenti telefonici su un **solo cavo coassiale**. Esisteva già a quell'epoca una tecnica per risolvere il problema e si chiamava **FDM** (**F**requency **D**ivision **M**ultiplexing = multiplex a divisione di frequenza), ma presentava alcuni difetti. 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 **PAM**, **PWM**, **PPM**, che però furono tutte presto superate dalla modulazione codificata **PCM** (**P**ulse **C**ode **M**odulation = modulazione codificata ad impulsi). Sotto è rappresentato lo schema del **PCM telefonico europeo a 32 canali**.



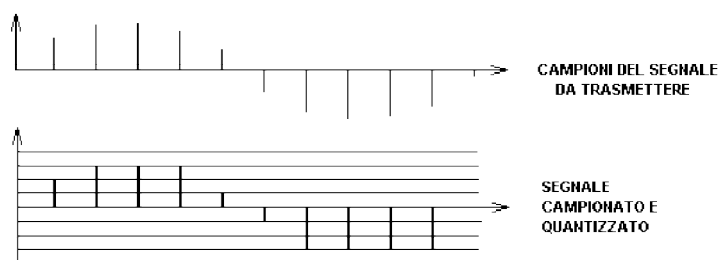
Il **PCM** si applica ai canali telefonici e, il tipo europeo, consente di far transitare su **un solo cavo coassiale 32 telefonate** contemporaneamente, senza interferenze, e indirizzarle, in ricezione ciascuna all'utente richiesto. Dei **32 canali**, **30** sono canali vocali e **2** sono canali di servizio. Per realizzare la tecnica **PCM** si effettuano tre operazioni a partire dal segnale di partenza:

- **Campionamento**
- **Quantizzazione**
- **Codifica**

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.



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 terza fase gli impulsi, **campionati** e **quantizzati**, vengono **codificati**, cioè la loro ampiezza viene trasformata in una **sequenza di bit** secondo un codice binario.

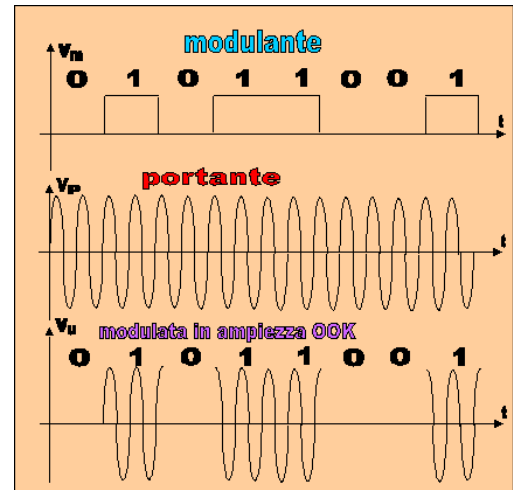
Modulazioni digitali o numeriche

La modulazione digitale o numerica è quella in cui il segnale modulante rappresenta un'informazione in formato binario, cioè un insieme di valori che possono essere 0 o 1. La modulazione numerica viene impiegata nei modem, nei cellulari, nella TV digitale e satellitare, nei ponti radio. Vi sono tre tipi fondamentali:

- ASK (Amplitude Shift Keying) cioè modulazione a cambiamento di ampiezza;
- FSK (Frequency Shift Keying) cioè modulazione a cambiamento di frequenza;
- PSK (Phase Shift Keying) cioè modulazione a cambiamento di fase.

Modulazione digitale di ampiezza ASK

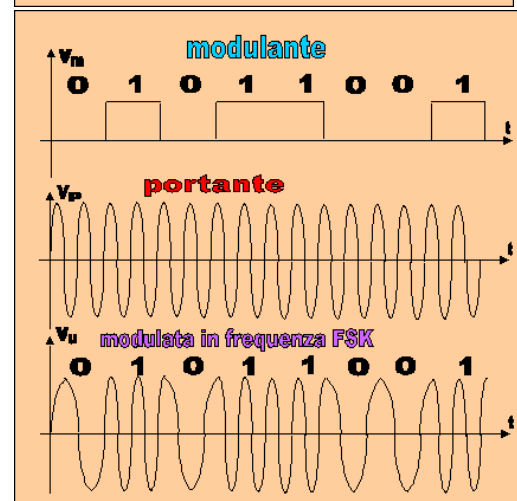
La modulazione digitale di ampiezza consiste in una frequenza portante molto elevata f_p che si mantiene sempre costante; la modulante è un segnale binario; quando la modulante è zero la portante non viene trasmessa; quando la modulante è 1 la portante viene trasmessa con una ampiezza costante. Quindi possiamo dire che la portante o assume un valore zero oppure assume un valore costante sia in ampiezza che in frequenza. Questo tipo di modulazione digitale di ampiezza è detto OOK (On Off Keying).



Modulazione digitale di frequenza FSK

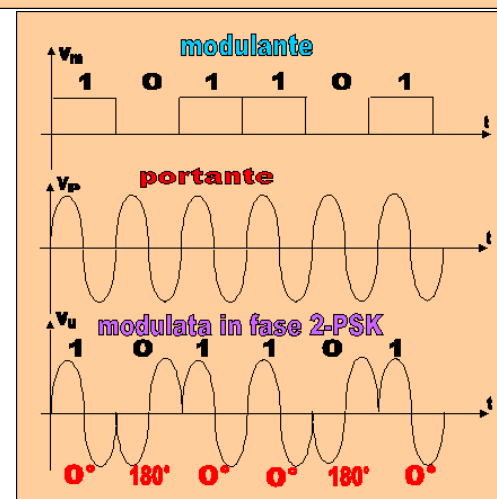
La modulazione digitale di frequenza consiste in una frequenza portante molto elevata f_p che varia come frequenza tra due valori prefissati, dei quali uno rappresenta lo zero binario e l'altro l'uno binario; la modulante è un segnale binario; quando la modulante è zero la portante assume un certo valore di frequenza f_1 ; quando la modulante è 1 la portante assume un altro valore di frequenza f_2 ; l'ampiezza delle due portanti è sempre costante.

Questo tipo di modulazione è usata nei cellulari e nei ponti radio.



Modulazione digitale di fase PSK

La modulazione digitale di fase consiste nel variare la fase della portante in base al valore binario assunto dalla modulante; se la modulante ha valore 1 la portante resta inalterata; se la modulante ha valore 0 la portante viene sfasata di 180° . La frequenza e l'ampiezza della portante restano inalterate, cioè si modifica solo la fase.

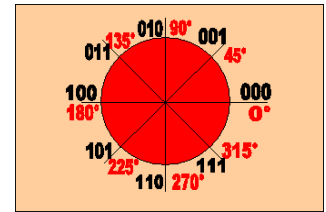
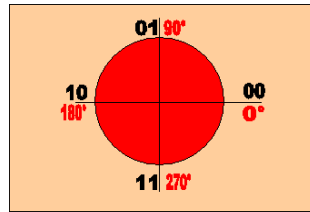
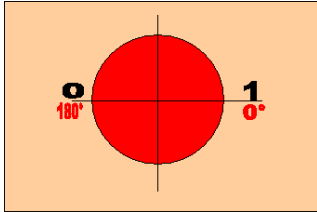


Vi sono diversi tre tipi fondamentali di modulazione di fase PSK a seconda del numero di parti in cui viene diviso un angolo giro di 360° ;

1 - se dividiamo l'angolo giro in due parti uguali, ciascuna di 180° abbiamo la modulazione 2-PSK.

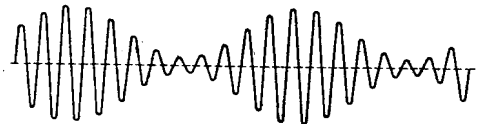
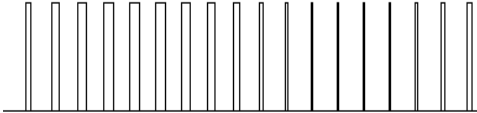
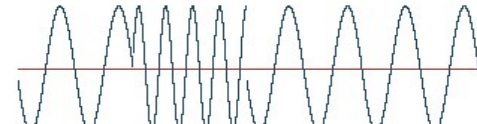

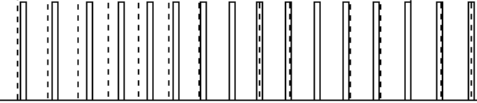

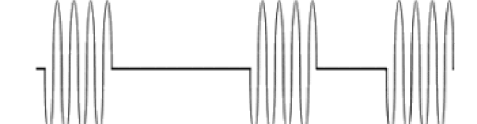



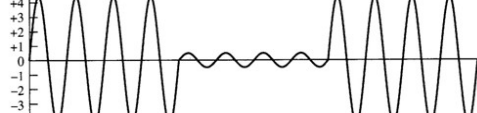
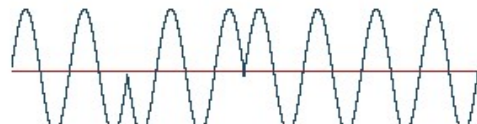
2 - se dividiamo l'angolo giro in 4 parti uguali, ciascuna di 90° abbiamo la modulazione 4-PSK.

3 - se dividiamo l'angolo giro in 8 parti uguali, ciascuna di 45° abbiamo la modulazione 8-PSK.



SCHEDA DI RIEPILOGO MODULAZIONI - 1

Per ogni grafico mostrato in figura, indicare di quale tipo di modulazione si tratta, il tipo di modulazione (analoga, impulsiva, digitale) e quale parametro (ampiezza, frequenza, fase) viene modificato durante la trasmissione.

	Nome Modulazione	Tipo modulazione	Parametro modulato
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			

SCHEDA DI RIEPILOGO MODULAZIONI - 2

Nome tecnica	Parametro modulato	Tipo modulante	Tipo portante	Problematiche	Vantaggi	Svantaggi	Utilizzi applicativi
AM							
DSB-SC							
SSB-SC							
FM							
PM							
PAM							
PWM							

PPM							
PCM							
ASK							
OOK							
FSK							
PSK							
QAM							
TCM							

Il canale reale

A. Sistemi analogici

I problemi caratteristici di un canale reale usato per trasmissioni analogiche sono tre: distorsione, rumore e interferenza.

Si parla di **distorsione** quando il canale attenua in modo non costante rispetto alla frequenza e sfasa in modo non proporzionale ad essa. Il risultato della distorsione è una deformazione del segnale. Esistono più tipi di distorsione:

- **Spettrale o lineare:** l'attenuazione delle armoniche è variabile (**distorsione spettrale di ampiezza**) oppure lo è il loro sfasamento (**distorsione spettrale di fase**).
- **Armonica o non lineare:** il segnale ricevuto non è più una funzione lineare delle armoniche di partenza, ma un loro sviluppo in serie. Se il segnale è composto da più sinusoidi, inoltre, si ottengono contributi aggiuntivi di frequenze f_2-f_1 , f_2+f_1 , f_2-2f_1 , f_2+2f_1 , ecc...
- **Intermodulazione:** consiste nella generazione di modulazioni non volute di tipo AM ed FM, rendendo problematica la ricezione.

Per **rumore** si intende un segnale variabile statisticamente, indipendente dall'informazione e che si sovrappone ad essa. Esistono due tipi di rumore:

- **Esterno**, dovuto principalmente a disturbi atmosferici e a disturbi elettromagnetici causati da altri sistemi elettronici vicini.
- **Interno**, che può dipendere da vari fenomeni:
 - La casualità del movimento degli elettroni all'interno dei componenti (**Rumore termico**) e la natura statistica della corrente elettrica che viene generata (**Rumore granulare o shot**); entrambi sono rumori di tipo **bianco** (cioè un rumore che agisce uniformemente sulle armoniche del segnale)
 - Le imperfezioni delle superfici dei componenti elettronici (**Rumore flicker**, o **rosa** perché agisce solo sulle armoniche a bassa frequenza)
 - **Alte frequenze** (proporzionale a f^2)

Per **interferenza** si intende la sovrapposizione non desiderata di due segnali informativi. Un esempio è la **diafonia** che avviene quando i segnali sono trasmessi su coppie di fili che viaggiano nello stesso cavo ed è dovuta ad induzione elettromagnetica o ad accoppiamento capacitivo.

B. Sistemi digitali

Nel caso di canale reale usato per trasmissione digitale, il rumore ha un impatto inferiore a causa della robustezza intrinseca del segnale digitale rispetto agli errori (in quanto conta il livello e non il valore assoluto del segnale in un certo istante). Esistono, però, delle problematiche caratteristiche di queste trasmissioni: la limitazione di banda, l'ISI e il Jitter.

- La **limitazione di banda** si manifesta in quanto il canale agisce sul segnale come se fosse un filtro passa basso, rallentandolo e favorendo l'insorgere di altre complicazioni, soprattutto in ambito sincronismo.
- L'**ISI (intersymbolic interference)** consiste nella sovrapposizione non desiderata di simboli consecutivi ed è dovuta principalmente alla limitazione di banda offerta dal canale e da tecniche usate nella trasmissione. Rende difficile il riconoscimento del simbolo trasmesso.
- Il **jitter** è una variazione casuale dei tempi di clock che viene ricostruito durante le operazioni di decodifica di linea. Esso è dovuto alla distorsione del segnale (soprattutto di fase), naturale oppure indotta da tecniche che servono a recuperare la linea di clock del codice usato, nel caso che esso non la contenga.

Telefonia fissa

La trasmissione voce e dati via rete fissa si è evoluta negli anni. Inizialmente la PSTN è una rete analogica in tutti gli aspetti, usata soprattutto per telefonare, con l'eventualità di una lenta trasmissione dati; poi la commutazione (di circuito) passa in digitale, tranne che per l'ultimo miglio; stessa sorte per i segnali e per la modalità di trasmissione, attualmente basata su PCM a 64 kbit/s e TDM per la voce e QAM o TCM per i dati, a 56 kbit/s .

Per superare i limiti della velocità dei dati, con l'ISDN anche il collegamento tra utente e centrale diventa digitale, permettendo nuovi servizi (videoconferenze, fax...). L'ISDN ha 2 canali digitali a 64 kbit/s per voce e dati (utilizzabili anche insieme) e uno a 16 kbit/s per la segnalazione, quindi 144 kbit/s . E' comunque una velocità bassa, perciò viene usata ormai solo per potenziare il servizio telefonico, ad esempio permettendo linee indipendenti negli uffici.

L'ADSL viene sviluppata per garantire anche nell'ultimo miglio un collegamento a banda larga su doppino, permettendo altri servizi (TV su web, comunità virtuali...) e di inviare insieme dati e voce, multiplandoli su bande diverse: le frequenze del canale vengono divise in due zone delimitate dal valore 4kHz, con la banda dati ancora suddivisa in upload e download, entrambe dell'ordine dei Mbit/s e con la seconda molto maggiore della prima. La trasmissione usa la tecnica DMT e la banda complessiva è divisa in un certo numero di canali modulati in QAM o TCM.

L'ultimo step è il passaggio totale della comunicazione vocale dalla PSTN alla rete Internet, quindi al TCP/IP, attraverso il VoIP. Si usano già le reti IP per il trasporto sulle dorsali ma il sistema è ancora sostanzialmente misto (PSTN, Internet e Intranet). Tra i vantaggi del VOIP ci sono costo basso e buona qualità del segnale vocale, tra gli svantaggi la necessità di connessione in rete e la qualità della comunicazione non garantita ma dipendente dallo stato della rete.

Rete di telefonia mobile

Principi generali

Una rete di telefonia mobile è un'area geografica che permette la comunicazione di utenti in movimento situati in un punto qualsiasi del territorio servito del sistema, detto area di copertura; l'utente comunica per mezzo della stazione mobile (MS).

La rete è fatta dalla rete primaria, costituita dai collegamenti tra le stazioni radio (BS, base station) e dai centri di controllo del servizio collegati alla PSTN e dalla rete di accesso, costituita dalle postazioni sparse su territorio che si collegano alle MS. La trasmissione radio avviene entro bande di frequenza fissate dalle autorità; la MS e le BS si scambiano dati usando modulazioni su portanti diverse; al fine di evitare interferenze reciproche tra trasmissione e ricezione, generalmente, si usano due frequenze diverse per ogni verso della trasmissione, separate da un intervallo fisso (passo di duplex).

Ogni comunicazione usa un canale radio avente banda B_c nell'intorno della frequenza della portante, per cui il numero di canali N_c a disposizione è dato dalla banda complessiva diviso B_c . Per aumentare la disponibilità di banda si usano le tecniche di multiplazione e la suddivisione del territorio in piccole aree di forma esagonale dette celle servite da un BS che comunica con le MS entro la propria zona di competenza. In tal modo, in una cella lontana è possibile usare la stessa frequenza nella comunicazione tra BS e le sue MS, senza rischiare interferenze, anche grazie al fatto che le BS usano potenza limitata. Questo metodo è detto riuso delle frequenze e permette di aumentare il numero di comunicazioni contemporanee entro la stessa banda. Per evitare interferenze non si usano la stessa frequenza in celle adiacenti ma si organizzano le celle in gruppi (cluster) di 7, 9, 12 o 21: all'interno di un cluster le stazioni si dividono le frequenze disponibili, mentre cluster diversi riutilizzano tutti i canali radio. Il numero di canali disponibili in una cella è dato da N_c diviso il numero G di celle che costituiscono il cluster. Nelle zone densamente popolate si

usano celle più piccole e per ridurre i costi di installazione si preferisce installare più stazioni su un unico impianto collocato in un vertice comune a tre celle, con antenne direttive a 120° orientate ognuna verso la propria area di competenza; in questo caso i cluster sono formati da multipli di 3 celle. La dimensione delle celle comunque non può scendere sotto certi limiti per evitare che le onde della stessa frequenza inviate da BS di cluster vicini si disturbino a vicenda (interferenza co-canale). La distanza D tra le celle isofrequenziali e il loro raggio hanno un rapporto pari a $\sqrt{3G}$ e detto rapporto di riuso. Se è piccolo la rete ha un'alta capacità di riutilizzare le frequenze perché i cluster sono piccoli, mentre se un alto valore indica una buona qualità in quanto riduce l'interferenza co-canale. Per migliorare la situazione, la cella è divisa in settori ognuno dei quali è in comunicazione con un'antenna direzionale.

All'interno della cella si utilizzano tecniche di moltiplicazione per massimizzare il numero di utenti. Nella FDMA, usata nella 1G, la banda totale viene divisa in canali radio di larghezza B_c , ognuno trasmesso con portante di frequenza diversa. Nella TDMA, usata nella 2G, i segnali trasmessi o ricevuti dalla MS, digitalizzati, vengono inviati in intervallo di tempo diversi chiamati time-slot, creando una trama. Per aumentare il numero di utenti le due tecniche sono abbinatae, ovvero avviene la moltiplicazione di tempo separatamente per ogni portante. Nella CDMA, usata nella 3G, i bit vengono moltiplicati per un codice formato da sequenze binarie di simboli di durata minore del bit, detti chip, ottenendo un segnale che ha una frequenza di simbolo maggiore del bit rate e causando che la potenza del segnale si distribuisce su una banda maggiore, senza picchi concentrati in frequenza. Questa operazione si chiama spreading; in ricezione il segnale appare come un rumore di fondo di potenza bassa distribuita su tutte le frequenze e il segnale dati può essere recuperato solo se si conosce la sequenza dei chip di trasmissione (despreading). In questo modo è possibile inviare più segnali sulla stessa banda, sovrapponendoli sia in frequenza che in tempo. Avendo a disposizione tutta la banda si supera il problema del riuso delle frequenze perché in ogni cella si può trasmettere sull'intero intervallo previsto dallo standard usato. Inoltre, essendo l'informazione distribuita su banda larga, c'è maggiore immunità a disturbi o interferenze radio che normalmente sono concentrate su determinate frequenze.

Per comprendere bene le tecniche di moltiplicazione si usa l'esempio del cocktail party internazionale, dove in un locale si trovano persone di varia nazionalità alla presenza di un'orchestra che suona un sottofondo. I presenti devono comunicare a due a due contemporaneamente. Si ha FDMA quando si usano stanze separate, TDMA+FDMA quando si usano stanze separate per un certo periodo di tempo, CDMA quando si usano lingue diverse. Tutti devono parlare a bassa voce (bassa potenza) e l'orchestra deve suonare piano (basso rumore di fondo).

Tra i servizi caratteristici di telefonia mobile abbiamo:

- Roaming: la possibilità di spostarsi nell'area di copertura mantenendo la facoltà di trasmettere e ricevere; per questo il sistema mantiene in una database la posizione aggiornata dell'utente; ogni MS comunica periodicamente la sua posizione alla BS (location area) effettuando un'operazione di update quando si sposta in un'altra area, con relativo aggiornamento del database.
- Paging: procedure mediante la quale la rete indirizza la chiamata verso una MS inviando un messaggio radio solo nella location area in cui si presume che sia presente il cellulare. Il segnale è di tipo broadcast ma solo la MS interessata risponde alla rete; se invece nessuna MS risponde si viene considerati non raggiungibili;
- Handover o handoff: tecnica che permette di spostarsi da una cella ad un'altra durante una conversazione senza che questa si interrompa. La MS durante le pause della trasmissione controlla e memorizza le frequenze dei canali radio adiacenti di maggiore potenza; quando una BS rileva una riduzione del segnale provvede a trasferire la comunicazione su uno dei canali precedentemente memorizzati dal cellulare.

Le generazioni della telefonia mobile

La **prima generazione** ha avuto come obiettivo primario la comunicazione vocale tra gli utenti, eventualmente con l'aggiunta di un traffico dati a bassa velocità. Gli standard sono analogici e differenti per ogni nazione; in Italia c'è l'**E-TACS** (*Extended Total Access Communication System*), con banda di trasmissione tra 890 e 902 MHz e banda di ricezione tra 935 e 947 MHz suddivisi in 504 canali di circa 25kHz. Il sistema usava la FDMA e presentava dei limiti: scarsa qualità della comunicazione, bassa velocità di trasmissione dati, impossibilità di roaming internazionale e facilità di clonazione, oltre che apparecchi piuttosto pesanti.

La **seconda generazione** diventa totalmente digitale (e quindi più sicura) ed è collegata alla rete fissa per i collegamenti tra le stazioni radio e gli apparati, lasciando così il canale radio a disposizione dei collegamenti tra MS e le stazioni radio poste nelle celle. Esistono più standard il più diffuso dei quali è il **GSM** (*Global System for Mobile Communication*) che è basato sul TDMA. L'estensione a livello mondiale dello standard ha permesso il roaming internazionale ovunque ci sia copertura di rete 2G. L'evoluzione ha portato ai **sistemi 2,5G** sia a bassa che ad alta velocità di trasmissione, che usano la commutazione di pacchetto sia nella rete di trasporto fissa, sia nell'interfaccia radio pur usando la stessa infrastruttura della 2G. Le tecnologie più diffuse sono **GPRS** (*General Packet Radio System*) e **EDGE** (*Enhanced Data GSM Environment*), rispettivamente ad alta e bassa data-rate.

La **terza generazione** migliora la qualità dei servizi offerti e la capacità dei canali radio, ma soprattutto definisce un unico standard comune per tutti i continenti. Esistono due tecnologie: **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*) e **CDMA2000**, che utilizzano uno spettro che va da 400 a 3000 MHz. Gli obiettivi della 3G sono: connessione globale (wide mobility), bassi costi degli apparati mobili, sistemi a banda larga per i servizi multimediali, aumento della capacità di collegare elevati numeri di utenti nelle aree urbane, alta velocità di trasmissione dati a costi bassi.

La **quarta generazione** punta a velocità dati fino a 100Mbit/s, all'uso di protocolli IP, alla convergenza tra reti WLAN e reti mobili, all'adattatività nella selezione delle frequenze radio in base alla qualità della trasmissione, alla commutazione di pacchetto con bassi tempi di attesa per garantire i livelli di qualità richiesti.

Il sistema GSM

Il **GSM** è una rete digitale multi servizio, con principi analoghi all'ISDN e viene definito inizialmente nel 1982 a livello europeo, anche se la sua definizione prosegue per tutti gli anni '90 con l'aggiunta delle tecnologie 2,5G fino alla definitiva versione del 1999. La rete è costituita dalle centrali di commutazione (MSC, mobile switching centers), dalle stazioni base, dalle mobile station e dagli apparati che contengono le memorie per il controllo della rete e della mobilità degli abbonati. Le comunicazioni avvengono entro canali radio separati da 200kHz situati in una banda che va da 890 a 915MHz per l'uplink e da 935 a 960MHz per il downlink, con un passo di duplex pari a 45MHz. Per questo motivo i canali sono 125, di cui il primo tenuto come banda di guardia verso le frequenze più basse.

Il segnale fonico viene convertito in digitale mediante una codifica predittiva che limita il bit-rate a 13kbit/s e poi codificato con un codice a correzione di errore portando il bit-rate a 22kbit/s. La modulazione usata è la GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*, variante della FSK che minimizza la discontinuità di fase e la

deviazione di frequenza e limita ulteriormente la banda occupata prefiltrando il segnale modulante in modo da dargli uno spettro a forma di gaussiana). La trama usa un sistema chiamato interleaving secondo il quale i bit dei tributari vengono suddivisi in sottoblocchi e poi intercalati tra loro; in tal modo si protegge la comunicazione dal fading (attenuazione supplementare che si ha per onde ricevute a causa dei fenomeni caratteristici della propagazione; può essere graduale se causata da zone d'ombra dovute a grandi ostacoli o forte se si ricevono segnali in opposizione di fase), in quanto anche perdere un sottoblocco non impedisce la ricezione.

Il bit-rate finale del canale multiplexato è 270,833 kbit/s, mentre la velocità di trasferimento dati è limitata a 9,6 kbit/s. Nel 1992 viene standardizzato il sistema **DCS-1800** (*Digital Cellular System at 1800 MHz*) che estende i servizi GSM alla banda intorno ai 1800 MHz e viene detto sistema Dual Band. L'uplink va da 1710 a 1785 MHz, mentre il downlink da 1805 a 1880, con un passo di duplex pari a 95 MHz.

Il sistema UMTS

UMTS sta per *Universal Mobile Telecommunications System* e utilizza il CDMA ed una tecnica ibrida CDMA/TDMA per la multiplexazione dei segnali nelle celle, con un chip-rate di 3,84Mchip/s. La modalità di trasmissione può essere sia a divisione di tempo (**TDD**), cioè usando slot diversi per la comunicazione nei due sensi o a divisione di frequenza (**FDD**), cioè su bande diverse accoppiate tra uplink e downlink, come per il GSM.

Le prestazioni sono molto variabili in base sia alla tipologia di area in cui si trova la MS che alla velocità con cui essa si muove. L'accesso radio occupa per le trasmissioni terrestri le frequenze 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz e 2110-2170 MHz (per un totale di 155MHz) e per le trasmissioni satellitari le frequenze 1980-2010 MHz e 2170-2200 MHz (per un totale di 60MHz). Ogni canale occupa 5MHz e le modulazioni sono di tipo QPSK, con trame di 10 ms composte da 15 time-slot. In ogni canale possono essere trasmesse circa 200 comunicazioni contemporanee usando la tecnica CDMA.

La caratteristica innovativa dell'UMTS è l'architettura basata sul protocollo IP sia per i dati che per la voce (VoIP); per i collegamenti ad internet viene usato il protocollo MIP (Mobile IP) che permette alle MS di spostarsi in altre reti mantenendo la connessione attiva. Ogni nodo mobile connesso ad Internet ha un indirizzo IP indipendente dalla posizione corrente e dalla rete locale tramite cui è connesso alla rete Internet.

Spread spectrum (SS)

È una filosofia di trasmissione che utilizza una banda più ampia di quanto necessario. L'informazione è codificata mediante un segnale pseudo casuale che sembra rumore con vantaggi in termini di sicurezza, di immunità e di multiplexing. Esistono due tecniche base:

- **Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**: la frequenza salta da un valore ad un altro, fino a 1600 volte al secondo. Per ricevere è necessario conoscere la sequenza dei salti e avere un ricevitore perfettamente sincronizzato. Quindi ci sono vantaggi in termini di immunità soprattutto alle interferenze e di segretezza; inoltre, la trasmissione è robusta rispetto al fading multipath perché il ricevitore ottiene per primo il segnale diretto (infatti quelli riflessi arrivano dopo in quanto devono seguire percorsi necessariamente più lunghi; quindi nel frattempo il sistema ha effettuato un salto di frequenza).
- **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**: è una tecnica a frequenza diretta, cioè ogni bit viene trasmesso con una sequenza ridondante di bit detta chip, aventi rate superiore. Il range di frequenze tipico è sui 18-20 MHz. Per ogni bit si trasmette una sequenza pseudo casuale: ad 1 si assegna questa sequenza, a 0 la sua complementare. La banda finale dipende dal numero di chip usati (l'operazione equivale logicamente ad una XOR). Si tratta di una tecnica ottima soprattutto per segnali deboli ma è poco immune alle interferenze.

Reti WLAN

Le WLAN sono reti che permettono l'accesso da parte di postazioni mobili; sotto questo acronimo si celano più tecnologie:

- Le WLAN propriamente dette;
- Le PAN (Personal Area Network) che connettono oggetti usati da un singolo utente su brevi distanze;
- Le WAN wireless, cioè reti senza fili su vasta area che ricoprono sostanzialmente centri urbani.

Le tipologie di reti wireless più diffuse sono la WiFi (una WLAN che si sta evolvendo in WAN wireless) e il Bluetooth (di tipo PAN).

Il WiFi viene usata essenzialmente per connettere dispositivi wireless ad una rete fissa (mediante access point) oppure ad Internet (tramite un router) o per connettere direttamente tra di loro dei dispositivi.

E' basato sullo standard IEEE 802.11 che specifica il livello fisico e il livello MAC. Tra i protocolli compresi in questa famiglia, ci sono gli standard 11b e 11g che lavorano in una banda centrata intorno a 2,4GHz, suddivisa in 14 canali da 22MHz sovrapposti parzialmente. Analogamente alle reti LAN cablate l'accesso alle risorse è gestito da un sistema anti-collisione basato sulla tecnica CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, accesso multiplo a rilevamento di portante che evita collisioni): il dispositivo che deve trasmettere prima ascolta il canale e, se lo trova libero per un tempo prestabilito, invia il pacchetto dati restando in attesa del segnale di risposta. Se il canale è occupato si mette in coda per un tempo casuale e poi ritenta la trasmissione.

L'11b trasmette a 11Mb/s, l'11g a 54Mb/s e hanno una portata di 38 m al chiuso e 140 m all'aperto. L'11b usa la DSSS, mentre la 11g usa la OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing); ultimamente si sta diffondendo lo standard 11n che usa antenne multiple sia in ricezione che in trasmissione, ottenendo portate maggiori, maggiore robustezza rispetto al fading e maggiore efficienza spettrale. L'11n va nella direzione di far uscire il WiFi dall'ambito locale per arrivare a reti wireless WAN.

Il WiFi supporta sistemi di crittografia come il WAP2 (WiFi Protect Access) basati sulla codifica AES. Si tratta di un sistema crittografico che divide i dati in blocchi di bit che vengono scombinati mediante permutazioni e trasposizioni dipendenti da una chiave a 128, 192 o 256 bit. La sicurezza dipende dal fatto che l'algoritmo è invertibile solo se si conosce la chiave e quindi si potrebbe essere agiti per approccio brute force che ha tempi inimmaginabili.

Una versione potenziata del WiFi è il WiMax (IEEE 802.16), concepito per fornire un'alternativa al cavo o alla ADSL nella copertura dell'ultimo miglio e per supportare servizi VoIP e IPTV. A differenza del WiFi incorpora sistemi per mantenere la sincronizzazione tra la stazione fissa e i terminali mobili, per cui è candidato a sostituire le reti GSM e CDMA. Lo standard attuale usa una banda compresa tra 10 e 66 GHz, in tecnica OFDM, arriva a 70Mb/s e supporta sia connessioni punto a punto che a maglia.

Il Bluetooth è una tecnologia radio per comunicazioni a breve distanza tra apparati fissi e mobili ed è sostanzialmente una PAN. Utilizza la banda 2,4GHz e un sistema spread spectrum FHSS su 79 slot di frequenza da 1MHz ciascuno, da 2402 a 2480 MHz. La modulazione usata è una variante della FSK.

La comunicazione è basata sullo scambio di pacchetti di dati in una struttura master/slave, in cui ogni master può gestire una piccola rete detta piconet costituita da 7 slave con i quali comunica mediante una tecnica di time sharing a rotazione (tipo round robin); le piconet possono comunicare formando strutture più grandi dette scatternet. Il protocollo Bluetooth incorpora il PPP (Point to Point Protocol) e il TCP/IP per potere comunicare con altre reti e con Internet.

Scheda di riepilogo delle reti di telecomunicazioni

	Tecniche di trasmissione e di modulazione	Tecniche di moltiplicazione	Banda	Velocità tipica di trasmissione	Tipo di commutazione	Ambito di applicazione e servizio offerti	Innovazioni e problematiche
PSTN							
ISDN							
ADSL							
VoIP							
GSM							

UMTS							
WiFi							
WiMAX							
Bluetooth							

Test di telecomunicazioni

- A CHE COSA SERVE LA MODULAZIONE? _____
- A CHE COSA SERVE LA MULTIPLAZIONE? _____
- A QUALE CATEGORIA DI SEGNALI PUO' ESSERE APPLICATA LA TECNICA DI MULTIPLAZIONE TDM-PAM? _____
- CHE COSA E' IL SISTEMA UMTS? _____
- CHE COSA E' LA MODULAZIONE NUMERICA ASK OOK? _____
- CHE COSA E' LA RETE DI ACCESSO? _____
- CHE COSA SI INTENDE PER MODULAZIONE IN BANDA FONICA? _____
- IN QUALE UNITA' DI MISURA VIENE ESPRESSA LA QUANTITA' DI INFORMAZIONE? _____
- IN UNA MODULAZIONE CON SEGNALE MODULANTE NUMERICO, QUALE E' L'UNITA' DI MISURA PER LA VELOCITA' DI MODULAZIONE? _____
- LA DISTORSIONE DI AMPIEZZA E' DI TIPO: _____
- LA DISTORSIONE DI FASE E' DI TIPO: _____
- RISPETTO A QUELLA DEL SEGNALE MODULANTE LA LARGHEZZA DI BANDA DI UN SEGNALE MODULATO E': _____
- L'ACRONIMO ISDN E' PROPRIO DI UNA RETE: _____
- NELLA MODULAZIONE PAM VIENE VARIATA: _____
- NELLA MODULAZIONE PPM VIENE VARIATA: _____
- NELLA MODULAZIONE PWM VIENE VARIATA: _____
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, CHE COSA E' UN CLUSTER? _____
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, CHE COSA SI INTENDE PER HANDOVER? _____

-
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, CHE COSA SI INTENDE PER PAGING? _____
-
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, CHE COSA SI INTENDE PER RIUTILIZZO DELLE FREQUENZE? _____
-
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, CHE COSA SI INTENDE PER ROAMING? _____
-
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, COSA E' UNA STAZIONE RADIO BASE? _____
-
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, LA TECNICA FDMA-TDMA PREVEDE PER CIASCUN TERMINALE L'USO DI: _____
-
- NELL'AMBITO DELLA TELEFONIA CELLULARE, L'INTERFERENZA COCANALE RIGUARDA: _____
-
- NELL'AMBITO DELLE MODULAZIONI NUMERICHE, CHE COSA E' LA MODULAZIONE GMSK? _____
-
- NELL'AMBITO DELLE MODULAZIONI NUMERICHE, QUALI PARAMETRI DELLA PORTANTE VENGONO VARIATI IN UNA MODULAZIONE QAM? _____
-
- NELL'AMBITO DELLE ONDE RADIO, CHE COSA SI INTENDE PER FADING? _____
-
- QUAL E' IL BIT RATE DI UN CANALE B ISDN? _____
-
- QUAL E' IL BIT RATE DI UN COLLEGAMENTO A INTERNET STABILITO MEDIANTE UNA CHIAMATA SU SISTEMA GSM? _____
-
- QUAL E' IL MASSIMO BIT RATE DI UN COLLEGAMENTO A INTERNET TRAMITE ACCESSO BASE ISDN? _____
-
- QUALE CATEGORIA DI SEGNALI SUBISCE UNA DEGRADAZIONE CRESCENTE CON LA DEGRADAZIONE DELLA FORMA D'ONDA? _____
-
- QUALE SISTEMA CELLULARE VIENE DETTO DI TERZA GENERAZIONE? _____

- QUALE DELLE TECNICHE DI MODULAZIONE AM SFRUTTA IN MODO OTTIMALE LA POTENZA DEL TRASMETTITORE? _____

- SU QUALE PRINCIPIO SI BASA LA MULTIPLAZIONE A DIVISIONE DI FREQUENZA (FDM)? _____

- SU QUALE PRINCIPIO SI BASA LA MULTIPLAZIONE A DIVISIONE DI TEMPO (TDM)? _____

- SU QUALE PRINCIPIO SI BASA LA MULTIPLAZIONE A DIVISIONE DI CODICE (CDM)? _____

- SU QUALI BANDE SONO IN GRADO DI OPERARE I TELEFONI CELLULARI EUROPEI DUAL BAND? _____