RETI e SICUREZZA

Le definizioni di rete sono molteplici, una di queste è "Viene chiamata rete tutto ciò al cui interno può essere identificato un grafo". Questo tipo di definizione permette un ampia categorizzazione della parola rete, ciò implica che la teoria successivamente studiata potrà essere applicata in un indefinito numero di casi, quindi teorie sviluppate per le reti computazionali potrebbero risultare efficienti anche in reti stradali o viceversa.

Le reti di informazioni possono assumere diverse forme: client-server, peer-to-peer, reti di server dislocati, ecc. Tali tipologie di reti assumono utilità differenti in casistiche differenti, un modo per categorizzarli è in base alla distanza tra i vari componenti di tale rete:

PAN (Personal Area Network) 1 m,
LAN (Lange Area Network) 10 m - 1 Km,
MAN (Metropolitan Area Network) 10 Km,
WAN (Wide Area Network) 100 Km - 1000 Km

Esistono ovviamente reti molto più piccole o più grandi di quelle sopra citate, e.g. l'internet (10'000 Km) che attraversa l'intero pianeta, ma quelle descritte sono quelle in cui ricadono la maggior parte delle reti esistenti.

Le prime reti furono costruite focalizzandosi principalmente sull'hardware e successivamente sul software, ma questo approccio non funziona più. Le reti software sono ora strutturate in diversi livelli, con un livello di base generalmente dedicato all'hardware. Lo scopo di ciascun livello è quello di offrire certi servizi al livello

superiore, schermandolo dai dettagli su come sia implementato tale servizio. Tra ogni coppia di livelli è presente un'interfaccia che definisce quali primitive e servizi il servizio inferiore eroga a quello superiore.

Sono presenti differenti architetture di rete, un esempio su tutti è il modello OSI (Open System Interconnection), sviluppato dall'ISO che ha il vantaggio di essere un implementazione abbastanza generale e tuttavia valida.

▶ OSI

Il modello OSI ha 7 livelli (layer):

1) PHYSICAL: si occupa di ricevere e trasmettere i bit attraverso un canale di comunicazione
2) DATA LINK: incapsula le unità di informazione ricevute/trasmesse ed identifica eventuali errori di trasmissione
3) NETWORK: controlla le operazioni della sottorete, decidendo quali percorsi utilizzare per la trasmissione di dati ("routes"), controllando il traffico dati per evitare eventuali congestioni
4) TRANSPORT: fornisce il trasferimento dati tra i processi, assicurandosi che le comunicazioni tra i layer più alti ed il network avvengano correttamente
5) SESSION: fornisce e mantiene le sessioni di comunicazione tra diverse macchine
6) PRESENTATION: si assicura che i dati siano rappresentati nel formato opportuno.
7) APPLICATION: contiene una varietà di protocolli generalmente utilizzati dall'utente, e.g. HTTP

Un modello contrapposto a quello OSI è il TCP/IP, che ha un'applicazione più ristretta, ma che paradossalmente è utilizzato molto di più dell'OSI. Il modello TCP/IP non presenta i layer 5 e 6 presenti nell'OSI ed il physical layer e data link layer sono uniti in un unico livello chiamato HOST-TO-NETWORK, che non definisce un vero standard all'implementazione di tale livello di collegamento tra hardware e software, e la sua implementazione quindi varia da host ad host e da network a network. (Nel modello TCP/IP il livello network è chiamato internet layer).

Un compromesso di seguito utilizzato è quello del modello ibrido (hybrid model) che consiste in cinque layer: 5) application, 4) transport, 3) network, 2) data link, 1) physical

---

PHYSICAL LAYER

L'obiettivo del physical layer è quello di trasportare un flusso di raw bit da una macchina ad un'altra.

Diversi medium possono essere utilizzati per adempiere a tal compito, ma in generale si può distinguere tra due categorie di trasmissione:

- wired
- wireless

WIRED

- UTP (Unshilded Twisted Pair): consiste in cavi annodati in una forma elicoidale, tale forma è necessaria poiché un singolo cavo attraversato da corrente creerebbe una modifica di potenziale del campo magnetico circostante, interferendo così con i cavi ed attrezzature adiacenti. La forma elicoidale permette ai due cavi di annullare reciprocamente le oscillazioni elettromagnetiche, tale annullamento è maggiore nel punto di contatto tra i due cavi, ma risulta non totale nei rimanenti punti. Per questo motivo esistono diverse categorie di UTP, e.g. UTP3 e UTP5, con un maggior numero di punti di contatto proporzionalmente al numero della categoria.

  Il bandwith dipende dunque dalla categoria dell'UTP, andando da 16MHz e 100MHz per UTP3 e UT5 fino a 250MHz e 600MHz per le categorie 6 e 7 rispettivamente.

- CAVO COASSIALE: ha una schermatura migliore degli UTP, potendo quindi attraversare maggiori distanze con una maggiore velocità. Generalmente utilizzato per la TV via cavo e più in generale per le reti MAN, raggiungendo un bandwith di circa 1GHz

- FIBRA OTTICA: microtubo in vetro in cui vengono fatti passare dei fasci di luce, con eventuali rimbalzi al suo interno. Generalmente, un impulso di luce indica 1 bit, mentre l'assenza di luce indica 0 bit. La trasmissione è ricevuta da un dispositivo che genera impulsi elettrici in base alla luce ricevuta, creando così una trasmissione unidirezionale tra trasmettitore e ricevitore. Possono essere presenti microtubi di fibra ottica singoli, oppure un cavo che ne contiene diversi.

  Connessioni tra fibre:

  - connettori (come per i cavi in rame), si perde circa un 10-20% di luce.
  - allineatori meccanici di precisione, si perde circa un 10% di luce.
  - fusione dei due microtubi, in caso si sia sicuri che l'infrastruttura non cambierà in futuro, si perde circa l'1% di luce (relativamente poco)

  L'importanza della trasmissione attraverso fibre ottiche risiede però anche nel tipo di luce utilizzata per trasmettere il segnale: un segnale laser rispetto ad un segnale led permette di trasferire dati con una frequenza maggiore e per una maggiore distanza, mentre un segnale led rispetto ad uno laser risulta più economico e minormente soggetto agli sbalzi di temperatura.

  La fibra ottica presenta alcuni svantaggi rispetto alle connessioni in rame, tra i quali: il maggiore costo, la minore flessibilità del vetro rispetto al rame, maggiori difficoltà di connessione tra due fibre ottiche, ed una tendenza della luce ad affievolirsi nel tempo necessitando quindi di una componente elettrica che la rinvigorisca; in compenso però la fibra ottica possiede alcuni

vantaggi rispetto al rame, in particolare: la fibra ottica permette maggiore banda utile, maggiore sicurezza (dato che la trasmissione è unidirezionale tra trasmittente e ricevitore, e non è pratico tagliare dei microtubi in vetro per intercettare il segnale, data la loro fragilità), è invece semplice sdoppiare od unire il segnale utilizzando un prisma di vetro, dispositivo non elettronico che non richiede manutenzione o particolari specializzazioni per l'utilizzo.

▶ WIRELESS

In alternativa all'utilizzo di trasmissioni cablate è anche possibile utilizzare lo spettro elettromagnetico per inviare segnali attraverso lo spazio (anche nel vuoto), distinguendo i vari segnali attraverso l'utilizzo di diverse frequenze. La scelta delle frequenze dello spettro elettromagnetico è stata regolamentizzata attraverso l'utilizzo della banda ISM (Industrial, Scientific, Medical), cioè una banda libera e utilizzabile da chiunque ne necessiti. Tale banda è distribuita a pezzi per tutto lo spettro, così da coprire tutte le possibili necessità

- ONDE RADIO: sono omnidirezionali, quindi non necessitano di particolari allineamenti tra trasmettitore e ricevente, ma da ciò deriva anche il fatto che siano presenti molte interferenze dovute all'uso della stessa frequenza. La radio AM è a basse frequenze, ciò permette alle onde di attraversare meglio gli ostacoli, ma in compenso si disperde più facilmente, mentre le onde FM sono ad una frequenza maggiore di quelle AM, dunque avranno bisogno di antenne più direzionali e saranno più facili da bloccare, ma avranno una minore dispersione nello spazio.
- MICROONDE: frequenza maggiore di 100 MHz, perdono così l'omnidirezionalità e viaggiano approssimativamente in linea retta, è dunque più semplice focalizzare il segnale su un unico ricevente ed inviarlo per distanze maggiori, però è ora necessaria una infrastruttura trasmettitore - ricevente. Sono frequenze molto utilizzate, dunque è presente un problema di affollamento della linea, i provider si sono quindi spostati verso frequenze sempre maggiori.
- INFRAROSSO: dette anche onde millimetriche, per via della loro lunghezza d'onda, vengono utilizzate in dispositivi quali i telecomandi. Sono sempre più direzionali e sono bloccabili con maggiore facilità. Uno dei maggiori vantaggi di queste onde è che sono molto economiche da generare, e contemporaneamente anche un mezzo di trasmissione molto sicuro, essendo difficili da intercettare data la loro natura direzionale.
- LIGHTWAVE: l'utilizzo delle onde luminose come mezzo di comunicazione è stato molto frequente nel corso della storia. Al giorno d'oggi la frequenza della luce visibile è utilizzata per dispositivi quali i laser, che permettono di focalizzare il segnale su un unico ricevente anche molto distante, il grande problema di questa frequenza, però, è che è troppo facilmente bloccabile, e.g. il solo vapore acqueo dell'atmosfera.

COMUNICAZIONI SATELLITARI

Nelle comunicazioni satellitari un aspetto chiave è l'altezza orbitale del satellite, infatti in orbita bassa saranno necessari molti satelliti per coprire la superficie terrestre, mentre un satellite più alto richiede un maggiore tempo di invio di un segnale. In aggiunta, è presente una proporzionalità quadratica tra potenza necessaria per la trasmissione e altitudine del satellite.

Un altro problema per i satelliti a maggiore altitudine è la presenza di due fasce di particelle cariche intrappolate nel campo magnetico terrestre, dette fasce di Van Allen.

Sono presenti tre fasce satellitari: GEO (satelliti geostazionari posizionati al di sopra delle fasce di Van Allen), MEO (satelliti ad orbita media tra le due fasce di Van Allen), e LEO (satelliti ad orbita bassa posizionati al di sotto delle due fasce di Van Allen).

- MEO: tecnologia esemplificativa dei satelliti MEO è quella del GPS: composto da circa 30 satelliti posseduti dalla difesa statunitense, tecnologia resa pubblica nel 1983 a seguito di un incidente aereo in territorio russo a seguito di una perdita di rotta facilmente evitabile con una tecnologia quale il GPS. Inizialmente era stata resa pubblica una versione del GPS con un'incertezza limitata a 100 metri, ma negli anni si sono poi capiti i possibili utilizzi di questa tecnologia anche al di fuori dell'ambito dell'aviazione, dunque nel 2000 il limite di incertezza è stato ridotto a 20 metri. Il sistema GPS ha un tempo fisso di "fix" in cui il chip utilizzato identifica i satelliti più vicini che permettono di triangolare il segnale; un caso speciale sono i telefoni cellulari che utilizzano un così detto A-GPS (Assisted GPS) in cui le celle telefoniche "assistono" il chip nell'identificazione dei satelliti più vicini, anche attraverso il barometro per quanto riguarda l'altitudine dell'utente. Oltre alla tecnologia statunitense del GPS esiste anche il corrispettivo russo GLONASS che utilizza 28 satelliti ed è ugualmente liberamente utilizzabile, che può servire per un controllo incrociato con il GPS. Prima dell'avvento del GPS era presente il progetto TRANSIT che utilizzava dei piccoli satelliti radiotrasmettitori che emettevano dei brevi segnali radio, transitando velocemente al di sopra della superficie terrestre era possibile per un utente rilevare l'effetto Doppler provocato dallo spostamento del suono per calcolare approssimativamente la propria posizione.

- GEO: l'unica orbita geostazionale che non richiede correzioni artificiali è l'orbita equatoriale, è quindi presente un problema di sovraffollamento della fascia geostazionale equatoriale, con conseguenti problemi di interferenze, ma è anche maggiormente difficile posizionare un nuovo satellite senza collidere con quelli già presenti. Per questi motivi è quindi presente un limite di 180 satelliti in tale fascia.
Utilizzi tipici dei satelliti geostazionali sono: satelliti spia (che necessitano di rimanere stabili al di sopra di un obiettivo), satelliti meteorologici, satelliti per trasmissioni televisive DSB (Direct Signal Broadcast)

- LEO: tempo di latenza minore dei satelliti MEO e GEO, dunque ottimi per le telecomunicazioni satellitari, anche se data la bassa altitudine orbitale saranno necessari più satelliti per una copertura ottimale della superficie terrestre. Un esempio su tutti è dato dal progetto iridium, tale tecnologia prevedeva inizialmente l'utilizzo di 77 satelliti, poi diminuiti a 66, ed era il primo sistema di telecomunicazioni globale, capace di coprire anche luoghi non precedentemente raggiungibili; ogni satellite iridium prevede 48 calle telefoniche, il segnale una volta ricevuto dall'utente viene inviato al destinatario attraverso l'utilizzo della rete di satelliti iridium, permettendo quindi un trasferimento di segnale senza le interferenze presenti nell'atmosfera terrestre, però il maggiore problema per il sistema iridium, oltre ai costi di gestione, è che l'utente finale necessita di un telefono cellulare con un antenna adeguata ad una comunicazione satellitare, che rende ingombrante l'utilizzo ed il trasporto di tale dispositivo. Un altro esempio di telecomunicazione satellitare è di globalstar, che tenta di abbassare i costi di gestione dell'infrastruttura satellitare attraverso una riduzione dell'utilizzo dei satelliti; i satelliti globalstar vengono infatti utilizzati solamente per ricevere il segnale dell'utente e consegnarlo al ricevente, mentre la trasmissione del segnale tra questi due satelliti avviene via terra attraverso dei ripetitori, è dunque possibile utilizzare dei telefoni senza un'antenna satellitare in quanto il segnale può essere inviato direttamente al ripetitore più vicino; il punto debole del servizio è però è l'eccessivo risparmio sulle tecnologie satellitari, infatti un satellite globalstar ha una vita di 7,5 anni rispetto ai 23 anni di un satellite iridium, si viene quindi a creare un problema di satelliti non più utilizzati, ma ancora presenti nell'orbita terrestre, creando così un accumulo di rottami spaziali.

Al problema dei rottami spaziali non esiste ancora una soluzione efficace, infatti fu tentato di distruggere con dei missili i satelliti inutilizzati, ma l'unico risultato fu quello di creare innumerevoli altri rottami.
Un'altra soluzione potrebbe essere quella di deviare l'orbita del satellite verso l'atmosfera terrestre, così che venga distrutto dall'attrito con l'aria, però si pone il rischio che alcuni frammenti potrebbero arrivare a terra, creando così un rischio per la sicurezza.
La soluzione più adottata al giorno d'oggi è quella di deviare il satellite verso un orbita più esterna detta "graveyard orbit", questa opzione è resa più facile della precedente dal fatto che è necessario meno lavoro per spingere un oggetto verso un orbita più esterna rispetto ad una più interna.
La Inter-Agency Space Debris Coordination Committee è un'associazione internazionale a cui partecipano varie agenzie spaziali di tutto il mondo con lo scopo di affrontare il problema dei detriti spaziali. Uno dei compiti che svolge tale associazione è quello di tenere traccia dei milioni di frammenti presenti nell'orbita terrestre ed avvisare di possibili impatti con satelliti funzionanti. Data l'enorme numero di detriti presenti non è possibile elaborare previsioni precise sulle collisioni con altri satelliti, vengono dunque effettuate delle stime percentuali di rischio; in generale ogni satellite funzionante riceve circa 10 segnalazioni di possibile collisione ogni settimana

▶ SATELLITI VS FIBRA

Fino a 40 anni fa si sarebbe potuto pensare che il futuro delle telecomunicazione sarebbero state le comunicazioni satellitari; di fatti il sistema telefonico non era cambiato significativamente dai precedenti 100 anni e non erano segni che dovesse cambiare nei successivi 100.
Ci fu però un cambiamento radicale nel 1984, quando negli USA approvarono il revised telecommunication act, successivamente approdato anche in Europa, che prevedeva una sostituzione delle vecchie reti telefoniche con la fibra e servizi a banda larga quali l'ADSL, con un successivo abbassamento delle tariffe per la fruizione di tali tecnologie. Le comunicazioni satellitari si sono quindi ridotte ad un utilizzo più di nicchia, dove le tecnologie terrestri quali la fibra non potevano arrivare:

- una singola fibra ottica ha, in teoria, maggiore banda di qualsiasi satellite ma lanciato, però tale banda viene limitata dai provider per permettere a più utenti di connettersi contemporaneamente, una limitazione che

può però essere bypassato nelle comunicazioni satellitari attraverso l'uso di antenne.

- comunicazioni in broadcast sono molto più efficienti attraverso l'uso di satelliti
- una comunicazione satellitare non necessita di una infrastruttura nel luogo di utilizzo, dunque può essere fruita anche in zone di guerra o sottosviluppate (e.g. orbite Molniya e Tundra, e satelliti Sirius)

Un ulteriore vantaggio dei satelliti sulla fibra era quello delle trasmissioni mobili non cablate, vantaggio poi sconfitto con l'introduzione delle reti wireless.

▶ CAPACITÀ DI TRASMISSIONE

La larghezza di banda (bandwidth in inglese) è una misura fisica che indica l'insieme di frequenze trasmettibili su un canale, ed è generalmente misurata in Hz.

Il data-rate è invece una misura informativa (dunque astratta) che può essere ricondotta a due diverse misure:

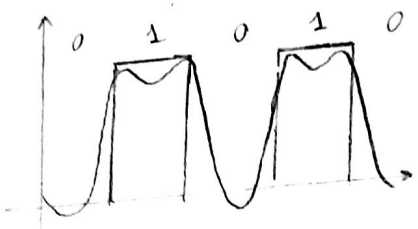
- BIT RATE: quanti bit al secondo vengono trasmessi
- BAUD RATE: quanti simboli al secondo vengono trasmessi, utile in caso si stia associando un differente simbolo ad ogni forma d'onda, e.g. trasmissioni audio o video.

In generale, bitrate = baudrate · $\log_2 V$, dove V è il numero di simboli trasmessi, quindi il bitrate sarà sempre maggiore del baudrate quando si trasmettono più di due simboli. Difatti il bitrate non è altro che il baudrate nel caso specifico in cui vengono trasmessi solo due simboli, 1 e 0.

Naturalmente maggiore è la frequenza di trasmissione e più alto sarà il datarate, però frequenze troppo alte sono generalmente poco applicabili ai canali di comunicazione reali. È dunque necessario trovare un buon compromesso tra alte frequenze e capacità di trasmissione, infatti la potenza di trasmissione cresce col quadrato della frequenza trasmessa, perciò è presente un limite di banda, cioè un limite di potenza impiegata.

▶ TRASFORMATA DI FOURIER

Nel XIX secolo fu provato che qualsiasi funzione periodica può essere costruita con la somma di un numero (anche infinito) di seni e coseni. Ciò risulta utile nelle comunicazioni di dati in quanto è possibile utilizzare un numero finito di onde per trasmettere un segnale non riproducibile sotto forma di onda sinusoidale.



▶ ATTENUAZIONE

Ogni impulso energetico trasmesso in un mezzo che non sia nel vuoto subirà un'attenuazione di potenza. Questa viene misurata in decibel attraverso la formula:

$$10 \log_{10} \left(\frac{\text{potenza trasmessa}}{\text{potenza ricevuta}} \right)$$

L'attenuazione dipende dalla frequenza, quindi una forma d'onda in generale subisce diverse modifiche a seconda delle sue componenti nella trasformata di Fourier.

La bandwidth è limitata e dipende dal mezzo di trasporto utilizzato, vengono infatti utilizzate le frequenze meno soggette al fenomeno dell'attenuazione.

▶ DATA-RATE MASSIMO

Data una banda massima (B) ed il numero dei livelli di segnale utilizzati nella trasformata di Fourier (L) (e.g. segnale binario L=2) allora è possibile utilizzare il teorema di Nyquist che definisce il data-rate massimo attraverso la formula:

$$\text{max data-rate} = 2B \log_2 L \quad \left[\frac{bit}{sec}\right]$$

Il teorema di Nyquist vale però per canali ideali privi di rumore di fondo. La quantità di rumore presente in un canale è determinata dal rapporto tra potenza del segnale (S) e potenza del rumore (N), chiamato signal-to-noise ratio (S/N).

Generalmente non è però considerato il rapporto S/N, ma bensì la quantità di rumore presente, espressa dalla formula: $10 \log_{10} \frac{S}{N}$ [dB]

Il teorema di Shannon permette di generalizzare quello di Nyquist con l'introduzione del signal-to-noise ratio:

$$\text{max data-rate} = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad \left[\frac{bit}{sec}\right]$$

▶ DISPERSIONE

La dispersione risulta essere un problema più grave dell'attenuazione, poiché in questo caso l'onda viene distorta in base alla sua frequenza, risulta dunque difficile ricostruire un'onda distorta.

Una possibile soluzione potrebbe essere quella di utilizzare un gran numero di ripetitori per ritrasmettere e correggere il segnale prima la

dispersione è ancora minima. Tale soluzione non risulta però conveniente nel mondo reale. Una soluzione migliore risultano essere le onde solitoniche: i solitoni sono onde che hanno una dispersione quasi nulla, risultano quindi perfette per le trasmissioni, (una prima dispersione per i solitoni avviene solamente dopo 10'000 km).

▶ RETE TELEGRAFICA

Uno dei primi esempi di reti globali "wired" è il telegrafo (tele = lontano, graphein = scrivere).
Ancor prima dell'epoca elettrica erano presenti i primi esempi di comunicazione telegrafica attraverso i così detti telegrafi ottici che trasmettevano comunicazioni attraverso l'uso di segnali luminosi.
Nel 1837 Morse ebbe l'idea di migliorare il telegrafo elettrico (all'epoca già esistente) attraverso l'uso di ripetitori che furono la vera rivoluzione nel campo telecomunicativo, infatti precedentemente i telegrafi risultavano inutilizzabili nelle lunghe distanze.
Un successivo salto qualitativo avvenne nel 1850 con l'introduzione di cablaggi sottomarini al fine di connettere il territorio inglese con il continente europeo.
A partire dal 1855, ispirato dall'impresa inglese, l'americano Cyrus Field avviò la sua impresa di connettere l'America con l'Europa. Dopo una serie di fallimenti l'impresa fu portata a termine nel 1858. La connessione transatlantica appena formatasi era composta da un cavo composto da sette cavi interni in rame ricoperti da tre strati di gomma isolante.
Il data-rate di questa prima connessione era di 0,1 parole al minuto, troppo basso per poter intraprendere una conversazione in tempi rapidi. Venne dunque tentato un aumento di voltaggio per poter trasmettere più velocemente, però il tentativo finì con l'irreversibile fusione della prima connessione transoceanica.
A seguito di un ulteriore tentativo fallito Cyrus Field riconnettè i due continenti nel 1866, questa volta utilizzando un cavo migliore che fu sviluppato in quegli anni. Il data-rate di questa nuova connessione era 8 parole al minuto, sufficienti per iniziare le prime conversazioni transatlantiche. Dopo poche settimane fu anche aggiunto un secondo cavo parallelo alla precedente connessione, cavo recuperato da un precedente tentativo fallito. Solo nel 1956 fu aggiunto un nuovo cavo per portare la comunicazione a 120 parole al minuto, grazie anche all'inserimento dei primi ripetitori.

Al giorno d'oggi sono presenti molte altre grandi reti di comunicazione che interconnettono il mondo intero. Nel 1902 viene steso il primo cavo nel Pacifico permettendo una prima vera connessione globale. Nel 1988 venne installato il TAT8, cioè il primo cavo transatlantico in fibra ottica.

RETE TELEFONICA e MODEM

Il sistema telefonico fu la seconda grande rete mai creata, inizialmente sviluppata come overlay della grande rete telegrafica.

All'inizio del 1876 una linea telefonica (point-to-point) era composta da una coppia di telefoni, direttamente collegati tra loro. Risultò subito chiaro che non era conveniente avere un grafo super connesso tra tutti i telefoni presenti in una rete (relazione quadratica tra telefoni e connessioni necessarie). Nel 1878 ci fu quindi il passaggio agli switching center (centralini telefonici) che avevano il compito di creare la linea tra due telefoni connettendo fisicamente il cavo del chiamante con quello del ricevente. Col diffondersi dei telefoni i centralini iniziarono però ad avere troppe connessioni da gestire, si decise dunque di creare dei centralini di secondo livello che avevano il compito di connettere tra loro quelli di primo livello. Questo inalbramento di livello provoca però un maggiore tempo di attesa per un utente prima che venga collegato all'altra linea. Tale situazione scalò fino ad arrivare a cinque livelli, creando la così detta PSTN (Public Switching Telephone Network).

Il "local loop" (in italiano detto l'"ultimo miglio") è la rete UTP3 (cavi poco performanti) che connette la rete centrale con i singoli telefoni degli utenti.

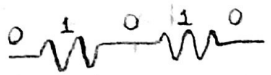
Nel 1984 gli Stati Uniti liberalizzarono il mercato delle telecomunicazioni permettendo ai nuovi competitor il diritto di inserimento nell'infrastruttura comunicativa. Nel 1995 il termine telecomunicazioni fu ulteriormente esteso includendo anche connessioni quali la TV via cavo. L'anno successivo fu anche sancito il diritto di portabilità del numero telefonico.

Generalmente una conversazione telefonica è convertita in digitale (binario) tranne che per il local loop.

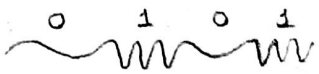
Per convertire il segnale è utilizzato un modulatore ed un demodulatore. Viene utilizzato una corrente alternata per trasmettere il segnale.

Esistono tre modi per modulare il segnale:

- ampiezza: variando l'ampiezza per determinare i bit trasmessi

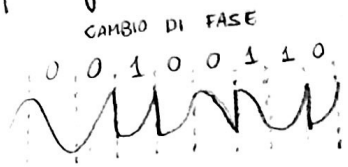


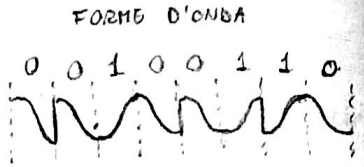
- frequenza: utilizzando frequenze diverse, anche detta "frequency shift keying"



- fase: detta anche "phase shift keying", si basa sullo spostamento della fase dell'onda, anche mantenendo

frequenza e ampiezza invariate; quando la fase cambia allora si identifica un cambio di bit, oppure si utilizzano delle forme d'onda pre determinate per ogni simbolo utilizzato.

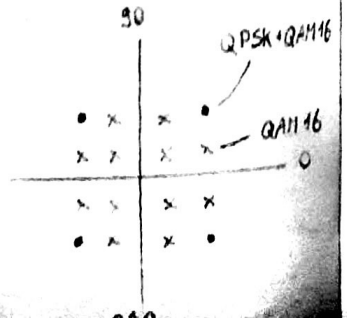




Quando si utilizzano 4 sfasamenti diversi allora la modulazione viene chiamata QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Aumentando gli sfasamenti considerati è possibile aumentare anche il bitrate a parità di baudrate (e.g. quattro simboli ognuno dei quali rappresenta due bit, dunque il bitrate è doppio del baudrate), in questo modo però gli sfasamenti risultano sempre più indistinguibili l'uno dall'altro, andando quindi incontro a possibili errori di modulazione.

Per migliorare il data-rate è anche possibile combinare due delle tre tipologie di modulazione, mantenendone una fissa di riferimento. Con il QAM-16 si è deciso di mantenere fissa la frequenza (che aiuta a mantenere invariato il ciclo di clock), mentre si utilizza fase e ampiezza per modulare il segnale.

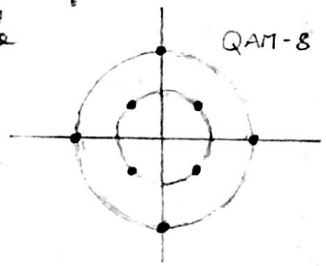
Con un costellation diagram è possibile rappresentare graficamente le forme d'onda utilizzate dalle varie tipologie di modulazione



Maggiori sono gli angoli utilizzati per le fasi d'onda e maggiore sarà il rapporto tra bitrate e baudrate:

- QPSK: 4 fasi, bitrate doppio del baudrate
- QAM-16: 16 fasi, bitrate quadruplo del baudrate
- QAM-64: 64 fasi, bitrate sestuplo del baudrate

Esistono però modi migliori di disporre i segnali nel diagramma, per prevenire ulteriormente l'interferenza tra le singole fasi, e permettendo così un maggiore margine di incertezza dovuto alla dispersione e a rumori esterni. Un esempio sono le modulazioni circular QAM.



In generale si tende però a preferire l'utilizzo di angoli più facili da generare e (de)codificare.

Principali standard utilizzati dai modem:

V.21 (1964): modulazione di frequenza, 300 bps

V.22 (1980): modulazione di fase, 1,2 Kbps

V.22bis (1984): QAM-16, 2,4 Kbps (retrocompatibile con V.22)

V.32 (1990?): QAM-32 con error correction, discutida
- necessaria per l'elevato numero di simboli utilizzati (32), 9600 bps

V.32bis (1991): modulazione multipla molto complessa con 128 simboli, 14.4 Kbps

V.34 (1994): anch'esso complicato, 12 bit per simbolo, 28.8 Kbps

V.34bis (1996): complesso con 14 bit per simbolo, 33.6 Kbps

Se si calcola il limite fisico di Shannon della linea telefonica tra due utenti che utilizzano una connessione modem, si ottiene che il limite è di 35Kbps. Con il protocollo V.34bis si sarebbe quindi raggiunto il limite fisico della connessione modem.
La situazione non viene migliorata dal fatto che la banda telefonica sia filtrata nel local loop a circa 4KHz, per evitare interferenze dannose per l'utente finale e garantire quindi un suono più pulito.
Il limite di 35Kbps può però essere portato a 70Kbps nel caso in cui la connessione sia tra un utente e il provider e non tra due utenti finali, infatti dal lato provider non è presente un cap prestazionale dovuto al local loop del lato utente.
Con una modulazione ottimale si potrebbe quindi arrivare a 64Kbps utilizzando 8bit per i dati, però per vari motivi negli USA è stato scelto uno standard che utilizzi solo 7bit, diminuendo la connessione massima a 56Kbps. Ogni connessione al mondo effettuata attraverso modem risulta quindi essere il 15% meno performante delle capacità fisiche effettive.
Gli standard più veloci a questo punto risultano essere quelli asimmetrici, dato che un utente medio scarica più dati di quelli che invia:

V.90 (1998): 56Kbps in downstream e 33,6Kbps in upstream
V.92 (1999): 56Kbps in downstream e 48Kbps in upstream

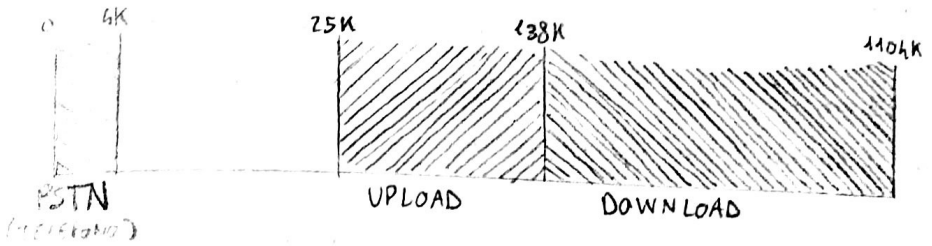
Contemporaneamente a questo periodo nascevano anche i primi standard per i fax. I primi fax nascono nel XIX secolo come overlay del sistema telefonico, ma diventati popolari solo nel secolo successivo per la necessità delle comunicazioni asiatiche di trasmettere ideogrammi come immagini. Successivamente il fax si è evoluto come overlay della linea telefonica. In un fax moderno è possibile selezionare la risoluzione delle immagini da inviare (da un minimo di 100x100dpi) fino ad un massimo di 400x400dpi per i fax di gruppo 3). Standard modulazione fax:

V.27 (1988): 4,8Kbps, PSK
V.29 (1988): 9,6Kbps, QAM
V.17 (1991): 14,4Kbps, TCM
V.34 (1994): 28,8Kbps, QAM
V.34bis (1996): 34,6Kbps, che risulta essere un limite fisico in quanto la connessione avviene inevitabilmente tra due utenti collegati al local loop e non tra utente e provider.

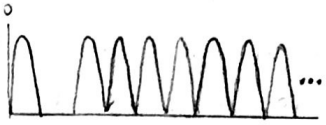
▶ xDSL

Il caso generale è quello delle DSL (Digital Subscriber Line), che nascono per superare il limite di 56Kbps.
Per andare oltre tale limite si sarebbe potuto pensare di utilizzare i cavi coassiali (10Mbps) già presenti per la TV via cavo, oppure all'utilizzo di satelliti (50Mbps); però entrambe queste possibilità avrebbero costretto i provider a sottoscrivere costose partnership con i possessori di tali infrastrutture. È opportuno quindi di sostituire i cavi UTP3 del local loop, però

un'operazione del genere sarebbe risultato troppo costosa. A questo punto viene trovata la soluzione rimuovendo i filtri antirumore, alzando così la frequenza massima da 4KHz a 1.1 MHz.
In questo modo però si rischierebbe di compromettere l'uso dei telefoni, dunque ogni utente necessita di installare nella propria linea uno splitter, che divide il segnale telefonico da 4KHz da quello internet a 1,1 MHz. Ogni splitter crea però delle interferenze nella rete a cui è collegato, risulta quindi auspicabile utilizzare il numero minimo possibile di splitter all'interno di un'abitazione, generalmente solo uno. Una soluzione ancora migliore sarebbe l'utilizzo di telefoni wireless con tecnologia DECT che filtra il segnale a livello wireless senza interferire con la rete wired.
Uno dei requisiti della rete digitale risulta quindi essere quello del multiplexing, cioè trasmettere più canali nella stessa rete. Una delle soluzioni migliori è quella di utilizzare un FDM (Frequency Division Multiplexing), cioè dividere i canali in base alle frequenze utilizzate.
La DSL più utilizzata risulta essere l'ADSL (Asymmetric DSL), asimmetrica perché analogamente agli standard modem V.90 e V.92 dà più spazio al download che all'upload. Nell'ADSL viene lasciato un range di frequenze tra 4KHz e 25KHz per prevenire interferenze tra linea telefonica



e linea internet. Però in questo modo sarebbero presenti un gran numero di interferenze all'interno dei range di frequenza. Si è quindi pensato di utilizzare 256 canali da 4312,5 Hz ciascuno che sportino lo spettro utilizzato.



È stata presa come riferimento la stessa frequenza di una connessione telefonica (4312,5 Hz) per poter riutilizzare le tecnologie già esistenti e ben collaudate.

Standard ADSL:

ADSL Lite: 1.5 Mbps download, 0.5 Mbps upload
ADSL: 8 Mbps download, 1 Mbps upload
ADSL 2: 12 Mbps download, 1 Mbps upload
ADSL 2 (annex J): 12 Mbps download, 3.5 Mbps upload
ADSL 2+: 24 Mbps download, 1 Mbps upload
ADSL 2+ (annex M): 28 Mbps download, 3.5 Mbps upload

Le ADSL 2+ utilizzano una banda doppia di 2.2 MHz anziché 1.1 MHz, che però necessita di una linea particolarmente buona.
Le ADSL 2 e 2+ supportano anche varianti "all-digital" in cui si rinuncia alla porta voce per guadagnare 256Kbps in

upstream.
Il limite dei 28 Mbps dell'ADSL risulta però ancora limitativo, soprattutto a seguito dell'aumento dello streaming video avvenuto negli ultimi decenni. È noto perciò un nuovo standard basato sulla crescente diffusione della fibra, che permette l'utilizzo di frequenze sempre più alte.
Nasce quindi il VDSL (Very high speed DSL, o informalmente detta anche Video DSL perché spinta dalla necessità dello streaming video)

Tipologie VDSL:
VDSL (2001): QAM, 55 Mbps download, 3 Mbps upload
VDSL2 (2006): FDM, 200 Mbps download, 100 Mbps upload
VDSL2+ (2011): FDM, 300 Mbps download, 100 Mbps upload

Tali velocità però dipendono da quanto cavo UTP3 è presente tra l'utente ed il provider, per esempio dopo 1,6 Km di UTP3 la connessione VDSL2 degrada in un ADSL2.
Per quanto riguarda la banda utilizzata non è stata fissata una configurazione tra upload e download come per l'ADSL, che risulta un approccio limitativo, ed è quindi stata lasciata libertà di scelta con i band plans.
Più si ramifica l'infrastruttura telecomunicativa e più risulta necessario gestire un gran numero di comunicazioni contemporaneamente. La soluzione risiede nell'utilizzo di un multiplexing FDM attraverso group / supergroup con i quali si passa da 600 comunicazioni per cavo fino a 230'000.
Nel caso della fibra, però, non viene più utilizzato il termine frequenza, ma lunghezza d'onda, dunque il multiplexing FDM viene chiamato WDM (Wavelength Division Multiplexing).
Nel 1990 era possibile trasmettere 8 canali da 2.5 Gbps ciascuno attraverso un singolo cavo di fibra, nel 2007 si è arrivati a 124 canali da 50 Gbps ciascuno, fino ad arrivare ai 32'000 Gbps trasmessi in un singolo cavo in fibra nel 2014.
Non esiste però solo il multiplexing di frequenza (FDM), ma anche altri come il multiplexing temporale (TDM) in cui si divide il tempo di connessione per distribuire i canali utilizzati, ma maggiori saranno i canali e minore sarà la velocità di connessione (e.g. con 24 canali si hanno 1.5 Mbps)

▶ RETE TELEVISIVA
Le comunicazioni televisive più utilizzate al giorno d'oggi sono il satellite ed il digitale terrestre.
Il satellite è soggetto a molte interferenze dunque necessita di uno schema di modulazione molto robusto, viene dunque utilizzata una modulazione QPSK, mentre il digitale terrestre è propagato a terra, e può dunque utilizzare una QAM.
Il digitale terrestre però è soggetto agli echi del terreno e dei palazzi circostanti, fenomeno che è invece evitato dal satellite che invia il segnale perpendicolarmente al terreno.
Il digitale terrestre invia il segnale seguendo una modulazione FDM. Ogni canale viene diviso

in tante trasmissioni indipendenti.

È inoltre presente una tecnologia di compressione dati per ricreare il flusso di dati in digitale, detta MPEG2.

Oltre al circuit switching (collegamento fisico simile ai centralini telefonici) esiste anche il message switching, che permette di inviare un messaggio e determinare il percorso di arrivo durante l'avanzamento del messaggio. Tale connessione però risulta essere difficoltosa in caso di messaggi troppo grandi. Viene dunque preferito il Packge switching in cui il messaggio è diviso in pacchetti più piccoli e dunque più facili da inviare, ma anche da perdere.

▶ TELEFONIA MOBILE

Nel campo della telefonia mobile l'Europa risulta questa volta più competitiva degli USA, infatti:

- in Europa è presente uno standard unico per la gestione mobile, mentre gli USA sono improntati su un eccessivo liberalismo che ha permesso la nascita di diversi standard non compatibili tra loro.
- in Europa è presente un principio trasparente di conoscenza tariffaria, infatti nel vecchio continente esiste una chiara distinzione tra numeri fissi e numeri mobili, dunque il ricevente di una chiamata può conoscere subito se gli saranno applicate le tariffe per una chiamata verso mobile o fisso. In USA invece non esiste questa distinzione tra fisso e mobile, ma si è pensato di applicare tutti gli oneri aggiuntivi di chiamata all'interlocutore mobile, svantaggiando quindi il suo uso.
- Negli USA il liberalismo introdotto negli anni '80 ha portato una grande competizione nel mercato della telefonia fissa, decretandone un costo delle tariffe molto basso, dunque con l'introduzione del mobile, che costava di più del fisso, non si è avvertita l'esigenza di effettuare il passaggio. Al contrario in Europa i costi del fisso erano ancora molto alti, dunque il passaggio al mobile risultava economicamente migliore.

Per lo sviluppo della tecnologia mobile si creò un problema di divisione territoriale per la trasmissione dei dati, venivano infatti utilizzate delle celle telefoniche distribuite nel territorio.

Il digitale risulta consolidarsi nelle trasmissioni mobile solo a partire dalla terza generazione (2G), mentre le prime due (0G e 1G) sono analogiche.

Generazioni telefonia mobile:

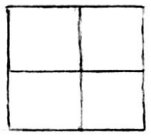
0G: deriva dalle trasmissioni radio che si sono poi evolute nei così detti PTT (Push To Talk), e.g.: walkie-talkie, in cui era presente un solo canale di trasmissione, quindi un half-duplex. Si parlava infatti di posti e non switch, perché in questo modo non risulta possibile dimenticare la connessione attiva una volta terminato di utilizzarla.

Negli anni '60 nasce la prima vera generazione telefonica: l'IMTS (Improved Mobile Telephone System),

in cui si dispongono di una frequenza diversa di trasmissione, con anche un sistema di privacy che impediva di trasmettere le comunicazioni in chiaro. Le celle utilizzate disponevano di 23 canali ciascuno con frequenze da 150-450 MHz, esse sportavano un raggio di antinaio di chilometri e dunque risultavano limitative in zone molto affollate.
Il 0G si può ancora trovare in zone poco abitate.

1G: nel 1982 i Bell Labs introducono il sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System), anche conosciuto in Italia con il nome di TACS (Total Access Communication System). Il sistema utilizzava una tecnologia simile a quella dell'IMTS, ma con celle più piccole (10-20 km) e quindi più accessibili per gli utenti. Con celle più piccole si ha anche minore potenza necessaria per le trasmissioni, perciò c'è un drastico calo di dimensioni delle batterie, permettendo così la nascita di telefoni sempre più piccoli.
Celle più piccole significa però anche più interferenza tra di loro, infatti saranno presenti più zone di confine tra le celle. Una soluzione a tale problema potrebbe essere quella di utilizzare diverse frequenze per ogni cella, così facendo però si diminuisce drasticamente il numero di frequenze utilizzabili da ogni cella, con un conseguente calo di banda dati. È dunque necessario trovare il numero minimo di frequenze da utilizzare per evitare interferenze tra celle. Questo risulta essere un problema di colorazione del grafo che

fu risolto nel 1976 con il teorema dei quattro colori, il quale afferma che bastano 4 colori per colorare un qualunque grafo in modo tale che ogni nodo del grafo abbia un colore differente dai suoi adiacenti.
Nella pratica però non è sempre possibile utilizzare 4 colori, infatti risulta a volte necessario inserire delle celle più piccole all'interno di celle più grandi (e.g. nel caso di grandi centri abitati) e dunque saranno necessarie più frequenze per adattarsi a quelle già esistenti, a meno che non si combini le frequenze di tutte le celle comprese a quella rete, cosa che risulta impraticabile. Dunque in un contesto reale le frequenze utilizzate dalle celle variano da 3 a 7.
Per quanto riguarda la forma delle celle fu inizialmente provata una distribuzione di celle squadrate, ma ciò risultò in un continuo scambio di celle nel caso in cui l'utente stia percorrendo il confine tra due celle, evento che risulta molto frequente quando il confine tra due celle risulta essere in corrispondenza di una strada cittadina; utilizzare una struttura esagonale permette quindi un minore cambio di celle durante un percorso rettilineo.



Ogni cellulare è aggrappato ad una sola cella, ma in caso il segnale verso la cella utilizzata si indebolisca, allora viene effettuata una ricerca di una cella che favorisca una ricezione migliore, e in caso venga trovata viene effettuato un handoff verso

tale cella. La procedura di ricerca ed handoff è a carico della cella a cui è collegato il cellulare, alleggerendo così il carico di lavoro per l'utente.
In un hard handoff la cella utilizzata interrompe il collegamento col cellulare per permettere alla nuova cella di collegarsi, ma così facendo ci sarà un periodo di tempo (1/3 di secondo) in cui il telefono non avrà più ricezione, provocando quindi disagi per l'utente in caso esso fosse nel mezzo di una chiamata.
Un soft handoff prevede invece di mantenere attiva la connessione con la cella precedente finché non viene attivata la connessione con quella nuova, ma questo richiede un onere maggiore per il cellulare che dovrà gestire due connessioni in contemporanea. Il soft handoff è infatti disponibile solo a partire dal 3G.
La tecnologia 1G deve poter gestire un numero di utenti sempre più grande, dunque è necessario l'utilizzo di un multiplexing quale FDM, con 832 canali per cella. Ogni cella è full-duplex, dunque 832 canali simplex in trasmissione e 832 canali simplex in ricezione. In realtà però molti di questi canali non sono utilizzabili (canali di controllo e assestamenti di frequenza), infatti sono generalmente utilizzati solo 45 canali per cella.
Ogni cellulare possiede un numero seriale di 32 bit e un numero telefonico di 10 cifre (34 bit). Ogni 15 minuti ogni cellulare invia in broadcast i propri 32+34 bit per potersi registrare alla cella più vicina. Questa trasmissione è effettuata totalmente in chiaro ed è dunque facile poter clonare un cellulare intercettando questi dati. La richiesta è effettuata in un canale apposito (e condiviso), mentre in ricezione è utilizzato un ulteriore canale (sempre condiviso) detto di paging, canale che i cellulari consultano per sapere se sono presenti chiamate che li riguardino.

<u>2G</u>: risulta essere la prima generazione digitale. Anche in questo caso non si è riusciti ad arrivare ad un unico standard mondiale, ma sono presenti 4 standard in competizione tra loro (anche se due di questi sono molto simili e dunque è sufficiente un semplice aggiornamento software per renderli compatibili):

<u>D-AMPS</u> è uno standard statunitense (il PDC è il corrispondente nipponico che risulta essere molto simile), risulta essere retrocompatibile con AMPS (1G) dal quale eredita le frequenze fino a 850 MHz, che vengono ampliate con frequenze 1850-1990 MHz. In questa banda le onde risultano essere più corte (16 cm) e dunque sono sufficienti antenne

più piccole per ricevere il segnale.
Rispetto all'AMPS il D-AMPS utilizza una tecnica di compressione del flusso voce, grazie all'utilizzo della trasmissione in digitale. Con questa compressione si riescono ad abbassare i 56 Kbps utilizzati a 8 Kbps (a volte anche 4 Kbps), riuscendo così a trasmettere in una stessa linea 6 volte gli utenti trasmessi dall'AMPS. Un esempio di compressione, che risulta essere veloce e poco laboriosa, è la delta modulation, in cui si trasmette la variazione dell'onda rispetto al momento precedente (questo è un algoritmo che porta a possibili perdite di dati, che però in una trasmissione audio non risultano troppo significative) il segnale viene poi digitalizzato con 1 per variazioni positive e 0 per variazioni negative. Questa compressione peggiora dunque la qualità delle chiamate, che risulterà degradata rispetto a quella dell'1G. Coll'aumento dei dispositivi utilizzati, l'handoff risulta essere un onere troppo grande per la cella e dunque, a partire dal 2G, la ricerca e l'handoff è a carico del cellulare. Questo monitora continuamente il segnale ricevuto dalla cella ed in caso questo sia troppo basso può decidere di disconnettersi e cercare una nuova cella più vicina. Questa tecnica viene chiamata MAHO (Mobile Assisted HandOff). Nella comunicazione telefonica viene utilizzato un multiplexing temporale (TDM), dunque dispone di istanti periodici in cui non trasmette il segnale, e che può utilizzare per fare un controllo del segnale ricevuto, con possibile MAHO.

GSM: standard diffusosi in Europa (e dunque anche in Italia). Come nel D-AMPS viene usato un FDM con divisione TDM dentro ogni canale del FDM. Una differenza con l'AMPS è che sono presenti canali più ampi (200 KHz contro i 30 KHz dell'AMPS) e quindi un datarate più alto, a discapito di un numero di canali che risulta essere minore rispetto all'AMPS: 124 canali, ognuno con 8 slot TDM, con circa 33 Kbps disponibili per ogni utente (contro gli 8 o 12 Kbps dell'AMPS) e tolti gli oneri di overhead si ottengono 24.7 Kbps, e con l'utilizzo dell'error correction si arriva a 13 Kbps, contro gli 8 o 4 Kbps del D-AMPS, quindi in conclusione il GSM risulta avere una qualità audio migliore.
Il GSM è strutturato con celle variabili:
- macro: le più estese, con raggio massimo di 35 Km
- micro: da piazzare sopra ad edifici urbani
- pico: utilizzate in luoghi molto affollati, anche indoor
- umbrela: usate per coprire piccoli buchi o guasti di rete

Con il GSM compare anche per la prima volta la SIM (Subscriber Identity Module), con taglie variabili tra 4 Kb e 512 Kb, ma il suo scopo principale non

è quello di memorizzazione, ma l'importante è che custodisca due codici identificativi:

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) che identifica univocamente la SIM nel mondo
- Ki, la chiave di autenticazione per evitare il danaggio, dato che l'IMSI viene inviata in chiaro, l'operatore invia un numero criptato all'utente che è possibile "firmare" solo con la Ki, ed una volta decriptato viene rispedito all'operatore insieme all'IMSI

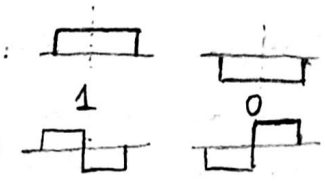
<u>CDMA</u> (Code Division Multiple Access) è l'ultimo standard concorrenziale al D-AMPS e GSM. In un ambiente CDMA non vengono utilizzati FDM/TDM, ma i dispositivi possono trasmettere a qualsiasi frequenza ed in qualsiasi momento. Per permettere questa tipologia di trasmissione viene assegnata una forma d'onda ad ogni dispositivo che lo identifica all'interno della rete. Questo è possibile grazie all'utilizzo spazi multidimensionali in cui ogni asse risulta univocamente identificabile poiché ortogonale a tutte le altre, dunque il prodotto scalare tra due assi risulterà essere nullo. Se viene ricevuto un segnale in cui sono state utilizzate più assi sarà quindi sufficiente effettuare un prodotto scalare tra i dispositivi registrati (i.e. gli assi disponibili) e considerare i risultati non-nulli per trovare gli assi utilizzati nella trasmissione. Per ridurre il più possibile le frequenze utilizzate per costruire le onde trasmesse, vengono utilizzati simboli 1 e -1 invece che 1 e 0. Per la creazione degli assi vengono utilizzate le matrici di Hadamard, formate dai simboli utilizzati 1 e -1:

$$H_1 = [1] \qquad H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_{2^k} = \begin{bmatrix} H_{2^{k-1}} & H_{2^{k-1}} \\ H_{2^{k-1}} & -H_{2^{k-1}} \end{bmatrix} = H_2 \otimes H_{2^{k-1}}$$

e.g.

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$



Le due parole (1 e 0, anche se in realtà sono 1 e -1) vengono trasmesse contemporaneamente (e.g 1,1 + 1,-1 = 2, 0) è quindi possibile effettuare un prodotto scalare per determinare quali simboli siano stati trasmessi (e.g $1 \cdot 2 + 1 \cdot 0 = 2 \neq 0$ quindi il segnale 1 del dispositivo associato agli assi 1,1 è stato trasmesso), in caso il risultato sia nullo allora il dispositivo associato a quell'asse non ha trasmesso simboli, nel caso di un risultato positivo significherebbe che il dispositivo ha inviato un simbolo 1, in caso di risultato negativo si avrebbe un simbolo -1 (i.e. 0).

Uno dei problemi maggiori dello standard CDMA è che si assume che ogni dispositivo trasmetta il segnale con la stessa potenza, perché in caso

contrario il prodotto scalare risulterebbe sbagliato. Però i telefoni cellulari hanno generalmente una distanza variabile dalla cella a cui sono collegati e quindi la potenza risulta diminuita in base a tale distanza. La soluzione fu trovata nell'aumentare la potenza del segnale inviato dai dispositivi in base alla distanza che il telefono rileva dalla cella. In questo modo la potenza del segnale che arriva alle celle sarà sempre la stessa.

Uno dei grandi pregi del CDMA è invece che la banda utilizzata non viene divisa in frequenze utilizzabili da ogni cella, ma risulta invece utilizzabile nella sua interezza dato che non saranno presenti interferenze tra celle, infatti il fenomeno delle interferenze è già implementato nell'algoritmo del CDMA.

Un altro vantaggio del CDMA è che normalmente nel traffico voce solo il 35-40% del tempo di connessione viene utilizzato per trasmettere la conversazione mentre il resto risultano essere momenti di pausa tra una parola ed un'altra, quindi negli standard D-AMPS e GSM questo tempo risulta occupare inutilmente la banda dedicata all'utente, mentre nel CDMA non è presente una parte di banda assegnata, ma bensì delle forme d'onda, e lo spreco dovuto a questi momenti di pausa risulta così molto inferiore.

Nel caso delle future connessioni internet tale vantaggio risulta ancor di più accentuato dato che il tempo di trasferimento di dati web è ancor minore rispetto al tempo servito trasmissioni.

2.5G: chiamato GPRS (General Packet Radio Service) che è un overlay del 2G (GSM e D-AMPS) che permette di trasmettere anche dati internet. Il problema risulta essere che il 2G è pensato per le trasmissioni voce e dunque la connessione dati web tende ad occupare un intero canale voce anche quando il traffico è ridotto. Il GPRS è il primo standard ad introdurre il passaggio da message switching a packet switching, e dunque le tariffe vengono calcolate non più in base al tempo di connessione ma bensì in base al numero di pacchetti inviati.

Nel GPRS vengono allocati dinamicamente i canali internet e voce in base alla richiesta (dando generalmente priorità ai canali voce)

Esistono differenti classi di GPRS:

- Classe C: richiede un settaggio manuale del canale da utilizzare, se GSM o GPRS
- Classe B: la connessione al canale richiesto avviene automaticamente
- Classe Pseudo A: le due tipologie di connessioni sono operate contemporaneamente ma in un singolo canale.

- Classe A: connessioni aperte contemporaneamente in due canali distinti

EDGE: un'evoluzione del GPRS che migliora la trasmissione dati. Anche in questo caso esistono diverse versioni che variano da 64 Kbps a 236 Kbps teorici in download.

3G: offre più datarate ed un numero maggiore di utenti supportati, grazie all'utilizzo di bande di frequenza più larghe.

Sono presenti due standard principali:

- W-CDMA: (Wideband CDMA) utilizzato in Europa ed in Giappone, è conosciuto anche col nome di UMTS. Utilizza una banda per canale molto larga (5 MHz), con un datarate di 384 Kbps
- CDMA2000: utilizzato negli USA, offre un datarate da 144 Kbps, con bande più strette da 1.25 MHz

L'utilizzo del CDMA richiede però la trasmissione di segnali a potenza variabile, impattando così sulla durata delle batterie.

3.5G: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) è l'evoluzione dell'UMTS, retrocompatibile con CDMA e GSM. Offre diverse varianti che spaziano dai 1.8 Mbps ai 14.4 Mbps, con una media per l'Italia di 7.2 Mbps.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) nasce come un'evoluzione del HSDPA, cercando di offrire maggiore velocità in upload. Risultò però fallimentare rispetto alla velocità in download che si scoprì si potesse raggiungere utilizzando lo HSDPA+

HSPA+ è un'evoluzione del HSDPA che permette una velocità in download di 28 Mbps e in upload di 11 Mbps, con un massimo raggiungibile di 42 Mbps in download e 22 Mbps in upload.

4G: HSOPA (High Speed OFDM Packet Access), detto anche LTE o E-UTRA. Per la prima volta nella telefonia mobile si hanno bande variabili da 1.25 MHz fino a 20 MHz, con velocità massima di 1.2 Gbps in downlink e 600 Mbps in uplink. Per arrivare a questi risultati il 4G utilizza sempre più banda ed utilizza tecniche aggiuntive di FDM/TDM. Utilizzando sempre più banda si è andati però ad interferire con le frequenze utilizzate dal digitale terrestre; ciò richiese agli utenti di quest'ultimo di installare un filtro aggiuntivo sull'antenna per bloccare le interferenze con il 4G LTE.

5G: tecnologia ancora in fase di sperimentazione e non ha ancora uno standard definito. L'utilizzo di nuova banda tenderà però ad utilizzare sempre più frequenze dedicate al digitale terrestre, e stato

quindi definito un nuovo standard per il digitale (DVB-T2) per utilizzare frequenze più alte, in aggiunta a ciò le televisioni adotteranno un nuovo standar per la compressione video: H.265
Un'alternativa sviluppata da Qualcomm è quella di utilizzare frequenze oltre quelle utilizzate nelle normali telecomunicazioni, andando ad utilizzare una banda corrispondente alle microonde ed infrarosso, con il corrispondente utilizzo di antenne direzionali per inviare e ricevere tali segnali.

▶ NUOVE TRASMISSIONI RADIO

Con l'avvento delle radio stereo si è posto il problema di retrocompatibilità con le radio mono che avevano ricevuto un solo canale dei due trasmessi alla radio stereo, fu quindi utilizzato un nuovo paradigma di trasmissione: la banda mono è situata sui 30Hz - 15KHz, è stato quindi pensato di creare un canale pilota a 19KHz in cui si avvisa una radio stereo della presenza dei nuovi canali stereo. I due segnali stereo, sinistro (S) e destro (D), vengono ricreati attraverso un nuovo canale medio M = (S+D)/2 che viene trasmesso nella banda mono, in aggiunta viene creato un nuovo canale E = (S-D)/2 che indica la differenza tra i due segnali stereo, e viene trasmesso in una banda più alta da 25KHz a 53KHz.
Utilizzando questo nuovo canale le radio stereo possono ricostruire i canali sinistro (S = M+E) e destro (D = M-E). Il costo di questo approccio è che peggiora in modo significativo (di un fattore di tre) la qualità audio, peggiorando il rapporto segnale/rumore, dunque la qualità sonora risulterà migliore nel segnale mono.
È presente un'altra tipologia di trasmissione supportata dalla radio FM: il sistema RDS (Radio Data System), con segnali digitali trasmessi su frequenze ancora più alte (57KHz), con data rate di 1.12 Kbps. Utilizzando questo sistema è possibile inviare informazioni quali nomi delle radio ed informazioni sulla trasmissione corrente.
Negli ultimi anni è stata anche introdotta la radio digitale DAB (Digital Audio Broadcasting) grazie alla quale è possibile trasmettere ancora più stazioni e con maggiore precisione (minori interferenze tra una stazione e un'altra). Il passaggio alla radio digitale non è però immediato, infatti sono necessarie delle capacità tecniche maggiori per convertire una radio analogica ad una digitale rispetto a quello che fu il passaggio da televisione analogica a digitale, infatti nel caso della radio l'antenna è integrata in essa e dunque risulta necessario smontare ed inserire un modulatore all'interno della radio. In aggiunta a ciò la radio digitale presenta molti difetti, come l'interferenza con segnali [illegible] e la perdita di informazione dovuta alla compressione [illegible]

DATA LINK LAYER

Il primo strato al di sopra dello strato fisico si occupa di codificare e decodificare i segnali, offrendo un interfaccia con gli strati adiacenti, occupandosi inoltre di error control e flow control.

Il data link offre quattro diversi servizi per gestire lo scambio di dati:

- acknowledged / unacknoledged
- connection / connectionless

che possono essere combinati tra loro a seconda delle esigenze.

▶ CODIFICA: FRAMING

L'approccio classico è quello di prendere dei pacchetti dati dallo strato superiore (network) e inserirli in appositi frame.

Uno dei problemi che sorgono è quindi identificare l'inizio e la fine di questi frame.

Uno dei metodi possibili è il character count, cioè utilizzare un header per specificare il numero di caratteri che costituisce il corpo dati (detto payload), il problema di questo approccio è però che basta un singolo errore nello strato fisico per sfasare tutta la sequenza di header. Per risolvere questo problema di desincronizzazione è possibile utilizzare un flag byte all'inizio e alla fine di un frame per identificare i limiti. In questo caso è però necessario un metodo di escaping in caso si voglia trasmettere un carattere uguale a quello utilizzato per il flag all'interno del flusso dati. Questa tecnica di escaping si chiama byte stuffing (o character stuffing)