



UNIVERSITÀ
DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE ED INFORMATICHE
Corso di Laurea in Informatica

Il sistema telefonico

RETI DI CALCOLATORI - a.a. 2023/2024

Roberto Alfieri

Il livello Fisico: sommario

PARTE I

- ▶ Scopo dello strato Fisico
- ▶ Il canale di comunicazione
- ▶ I mezzi Trasmissivi
 - Trasmissioni su rame, il Doppino, il cablaggio strutturato
 - Trasmissioni su Fibra Ottica
 - Trasmissioni via Etere
- ▶ Le codifiche dei bit: banda base e banda passante

PARTE II

- ▶ Il sistema Telefonico, FDM, TDM, DSL, la telefonia mobile

RIFERIMENTI

- ▶ *Reti di Calcolatori*, A. Tanenbaum, ed. Pearson
- ▶ *Reti di calcolatori e Internet*, Forouzan , Ed. McGraw-Hill

Il sistema telefonico

Il sistema telefonico (PSTN - Public Switched Telephone Network) è una rete specializzata per la trasmissione di uno specifico tipo di dato: la voce analogica.

Perché ci interessa:

- ▶ E' un modello di confronto per la rete di trasmissione dati.
- ▶ E' una infrastruttura di rete capillare consolidata da più di 100 anni di attività.
- ▶ In alcuni casi è utilizzata come canale di comunicazione per trasmissione dati.

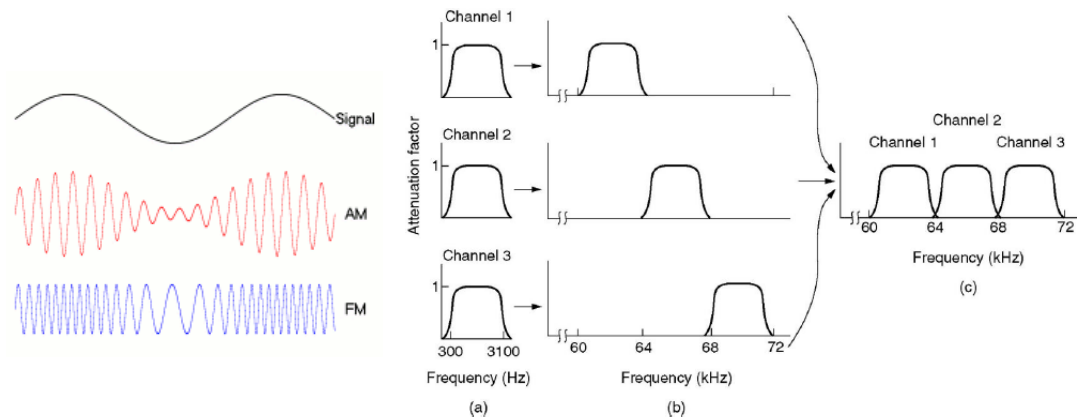
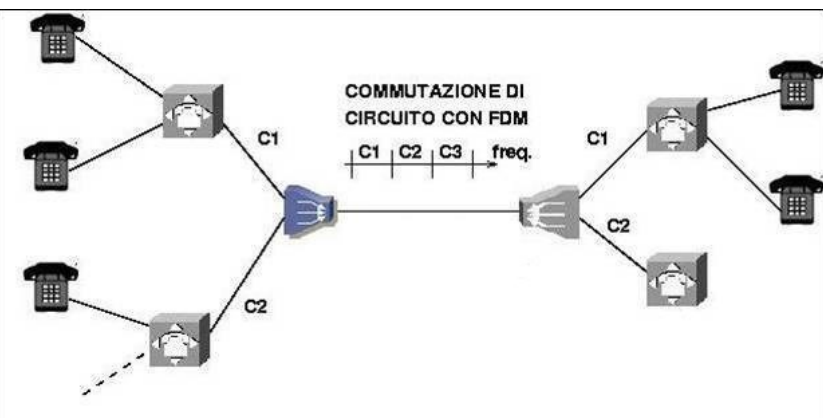
Il sistema telefonico analogico

Le prime reti telefoniche (**fino agli anni 60**) erano analogiche.

Ogni telefonata richiede una banda analogica di 4KHz tra l'utente e la centralina telefonica su un doppino telefonico in rame detto Ultimo Miglio (o Local Loop)

Nelle dorsali interne delle Telecom per poter trasportare più circuiti telefonici sullo stesso canale si poteva utilizzare la tecnica di moltiplicazione FDM (Frequency Division Multiplexing):

La banda di frequenze analogiche del mezzo trasmissivo veniva suddivisa in canali di almeno 4 KHz e ciascun canale poteva ospitare una telefonata modulando una frequenza portante all'ingresso, per poi demodularla uscita.

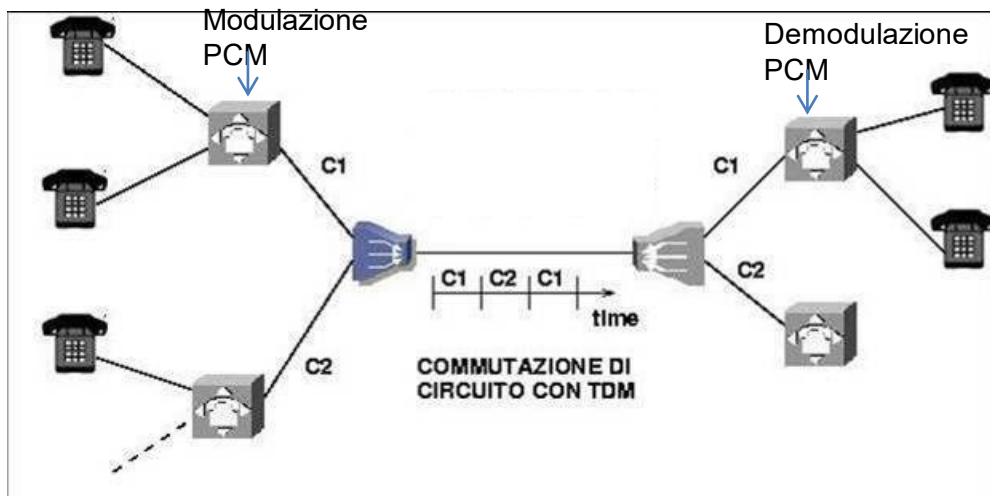
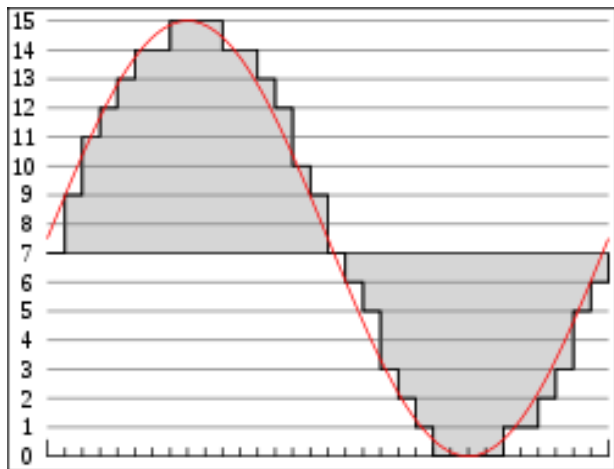


Il sistema telefonico digitale: PCM

A partire dagli anni 60 le comunicazioni audio vengono gestite in modo digitale dalle compagnie telefoniche. La conversione in digitale è standardizzata con la tecnica di campionamento PCM (**Pulse Code Modulation**) eseguita nelle tratte della rete con un Codec che converte il segnale in forma digitale e lo riconverte in analogico in prossimità della destinazione.

Un canale analogico di 4 KHz richiede 8000 camp/sec ovvero uno ogni $125\mu\text{S}$
Ogni campionamento avviene generalmente su 8 bit di dati (o 7 dati + bit parità)
Si ottiene così un flusso di **64Kbit/sec** (o 56Kbit/sec).

In questo caso la multiplazione delle portanti avviene in Time Division Multiplexing, ovvero suddividendo il tempo del canale in slot che si ripetono ciclicamente.



Portanti TDM per canali PCM

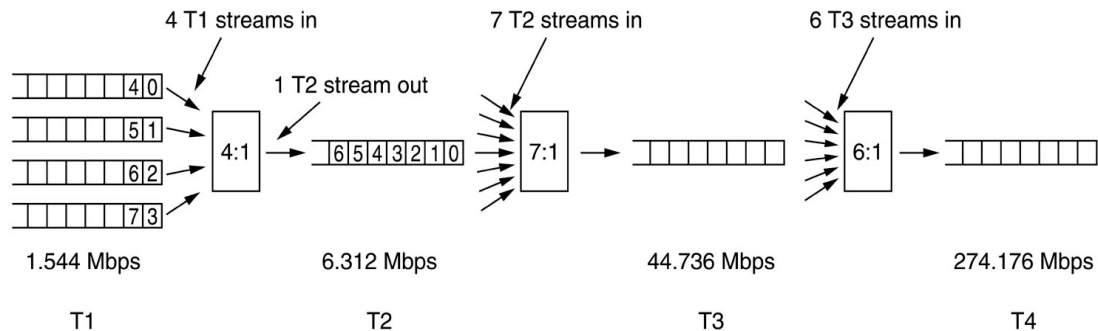
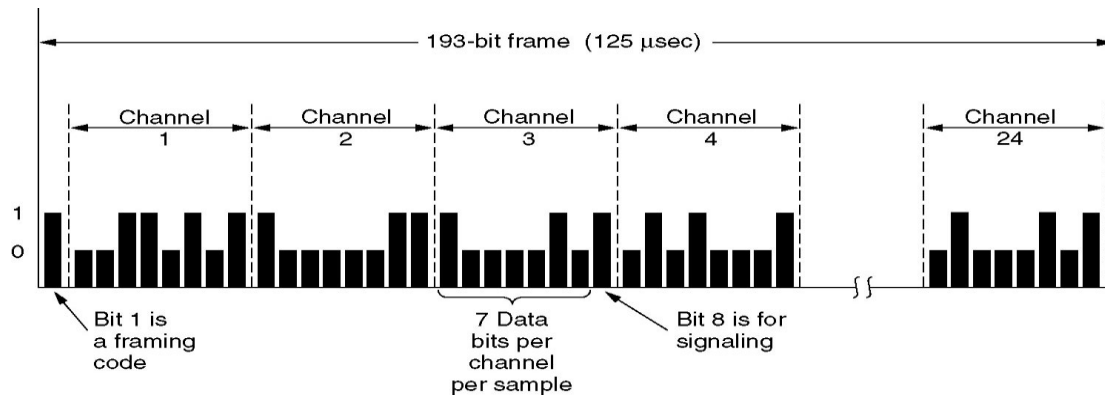
In Nord America e Giappone i canali PCM sono raggruppate con tecniche di multiplexing TDM su portanti in rame di tipo T (T1, T2, T3 e T4 ...):

T1 può portare 24 canali telefonici PCM da 64Kb/s (1.5Mb/s)

T2 trasporta 4 canali T1 (6.3Mb/s)

T3 trasporta 7 canali T2 (44.7 Mb/s)

T4 trasporta 6 canali T3 (274 Mb/s)



Le altre nazioni usano le portanti di tipo E (definite da CCITT) con una gerarchia a 32 (portante E1 a 2.048Mb/s) , 128, 512, 2048 e 8192 canali.

Digitalizzazione dell'ultimo miglio

Modem, ISDN e xDSL

La digitalizzazione non coinvolgeva l'utente che continuava a lavorare in analogico. Volendo utilizzare il sistema telefonico per la trasmissione dati era quindi necessario modulare i bit con segnali analogici assimilabili alla voce umana, inviarli nel sistema telefonico e demodularli in digitale al lato ricevente. Entrambe queste operazioni venivano eseguite da un apparato denominato Modem, il quale avendo a disposizione un canale di 4KHz poteva trasmettere fino a **56 Kbit/s** (teorema del campionamento di Shannon).

Con la tecnologia **ISDN** (anni 80/90) è stato possibile propagare il segnale digitale anche sull'ultimo miglio, portando in casa dell'utente un canale digitale da **64Kb/s**.

Negli anni 2000 per aumentare la velocità è stata introdotta la tecnologia **xDSL** che sfrutta la maggiore banda di frequenze dei cavi in **categoria 3**.

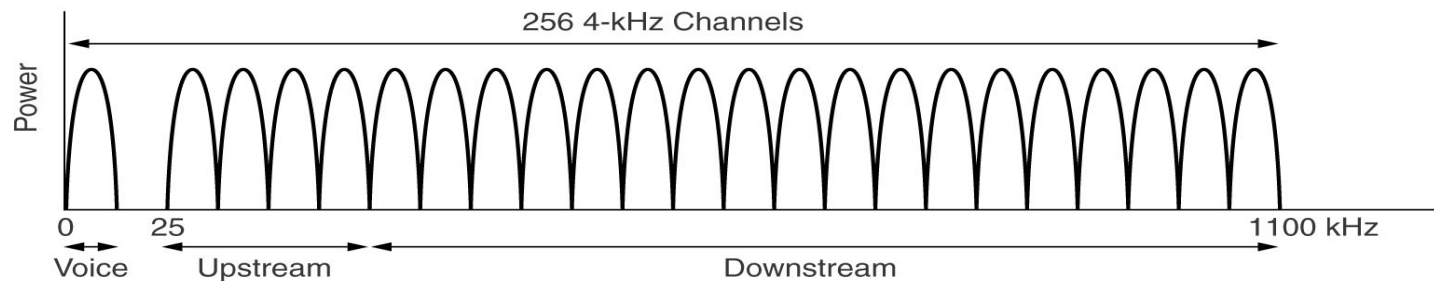
- Il segnale domestico non viene filtrato a 4 KHz ma a **1.1MHz**
- La banda viene suddivisa in 256 canali da **4.3KHz** ($1.1 \text{ MHz} / 256 \text{ canali}$) con tecnica OFDM.
- All'interno di ogni canale si usa la modulazione QAM con un rate di 4K baud.
- La qualità della linea viene costantemente monitorata per aggiustare la velocità di trasmissione, utilizzando costellazioni con più o meno punti.
- Massimo numero di bit per baud è 15 (32768-QAM)
- Massima velocità di un canale **60 Kb/s** ($4K \text{ baud} * 15 \text{ bit per baud}$)
- Massima velocità aggregata è quindi **~ 15 Mb/s** ($60 \text{ Kb/s} * 256 \text{ canali}$)

ADSL

ADSL (Asymmetric DSL) è un utilizzo specifico di xDSL, pensato per l'home computing, in cui il download è prevalente.

Con ADSL abbiamo:

- Canale 0 (0 – 4.3 KHz) per la fonia
- Canali 1-5 (4.3 - 25 KHz) non utilizzati per evitare interferenze fonia/dati
- Canali 6-30 (24) per upload. Max: $24 \times 60 \text{ Kb/s} = 1.4 \text{ Mb/s}$ (effettivi 0.5 Mb/s)
- Canali 31-255 (224) per download. Max: $224 \times 60 \text{ Kb/s} = 13.4 \text{ Mb/s}$ (effettivi 8 Mb/s)



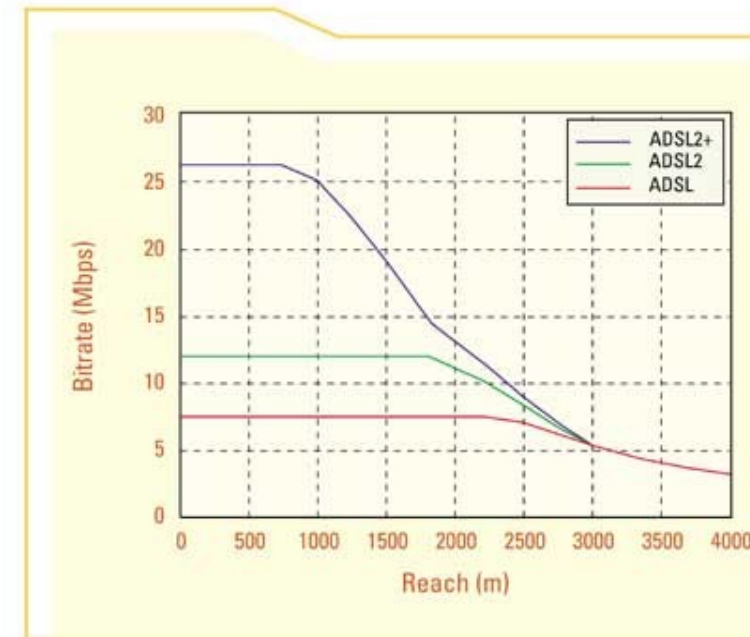
ADSL, ADSL2 e ADSL2+

ADSL2 migliora le prestazioni (effettivi ~ 12 Mb/s) attraverso una diversa codifica con una maggiore efficienza.

ADSL2+ è un nuovo standard che utilizza una banda doppia, di 2.2MHz. In questo caso la massima velocità è di ~ 26 Mb/s per brevi distanze

Tecnologia adattiva

In realtà solo chi abita in prossimità della centrale telefonica riesce ad arrivare ai 60Kb/s per canale perché il segnale decade rapidamente con la distanza. Dato che l'intera banda non ha una curva costante di segnale/rumore e attenuazione, ogni canale viene monitorato e modulato in modo indipendente. Secondo le potenzialità di ogni canale il sistema decide il tipo di QAM da utilizzare. Quando i bit utilizzabili scendono sotto una soglia minima il canale viene escluso.



FttX

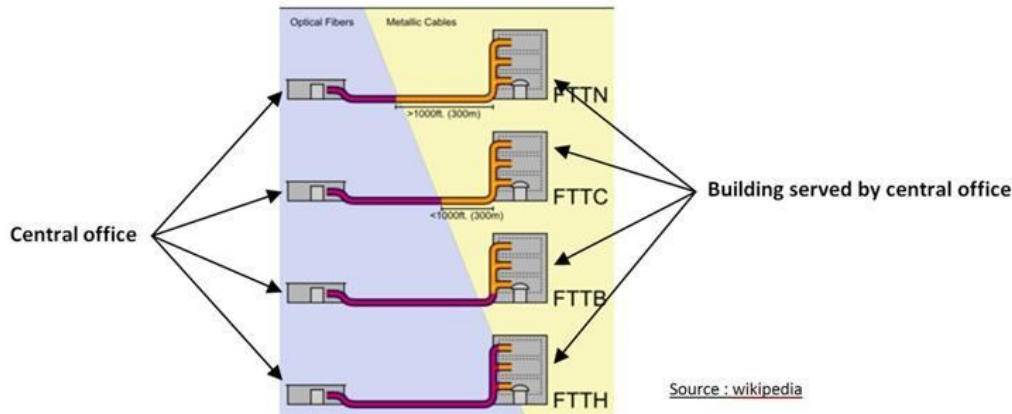
L'ultimo miglio in rame limita le prestazioni di ADSL.

Le compagnie telefoniche stanno sostituendo il rame con fibre ottiche che arrivano in prossimità dell'abitazione o in casa.

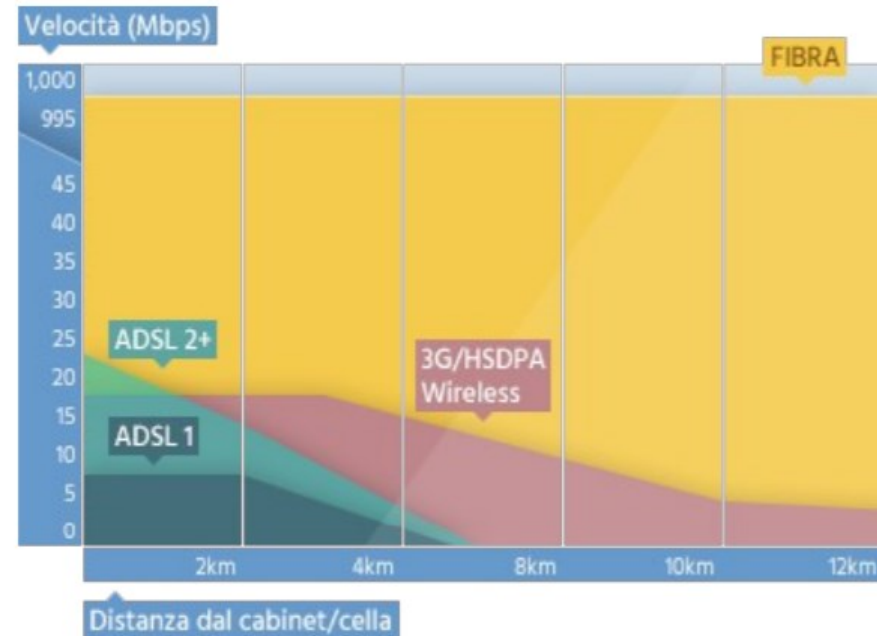
FttC (Fiber to the Cabinet, ovvero l'armadio in strada) può arrivare ad una banda di 35Mhz e una velocità di 300 Mb/s

FttH (Fiber to the Home) arriva a 1 Gb/s

Queste tecnologie vengono genericamente riferite come FttX.



A schematic illustrating how FTTx architectures vary — with regard to the distance between the optical fiber and the end-user.



<https://fibra.click/architetture/>

Il sistema telefonico mobile

Esistono diverse generazioni di telefoni cellulari, con diverse tecnologie:

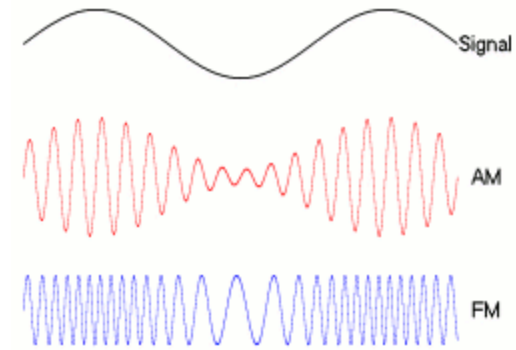
- 1G: Standard analogici TACS (Europa) e AMPS (America)
- 2G: D-AMPS e GSM . Voce digitale
- 2.5G: GPRS e E-GPRS (EDGE). Trasmissione digitale a commutazione di pacchetto
- 3G: Standard UMTS, CDMA e HSDPA. Voce e dati digitali
- 4G: Standard LTE
- 5G: (2020)

1G: AMPS e TACS

Voce analogica

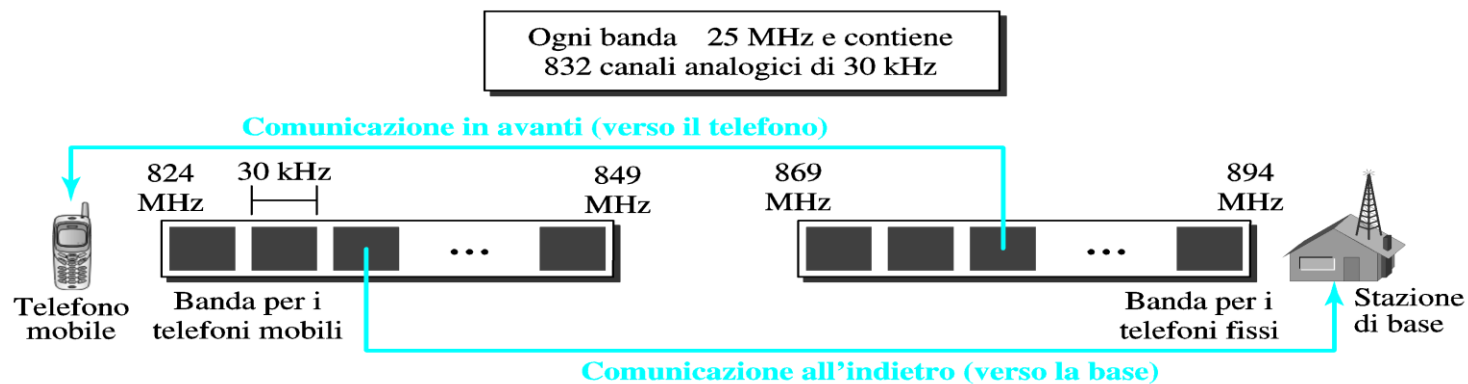
Tecnologia nata nel 1982 denominata AMPS negli USA e TACS in EU

I segnali vocali analogici (3KHz) vengono modulati in frequenza e inseriti in canali di 30KHz gestiti con il metodo FDMA.



AMPS utilizza 832 canali full duplex, ciascuno dei quali composto da 2 canali simplex:

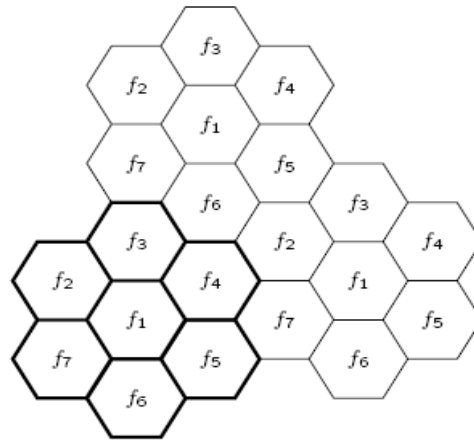
- 832 canali da 30KHz per trasmissione tra 824/849 Mhz (banda totale 25MHz)
- 832 canali da 30KHz per ricezione tra 869/894 Mhz (banda totale 25MHz)



1G: AMPS e TACS

Le celle

Ogni area geografica è divisa in celle di 10-20 Km di diametro.
Le celle sono organizzate in nuclei di 7 e hanno frequenze diverse.
In questo modo due 2 celle con le stesse frequenze sono distanziate da 2 celle diverse.
Questo significa che ogni cella ha mediamente un settimo degli 832 canali disponibili.



2G: D-AMPS

Voce digitale

D-AMPS. Progettato per coesistere con AMPS e utilizza gli stessi canali:

- 832 canali da 30KHz per trasmissione tra 824/849 Mhz (banda totale 25MHz)
- 832 canali da 30KHz per ricezione tra 869/894 Mhz (banda totale 25MHz)

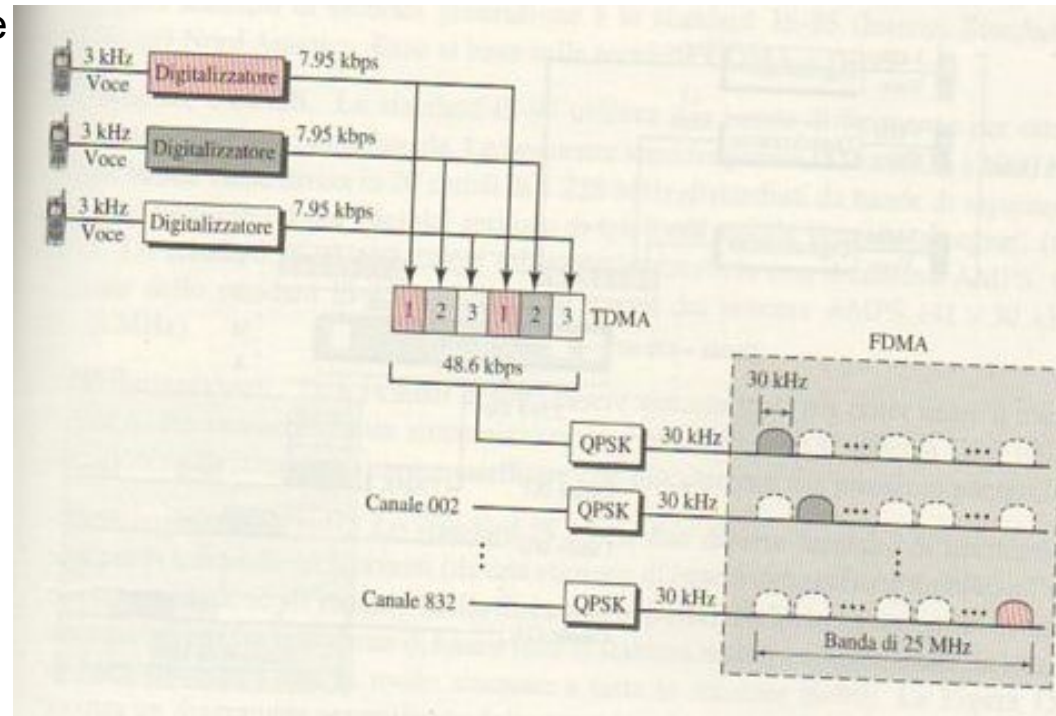
più nuove frequenze a 1.9GHz. Utilizzato negli USA

I canali analogici da 3KHz vengono digitalizzati con PCM (56 Kbps) e compressi a 8 Kbps

Ogni coppia di frequenze da 30KHz viene condivisa da 3 utenti contemporaneamente in divisione di tempo (TDM).

Sulla coppia di frequenze vengono inviati 25 frame al secondo (40ms) e ogni frame è diviso in 6 slot temporali in cui vengono alternati in TDM i 3 flussi digitali che vengono modulati con QPSK (modulazione di fase).

D-AMPS utilizza quindi multiplexing TDM entro un multiplexing FDM.

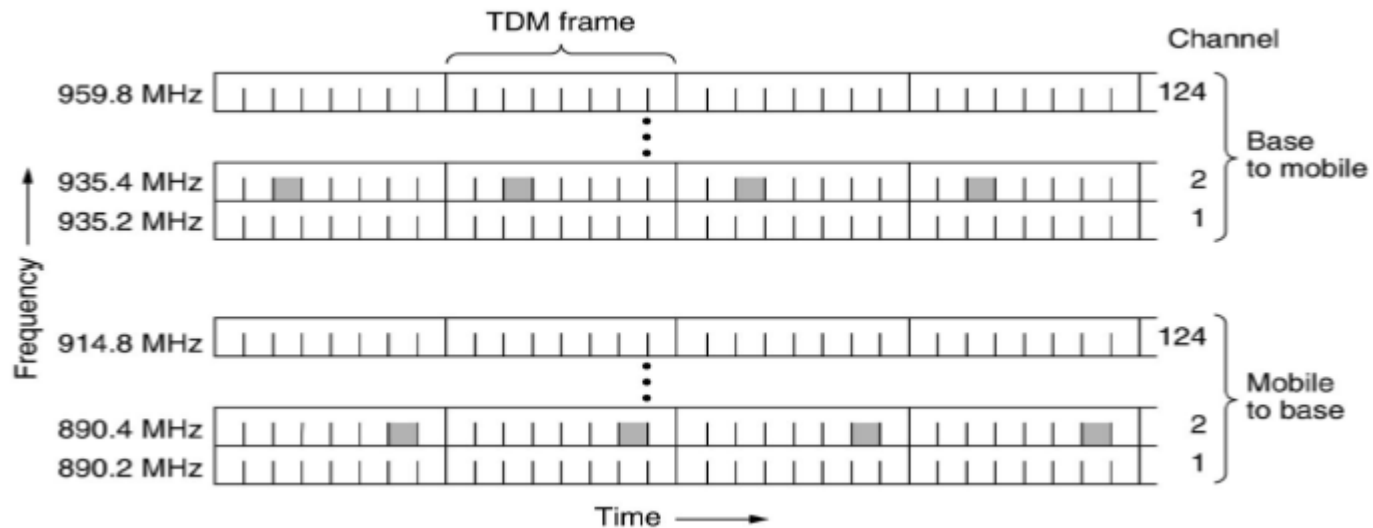


2G: GSM

Voce digitale

GSM. Utilizzato nel resto del mondo. Come D-AMPS utilizza FDM+TDM

- - FDM: 124 canali simplex di 200KHz
- - TDM: su ogni canale si susseguono Frame di 4.6 msec, suddivisi in 8 slot temporali ciascuno di 148 bit per 8 connessioni separate.



2.5G: GPRS e EDGE

Trasmissione digitale a commutazione di pacchetto

GPRS 2.5G in attesa di 3G.

Velocità teorica 171Kbps (reale 30-80 Kbps)

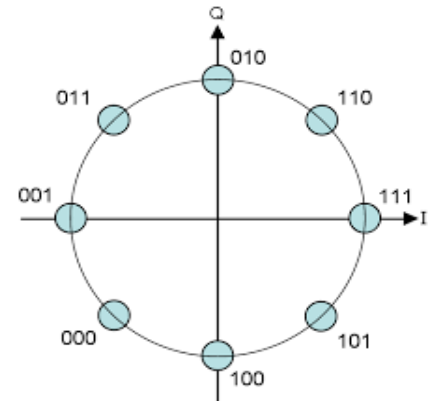
E' una sovrastruttura sopra D-AMPS e GSM per trasportare pacchetti IP raggruppando più slot.

Enhanced GPRS (EDGE)

Velocità incrementata introducendo una nuova modulazione, la 8-PSK (modulazione di fase a 8 simboli).

Prestazioni:

EDGE (E) fino a 473,6 Kbps teorici



3G: UMTS e HSDPA

Voce e dati digitali

Successore di terza generazione (3G) del GSM di cui utilizza l'infrastruttura, ma la tecnologia di trasmissione è W-CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) è una tecnica a diffusione dello spettro (Spread Spectrum) che permette di raggiungere velocità di trasmissione per utente superiori rispetto alla tecnica di accesso mista TDMA/FDMA utilizzata nella rete GSM/GPRS.

I protocolli HSPA come HSDPA e HSPA+ sono stati introdotti nello standard UMTS per migliorarne le prestazioni attraverso l'utilizzo di un numero maggiore di simboli di codifica.

Prestazioni

UMTS (3G): fino a 384 Kb/s in download, 128 Kb/s in upload, latenza 150 ms.

HSDPA (H) : fino a 14 Mb/s in download, 5,7 Mb/s in upload, latenza 100 ms.

HSPA+ (H+): fino a 43 Mb/s download, 11 Mb/s upload, latenza 50 ms.

Dal 2022 la rete 3G è dismessa in Italia

<https://www.tim.it/assistenza/info-consumatori/news/2021/dismissione-rete-3g>

4G: LTE

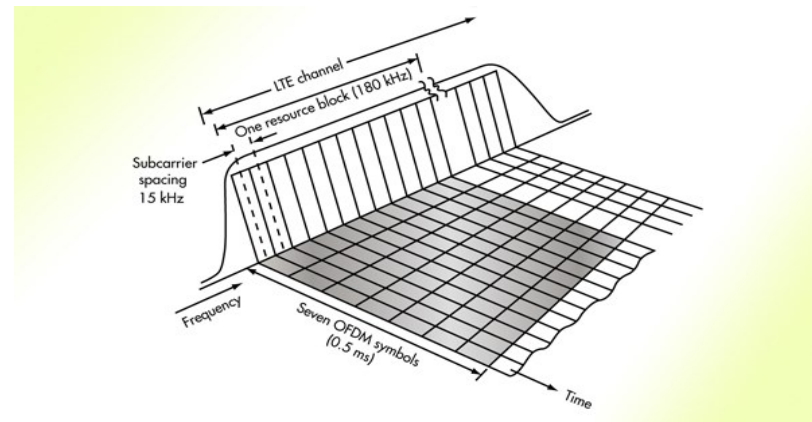
LTE (Long Term Evolution) è la generazione per i sistemi di accesso mobile a banda larga standardizzata nel 2008 e introdotta in Italia nel 2013.

Nel 2010 ITU ha autorizzato l'utilizzo della denominazione 4G per le tecnologie LTE

- Utilizzo della **modulazione OFDM** (QPSK, 16QAM, 64QAM) per il downlink e Single-Carrier FDMA per l'uplink (al posto del W-CDMA dell'UMTS);
- utilizzo di un minimo di 1,25 MHz ed un massimo di 20 MHz per ciascun utente

Prestazioni:

LTE (4G) fino a 326,4 Mb/s in download
e fino a 86,4 Mb/s in upload.
RTT < 10 ms



VoLTE, acronimo di **Voice over LTE**, è una tecnologia che consente di effettuare chiamate vocali su rete [LTE \(4G\)](#) basandosi sul modello architetturale [IP Multimedia Subsystem](#) (IMS) [[wikipedia](#)].

Con VoLTE anche le chiamate voce utilizzano la rete dati TCP/IP.

5G

Il termine 5G (acronimo di 5th Generation) indica l'insieme di tecnologie di telefonia mobile e cellulare, i cui standard definiscono la quinta generazione della telefonia mobile con una significativa evoluzione rispetto alla tecnologia 4G/IMT-Advanced. La sua distribuzione globale si è avviata nel 2019. [[Wikipedia](#)]

3 bande di frequenza:

- **Banda alta** (25-39 GHz)
 - onde millimetriche (11 mm)
 - Alta velocità (> 1 Gb/s) e bassa latenza
 - Solo nei grandi centri urbani, Piccole celle, visibilità ottica
- **Banda intermedia** (2,5-3,7 GHz)
 - la più comune, velocità tra 100 e 400 Mb/s
- **Banda bassa** (694 e 790 MHz)
 - Bassa velocità (30 – 250 Mb/s), Elevata copertura

Adaptive beam switching: possibilità di saltare da una banda all'altra

<https://www.agendadigitale.eu/infrastrutture/5g-ecco-le-tecnologie-pilastro-tutto-cio-che-ce-da-sapere>