

# Reti di Telecomunicazioni



Livello Fisico

---



# Autori



Queste slides sono state scritte da

MicheleMichelotto

[michele.michelotto@pd.infn.it](mailto:michele.michelotto@pd.infn.it)

che ne detiene i diritti a tutti gli effetti



# Copyright Notice



Queste slides possono essere copiate e distribuite gratuitamente soltanto con il consenso dell'autore e a condizione che nella copia venga specificata la proprietà intellettuale delle stesse e che copia e distribuzione non siano effettuate a fini di lucro.



# Physical Layer



Introduzione

Layer: Modello OSI e TCP/IP

**Physical Layer**

Data Link Layer

MAC sublayer



# Trunks e Multiplexing

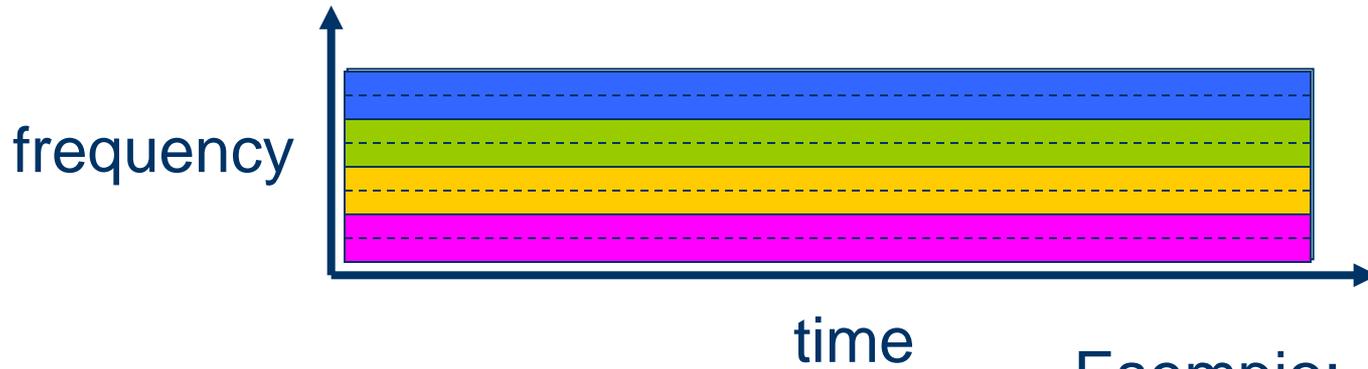


- Nei sistemi telefonici sono importanti le economie di scala
- Un Link ad alta banda costa quanto un link a banda limitata in termini di manutenzione e gestione
- Come multiplexare tante conversazioni nello stesso trunk fisico?
  - FDM Frequency Division Multiplexing
  - TDM Time Division Multiplexing

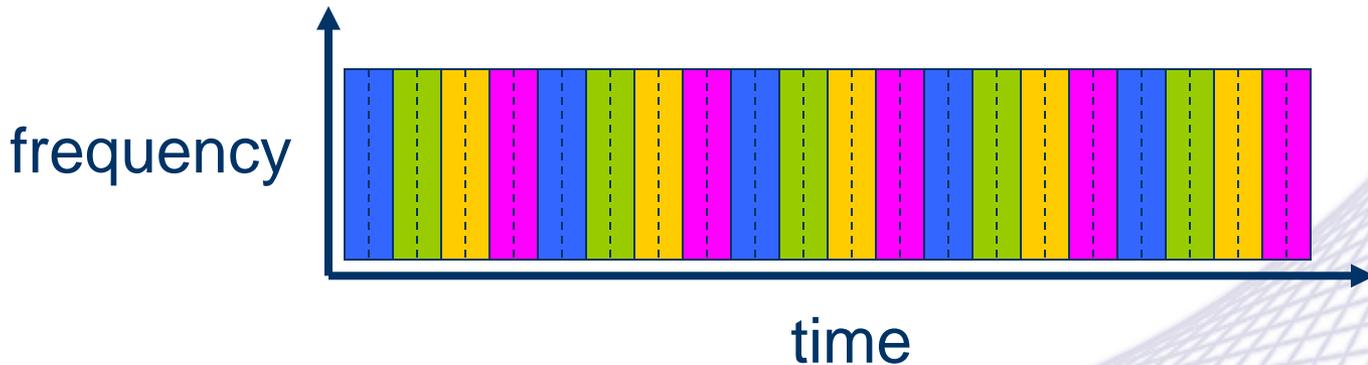


# FDMA and TDMA

FDMA



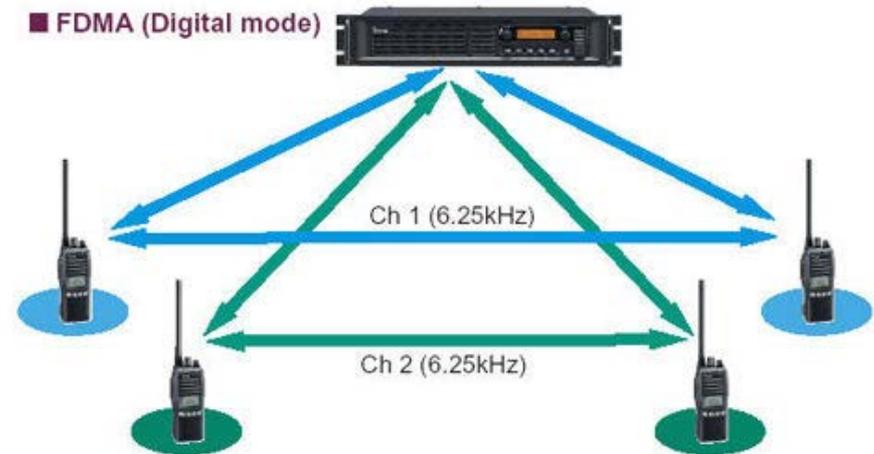
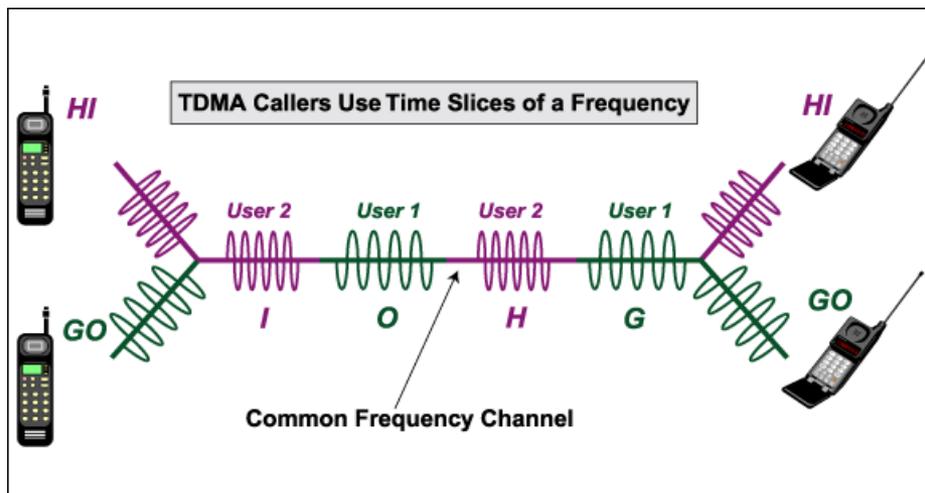
TDMA





# Uso di TDMA e FDMA

- Il multiplexing viene usato in diversi contesti
- Vediamo in particolare come viene usato nel mondo della telefonia per voce e dati





# Time Division Multiplex

- Lasciamo le fibre e torniamo al rame: FDM va bene ma richiede circuiti analogici, poco adatti ai computer
- Invece con TDM si fa tutto in elettronica digitale
- Tutta la banda viene data ad un canale per un tempo molto limitato e ripetuto nel tempo ad intervalli regolari
- Dal momento che il local loop è analogico si deve fare una conversione analogica digitale tramite un **codec** (**c**oder-**d**ecoder)



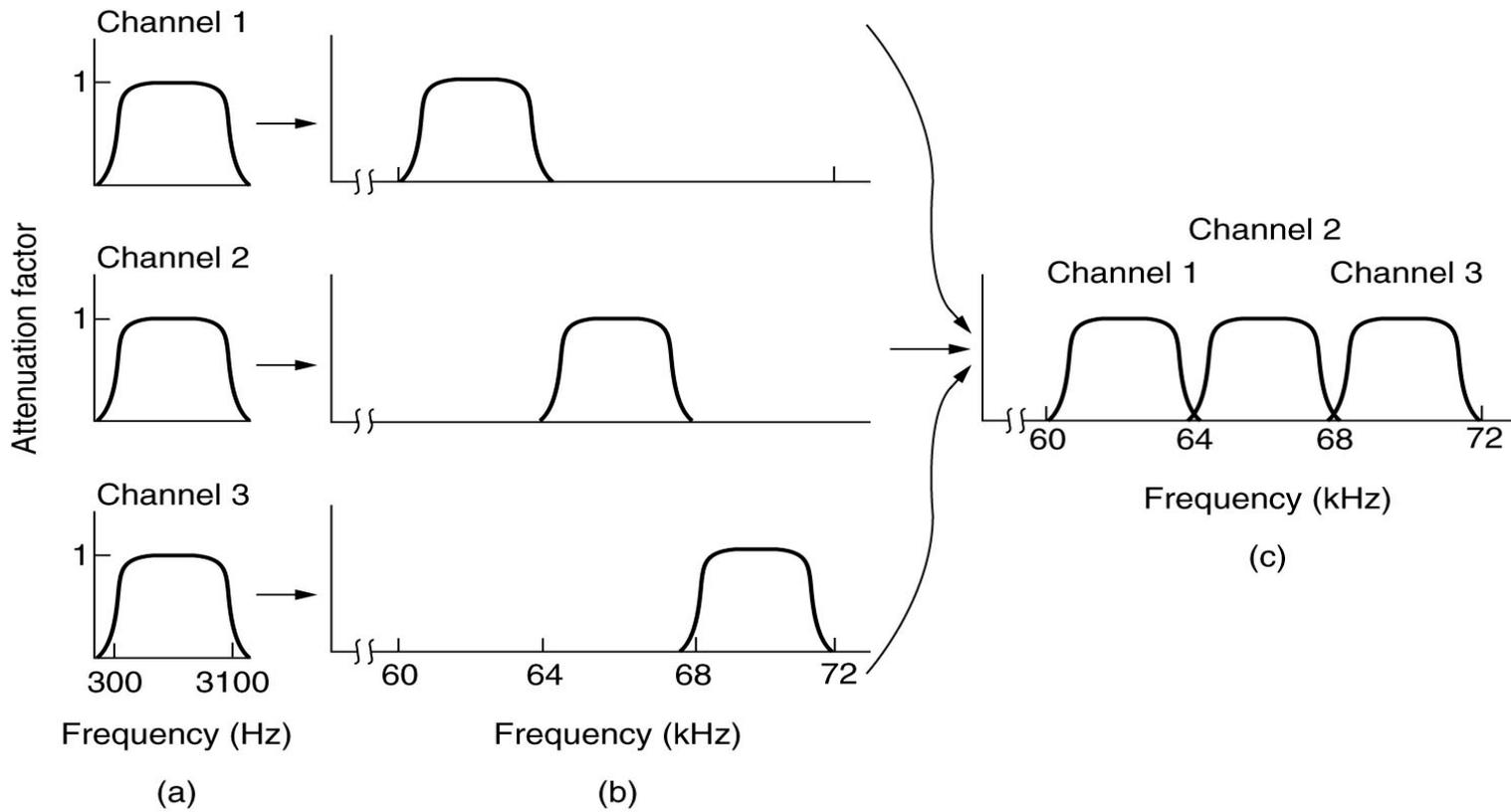
# Frequency Division Mux



- Prima dei codec si lavorava in analogico
- Sappiamo che ogni canale voce ha bisogno di 3100 Hz. Spaziamo i canali di 4 kHz per avere il minimo overlap (c'è sempre un po' di sovrapposizione)
- Alcuni schemi di FDM sono stati standardizzati
  - es: 12 canali da 4 kHz tra 60 e 108 kHz chiamato “group”. A volte anche tra 12 e 60 kHz
  - 5 groups (60 canali) fanno un “supergroup”
  - Un “mastergroup” tiene 5 (CCITT) o 10 (Bell system) supergroup
  - Esistono standard fino a 230.000 canali voce.



# FDM





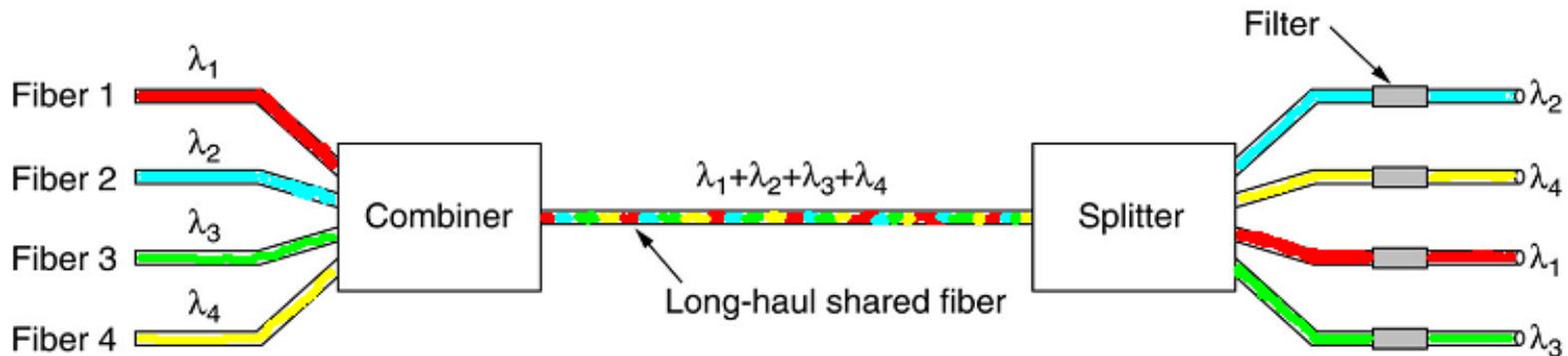
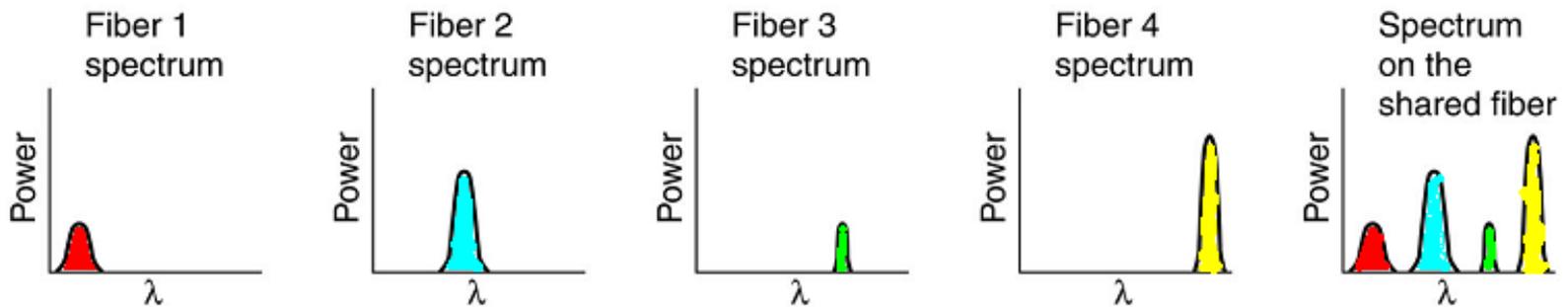
# WDM e FDM

- Lasciamo perdere per un attimo il multiplexing telefonico
- Il multiplexing analogico di FDM si usa anche ad alte frequenze (infrarosso) sulle fibre perché è impossibile fare TDM a Terabit/sec
- Il nome cambia in WDM



# Wavelength Division Mplx

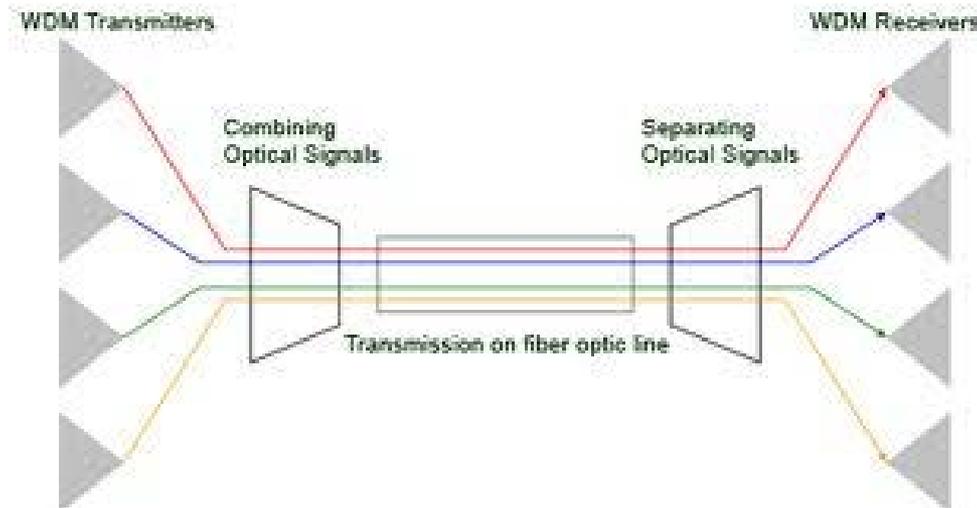
- Per canali a fibra ottica si usa una variante di FDM chiamata WDM Wavelength Division Multiplexing





# WDM

- Niente di nuovo. Solo un FDM a frequenze molto alte e si parla di lambda invece che di frequenze.
- I canali devono avere ognuno la propria lambda e devono essere disgiunti tra di loro (non sovrapposti)
- La differenza notevole è che in questo caso la griglia di diffrazione è completamente passiva, non c'è un circuito elettronico.
- Primi sistemi avevano solo due canali (1978) I primi commerciali con 8 canali da 2.5 Gbps
- Nel 1998 40 canali da 2.5 Gbps, Ora si arriva fino a 160 canali a 10 Gbps (1.6 Tbps)





# Tipi di WDM

- Conventional WDM usa fino a 16 canali nella banda C attorno ai 1550 nm
- Dense WDM usa la stessa finestra di trasmissione ma con canali meno spaziatati quindi con maggior densità
  - Es 40 canali da 100 GHz o 80 canali da 50 GHz o 160 canali da 25 GHz (a volte sono detti Ultra Dense WDM)
  - Con nuove tecniche di amplificazione si arriva fino alla banda L raddoppiando in pratica questi numeri
- Coarse WDM al contrario usa spaziature maggiori tra i canali
  - In questo modo si hanno transceiver meno sofisticati e meno costosi
  - 16 canali nell'intera banda della seconda e terza finestra (1310 e 1550 nm) ma anche le frequenze comprese (zona di diffusione OH) per cui a volte alcuni canali vengono scartati



# CWDM



- Recentemente sono state standardizzate da ITU alcune frequenze e spaziature
- CWDM, 20 frequenze da 1310 nm a 1610 nm distanziate di 20 nm
- Frequenze sotto i 1470 sono inusabili in vecchie fibre G.652 a causa dell'attenuazione nella zona 1310-1470 ma con nuove fibre G.652.C o G.652.D si possono usare tutte le 20 lambda
- Es. Ethernet 10GBase-LX4 usa 4 di queste frequenze, ognuna delle quali offre 3.125 Gbps
- Distanze tipiche di CWDM sono 60 km per segnali a 2.5 Gbps, ottima per reti metropolitane a basso costo
- inoltre gli standard hanno permesso di avere Transceiver GBIC o SFP a basso costo. Quindi posso facilmente convertire un sistema vecchio in uno CWDM solo cambiando il Transceiver

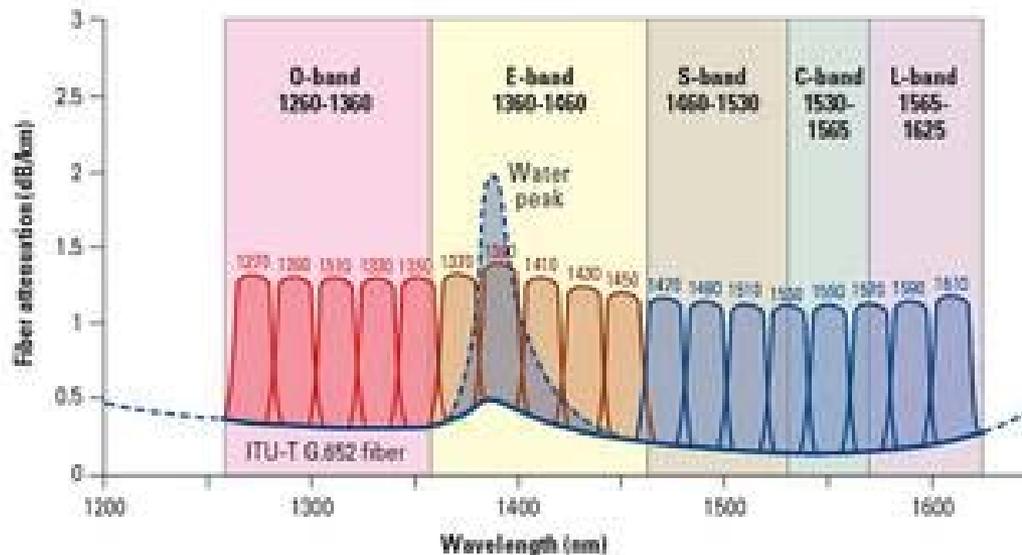


# CWDM



- CWDM: Coarse WDM con spaziatura di 25 – 50 nm
- Notare il picco di assorbimento OH centrale

CWDM wavelength grid as specified by ITU-T G.694.2



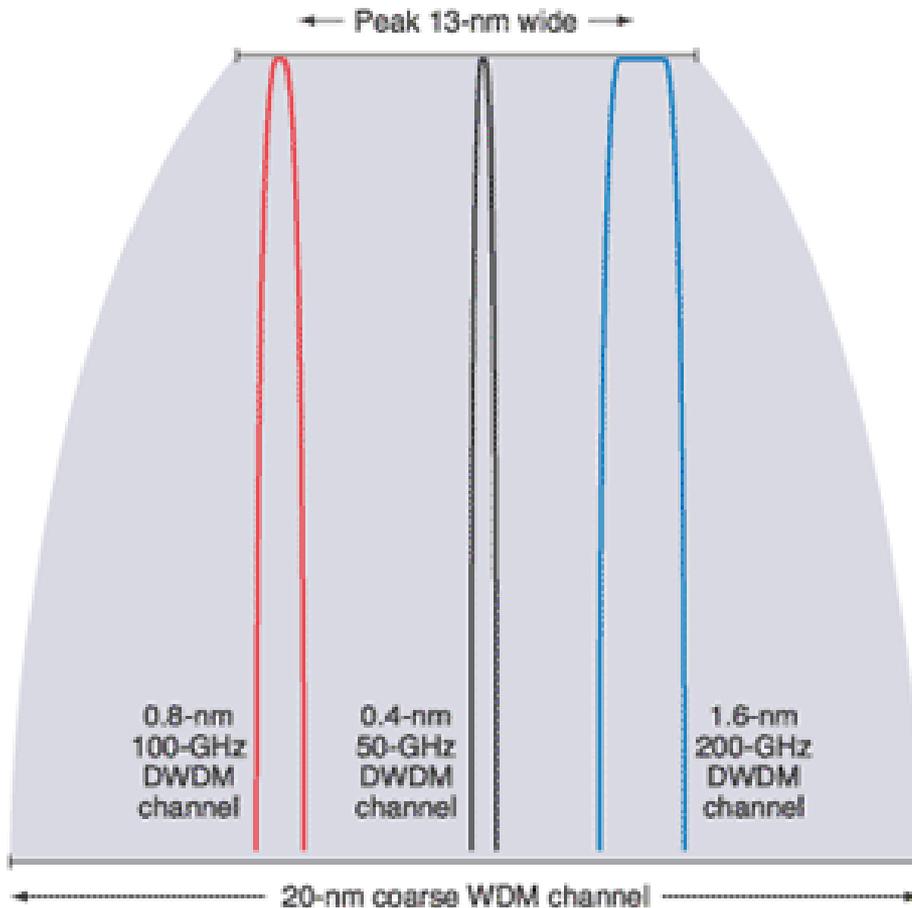


# Dense WDM - DWDM

- In origine solo nella banda C o banda L
  - Spaziati in modo da poter usare amplificatori per fibre dopati a Erblio (EDFA), oggetti pensati per sostituire i rigeneratori Ottico-Elettronici-Ottici di Sonet/SDH
- Sono stati estesi anche a bande al di fuori (1310, 1510, 1620)
- Poi ITU ha proposto una griglia standard (ITU-T G.694.1) nel 2002 con spaziatura di 100 GHz (circa 0.8nm)
  - Ci sono anche spaziature di 50 o 25 GHz



# Confronto CWDM DWDM



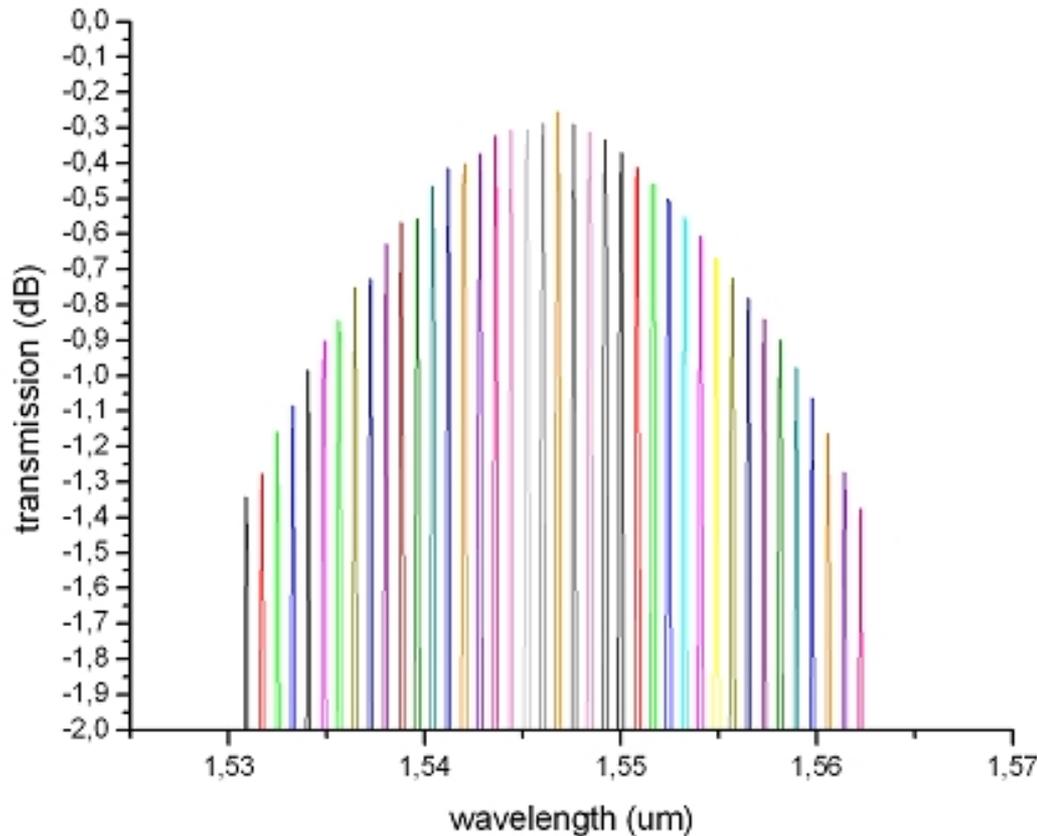
- Al posto di una  $\lambda$  CWDM ci possono stare diverse  $\lambda$  di tipo DWDM, ognuna di diversa larghezza



# DWDM a $\lambda$ standard



- DWDM: Dense WDM nella sola banda C



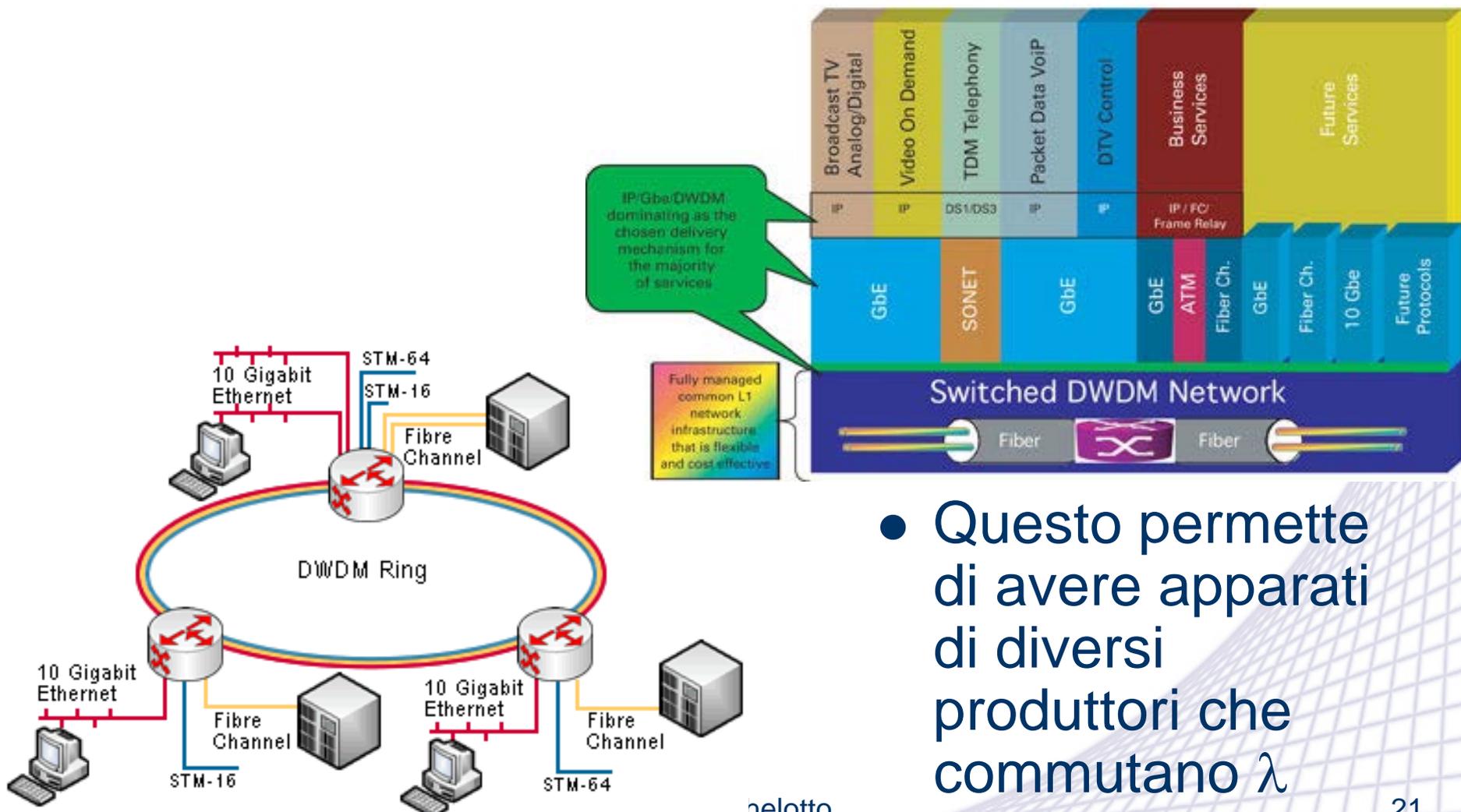


# Lambda Switching

- DWDM richiede apparati più costosi con maggiori requirements di stabilità in frequenza, laser a temperatura costante, per cui vengono usati a livello più alto di CWDM in backbone Internet
- Recentemente sono disponibili transceiver sintonizzabili via software, per cui non servono più diversi moduli e moduli spare, pochi moduli gestiscono tutte le frequenze
- L'ultima generazione di rete Garr è stata progettata per funzionare con Mux/DeMux di Lambda e Lambda switch



# WDM a $\lambda$ standard



- Questo permette di avere apparati di diversi produttori che commutano  $\lambda$



# Torniamo ai telefoni



- Chiusa la parentesi WDM torniamo ai telefoni
- Vogliamo trunk digitali
- Dobbiamo quindi digitalizzare il traffico analogico che arriva dal local loop



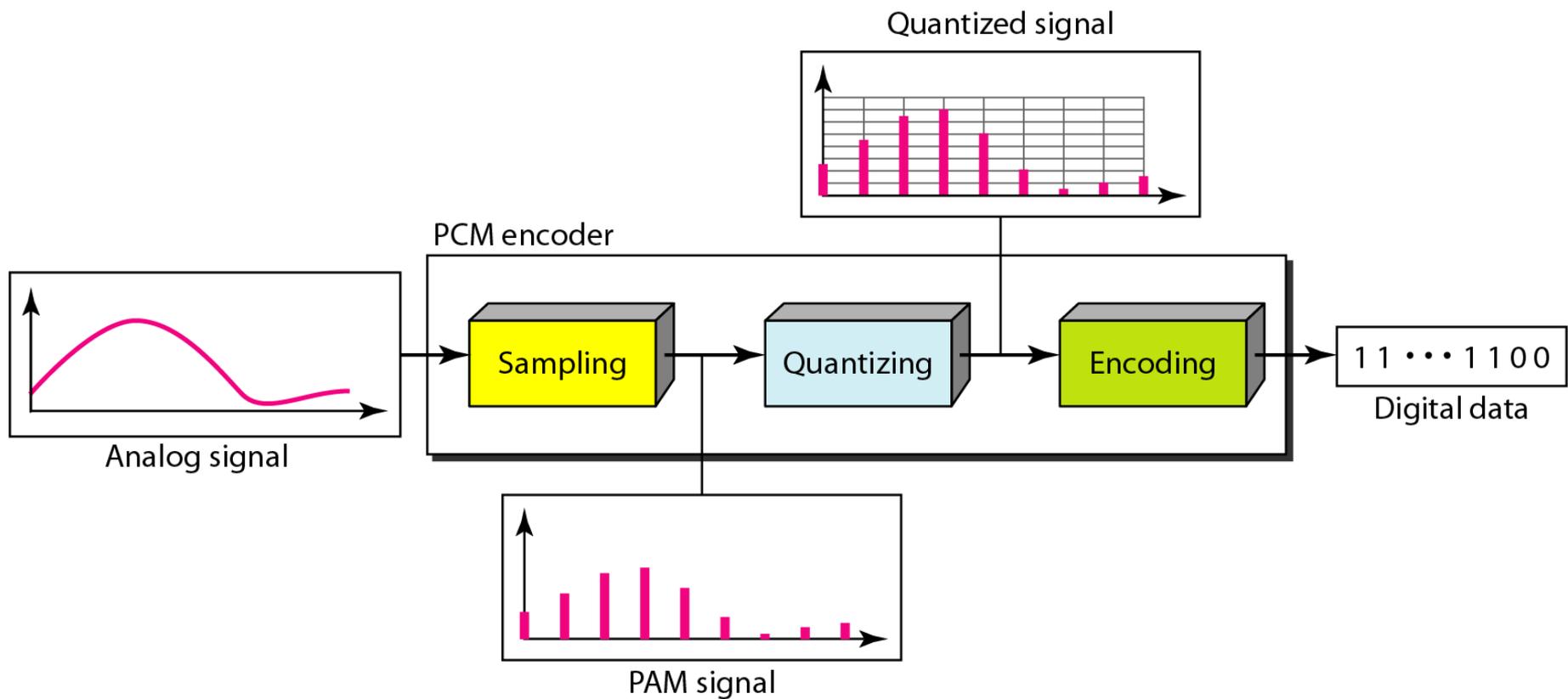
# PCM



- Il codec campiona 8000 volte al secondo che corrisponde a  $125 \mu\text{sec/sample}$
- Lo dice il th. di Nyquist che è sufficiente per catturare tutte le info di un canale a 4kHz che a sua volta è sufficiente per trasportare la voce umana a bassa qualità.
- Ogni campionamento fornisce 8 bit
- Questa tecnica si chiama Pulse Code Modulation e sta alla base di tutti i moderni sistemi telefonici.
- Di conseguenza tutti gli intervalli nei telefoni sono multipli di  $125 \mu\text{sec}$

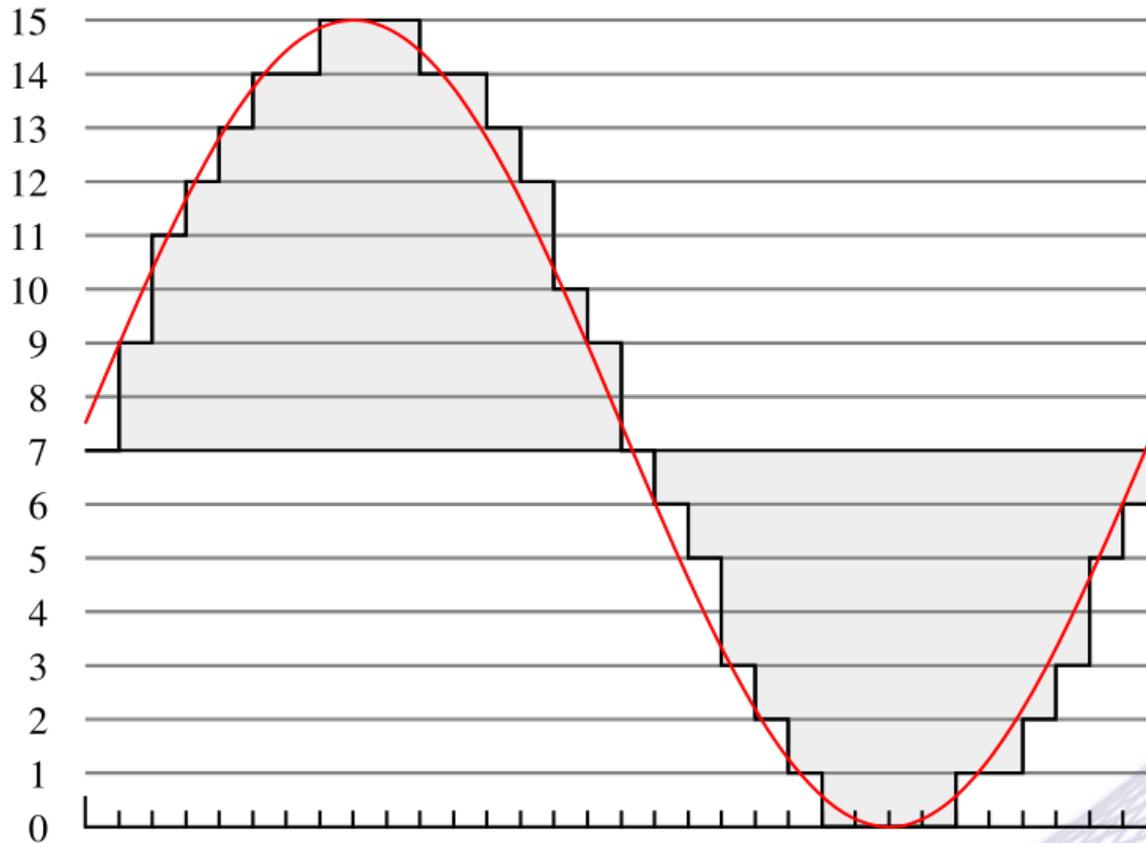


# Componenti di PCM



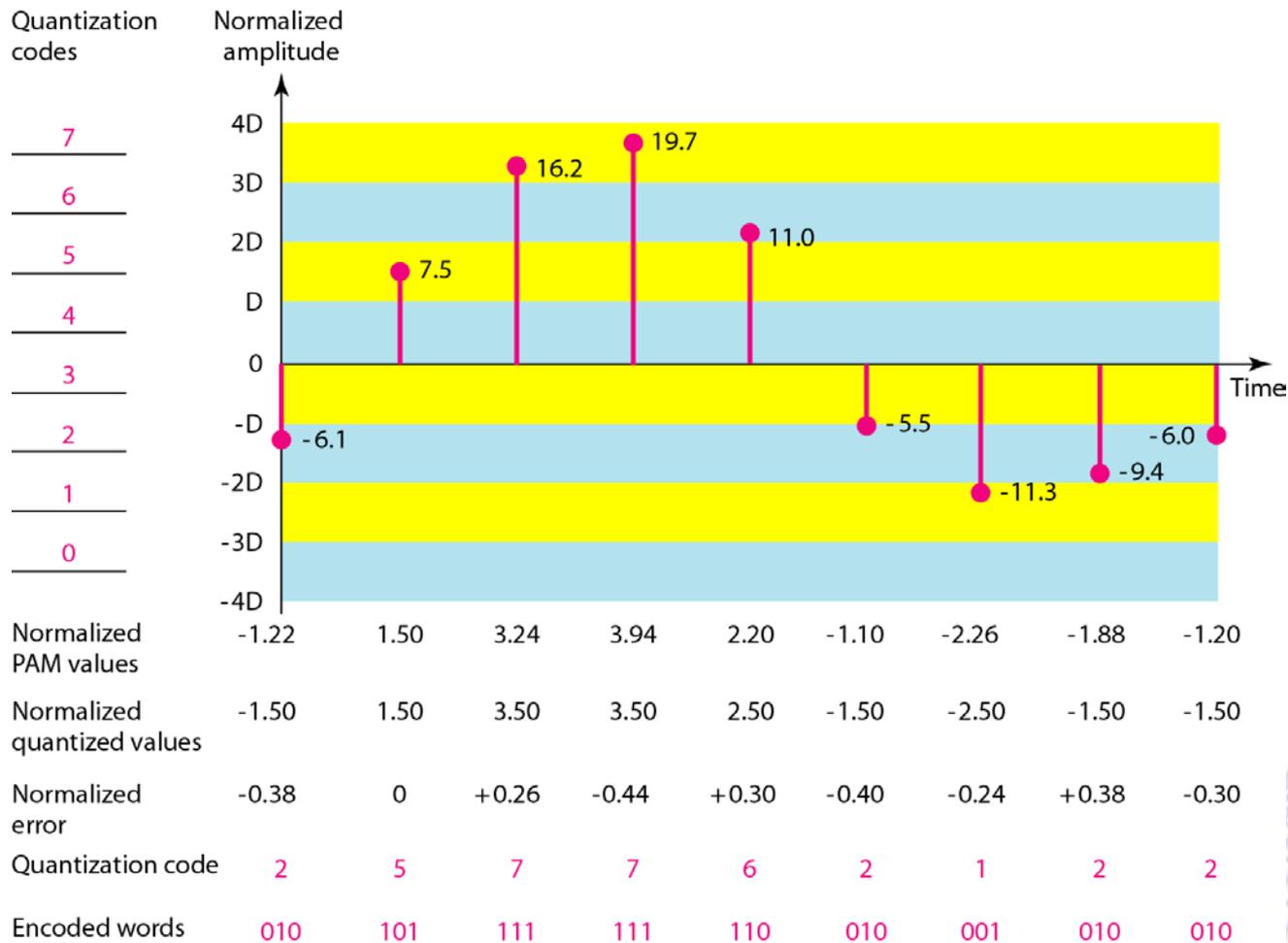


# PCM 4bit/sample





# Errori di campionamento





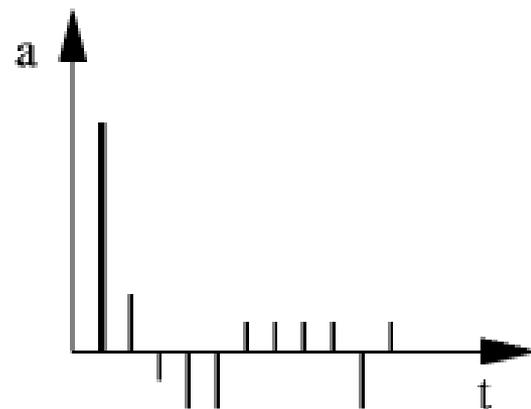
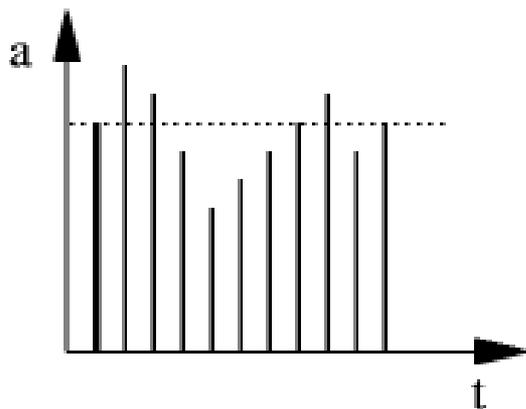
# Miglioramenti al PCM

- Si possono usare tecniche statistiche per migliorare la PCM riducendo il numero di bit per canale
- Non solo per voce ma per altri segnali analogici
- Si basano sul fatto che il segnale cambia poco rispetto alla frequenza di campionamento



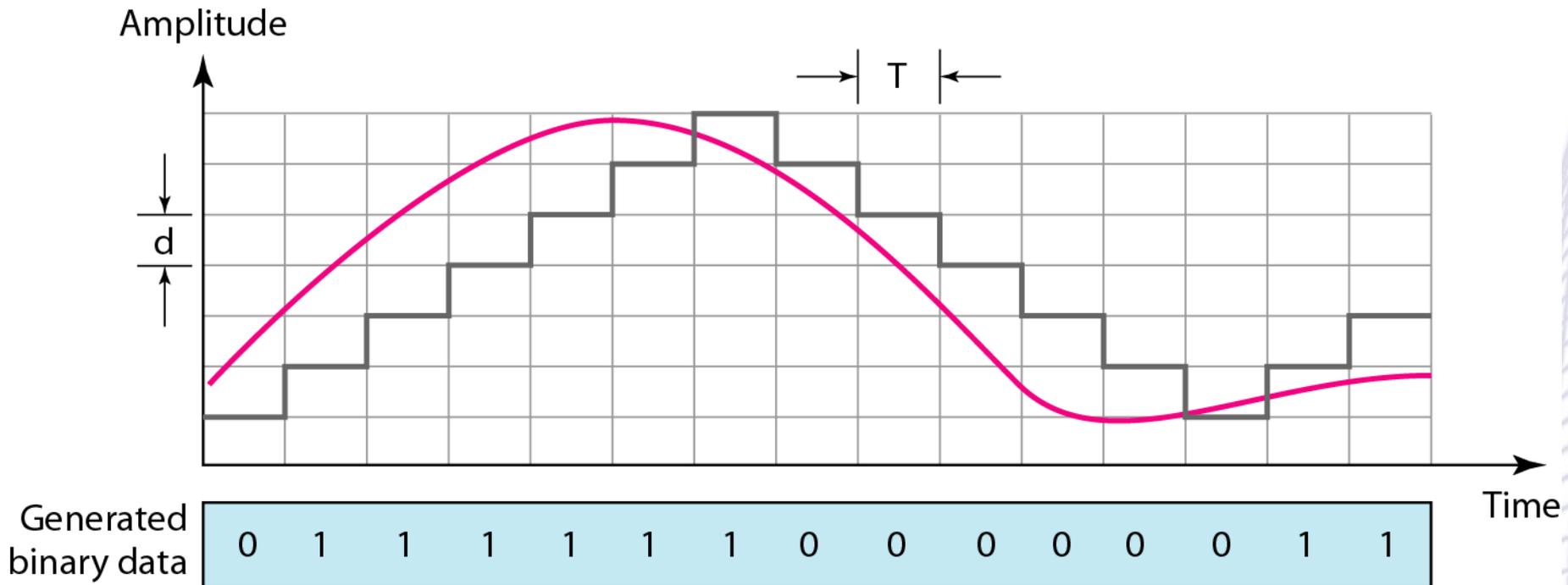
# Differential PCM

- L'output non è l'ampiezza ma la differenza tra l'ampiezza attuale e quella precedente
- Se per esempio non ci sono mai salti superiori a 16 sono sufficienti 5 bit
- Se il segnale varia molto il DPCM introduce un po' di distorsione ma dopo poco si recupera





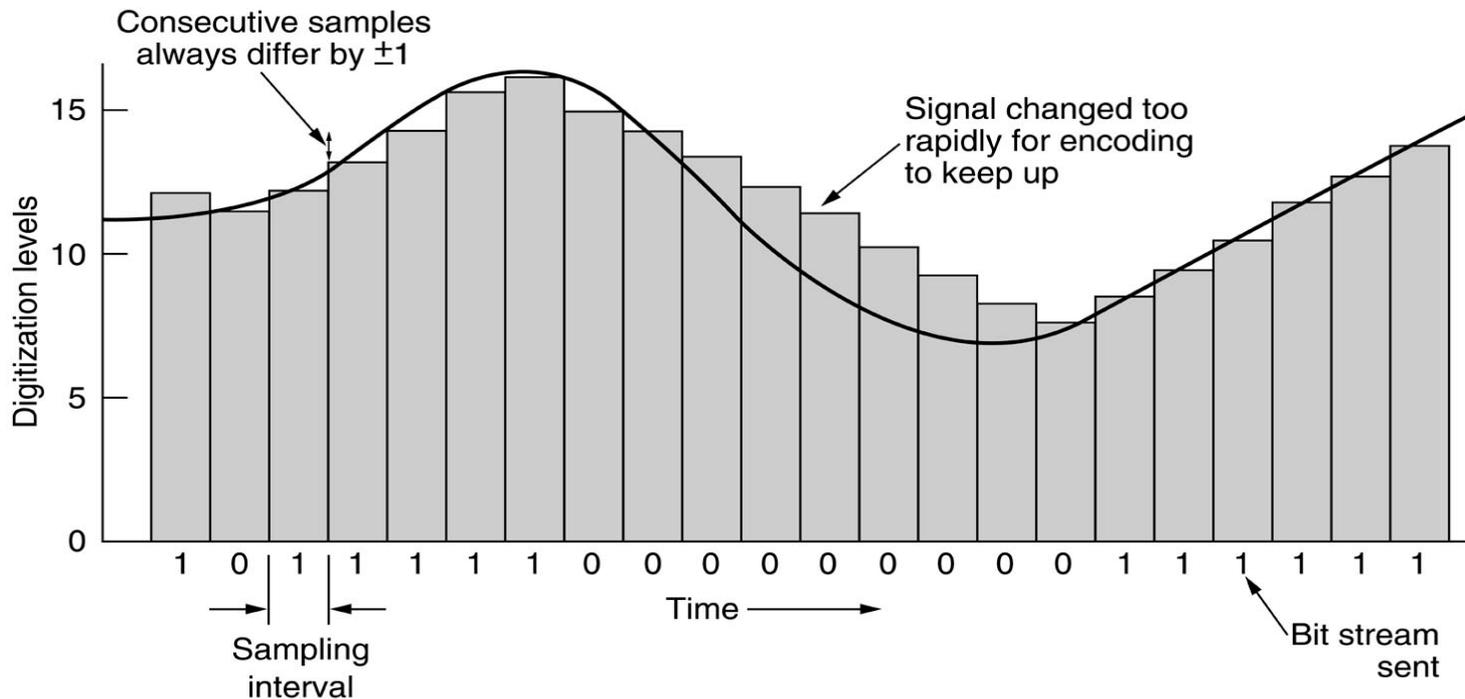
# Delta modulation





# Delta Modulation

- Una variante è la Delta Modulation in cui la variazione è sempre +1 o -1





# Predictive encoding



- Un miglioramento rispetto a DPCM si ha quando si usano gli ultimi “n” valori per stimare il prossimo e poi si usano pochi bit per codificare la differenza tra valore misurato e stimato
- Trasmittente e Ricevente devono ovviamente usare lo stesso algoritmo



# Telefonia cellulare - Voip



- Tutte queste tecniche sofisticate stanno alla base dei codec super compressi della telefonia cellulare o telefonia Voip
- Tradeoff tra qualità del segnale voce e numero di canali che si possono ottenere
- Si arriva fino a canali voice di 9 kHz

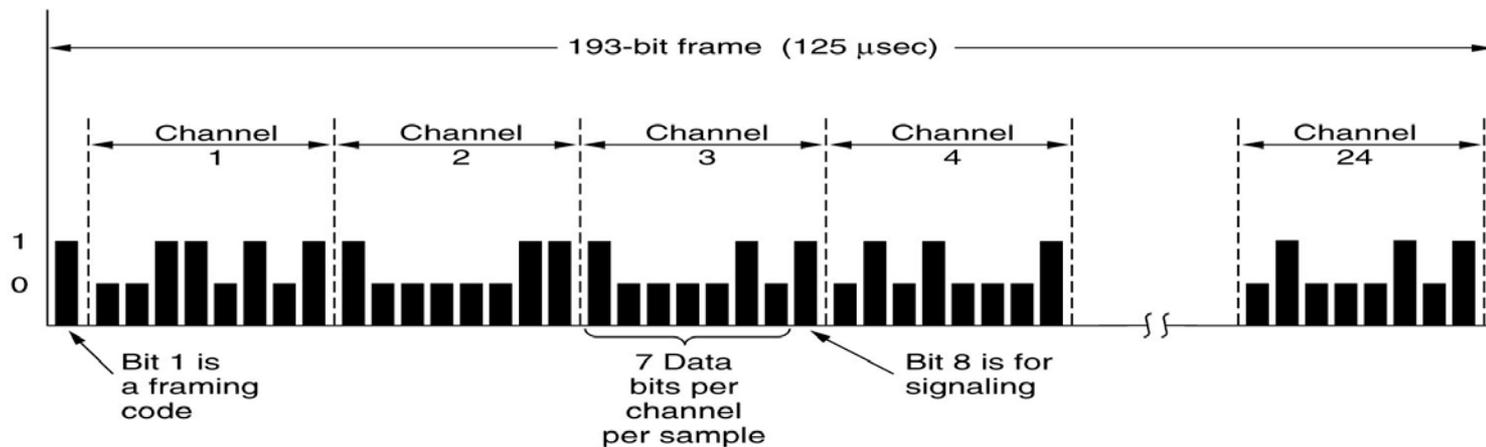


# Multiplex di canali voce

- 24 canali voci multiplexati insieme
- I segnali digitali sono campionati in round robin
- Ogni canale mette 8bit (7 di dati e uno di controllo)
- 56 kbps di dati e 8 kbps di controllo
- Questo viene chiamato canale T1



# Canale T1



- Un frame ha quindi  $24 \times 8 = 192$  bit + 1 bit di framing
- 193 bit ogni 125  $\mu$ sec  $\rightarrow$  1.544 Mbps
- Il 193-esimo bit serve per sincronizzare i frame e ha un andamento tipo 01010101...
- Se si perde il sync basta cercare questo pattern che corrisponde ad un'onda sinusoidale a 4 kHz



# T1 di CCITT - saltare

- 8 kbps di signaling sembravano troppi. Quindi usa 1.544 Mbps con 8 bit/sample
- Due varianti
  - Common Channel Signaling: 193-esimo bit alla fine con pattern 01010101... nei frame dispari e informazioni di signaling in quelle pari
  - Channel Associated Signaling ogni canale ha il suo sottocanale di signaling, usando l'ottavo bit ogni sesto frame



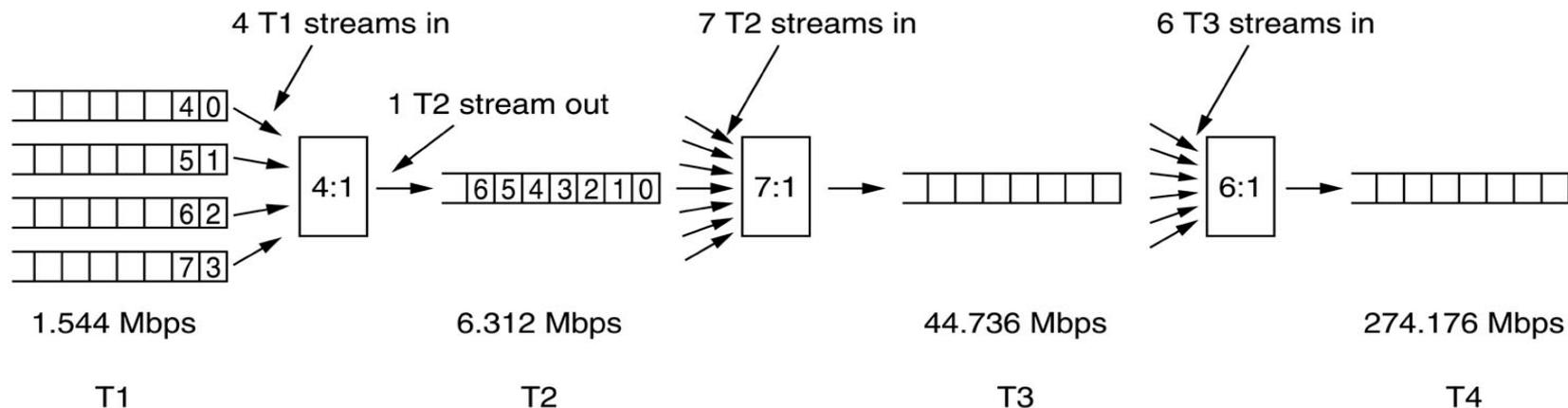
# E1



- In Europa il canale raccomandato era detto E1 con 2.048 Mbps
- 32 campionamenti di 8 bit ogni 125  $\mu$ sec
- 30 per dati e due per signaling



# Gerarchie superiori

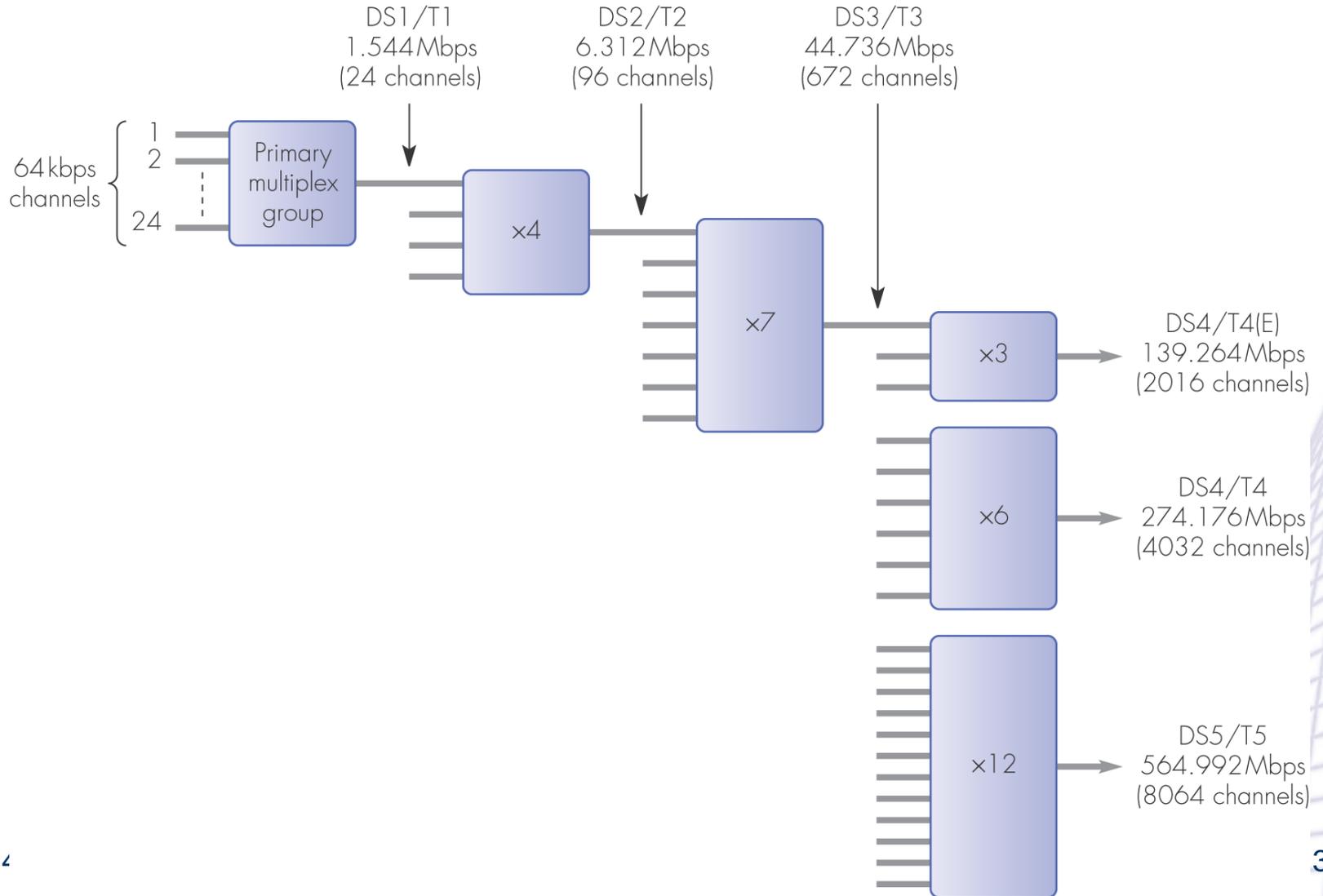


- 4 canali T1 (6.176 Mbps) fanno un canale T2 (6.312 Mbps)
  - La differenza è data dai bit di framing e recovery
  - Da T2 in su il multiplexing viene fatto bit a bit (non a byte come il T1)



# Gerarchie PDH US

(a)





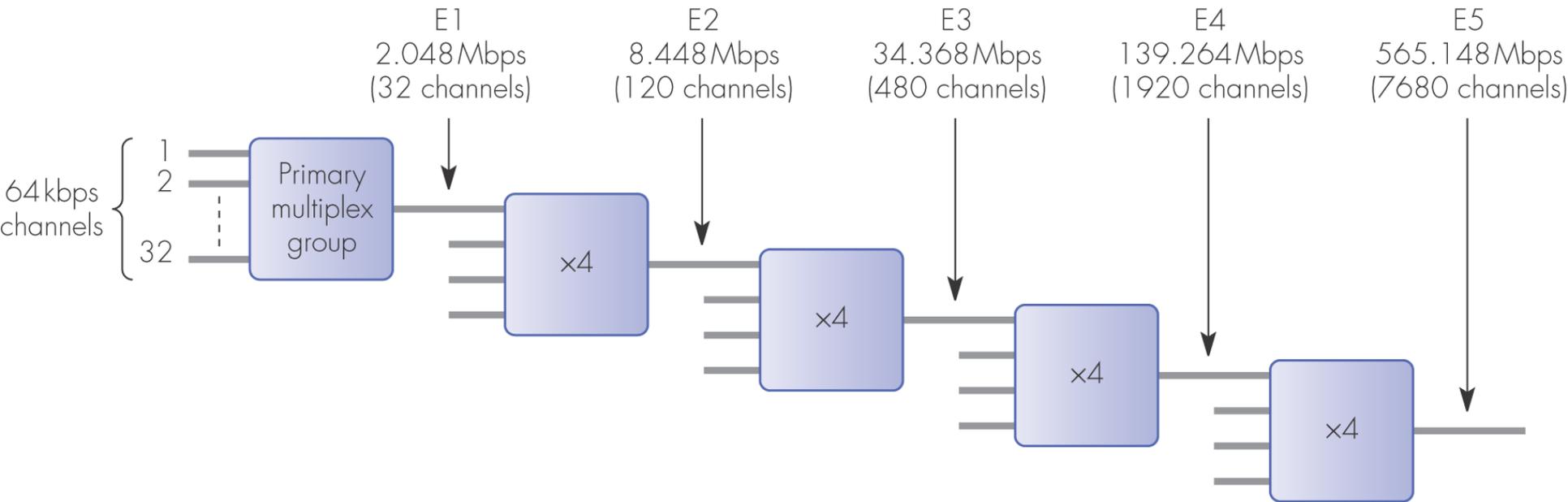
# In Europa

- Lo schema americano mette 4 T1 in un T2, 7 T2 in un T3, 6 T3 in un T4
- Lo schema CCITT mette sempre 4 stream in uno stream superiore
- 32, 128, 512, 2048 e 8192 canali con bande di
  - **2.048** Mbps (E1) 8.848 Mbps (E2) **34.304** Mbps (E3) 139.264 (E4) Mbps e 565.148 Mbps (E5).



# Gerarchie PDH Europa

(b)





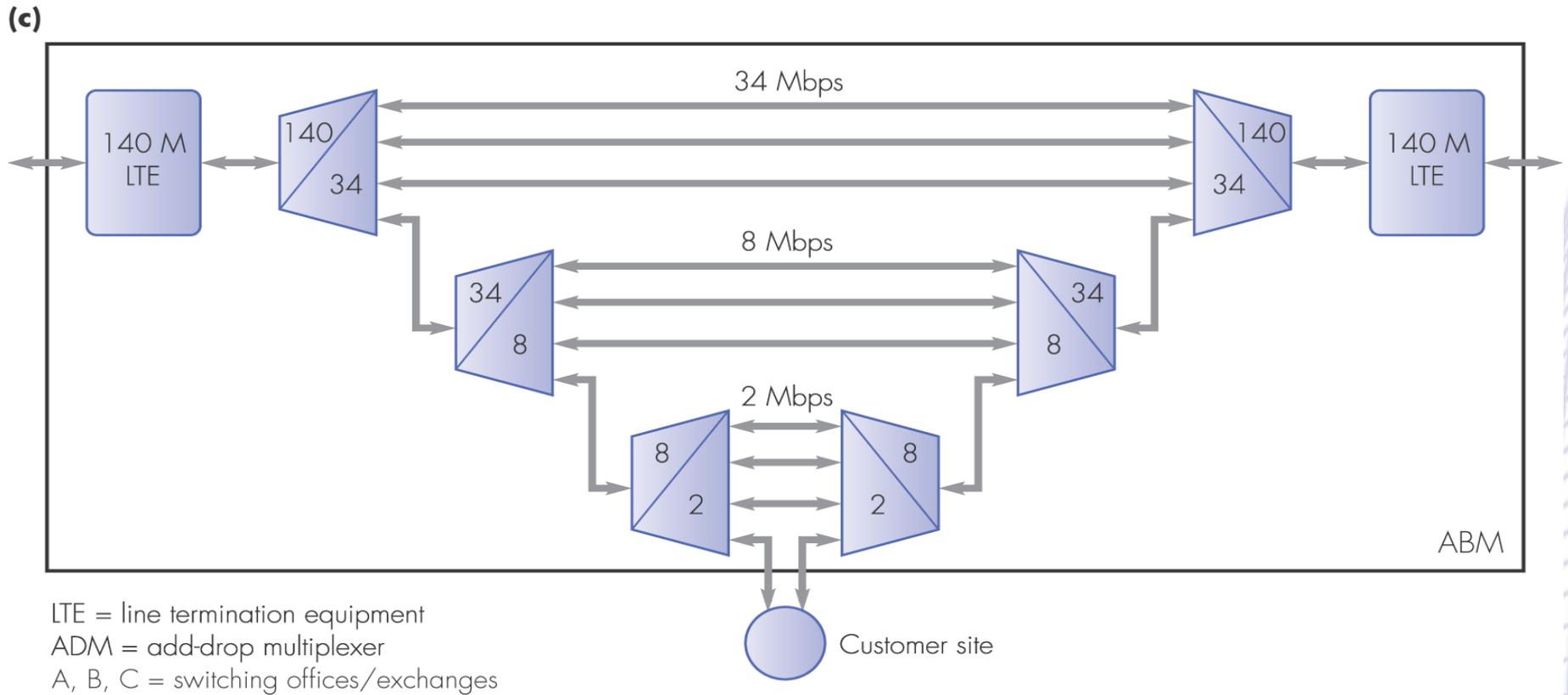
# PDH



- **Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)** è la tecnologia che permette il multiplexing e il demultiplexing dei canali
- Plesiochronous vuol dire “Quasi isocrono” che significa che due reti sono praticamente sincronizzate ma non perfettamente sincronizzate
- Per questo ogni per estrarre un canale bisogna estrarre un elemento della gerarchia per volta



# ADM





# SDH o Sonet

- Nella SDH, Synchronous Digital Hierarchy i clock sono atomici e permettono la perfetta sincronizzazione in tutta la rete.
- Questo permette l'estrazione del singolo canale
- Gli americani hanno l'equivalente SONET (Synchronous Optical Network)



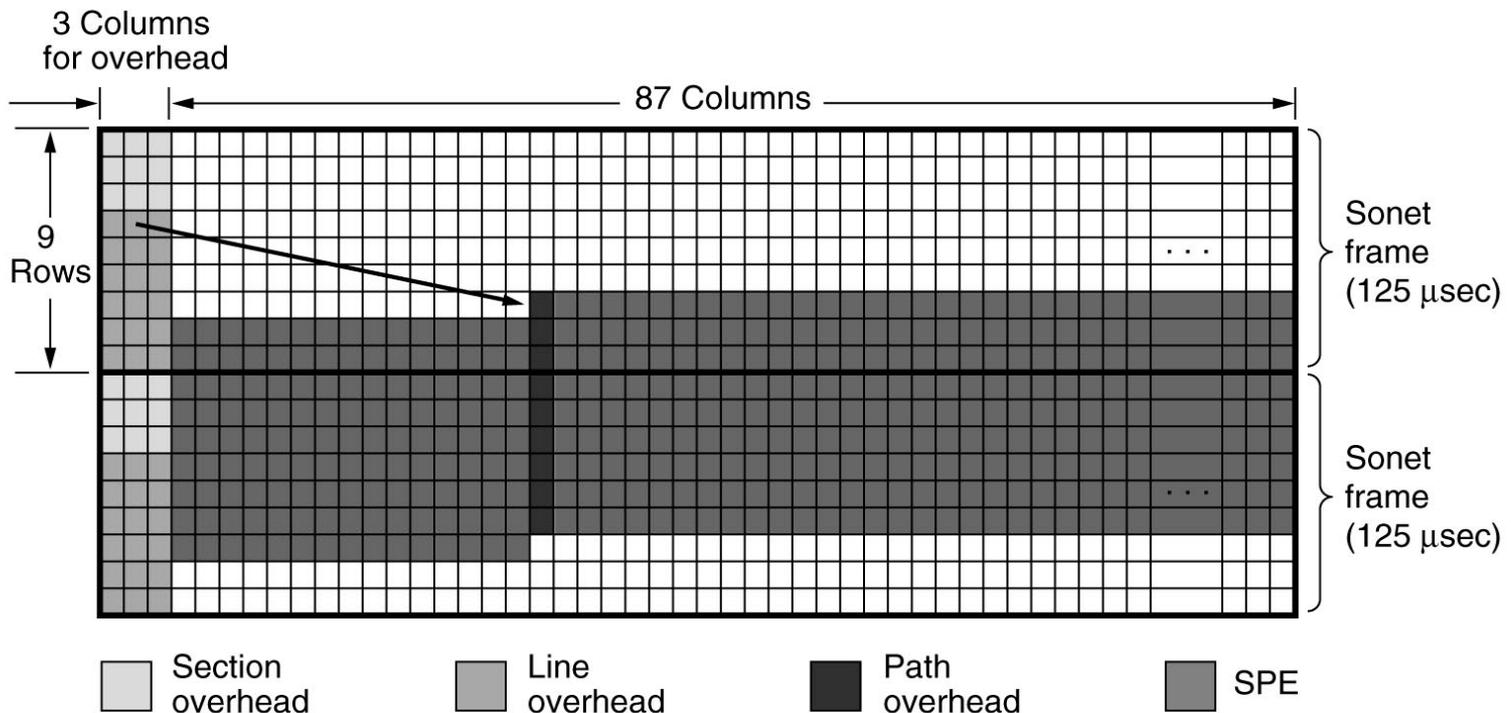
# quattro goal di SDH

- Garantire internetworking tra diversi carrier
  - Serve un signaling standard per lunghezze d'onda, timing, struttura di framing, etc...
- Unificare i sistemi Americani, Giappone e Europei
  - Alla fine sono tutti basati su canali PCM a 64 kbps
- Andare a velocità maggiori di T3
- Fornire supporto per amministrazione e maintenance



# Frame Sonet

- Frame di 810 Bytes ogni 125  $\mu$ sec  $\rightarrow$  vedi  $(87+3)*9$
- $8 \text{ bit} * 810 \text{ B} = 6840 \text{ bit}$  8000 volte al secondo  $\rightarrow$  51.84 Mbps
- Canale base STS-1 e multipli di questo





# Sonet



- Una trasmittente SONET manda frame da 810 Bytes uno dopo l'altro senza buchi
- Anche se non c'è nulla da trasmettere
- Le prime 3 colonne sono usate per section overhead e line overhead
- Le altre 87 colonne sono il payload ( $87 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 8000 = 50.112$  Mbps) di dati utenti chiamati SPE (Synchronous Payload Envelope)
- SPE inizia ovunque, appena arrivano i dati (non si deve aspettare colonna 4 riga 1)



# Gerarchia SONET e SDH

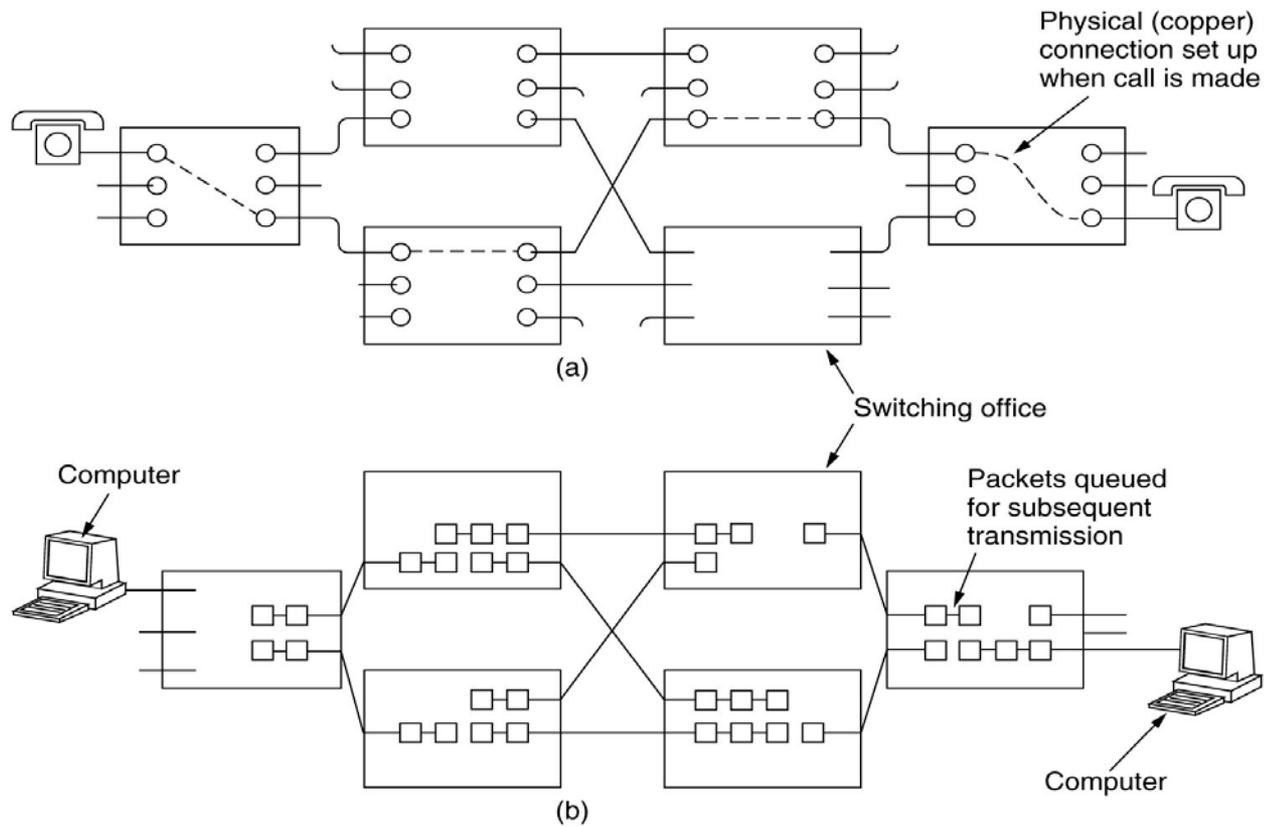


SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912

- Troverete spesso OC-3 155 Mbps, OC-12 622 Mbps, OC-48 2.5 Gbps, OC-192 10Gbps, per esempio nei link GARR



# Switching





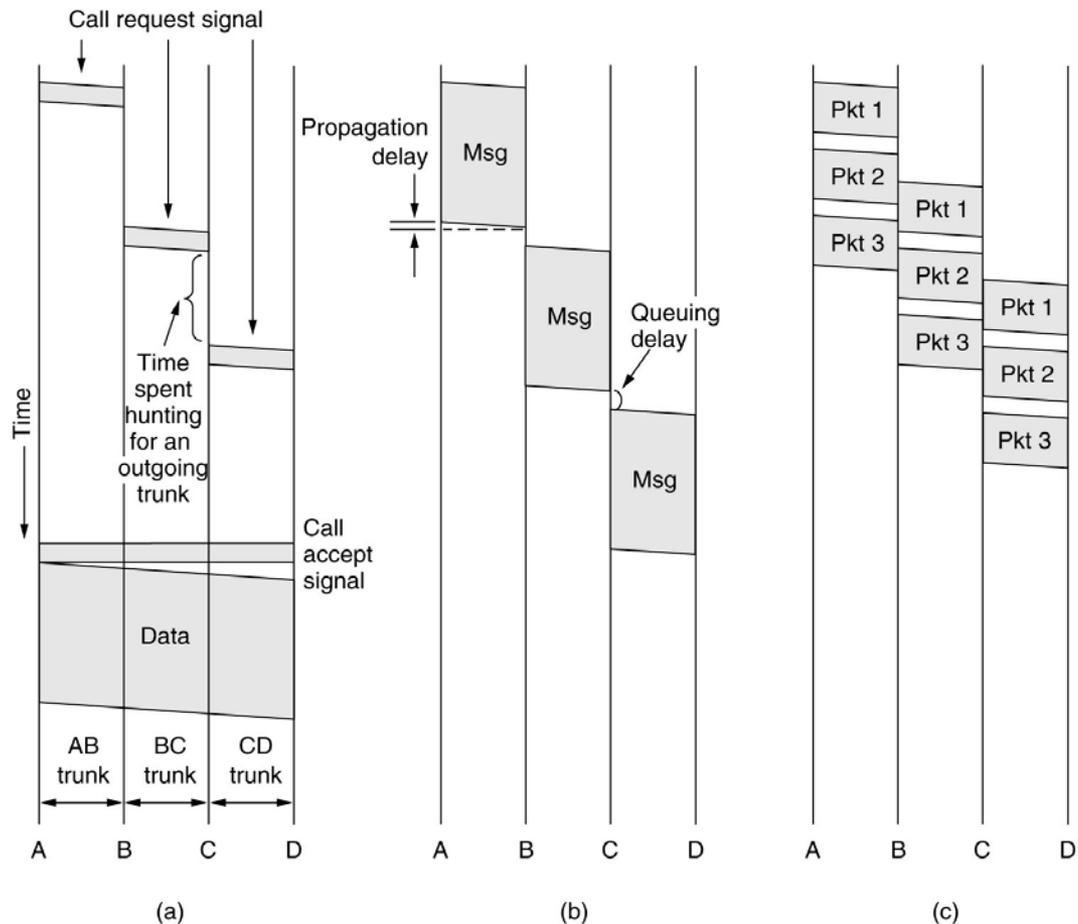
# Packet vs Circuit

- Con circuit switching si deve stabilire un path end-to-end prima di cominciare a mandare il primo bit, passano anche 10 secondi
- Per i computer questo è un tempo inaccettabile e preferiscono packet switching in cui ogni pacchetto va per la sua strada
- Per contro con il circuit switching dopo il setup l'unico delay è quello del segnale e.m. 5ms/1000km
- Non c'è possibilità di congestione dopo il call setup, per contro si potrebbe non avere una connessione a causa di mancanza di capacità di switching o di trunking



# Message Switching

- (a) Circuit switching
- (b) Message switching
- (c) Packet Switching
- I primi sistemi per telegrammi erano Message Switching
- Sono detti anche Reti **Store and Forward**





# Packet Switching



- Migliora il Message Switching in diversi modi
  - Il messaggio occupa una linea per diversi secondi o minuti. Se lo rompo in pacchetti ognuno mi occupa solo il canale solo millisecondi
  - Il pacchetto piccolo sta nella memoria del router, non deve essere salvato su disco
  - Il secondo pacchetto di un messaggio multipacchetto può essere spedito prima che il primo sia interamente arrivato, riducendo il delay



# Confronto



Item	Circuit switched	Packet switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
Time of possible congestion	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Transparency	Yes	No
Charging	Per minute	Per packet



# Reti a circuiti virtuali

- Abbiamo appena visto commutazione di circuito, commutazione di messaggio e commutazione di pacchetto
- La commutazione di pacchetto può essere usata in un caso particolare che implementa un circuito virtuale
- Primo esempio Frame Relay fine anni '80, inizio anni '90 per sostituire X.25



# Telefoni mobili

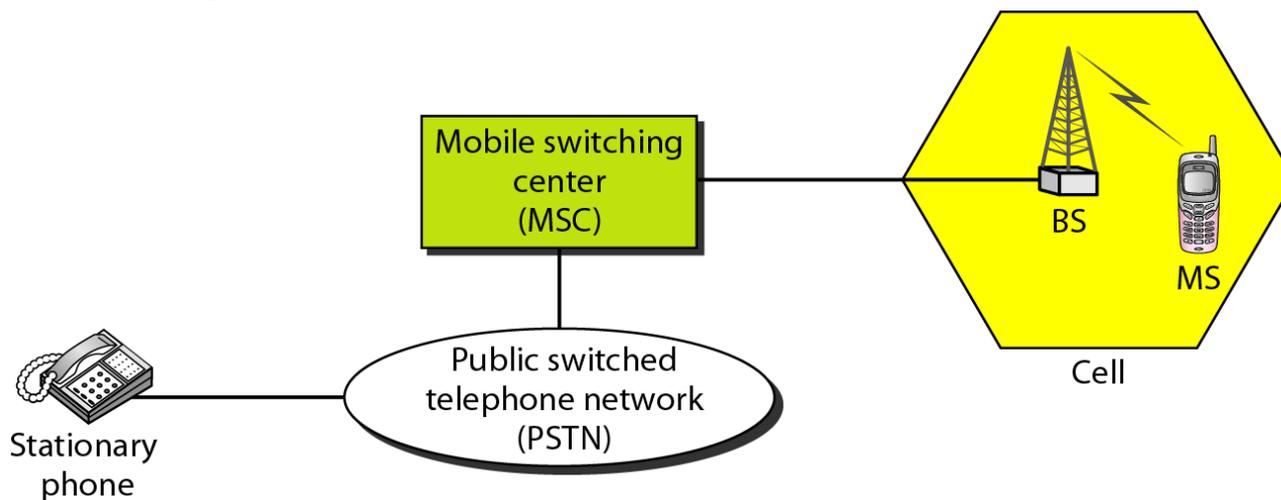
- Anni 50. Un'antenna nell'edificio alto della città, singolo canale (push to talk)
- Anni 60. Trasmettitore da 200W in cima ad una collina ma con due frequenze (ricez. e trans.)
  - **IMTS** con soli 23 canali in tutto tra 150 e 450 MHz
  - Difficile trovare linea libera – Terminali enormi (portabili in auto)
- Anni 80-90 Cellulari Analogici di prima generazione
- Anni 90-2000 Cellulari Digital di seconda generazione
- Ora Cellulari Digitali di terza generazione con voice + data
- In fase di progettazione la quarta generazione dati in banda larga e VoIP



# Reti Cellulari

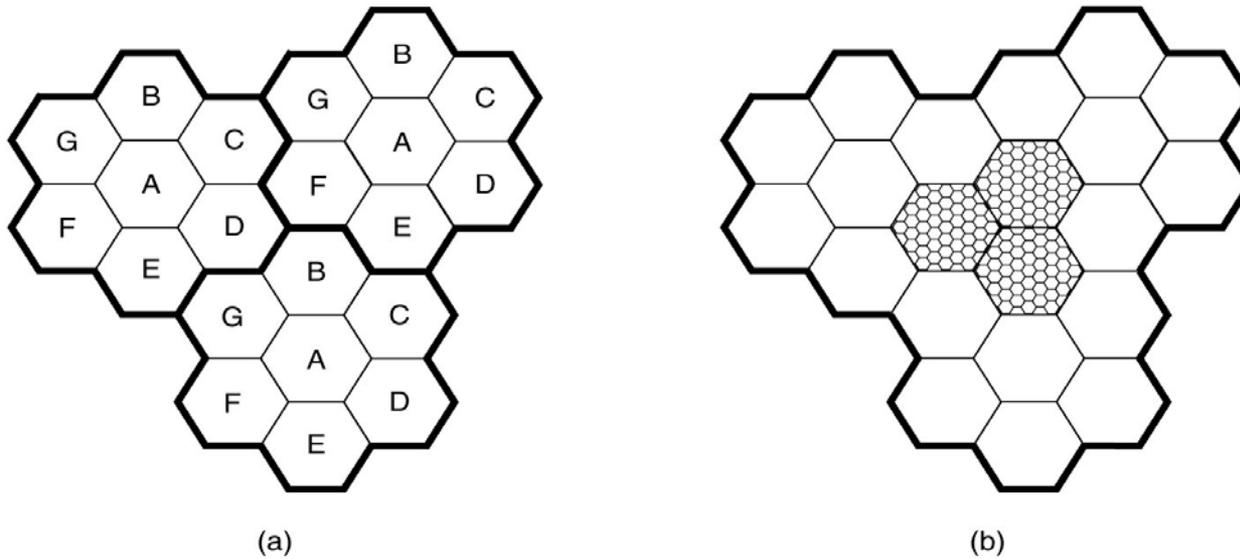
- Idea Chiave:

- Mappare il territorio in celle di 10-20 km
- Riusare le frequenze in celle vicine ma non adiacenti
- Dove un sistema IMTS usava una frequenza in un raggio di 100 km il sistema AMPS ha 100 celle da 10 km e assegna da 10 a 15 chiamate ad ogni frequenza
- In caso di congestione faccio **celle più piccole** con antenne che trasmettono a **potenza inferiore**





# Uso delle frequenze

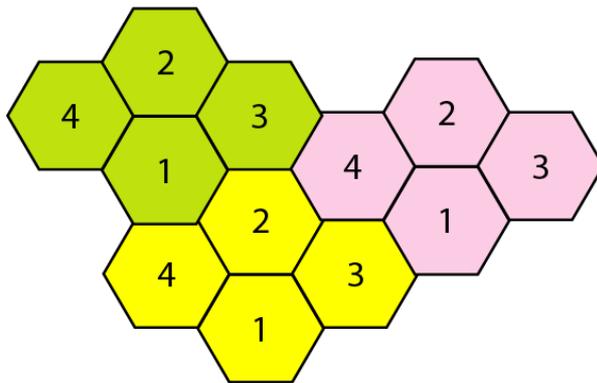


- (a) Le frequenze non sono riusate in celle adiacenti
- (b) In caso di congestione per aggiungere altri utenti attivi contemporaneamente diminuisco le dimensioni delle celle

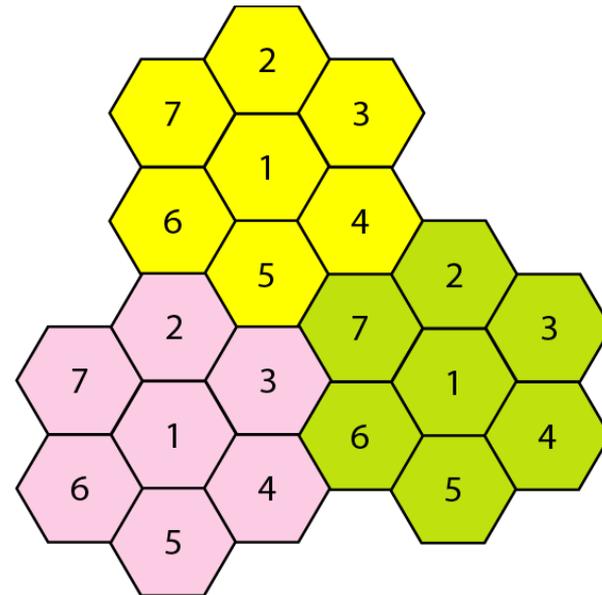


# Reuse factor

- Schemi con fattore di riutilizzo 4: solo una cella separa celle che utilizzano le stesse frequenze
- Schemi con fattore di riutilizzo 7: due celle separano celle che utilizzano le stesse frequenze



a. Reuse factor of 4



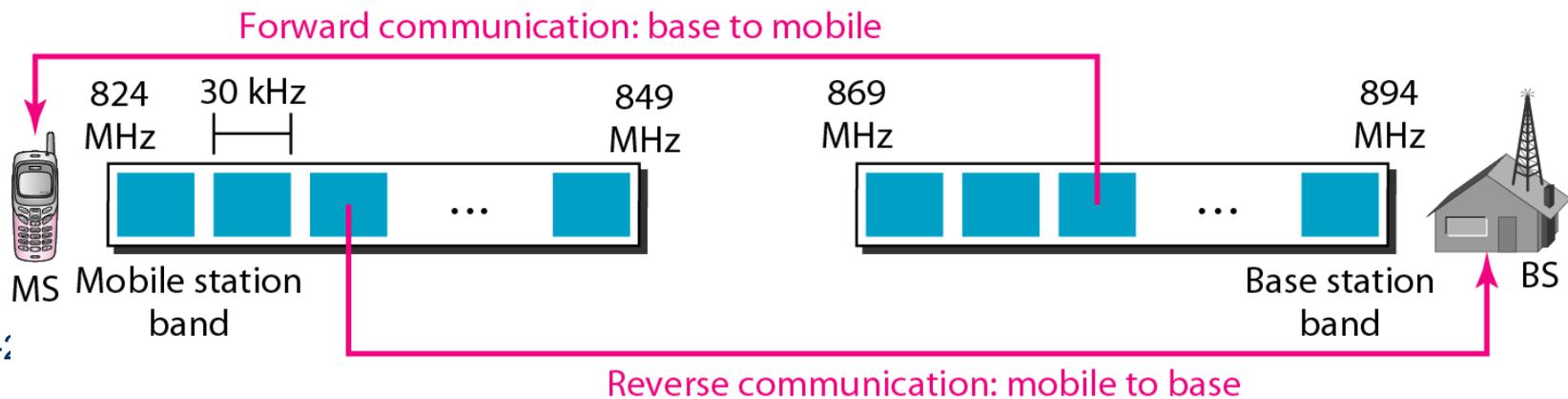
b. Reuse factor of 7



# Cellulari analogici

- AMPS negli Stati Uniti o TACS in Europa
  - I canali erano analogici. Basta mettersi con una radio ricevente nelle frequenze indicate per sentire le telefonate
  - Frequenze ISM a 800 MHz
  - 832 canali ma due provider possono condividere un'area e quindi avere 416 canali a testa (21 di controllo, 395 per le trasmissioni)
  - Reuse factor 7: solo 1/7 dei 395 canali usabili in una cella

Each band is 25 MHz,  
made of 832 30-kHz analog channels

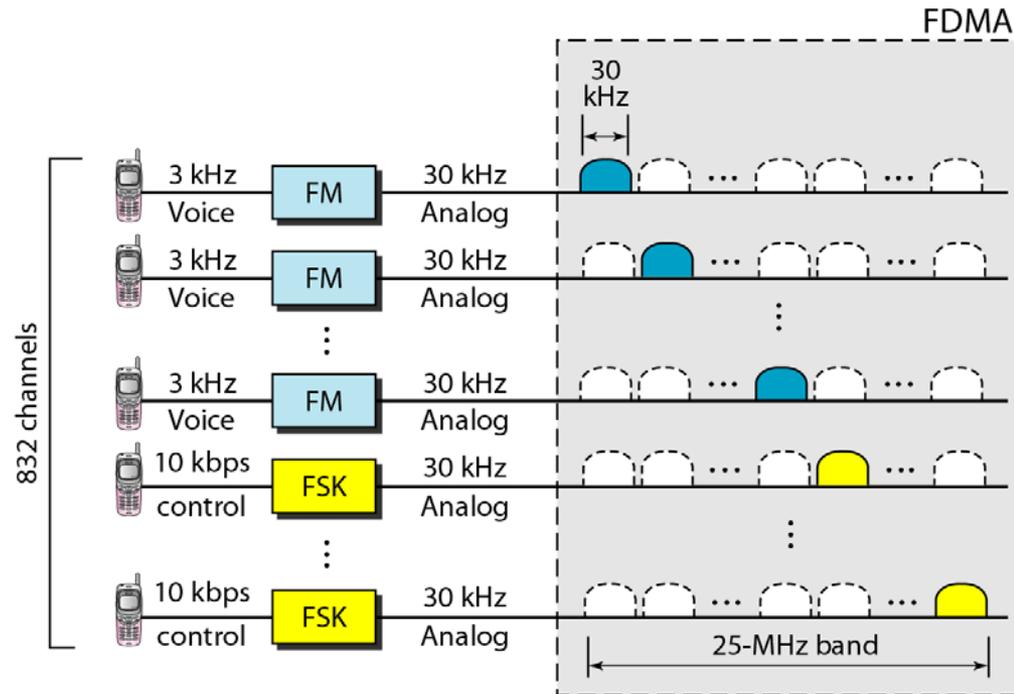




# Tramissione AMPS



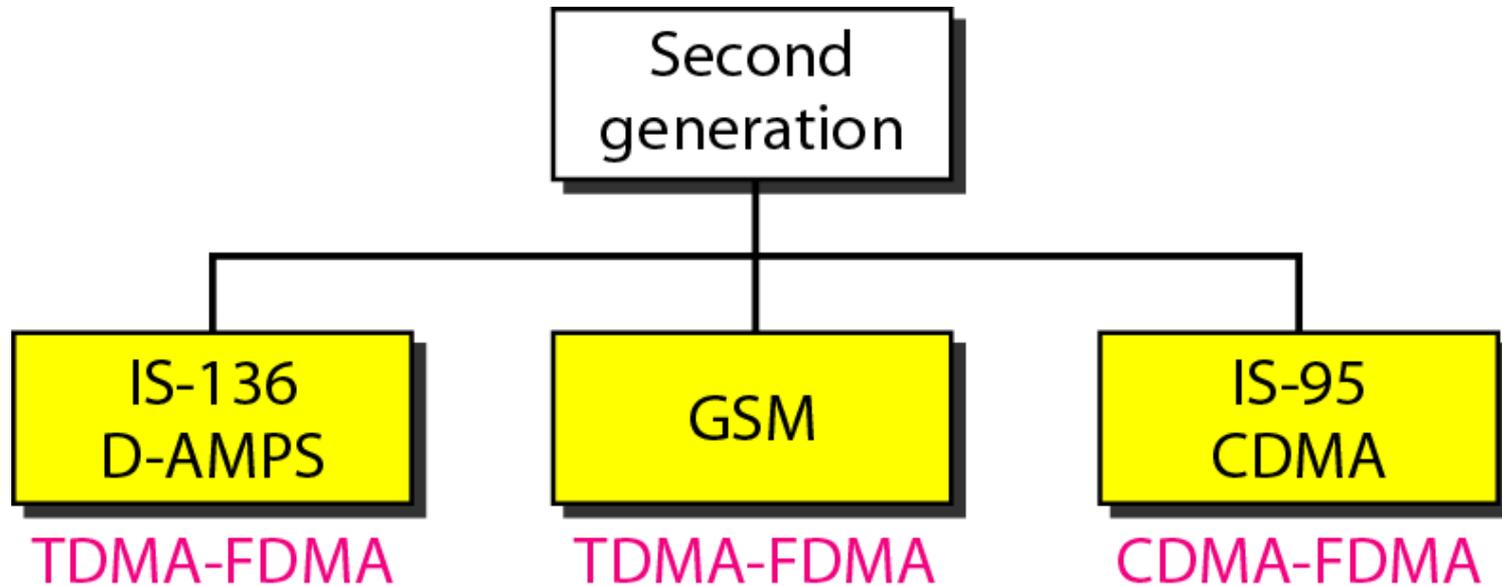
- AMPS usa modulazione FM e FSK
- In figura trasmissione da telefono a base
- Canali voce da 3kHz in FM su un 30 kHz analogico
- Canali di controllo da 10kbps di nuovo su 30 kHz analogico
- Poi FDMA per mettere i canali di 30 kHz nella banda di 25 MHz





# Seconda generazione

- Seconda generazione, progettata per fornire migliori prestazioni (minor rumore)
- Trasmissione digitale invece che analogica





# D-AMPS

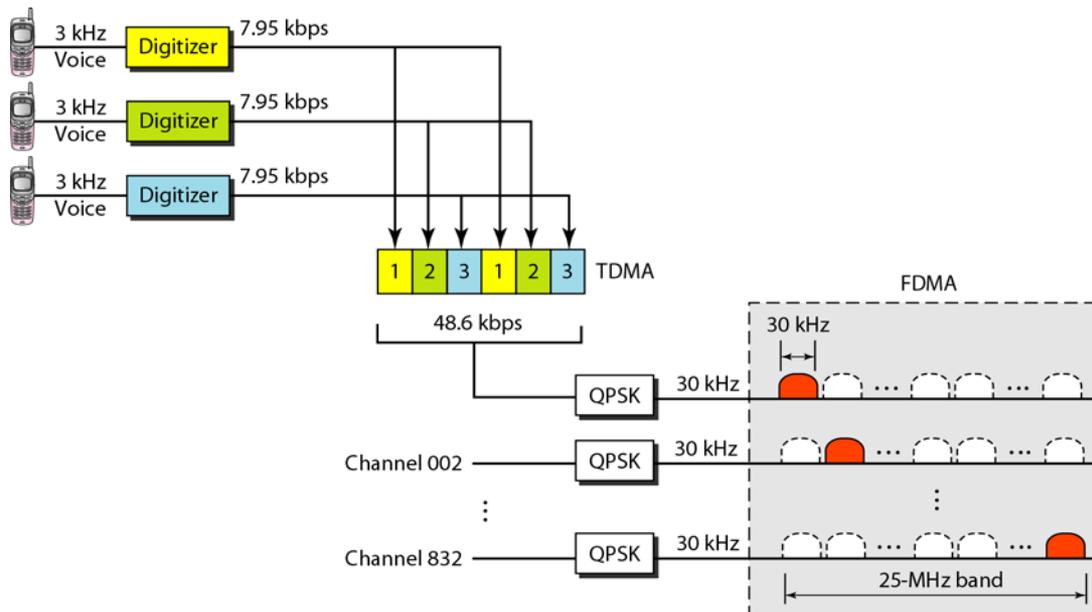


- Versione Digitale di seconda generazione di AMPS
  - Sono compatibili, in una cella ci possono essere telefoni AMPS e D-AMPS
  - Canali upstream tra 1850 e 1910 MHz, Downstream tra 1930 e 1990 MHz (lunghezza d'onda circa 16 cm → un antenna da  $\frac{1}{4}$  di onda è solo 4 cm)
  - Ma usa anche la vecchia banda a 850 MHz
  - Encoding della voce molto sofisticato per stare entro 8 kbps
  - Questo permette di mettere fino a 3 utenti nello stesso slot di frequenza usando TDM
  - Possibile anche mettere 6 utenti con canali voce a 4 kbps con peggiore qualità



# Sistema D-AMPS

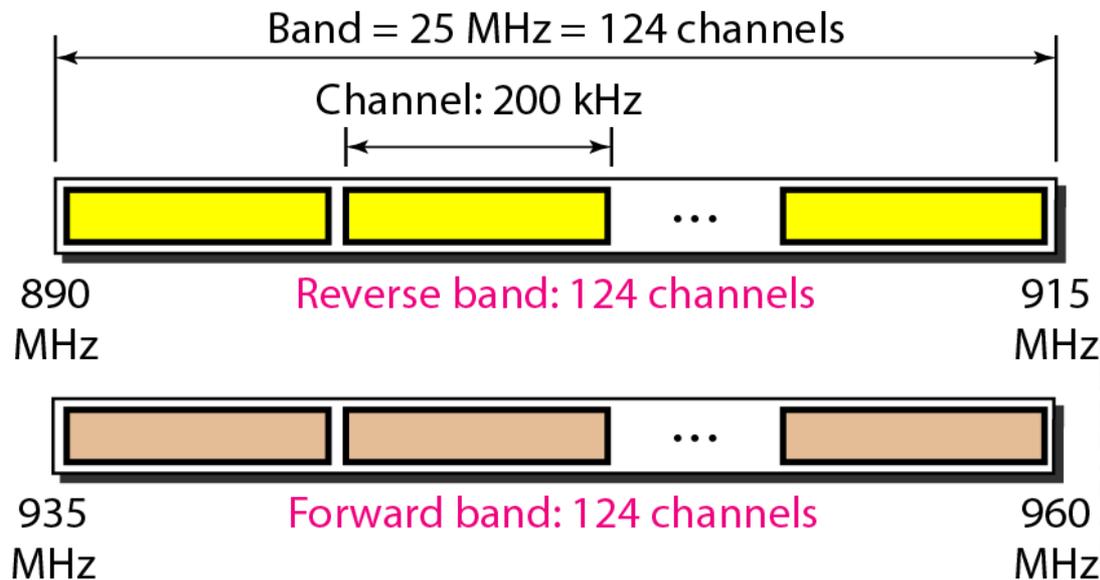
- I 3 canali danno in TDMA danno 48.6 kbps (molto overhead)
- 25 frame/sec con 1944 bit per frame
- Ogni frame dura 40 ms ed è composto di 6 intervalli che devono portare 3 canali digitali
- Ogni intervallo ha 324 bit di cui 159 per la voce digitalizzata e 64 per correzione degli errori
- I 48.6 kbps poi vengono messi in 30 kHz con QPSK e spediti nei soliti 25 MHz





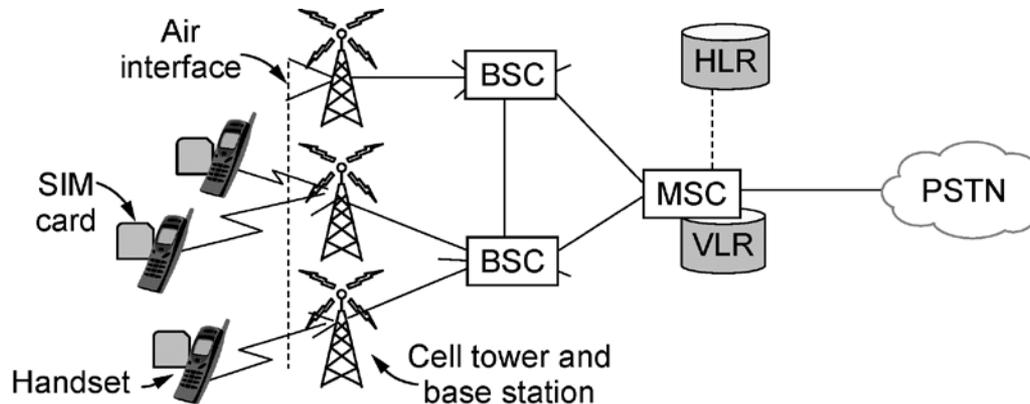
# GSM

- Simile a D-AMPS, entrambi usano FDM e poi ogni slot viene diviso con TDM per conversazioni multiple
- I canali GSM sono larghi 200 kHz invece che 30 e hanno 8 utenti invece che 3, quindi permettono un miglior data rate
- 124 coppie di canali simplex da 200 kHz ciascuno di questi usa un sistema a 8 slot TDM → 992 canali per cella
  - Alcuni non sono usabili per evitare conflitti di frequenze con celle vicine
- Permette connessioni dati a 14.4 kbps
- Fattori di riutilizzo molto bassi 4 o anche 3





# Architettura di rete GSM

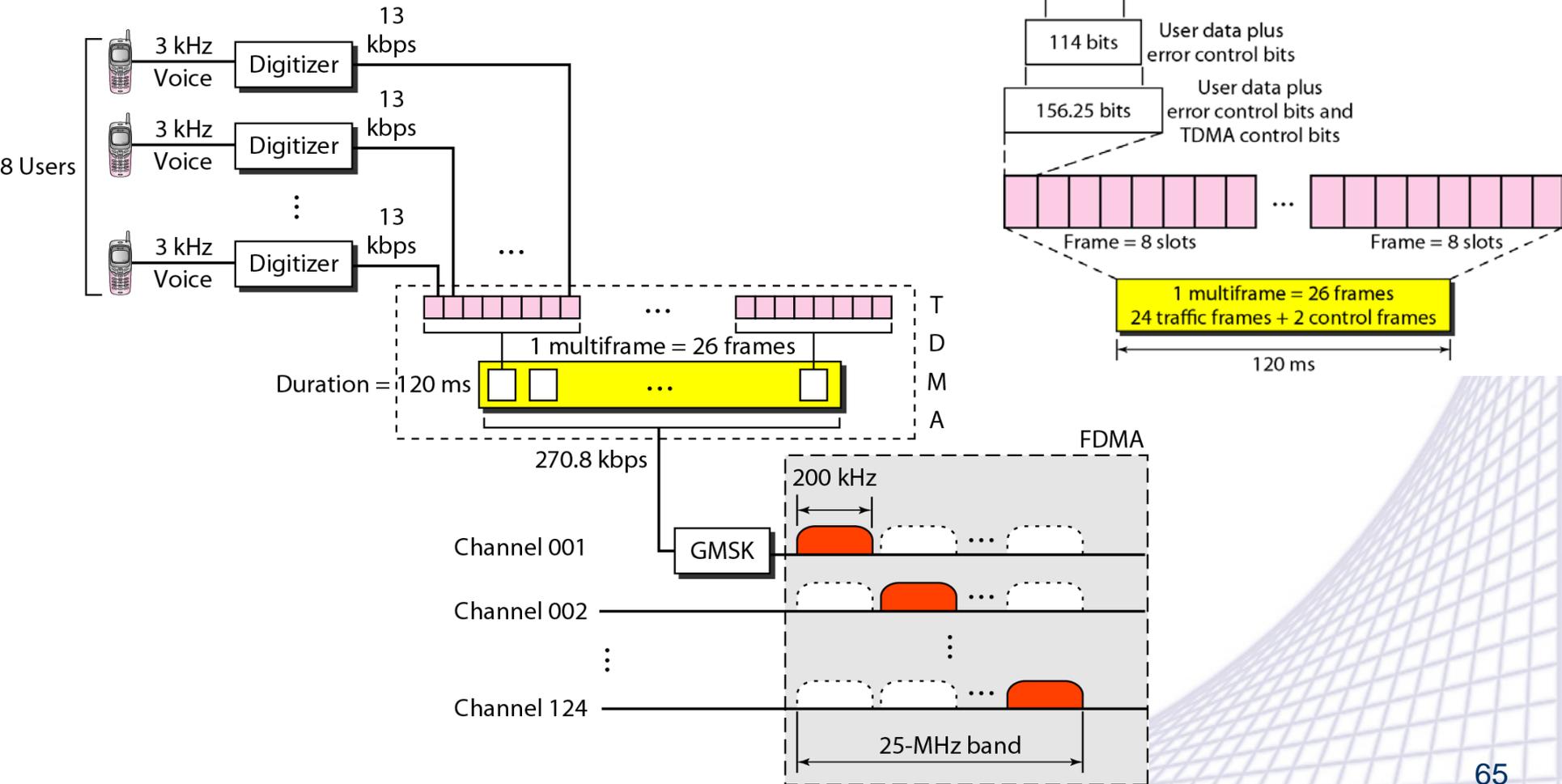


GSM mobile network architecture.

- Il terminale mobile si divide in un dispositivo e un chip removibile chiamato SIM card (subscriber identity module) che contiene dati segreti che consentono all'apparecchio e alla rete di autenticarsi a vicenda
- Le antenne fisse parlano con delle Base Station Controller che a loro volta sono collegate a delle Mobile Switching Center per collegarsi alla rete fissa

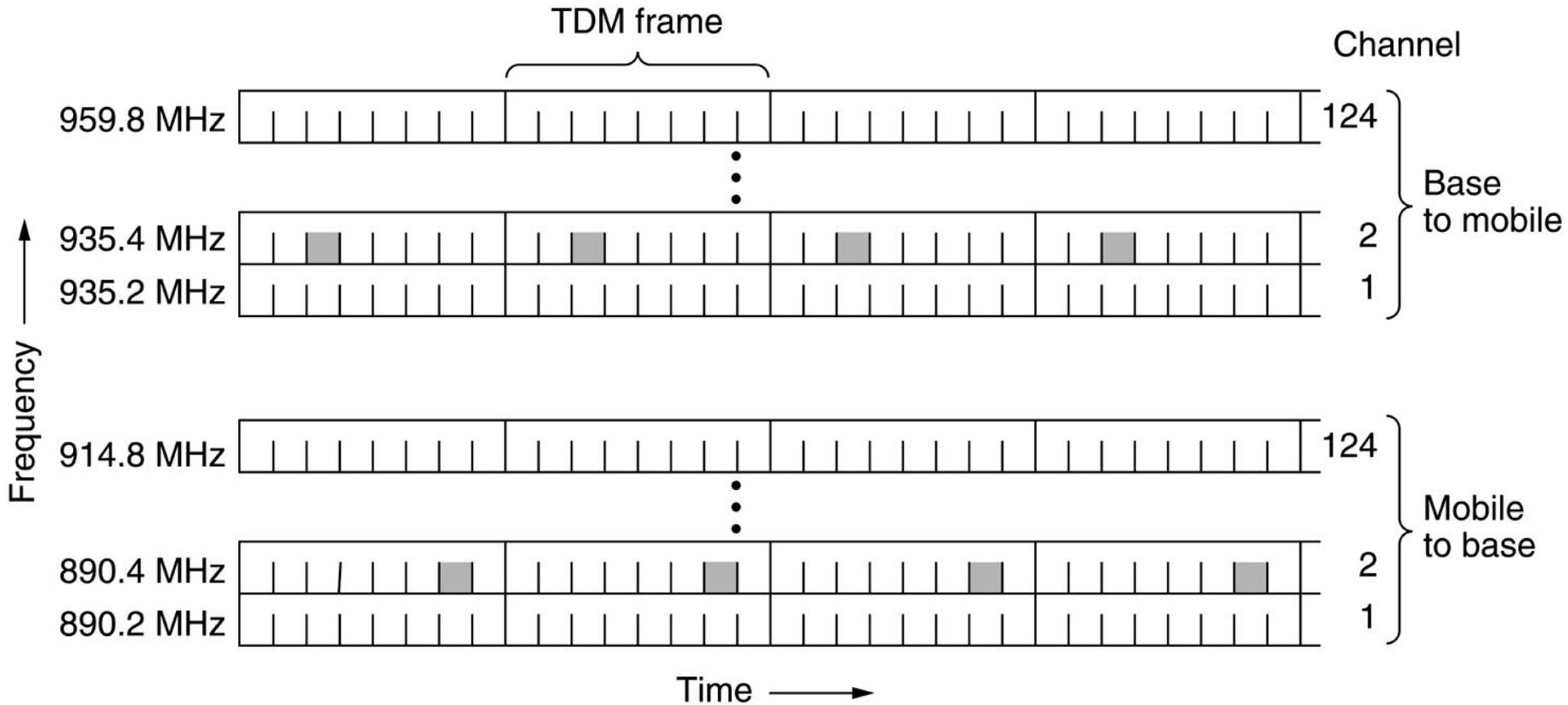


# GSM





# Canali GSM





# IS-95



- IS-95 (Interim Standard 95)
  - Altro standard di seconda generazione negli USA
  - Usa tecniche CDMA e DSSS
  - Usa due bande, ciascuna divisa in 20 canali di 1.228 MHz, ciascun canale deve essere sincronizzato con GPS per usare CDMA



# Generazioni

- 1 Prima generazione TACS analogici
- 2 Seconda generazione GSM, voce digitale
  - Dati solo pagando a tempo con CSD o HCSD
- 2.5 GPRS Servizi dati
- 2.75 EDGE Enhanced GPRS
- 3 Terza Generazione (dati fino a 2 Mbps)
- 3.5 HSDPA (dati fino a 14 Mbps)



# GPRS



- Tecnologia di generazione 2.5 per fare servizi dati ai GSM in attesa della 3G
  - Usa canali TDM inutilizzati nel GSM con modalità packet switching, quindi condividendo la banda con altri utenti.
  - Quindi si paga a traffico mentre un modem GSM con soli 14 kbps, si paga a tempo anche se nessun bit viene trasferito
- Bandwidth di circa 30-80 Kbps fino a un max teorico di 171.2 kbps
  - 8 Time Slot con rate massimo di 21.4 kbs (Code Scheme 4)



# GPRS performance



- Dipende dal numero di slot TDMA assegnati
  - il minore tra quello che la cella supporta e la capacità massima del dispositivo
- **GPRS Multislot Class** più comuni
  - Class 2: implementazione GPRS minimale
  - Class 4: download 50% meglio di Class 2
  - Class 6: upload migliore di Class 4
  - Class 8: **4R1T** (4 slot per ricevere uno per uplink) download 33% più veloci di Classes 4 & 6
  - Class 10: **3R2T** (3 ricezione, 2 trasmissione) miglior upload di Class 8
  - Class 12: La migliore implementazione



# Decodifiche

- Le prestazioni dipendono anche dal tipo di decodifica
  - Il migliore è CS-4 utilizzabile vicino alla stazione base (in EDGE avremo anche CS-9)
  - Il peggiore è CS-1 quando il terminale è lontano
  - Con CS-4 ho 21.4 kbps per ogni time slot ma copertura di solo il 25% della cella
  - Con CS-1 ho 9.05 kbps ma 99% della cella



# GSM vs GPRS

- Prestazioni simili ad un modem analogico 4 o 5 kB/sec e con latenze alte (ping vicini di 600 – 1000 ms)

	Download kbps	Upload kbps	
GPRS 4R1T	57.6	14.4	Classe 8
GPRS 3R2T	43.2	28.8	Classe 10
GSM CSD	9.6	9.6	
GSM HSCSD	28.8	14.4	2+1
GSM HSCSD	43.2	14.4	3+1



# EDGE o E-GPRS

- **Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)**
  - **Enhanced GPRS (EGPRS)**
    - **Coding and modulation scheme (MCS), le prime 4 usando GMSK (Gaussian minimum shift keying) le altre 5 usando 8PSK (8 phase shift keying)**
    - MCS-1 -2 -3 -4 → 8.8 - 11.2 - 14.8 - 17.6 kbps
    - MCS-5 -6 -7 -8 -9 → 22.4 - 29.6 - 44.8 - 59.2 kbps
    - EDGE raggiunge 236.8 kbit/s con 4 timeslots (massimo teorico 473.6 kbit/s con 8 timeslots) in packet mode
    - In pratica si passa dai 40 kbps di GPRS a 200 kbps con EDGE di massima (150-200 kbps in media)



# UMTS



- Universal Mobile Telephone System
  - Uno dei sistemi di terza generazione della famiglia W-CDMA (Code Division Multiplexing)
  - Usa una coppia di canali a 5 MHz, una attorno ai 1900 MHz per uplink e una attorno ai 2100 per downlink
  - Supporta fino a 1920 kbps (non 2Mbps) ma in pratica si arriva fino a 300 kbps
  - Sono possibili in Italia 3 tipi di servizio: voce (12.2 kbps) videoconferenza (64 kbps) e dati 384 kbps



# Sviluppi UMTS

- Dal 2004 sono disponibili in Italia UMTS-2 e UMTS-2+
  - Funzionano sulle attuali reti UMTS
  - Raggiungono 1.8 e 3 Mbps rispettivamente
- Interessante la possibilità di apparati misti UMTS-WiFi con roaming tra le due reti



# HSxPA



- **HSPA High-Speed Packet Access**

- Estende e migliora le prestazioni degli standard UMTS esistenti
- Usando schemi di modulazione migliorati e raffinando i protocolli di comunicazione tra i dispositivi e le stazioni base. Questo porta ad una migliore utilizzazione della banda radio fornita da UMTS.
- HSDPA **High-Speed Downlink Packet Access**
- HSUPA **High-Speed Uplink Packet Access**
- HSOPA **High-Speed Orthogonal FDMA Packet Access**



# HSDPA



- HSDPA **High-Speed Downlink Packet Access**
  - 3GPP release 5 di UMTS
  - migliora le prestazioni in downlink fino a un massimo teorico di 14.4Mbits/s teorico
  - I telefoni attuali e le attuali implementazioni arrivano a **1.8, 3.6, 7.2 Mbit/s** in downlink (dipende dall'operatore) e fino a un massimo di **384 Kbit/s** in uplink con coperture fino a 80% del territorio
- Evolved HSDPA: evoluzione di HSDPA fino a 42 Mbps



# HSUPA



- HSUPA

- 3GPP release 6 di UMTS
- fornisce migliori prestazioni di up-link fino a un massimo teorico **5.76 Mbit/s**
- Le prime implementazioni commerciali o telefonini nel 2008(es. Huawei E270 il primo modem USB, Novatel Wireless, Sierra Wireless, Option). Ora sono abbastanza comuni.





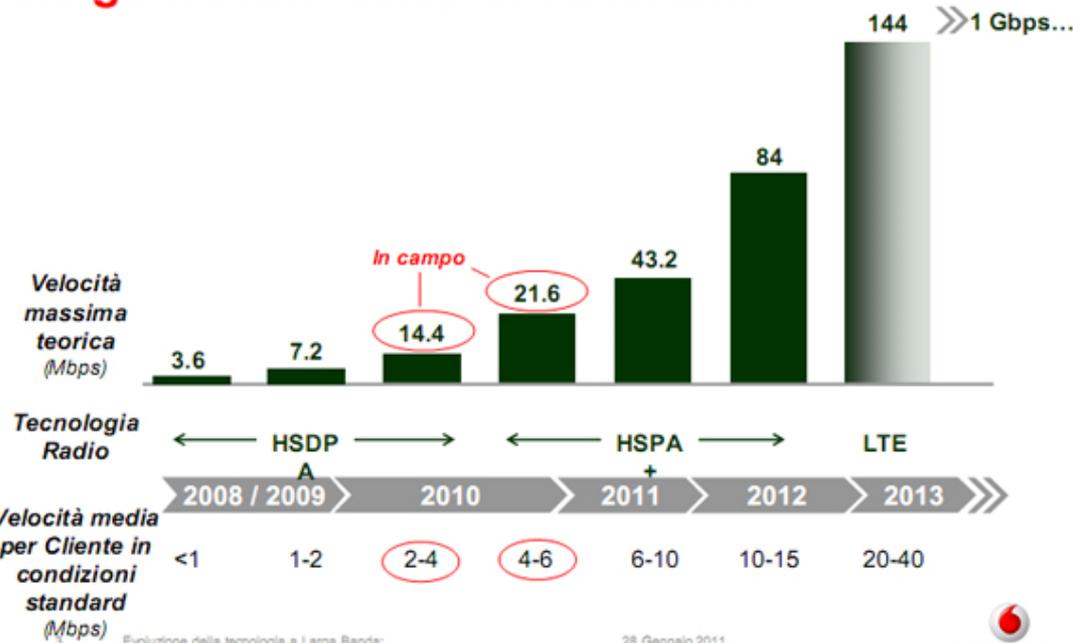
# HSPA+



- HSPA+ a 43.2 Mbps nel corso del 2011

## Larga Banda a 43.2Mbps

### Il piano di evoluzione della tecnologia a Larga Banda Radio di Vodafone





# Diffusione 4G 2013



## Copertura 4G in Italia

aggiornata a Luglio 2013

[www.sostariffe.it](http://www.sostariffe.it)



- Nel 2014 dovrebbe coprire fino al 25% dal 15% del 2013
- 100 Mbps teorici – 10-15 Mbps in pratica



# HSOPA

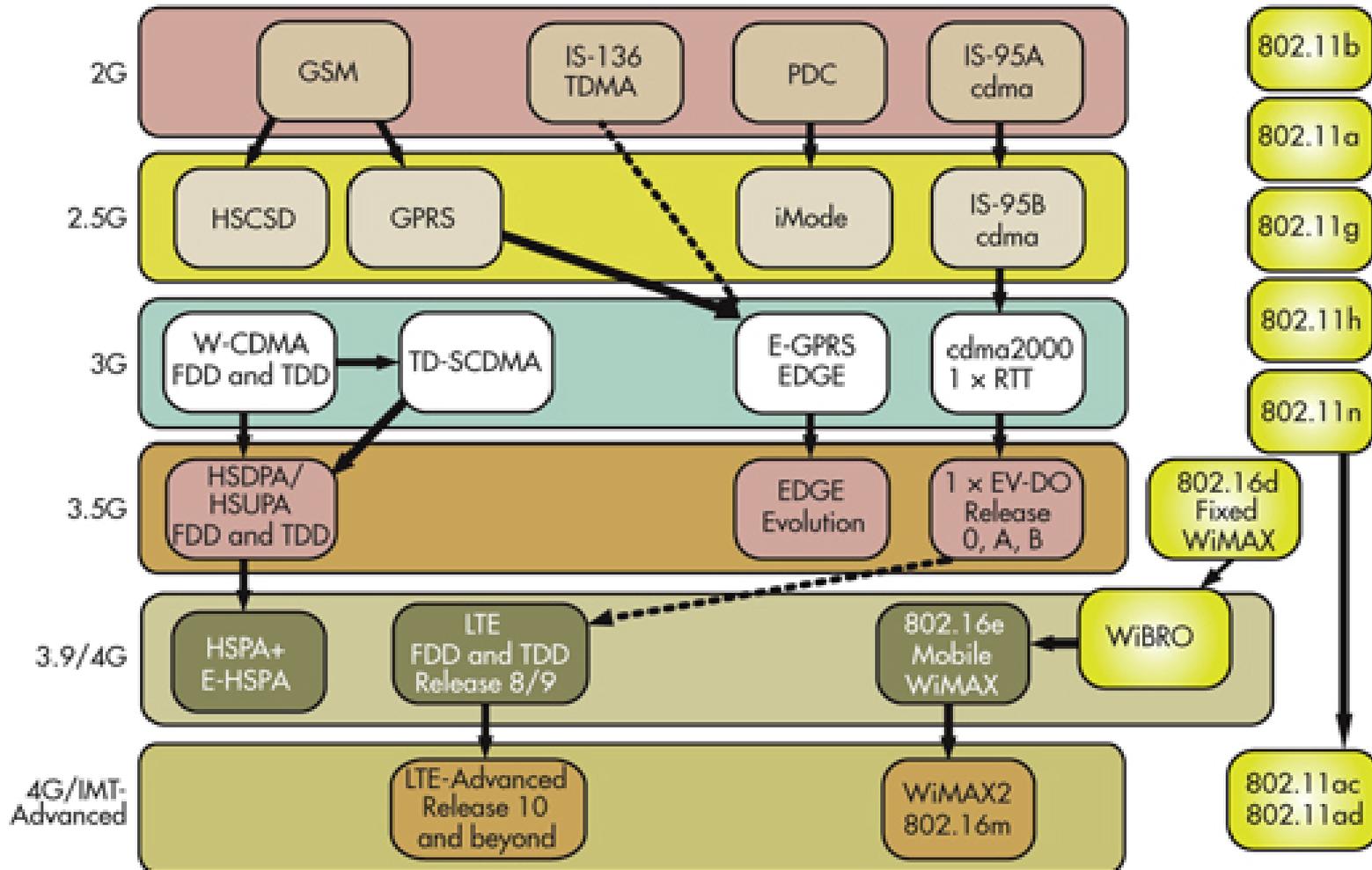


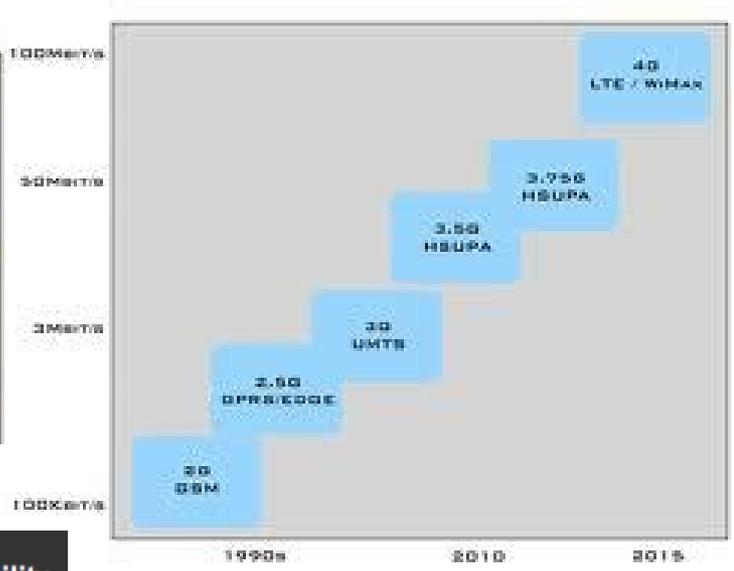
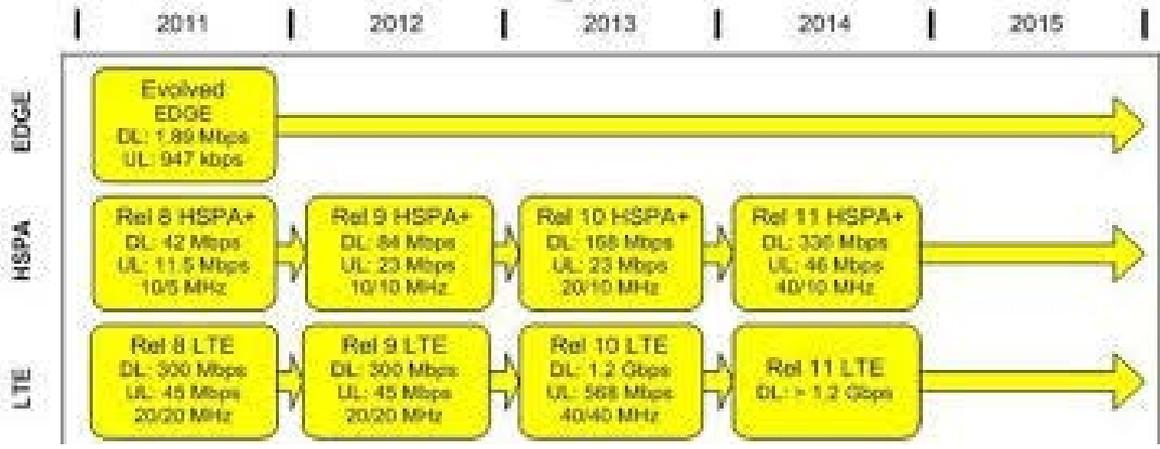
- HSOPA

- in fase di sviluppo. Punta ad un massimo di 100Mbps per down-link e 50Mbps per up-link
- Chiamato a volte Super3G, fa parte dell'upgrade di UMTS chiamato 3GPP Long Term Evolution
- Nuova air interface, non ha relazioni e incompatibile con W-CDMA

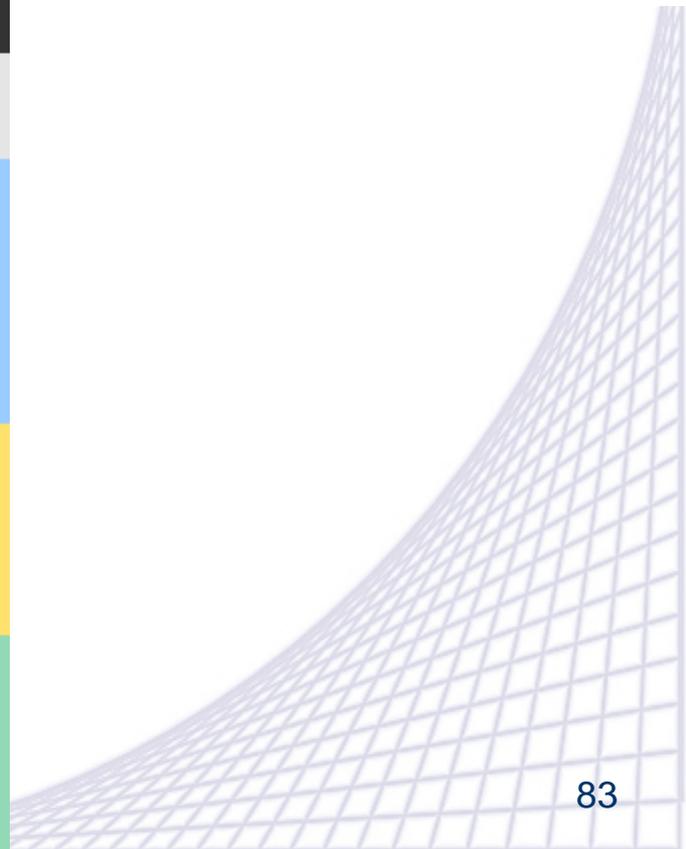


# Riassunto standard





		Real World (avg)		Theoretical (max)		Availability
		Download	Upload	Download	Upload	
2.5G	GPRS	32-48Kbps	15Kbps	114Kbps	20Kbps	Today
2.75G	EDGE	175Kbps	30Kbps	384Kbps	60Kbps	Today
3G	UMTS	226Kbps	30Kbps	384Kbps	64Kbps	Today
	W-CDMA	800Kbps	60Kbps	2Mbps	153Kbps	Today
	EV-DO Rev. A	1Mbps	500Kbps	3.1Mbps	1.8Mbps	Today
	HSPA 3.6	650Kbps	260Kbps	3.6Mbps	348Kbps	Today
	HSPA 7.2	1.4Mbps	700Kbps	7.2Mbps	2Mbps	Today
Pre-4G	WiMAX	3-6Mbps	1Mbps	100Mbps+	56Mbps	Today
	LTE	5-12Mbps	2-5Mbps	100Mbps+	50Mbps	End 2010
	HSPA+	-	-	56Mbps	22Mbps	2011
	HSPA 14	2Mbps	700Kbps	14Mbps	5.7Mbps	Today*
4G	WiMAX 2 (802.16m)	-	-	100Mbps mobile / 1Gbps fixed	60Mbps	2012
	LTE Advanced	-	-	100Mbps mobile / 1Gbps fixed	-	2012+

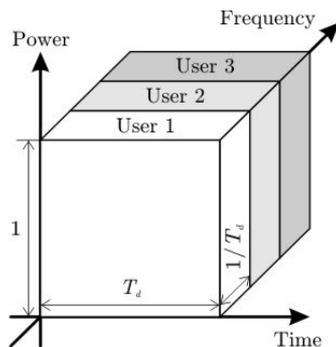




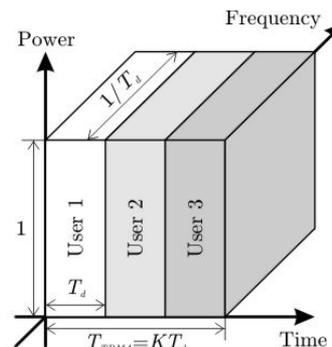
# CDMA



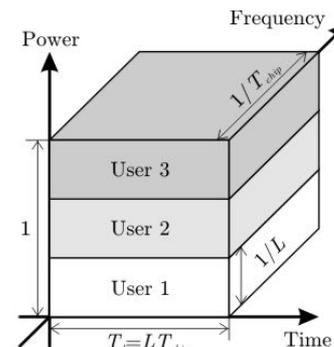
- TDM divide la banda in slot temporali o FDM in frequenze
- CDMA permette alle stazioni di usare tutto lo spettro disponibile. Connessioni multiple sono separate usando codici
- Analogia con le persone
  - TDM: Ognuno parla a turno
  - FDM: Diversi gruppi separati da schermi divisorii
  - CDMA: Tutti parlano in lingue diverse e ognuno filtra solo quello che viene detto nella propria lingua



FDMA



TDMA



CDMA



# Basi di CDMA

- Ogni stazione ha un codice
- Per trasmettere 1 la stazione manda la sua sequenza, per trasmettere 0 manda il complemento a 1
  - $A(1)$ : 00011011 e  $A(0)$ : 11100100
- Mettiamolo in forma polare: 1 significa 1 e -1 significa 0
  - $A$ : - - -11-11 e  $\underline{A}$ : 111 - -1- -
- Ogni stazione rappresenta un vettore ortogonale a tutti gli altri



# Sequenze CDMA

A: 0 0 0 1 1 0 1 1  
 B: 0 0 1 0 1 1 1 0  
 C: 0 1 0 1 1 1 1 0  
 D: 0 1 0 0 0 0 1 0

(a)

A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)  
 B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)  
 C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)  
 D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)

(b)

Six examples:

-- 1 -	<b>C</b>	$S_1 = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$
- 1 1 -	<b>B + <math>\bar{C}</math></b>	$S_2 = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 +2 +2 \ 0 -2)$
1 0 - -	<b>A + <math>\bar{B}</math></b>	$S_3 = (0 \ 0 -2 +2 \ 0 -2 \ 0 +2)$
1 0 1 -	<b>A + B + C</b>	$S_4 = (-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)$
1 1 1 1	<b>A + B + C + D</b>	$S_5 = (-4 \ 0 -2 \ 0 +2 \ 0 +2 -2)$
1 1 0 1	<b>A + B + <math>\bar{C}</math> + D</b>	$S_6 = (-2 -2 \ 0 -2 \ 0 -2 +4 \ 0)$

(c)

$S_1 \cdot C = (1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1)/8 = 1$   
 $S_2 \cdot C = (2 +0 +0 +0 +2 +2 +0 +2)/8 = 1$   
 $S_3 \cdot C = (0 +0 +2 +2 +0 -2 +0 -2)/8 = 0$   
 $S_4 \cdot C = (1 +1 +3 +3 +1 -1 +1 -1)/8 = 1$   
 $S_5 \cdot C = (4 +0 +2 +0 +2 +0 -2 +2)/8 = 1$   
 $S_6 \cdot C = (2 -2 +0 -2 +0 -2 -4 +0)/8 = -1$

(d)

- Ognuna delle sei sequenze indicate indica la trasmissione di un solo bit



# CDMA

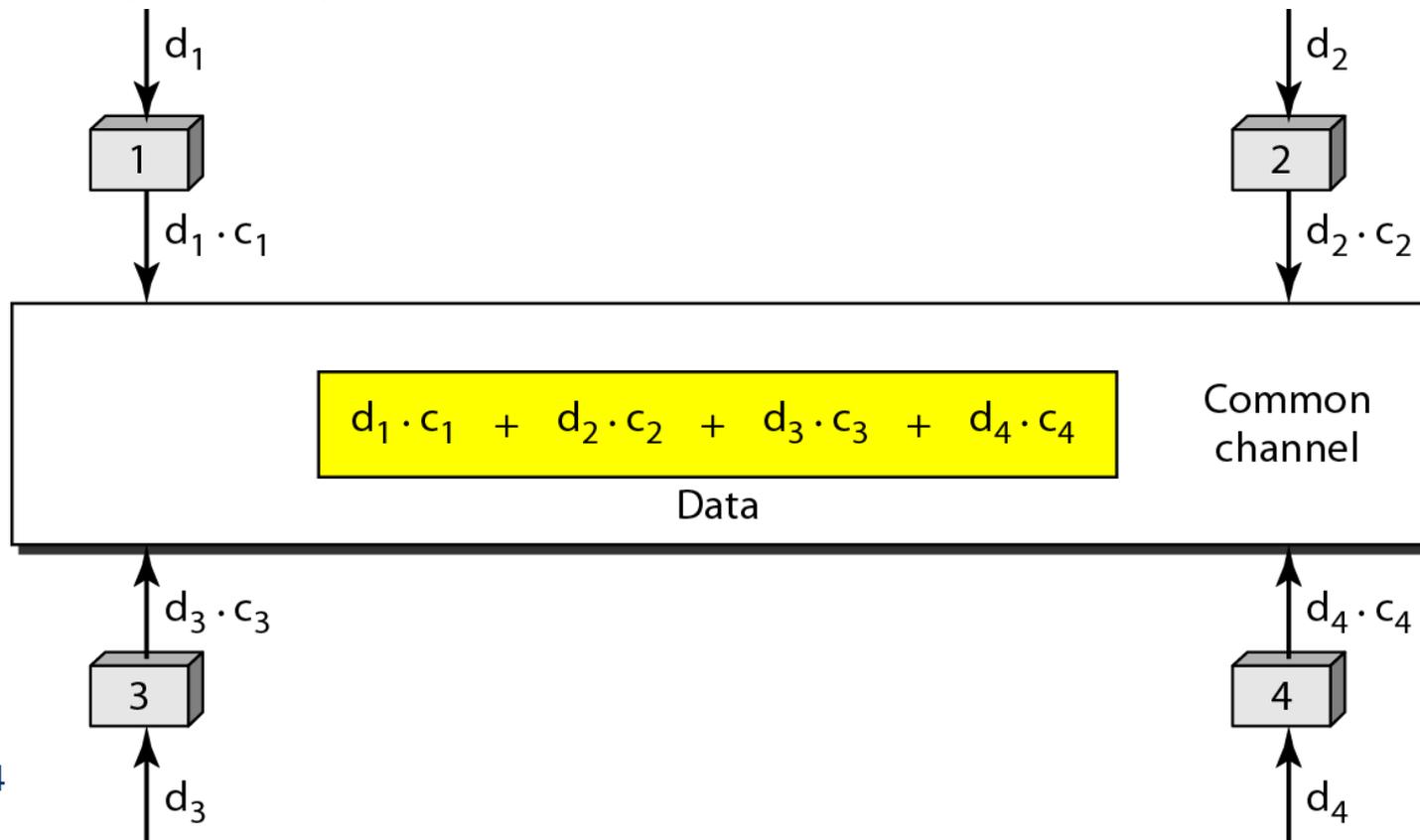


- Quando due stazioni trasmettono in simultanea i loro segnali bipolari si sommano
  - Es se 3 stazioni mettono un +1 e una mette -1 il risultato è +2
  - Per capire cosa ha detto una stazione il ricevente deve conoscere il codice della trasmittente in anticipo
  - Quindi si calcola il prodotto scalare tra quanto ha ricevuto e il codice della stazione che vuole ascoltare
  - Es A e C trasmettono 1 e B trasmette 0
  - Il ricevente vede  $\mathbf{S} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C}$  e si calcola  $\mathbf{S} \cdot \mathbf{C} = (\mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C}) \cdot \mathbf{C} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{C} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} = 0 + 0 + 1$
  - I primi due termini scompaiono perché i vettori sono ortogonali



# Esempio

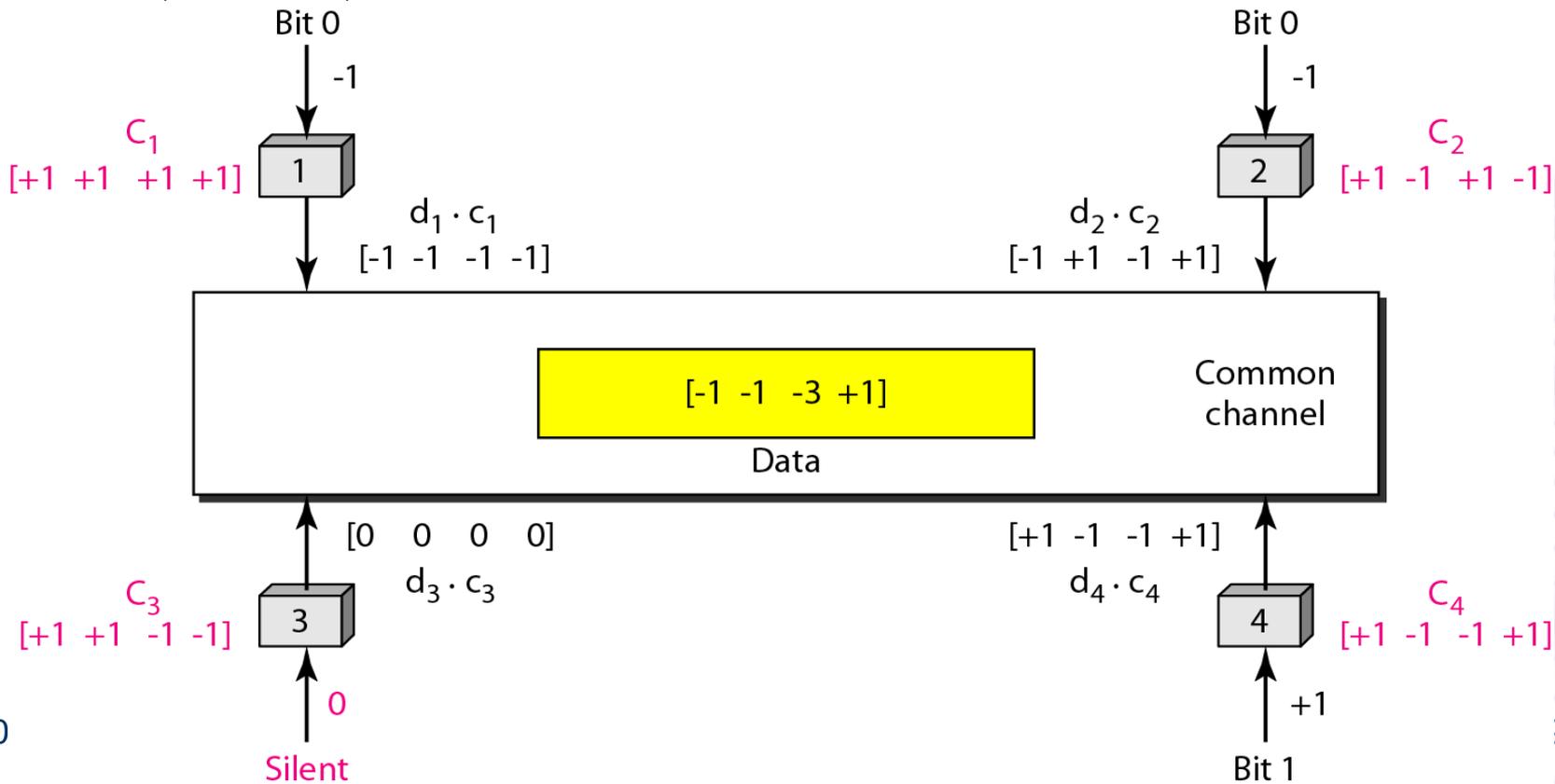
- 4 stazioni con codici:  $c_1$   $[+1 \ +1 \ +1 \ +1]$   $c_2$   $[+1 \ -1 \ +1 \ -1]$   $c_3$   $[+1 \ +1 \ -1 \ -1]$   $c_4$   $[+1 \ -1 \ -1 \ +1]$
- Vediamo come si sommano i segnali
  - bit1=1, bit0=-1, silenzio=0





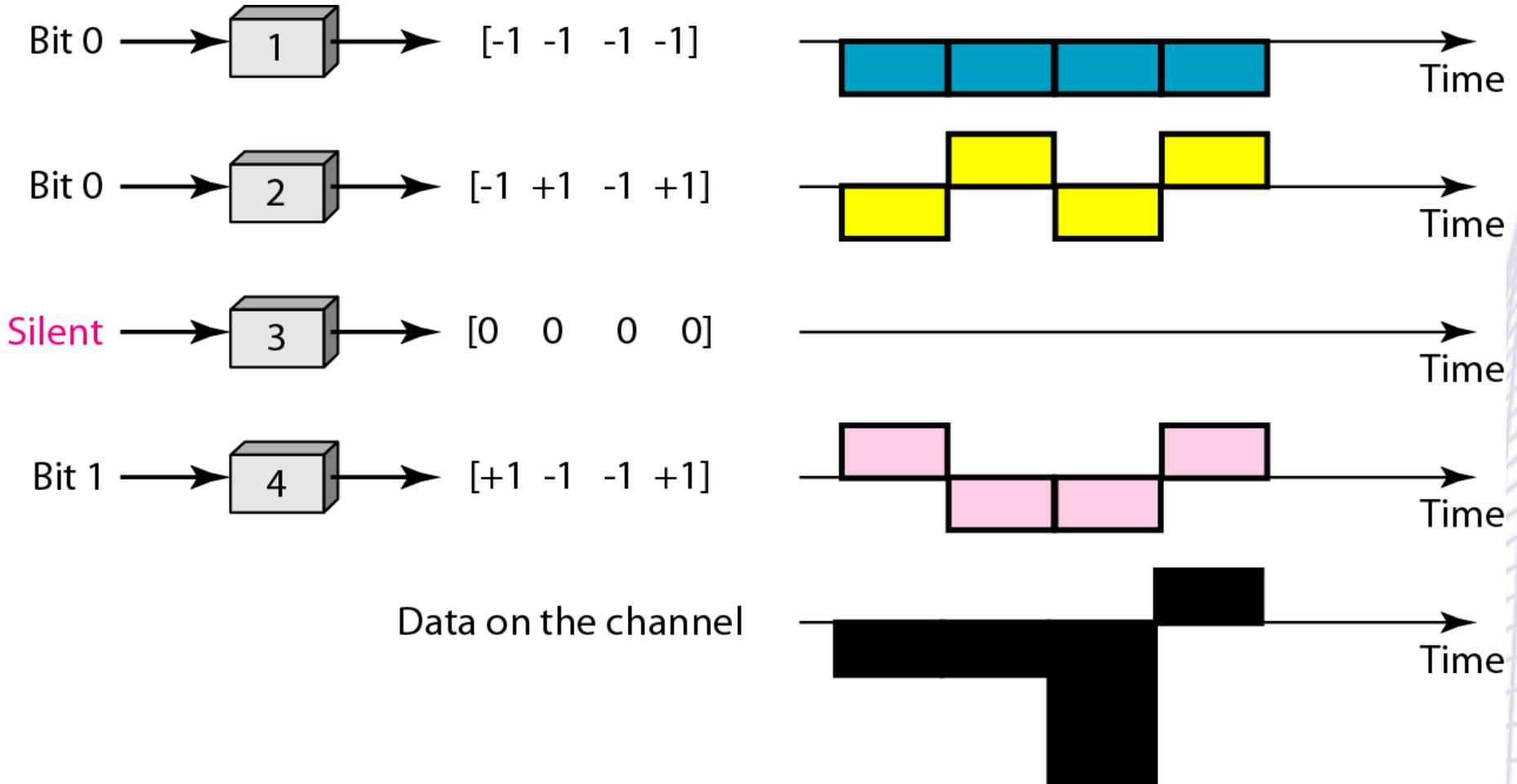
# moltiplichiamo

- 4 stazioni con codici:  $c_1$   $[+1 +1 +1 +1]$   $c_2$   $[+1 -1 +1 -1]$   $c_3$   $[+1 +1 -1 -1]$   $c_4$   $[+1 -1 -1 +1]$
- Vediamo come si sommano i segnali
  - bit1=1, bit0=-1, silenzio+0





# sommiamo





# Decodifica della st. 2

- Prodotto scalare del segnale per codice stazione 2
- Sommo i risultati, ottengo -1 quindi bit 0

