

# 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



# Uso della rete telefonica

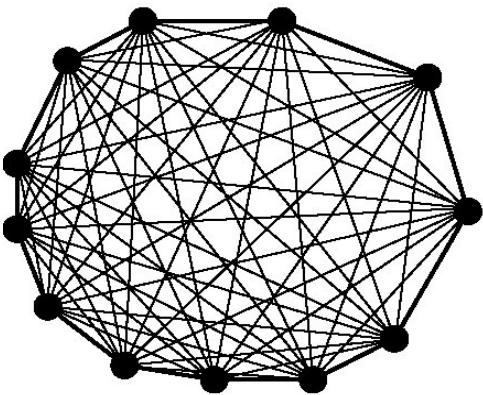


- Un cavo tra due computer permette velocità di qualche Gbps
- Una linea dial-up invece permette solo 56 kbps, 20000 volte di meno
- Anche un ADSL permette velocità superiori a dial-up ma sempre 1000 volte inferiori
- Tuttavia la rete telefonica è già installata, unisce milioni di computer distribuiti ovunque e quindi si fa il possibile per usarla al massimo delle performance.

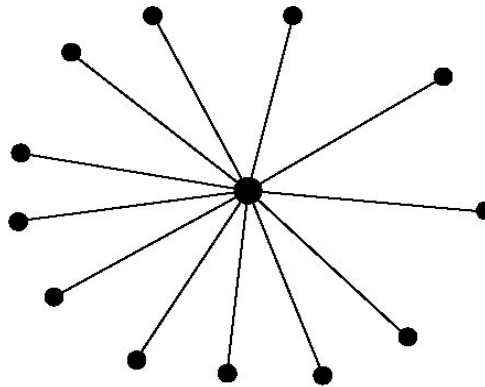


# Rete Telefonica

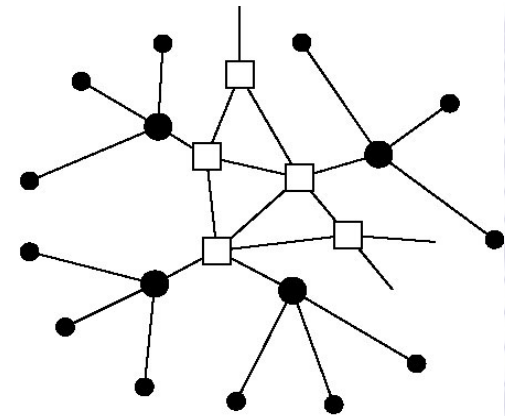
- I primi telefoni si vendevano a coppie con un singolo filo (la terra faceva da ritorno).
- Per parlare con  $n$  utenti servivano  $n$  fili a)
- Dopo un anno (1878) si passò a centralini con i jumper b)



(a)



(b)



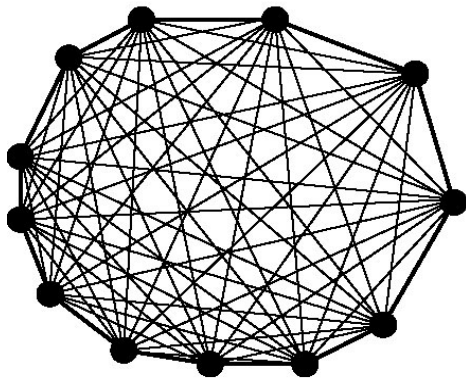
(c)



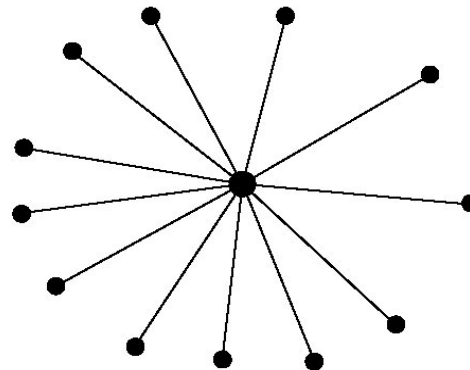
# Rete Telefonica



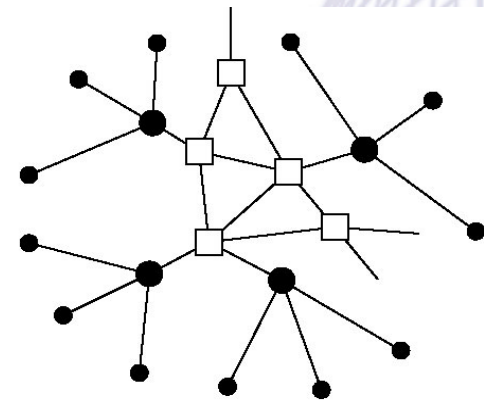
- Infine ai collegamenti tra centralini c)
- Ma presto fu necessario avere centralini di secondo livello (quadrati in figura c), e livelli superiori fino a cinque livelli
- Ok per altri 100 anni a parte varie migliorie: cavi bilanciati, isolati e doppiati invece che fili aperti con ritorno a terra



(a)



(b)

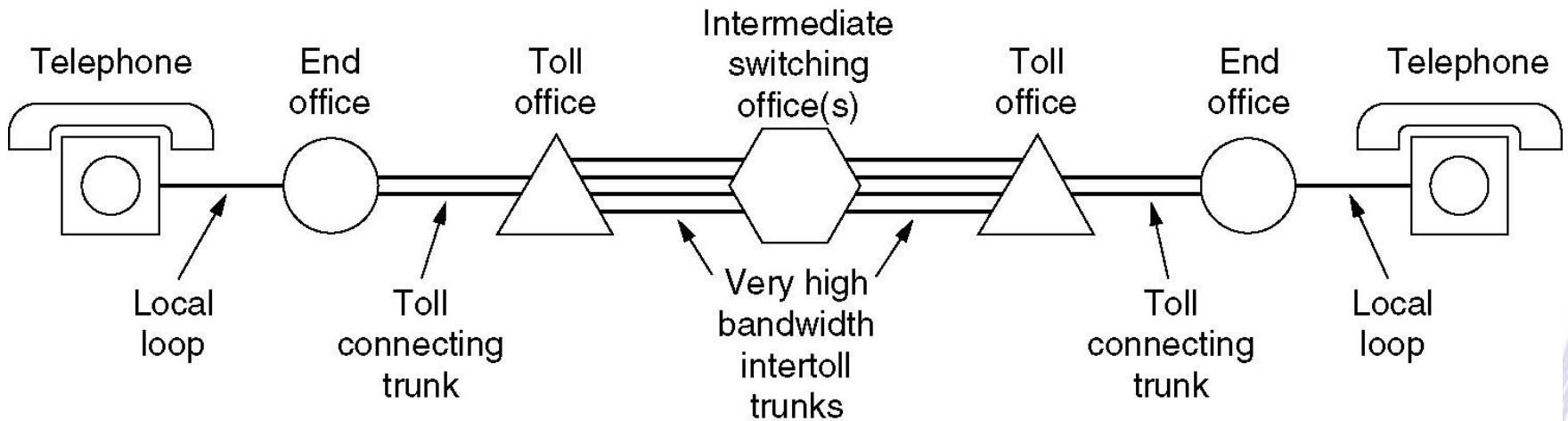


(c)





# Tipica chiamata

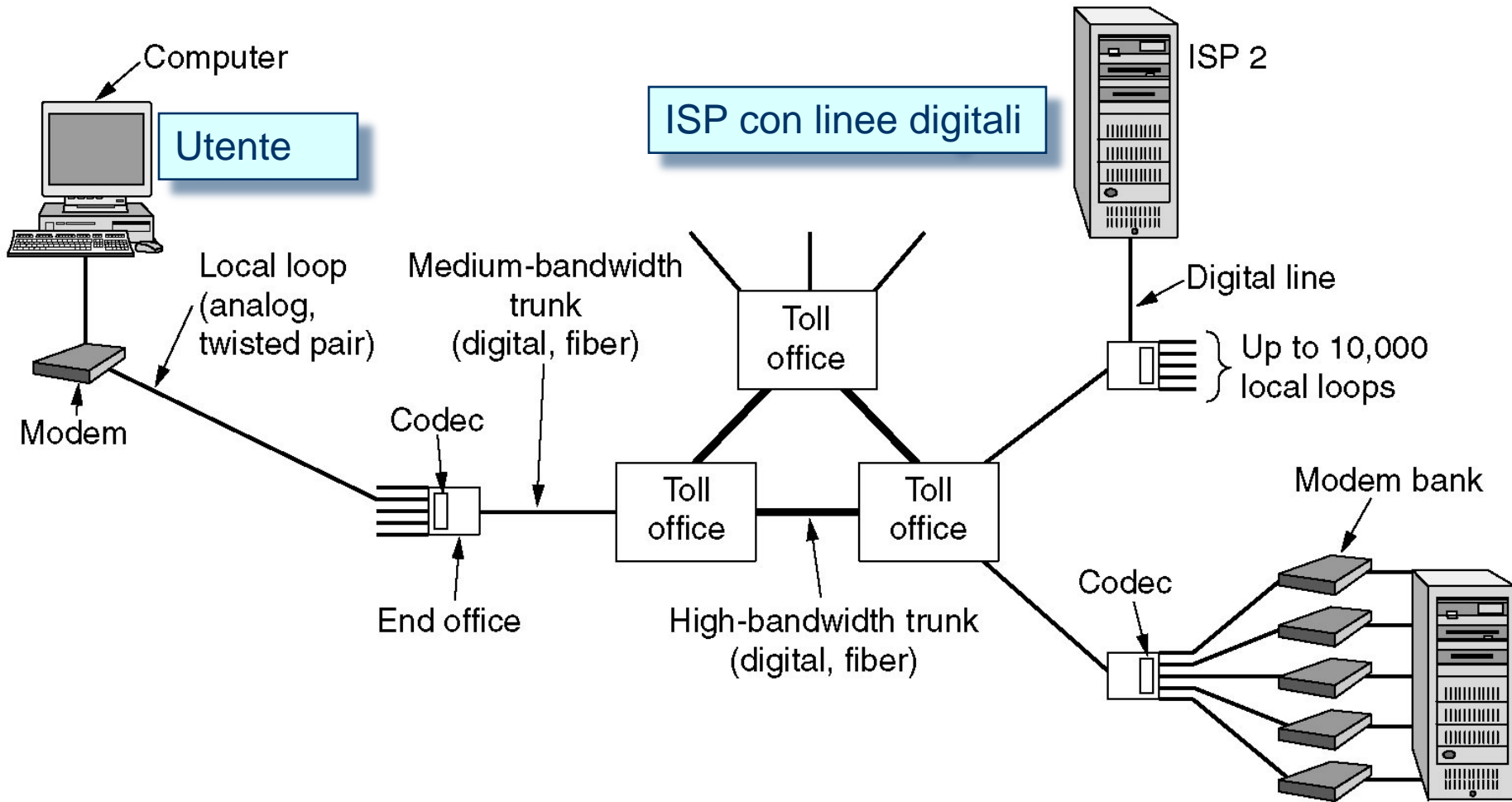


- **Local loop.** Il doppino dalla centrale telecom a casa utente (storicamente della telecom ex-monopolista) di solito utp cat 3 (in origine cavi non isolati separati da 25cm)
- **Trunk:** Collegamenti tra centralini (fibre ottiche digitali)
- **Grossi Trunk** Collegamenti a lunga distanza (fibre di diverse telecom)





# Il Local Loop



ISP Tradizionale con modem e linee analogiche

ISP 1

9



# Local loop

- **Local loop** o **ultimo miglio**: il doppino dal centralino Telecom alla casa
- Se il computer deve mandare dati digitali devo convertire il segnale in forma analogica con un **modem** per viaggiare sul local loop
- Nella centrale un codec converte il segnale in forma digitale per la trasmissioni sui grossi trunk. Dalla centrali in poi viaggio sempre in digitale fino al local loop di destinazione



# Internet provider

- Se all'altro lato ho un computer con un modem viene fatta la conversione inversa, da digitale ad analogica per attraversare il local loop di destinazione
- L'ISP tradizionale ha tanti modem collegati ai diversi local loop. Serve un modem per ogni connessione.
- Ok fino ai modem da 28.8 kbps



# Fonti di errore

- Le linee di trasmissione sono soggette
  - **Attenuazione** (perdita di energia nella propagazione misurata in dB/km) che varia con la frequenza (le varie componenti di Fourier sono attenuate in modo diverso)
  - **Distorsione** (le diverse componenti di Fourier si propagano a velocità diverse)
  - **Rumore** contributi energetici da altre fonti diverse da sorgente e destinazione (rumore termico, accoppiamento induttivo tra coppie: crosstalk, spike di corrente)



# AC signaling

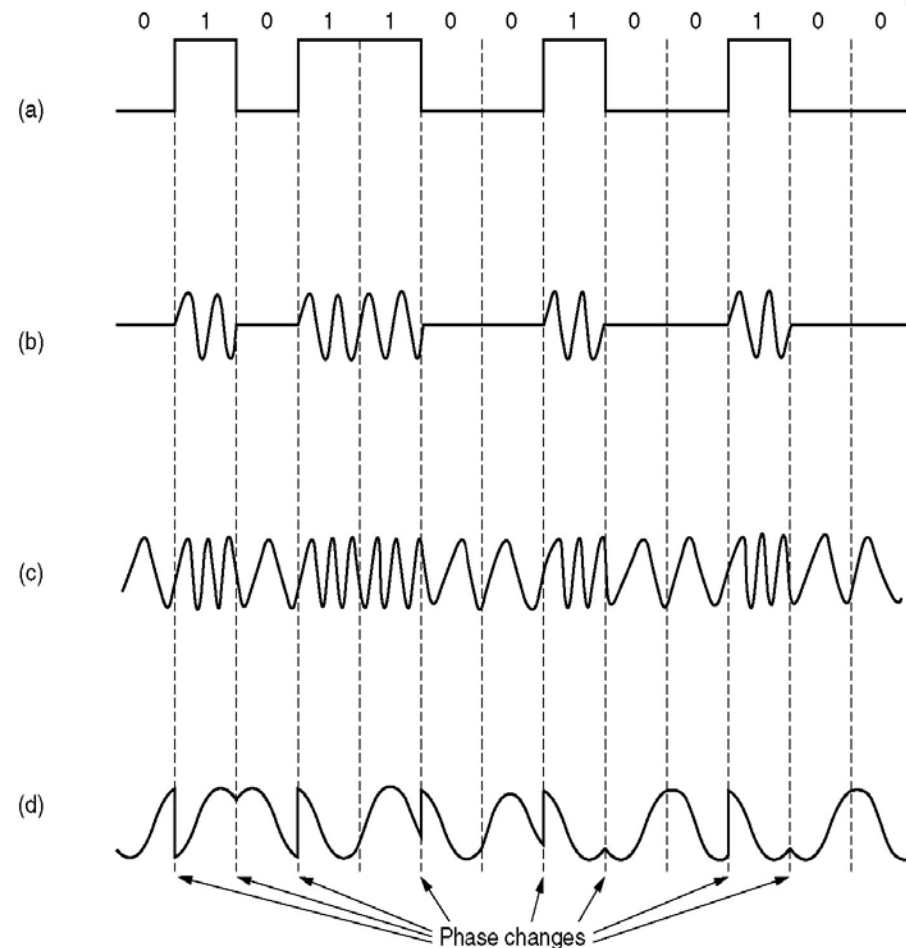
- La banda del doppino telefonico è molto limitata
- Tuttavia i segnali digitali ad onde quadre, spigolose hanno un vasto range di frequenze. Per questo motivo non si usa segnalazione baseband se non a bassa velocità e corte distanze
- Vedi slides su Fourier
- Si usa AC signaling, modulato su una portante tra 1000 e 2000 Hz



# Modulazioni



- a) Segnale Binario
- b) **AM: Modulazione di ampiezza**
- c) **FM: Modulazione di frequenza**, frequency shift keying (**keying** sinonimo di **modulazione**)
- d) **Modulazione di fase**: sfaso di 180 gradi a intervalli regolari, oppure di 45,135,225,315 gradi per avere due bit per ogni intervallo

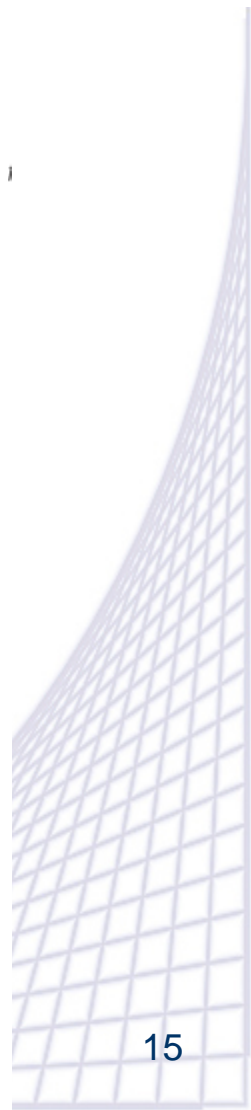
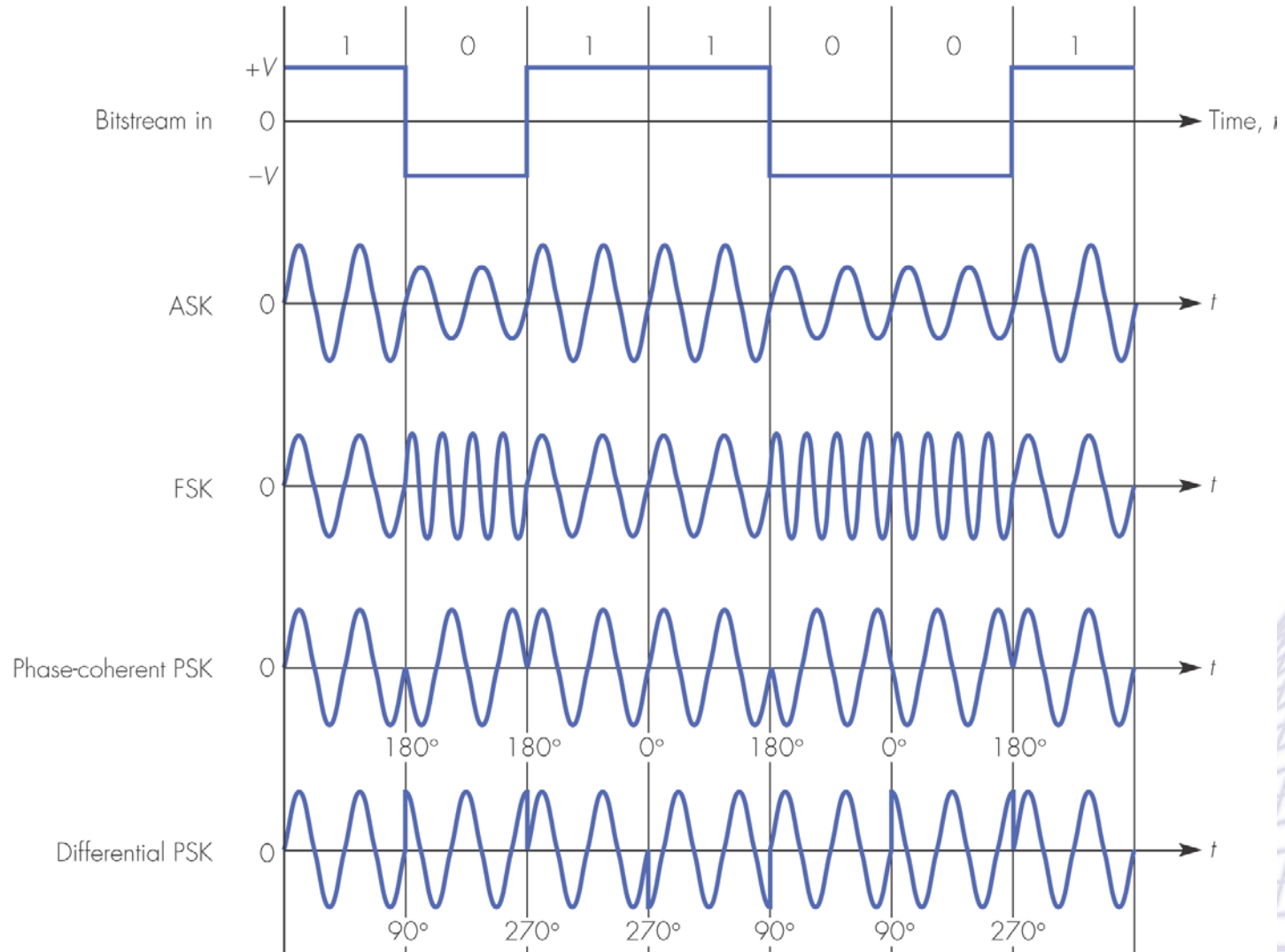






# modulazioni

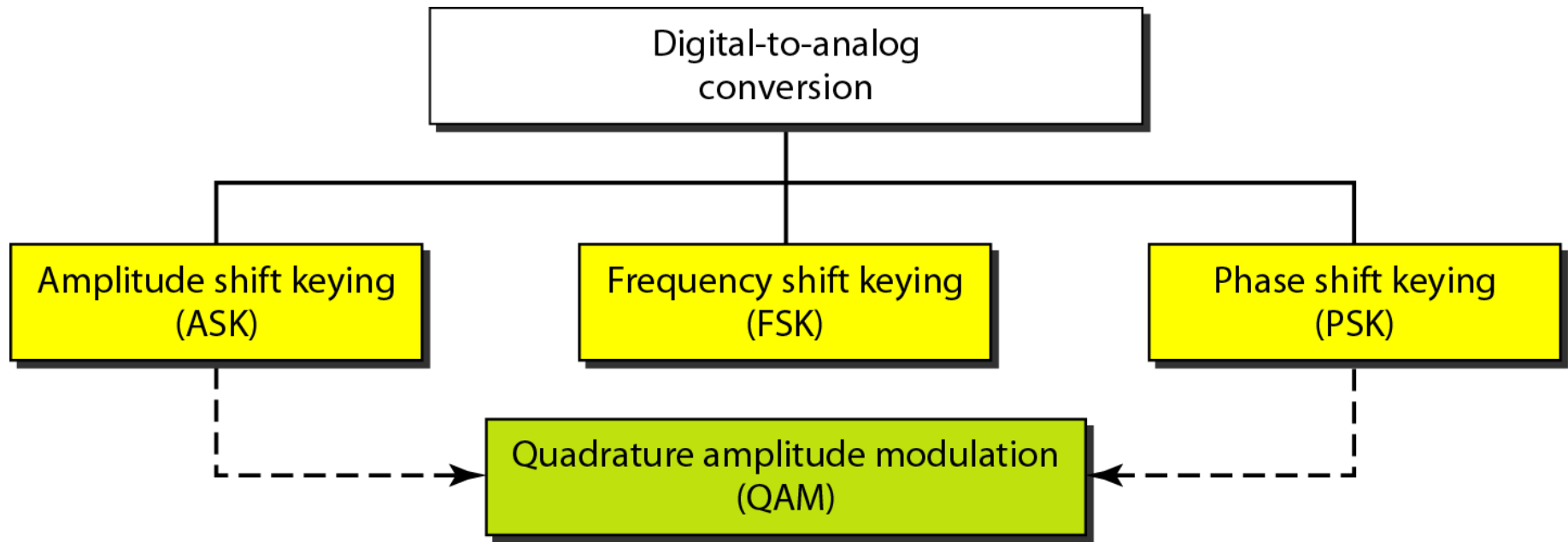
(b)







# Differenti modulazioni





# Modem



- **MO**dulator-**DE**Modulator
  - dispositivo che prende come ingresso uno stream di dati e produce una portante **mod**ulata con uno (o più di uno) di questi metodi di modulazione
- e viceversa
  - prende la portate modulata e la **dem**odula, ricavandone uno stream di dati digitali



# Baud, bit e simboli

- Th. di Nyquist: con una linea perfetta da 3 kHz inutile campionare oltre i 6000 volte al secondo, in pratica si usano 2400 sample/sec e si cerca di avere molti bit/sample
- I sample/sec si chiamano **baud**. Durante un baud si trasmette un **simbolo** (2400 baud  $\rightarrow$  un simbolo ogni 416.667  $\mu$ s)
- Se il simbolo consiste di 0 Volts per 0 logico e 5 Volts per 1 logico ho anche 2400 bps
- Ma se uso 4 tensioni es. -3,-1,1,3  $\rightarrow$  un simbolo ha 2 bits e una linea a 2400 baud trasmette 4800 bps
- Oppure uso quattro phase shift



# Repetita juvant

- **Bandwidth:** frequenza massima passante, proprietà fisica del mezzo
- **Baud rate:** elementi di segnale (simboli) per sec.
- **Bit rate:** Informazione/sec = simboli/sec x bits/simbolo
- In seguito Bandwidth in bit/s = **N**
- Baud Rate = **S**
- **r** = il numero di dati rappresentato da un elemento di segnale
- **$N = r * S$**

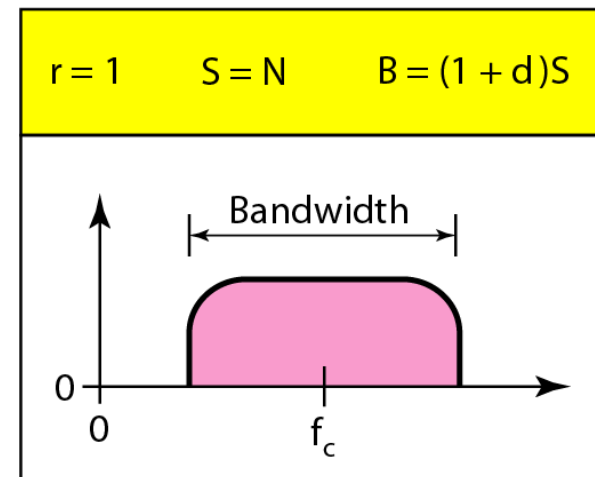
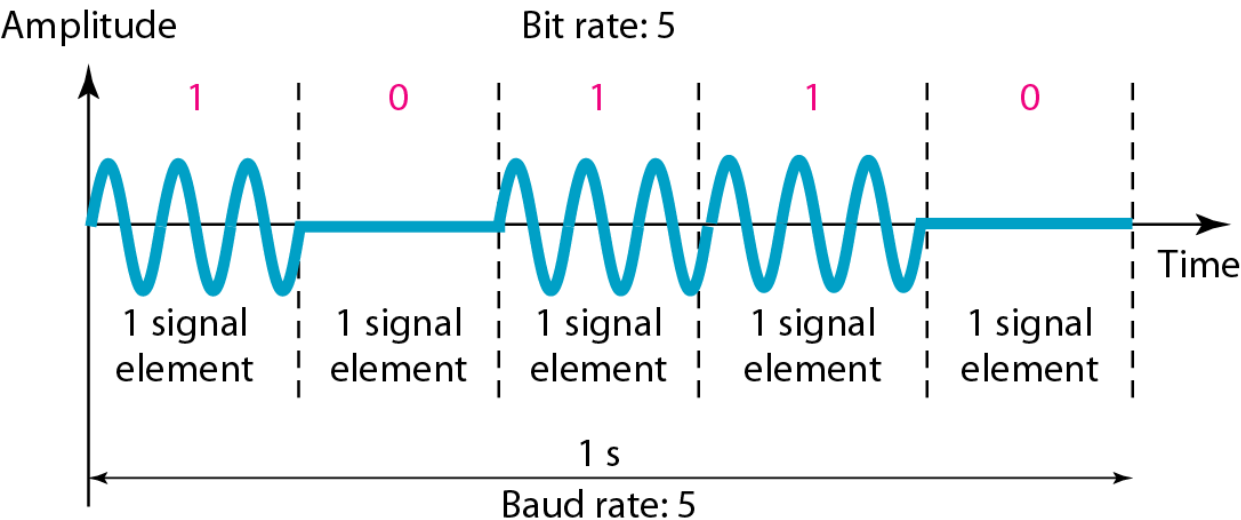


# Modulazione di ampiezza



- ASK – Amplitude Shift Keying

- Di solito ci sono due elementi di segnale quindi  $L=2$ , per cui a volte si dice BASK (Binary ASK)
- La banda è proporzionale alla frequenza ma c'è anche un fattore  $d$  compreso tra 0 e 1 che dipende dal processo di modulazione, quindi la larghezza di banda va da  $S$  a  $2S$ .
- il centro della banda è  $f_c$ , la frequenza della portante (carrier), quindi basta scegliere una frequenza tale che il canale la possa portare

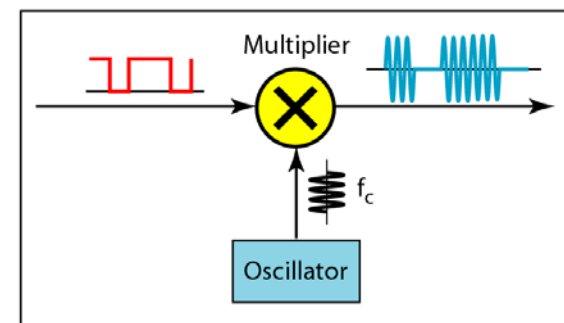
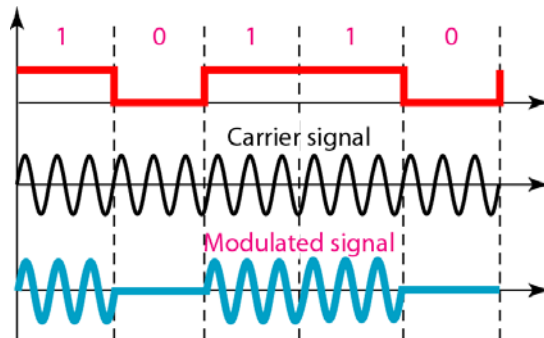
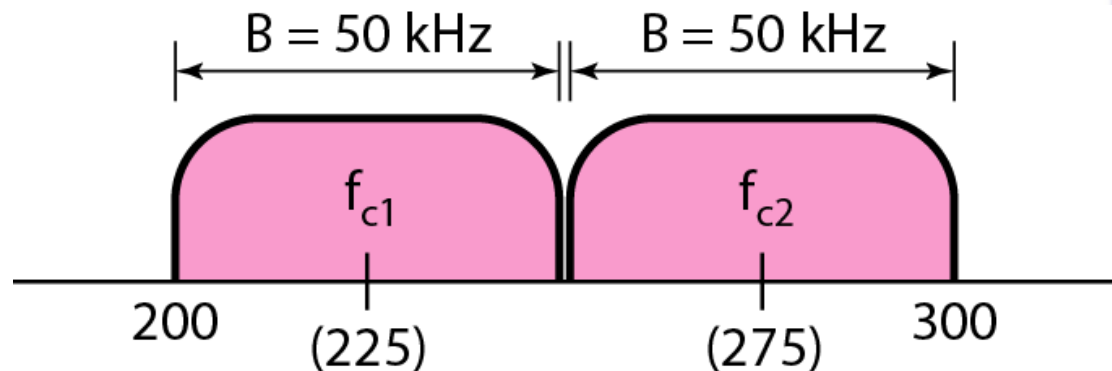




# Modulazione di ampiezza



- In teoria potresti modulare su 4, 8, 16 o in generale  $L$  valori per rappresentare 2, 3, 4 o  $\log_2 L$  bit per ogni elemento di segnale.
- Di solito la si utilizza insieme alla modulazione di fase, per esempio con QAM
- Posso usare due portanti vicine per Full Duplex (in alto)
- Come implementare ASK su un segnale unpolare NRZ (in basso)



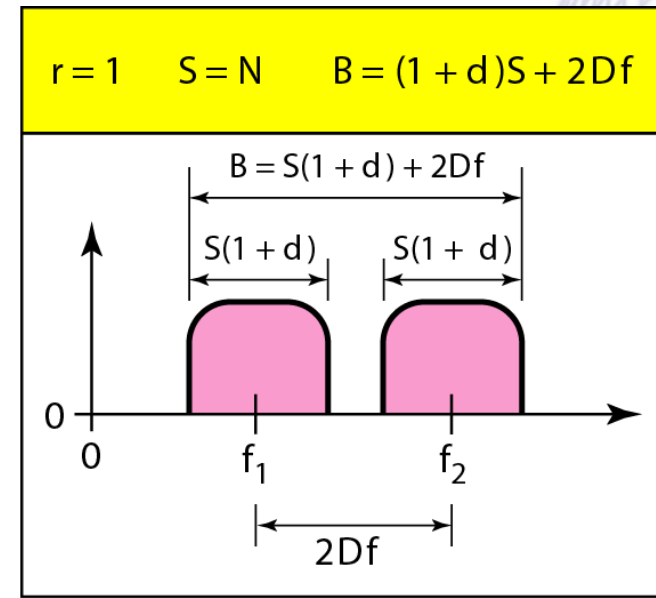
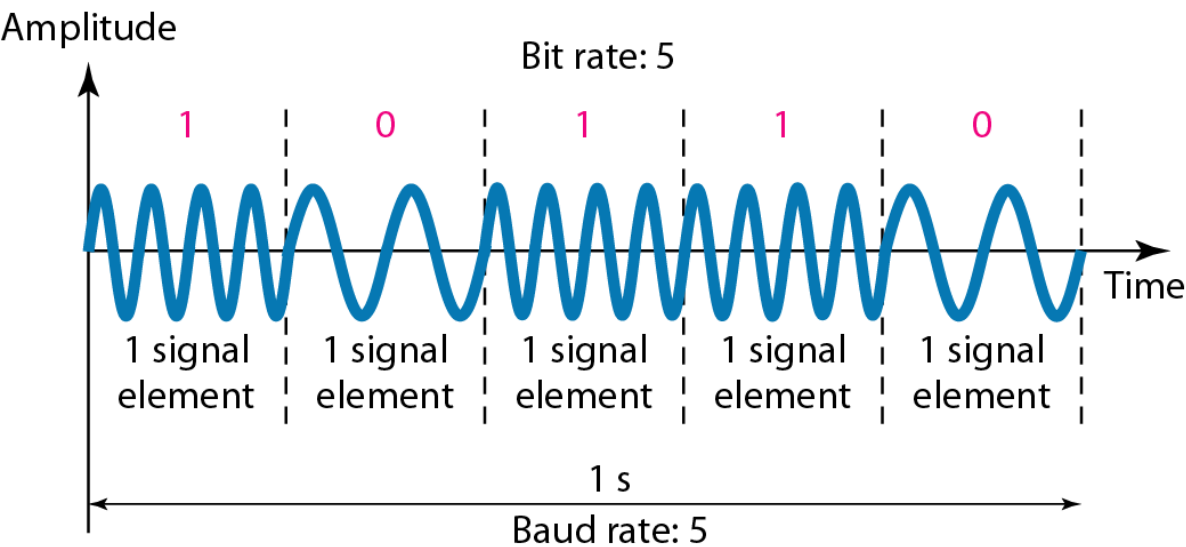


# Modulazione di frequenza



## ● FSK

- A volte le 2 frequenze portanti  $f_1$  e  $f_2$  sono molto alte e molto vicine tra di loro
- $\Delta f$  quindi piccolo rispetto a  $f$



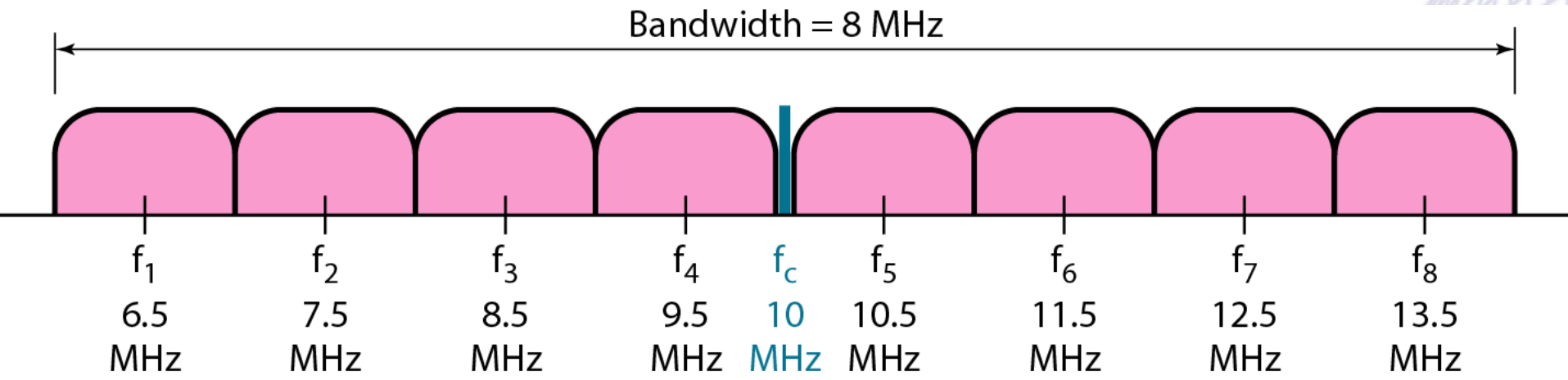




# MFSK



- FSK multilivello
- Possiamo usare 4 frequenze per trasportare 2 bit per ogni livello di segnale
- Vediamo un esempio per 8 frequenze

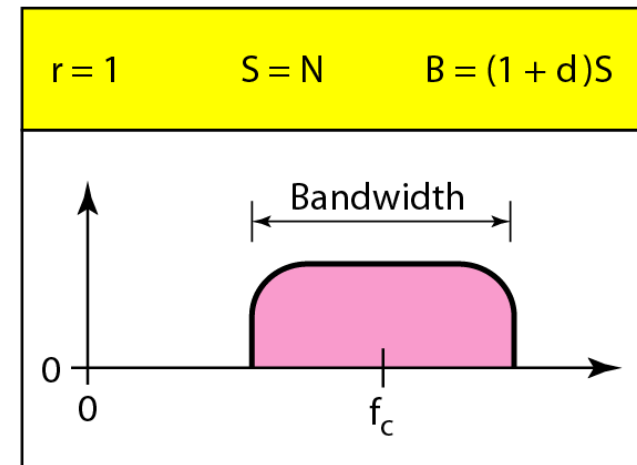
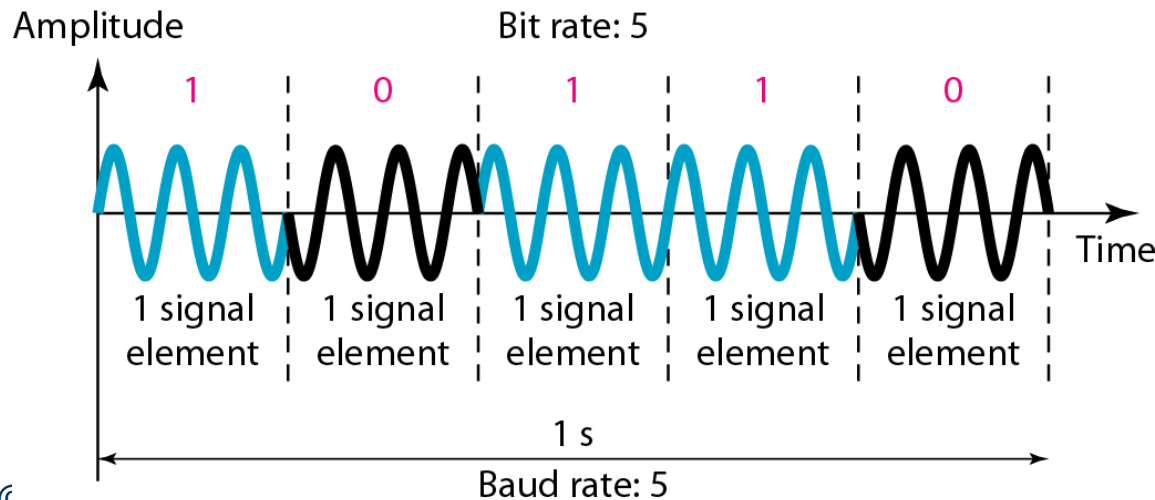




# Modulazione di fase

- PSK – Phase Shift Keying

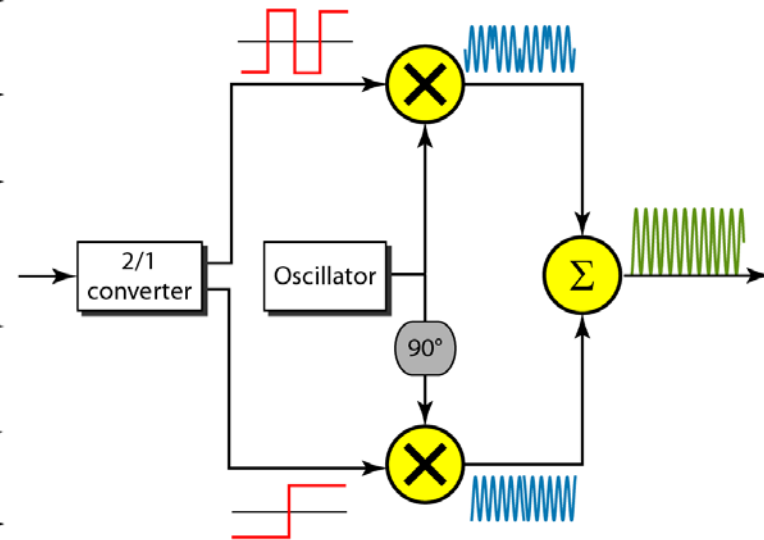
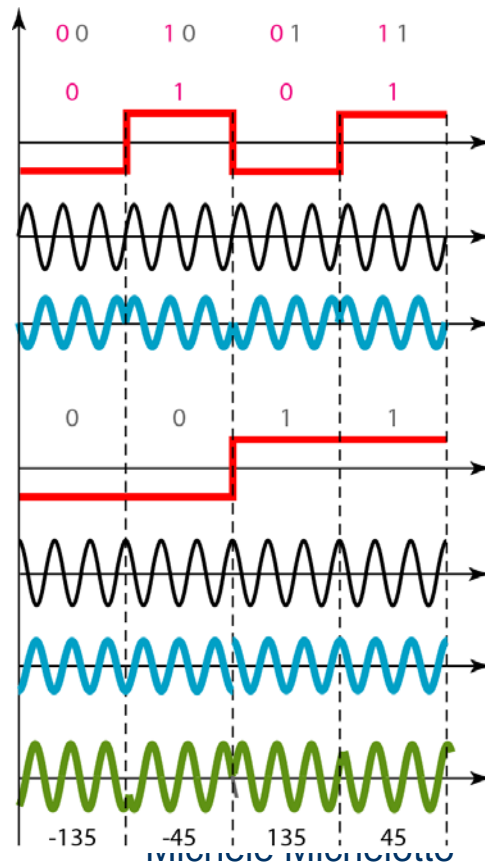
- Il metodo più usato di conversione digitale analogico, semplice come la ASK ma più resistente al rumore, dal momento che il rumore riesce a cambiare facilmente l'ampiezza ma non la fase
- Larghezza di banda come quella ASK binaria e minore della FSK





# 4 PSK

- 4 PSK: usa 4 fasi per ogni elemento di segnale quindi posso rappresentare due bit
- Si può fare usando due due normali Binary PSK e sommarli uno in fase e uno in quadratura (sfasato di  $90^\circ$ ) con il primo



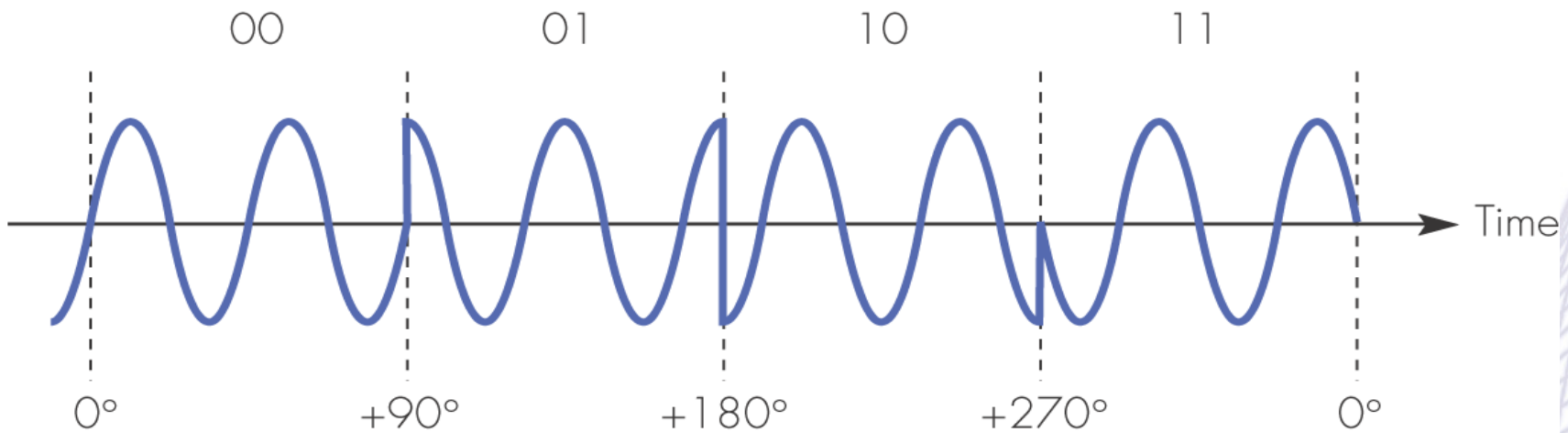


# 4 PSK



- (a) modulazione multilevel:
  - 4 PSK usando un'unica portante

(a)

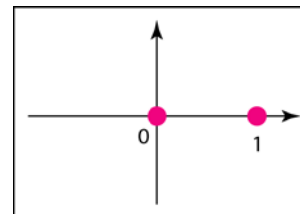
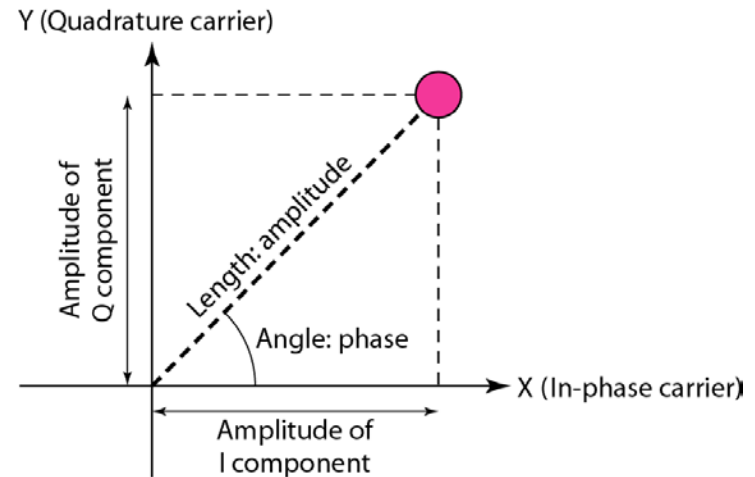




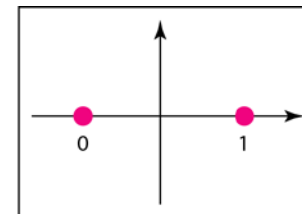
# Constellation

## ● Constellation Diagram

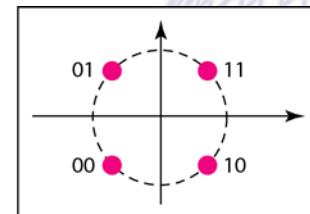
- Utili per rappresentare l'ampiezza e la fase, soprattutto quando sono in quadratura
- Ogni punto rappresenta un elemento di segnale, l'asse x è relativo all'elemento in segnale, l'asse y a quello in quadratura
- Per ogni elemento quindi ho 4 elementi, la proiezione su x, su y. La distanza dal centro è l'ampiezza di picco, l'angolo è la fase



a. ASK (OOK)



b. BPSK



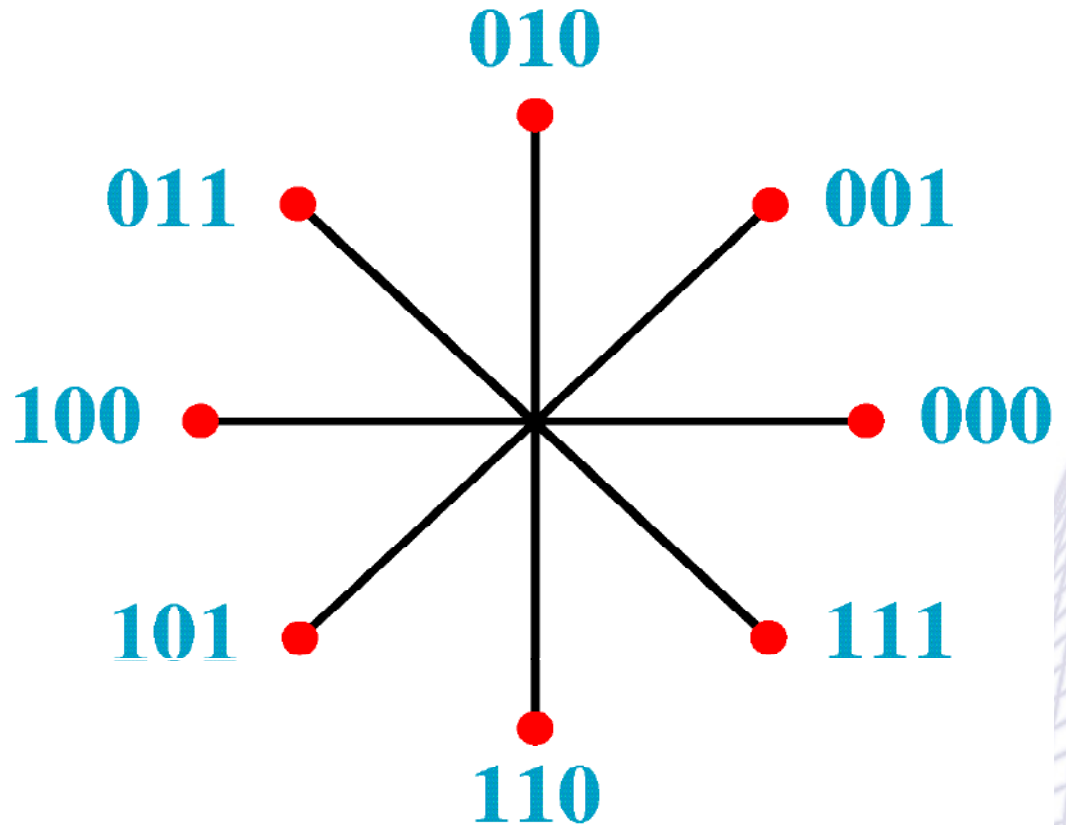
c. QPSK



# 8 PSK

Tribit	Phase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits  
(3 bits)



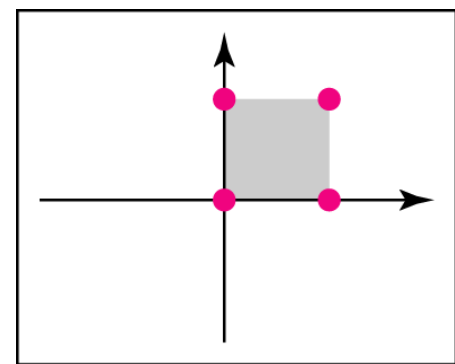
Constellation diagram



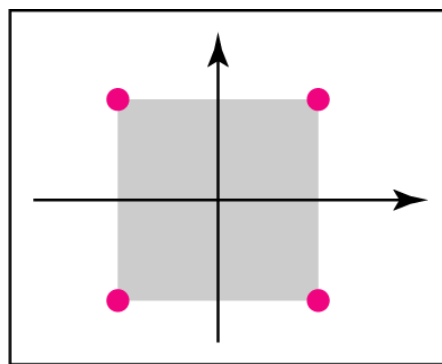
# QAM



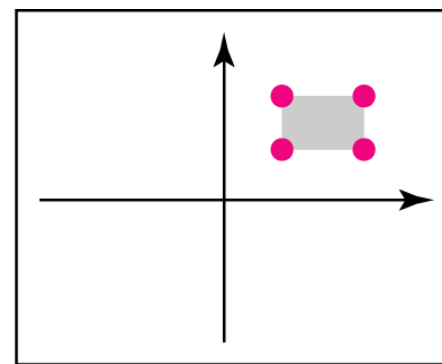
- Quadratura in Modulazione di Ampiezza
  - Usando contemporaneamente ASK con quadratura PSK
  - La b) viene detta anche QPSK
  - La d) viene detta anche 16-QAM



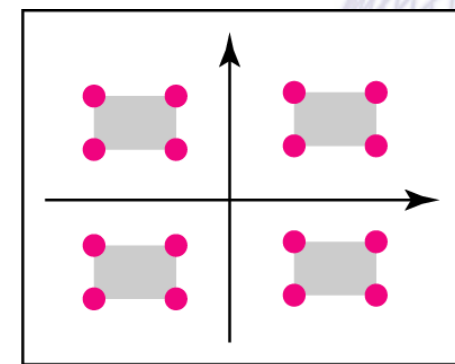
a. 4-QAM



b. 4-QAM



c. 4-QAM

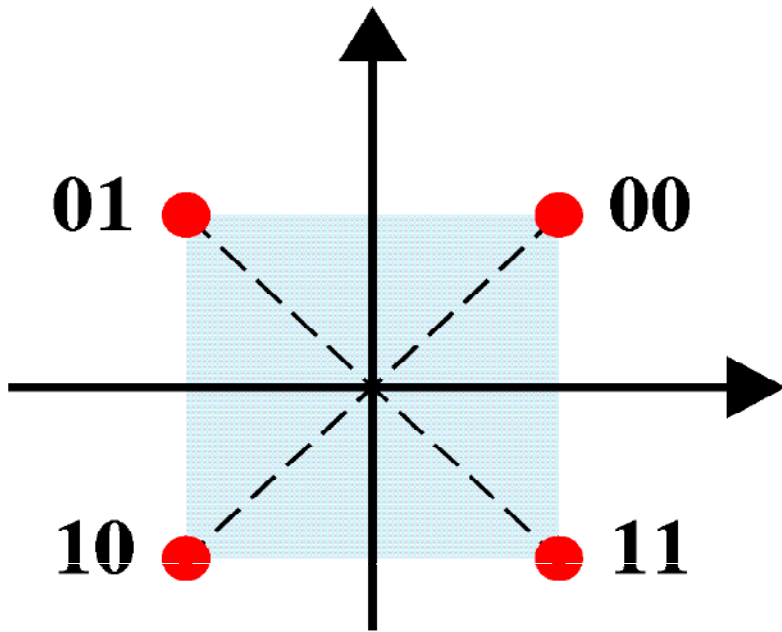


d. 16-QAM



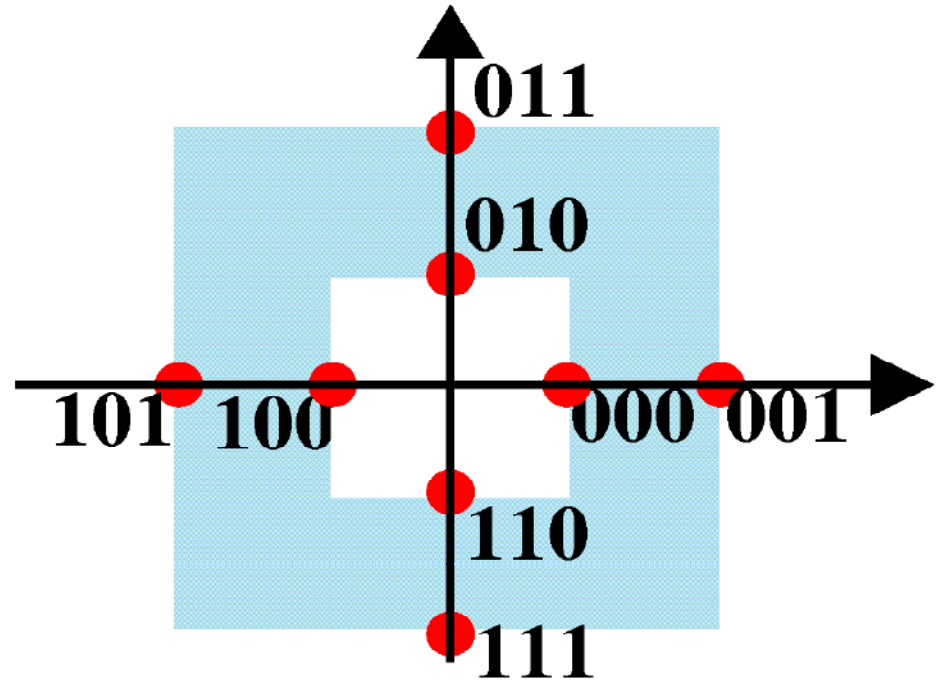


# 4 QAM e 8 QAM



4-QAM

1 amplitude, 4 phases



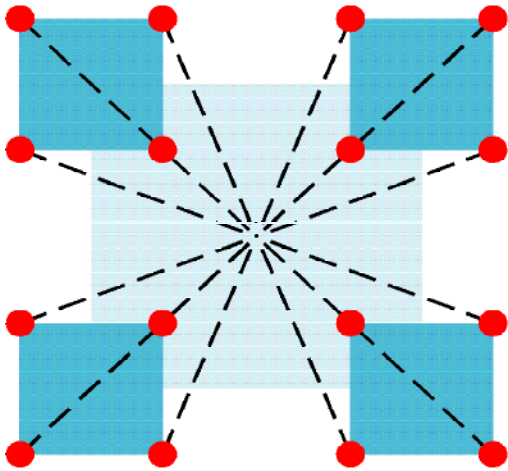
8-QAM

2 amplitudes, 4 phases



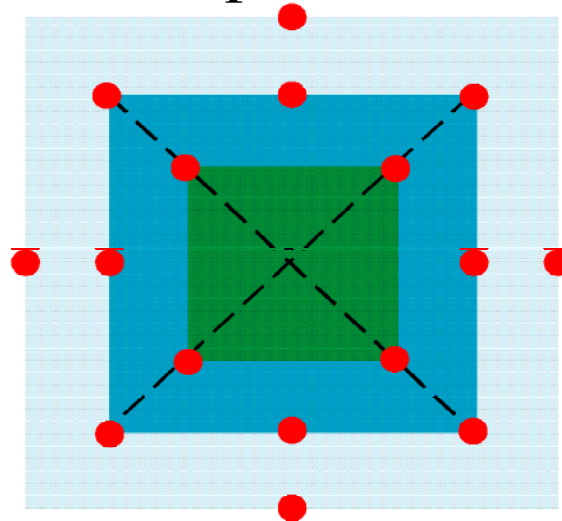
# 16 QAM

3 amplitudes,  
12 phases



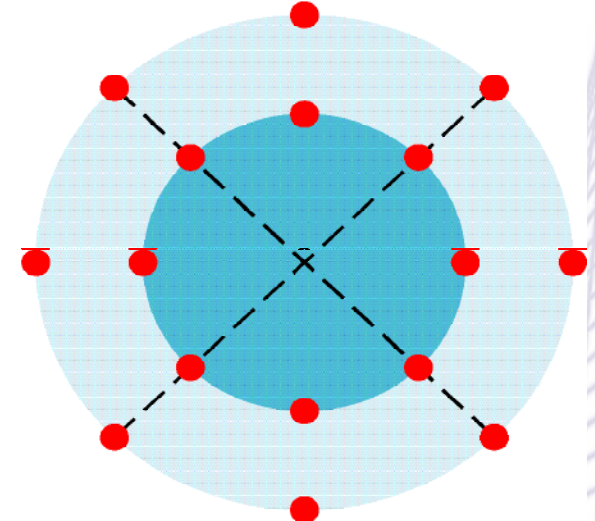
16-QAM

4 amplitudes,  
8 phases



16-QAM

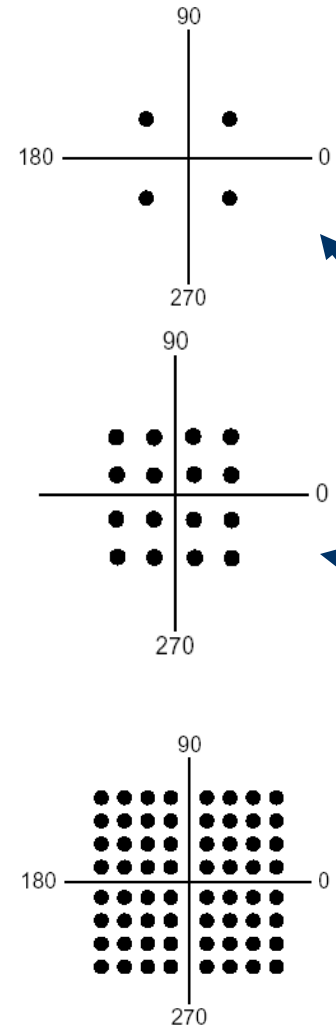
2 amplitudes,  
8 phases



16-QAM



# QSPK



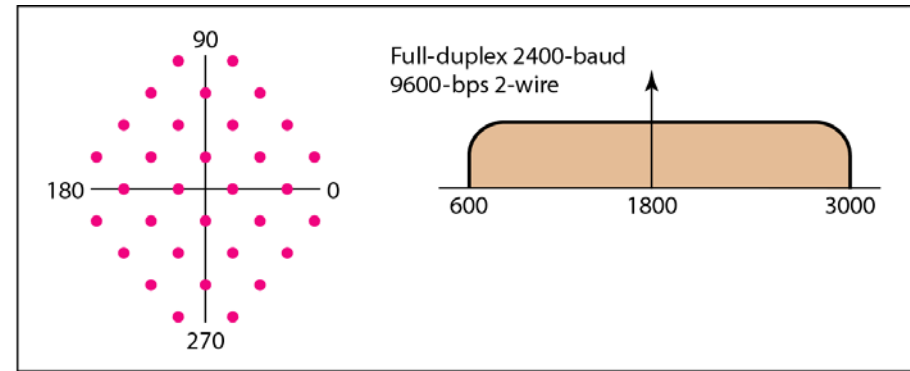
- Tutti i modem moderni usano tecniche avanzate di modulazione per trasmettere diversi bit/ baud
- Spesso si mescolano diverse ampiezze e phase shift
- **QPSK**: Quadrature Phase Shift Keying (45,135,225,315) ampiezza costante
- **QAM16**: Quadrature Amplitude Modulation mi offre 16 simboli, 4bit/simbolo → posso trasmettere a 9600 bps su 2400 baud
- **QAM64**: 64 bit:  $2^8 \rightarrow 8$  bit/simbolo: ottengo 19200 bps a 2400 baud



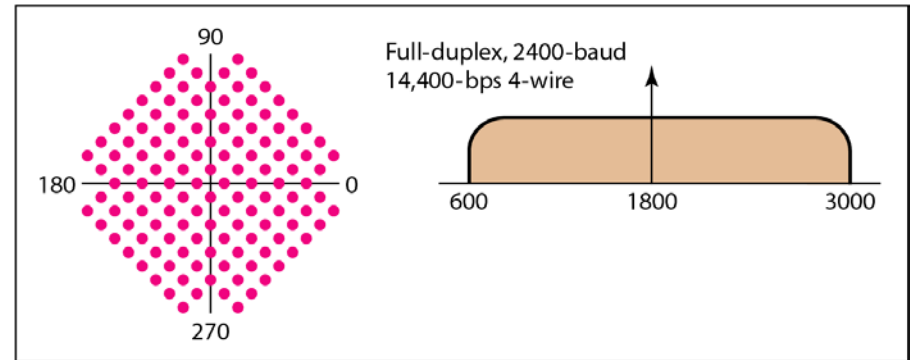
# Constellazioni evolute



- Con tutti quei punti anche un piccolo rumore nel rivelare ampiezza o fase può dare un errore, in questo caso si possono riservare dei bit per parity checking (**TCM: Trellis Code Modulation**)
- **V.32** per esempio usa una const. di 32 punti, 5 bit di cui uno riservato per parity Poi viene il **V32.bis** 14.4 kbps (6 data+1parity) con QAM-128;



a. Constellation and bandwidth for V.32

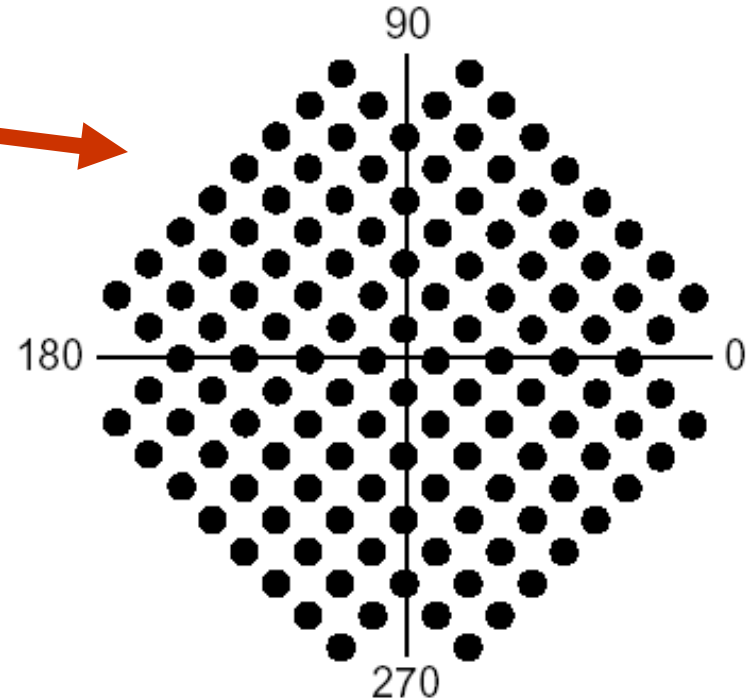


b. Constellation and bandwidth for V.32bis



# Constellation diagram

- Dopo il V32.bis viene il **V.34**, 28.8 kbps con 12 data/simbolo (QAM a 960 punti) e **V34.bis** 14 data bits/symbol 33.6 kbps (QAM con 1664 punti)
- Impossibile fare di meglio (a parte compressione dei dati prima della trasmissione) per il teorema di Shannon





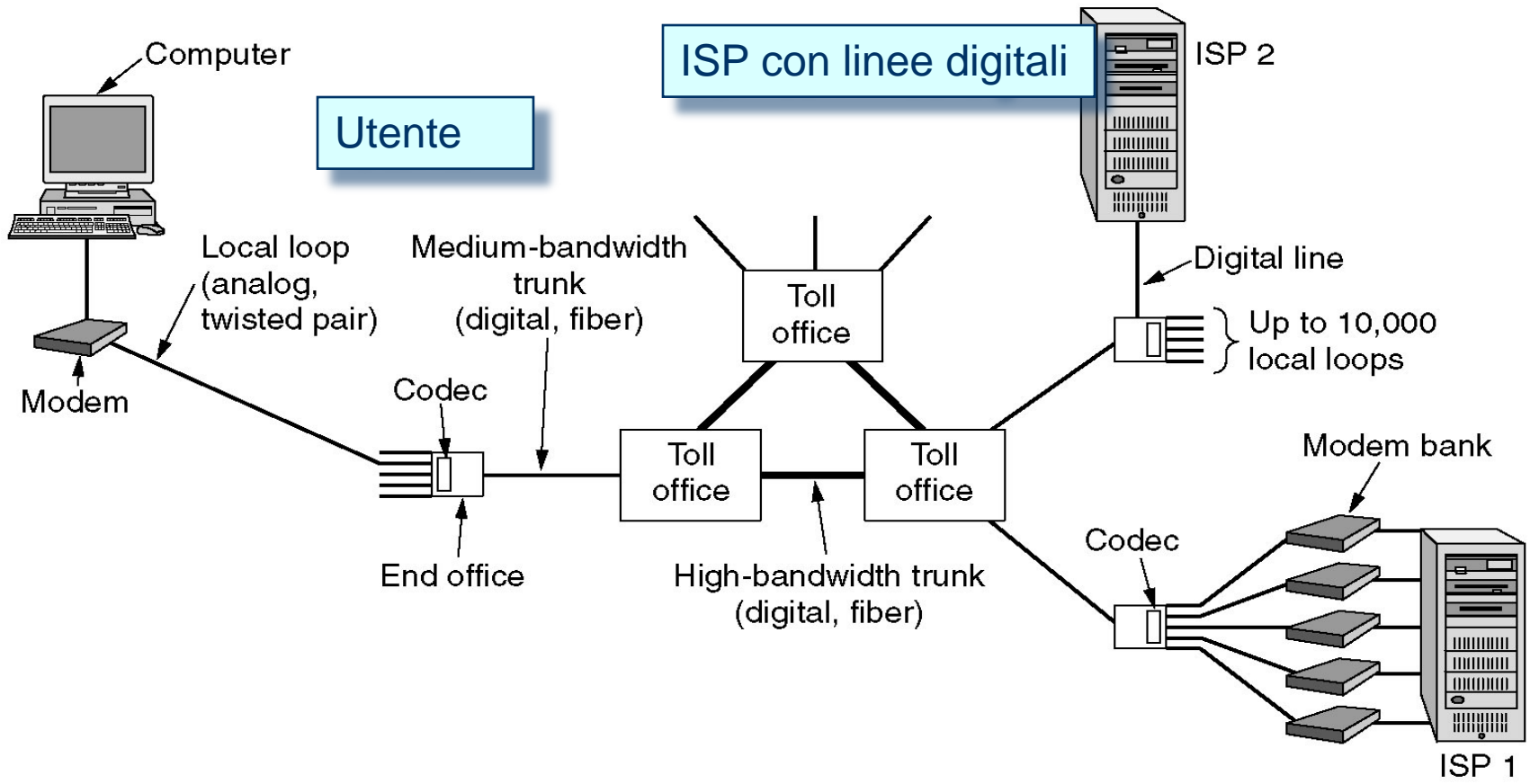


# Oltre Shannon

- Th. di Shannon: mi permette 35 kbps determinato dalla **lunghezza media** e qualità del local loop
- Es: una chiamata da telefono a ISP1 passa per due di questi local loop come segnale analogico. Se evitiamo uno di questi due possiamo raddoppiare il data rate massimo
- ISP2 infatti prende il segnale digitale dai trunks ed elimina tutta la parte analogica. Questo permette in teoria 70 kbps (ma tra due modem rimane 33.6 kbps)



# Il Local Loop



Utente

ISP con linee digitali

ISP Tradizionale con modem e linee analogiche





# Perchè 56 kbps ?

- Le compagnie telefoniche campionano la voce a 8000 sample/sec a 8 bit
- Negli USA gli 8 bits sono 7+1 di parity → 56 kbps
- In Europa 8 bits puri quindi in teoria si potrebbe andare a 64 kbps
- Ma per avere uno standard internazionale unico (il **V.90**) si è deciso 56 kbps per tutti:
  - 56 downstream e 33.6 upstream



# V.92



- **Infine il V.92**

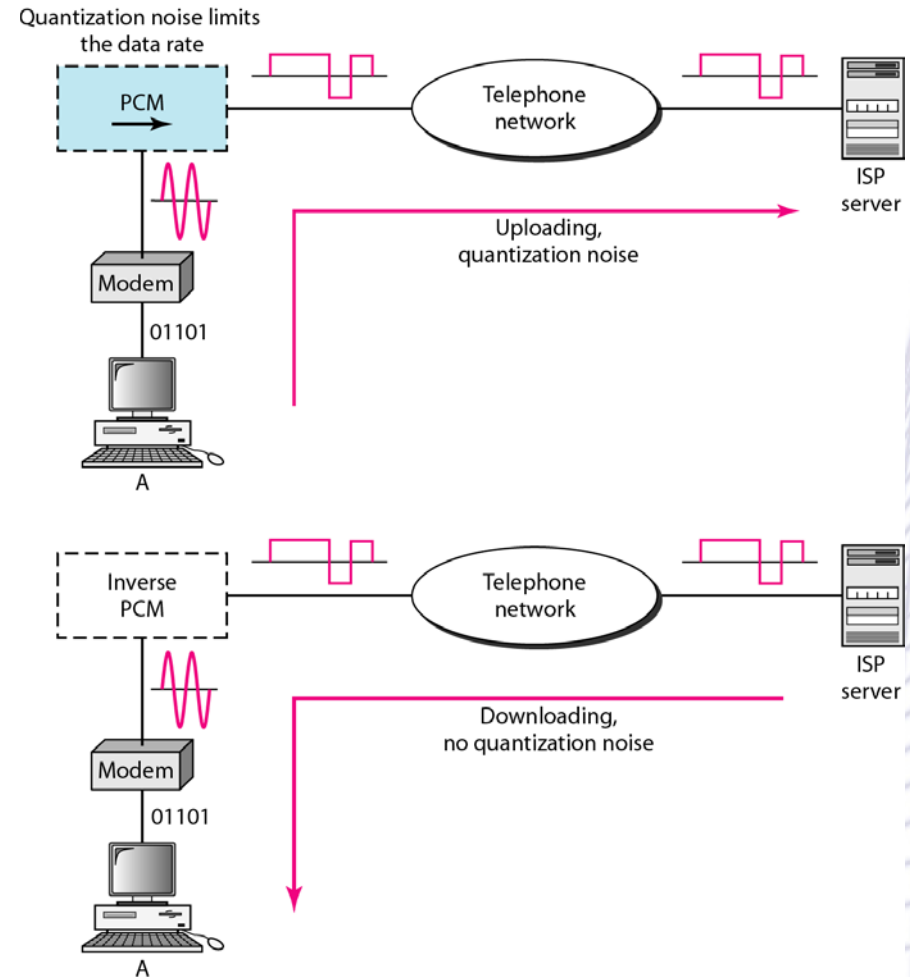
- usa 48 kbps upstream (se il rumore lo permette)
- Si adatta dinamicamente alla qualità del segnale aumentando o diminuendo la velocità
- contratta in 15 secondi invece che 30
- Permette di tenere attiva la connessione Internet anche se arriva una chiamata telefonica e poi riprenderla alla fine della telefonata, se la linea è abilitata all'avviso di chiamata



# Shannon

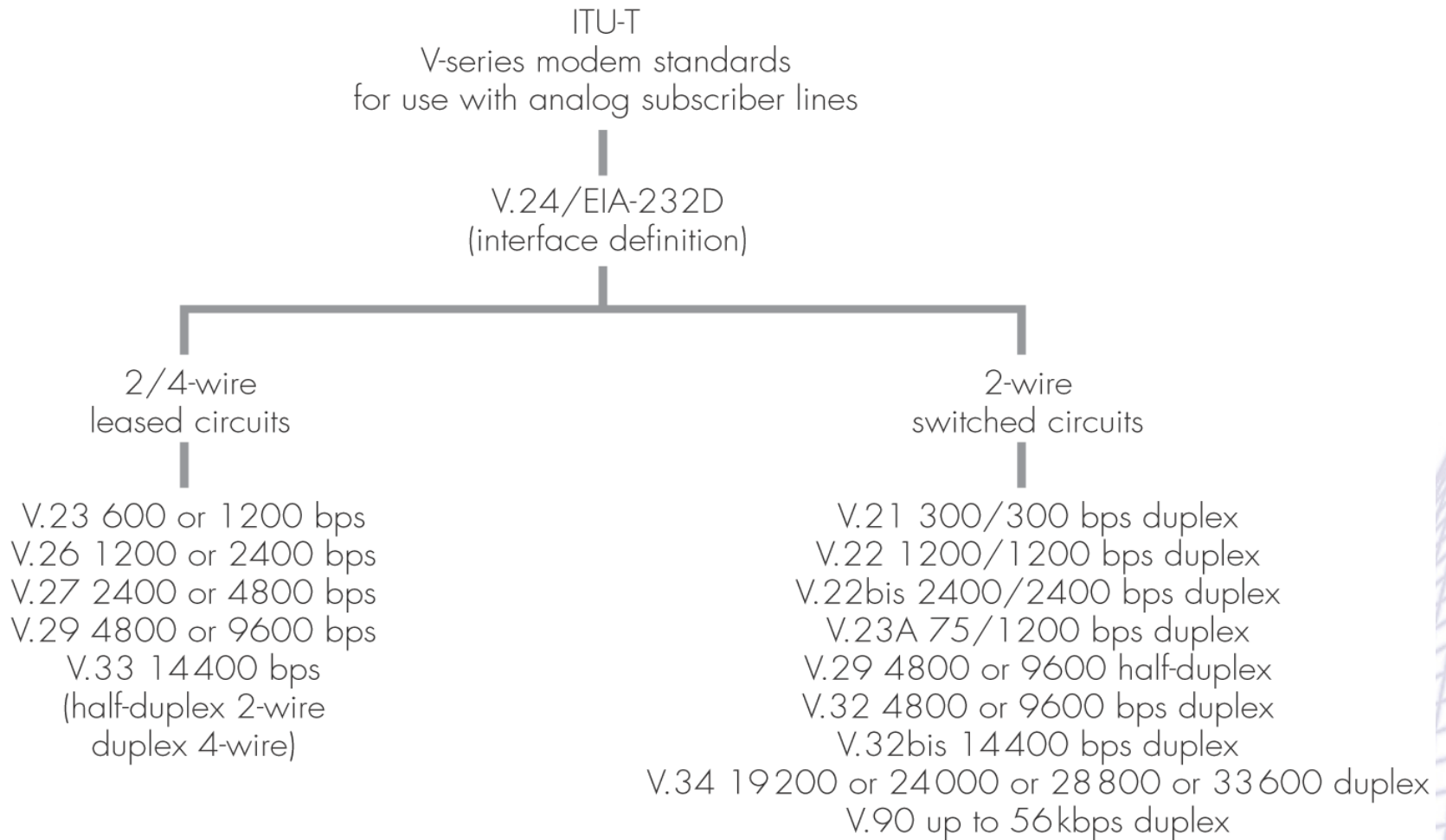


- Non viene violato il teorema di Shannon
- In downlink SNR è migliore perché non ci sono errori di quantizzazione
- In upload invece il campionamento introduce rumore di quantizzazione per cui la banda è limitata a 33 kbps





# Alcuni standard ITU





# DSL



- 56 kbps WOW! Intanto le TV via cavo offrono Internet su cable modem a 10 Mbps, i satelliti 50 Mbps.
- Le telecom cominciano ad offrire servizi digitali di tipo xDSL, x Digital Subscriber Line, soprattutto ADSL (Asymmetric DSL), ma anche VDSL, HDSL e SDSL
- I modem sono lenti per colpa delle linee telefoniche inventate 100 anni fa per la voce. Nelle centraline ci sono dei filtri che tagliano sotto i 300 Hz e sopra i 3400 Hz. Il taglio non è netto, questi sono i punti a 3dB quindi la banda è di circa 4000 Hz e non 3100 Hz

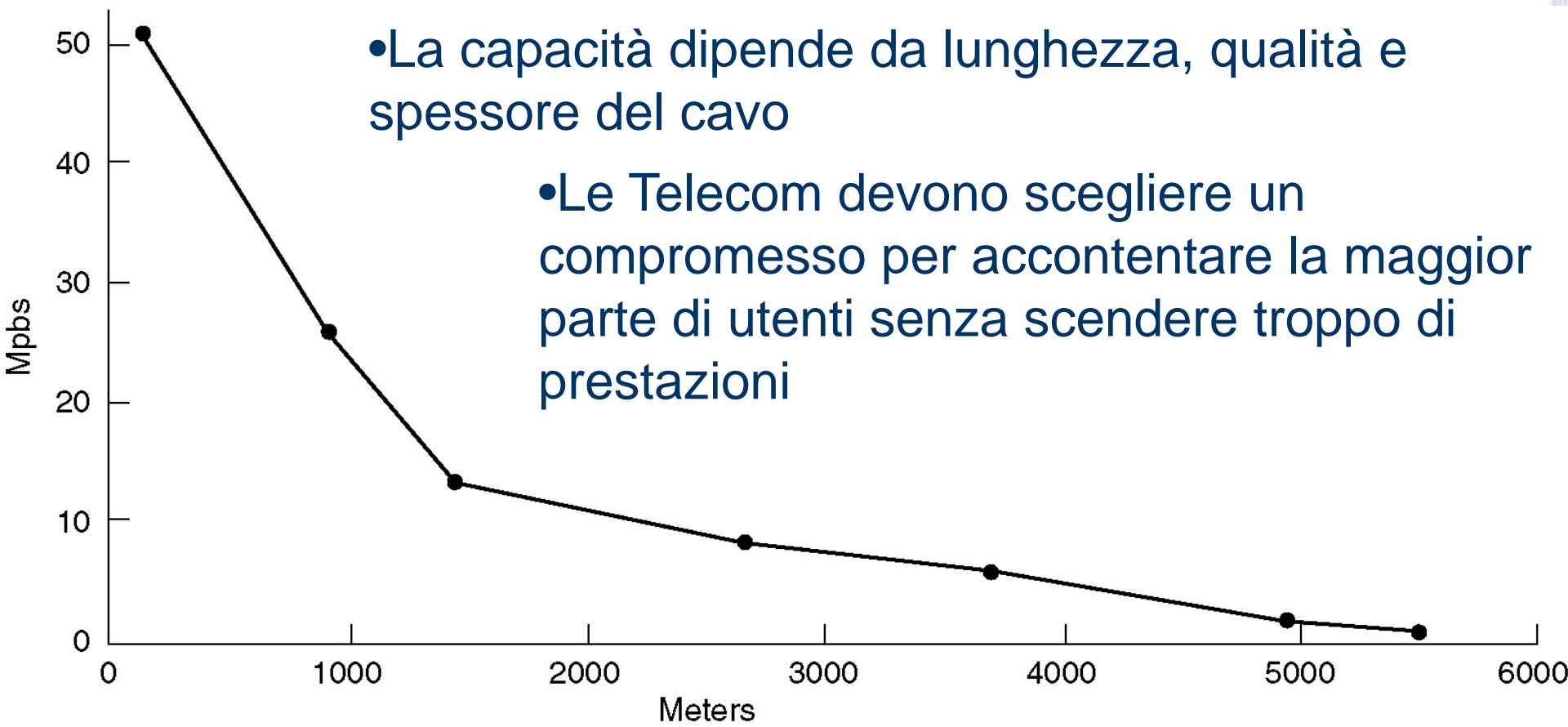


# Via il filtro

- Se togliamo il filtro abbiamo tutta la banda del local loop disponibile. Il limite diventa fisico (1.1 MHz) e non artificiale

- La capacità dipende da lunghezza, qualità e spessore del cavo

- Le Telecom devono scegliere un compromesso per accontentare la maggior parte di utenti senza scendere troppo di prestazioni







# Requirements

1. Devo usare i cavi cat 3 UTP esistenti
  2. Non devo disturbare i telefoni e fax esistenti
  3. Devo andare ben oltre i 56 kbps
- Soluzione 1)
    - Divido lo spettro del Local Loop (circa 1.1 MHz) in 3 bande: **POTS** (Plain Old Telephone Service) insomma voce tradizionale, Upstream (da utente a centrale), Downstream (da centrale a utente)
  - Soluzione 2)
    - **DMT** Discrete MultiTone



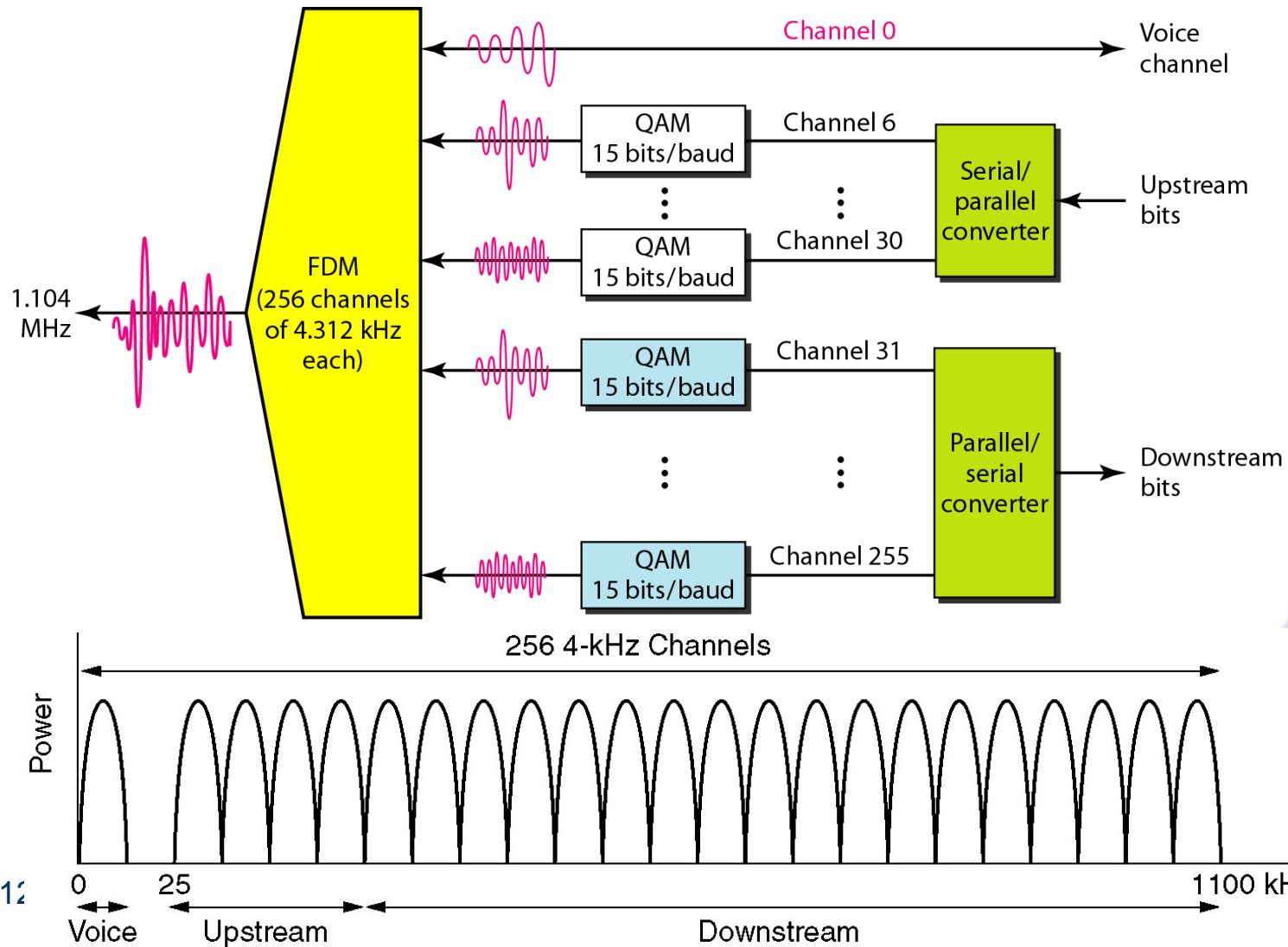


# DMT - Discrete Multi Tone

- Divido la mia banda in 256 canali da 4312.5 Hz ciascuno
- Canale 0 per POTS (voce)
- Canali 1-5 non usati per evitare interferenze voce-dati
- 250 canali per dati di cui uno per controllo upstream, uno per controllo downstream e il resto per i dati utente
- Upload da 6 a 30 (1 di controllo, 24 canali da 4 kHz (su 4.312 disponibili), con QAM arrivo a 1.44 Mbps, ma normalmente si sta sotto i 500 kbps per il rumore (alcuni canali sono inutilizzabili)
- Download da 31 a 255 (1 di controllo e 224 per dati) per cui si ottengono fino a 13.4 Mbps, in pratica 8 Mbps
- I canali utenti in principio sono Full-Duplex ma si preferisce usare i canali simplex assegnando 80-90% per downstream (questo spiega la A di Asymmetric)



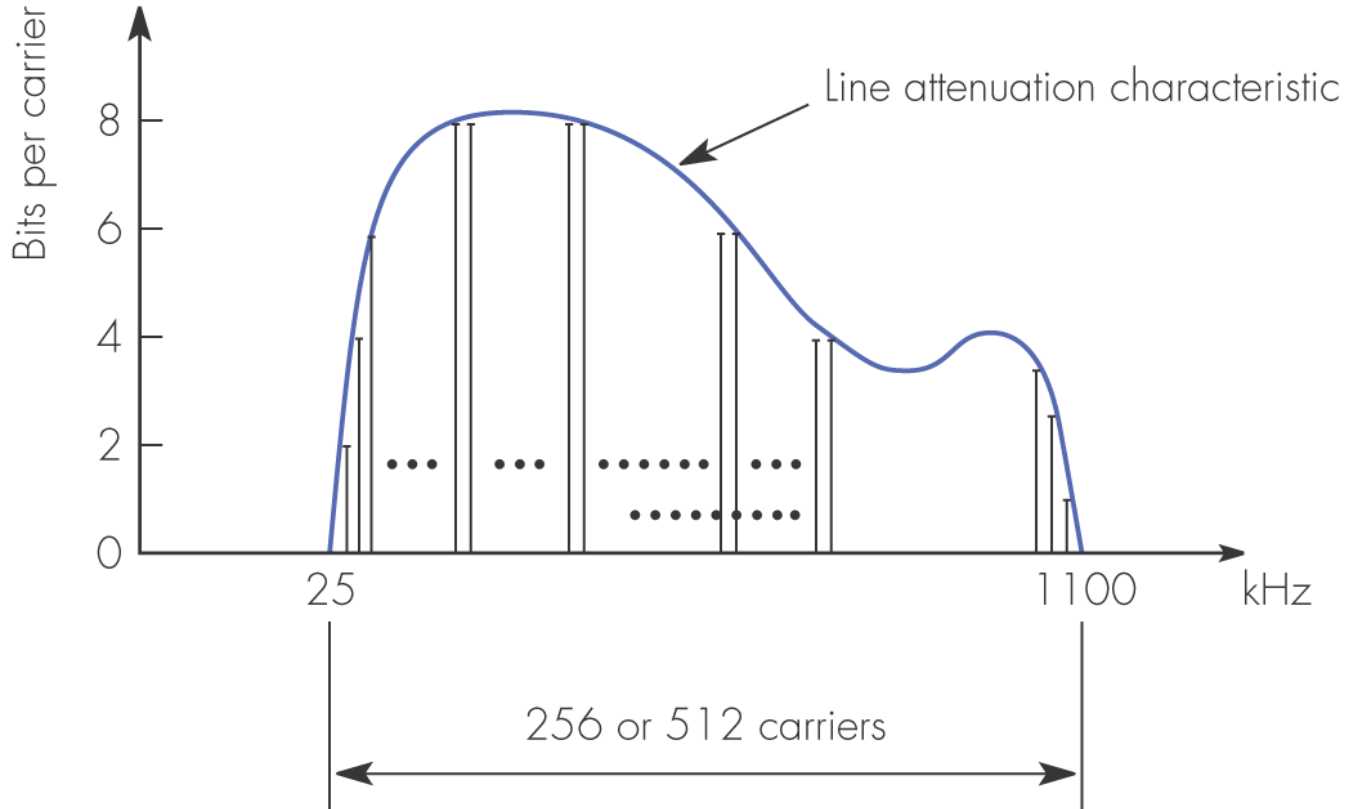
# DMT - Discrete Multi Tone





# DMT duplex

(a)



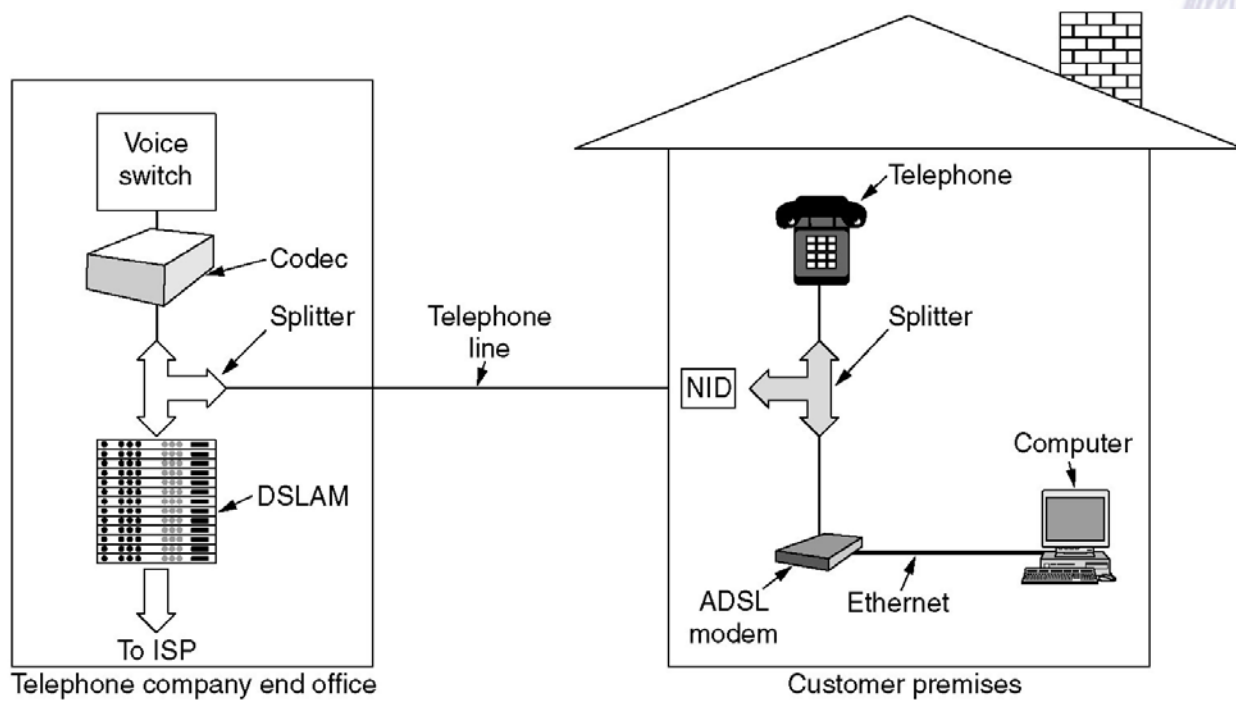
(b)

Upstream: frequency band = 25–200 kHz, bit rate = 32–384/1000 kbps  
Downstream: frequency band = 240–1100 kHz, bit rate = 640–1500/8000 kbps



# Splitter

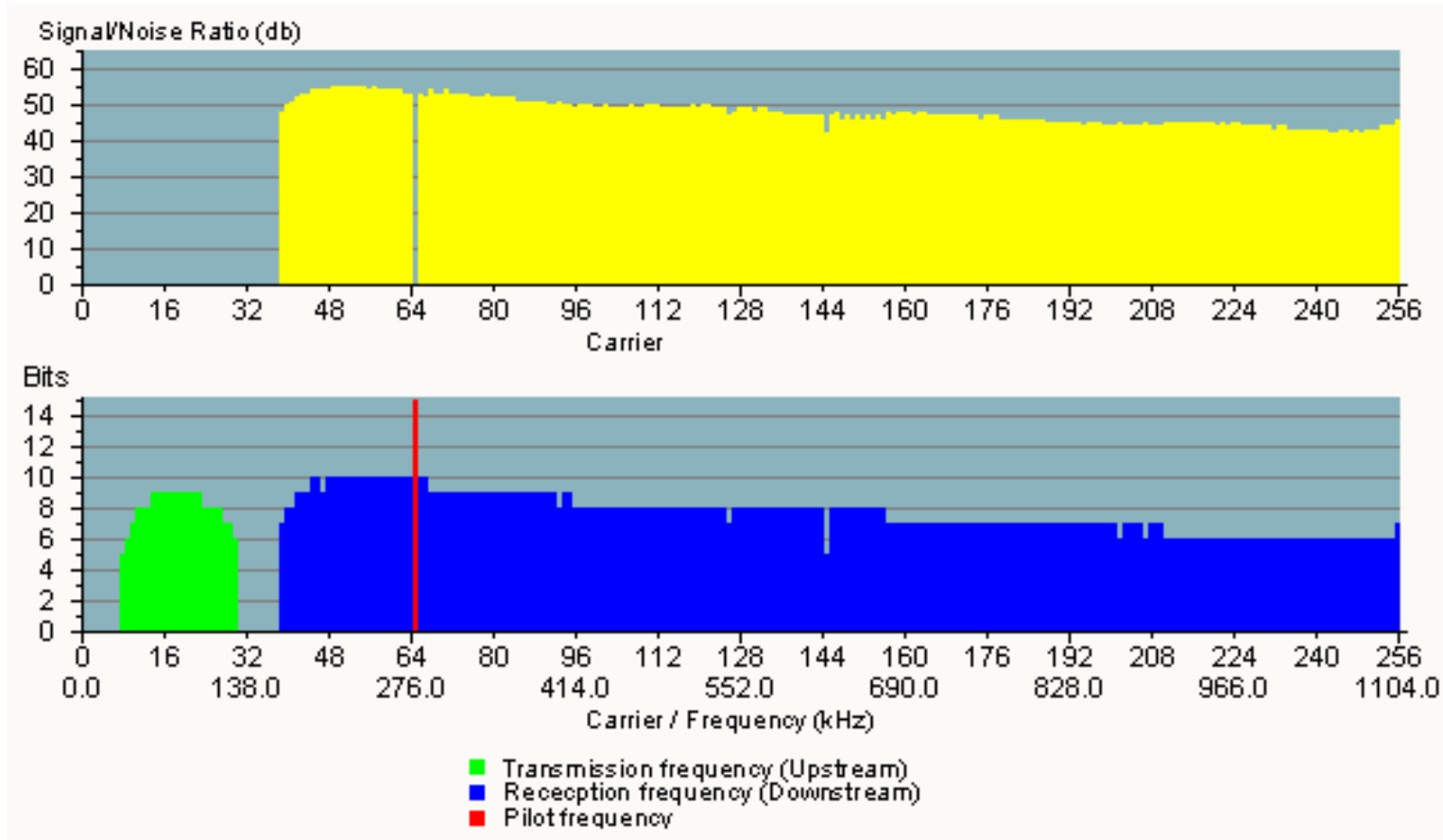
- Lo standard ITU G922.1 permette 8+1 Mbps (down+up), spesso le telecom offrono solo 512+64 kbps o 1024+256 kbps
- Ogni canale offre 4000 baud, 15 bit/ baud → in teoria 13.44 Mbps
- In pratica si raggiungono 8 Mbps su loop corti
- Un filtro analogico (**splitter**) separa la banda POTS dai dati
- Il modem ADSL è un DSP che **simula** 250 modem in parallelo a diverse frequenze.
- All'altro lato lo splitter separa la voce dai dati che vanno verso un **DSLAM** (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)





# Misura Reale

- Spettro ADSL su linea ADSL in Belgio – 850m dal DSLAM



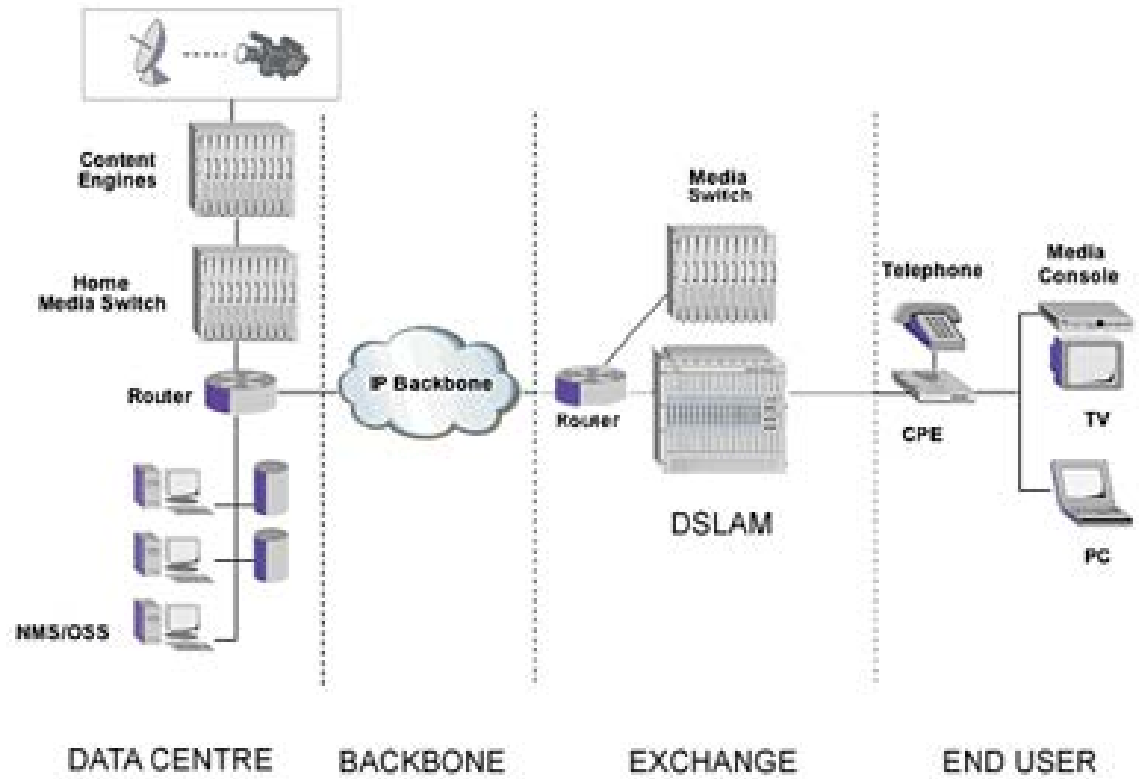
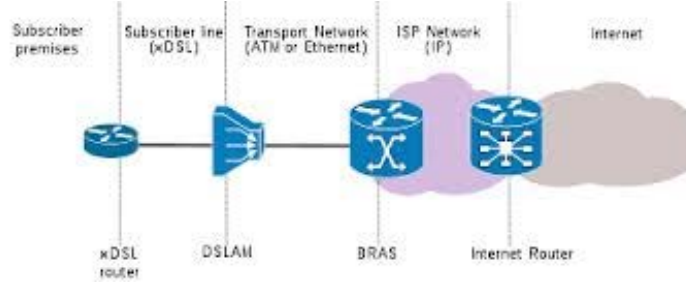


# DSLAM



- Il DSLAM riceve i dati dalle varie linee dei clienti e li manda verso le reti ATM dei provider
  - Ogni connessione è identificata da una coppia di parametri VPI (Virtual Path Id. di 16 bit) e VCI (Virtual Channel Id. di 8 bit)
- All'interno della rete del provider i dati viaggiano incapsulati in frame ATM
  - PPPoA: Point to Point Protocol over ATM, RFC2364
  - PPPoE: PPP over Ethernet, RFC2516
  - RFC1483 e RFC2225 per usi professionali IP su ATM

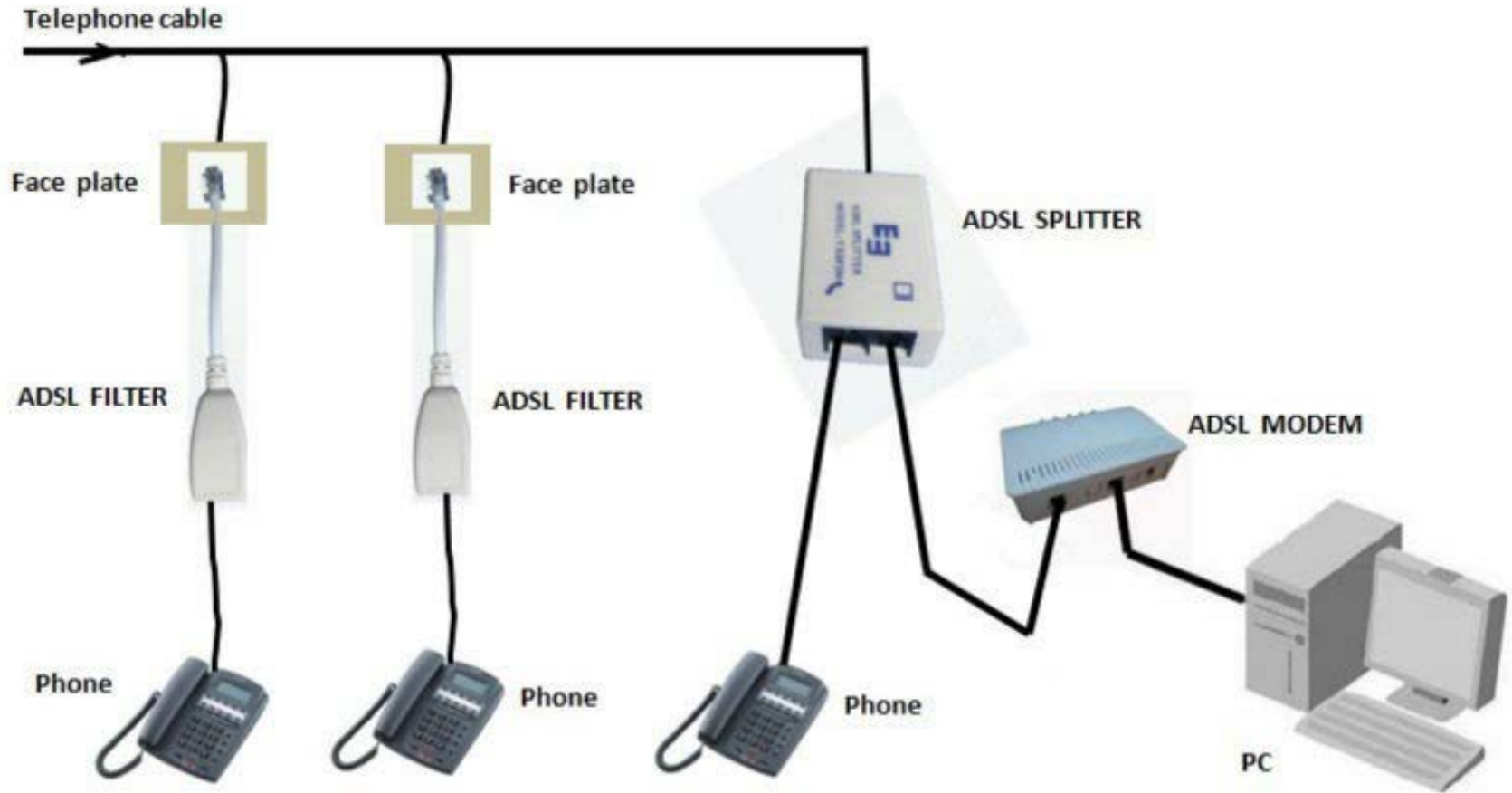








# I telefoni vanno filtrati





# Splitterless

- Separazione completa tra sistema tradizionale per la voce e i dati
- La telecom deve solo installare un DSLAM in centrale e uno splitter per ogni casa. ISDN richiede interventi molto più complessi
- Per evitare di intervenire nelle case si possono usare configurazioni splitterless: G922.2 o **G.lite** → prestazioni inferiori 1.5 Mbps max



# ADSL2



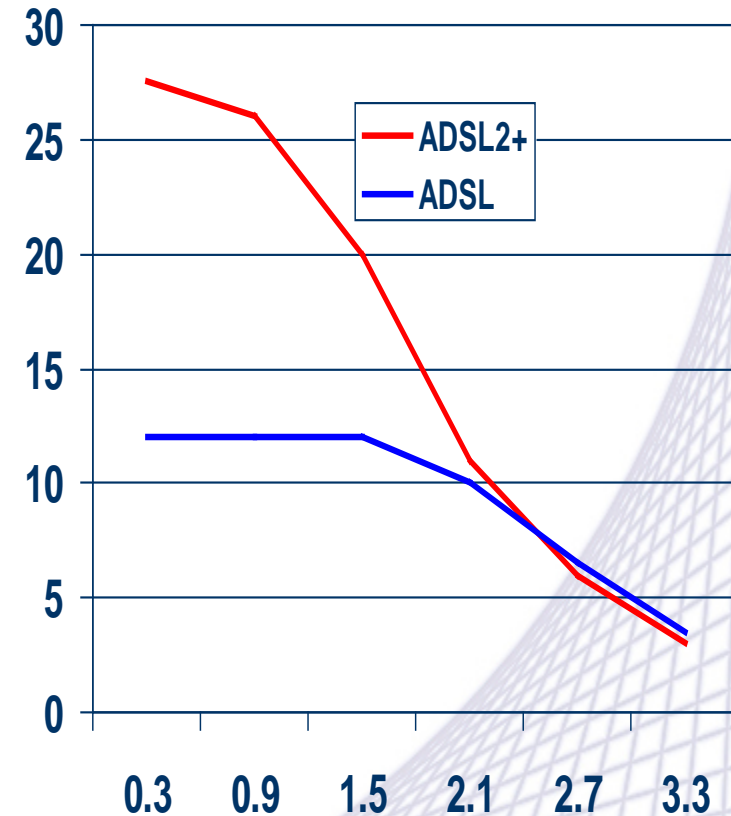
- Nuovi standard ITU G.922.3 e G.922.4 noti come ADSL2
  - Nuove tecniche di modulazione, codifica e framing permettono di arrivare a 12 Mbps (upstream 1 Mbps) molto efficaci in casi di SNR basso
  - Tecniche di Seamless Rate Adaptation regola dinamicamente la banda in base al rapporto SNR misurato istante per istante
  - Sistema di framing con overhead variabile
    - Prima era costante a 32 kbps (molto pesante in caso di banda lorda di 128 kbps: 25%)



# ADSL2+



- G.992.5 ratificato nel 2003 dall'ITU spinge fino a 24 Mbps aumentando le frequenze da 0.14-1.1 MHz fino a 0.14-2.2 MHz
- Benefici effettivi per local loop sotto i 2 Km
  - Le bande calano molto rapidamente oltre 1 km mentre ADSL è costante fino a circa 2km
- In caso di eccessivo crosstalk da cavi ADSL2 adiacenti posso usare solo i canali sopra 1.1 MHz





# Diversi standard DSL

- HDSL è un'alternativa ad una leased line T1 (che usa codifica AMI sensibile a grandi distanze, limitando un T1 a circa un 1km. Invece con 2B1Q si arriva a 3.5 km senza ripetitori con due doppini)
- SDSL, un DSL simmetrica (per chi deve fornire traffico, es un piccolo web server)
- VDSL per andare ad alte velocità, su fibra, coax o anche doppino per distanze brevi arrivando a 22-25 Mbps down e 3.2 up

<i>Technology</i>	<i>Downstream Rate</i>	<i>Upstream Rate</i>	<i>Distance (ft)</i>	<i>Twisted Pairs</i>	<i>Line Code</i>
ADSL	1.5–6.1 Mbps	16–640 kbps	12,000	1	DMT
ADSL Lite	1.5 Mbps	500 kbps	18,000	1	DMT
HDSL	1.5–2.0 Mbps	1.5–2.0 Mbps	12,000	2	2B1Q
SDSL	768 kbps	768 kbps	12,000	1	2B1Q
VDSL	25–55 Mbps	3.2 Mbps	3000–10,000	1	DMT



# Evoluzioni di ADSL

Standard	Specifiche ITU	nome	Ratifica	Downstream Mbps	Upstream Mbps
ADSL	G.922.1	G.Dmt	1999	8	0.8
ADSL2	G.922.3	G.dmt.bis	2002	12	1
ADSL2+	G.922.5	Adsl2plus	2003	24	1
ADSL2-RE	G.922.3	Reach Extended	2003	12	1





# Bandwidth/ranges tradeoff

