

Reti di Telecomunicazioni



Livello Fisico



Autori



Queste slides sono state scritte da

MicheleMichelotto

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

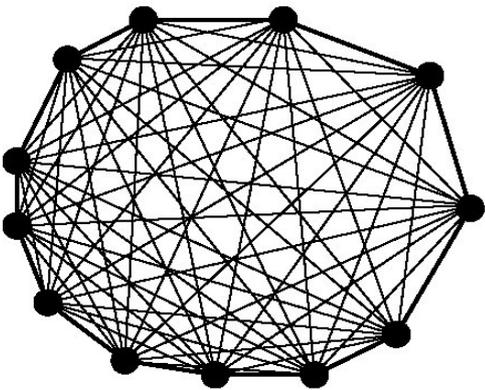


- Un cavo tra due computer permette velocità di qualche Gbps
- Una linea dial-up invece permette solo 56 kbps, 20000 volte di meno
- Anche un ADSL permette velocità superiori a dial-up ma sempre 1000 volte inferiori
- Tuttavia la rete telefonica è già installata, unisce milioni di computer distribuiti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

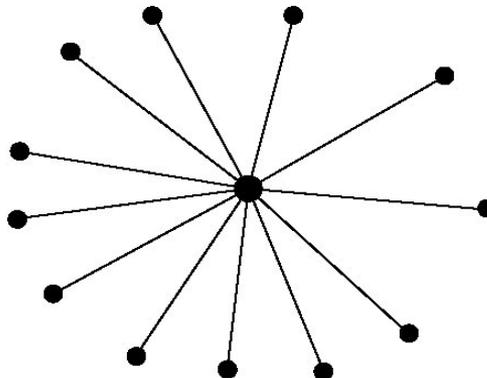


Rete Telefonica

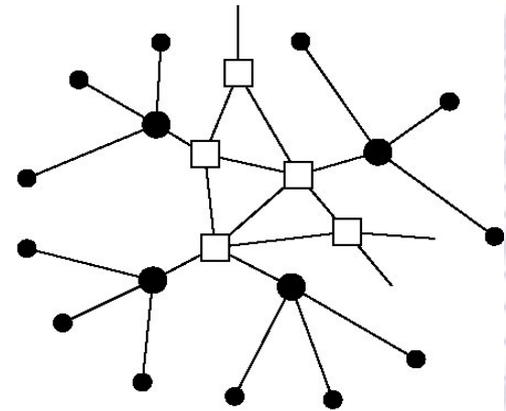
- I primi telefoni si vendevano a coppie con un singolo filo (la terra faceva da ritorno).
- Per parlare con n utenti servivano n fili a)
- Dopo un anno (1878) si passò a centralini con i jumper b)



(a)



(b)



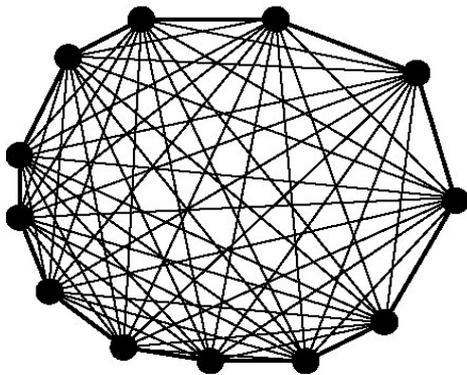
(c)



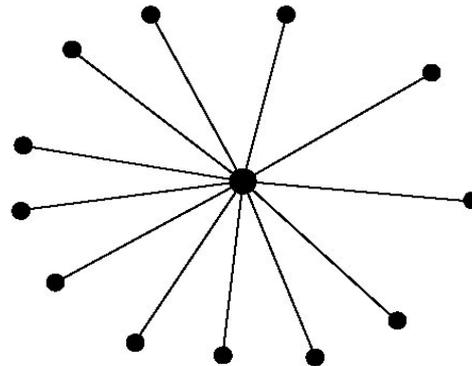
Rete Telefonica



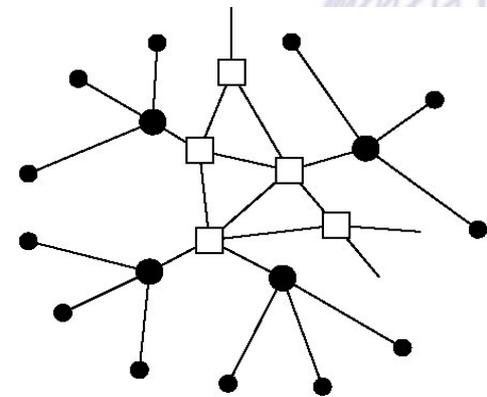
- Infine ai collegamenti tra centralini c)
- Ma presto fu necessario avere centralini di secondo livello (quadrati in figura c), e livelli superiori fino a cinque livelli
- Ok per altri 100 anni a parte varie migliorie: cavi bilanciati, isolati e doppiati ritorti invece che fili aperti con ritorno a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



(a)



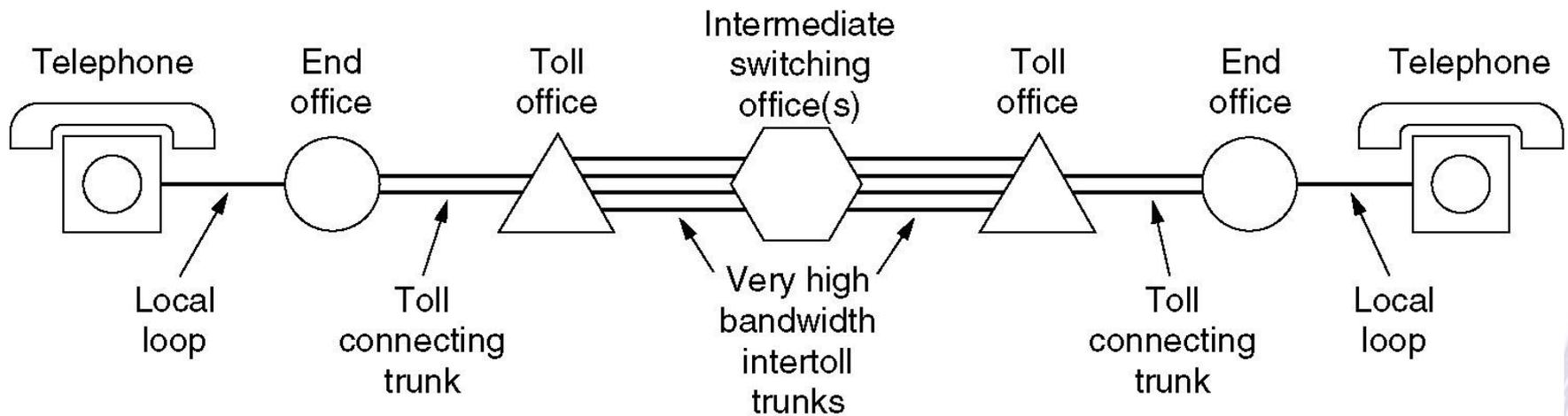
(b)



(c)



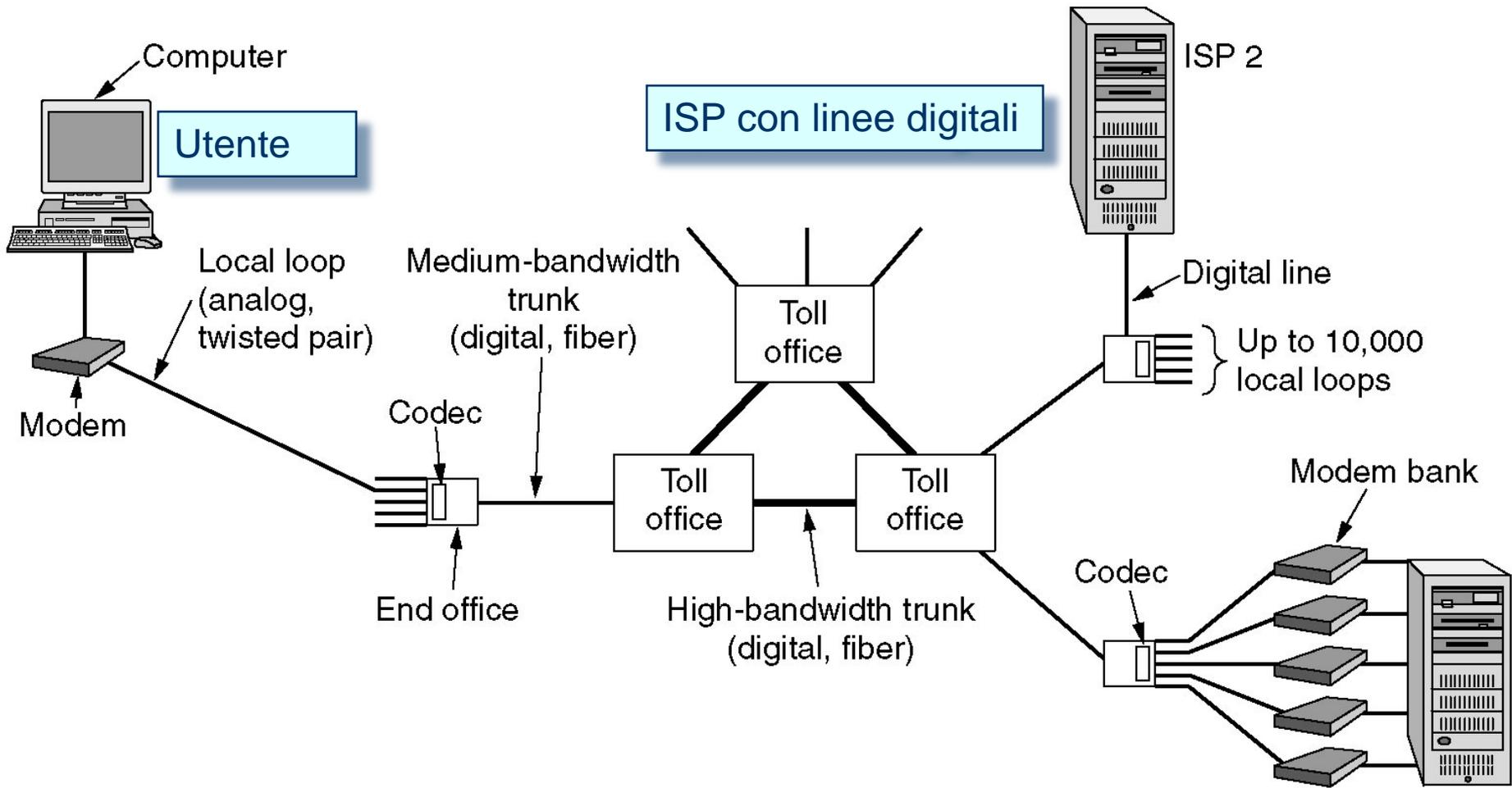
Tipica chiamata



- 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



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)



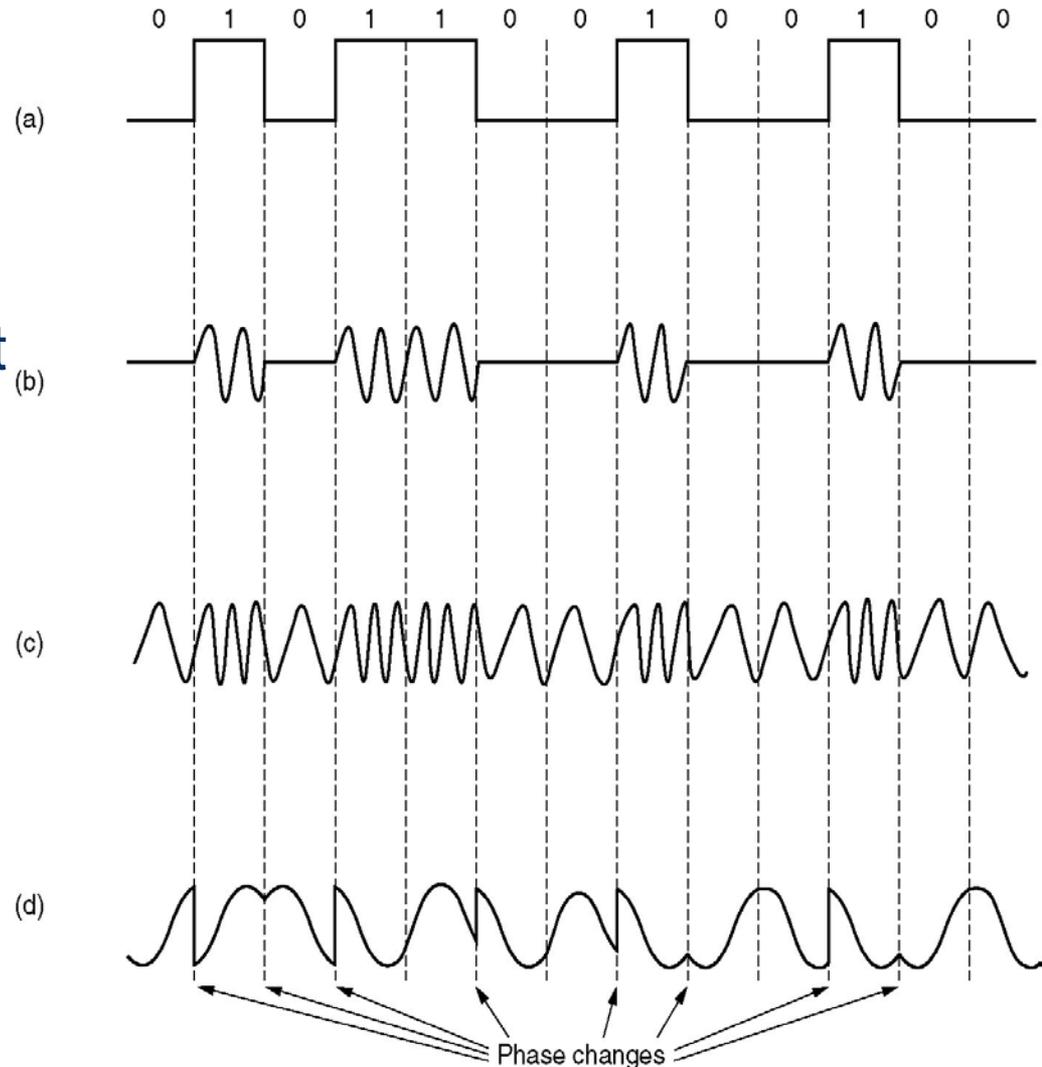
AC signaling

- 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

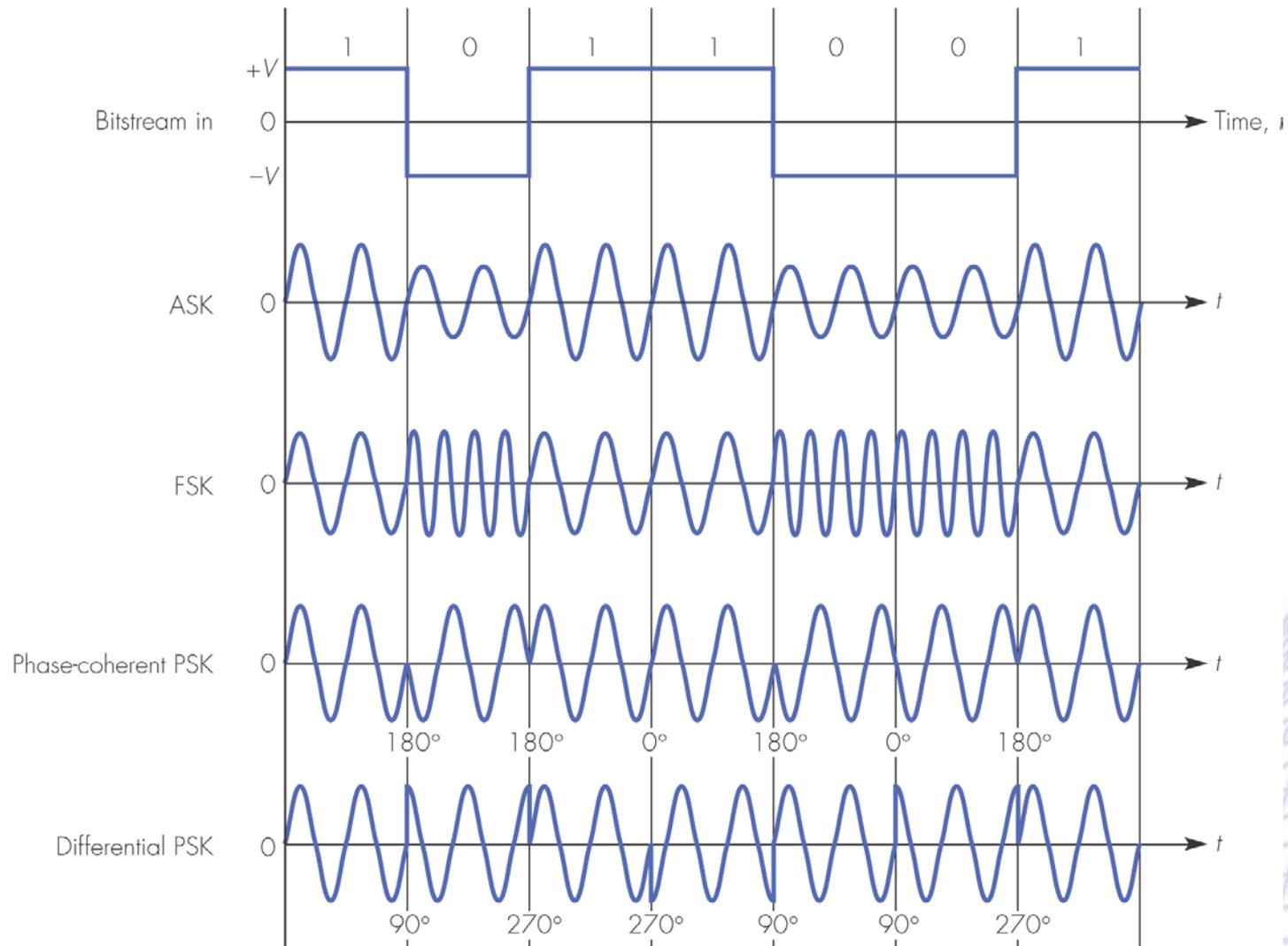
- a) Segnale Binario
- b) **AM: Modulazione di ampiezza**
- c) **FM: Modulazione di frequenza**, frequency shift keying (**keying** sinonimo di **modulazione**)
- d) **Modulazione di fase:** sfaso di 180 gradi a intervalli regolari, oppure di 45,135,225,315 gradi per avere due bit per ogni intervallo





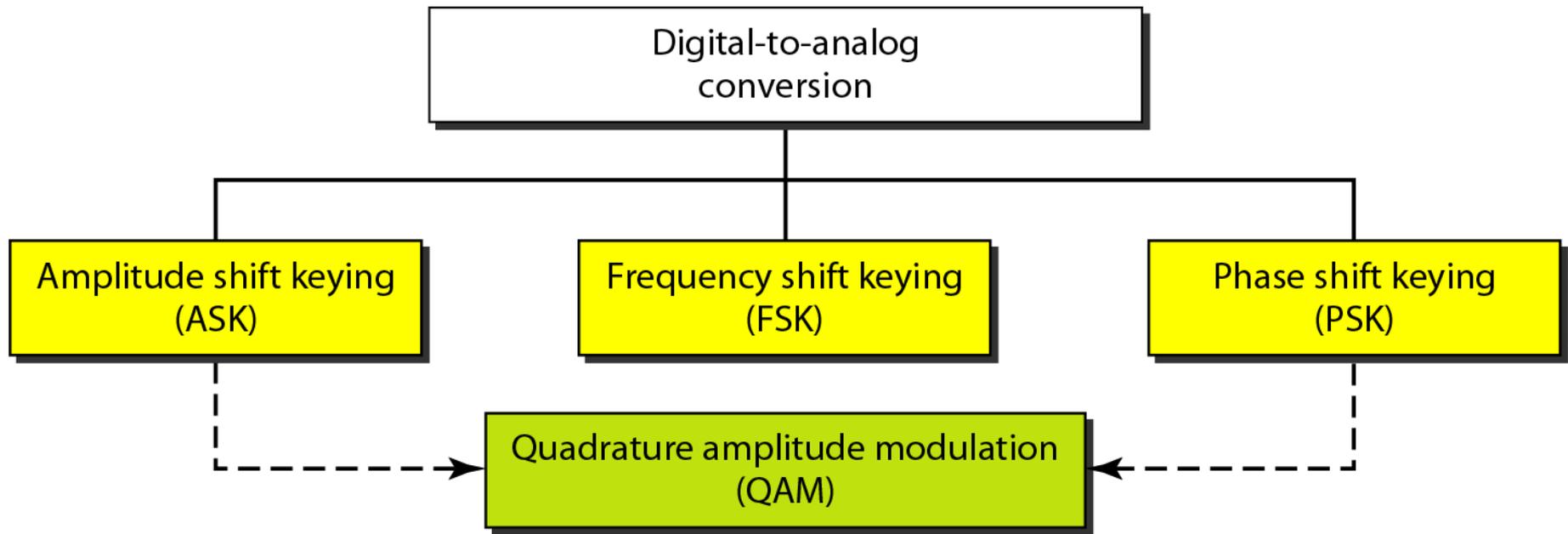
modulazioni

(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 tramette un **simbolo** (2400 baud \rightarrow un simbolo ogni 416.667 μ 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
- **$N = r * S$**

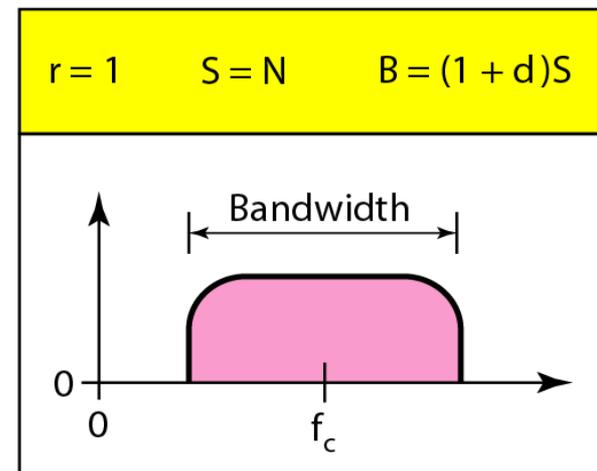
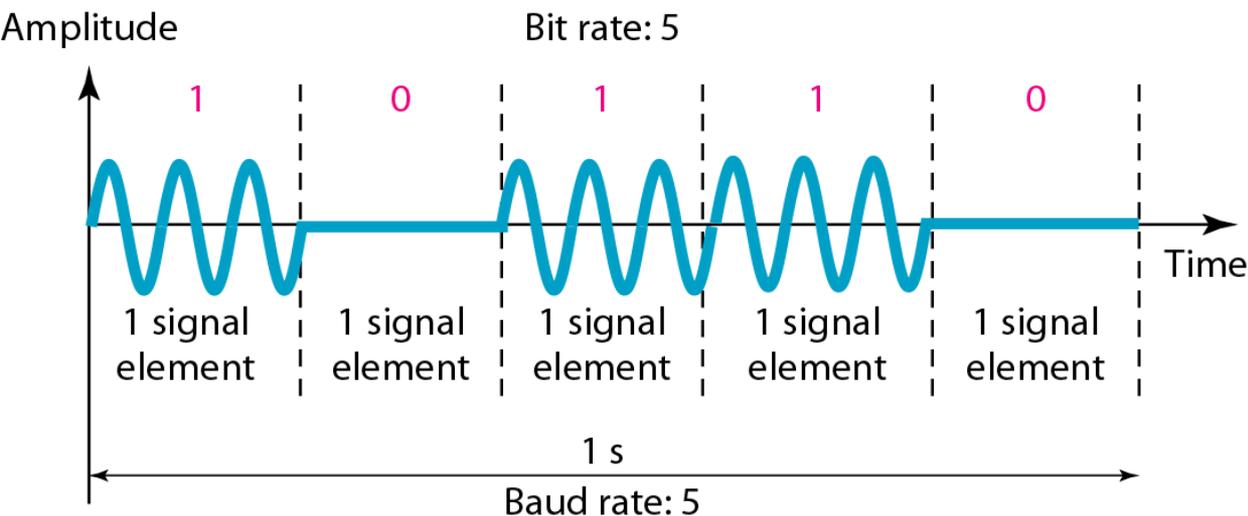


Modulazione di ampiezza



- ASK – Amplitude Shift Keying

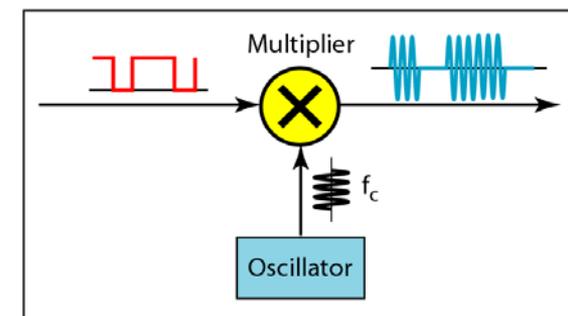
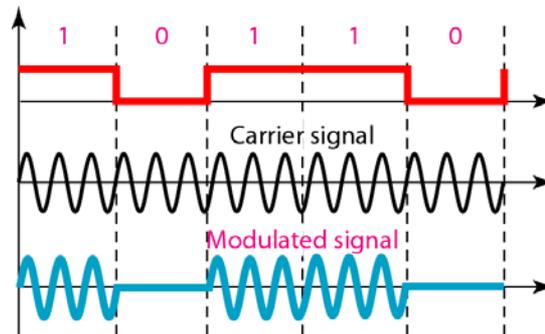
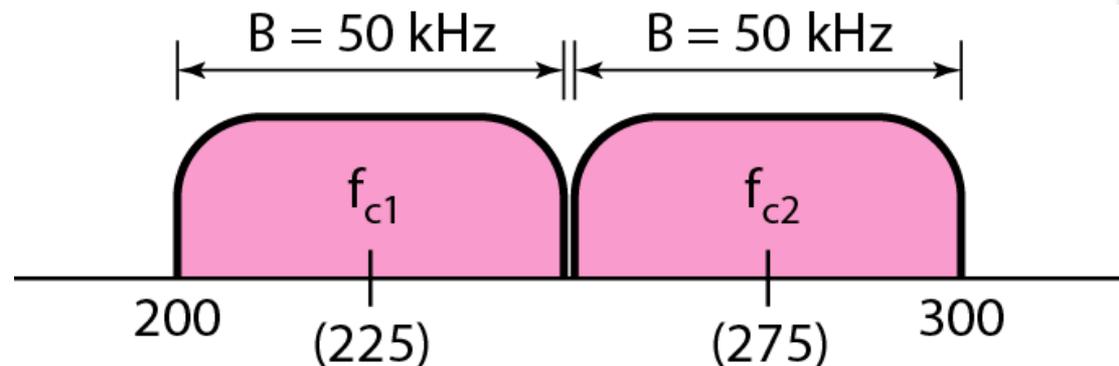
- Di solito ci sono due elementi di segnale quindi $L=2$, per cui a volte si dice BASK (Binary ASK)
- La banda è proporzionale alla frequenza ma c'è anche un fattore d compreso tra 0 e 1 che dipende dal processo di modulazione, quindi la larghezza di banda va da S a $2S$.
- il centro della banda è f_c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



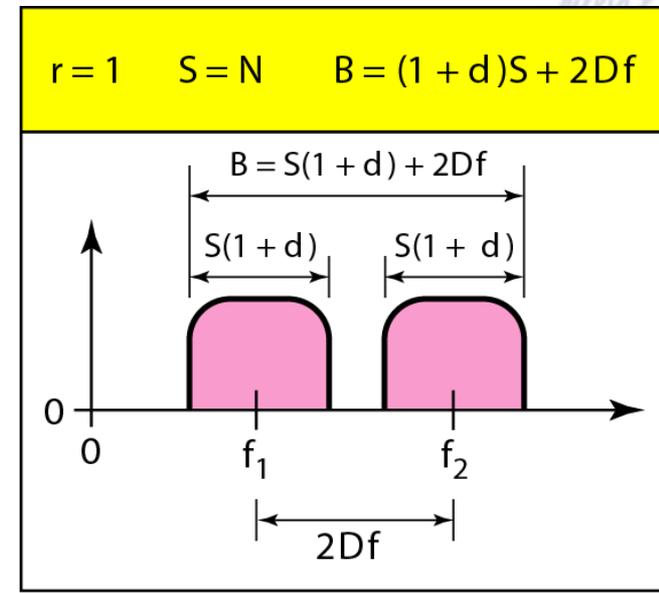
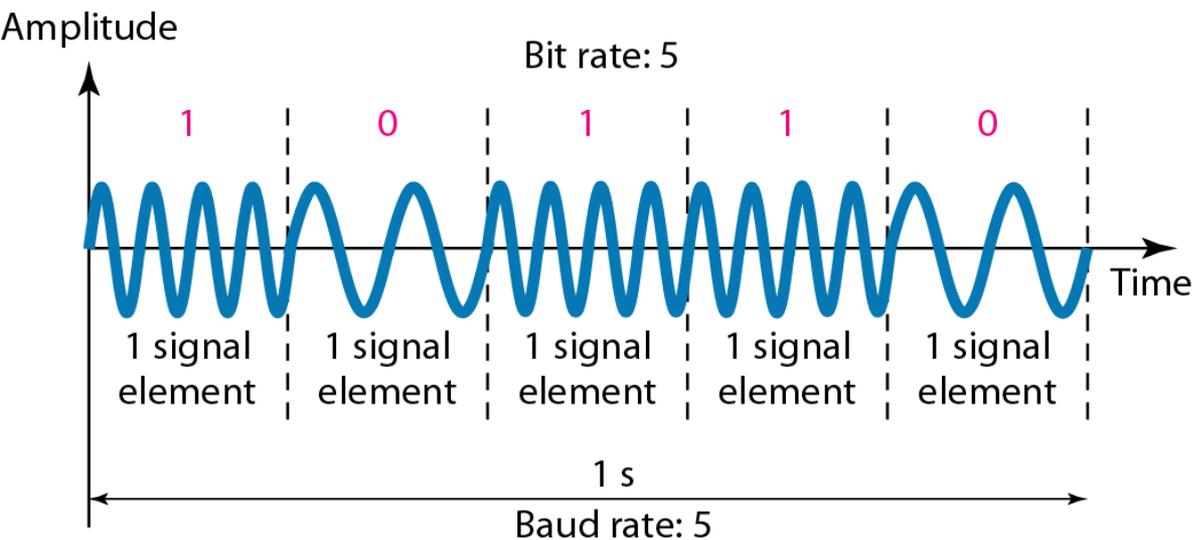


Modulazione di frequenza



- FSK

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

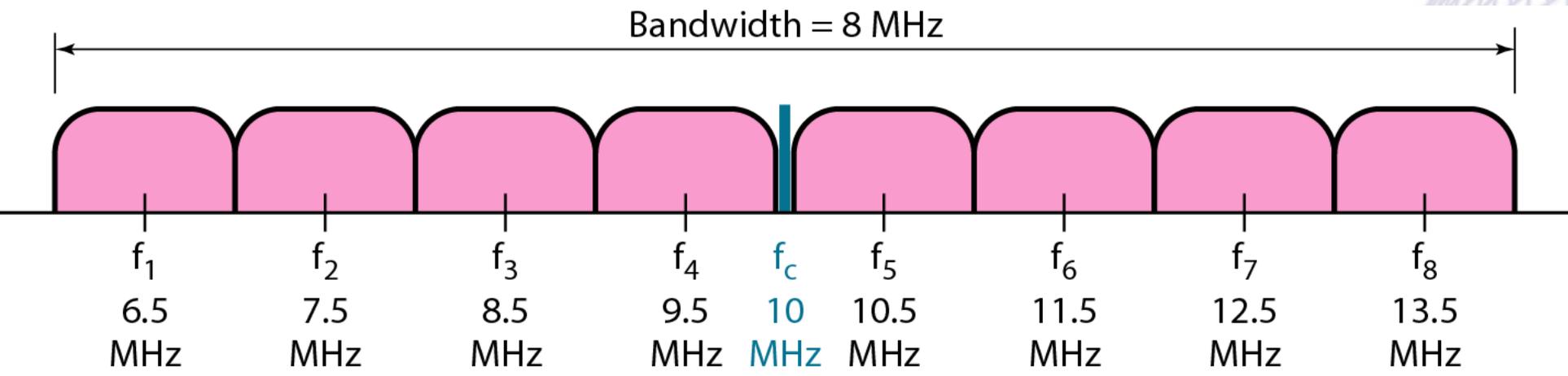




MFSK



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



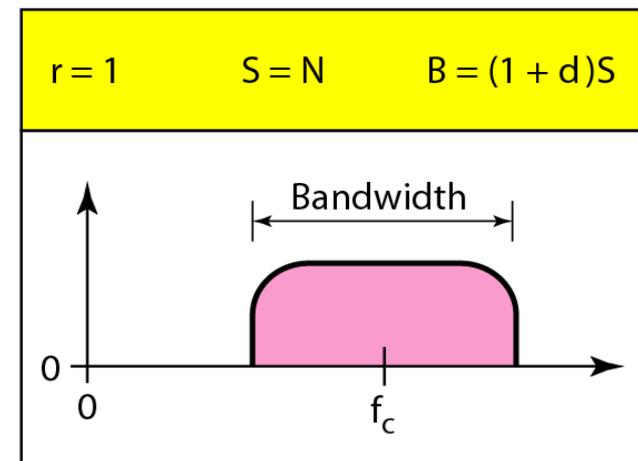
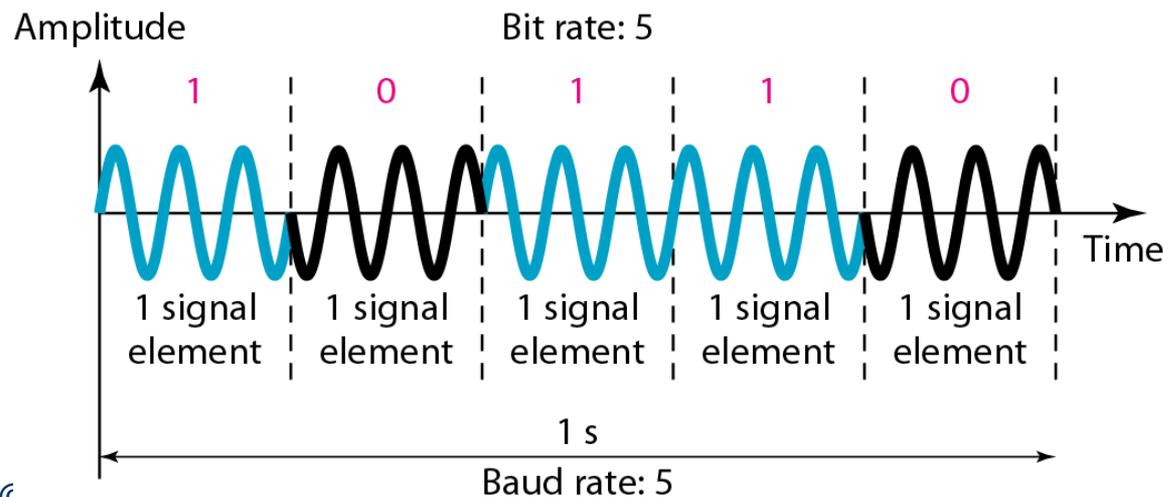


Modulazione di fase



- PSK – Phase Shift Keying

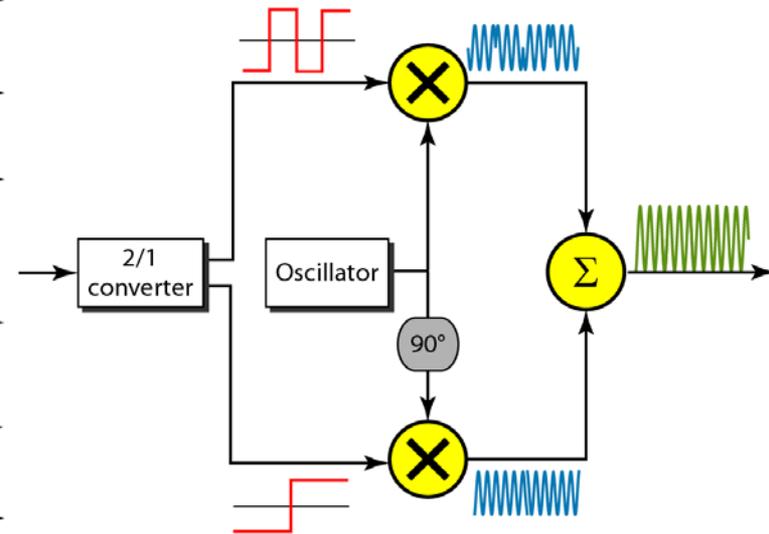
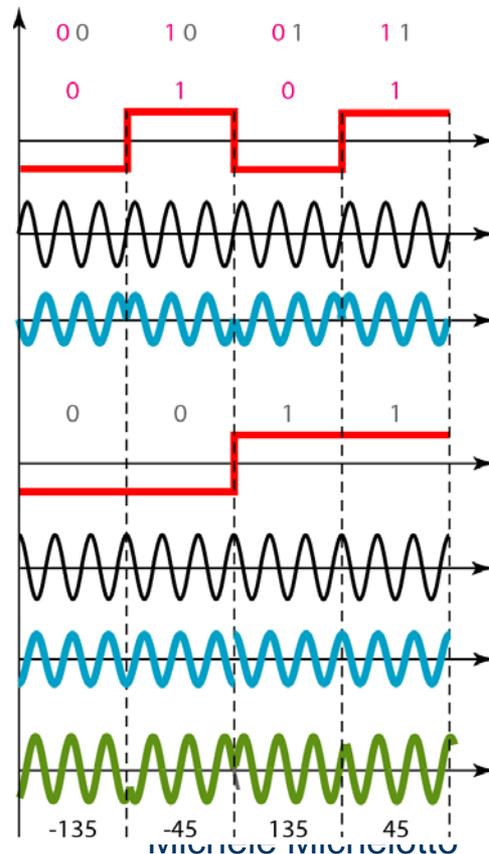
- Il metodo più usato di conversione digitale analogico, semplice come la ASK ma più resistente al rumore, dal momento che il rumore riesce a cambiare facilmente l'ampiezza ma non la fase
- Larghezza di banda come quella ASK binaria e minore della FSK





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°) con il primo



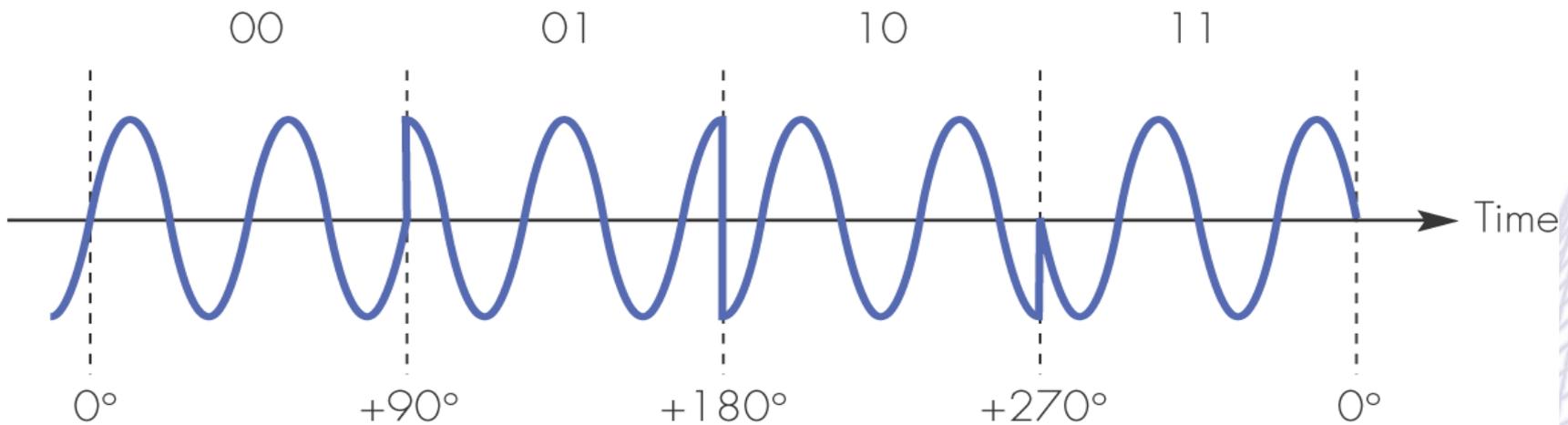


4 PSK



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

(a)



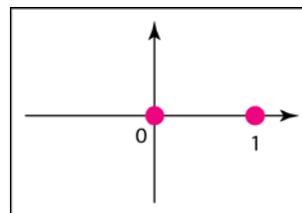
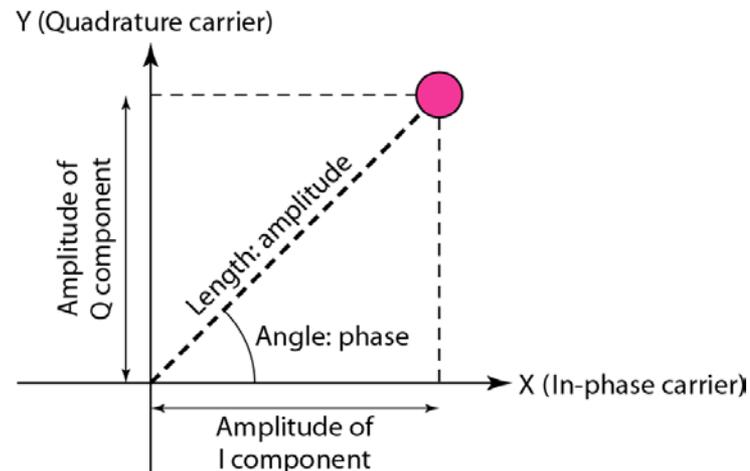


Constellation

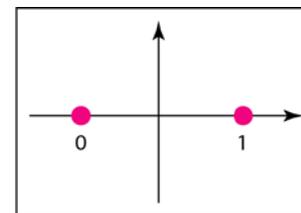


- Constellation Diagram

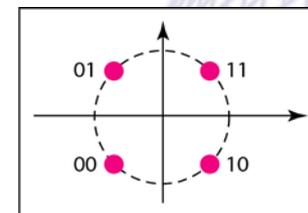
- Utili per rappresentare l'ampiezza e la fase, soprattutto quando sono in quadratura
- Ogni punto rappresenta un elemento di segnale, l'asse x è relativo all'elemento in segnale, l'asse y a quello in quadratura
- Per ogni elemento quindi ho 4 elementi, la proiezione su x , su y . La distanza dal centro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



a. ASK (OOK)



b. BPSK



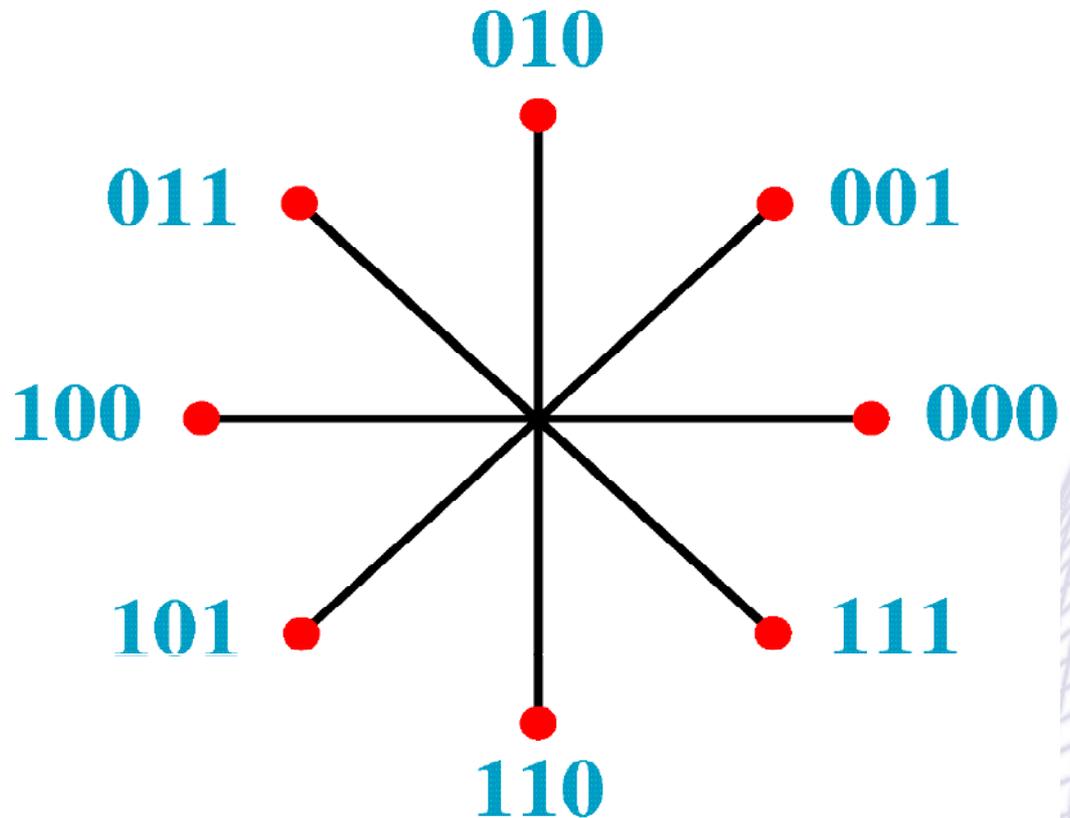
c. QPSK



8 PSK

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

Tribits
(3 bits)



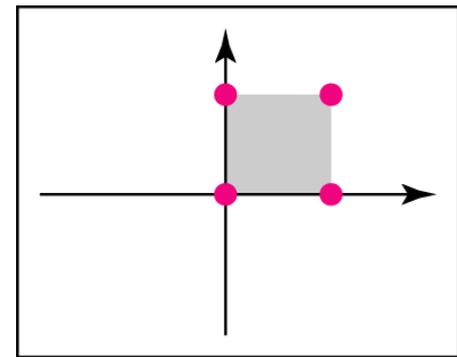
Constellation diagram



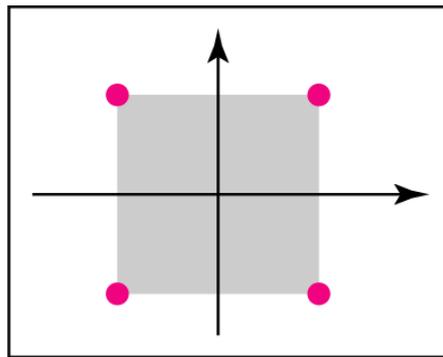
QAM



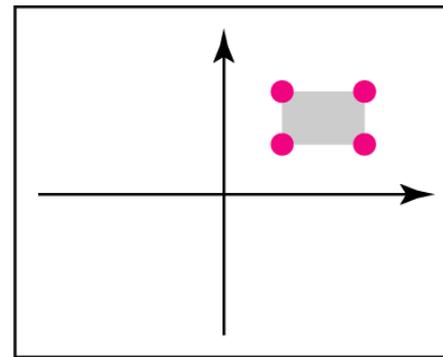
- Quadratura in Modulazione di Ampiezza
 - Usando contemporaneamente ASK con quadratura PSK
 - La b) viene detta anche QPSK
 - La d) viene detta anche 16-QAM



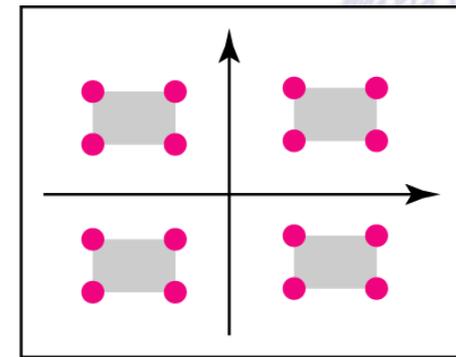
a. 4-QAM



b. 4-QAM



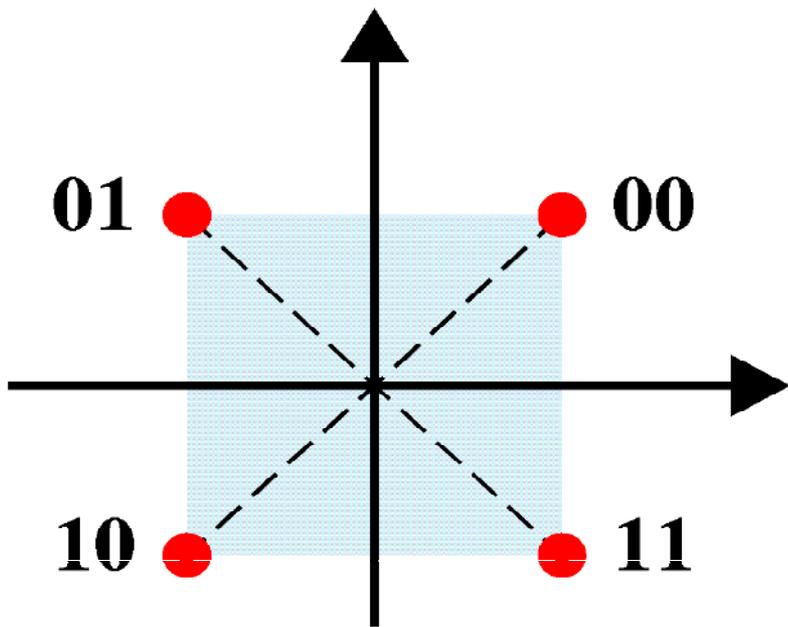
c. 4-QAM



d. 16-QAM

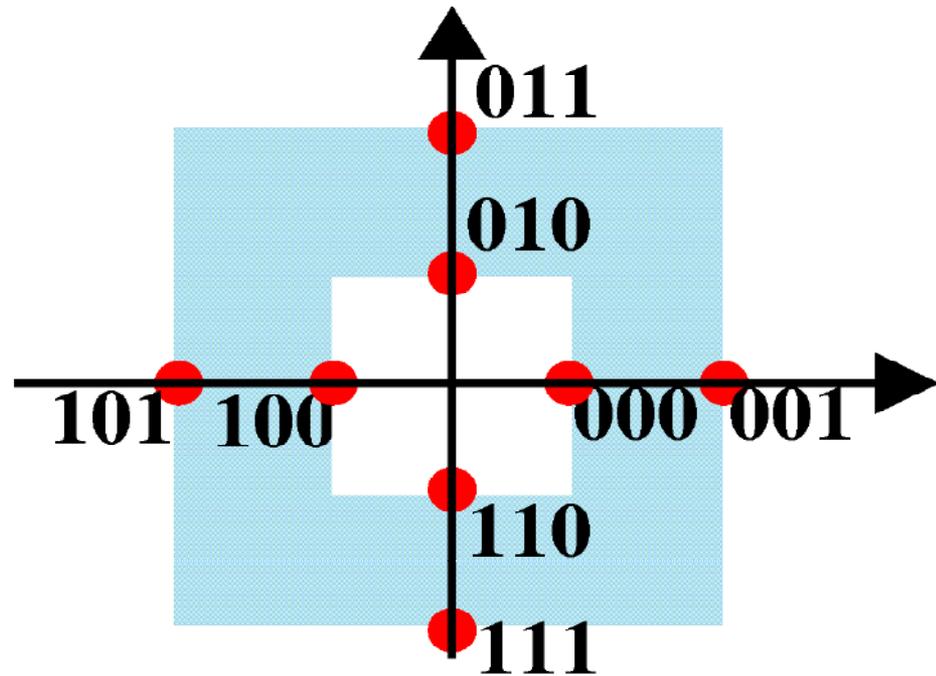


4 QAM e 8 QAM



4-QAM

1 amplitude, 4 phases



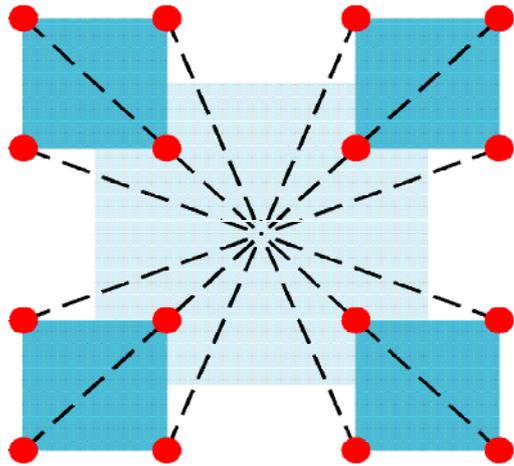
8-QAM

2 amplitudes, 4 phases



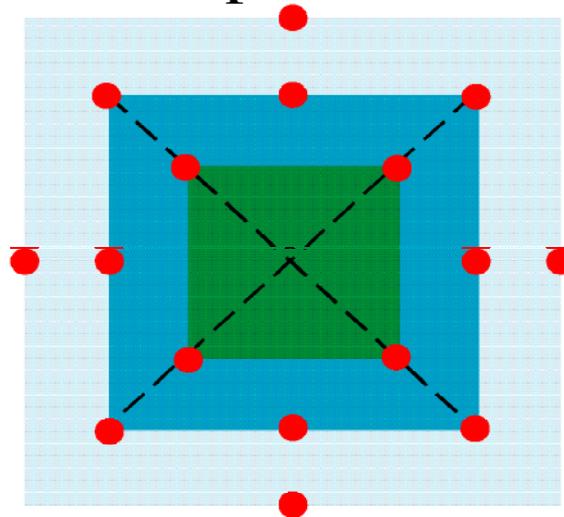
16 QAM

3 amplitudes,
12 phases



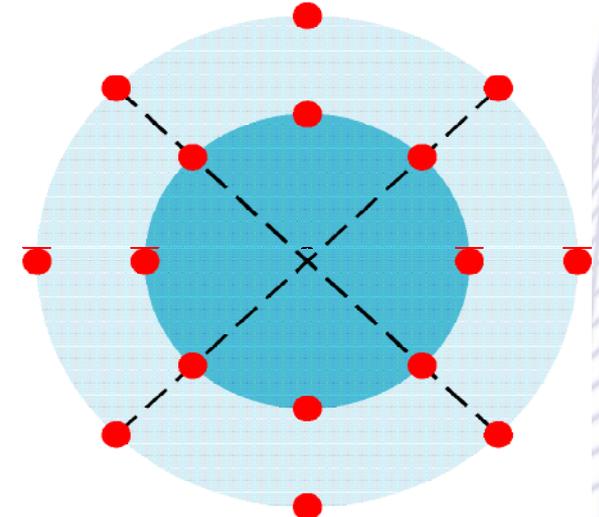
16-QAM

4 amplitudes,
8 phases



16-QAM

2 amplitudes,
8 phases



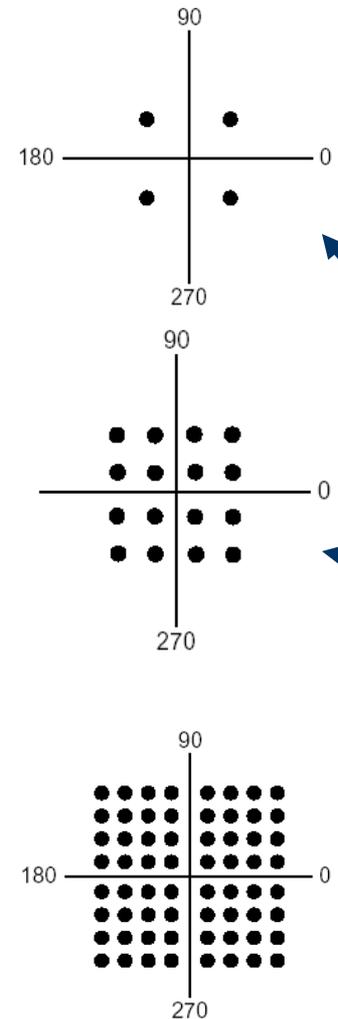
16-QAM



QSPK

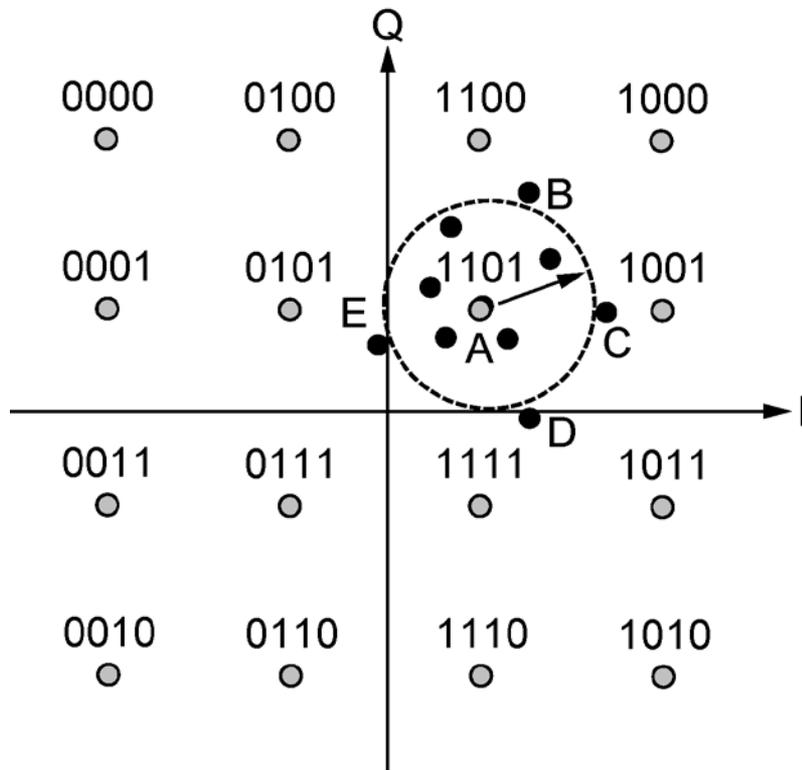


- Tutti i modem moderni usano tecniche avanzate di modulazione per trasmettere diversi bit/ baud
- Spesso si mescolano diverse ampiezze e phase shift
- **QPSK**: Quadrature Phase Shift Keying (45,135,225,315) ampiezza costante
- **QAM16**: Quadrature Amplitude Modulation mi offre 16 simboli, 4bit/simbolo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





Gray coded QAM-16



When 1101 is sent:

Point	Decodes as	Bit errors
A	1101	0
B	11 <u>0</u> 0	1
C	1 <u>0</u> 01	1
D	11 <u>1</u> 1	1
E	<u>0</u> 101	1

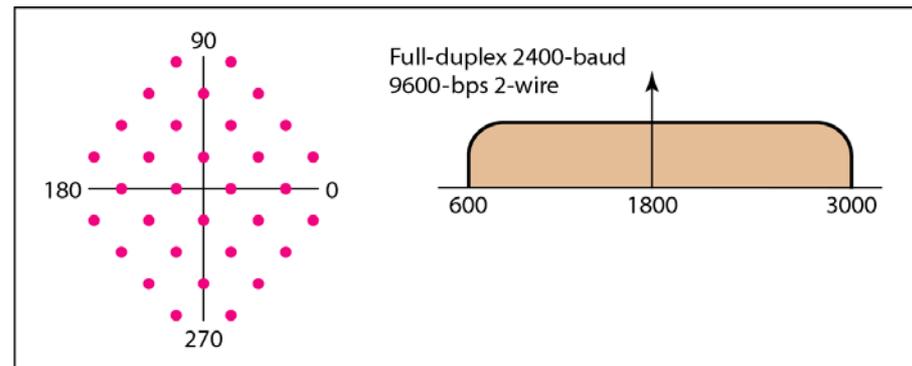
Gray-coded QAM-16.



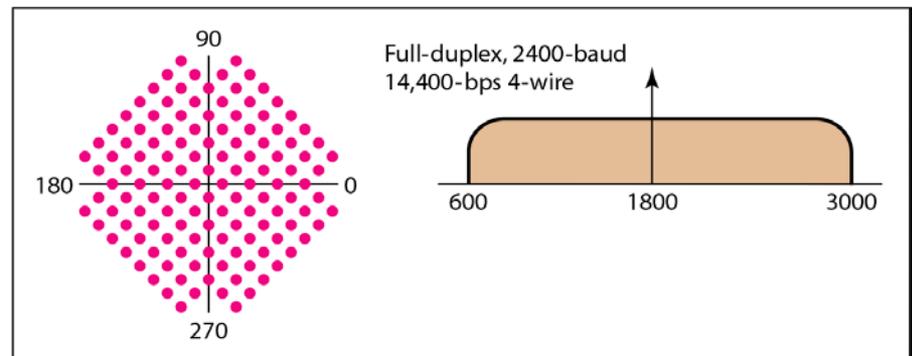
Constellazioni evolute



- 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

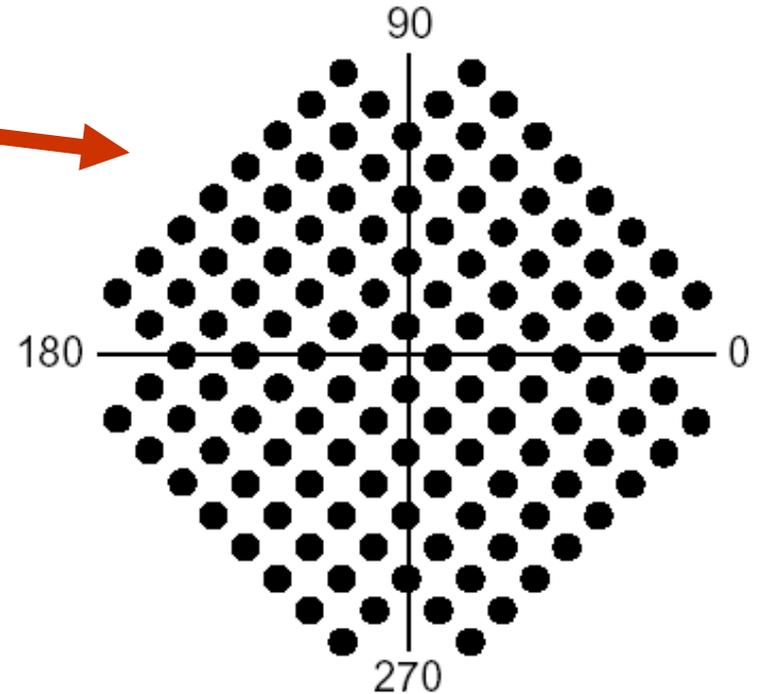


b. Constellation and bandwidth for V.32bis



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





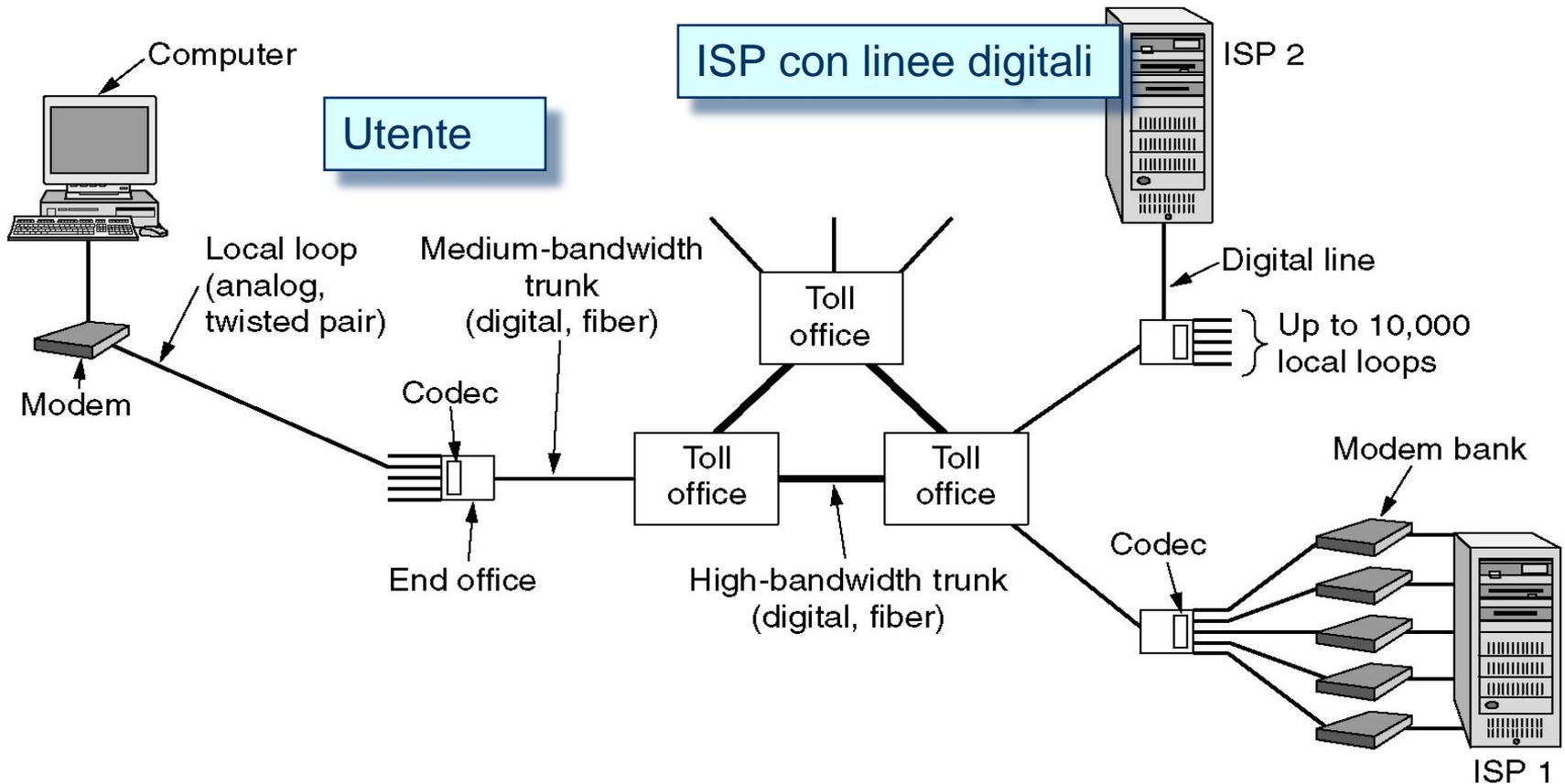
Oltre Shannon



- 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



ISP con linee digitali

Utente

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**

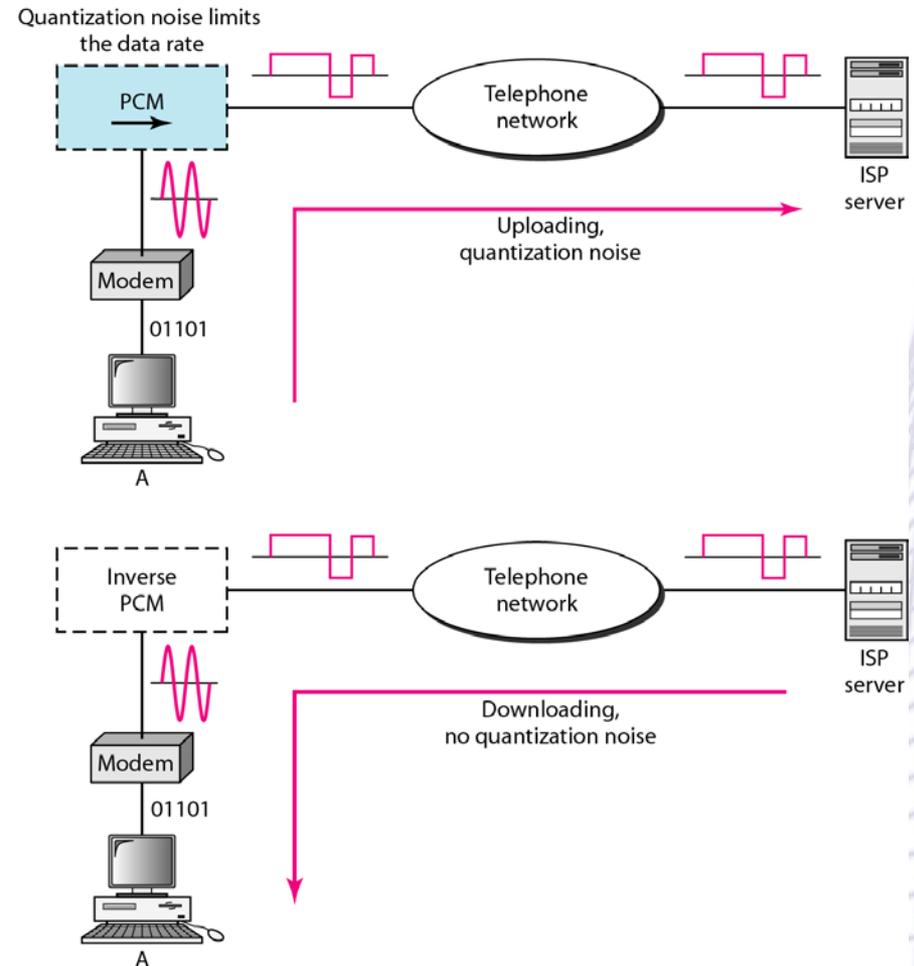
- usa 48 kbps upstream (se il rumore lo permette)
- Si adatta dinamicamente alla qualità del segnale aumentando o diminuendo la velocità
- contratta in 15 secondi invece che 30
- Permette di tenere attiva la connessione Internet anche se arriva una chiamata telefonica e poi riprenderla alla fine della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



Shannon

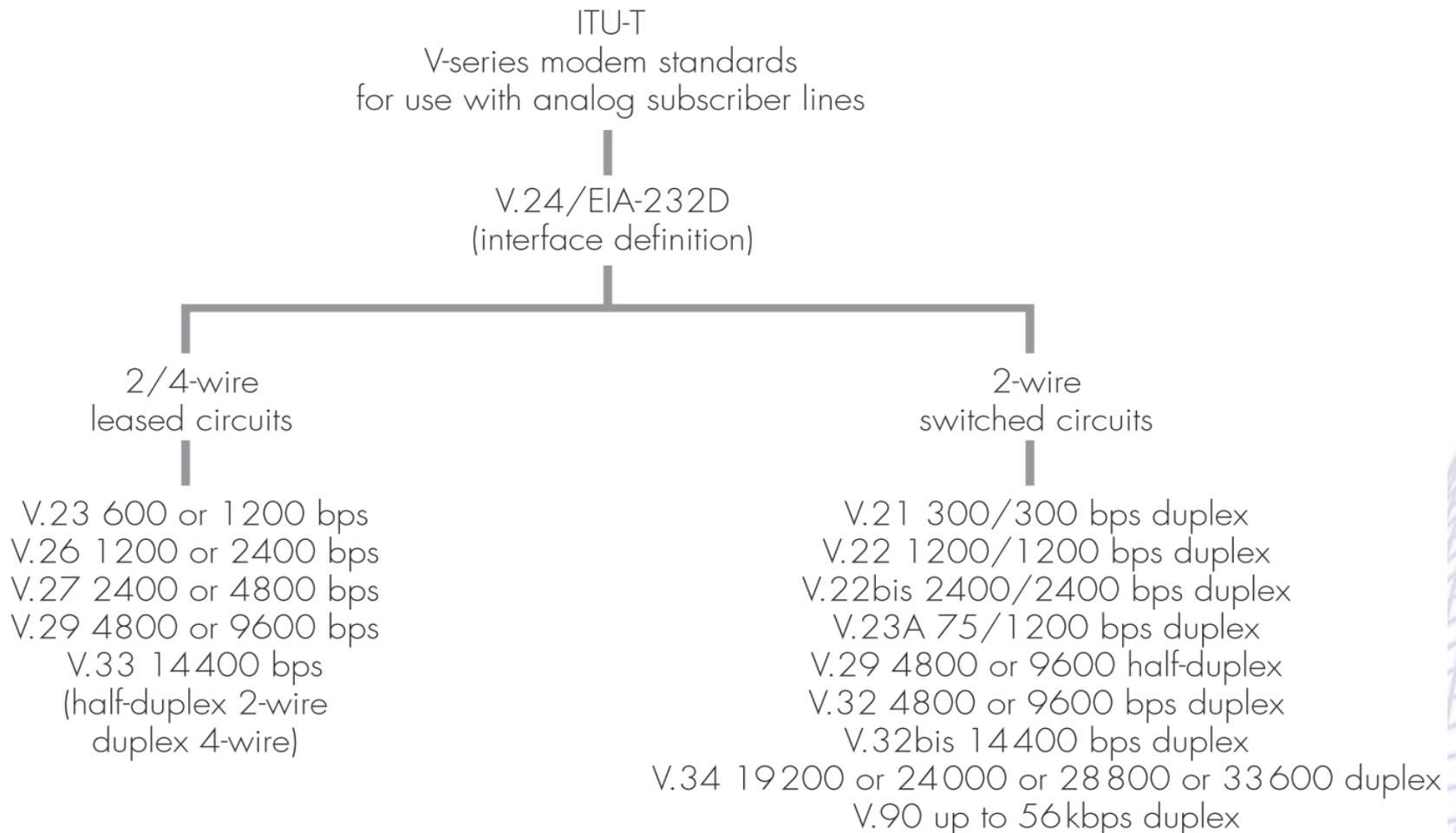


- Non viene violato il teorema di Shannon
- In downlink SNR è migliore perché non ci sono errori di quantizzazione
- In upload invece il campionamento introduce rumore di quantizzazione per cui la banda è limitata a 33 kbps





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 Subscribed 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



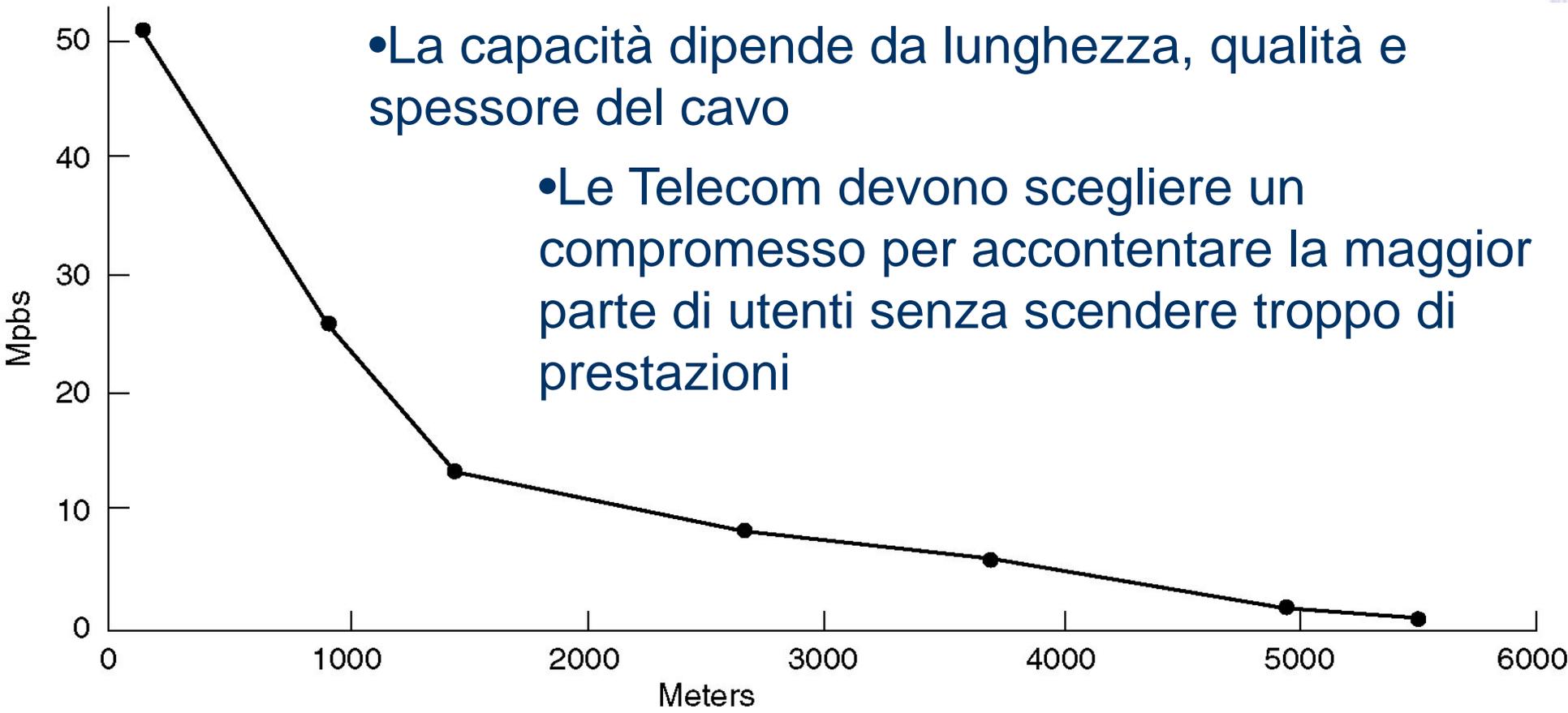
Via il filtro



- 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

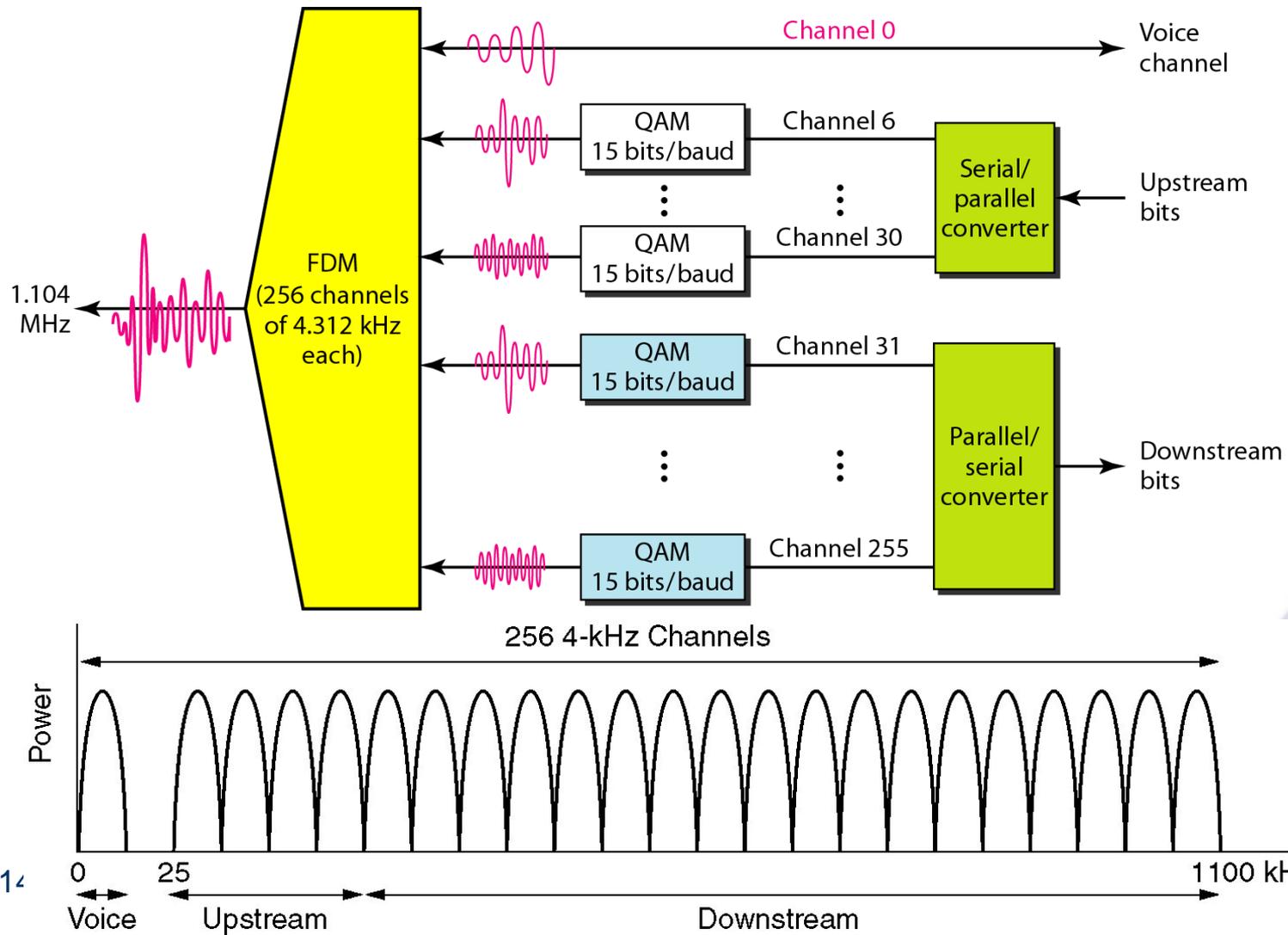


DMT - Discrete Multi Tone

- 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)



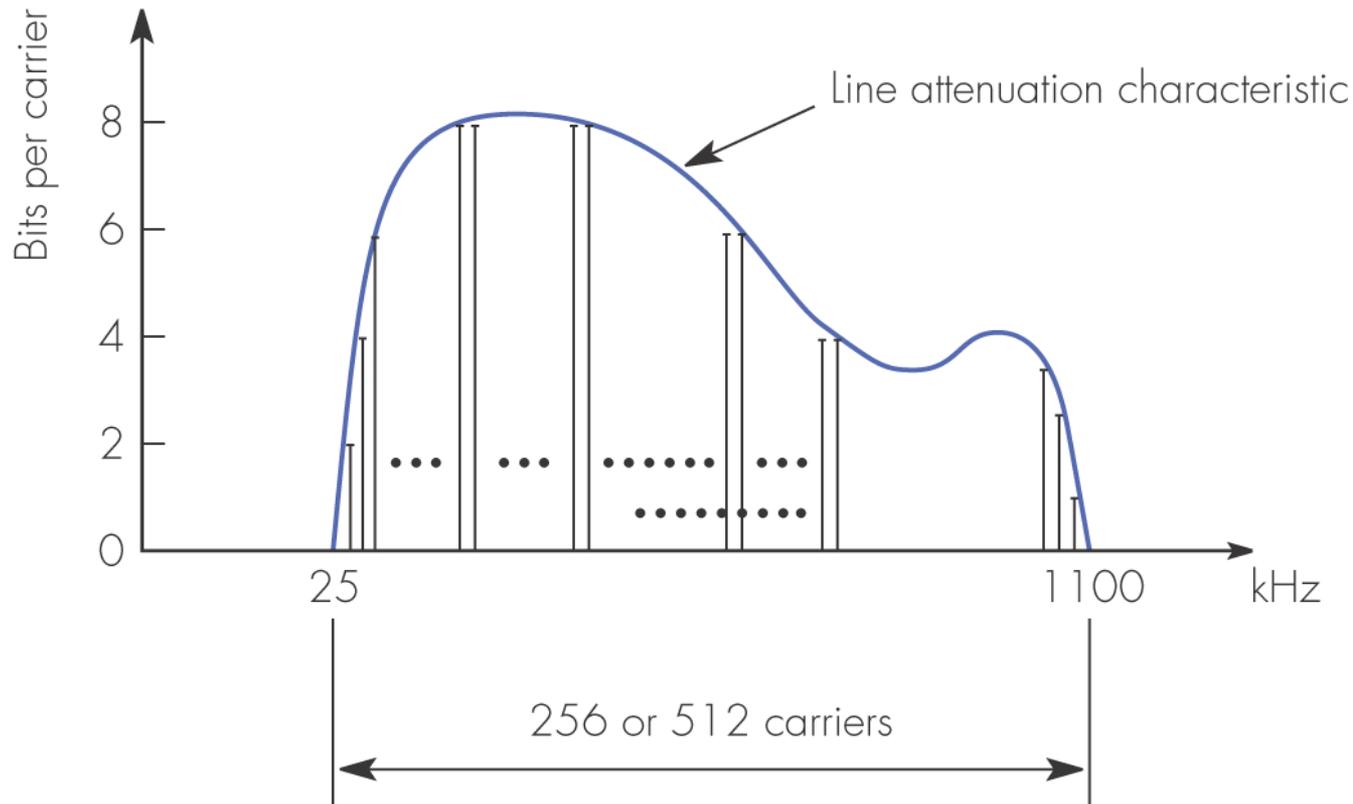
DMT - Discrete Multi Tone





DMT duplex

(a)



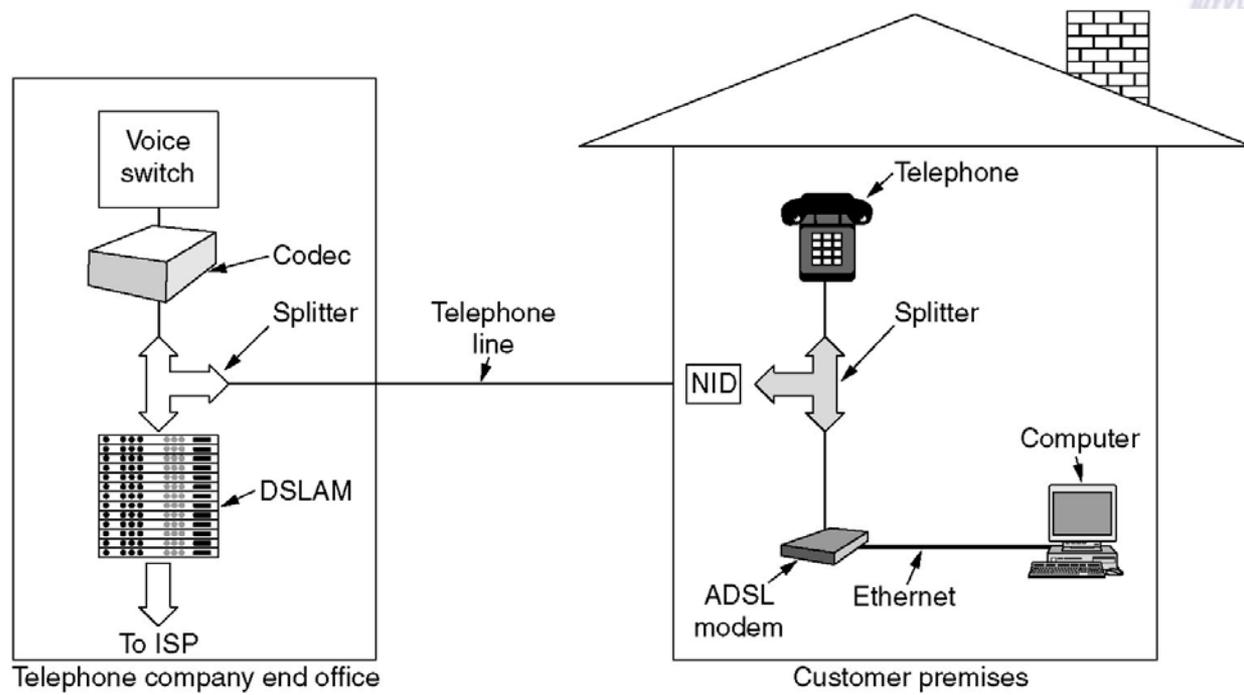
(b)

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

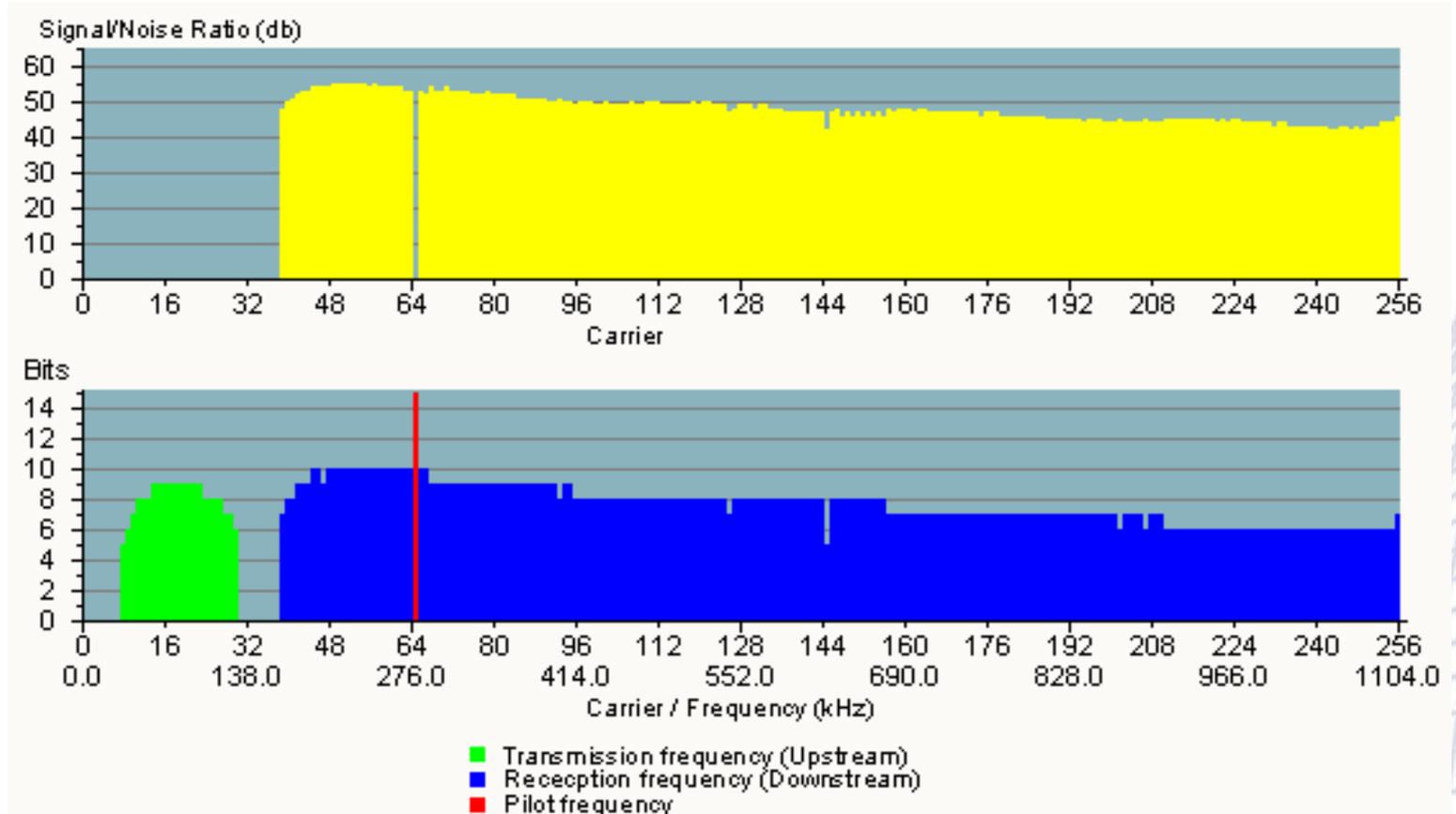
- Lo standard ITU G922.1 permette 8+1 Mbps (down+up), spesso le telecom offrono solo 512+64 kbps o 1024+256 kbps
- Ogni canale offre 4000 baud, 15 bit/ baud → in teoria 13.44 Mbps
- In pratica si raggiungono 8 Mbps su loop corti
- Un filtro analogico (**splitter**) separa la banda POTS dai dati
- Il 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

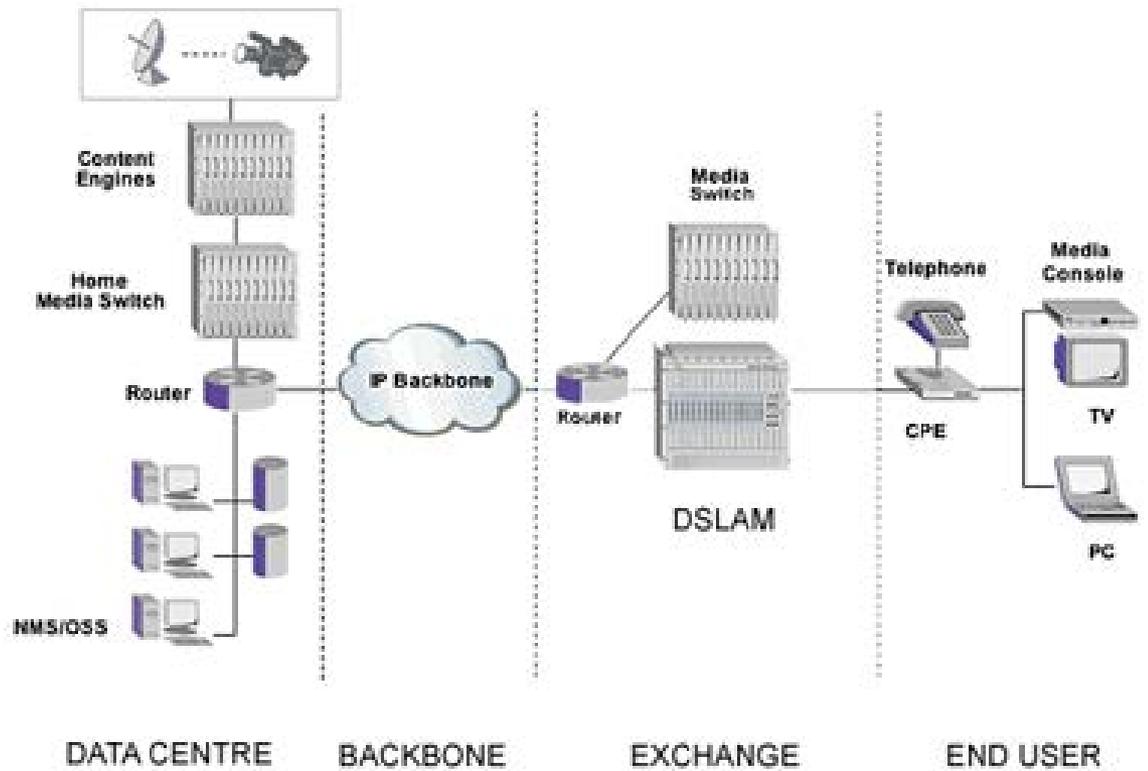
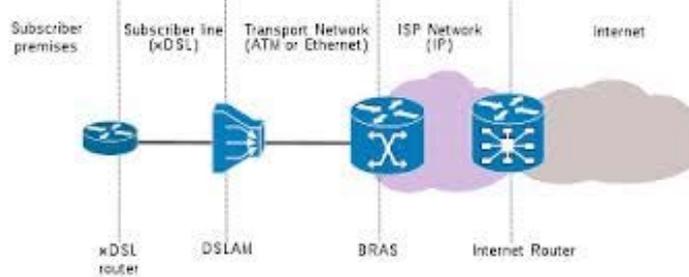




DSLAM

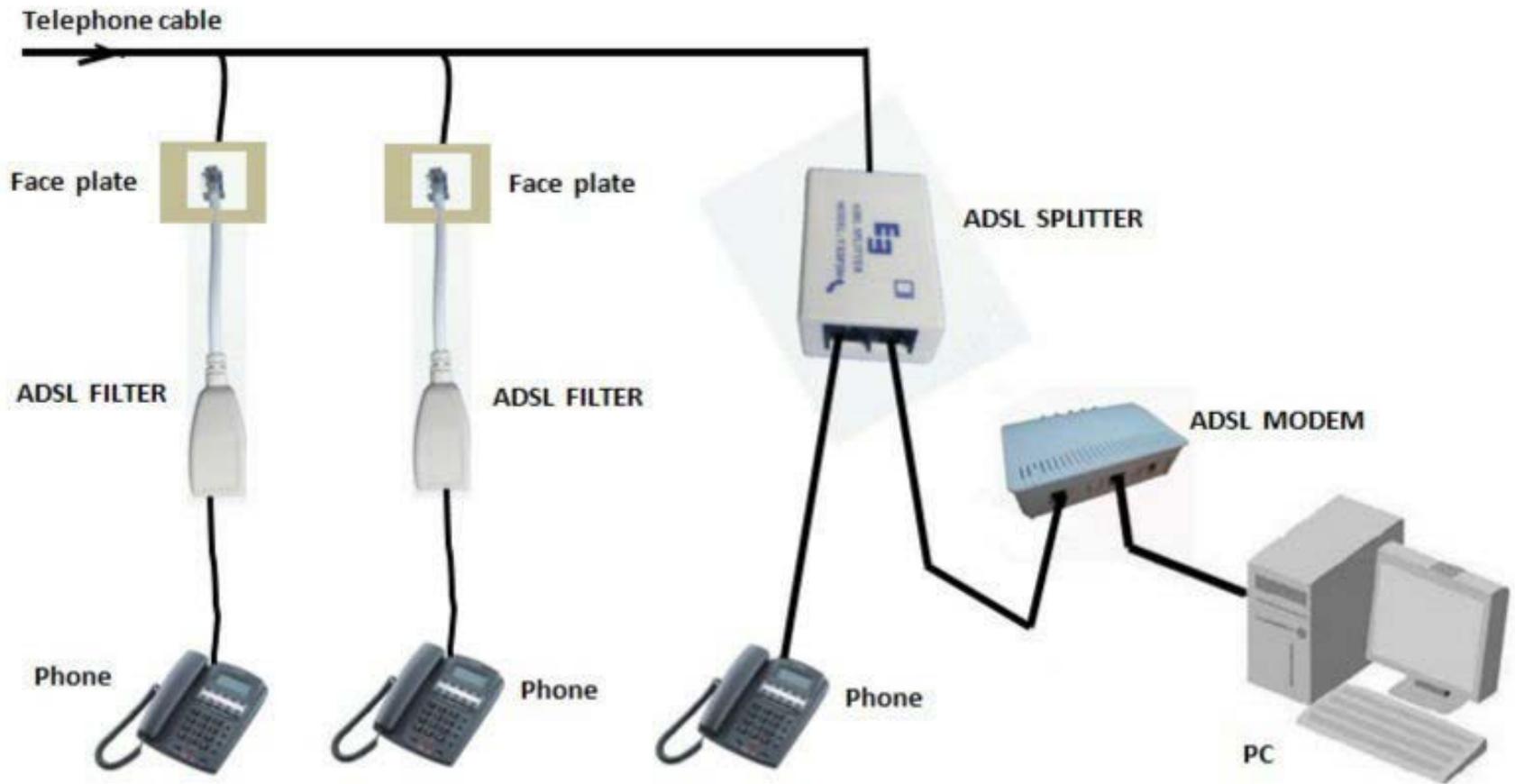


- Il DSLAM riceve i dati dalle varie linee dei clienti e li manda verso le reti ATM dei provider
 - Ogni connessione è identificata da una coppia di parametri VPI (Virtual Path Id. di 16 bit) e VCI (Virtual Channel Id. di 8 bit)
- All'interno della rete del provider i dati viaggiano incapsulati in frame 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

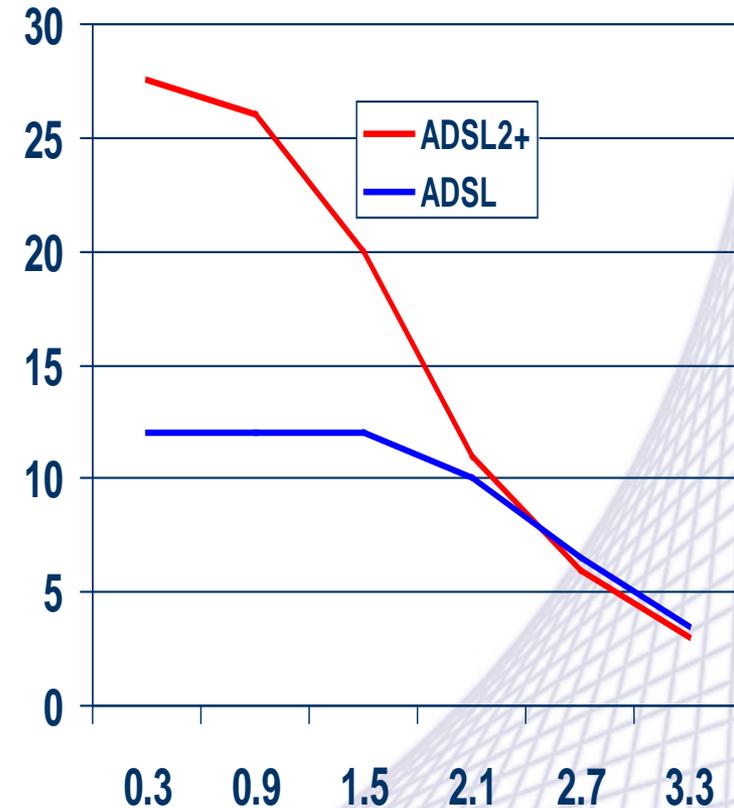
- Nuovi standard ITU G.922.3 e G.922.4 noti come ADSL2
 - Nuove tecniche di modulazione, codifica e framing permettono di arrivare a 12 Mbps (upstream 1 Mbps) molto efficaci in casi di SNR basso
 - Tecniche di Seamless Rate Adaptation regola dinamicamente la banda in base al rapporto SNR misurato istante 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

