

Reti di Calcolatori

Alessandro Longheu

<http://www.diit.unict.it/users/alongheu>

alessandro.longheu@diit.unict.it

Livello Fisico (Physical Layer)



Basi Teoriche – 1

- **Analisi di Fourier**
- **Banda passante di un canale**
- **Velocità massima di un canale**



Basi Teoriche – 2

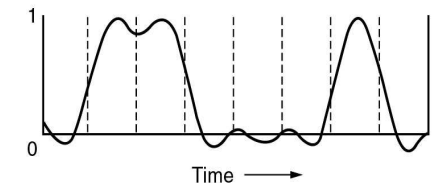
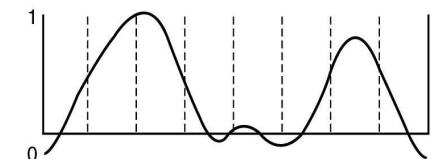
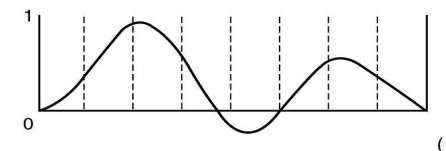
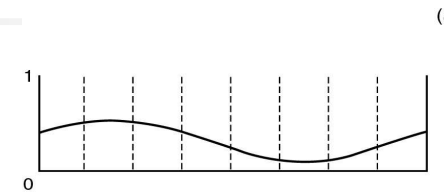
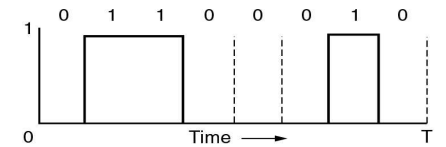
- In base all'**analisi di Fourier**, qualunque funzione periodica può essere scomposta in una serie di seni e coseni:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

- $f=1/T$ è la **frequenza** del segnale periodico di periodo T
- c è una costante
- a_n e b_n rappresentano le ampiezze dei segnali seno e coseno della n -esima **armonica**
- **$g(t)$ è quindi una somma di armoniche**, quella per $n=1$ (prima armonica) con frequenza uguale ad f , le successive con frequenze superiori ($n>1$)

Basi Teoriche – 3

- Trasmissione di un segnale digitale '01100010', e sua approssimazione con le relative armoniche
- all'**aumentare del numero di armoniche** considerate, incrementa il livello di approssimazione del segnale originale (la situazione ideale è avere tutte le armoniche)
- Nella realtà il mezzo trasmissivo attenua il segnale in base alla frequenza: viene definita la **banda passante** come l'intervallo di frequenze in cui la potenza presenta un'attenuazione inferiore ai 3dB
- A volte la banda viene volutamente limitata per gestire meglio il canale
- Non tutte le armoniche di un segnale vengono trasmesse in egual misura (vengono tagliate quelle fuori dalla banda), nasce quindi una **distorsione** (meno armoniche=minore fedeltà)





Basi Teoriche – 4

Velocità massima di un canale senza rumore:

- il **teorema di Nyquist** afferma che:
 - **Velocità massima = $2H \log_2 V$ bit/sec**
 - H è la banda passante, V il numero di livelli discreti di codifica
 - A parità di banda, per trasmettere più velocemente occorre aumentare il numero di livelli V
 - A parità di livelli, la larghezza di banda costituisce comunque un limite alla velocità anche per i canali perfetti



Basi Teoriche – 5

Esempio di limitazione alla velocità per un canale con banda 3Khz

- All'aumentare dei bps, aumenta f , quindi la f di tutte le armoniche, compresa la prima (la minore di tutte), quindi diminuisce il numero di armoniche trasmesse avendo fissa la banda a 3000Hz)

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0



Basi Teoriche – 6

Velocità massima di un canale con rumore casuale:

- **il teorema di Shannon** afferma che:
 - Velocità massima = $H \log_2 (1+S/N)$ bit/sec
 - H è la banda passante, S la potenza del segnale, N quella del rumore
 - Non compare più il numero di livelli di codifica, che nei casi reali di canali rumorosi è quindi influente



Mezzi Trasmissivi

- Guidati
 - mezzi magnetici
 - doppino
 - cavo coassiale
 - fibra ottica
- Non guidati
 - radio
 - microonde
 - infrarossi
 - laser
 - satelliti



Mezzi Trasmissivi guidati – 1

Mezzi magnetici

- Una scatola 60x60x60cm con 1000 nastri da 200GB, contiene un totale di 200TB (1600Tb) di dati
- Se il trasporto richiede un'ora (3600 sec), la **banda effettiva** è di 444Gbps, maggiore di qualunque rete attuale
- Il **costo di trasporto** inoltre è molto basso (ad esempio, 5000\$ per 200TB comportano un costo di circa 3 centesimi di dollaro per GB)
- *Mai sottovalutare la larghezza di banda di un camioncino che percorre l'autostrada*
- **Aspetto negativo: la latenza** (ritardo di inizio nel trasferimento dati)



Mezzi Trasmissivi guidati – 2

Doppino

- Costituito da due conduttori di rame da 1mm ciascuno, isolati e avvolti ad elica per annullare il campo elettromagnetico ed impedire il comportamento da antenna
- Due **tipologie**, **UTP** (Unshielded twisted pair) non schermato e **STP** (Shielded Twisted Pair) la cui schermatura funge da massa
- Diverse **categorie**, definite nello **Standard 568 ANSI/EIA** (American National Standards Institute/Electronic Industries Association)
- diverse **connessioni** (cavo **crossover** o **straight-thru**)



Mezzi Trasmissivi guidati – 3

Doppino: Categorie (Standard 568 ANSI/EIA)

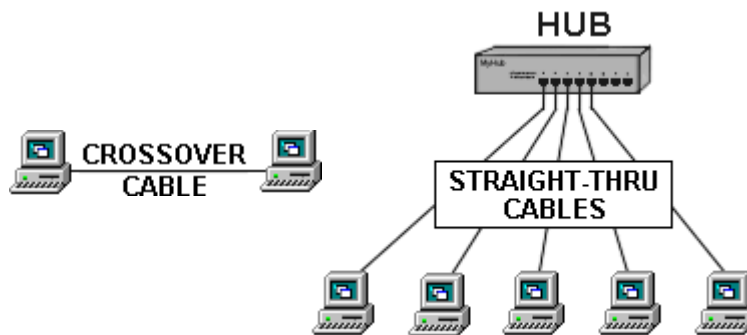
Categoria	Max Data Rate	Applicazioni
CAT 1	< 1 Mbps	telefonia di base (POTS, plain old telephone service) Basic Rate ISDN
CAT 2	4 Mbps	IBM Token ring
CAT 3	16 Mbps	Ethernet
CAT 4	20 Mbps	16 Mbps Token Ring
CAT 5	100 Mbps 1000 Mbps (4 coppie)	Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 155 Mbps ATM
CAT 5E	100 – 350 Mbps	Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 155 Mbps ATM
CAT 6	550 – 1000 Mbps	Larga banda – non standardizzato
CAT 7	700 – 1000 Mbps	Larga banda – non standardizzato

http://www.bytepile.com/cable_categories.php

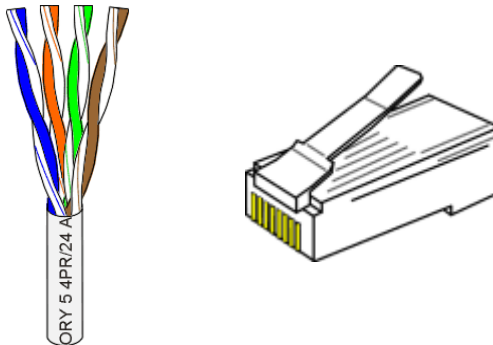
<http://www.connectworld.net/syscon/support.htm> © 2005 – Alessandro Longheu

Mezzi Trasmissivi guidati – 4

Doppino: Conessioni



Cavi e connettori



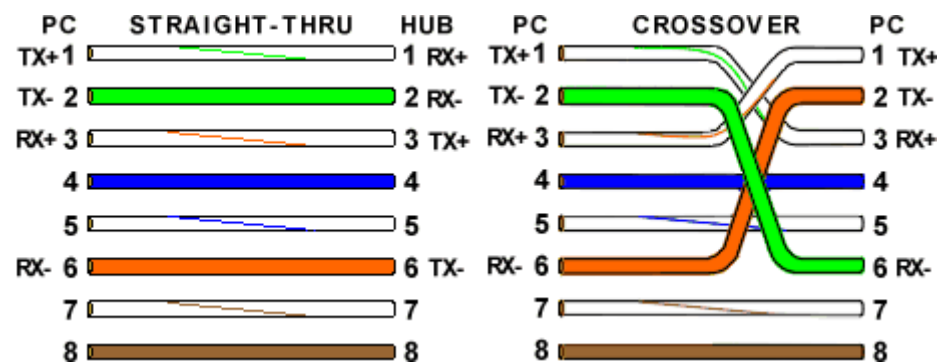
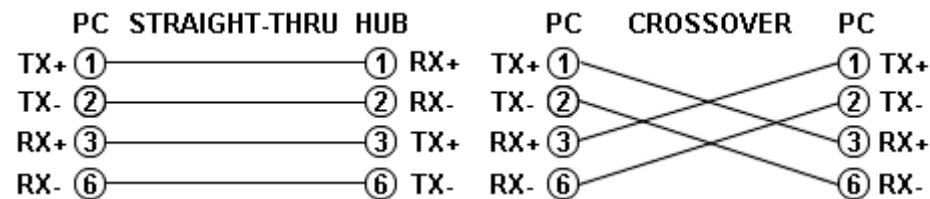
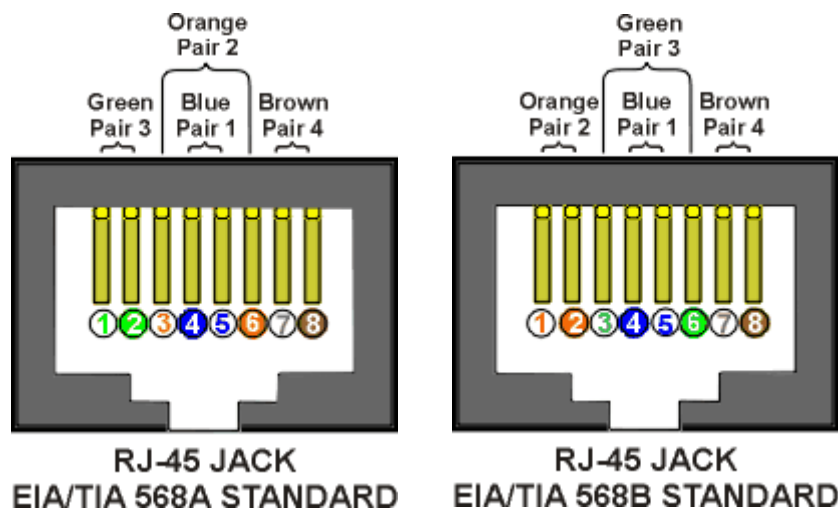
Attrezzi



<http://www.duxcw.com/digest/Howto/network/cable/cable1.htm>

Mezzi Trasmissivi guidati – 5

Doppino: Codice colori

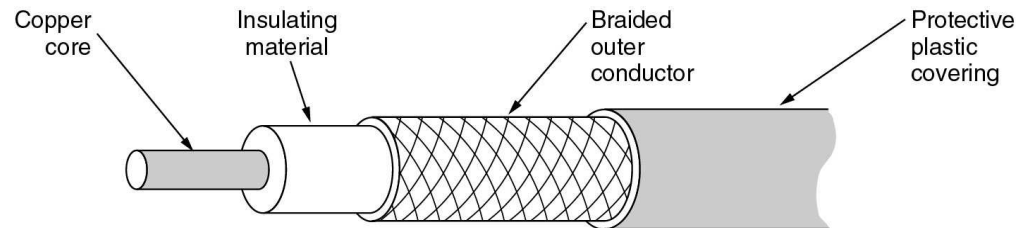


<http://www.duxcw.com/digest/Howto/network/cable/cable1.htm>

Mezzi Trasmissivi guidati – 6

Cavo coassiale

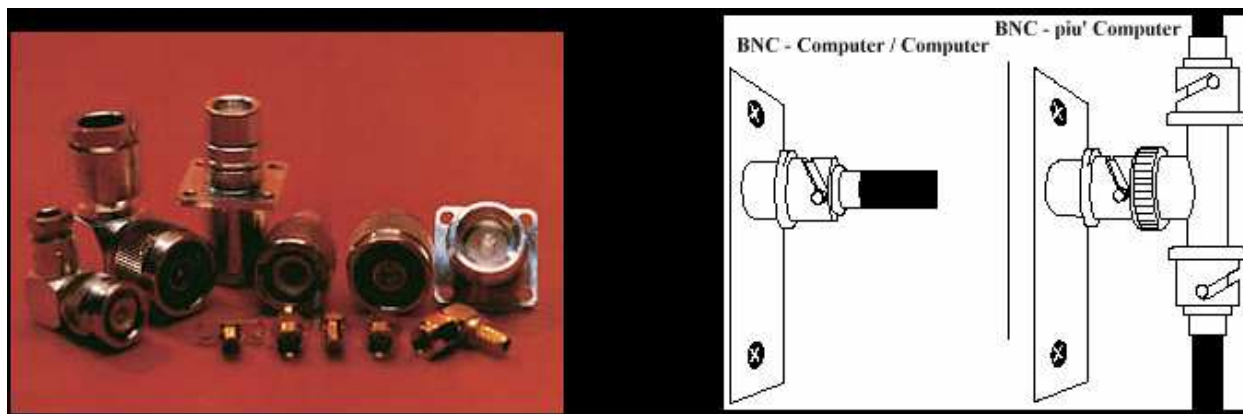
- Un cavo coassiale è costituito da un conduttore interno in rame rivestito da uno strato di materiale isolante avvolto in una calza metallica flessibile in rame o alluminio il tutto circondato da una guaina isolante esterna.



- L'anima può essere un filo pieno o conduttori intrecciati.
- Per ambienti con interferenze sono disponibili cavi con 2 strati di materiale isolante e 2 calze metalliche.
- Rispetto al doppino il cavo coassiale offre una migliore protezione ai disturbi, una minore attenuazione e minore potenza richiesta.
- Impedenze da 50Ω (reti pc) e 75Ω (tv)
- Due tipologie: **thinnet** (sottile) e **thicknet** (spesso)

Mezzi Trasmissivi guidati – 7

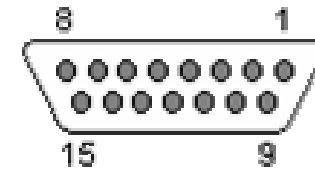
- Il **cavo coassiale Thinnet** (noto anche come RG58) ha un diametro di $\frac{1}{4}$ ", è flessibile, facile da installare, e largamente utilizzato.
- lunghezza massima del cavo 185 metri
- impedenza del cavo pari a 50 ohm
- connettore **BNC** (Bayonet Neill Concelman connector, noto anche come British Naval Connector o Bayonet Nut Connector)



http://atreides.altervista.org/doc/17_coassiale.htm

Mezzi Trasmissivi guidati – 8

- Il **cavo coassiale Thicknet** ha un diametro maggiore del thinnet di circa $\frac{1}{2}$ ", e risulta meno flessibile rispetto al Thinnet.
- lunghezza massima del cavo 500 metri grazie al maggiore spessore del conduttore interno
- impedenza del cavo pari ancora a 50 ohm
- connettore Attachment Unit Interface (**AUI**), che consente il collegamento al Media Access Unit (**MAU**), il transceiver incorporato nella scheda di rete (Network Interface Controller o **NIC**).



Pin	Description
1	control in circuit shield
2	control in circuit A
3	data out circuit A
4	data in circuit shield
5	data in circuit A
6	voltage common
7	?
8	control out circuit shield
9	control in circuit B
10	data out circuit B
11	data out circuit shield
12	data in circuit B
13	voltage plus
14	voltage shield
15	?

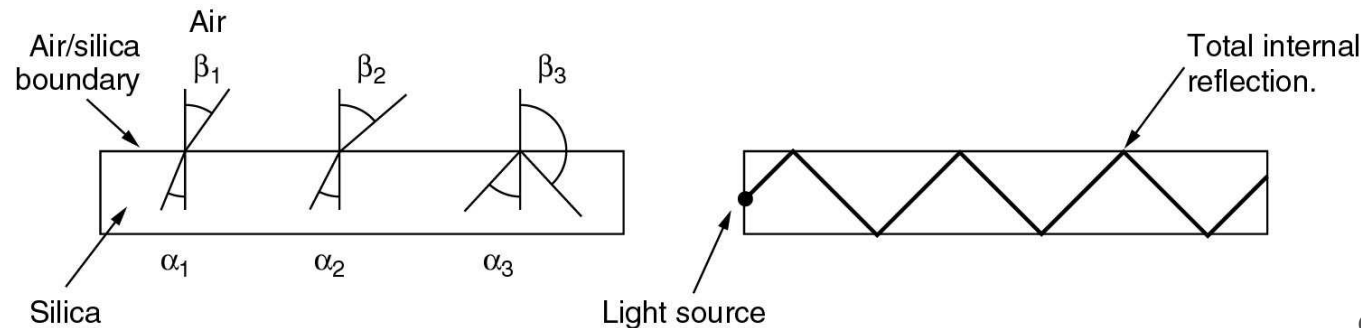
<http://www.tacktech.com/display.cfm?ttid=9>

<http://www.webopedia.com/TERM/M/MAU.html>

Mezzi Trasmissivi guidati – 8

Fibra ottica

- Un sistema di trasmissione ottico contiene **tre componenti**: sorgente luminosa (LED o laser), mezzo trasmissivo (fibra) e ricevitore (fotodiodo)
- La trasmissione avviene tramite **riflessione totale** (angolo di incidenza maggiore del valore critico)
- **Vantaggi** rispetto al rame: maggiore velocità, maggiore banda, isolamento ai disturbi em, maggiore distanza coperta senza ripetizione, minore spessore e peso, maggiore protezione (in caso di intromissione, si nota immediatamente perchè il segnale si interrompe)
- **Svantaggi**: maggiore costo, maggiore delicatezza, unidirezionalità





Mezzi Trasmissivi guidati – 9

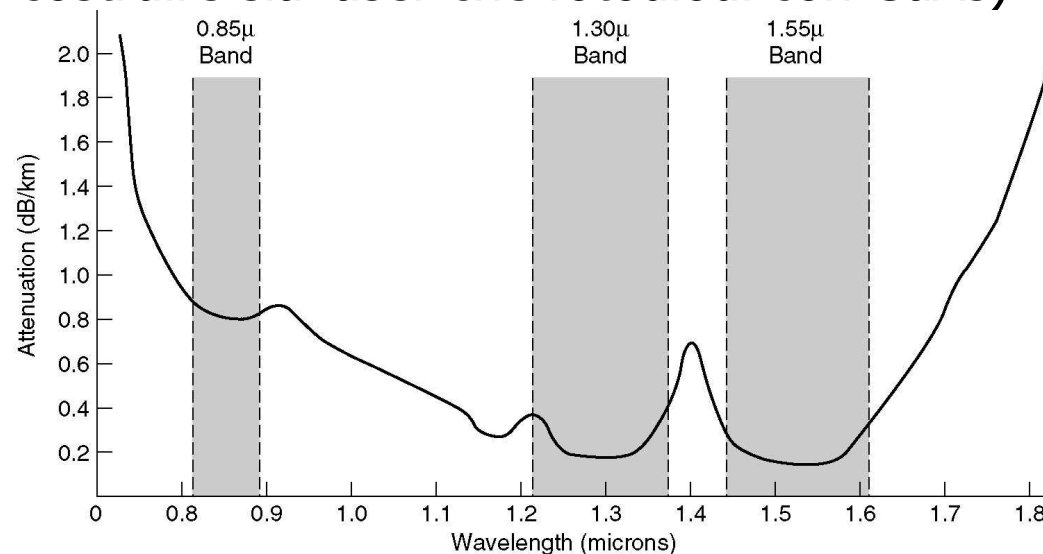
Fibra ottica

- Esistono due **tipologie** di fibra: **multimodale** (50µm di diametro) se più raggi possono essere inviati, con angoli diversi per non interferirsi (tutti comunque maggiori di quello critico), **monomodale** (8-10µm di diametro) se la dimensione della fibra è di poche lunghezze d'onda e quindi si comporta come guida d'onda, permettendo il passaggio di un solo raggio
- I parametri di confronto per le due tipologie sono:
 - costo (maggiore per la monomodale)
 - sorgente (necessaria una ad ampio spettro per la monomodale)
 - banda (50 Gbps per 100Km senza ripetitori per la monomodale)
- la **banda massima** con la tecnologia attuale delle fibre è di 50 Tbps, limite non raggiunto invece dalle CPU, suggerendo quindi di fare prevalere la comunicazione sull'elaborazione ove possibile

Mezzi Trasmissivi guidati – 10

Fibra ottica: problemi di trasmissione – 1

- **attenuazione** = $10 \log_{10}(ET/ER)$, espressa in dB per Km
- ET/ER è il rapporto fra energia trasmessa e ricevuta
- l'attenuazione dipende dalla lunghezza d'onda del segnale
- si usano tre lunghezze d'onda, tutte nel campo dell'infrarosso con attenuazioni diverse (quella con la maggiore attenuazione consente tuttavia di costruire sia laser che fotodiodi con GaAs)





Mezzi Trasmissivi guidati – 11

Fibra ottica: problemi di trasmissione – 2

- **dispersione cromatica:** gli impulsi si espandono durante la propagazione, con potenziali sovrapposizioni
- per evitare le sovrapposizioni, occorre distanziare gli impulsi, ma questo comporta una minore frequenza
- il problema dovrebbe essere risolto utilizzando i **solitoni**, impulsi di forma particolare



Mezzi Trasmissivi guidati – 12

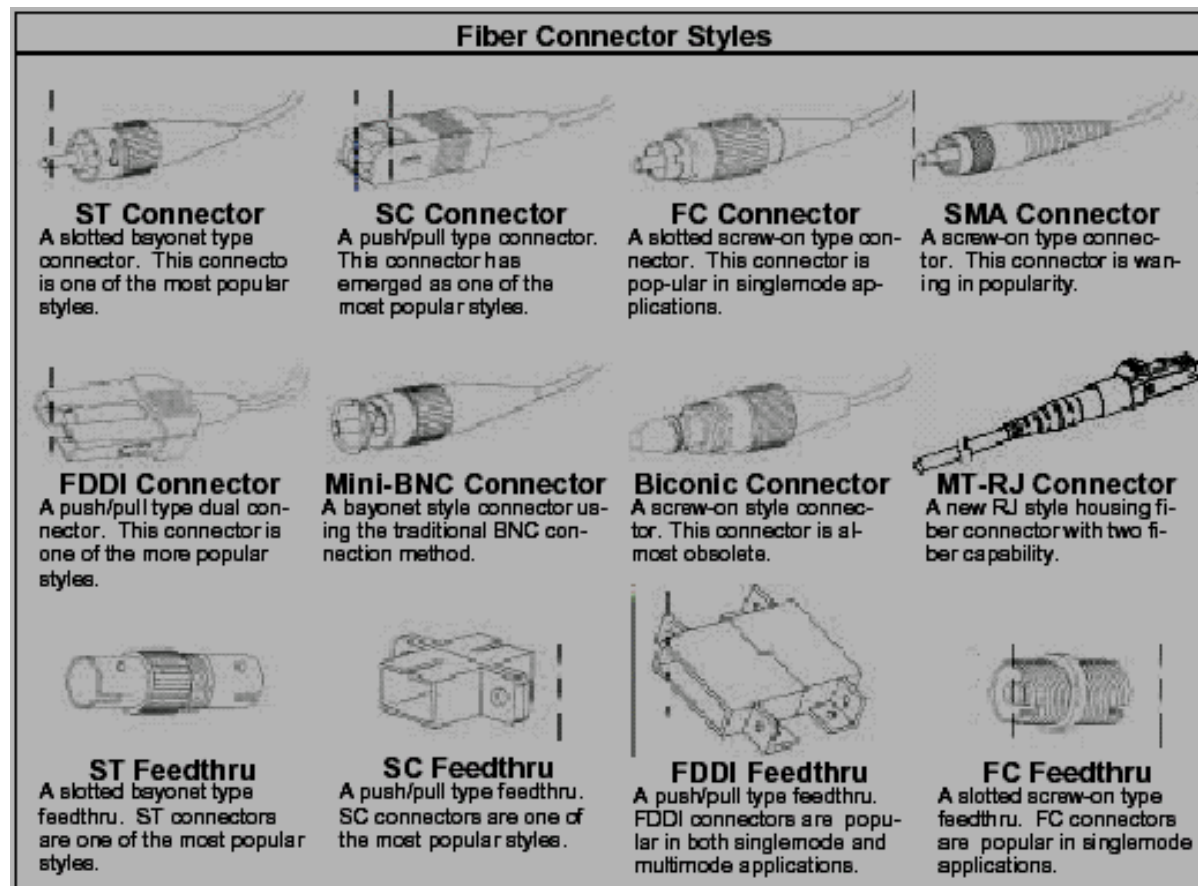
Cavi in fibra

- tre possibili **connessioni**: tramite connettori (10% di attenuazione), giunzione meccanica (10% di attenuazione), fusione tramite arco voltaico (la migliore, ma costosa)
- **generazione** del segnale: LED o Laser
- **ricezione** del segnale: fotodiodo, che limita la banda a 1Gbps (il vero collo di bottiglia del sistema)

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Fiber type	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

Mezzi Trasmissivi guidati – 13

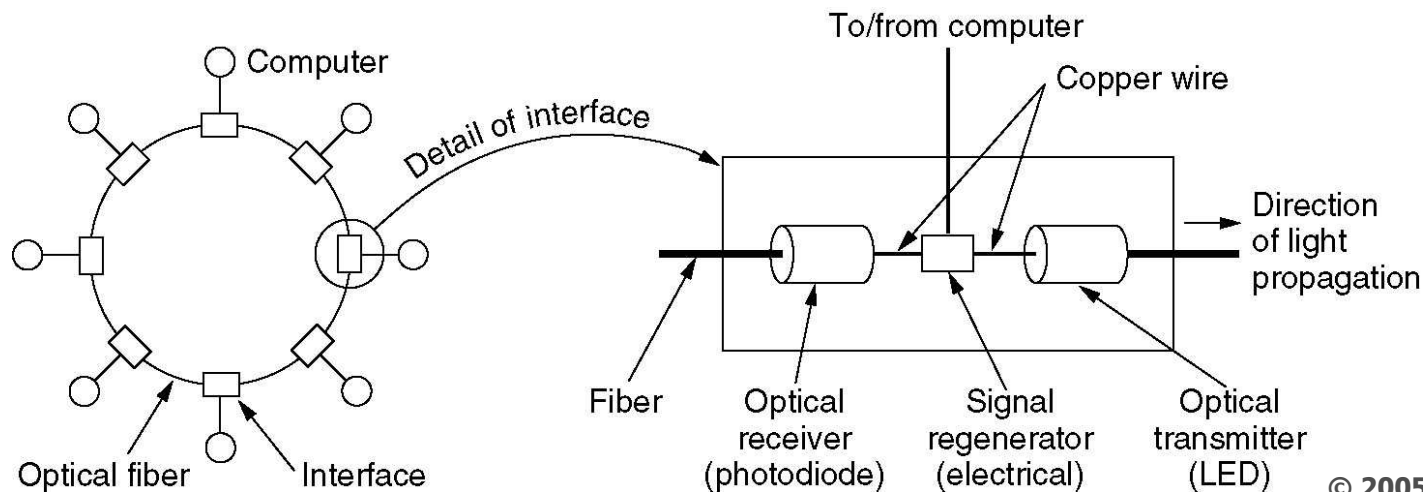
Connettori per fibra



Mezzi Trasmissivi guidati – 14

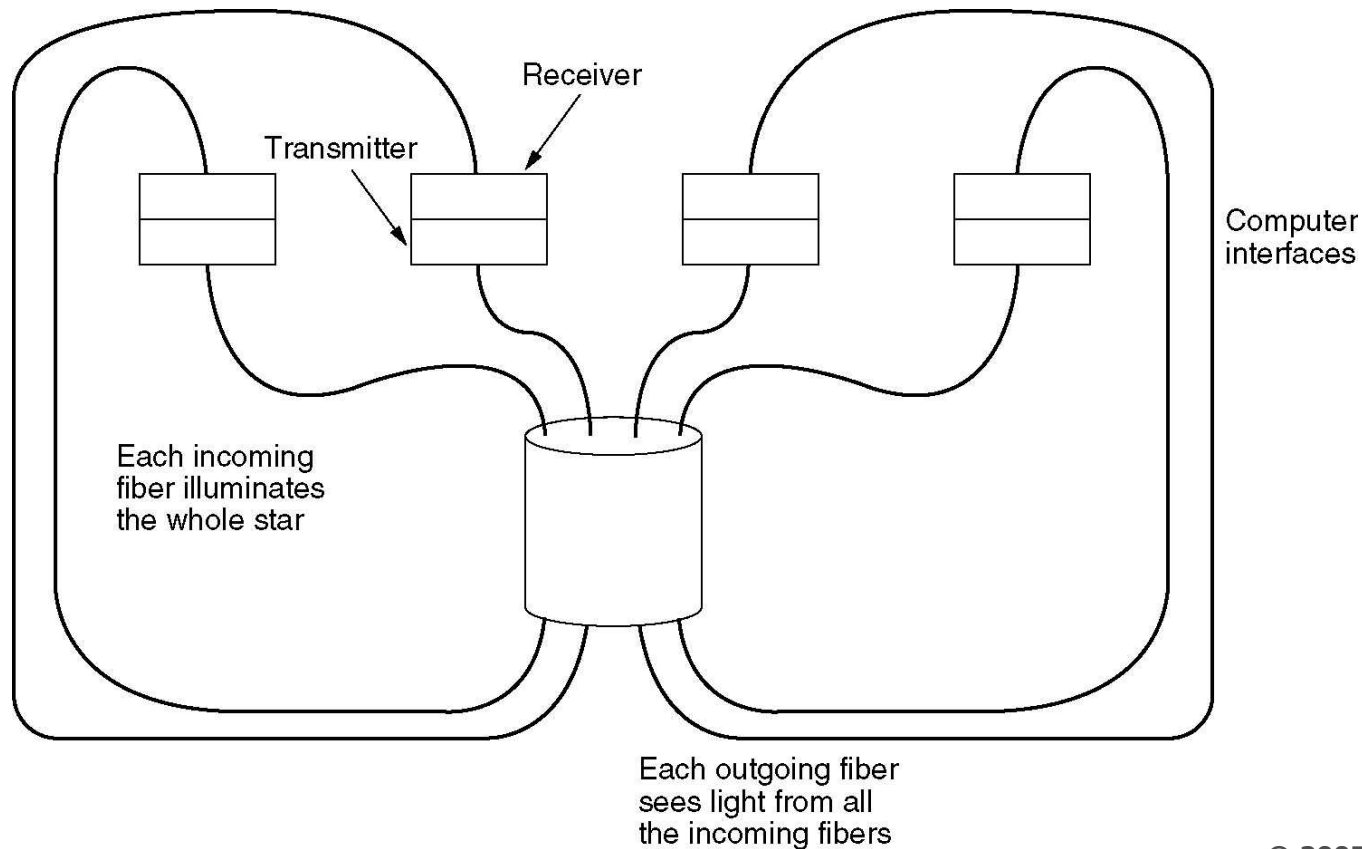
Reti in fibra: anello, con interfaccia attiva o passiva.

- **l'interfaccia passiva** prevede due spine fuse nella fibra, una per il LED e l'altra per il fotodiodo.
 - Vantaggi: basso costo, fault-tolerant.
 - Svantaggi: attenuazione, limite alla dimensione della rete
- **l'interfaccia attiva** rigenera il segnale, elettricamente o otticamente.
 - Vantaggi: no attenuazione, dimensioni virtualmente illimitate.
 - Svantaggi: costosa, possibili interruzioni dell'anello.



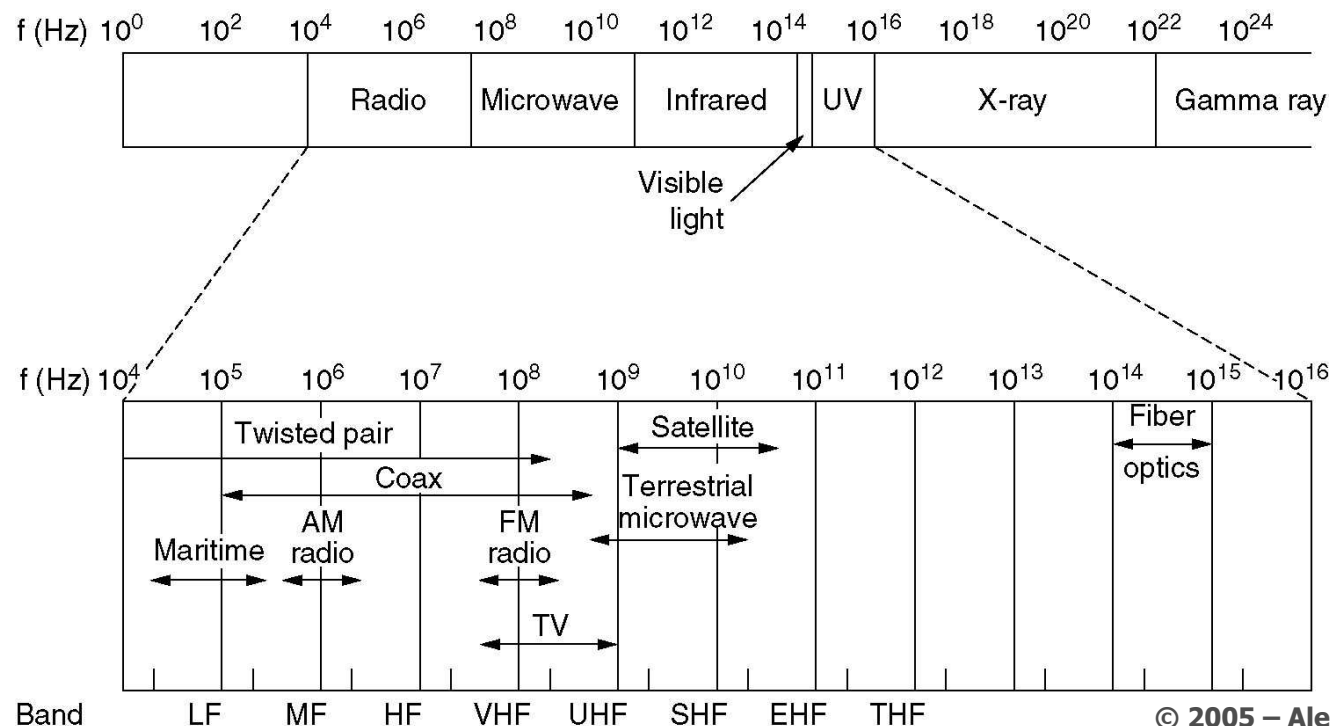
Mezzi Trasmissivi guidati – 15

Reti in fibra: stella con interfaccia passiva.



Mezzi Trasmissivi non guidati – 1

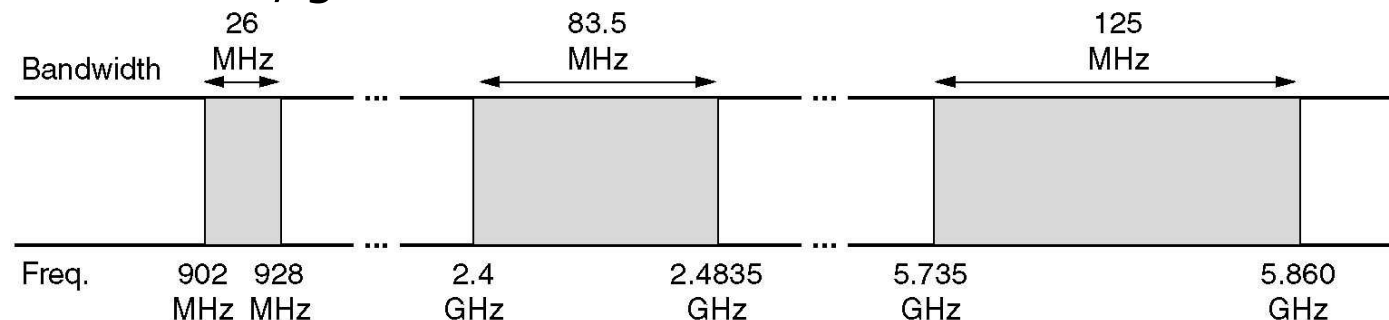
- Le trasmissioni wireless sono il futuro per i dispositivi mobili, al pari della fibra (il futuro per i dispositivi fissi)
- Spettro elettromagnetico:** onde radio, microonde e infrarosso possono essere usate per trasmettere variando ampiezza, frequenza, fase, mentre UV, raggi X e gamma sono dannosi per gli organismi, non passano i muri e sono difficili da generare



Mezzi Trasmissivi non guidati – 2

Politica di gestione dello spettro

- l'agenzia WARC della ITU-T emana raccomandazioni mondiali per l'utilizzo della banda, (la FCC si occupa degli USA)
- le frequenze possono essere suddivise o meno
- in caso di suddivisione delle frequenze, sono stati utilizzati tre algoritmi: concorso di bellezza, lotteria, asta
- in assenza di suddivisione, si limita la potenza per evitare interferenze: bande ISM (industrial, scientifical, medical) libere per telecomandi, telefoni cordless, giocattoli.





Mezzi Trasmissivi non guidati – 3

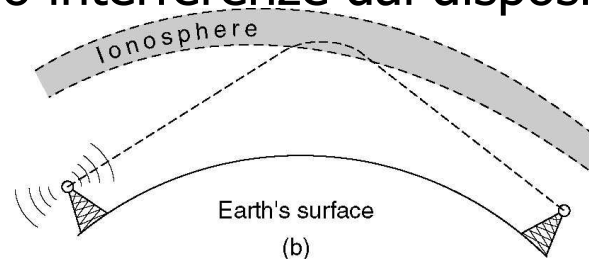
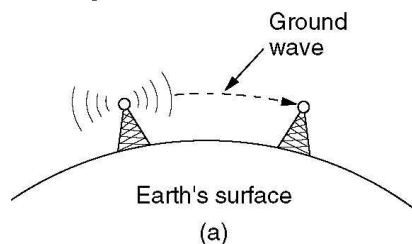
Meglio banda larga o stretta? Ed in quale collocazione spettrale?

- **posizione della banda:** la tecnologia attuale consente la trasmissione di pochi bit/Hz alle basse frequenze, e di 8bit/Hz per le alte, quindi a parità di larghezza di banda è meglio avere una collocazione spettrale più alta
- **larghezza della banda:** fissata la posizione spettrale, le trasmissioni possono operare con una banda ristretta, con il vantaggio di avere la migliore ricezione a parità di potenza (rapporto W/Hz), oppure operare con una banda larga, utilizzando in questo caso le due varianti di **spettro distribuito a frequenza variabile o a sequenza diretta**
- il rapporto f - λ nel vuoto, $\lambda f = c$, e la relazione differenziale $\Delta f = -c(\Delta \lambda / \lambda^2)$ consentono di valutare il legame fra banda in termini di frequenza ed in termini di lunghezza d'onda.

Mezzi Trasmissivi non guidati – 4

Trasmissione radio

- Le **proprietà** delle onde radio dipendono dalla loro frequenza:
- a **basse frequenze** ($<100\text{MHz}$) le onde radio:
 - attraversano bene gli ostacoli;
 - presentano una elevata omnidirezionalità (seguono la curvatura terrestre);
 - presentano una rapida diminuzione della potenza all'aumentare della distanza.
- ad **alte frequenze** ($>100\text{MHz}$), tendono a comportarsi come la luce:
 - rimbalzano contro gli ostacoli;
 - tendono a viaggiare in linea retta (si sfrutta la riflessione della ionosfera, richiedono un preciso allineamento degli apparati, servono più ripetitori);
 - preservano la loro potenza per distanze maggiori, grazie alla loro direzionalità;
 - sono assorbite dalla pioggia
- A tutte le frequenze subiscono interferenze dai dispositivi elettrici





Mezzi Trasmissivi non guidati – 5

Trasmissione a microonde

- a causa della loro frequenza ($>100\text{MHz}$):
 - viaggiano in linea retta;
 - richiedono un preciso allineamento degli apparati;
 - richiedono una serie di ripetitori
 - non passano bene gli ostacoli
 - possono rifrangersi negli strati dell'atmosfera e ritardare (multipath fading), problema che dipende dalle condizioni climatiche e dalla frequenza, richiedendo un 10% in più di canali utilizzati come riserva di banda
 - sono assorbite dalla pioggia sopra i 4 GHz (si usa ancora la riserva di banda)
- hanno però il vantaggio di:
 - coprire lunghe distanze;
 - non richiede diritto di passaggio come i cavi (basta lo spazio per il ripetitore)
 - sono meno costose della fibra
- Sono quindi molto usate in telecomunicazioni



Mezzi Trasmissivi non guidati – 6

Trasmissione a infrarossi

- Rappresentano un sistema economico di trasmissione, direzionale, difficile da intercettare e libero da licenze, ma non in grado di passare gli ostacoli

Trasmissione a onde luminose

- Utilizza il laser ed un rilevatore con fotodiodo, può fornire molta banda a costi ragionevoli, è direzionale, difficile da intercettare e libero da licenze, ma non in grado di passare gli ostacoli e sensibile alla pioggia, nebbia e correnti di convezione



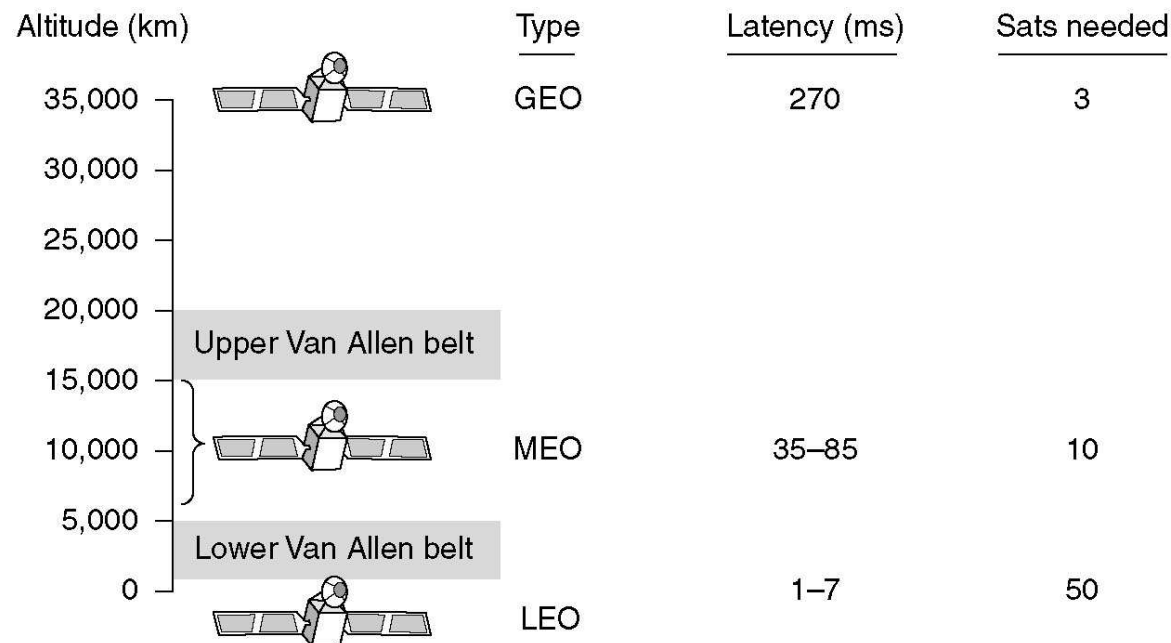
Mezzi Trasmissivi non guidati – 7

Satellite

- I **primi satelliti** sono stati palloni aerostatici metallizzati e la luna, ma solo i satelliti artificiali sono in grado di amplificare il segnale da ritrasmettere
- Un satellite artificiale contiene diversi **trasponder**, ossia ricetrasmittitori di microonde, ognuno in ascolto su una parte dello spettro e che ritrasmette su un'altra per evitare interferenze con il segnale di arrivo; la modalità di ricevere un segnale da una parte del pianeta e ritrasmetterlo su un'altra è chiamata **bent pipe** (tubo piegato)
- I primi satelliti artificiali riflettevano il segnale con una singola **emissione (impronta)** molto estesa; la diminuzione dei costi ha permesso di inviare il segnale su porzioni variabili sino a poche centinaia di Km (**spot**)
- Il **periodo orbitale** di un satellite dipende dalla sua altitudine. A circa 35800 Km vale 24 ore, in prossimità della superficie terrestre è di 90 minuti. Questo incide sul numero di satelliti necessari per coprire il pianeta

Mezzi Trasmissivi non guidati – 8

- Le **altitudini ammesse** per i satelliti sono tre: satelliti geostazionari (GEO), satelliti ad orbita media (MEO), satelliti ad orbita bassa (LEO)
- Per ogni altitudine, esiste un **ritardo di propagazione**





Mezzi Trasmissivi non guidati – 9

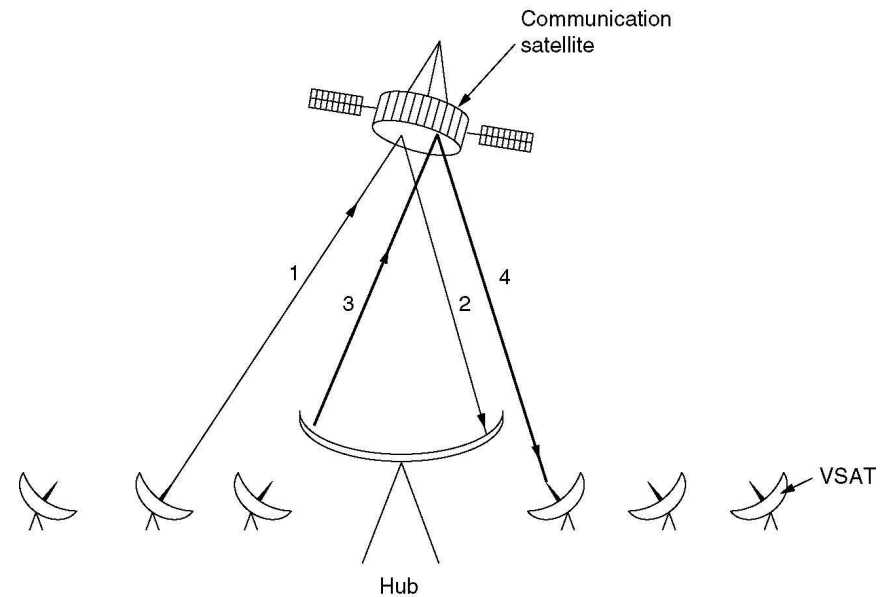
- A parità di orbita, diversi satelliti possono essere allocati ad una distanza opportuna per evitare interferenze; il problema dell'assegnazione degli **slot orbitali** è gestito dall'ITU; per mantenere la posizione, il satellite effettua continuamente lo **station keeping**
- Esiste anche il problema dell'**assegnazione della banda** di frequenza, anche questo gestito dall'ITU

Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost

Mezzi Trasmissivi non guidati – 10

Satelliti geostazionari

- Il primo satellite (Telstar) è stato lanciato nel 1962
- Sono molto utilizzati, e nel prossimo futuro potrebbero esserlo anche di più con il sistema **VSAT**
- Il VSAT richiede antenne con diametro $< 1\text{m}$ e potenza di circa 1W , con trasmissione in uplink di 19.2Kbps e in download di 512Kbps
- Essendo piccole, le stazioni non riescono a comunicare direttamente fra loro, in tal caso si utilizza un'antenna più potente (**hub**)
- Soluzione **economica** e per tutti (zone povere o rurali), anche se con **maggiore ritardo**





Mezzi Trasmissivi non guidati – 11

Satelliti a quote medie (MEO)

- Impiegano circa 6 ore per compiere un giro intorno al pianeta
- Essendo a quota inferiore, coprono aree ridotte ma richiedono meno potenza e presentano un minore ritardo di propagazione
- Poco usati per le telecomunicazioni, molto dal sistema GPS

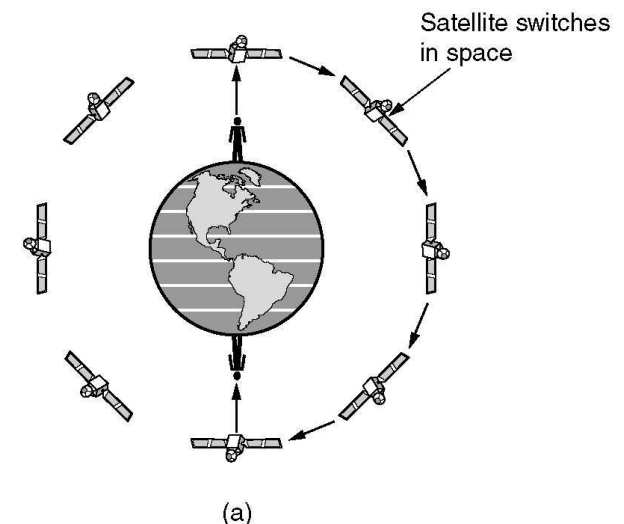
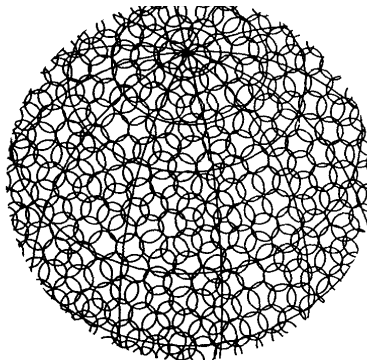
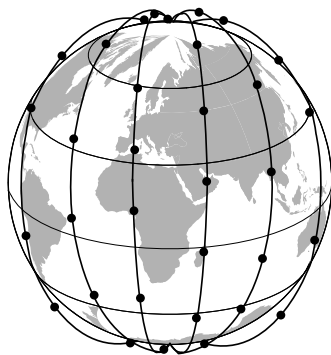
Satelliti a quote basse (LEO)

- Il numero di satelliti necessari è piuttosto alto (decine)
- Analogamente ai MEO, coprono aree ancora meno estese, ma richiedono poca potenza ed hanno meno ritardo di tutti

Mezzi Trasmissivi non guidati – 12

Satelliti LEO: IRIDIUM

- Progetto proposto da Motorola nel 1990, richiede 66 satelliti
- Entrato in servizio nel 1998, con notevole ritardo, fallì a causa dell'ormai consolidatosi servizio di telefonia cellulare
- Ripartito nel 2001, il servizio offre telefonia e trasmissione dati satellitare, utile per utenze particolari in luoghi con infrastrutture di comunicazione carenti
- I satelliti iridium sono posti a 750Km di quota, ed organizzati in catene latitudinali; ogni satellite ha 48 spot, per un totale di 1628 che coprono il pianeta
- La comunicazione fra gli utenti avviene nello spazio



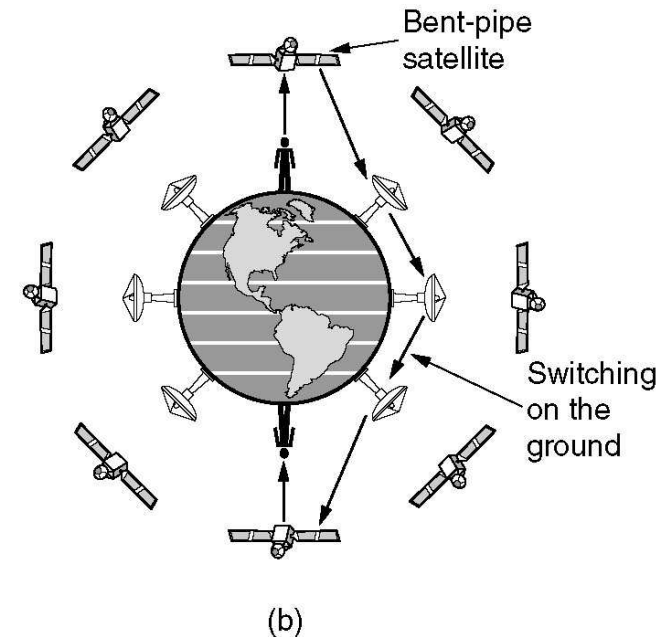
Mezzi Trasmissivi non guidati – 13

Satelliti LEO: GLOBALSTAR

- Progetto alternativo ad Iridium, usa 48 satelliti
- Opera in modalità bent-pipe

Satelliti LEO: Teledesic

- Progettato da Microsoft per gli utenti internet
- Prevede un data rate di 100Mbps in uplink e 720Mbps in downlink
- Si basa su piccole antenne simili al sistema VSAT
- Previsto per il 2005





Mezzi Trasmissivi non guidati – 14

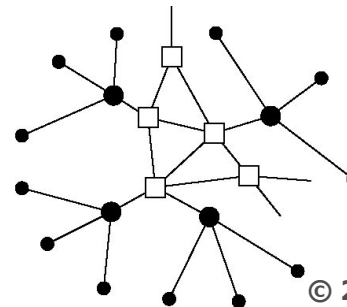
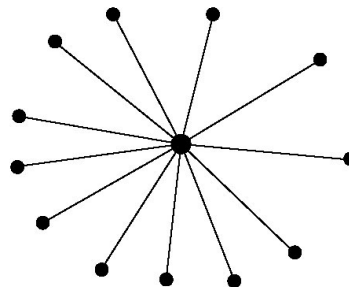
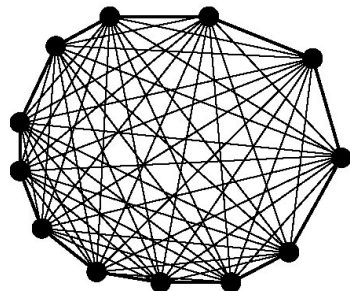
Confronto satellite – fibra

Il satellite:

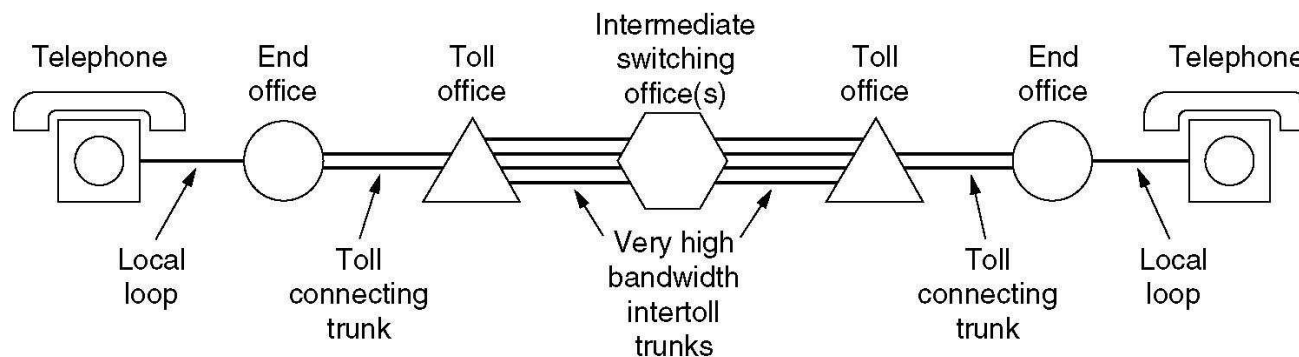
- ha una banda minore della fibra, tuttavia la banda è facilmente accessibile dagli utenti finali
- favorisce l'utente mobile, la fibra richiede la connessione fissa
- è broadcast, quindi adatto per servizi tipo televisivo, anche se la sicurezza è a rischio
- è utile per tutti i luoghi inospitali
- Permette una rapida installazione
- Il costo della comunicazione non dipende dalla distanza

Rete Telefonica pubblica – 1

- Per collegare in rete host distanti, stendere cavi dedicati ha un costo proibitivo, quindi si utilizza la rete telefonica esistente (public switched telephone network, **PSTN**)
- Agli albori della telefonia (il brevetto di Alexander Graham Bell è del 1876) i telefoni si vendevano a coppie, e gli acquirenti si preoccupavano di stendere il cavo (uno solo, con ritorno via terra) per collegarli.
- Le città divennero ben presto un groviglio di cavi, e quindi nacquero le società telefoniche che aprirono uffici di commutazione nei quali un operatore smistava le chiamate fra i vari apparecchi. Questi non erano più collegati direttamente fra loro ma erano tutti connessi a un ufficio di commutazione.
- Poiché gli uffici di commutazione nascevano come funghi, si ripropose lo stesso problema per il loro collegamento. Quindi vennero creati gli uffici di commutazione di secondo livello, e poi di terzo; alla fine la gerarchia si arrestò su cinque livelli (1890).



Rete Telefonica pubblica – 2



Nell'ambito della gerarchia:

- i collegamenti locali (ultimo miglio) restano **analogici** con doppini di categoria 3, fondamentalmente per i costi ancora alti di digitalizzazione per la singola utenza
- I restanti collegamenti sono ormai tutti **digitali**, ed utilizzano cavi coassiali, fibre e microonde
- La trasmissione digitale è preferita perché riduce la necessità di amplificazione su lunghe distanze (è sufficiente distinguere 0 da 1)



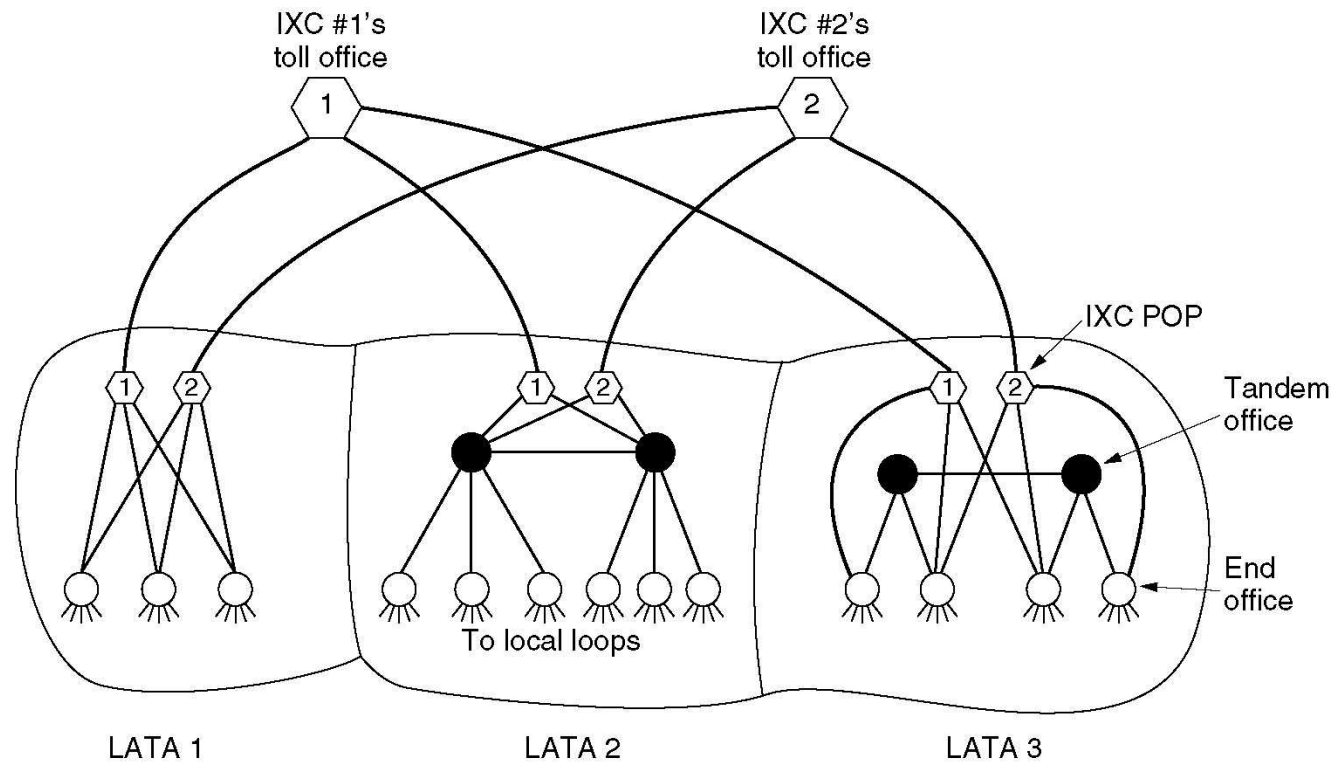
Rete Telefonica pubblica – 3

Politica di gestione del sistema telefonico negli USA:

- Nel 1984, il parlamento USA produsse il MFJ, in base al quale la AT&T che finora deteneva il monopolio delle telecomunicazioni, venne scorporata in diverse Bell Operating Companies (**BOC**)
- Il sistema telefonico pubblico fu organizzato in 164 Local Access and Transport Area (**LATA**), prevedendo un Local Exchange Carrier (**LEC**) per ogni LATA. Di fatto i BOC sono i LEC più significativi
- Il traffico di livello superiore (fra LATA) doveva essere gestito da Interexchange Carrier (**IXC**), oggi concretamente rappresentate da AT&T Long Lines, WorldCom e Sprint
- L'interfaccia fra una centrale di alto livello IXC e un LATA è una centrale locale dell'IXC (Point of Presence, **POP**). Gli IXC sono obbligati a fornire POP con le stesse caratteristiche, in modo che le LEC possano scegliere quali IXC usare per collegare i LATA fra loro
- Gli IXC non potevano offrire servizi di telefonia locale, e viceversa per i LEC, ma con l'avvento della tv via cavo e dei cellulari, diversi accordi fra IXC e LEC vennero stipulati, quindi oggi la divisione è stata ridimensionata, ed esistono operatori in grado di offrire un servizio completo di telefonia sia locale che su lunghe distanze, aggiungendo a questo anche tv ed accesso ad Internet

Rete Telefonica pubblica – 4

Politica di gestione del sistema telefonico negli USA





Rete Telefonica pubblica – 5

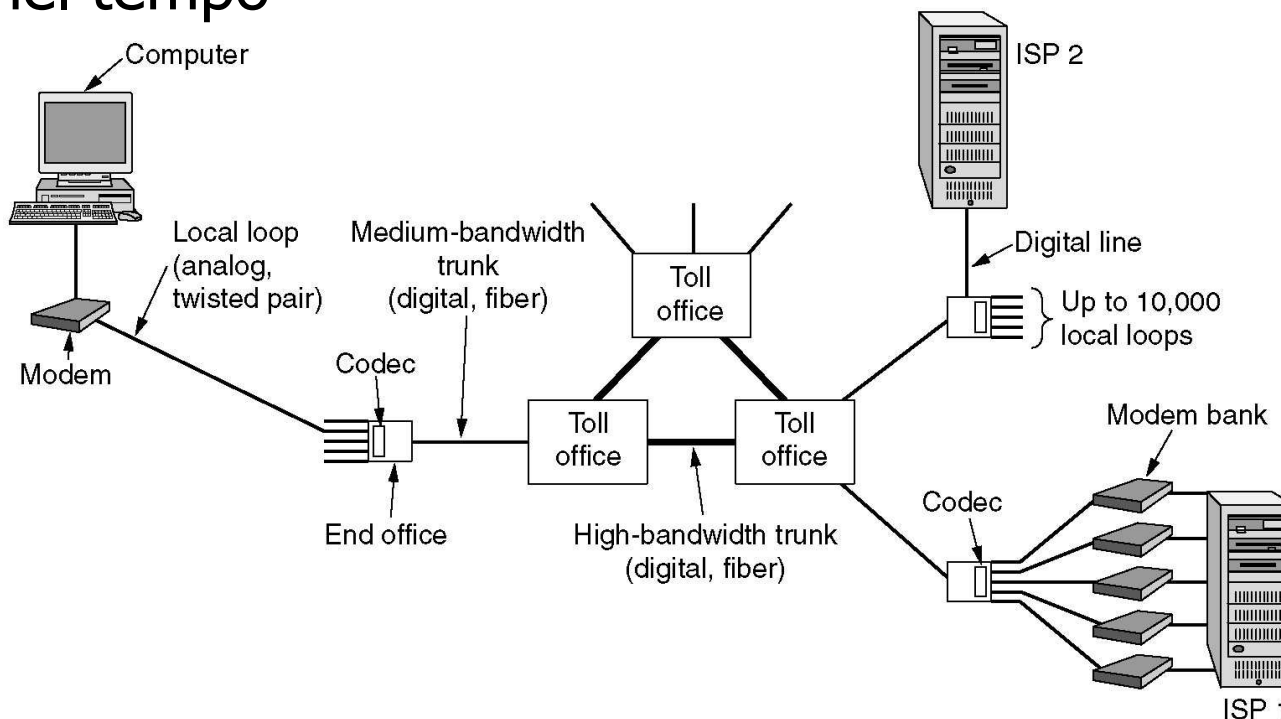
Il sistema telefonico ha tre componenti:

- I **collegamenti locali** analogici
- Le **linee digitali** di connessione
- Le **centrali** di commutazione

Rete Telefonica pubblica – 6

Collegamenti locali:

- è chiamato ultimo miglio, userà la trasmissione analogica
- la trasmissione avviene quindi variando la tensione continua nel tempo





Rete Telefonica pubblica – 7

Problemi di una linea di trasmissione:

- **attenuazione** (perdita di potenza)
- **distorsione** (le armoniche hanno diversa attenuazione al variare della frequenza, e si propagano a velocità diverse nel cavo)
- **rumore** (termico, accoppiamenti induttivi, spike di alimentazione)
- Per questi motivi, è meglio avere un **segnale con un ridotto intervallo di frequenze** (in teoria è sempre infinito, in pratica è meglio avere bisogno di poche armoniche per poterlo approssimare con poco errore)
- Il **segnale digitale** (onda quadra), richiede molte armoniche (spettro ampio), quindi è molto soggetto ad attenuazione, pertanto non si effettua mai la trasmissione in banda base, se non per distanze brevi o a bassa velocità

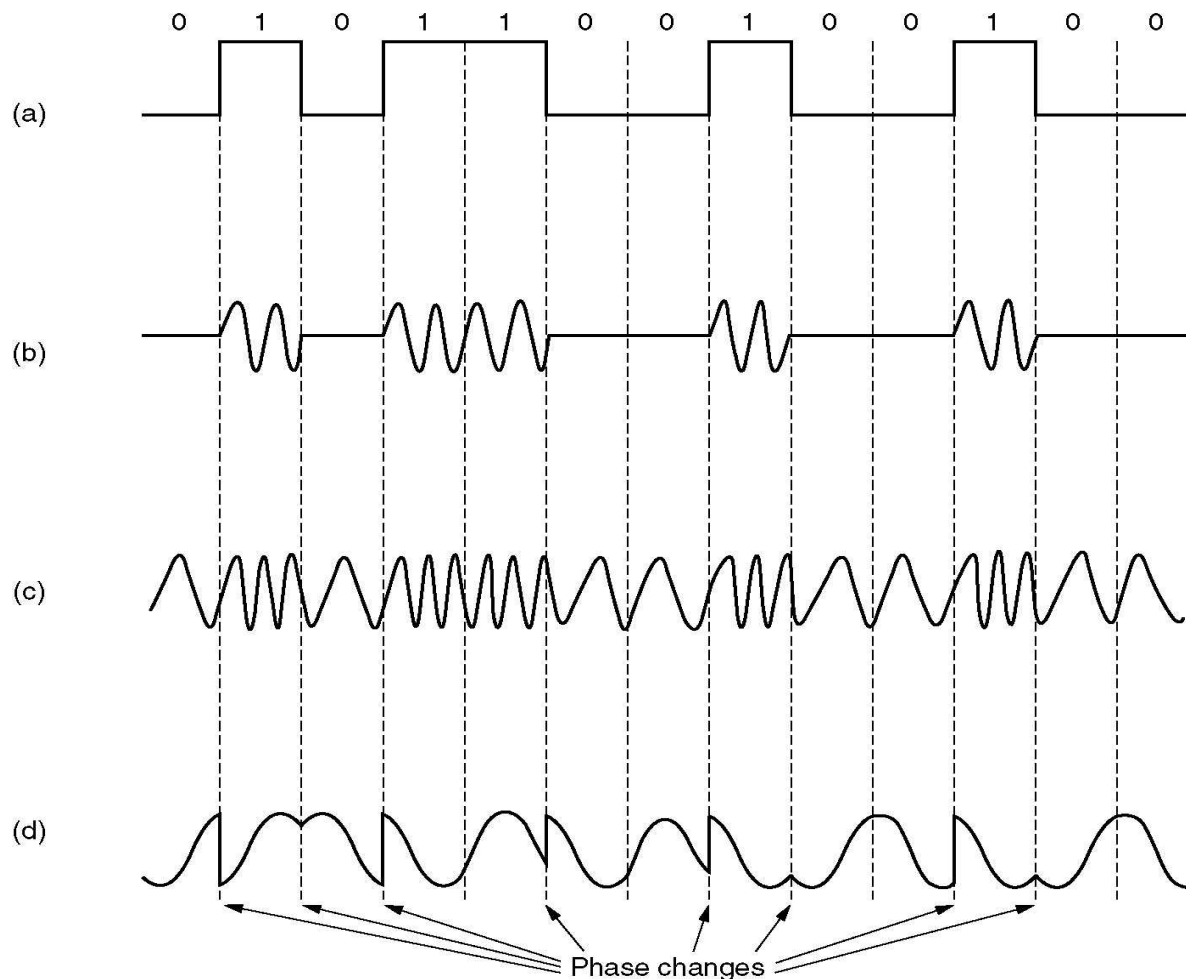


Rete Telefonica pubblica - 8

- Nella trasmissione in **banda base (baseband)** si utilizza un singolo canale per convogliare le informazioni, generalmente sfruttando tutta la banda di frequenze messe a disposizione dal mezzo fisico. Il segnale viene trasmesso direttamente senza ricorrere a una modulazione per mezzo di una frequenza portante. Questo tipo di comunicazione permette la trasmissione a un solo nodo per volta. Ricorrendo a una tecnica di multiplexing a divisione di tempo, ossia assegnando delle finestre temporali a ogni canale di comunicazione, risulta possibile intercalare i canali, dando l'apparenza di una comunicazione simultanea.
- Nella comunicazione in **banda larga (broadband)** si possono sovrapporre più segnali indipendenti sul medesimo canale ricorrendo alla loro modulazione

Rete Telefonica pubblica - 9

- **Modulazione:**
realizzata tramite un **modem**, può essere:
 - di ampiezza (AM)
 - di frequenza (FSK)
 - di fase





Rete Telefonica pubblica - 10

Velocità raggiungibile con la modulazione:

- il teorema di nyquist afferma che il numero massimo di campioni al secondo trasmettibili su una linea con ampiezza di banda H è 2H
- su un canale telefonico (H=3KHz), il numero dei simboli trasmessi in genere non supera i 2400 effettivi
- il numero di campioni (simboli) trasmessi è misurato in **baud**
- il numero di baud **non è detto che coincida** con il numero di bit/sec trasmessi; il teorema di Nyquist afferma infatti che:

Velocità massima = $2H \log_2 V$ bit/sec

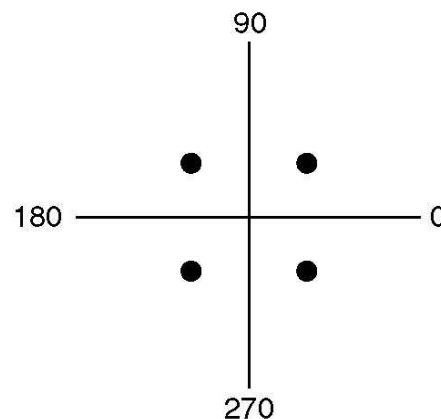
dove V è il numero di livelli utilizzati per trasmettere un simbolo

- Se $V=2$ (due tensioni, frequenze o fasi differenti), si ottiene che numero bit = numero baud
- Se $V=4$, ogni simbolo è in grado di trasportare due bit, quindi numero bit = $2 * \text{numero baud}$
- Se $V=n$, numero bit = $\log_2 n * \text{numero baud}$

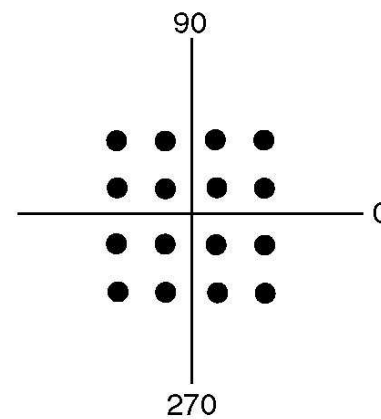
Rete Telefonica pubblica - 11

- La modulazione è la tecnica tramite cui **innalzare il numero di livelli V**, ossia il numero di bit trasmessi per ogni simbolo

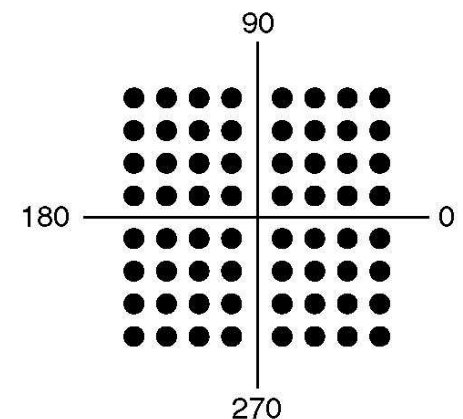
- I livelli si rappresentano nel **diagramma costellazione**



(a)



(b)



(c)

- (a) **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying), 4 fasi, stessa ampiezza, 4 combinazioni=2 bit/simbolo, $\text{bit}=2 \times \text{baud}$, 4800bps su una linea da 2400baud
- (b) **QAM-16** (Quadrature Amplitude Modulation), 4 fasi, 4 ampiezze, 16 combinazioni=4 bit/simbolo, $\text{bit}=4 \times \text{baud}$, 9600bps con 2400baud
- (c) **QAM-64**, 64 combinazioni=6 bit/simbolo, $\text{bit}=6 \times \text{baud}$, 14400bps a 2400baud
- esistono anche QAM-128, QAM-256



Rete Telefonica pubblica - 12

- All'aumentare di V nel diagramma, i singoli stati sono più vicini, quindi più sensibili al rumore; si introducono allora meccanismi di correzioni basati su bit aggiuntivi, ottenendo gli schemi **Trellis Coded Modulation (TCM)**
- a seguito dell'introduzione dei bit di correzione, a parità di tecnica di modulazione (numero bit/simbolo) decrementa la quantità di informazione trasmessa, tuttavia è possibile usare una tecnica superiore per trasmettere la stessa quantità in maniera più affidabile, ad esempio la QAM-16 consente 9600bps, la QAM-32 consente 9600bps con correzione (12000bps senza correzione)
- a seconda della tecnica usata dal modem, dell'eventuale presenza della correzione, e del tipo di trasmissione, bidirezionale (**full duplex, half duplex**) o monodirezionale (**simplex**) si hanno diversi **standard**, classificati come **V.xxx**



Rete Telefonica pubblica - 13

Standard V.xxx:

V.17: standard CCITT per la trasmissione di dati via fax a 14.400 bit/s.

V.21: standard CCITT per modem full-duplex a 300 bit/s.

V.22: standard CCITT per modem full-duplex a 600 bit/s.

V.22 bis: standard CCITT per modem full-duplex a 2400 bit/s.

V.23: standard CCITT per modem half-duplex a 600 o 1200 bit/s.

V.24: standard CCITT sull'interfaccia tra un modem e un sistema di elaborazione, è funzionalmente equivalente allo standard RS-232-C, tranne per il fatto che non vengono specificati i connettori (definiti in ISO 2110).

V.25: standard CCITT per circuiti di chiamata e risposta su linee commutate che utilizzano un'interfaccia parallela.

V.26: standard CCITT per modem full-duplex a 1200 bit/s.

V.26 bis: standard CCITT per modem full-duplex a 1200 e a 2400 bit/s.

V.27: standard CCITT per modem full-duplex a 4800 bit/s.

V.29: standard CCITT per modem a 9600 bit/s.



Rete Telefonica pubblica - 14

Standard V.xxx:

V.32: standard CCITT per modem a 9600 bit/s.

V.32 bis: standard CCITT che estende il V.32 a 7200, 12000 e 14400 bit/s.

V.32 ter: standard proposto dalla AT&T che supporta fino a 19200 bit/s.

V.33: standard CCITT per modem a 12000 o 14000 bit/s.

V.34: regola le trasmissioni fax modem e fax a 28800 bit/sec.

V.34 bis: Revisione del V.34 che permette di raggiungere i 33.600 bps.

V.42: standard CCITT che corregge gli errori dovuti al rumore di linea.

V.42 bis: standard CCITT per la compressione del traffico fino al 75%.

X2: Velocità di 56Kbps in una delle due direzioni (dall'ISP all'host). Si comporta come un V.34 nel verso opposto. Proposto dalla USRobotics, è stato abbandonato in favore di V.90.

56Flex: come X2, proposto dalla Rockwell e abbandonato in favore di V.90.

V.90: Velocità di 56Kbps in una delle due direzioni (dall'ISP all'host). Si comporta come un V.34 nel verso opposto.

V.92: Come il V.90 ma dall'utente verso l'ISP consente di arrivare a 48Kbps

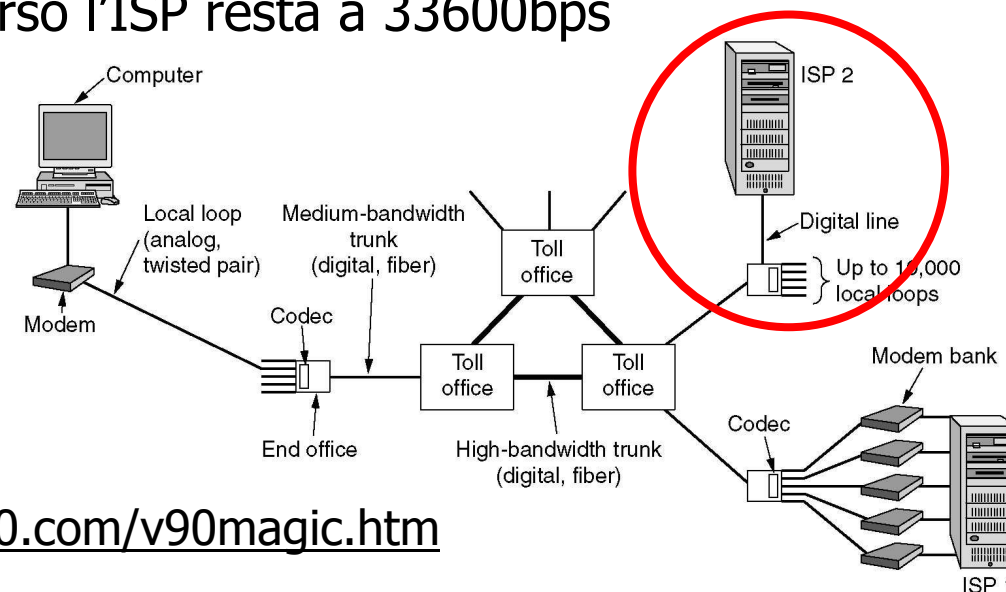


Rete Telefonica pubblica - 15

- Ogni modem effettua un **controllo della linea** per verificarne la qualità corrente, effettuando un downgrade della velocità in caso di disturbi; raramente la velocità massima possibile viene raggiunta
- Ogni modem V.xxx generalmente è **compatibile all'indietro** con altri V.xxx
- Il valore di data rate di 33600Kbps è di fatto un **limite fisico** medio imposto dalla qualità delle linee telefoniche, e tiene anche conto della loro lunghezza media

Rete Telefonica pubblica - 16

- Il valore degli standard V.90 e V.92 nasce allora dalla rimozione dell'ipotesi che l'ISP sia collegato con una linea analogica alla rete telefonica
- In tal modo, secondo Nyquist, su 4KHz di banda si possono inviare 8000 simboli/sec. Con 8 bit/simbolo (1 per correzione), si arriva a 56Kbps
- Di fatto, i 56Kbps sono usati solo per il download, mentre il canale dall'host verso l'ISP resta a 33600bps



<http://www.v90.com/v90magic.htm>



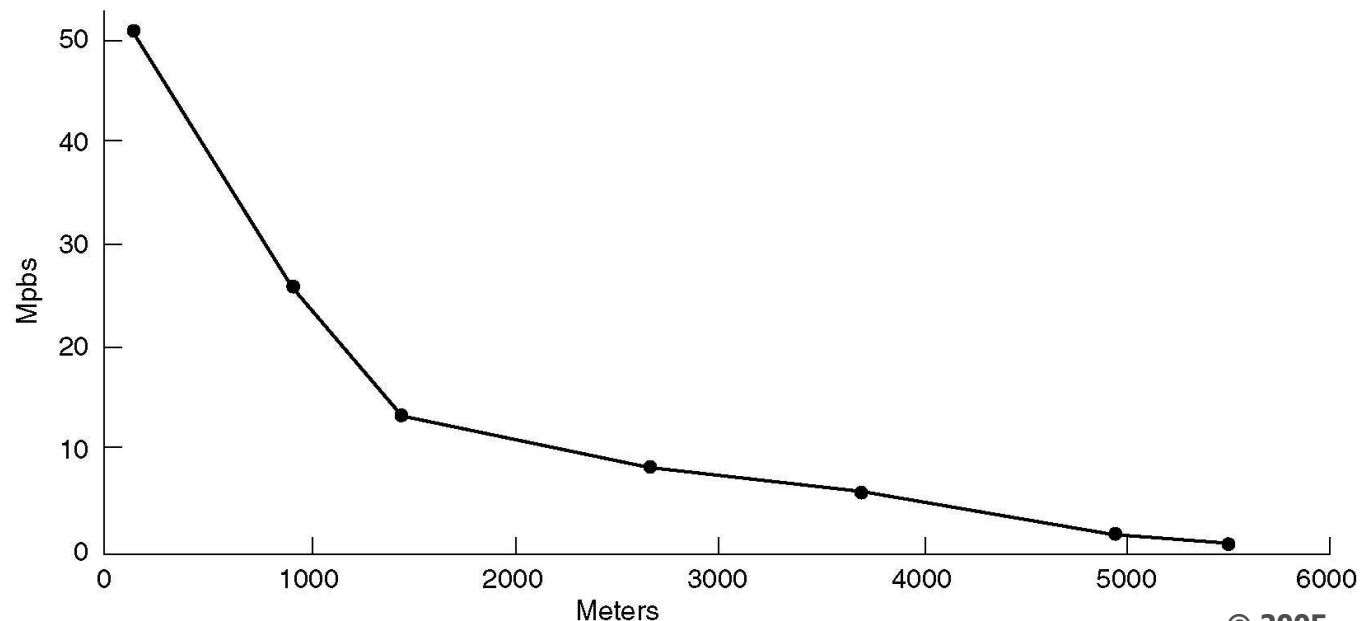
Rete Telefonica pubblica - 17

Linee DSL (Digital Subscriber Line)

- Quando si raggiunsero i 56Kbps, l'industria televisiva già offriva 10Mbps su linee condivise, quindi nacque l'esigenza di avere **prodotti più competitivi**
- Finora le linee telefoniche erano state solo concepite per la voce, **non erano quindi ottimizzate per i dati**: la limitazione di banda a 3KHz era artificialmente introdotta per fare passare le frequenze vocali
- **Rimuovendo il filtro** nelle centrali, l'utente può sfruttare tutta la banda realmente disponibile (il doppino di cat. 3 arriva fino a 16Mbps teorici)
- I **requisiti per i servizi DSL** sono: utilizzare il doppino esistente; non influire sull'utilizzo dei telefoni e fax; essere molto più veloci della connessione a 56Kbps; poter essere sempre attivi con costi fissi (flat), come la tv via cavo

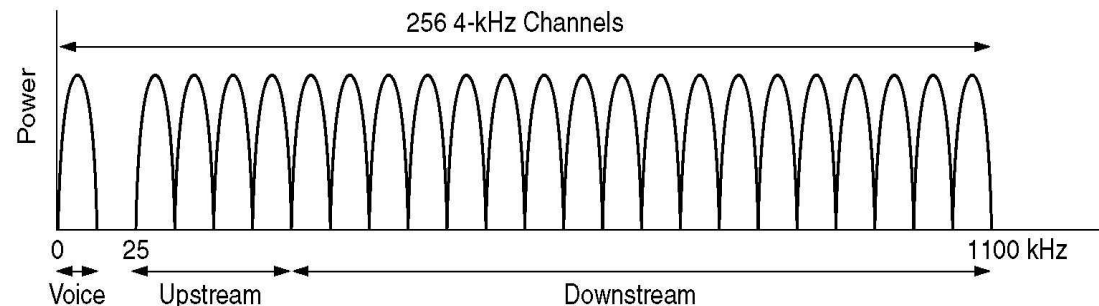
Rete Telefonica pubblica - 18

- Il vero problema è che la **qualità della linea** presente non sempre è alta, dipende dallo stato dei cavi, lunghezza, spessore, e comunque diminuisce all'aumentare della distanza dalla centrale



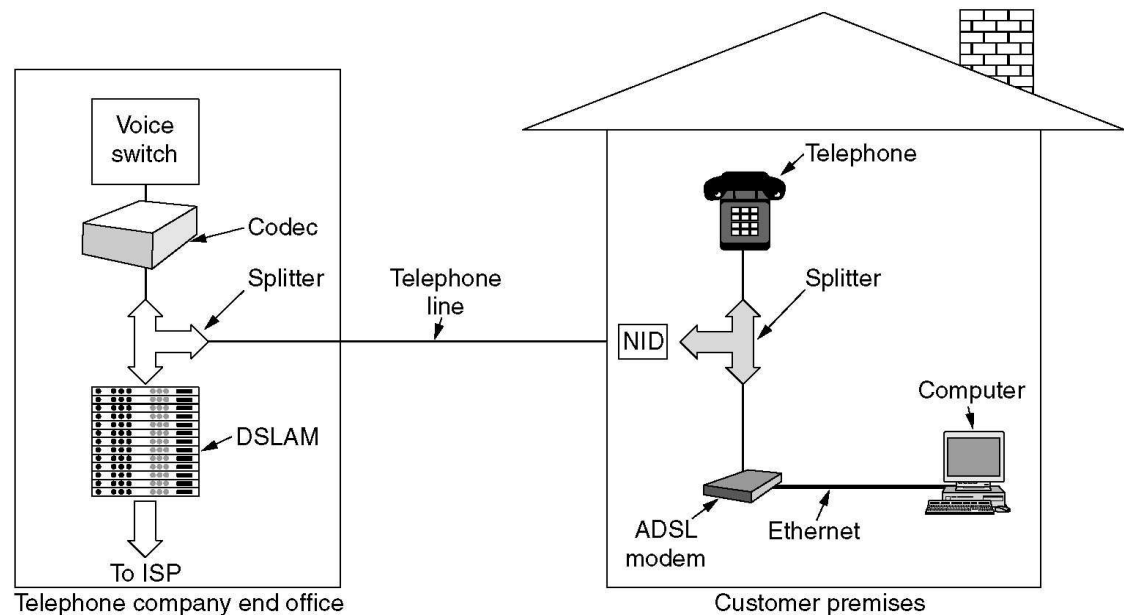
Rete Telefonica pubblica - 19

- Il **primo servizio** offerto da AT&T prevede la suddivisione dell'intera banda (circa 1.1.MHz) in tre comunicazione telefonica ordinaria (POTS), upstream (dall'utente alla centrale) e downstream (viceversa)
- Una soluzione alternativa alla FDM è la **DMT (discrete multitone)**, in cui la banda è divisa in 256 canali:
 - il canale 0 per POTS, da 1 a 5 non usati per evitare interferenze, altri due per il controllo di trasmissione e ricezione
 - i restanti sono usati per upstream (di solito 32) o downstream (il resto) da qui l'asimmetria che porta al termine Asymmetric DSL, o ADSL.
 - L'ADSL tecnicamente può arrivare a 8Mbps in ricezione e 1Mbps in trasmissione; le velocità effettivamente erogate dipendono dal fornitore



Rete Telefonica pubblica - 20

- **Ogni canale** ADSL funziona come un modem V.34, lavorando a 4000 baud con modulazione QAM a 15 bit/ baud; il totale di 224 canali in ricezione garantisce un limite teorico di 13,44Mbps, che di fatto è ridotto ad 8 per motivi tecnici e di gestione
- La **configurazione** ADSL prevede un Network Interface Device (NID) presso il cliente, seguito da un filtro per la separazione voce/dati; in centrale, lo stesso schema con un DSL Access Multiplexer
- Uno svantaggio è costituito dallo splitter, che può essere eliminato, usando quindi il solo filtro, al costo di un decremento della banda (max 1.5Mbps, standard ITU-G.992.2)





Rete Telefonica pubblica - 21

Collegamenti locali wireless

- Nati negli USA, rappresentano la possibilità che l'ultimo miglio telefonico, anziché essere su cavo (modem o DSL) sia **wireless**
- Inizialmente, gli IXC aprivano sedi locali, collegando (di solito in fibra) la propria nuova centrale locale alla propria interurbana; costoso è però il collegamento diretto fra tutti gli utenti locali e la centrale locale, da cui la nascita del **WLL (Wireless Local Loop)**
- Il collegamento è simile a quello per i cellulari, con **tre differenze**: il cliente desidera collegamenti veloci ad Internet (più di ADSL), poi occorre un'antenna (parabola) per arrivare alla centrale locale, ed infine è assente la mobilità



Rete Telefonica pubblica - 22

Collegamenti locali wireless

- Il **primo servizio telefonico locale wireless** fu **MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)**, che operava su 31 canali a 2.5GHz + 2 a 2.1GHz, per un totale di 198MHz di banda per microonde da 50Km in grado di attraversare vegetazione e pioggia leggera
- MMDS utilizza l'infrastruttura già esistente e frequenze già assegnate dall'FCC nel 1969, ma la banda è ristretta e condivisa da molti utenti su una vasta area geografica; di fatto è una MAN
- Il servizio successivo fu **LMDS (Local Multipoint Distribution Service)**, che operava su una banda disponibile di 1,3GHz, con distanze coperte di 5Km e maggiore assorbimento da parte di vegetazione e pioggia. e minore condivisione fra gli utenti (quindi maggiore numero di antenne).
- LMDS ha un data rate è di 36Gbps in ricezione e 1Mbps in trasmissione, condivise fra tutti gli utenti di uno stesso settore coperto da un'antenna (circa 9000 utenti). Rispetto al MMDS è meno condiviso (opera su 5Km non su 50)
- Il **futuro** è lo standard IEEE 802.16, per fonia, tv, dati



Rete Telefonica pubblica - 23

Linee di trasmissione

- Il secondo elemento del sistema telefonico dopo il collegamento locale (modulazione e modem, DSL, wireless) sono le linee di comunicazione
- Essendo una linea di comunicazione un canale condiviso il cui costo è principalmente quello della posa dei cavi, è necessario effettuare il multiplexing delle linee, fondamentalmente di due tipi: **Frequency division multiplexing** o **FDM** (basato sulla frequenza) e **TDM** (divisione di tempo)

Rete Telefonica pubblica - 24

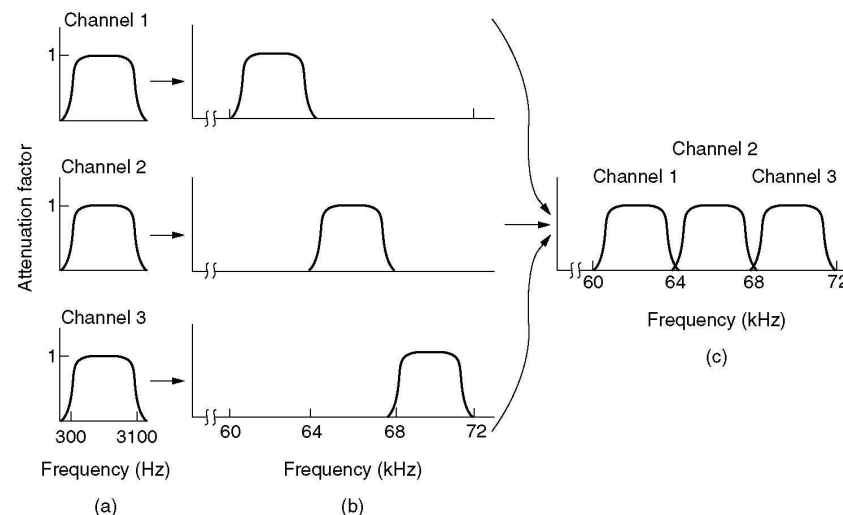
FDM

■ Principio di funzionamento

- ogni canale (utenza) richiede 3100Hz, in pratica si usa una banda di 4KHz.
- Ogni canale viene traslato in frequenza tramite filtri di una quantità tale da non sovrapporsi con altri canali
- La sovrapposizione parziale può sempre essere presente a causa della qualità del filtro, in tal caso esiste rumore fra i canali

■ Standard

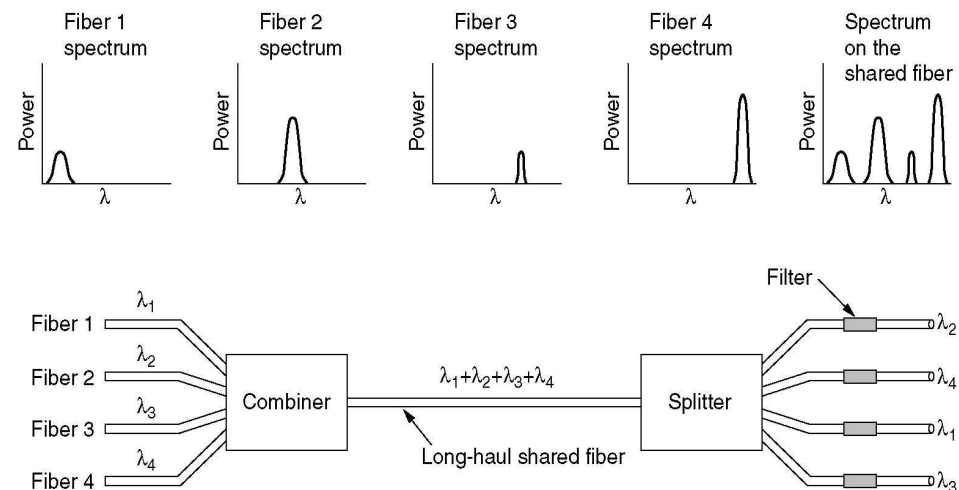
- Gli schemi FDM sono parzialmente standardizzati, utilizzando come unità di base il **gruppo**: 12 canali da 4KHz nella banda da 60 a 108KHz (talvolta si usano le frequenze da 12 a 60KHz).
- Cinque gruppi formano un **supergruppo** da 60 canali vocali, mentre il raggruppamento di ordine superiore (**mastergruppo**) è da cinque (CCITT) o 10 (Bell) supergruppi



Rete Telefonica pubblica - 25

WDM (Wave Division Multiplexing)

- Si tratta di una **FDM utilizzata nelle fibre ottiche**, basata sempre sulla frequenza, ma rappresentata in termini di lunghezza d'onda
- L'unica **differenza rilevante** è che si tratta di un sistema ottico passivo, basato su un reticolo di diffrazione (nessun bisogno di filtri attivi)
- Ideato nel 1990, esistono diverse tipologie:
 - 8 canali da 2.5Gbps (1990)
 - 40 canali da 2.5Gbps (1998)
 - 96 canali da 10Gbps (2001)
- La **tecnologia è promettente**: essendo la banda di una fibra circa 25THz, anche con 1bit/Hz di data rate si possono ottenere 25TBps
- In sviluppo è anche il settore degli **amplificatori ottici**, che consentono una rigenerazione soltanto ogni 1000Km, mentre in passato occorreva riconvertire il segnale in elettrico, amplificarlo e riconvertirlo in ottico ed ogni 100Km





Rete Telefonica pubblica - 26

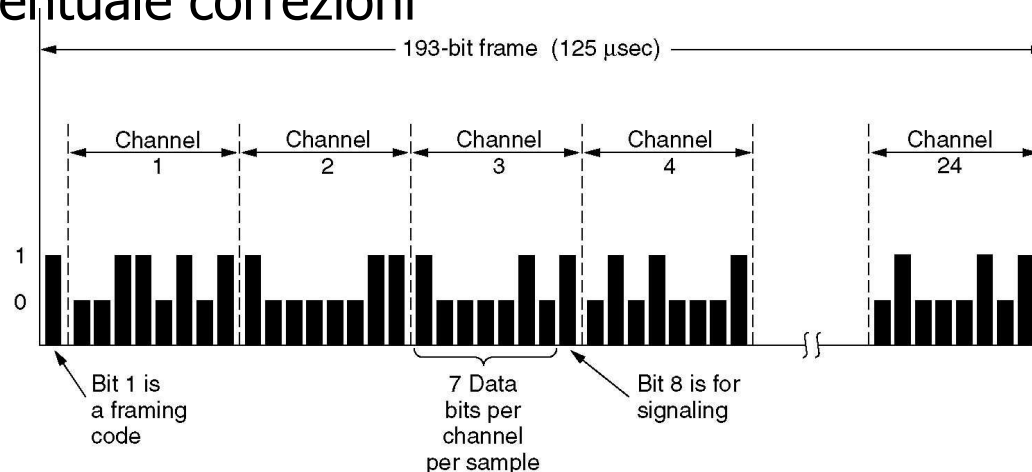
TDM (Time Division Multiplexing)

- La **FDM richiede dispositivi analogici** (filtri attivi), mentre la TDM permette l'uso di dispositivi digitali per il controllo della divisione temporale
- La TDM può essere usata **solo per i dati digitali**, quindi i segnali analogici provenienti dal modem (portante modulata del collegamento locale) sono digitalizzati a partire dalla prima centrale incontrata.
- La digitalizzazione si basa sulla **tecnica PCM (Pulse Code Modulation)**, secondo la quale si campiona 8000 volte al secondo il canale da 4KHz, producendo in uscita 8000 byte (1byte per campione)

Rete Telefonica pubblica - 27

PCM e T1

- Il traffico locale, digitalizzato tramite PCM, viene convogliato su **linee T1**
- Una **linea (o portante) T1** è una linea punto-punto da 1.544Mbps, divisa in 24 canali PCM uniti tramite TDM. Ogni canale da 8bit prevede 7bit di informazione ed uno di ridondanza
- Ogni canale è campionato 8000 volte al secondo (ogni 125µs), quindi si hanno $24 \times 8 = 192$ bit + 1 per la sincronizzazione = 193 bit ogni 125µs. La sequenza di 193 bit ogni 125µs è detta **frame**
- Se **usata per i dati**, una linea T1 dedica ad essi 23 canali, riservando il 24mo per eventuali correzioni





Rete Telefonica pubblica - 28

PCM e T1

- Il CCITT ha definito una **variante della T1** (usata negli USA ed in Giappone) che sfrutta tutti e 8 bit di codifica per l'informazione. Inoltre, sono definite due sottovarianti:
 - **Segnalazione a canale comune**, dove il 193mo bit (inserito alla fine del frame) adotta la sequenza di sincronizzazione 101010... nei frame pari e trasporta invece informazioni di segnale per i frame dispari
 - **Segnalazione a canale associato**, dove ai dati si dedicano cinque frame su sei, mentre nel sesto frame 1 bit su 8 viene usato per controllo
- Il CCITT ha anche definito la **portante E1** da 2.048Mbps, divisa in 32 canali PCM uniti tramite TDM. Ogni canale da prevede 8 bit di informazione. Su 32 canali, 2 sono usati per il controllo. Ogni 4 frame, si hanno quindi $2 \times 8 \times 4 = 64$ bit per la gestione, usati 32 per la segnalazione associata al canale e 32 per la risincronizzazione. La portante E1 è usata in Europa



Rete Telefonica pubblica - 29

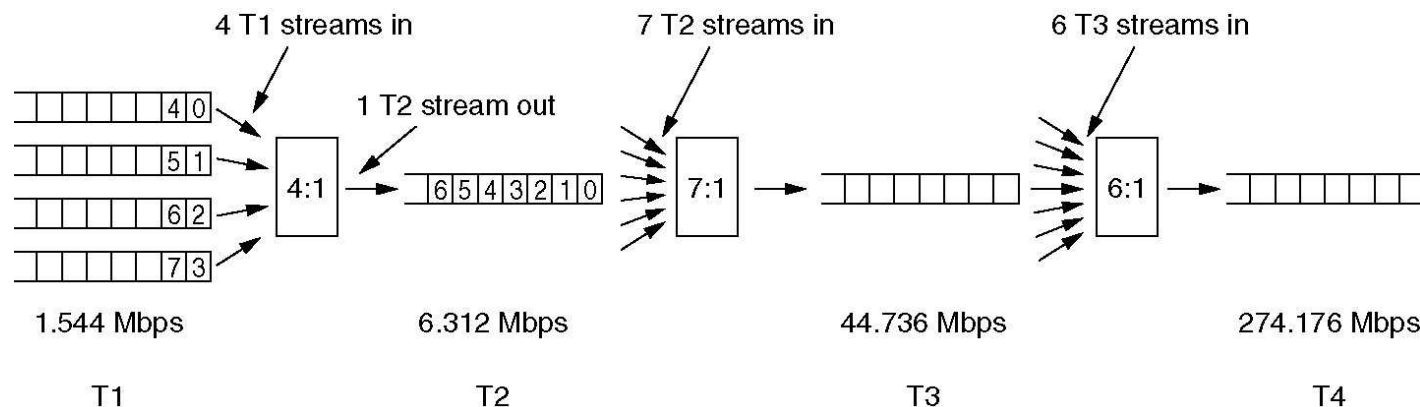
Compressione

- Dopo avere digitalizzato il segnale con PCM e convogliatolo su una linea T1 o E1, si adottano **tecniche di compressione** per ridurre il numero di bit necessari per ogni canale (contro i canonici 7 o 8). Le tecniche si basano tutte sul **principio** che il segnale analogico campionato di solito cambia lentamente rispetto alla frequenza di campionamento
- Le tecniche usate sono principalmente tre:
 - **PCM differenziale**, in cui non si trasmette il valore (digitalizzato in bit) dell'ampiezza del segnale, ma la sua variazione. Statisticamente essa non supera 16 livelli di quantizzazione su una scala di 128, per cui bastano 5 bit per trasmettere tale variazione
 - **Modulazione delta**, in cui si usa un solo bit per canale, nell'ipotesi che un valore campionato differisca dal precedente di ± 1 livelli di quantizzazione
 - **Codifica per ipotesi**, in cui si analizzano campioni precedenti per predire il valore successivo e quindi codificare in bit (esattamente i bit necessari) la differenza con il valore precedente. E' un miglioramento del PCM differenziale
- Tutte le tecniche di compressione operano sotto ipotesi non sempre veritiere; in tal caso, si perde informazione.

Rete Telefonica pubblica - 30

Multiplexing portanti

- Le portanti T1 o E1 di solito vengono fuse bit per bit in portanti di ordine più elevato
- Lo standard adottato negli USA prevede che quattro flussi T1 formino un flusso T2 di 6.312Mbps (ai $4 \times 1.544\text{Mbps}$ si aggiungono altri bit per il controllo). Sette flussi T2 sono uniti per formarne uno T3, ed infine sei T3 formano un flusso T4
- Lo standard CCITT prevede quattro canali per ogni fusione





Rete Telefonica pubblica - 31

SONET/SDH

- Si tratta di una **TDM su fibra ottica**, promossa dagli USA (**Synchronous Optical Network** o **SONET**) e dal CCITT (**Synchronous Digital Hierarchy** o **SDH**), oggi molto usata su lunghe distanze (la T1 è usata su distanze intermedie)
- Gli **obiettivi** della SONET/SDH sono:
 - Assicurare una **comunicazione standard** anche per portanti differenti
 - Necessità di **unificare i sistemi PCM** adottati da USA, Europa e Giappone, tutti con PCM a 64Kbps ma incompatibili
 - Essere un mezzo per **unire in multiplexing** diverse portanti (ruolo simile a T4)
 - **Migliorare il supporto alla gestione** dei canali
- Il **sincronismo** delle reti SONET consiste nel fatto che trasmettitore e ricevitore hanno un clock comune, che peraltro impone il traffico di frame anche in assenza di dati da trasmettere (in tal caso sono inviati dati fittizi). Il sistema si contrappone ad ATM, asincrono, nato negli stessi anni (1989)



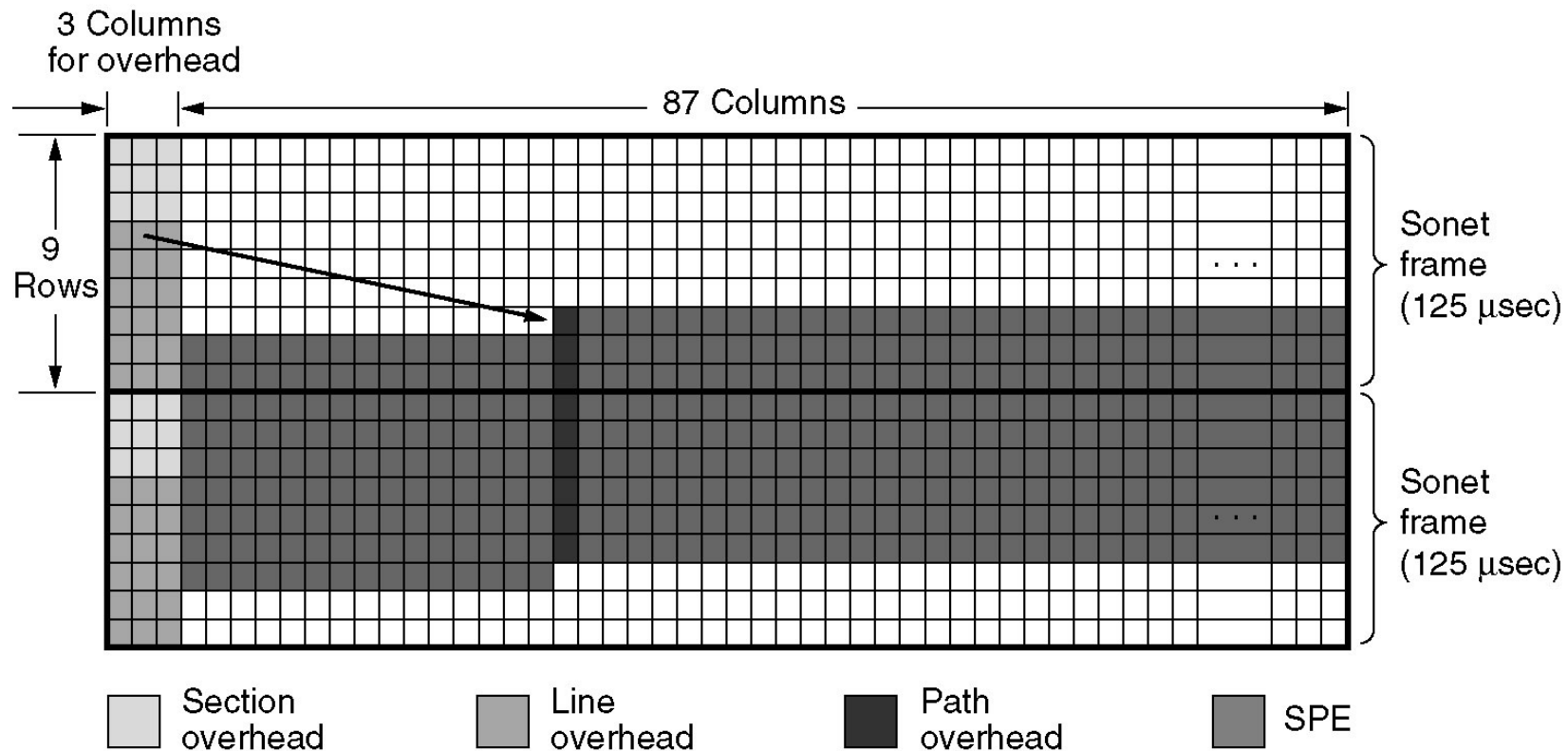
Rete Telefonica pubblica - 32

SONET/SDH

- Il **frame SONET** è un blocco di 810byte (90 colonne per 9 righe) emesso ogni 125μs
- Il **data rate complessivo** del sistema è $810 \times 8 \times 8000 = 51.84 \text{ Mbps}$, canale di base denominato anche STS-1
- Le prime tre colonne sono usate per la gestione del sistema, le restanti 87 sono per dati utente ($87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$, chiamati **Synchronous Payload Envelope**, o **SPE**)
- I dati utente **possono iniziare da qualunque punto**, data la continuità del flusso di byte, pertanto un puntatore all'inizio dei dati è memorizzato nella prima riga del codice di controllo della linea
- La continuità del flusso consente di **estendere i dati** anche su più frame consecutivi
- Per **sincronizzarsi** (operazione resa più difficile dalla continuità del flusso di byte), trasmettitore e ricevitore cercano una sequenza (fissa) inviata nei primi due byte di ogni frame, e che non può presentarsi nei dati utente (grazie al multiplexing degli stessi)

Rete Telefonica pubblica - 33

Frame SONET/SDH





Rete Telefonica pubblica - 34

Multiplexing SONET/SDH

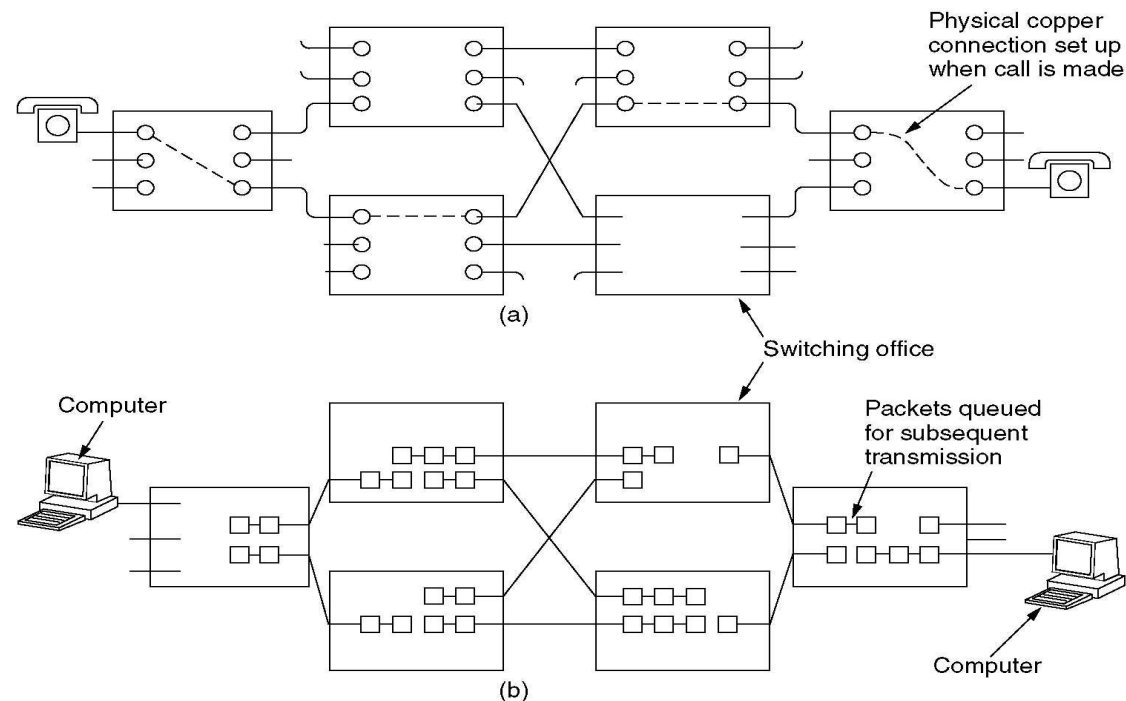
- Le linee SONET vengono multiplexate gerarchicamente, fornendo data rate sempre maggiori per un sempre maggiore numero di utenti
- I data rate sono grezzi (incluso tutto il codice di controllo), SPE (senza codice di controllo di sezione e linea), e utente (senza codice di controllo di sezione, linea e percorso)

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

Rete Telefonica pubblica - 35

Commutazione

- Il terzo componente del sistema telefonico è la commutazione, che può essere:
 - **Di circuito**
 - **Di messaggio e di pacchetto**





Rete Telefonica pubblica - 36

Commutazione di circuito

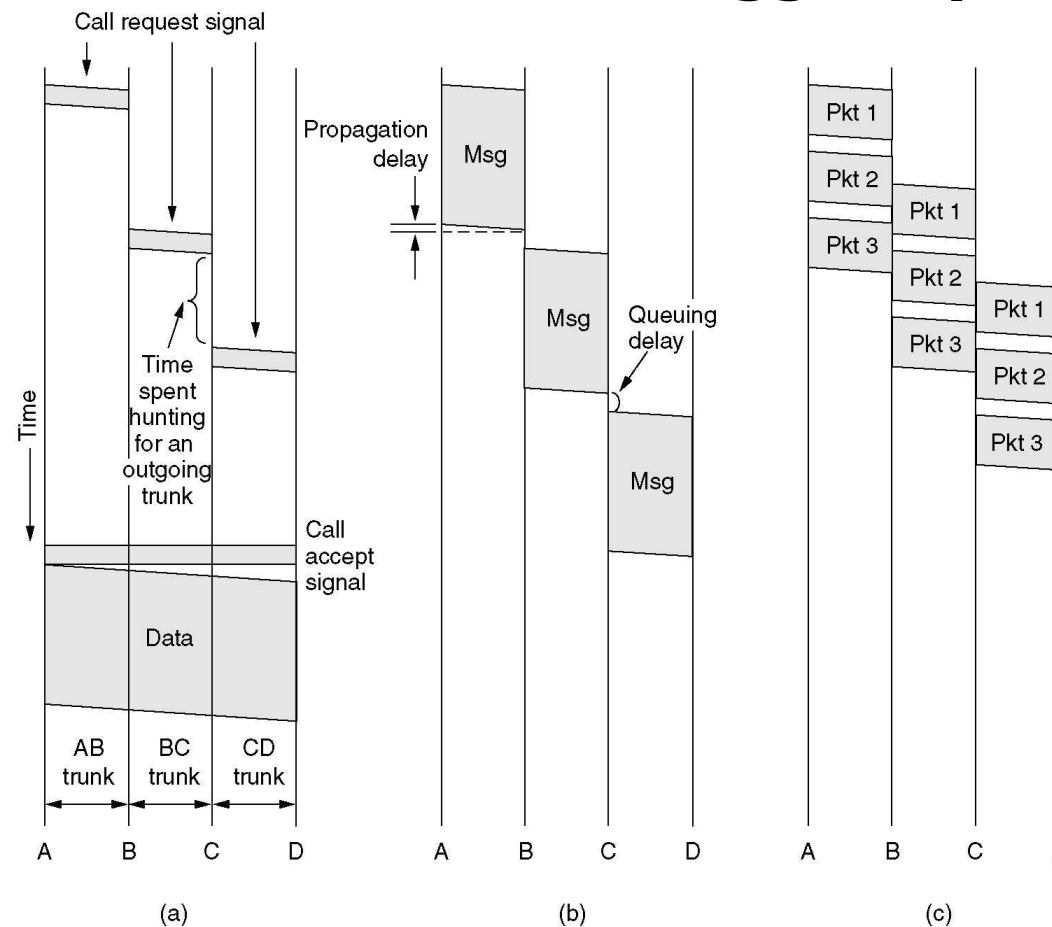
- Canale **negoziato e stabilito** per tutta la durata della connessione (ideato da Strowger nel XIX secolo)
- Potenziale **ritardo iniziale** dovuto al tempo necessario per stabilire la connessione
- **Poco ritardo durante la trasmissione**, essendo il canale già stabilito (5ms ogni 1000Km)

Commutazione di messaggio e pacchetto

- **nessun canale dedicato**, il router memorizza (store) il messaggio nella sua interezza e lo propaga (forward) quando trova il canale libero
- **Poco ritardo iniziale** ma la trasmissione può essere **più lenta** (nessun canale dedicato)
- Senza ipotesi sulla dimensione del messaggio, quando è eccessiva potrebbe monopolizzare la linea o superare le risorse hardware/software del router, quindi nasce il **pacchetto**, come unità atomica in cui frammentare i messaggi
- Il pacchetto, oltre ad **evitare il monopolio della linea**, permette il **pipelining** dei pacchetti di uno stesso messaggio, di fatto parallelizzandone la trasmissione

Rete Telefonica pubblica - 37

Commutazione di circuito, messaggio e pacchetto





Rete Telefonica pubblica - 38

Confronto fra commutazioni

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
When can congestion occur	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

- In particolare, la trasparenza per la commutazione di circuito consente di ignorare i parametri di comunicazione fra trasmittente e ricevente



Telefonia mobile – 1

La **Fonia mobile** è classificata in due **categorie**

- **Cordless**, con stazione di base, non usati per trasmissione di rete
- **Cellulari**, a loro volta con tre generazioni
 - Voce in analogico
 - Voce in digitale
 - Voce e dati in digitale
- **Storicamente**, il primo sistema mobile per cellulari nacque negli USA ed era uniforme, mentre quando arrivò in Europa ogni paese adottò il suo sistema con danni per l'interconnessione. Al nascere del sistema digitale, fu l'Europa ad introdurre uno standard uniforme (GSM), mentre la liberalizzazione negli USA ha portato a tre sistemi digitali incompatibili fra loro
- **Differenza fra sistema cellulare in Europa e in USA:**
 - Europa ha un **sistema uniforme**, gli USA no
 - I numeri di telefono sono **indistinguibili dalla rete fissa** negli USA, in Europa hanno prefissi
 - In Europa sono molto diffuse le **schede prepagate** in luogo di abbonamenti con costi fissi



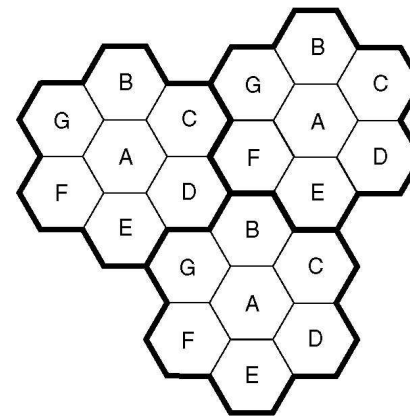
Telefonia mobile – 2

Cellulari della prima generazione

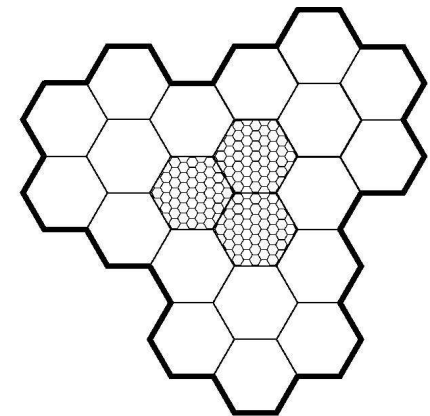
- Il **primo sistema telefonico per auto** nacque nel 1946, ed utilizzava un trasmettitore di elevata potenza ed un unico canale che impediva trasmissione e ricezione simultanea
- Negli anni '60 venne introdotto l'**IMTS (Improved Mobile Telephone System)** che utilizzava ancora potenze elevate (200W), imponendo a sistemi adiacenti un'elevata distanza per evitare interferenze, ma con due canali distinti per trasmissione e ricezione. Il numero complessivo dei canali era 23, compresi fra 150 e 450MHz, che comunque risultarono pochi, rendendo il servizio impraticabile
- La terza tipologia di cellulari di prima generazione introdotta nel 1982 fu l'**AMPS**, noto anche come **TACS** e **MCS-L1**

Telefonia mobile – 3

- L'**AMPS (Advanced Mobile Telephone System)** venne introdotto nel 1982 negli USA, e successivamente (1985) in Inghilterra, con il termine TACS (**Total Access Communications System**) ed in Giappone, con il nome di MCS-L1
- Il sistema telefonico cellulare APMS si basa sul **concetto di cella**, unità geografica di 10-20Km di forma circolare, all'interno della quale si usa un certo insieme di frequenze.
- Nelle celle adiacenti si usano frequenze diverse, ma in quelle ancora più distanti si **riutilizzano le frequenze**, consentendo un **maggiore numero di utenti per area** rispetto ai sistemi precedenti (l'IMTS su 100Km può avere un utente per frequenza, mentre l'AMPS nella stessa area può avere 10 celle con 15 utenze per ogni frequenza in celle non adiacenti)



(a)



(b)



Telefonia mobile – 4

AMPS - Architettura

- Per realizzare l'architettura a celle con frequenze differenti, occorrono **molte antenne**
- Grazie alle molte antenne, la **potenza richiesta** per ogni cellulare è molto bassa (0.6W)
- La **dimensione della cella** può essere ridotta in zone ad elevato numero di utenti. Il processo può essere dinamico, ad esempio quando gli utenti aumentano solo in alcuni momenti (eventi di massa)
- Al centro di ogni cella si trova una **stazione base** per gestire i telefoni che si trovano in quel momento nella cella
- Tutte le stazioni sono collegate ad un **Mobile Telephone Switching Office** o **MTSO**, avente il ruolo di centrale telefonica locale. Gli MTSO comunicano con le stazioni base, fra di loro e con la PSTN mediante una rete packet-switched
- Similmente al sistema telefonico fisso, gli MTSO sono organizzati in una **gerarchia di MTSO**



Telefonia mobile – 5

AMPS - Funzionamento

- Ogni cellulare AMPS ha un numero seriale di 32 bit ed un numero di telefono di 10 cifre (34bit). Quando viene acceso, **il cellulare segnala la propria presenza** inviando in broadcast questi dati, che sono ricevuti dalla stazione base, che aggiorna il proprio MTSO della presenza del cellulare. L'intero processo viene ripetuto ogni 15 minuti circa
- Per **telefonare**, componendo il numero sul cellulare, viene inviata la richiesta alla stazione, che la rigira all'MTSO, che se trova un canale disponibile, ne trasmette il numero al cellulare, che si ridirige su quel canale per la conversazione
- Per **ricevere**, il chiamante (fisso o cellulare a sua volta), invia la richiesta all'MTSO, che sa dove si trova il cellulare destinatario e invia alla relativa stazione base l'ordine di trasmettere in broadcast su quella cella su un apposito canale il messaggio di richiesta connessione. Il cellulare destinatario, in ascolto come tutti su quel canale, risponde e riceve il numero di canale su cui ridirigersi per iniziare la conversazione



Telefonia mobile – 6

AMPS - Funzionamento

- Quando un cellulare **abbandona una cella**, la stazione base rileva la diminuzione del segnale, e verifica il livello di potenza ricevuto dalle celle adiacenti, trasferendo il controllo alla stazione base che rileva il segnale maggiore
- Il cellulare viene quindi forzato a cambiare canale (diverse frequenze per celle adiacenti), operazione chiamata **hand-off**, che richiede 300ms, ed è gestita dall'MTSO, che stabilisce il nuovo canale, essendo la stazione base un semplice ripetitore
- L'hand-off può essere **soft** se il nuovo canale viene agganciato prima di rilasciare il precedente, ma richiede che il cellulare gestisca le due frequenze contemporaneamente, oppure **hard**, in tal caso la vecchia stazione rilascia il cellulare prima che passi alla nuova, e se questa non lo aggancia la comunicazione viene interrotta



Telefonia mobile – 7

AMPS - Canali

- il sistema AMPS usa **832 canali full duplex**, ognuno composto da una coppia di canali simplex, allocati separatamente su 824-849MHz gli 832 di trasmissione e 869-894MHz gli 832 di ricezione
- Nella **banda da 800MHz** in cui sono allocati i canali, le onde sono direzionali, sono assorbite dalla vegetazione e rimbalzano sugli ostacoli (possibile multipath fading)
- Ogni canale è ampio 30KHz, quindi **i canali sono gestiti in FDM**
- I canali sono divisi in **categorie**
 - controllo (dalla stazione base al cellulare)
 - paging (dalla stazione base al cellulare) per gli avvisi di chiamate in arrivo
 - accesso (bidirezionale) per assegnare i canali
 - dati (bidirezionale) per voce e dati
- In base alla non utilizzabilità di frequenze uguali per celle adiacenti, il **numero effettivo di canali** non è 832, ma circa 45
- Il sistema **ETACS (Extended TACS)**, utilizza 1320 canali nella banda 872-950 MHz.



Telefonia mobile – 8

Cellulari della seconda generazione

- Esistono quattro sistemi:
 - D-AMPS
 - GSM
 - CDMA
 - PDC (D-APMS modificato usato solo in Giappone)



Telefonia mobile – 9

D-AMPS

- Progettato per essere **compatibile con AMPS** (analogico), utilizza la stessa architettura, banda e canali, ma in digitale
- Avviene una **coesistenza di celle di entrambi i tipi**; l'MTSO sceglie i canali analogici e digitali da assegnare ad una cella in base ai cellulari in essa presenti

D-AMPS – Funzionamento

- Concettualmente, il funzionamento è **lo stesso dell'AMPS**, ossia il telefono all'accensione segnala la propria presenza, e normalmente resta in ascolto di chiamate in arrivo
- Una **differenza** riguarda il modo di gestire l'handoff, che nel D-AMPS è assistita dal cellulare, il quale ascolta la qualità del segnale della stazione base, e se è troppo bassa avvisa l'MTSO che può interrompere la connessione



Telefonia mobile – 10

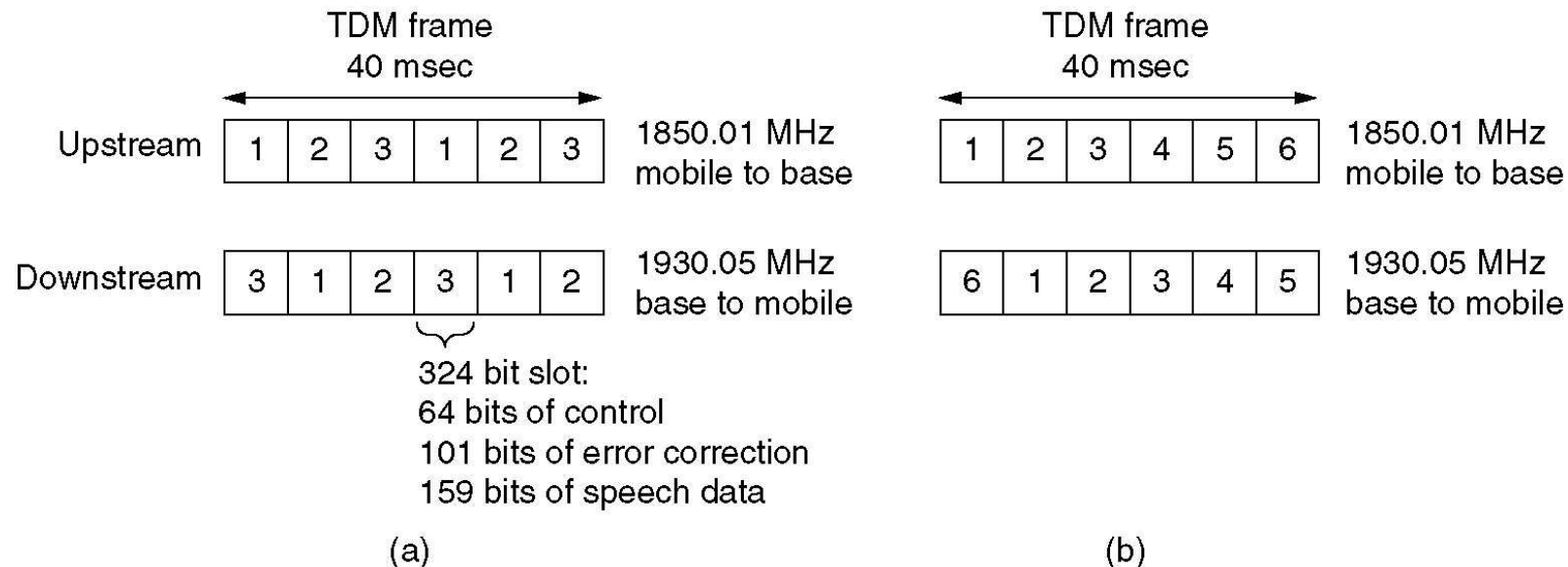
D-AMPS - Canali

- Il D-AMPS alloca i canali, dividendoli in trasmissione e ricezione come per l'AMPS, sia nella banda da 800MHz dell'aMPS, ma anche in **altre zone di banda**, nell'intervallo 1850-1910 MHz per trasmissione e 1930-1990 MHz per ricezione
- in questa zona le onde sono corte, l'antenna può essere più piccola ed il **cellulare di dimensioni più ridotte**; molti cellulari possono lavorare sia in entrambe le fasce 800MHz e 1900MHz (**dual band**)
- Rispetto all'AMPS, i canali sono digitali per cui si opera **campionando** il segnale analogico tramite PCM, con algoritmi simili a quelli usati nelle linee trasmissive di fonia fissa, ma spingendo molto la **compressione** (effettuata dallo stesso cellulare) per adattarsi alla comunicazione vocale; di fatto si scende da 56Kbps del PCM standard a 8Kbps, adatto solo alla voce

Telefonia mobile – 11

D-AMPS - Canali

- Una volta digitalizzato e compresso, il segnale viene **riunito insieme a quelli degli altri cellulari in TDM**; a seconda della compressione adottata, tre o sei utenti possono occupare la stessa coppia di canali trasmissione/ricezione in TDM





Telefonia mobile – 12

GSM

- Il sistema è molto simile al D-AMPS, ma utilizza **canali più ampi** (200KHz contro 30KHz) ed **alloca 8 utenti in TDM invece di 3 o 6**, per cui la velocità di trasmissione dati per utenti GSM è superiore rispetto al D-AMPS

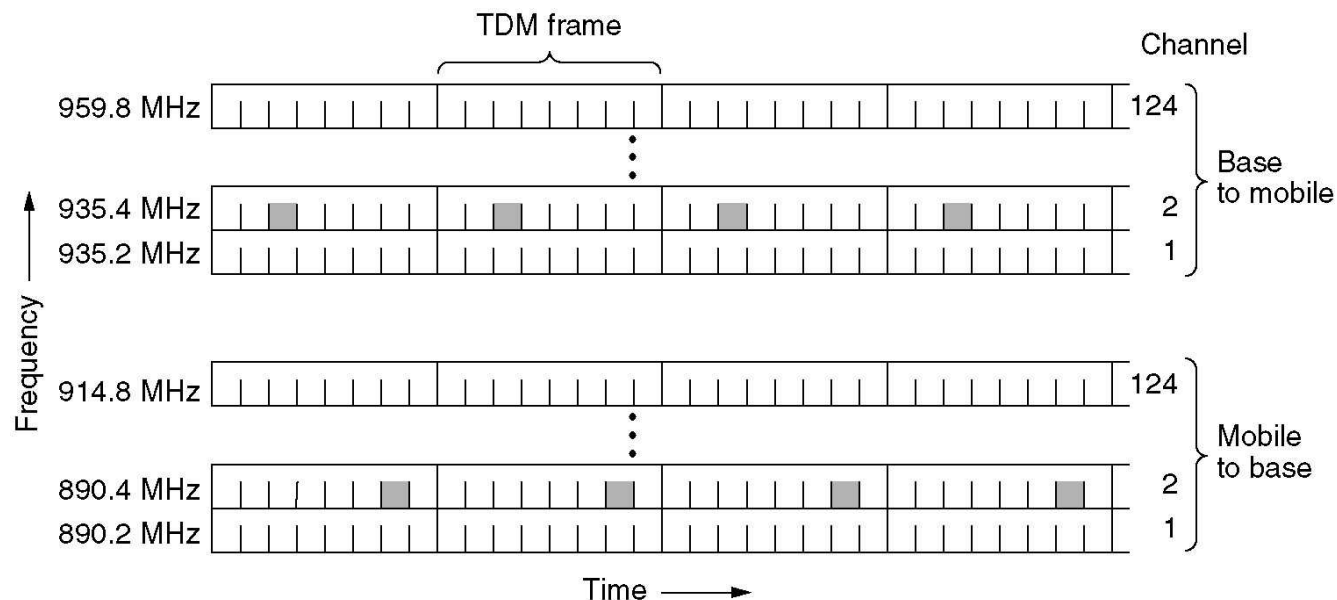
GSM - Funzionamento

- Il sistema utilizza un **canale di controllo broadcast**, su cui la stazione base invia il proprio stato ai cellulari affinché questi possano controllare la qualità del segnale
- Esiste anche il **canale di controllo dedicato**, usato dalla stazione base per gestire l'elenco di cellulari in essa presenti
- Esiste anche il **canale di controllo comune**, diviso in tre sottocanali:
 - **Canale di paging**, per annunciare le chiamate in arrivo
 - **Canale ad accesso casuale**, usato dai cellulari per chiedere uno slot sul canale dedicato, usato anche per chiedere un canale per telefonare
 - **Canale di assegnazione**, su cui la stazione base manda il numero di canale per la telefonata richiesta precedentemente da un cellulare

Telefonia mobile – 13

GSM - Canali

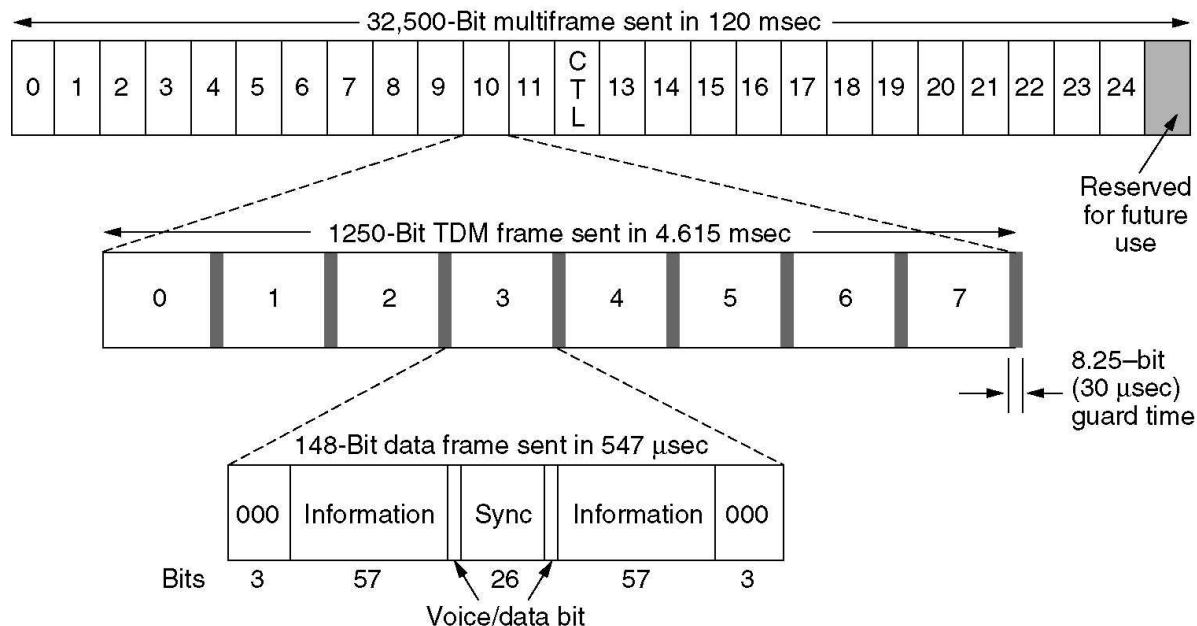
- Il sistema utilizza **124 coppie di canali simplex**, ognuno con 200Khz di banda disponibile e otto utenti in condivisione di tempo
- Poiché i cellulari GSM non sono in grado di effettuare trasmissione e ricezione contemporaneamente, si effettua un **differimento**



Telefonia mobile – 14

GSM - Canali

- Il sistema adotta una **complessa gerarchia di frame**, che fondamentalmente consente di avere per ogni utente una **qualità vocale migliore** (13Kbps di GSM contro 8Kbps o 4Kbps dell'AMPS), ed un eventuale flusso dati, a spese di una **maggiore banda utilizzata**





Telefonia mobile – 15

CDMA

- Il sistema è stato promosso dalla Qualcomm, ed è considerato la **migliore soluzione tecnica disponibile** anche per i sistemi cellulari di terza generazione, ed è usato da Sprint (AT&T usa D-AMPS)
- Il sistema è **completamente diverso da GSM e D-AMPS**, che operano tramite FDM e TDM. In CDMA si permette ad ogni cellulare di trasmettere per tutto il tempo (no TDM) in tutto lo spettro (no FDM).
- Le **trasmissioni simultanee** sono separate utilizzando la teoria della codifica, ipotizzando che la loro fusione non alteri le singole comunicazioni, ovvero ipotizzando che le trasmissioni si sommino linearmente, e proponendo un meccanismo per estrarre la **comunicazione di interesse** e scartare tutto il resto
- Il principio di base è che per trasmettere un bit, ogni stazione utilizza m bit reali chiamati **sequenza di chip** (64-128). Per trasmettere un 1, si utilizza la sequenza, per inviare 0 la sua negazione.
- Benchè il chip sia lungo (è **svantaggioso** dovere trasmettere 128 bit reali per inviarne uno di informazione), **tutta la banda è tuttavia disponibile** ad ogni stazione in qualunque momento, data l'assenza di TDM e FDM

Telefonia mobile – 16

CDMA

- Per analizzare il funzionamento, si utilizza la **rappresentazione bipolare** (0 rappresentato da -1 e 1 da +1)
- Indicando con S il chip di una stazione m , si scelgono i vari chip delle stazioni tutti fra di loro **ortogonali**, da cui si ricavano diverse proprietà che spiegano il meccanismo di estrazione della stazione

$$S \bullet T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

$$S \bullet \bar{T} = 0$$

$$S \bullet \bar{S} = -1$$

$$S \bullet S = 1$$

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

(c)

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

(d)



Telefonia mobile – 17

CDMA

- Il sistema funziona (opera su 1.25Mhz contro i 200Khz di GSM e 30KHz di D-AMPS, peraltro assegnando completamente la banda al singolo utente), ma presenta diverse **problematiche**:
 - I chip dovrebbero essere **sincronizzati** per sovrapporsi correttamente
 - **All'aumentare della sequenza di chip**, si riduce l'errore, ma aumenta il peso di bit necessari per trasmettere 1 bit
 - I **livelli di potenza** di tutte le stazioni percepite dal ricevitore dovrebbero essere uguali; solitamente i cellulari utilizzando una potenza inversamente proporzionale alla distanza dalla stazione base, che eventualmente può inoltrare richieste in questo senso
 - Un'altra ipotesi è che **il ricevitore deve conoscere il trasmettitore**, il cui chip viene poi usato per estrarre l'informazione, altrimenti il ricevitore dovrebbe provare tutti i chip ed applicarli al segnale ricevuto, impegnando molta potenza di calcolo



Telefonia mobile – 18

Cellulari di terza generazione

- L'**impulso** è dato dal traffico dati, in crescita esponenziale contro un traffico telefonico sostanzialmente fisso, oltrechè dalla **convergenza dei dispositivi portatili** per voce, video, audio, dati
- Nel 1992, l'ITU promosse l'**IMT-2000 (International Mobile Communication)**, un piano di sviluppo che prevedeva entro l'anno 2000 di fornire servizi su 2000MHz di frequenza a 2000KHz di banda, di fatto fallito, specie per quanto riguarda la banda, che doveva essere di almeno di 2Mbps (1bit/Hz), in quanto per utenti mobili è difficile da garantire (si scende a 384Kbps per utenti in movimento lento (a piedi) e 144Kbps per maggiori velocità (auto))
- I servizi che IMT-2000 doveva offrire erano trasmissione voce ad alta qualità, messaggi, multimedia, internet, videoconferenza, m-commerce, con elevata disponibilità (dovunque e sempre connessi)
- Il pregio di IMT-2000 è quello di avere promosso gli **standard**, cosa che ha ridotto le scelte a **due possibilità**: UMTS e CDMA-2000, in competizione politica (Europa vs USA) risoltasi con l'acquisizione di Qualcomm (CDMA-2000) da parte di Ericsson (UMTS) nel 1999, portando all'unico standard **3G**



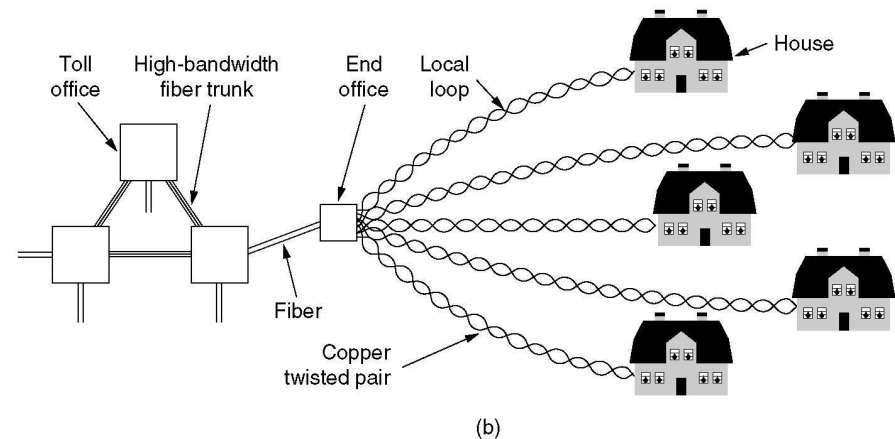
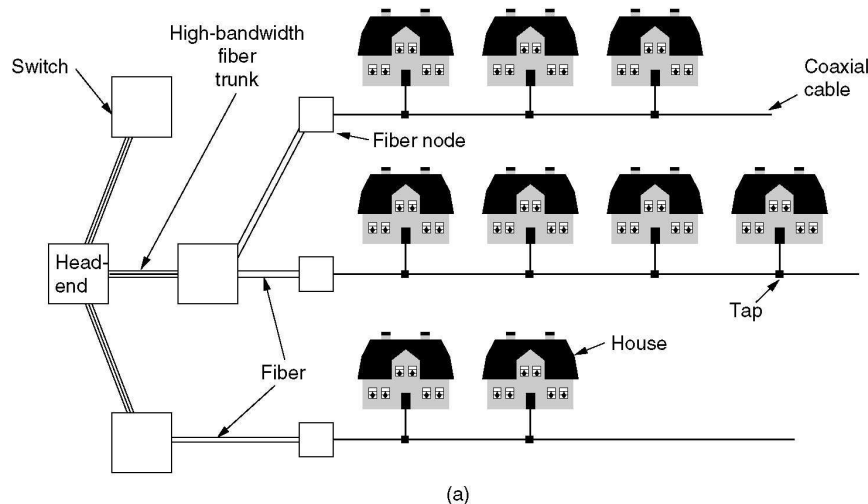
Telefonia mobile – 19

Cellulari di terza generazione

- In attesa della completa definizione del 3G, le attuali implementazioni (denominate 2.5G) sono:
 - EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), un GSM migliorato
 - GPRS (general packet radio service), una rete che consente di trasmettere pacchetti IP su alcuni slot temporali (TDM) di alcune frequenze (FDM) su richiesta del cellulare, un sistema per trasmissione dati comunque posto sopra un'infrastruttura vocale, che al più può quindi coprire il ruolo di transizione
- In attesa del 3G si lavora sulla quarta generazione, 4G, che prevede
 - maggiore banda
 - integrazione nativa con reti fisse (specie IP)
 - Gestione dinamica di risorse e spettro
- In effetti, l'aumentare degli access point 802.11 potrebbe determinare la morte del 3G prima ancora della sua definitiva applicazione

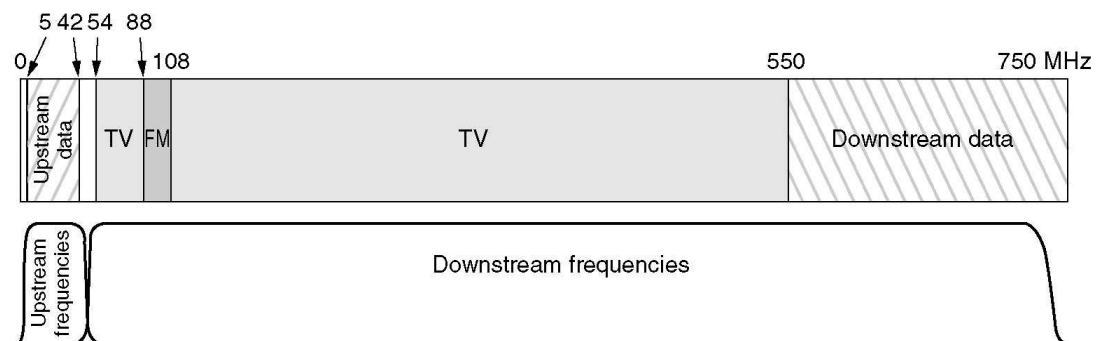
Televisione via cavo – 1

- Una **rete fissa alternativa** a quella telefonica ma egualmente utilizzabile per il traffico dati è la televisione via cavo, inventata negli anni '40 per portare il segnale a più utenti in zone con difficile ricezione (si installava una sola antenna in zona collinare, portando via cavo il segnale fino alle case degli abbonati)
- La rete si è sviluppata tanto da permettere anche il traffico dati, ma si è reso necessario **cambiare gli amplificatori** (unidirezionali per traffico tv), e **ripartire i cavi coassiali** su più fibre a causa della condivisione di banda (problema assente per la tv, dove 10 o 10000 utenti non fanno la differenza), non presente nel sistema telefonico (fino ai collegamenti locali)



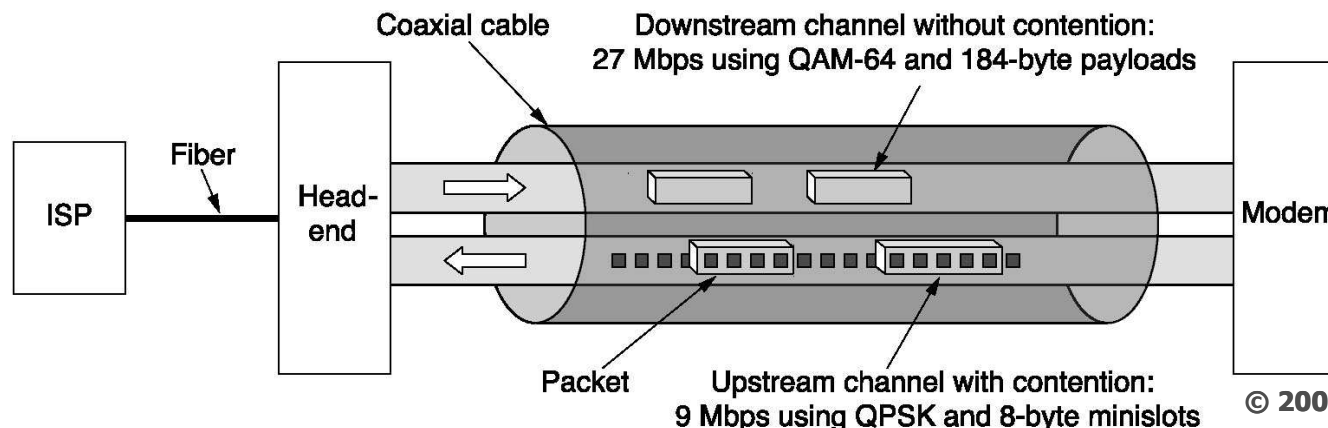
Televisione via cavo – 2

- Essendo lo spettro già usato per la tv e non potendo cessare il servizio, lo **spettro è in questo caso condiviso** fra tv e dati
- poiché i cavi possono operare anche fino a 750MHz, e la banda tv usata di solito è fino a 550MHz, si è potuta utilizzare la banda 550MHz-750MHz (larga) per downstream, ed essendo il limite inferiore dei segnali tv pari a circa 60MHz, si è usata la banda 5-50MHz (piccola) per upstream, utilizzando peraltro amplificatori unidirezionali e bidirezionali a seconda della banda (tv o Internet)
- Presentando il cavo coassiale lo stesso problema del doppino per la trasmissione di informazioni digitali, si opera una **modulazione**, che opera in downstream con QAM-64 (27Mbps) o 256 (39Mbps) a seconda della qualità del cavo, mentre adotta una QPSK in upstream, in quanto collocata in una zona spettrale più sottoposta a disturbi



Televisione via cavo – 3

- Per collegare il pc con il sistema televisivo per traffico dati, occorre un **modem cable**, inizialmente proprietario, oggi con maggiore standardizzazione (**DOCSIS**)
- Il **funzionamento dei modem** prevede che all'accensione il modem attenda un pacchetto dall'headend e risponde segnalando la propria presenza, ottenendo poi un indirizzo ip tramite DHCP ed instaurando una connessione sicura (canale condiviso)
- per effettuare la **trasmissione in upstream**, ogni modem deve utilizzare un opportuno intervallo temporale (**minislot**); essendo più modem con un solo headend, si possono creare **contese sul cavo condiviso**, in tal caso il modem riprova dopo un tempo casuale per evitare nuove collisioni
- per la **ricezione**, essendoci un solo trasmettitore (headend), non vi sono contese, basta un mux statico a divisione di tempo





Televisione via cavo – 4

Confronto ADSL – CableTV

- ADSL usa un doppino, CableTV ha un coassiale con banda maggiore, ma condivisa fra più utenti e impegnata anche per trasmissione tv
- all'aumentare del numero di abbonati, ADSL non ne risente, il cavo potrebbe richiedere un riassetto topologico per ridistribuire il carico, non sempre fatto dal fornitore del servizio
- ADSL risente molto della distanza dalla centrale, la CableTV no
- Essendo basato su doppino punto-punto, ADSL è più sicuro, il cavo invece è condiviso e richiede una connessione sicura
- ADSL si basa sul sistema telefonico, generalmente più affidabile (alimentazione autonoma)
- I sistemi via cavo di solito sono proprietari; con ADSL c'è più scelta