



Reti di calcolatori

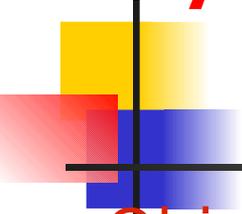
Modulo II vers. 4.0

Prospettiva storico-evolutiva

Claudio Covelli

claudio.covelli@gmail.com

Facoltà di Scienze Matematiche,
Fisiche e Naturali
Università di Trento

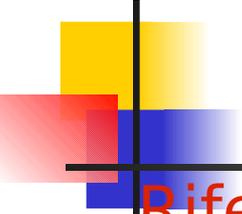


Agenda

Obiettivi generali

- Spiegare il **significato dei principali termini** utilizzati nel mondo delle reti
- **Orientarsi** nella “giungla” degli acronimi
- Capire gli aspetti essenziali del funzionamento delle reti, **integrando teoria e pratica** (saper e saper fare)
- Saper progettare, **realizzare e verificare il funzionamento di una semplice rete**:
 - ♦ usando il tool di simulazione Netsimk (laboratorio)
 - ♦ analizzando il traffico di rete con Wireshark (Ethereal)

Introduzione

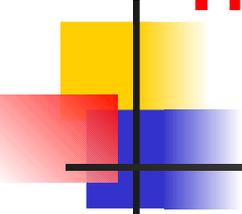


Riferimenti bibliografici

- Slides del corso
- www.tcpipguide.com
- wikipedia

Per approfondimenti:

- Kurose, Ross: [Internet e Reti di Calcolatori](#), McGraw-Hill
- Andrew Tanenbaum : [Computer Networks, Fourth Edition](#), Prentice Hall, 2003, ISBN 0-13-066102-3
- Douglas Comer, [Computer Networks and Internets with Internet Applications](#), 4th Edition, Pearson Education International, ISBN 0-13-123627-X

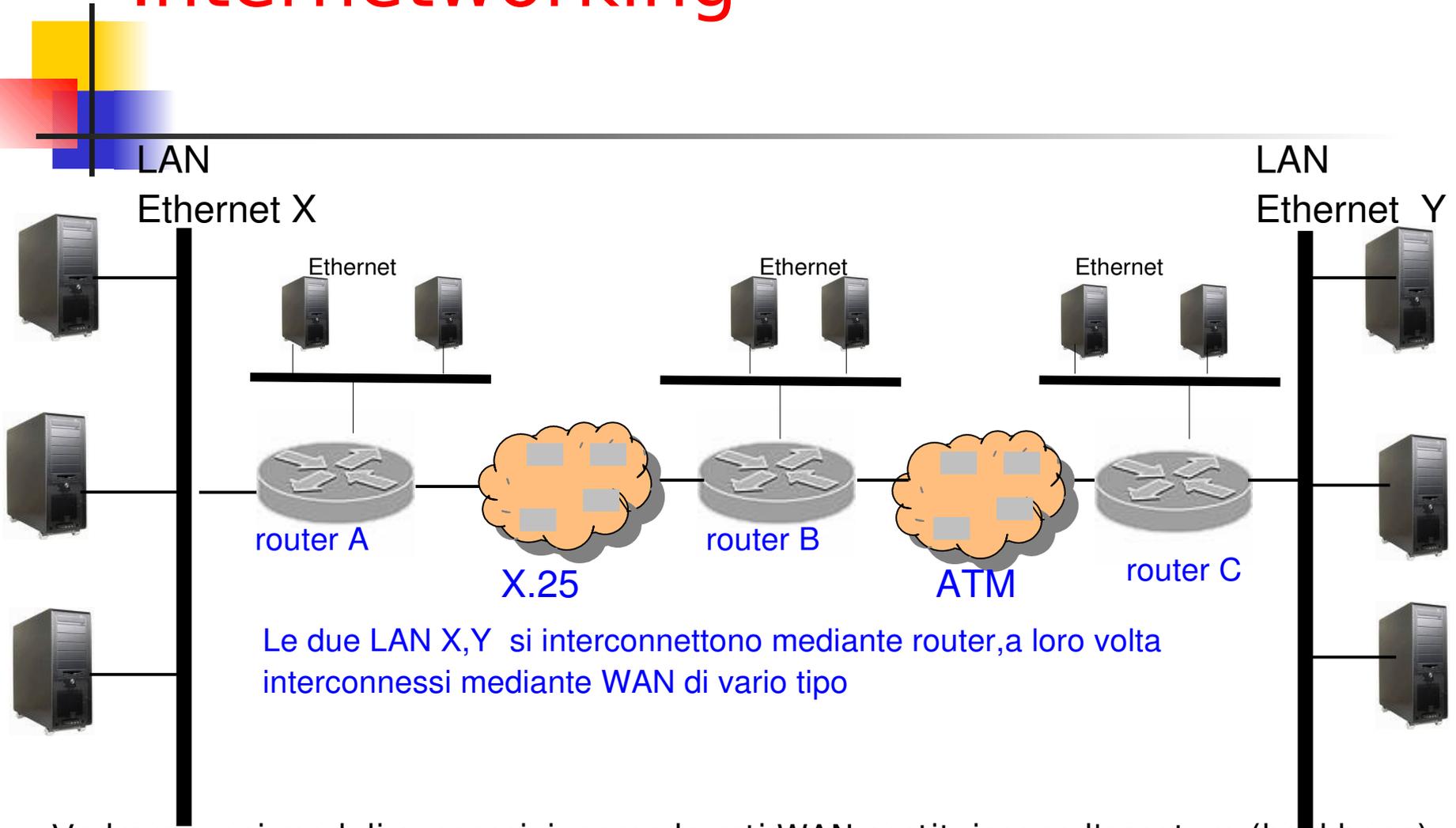


Indice modulo

Dalle reti telefoniche alle reti dati geografiche

- Reti Geografiche (WAN Wide Area Network) di tipo **circuit switching**:
 - ♦ **PSTN** (Public Switched Telephone Network)
 - ♦ **ISDN** (Integrated Services Digital Network)
- Reti Wan di tipo **packet switching**: X.25, FrameRelay, ATM

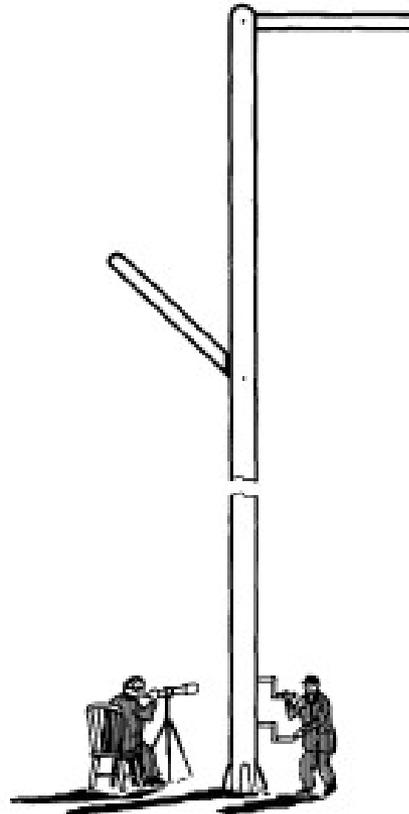
Internetworking



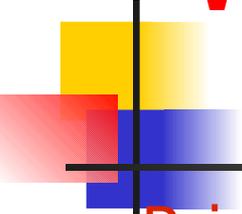
Vedremo, nei moduli successivi, come le reti WAN costituiscano l'ossatura (backbone) di Internet, in quanto esse consentono l'internetworking, ossia lo scambio di messaggi fra reti dati, anche di tecnologia differente e poste a distanza elevata

WAN Circuit switching

Primi sistemi di telecomunicazione ottica
(Francia 1792)



WAN Circuit switching



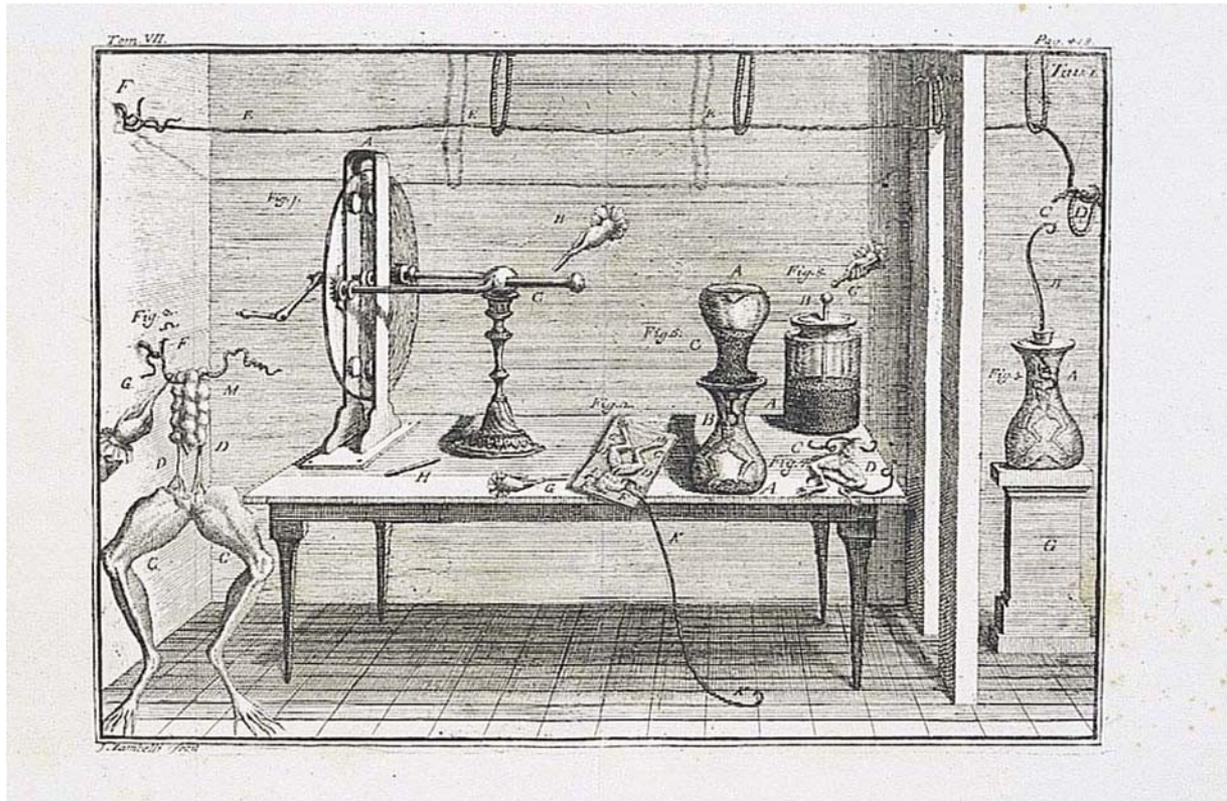
Primi esperimenti con l'elettricità (Galvani 1783)

« Dissecai una rana, la preparai e la collocai sopra una tavola sulla quale c'era una macchina elettrica, dal cui conduttore era completamente separata e collocata a non breve distanza; mentre uno dei miei assistenti toccava per caso leggermente con la punta di uno scalpello gli interni nervi crurali di questa rana, a un tratto furono visti contrarsi tutti i muscoli degli arti come se fossero stati presi dalle più veementi convulsioni tossiche. A un altro dei miei assistenti che mi era più vicino, mentre stavo tentando altre nuove esperienze elettriche, parve di avvertire che **il fenomeno succedesse proprio quando si faceva scoccare una scintilla dal conduttore della macchina**. Ammirato dalle novità della cosa, subito avvertì me che ero completamente assorto e meco stesso d'altre cose ragionavo. Mi accese subito un incredibile desiderio di ripetere l'esperienza e di portare in luce ciò che di occulto c'era ancora nel fenomeno. »

(Luigi Galvani) da Wikipedia

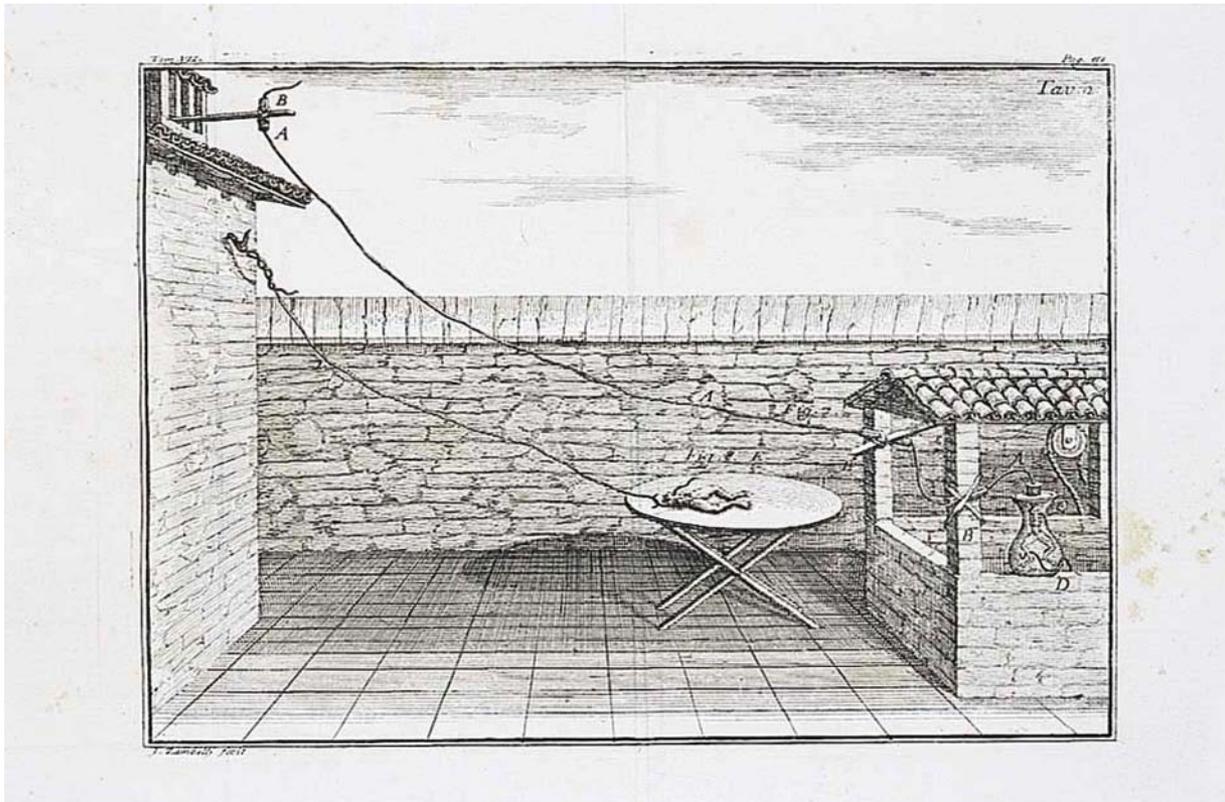
WAN Circuit switching

Primi esperimenti con l'elettricità (Galvani 1783)



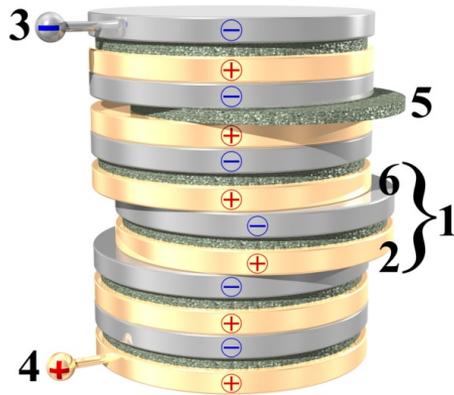
WAN Circuit switching

Primi esperimenti con l'elettricità (Galvani 1783)

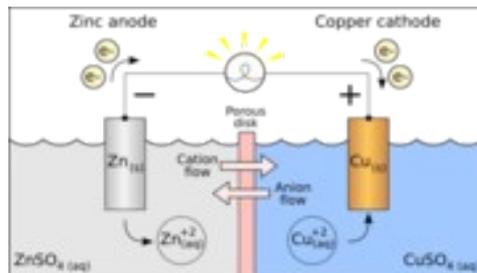


WAN Circuit switching

Primi esperimenti con l'elettricità (Volta 1800)



- 1.un elemento della pila (cella galvanica)
- 2.strato di rame
- 3.contatto negativo
- 4.contatto positivo
- 5.feltro o cartone imbevuto in soluzione acquosa
- 6.strato di zinco



cella galvanica:

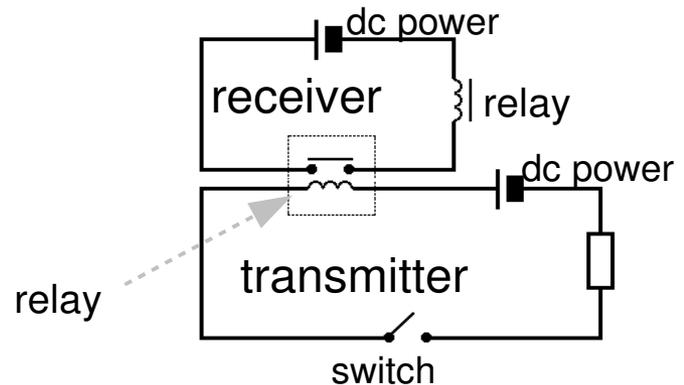
ioni metallici positivi fluiscono nell'elettrolita, comportando la presenza di elettroni in eccesso sugli elettrodi metallici.

Poiché l'intensità del fenomeno è differente nei due metalli, si viene a creare una differenza di potenziale

WAN Circuit switching

Telegrafo di Morse (USA 1843)

- Primo esempio di telecomunicazione basata su segnali elettrici digitali e di uso commerciale e pratico della corrente elettrica
- 1843: progetto finanziato dal Congresso per il collegamento Washington DC - Baltimore



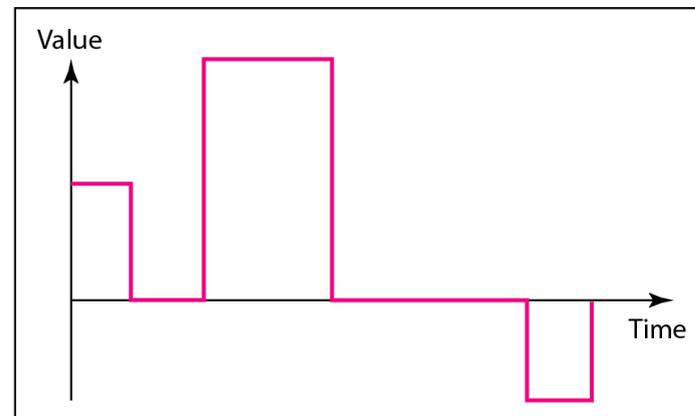
WAN Circuit switching

Segnale analogico e digitale

- Un segnale elettrico si definisce di tipo **digitale** quando presenta, nel tempo, una gamma **discreta** di valori di tensione
- Un segnale elettrico **analogico** presenta, invece, nel tempo una gamma **infinita** di valori di tensione



a. Analog signal

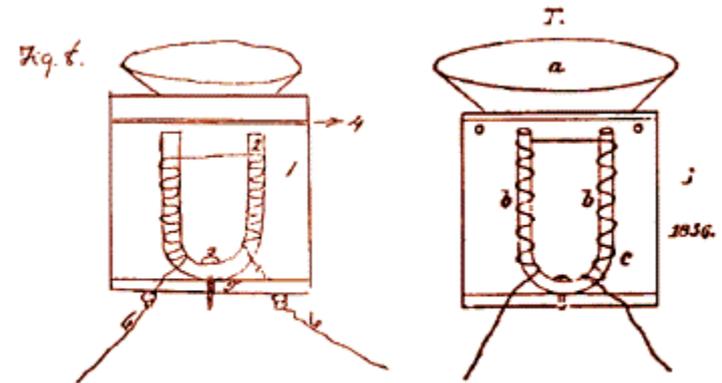


b. Digital signal

WAN Circuit switching

Invenzione del telefono
(Meucci 1871, Bell 1876)

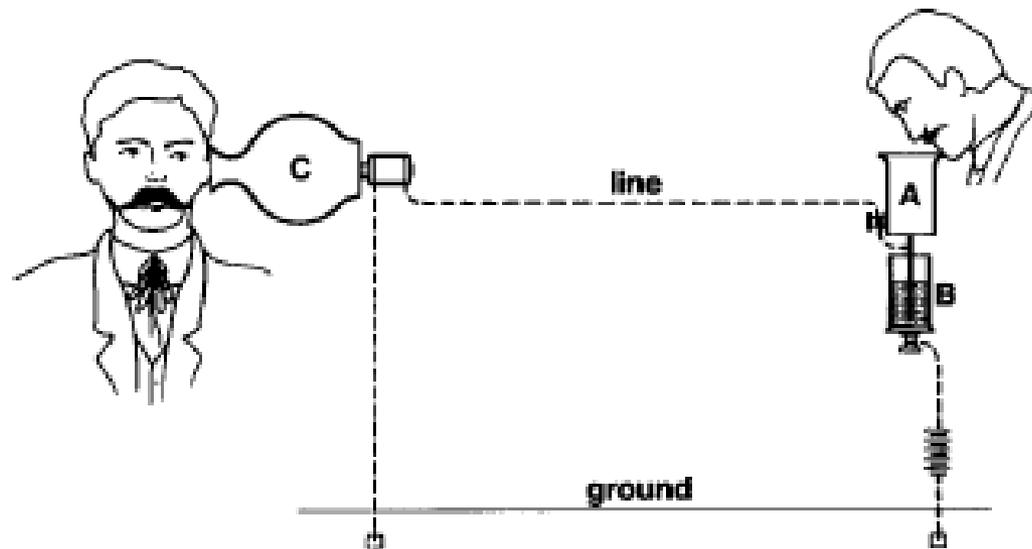
Con l'invenzione del telefono, nasceranno le reti di telecomunicazioni **circuit switching** che verranno usate, successivamente, anche come **reti dati**.



WAN Circuit switching

Prime reti (WAN) telefoniche analogiche

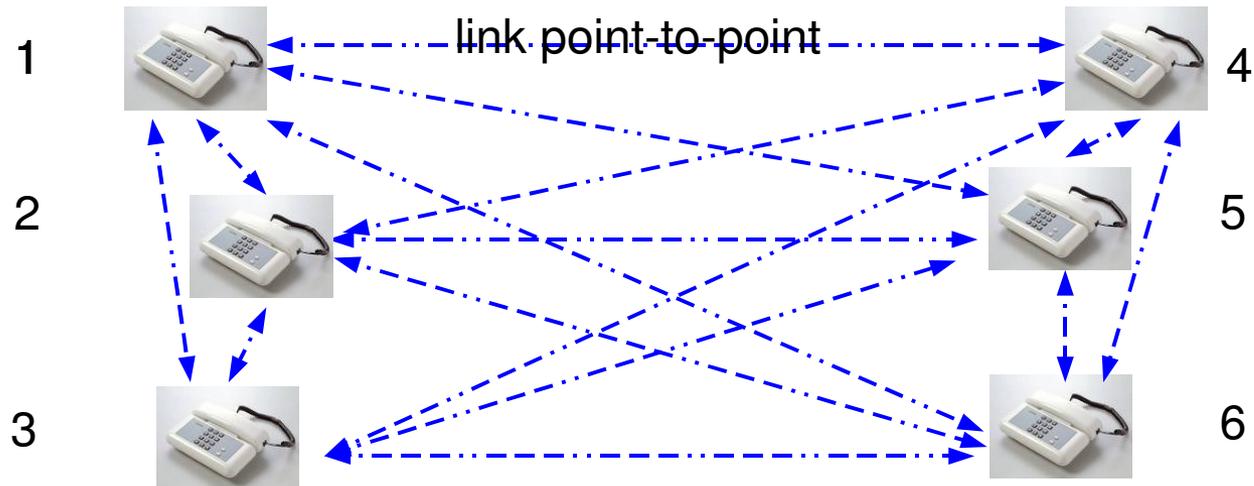
- I primi telefoni usano segnali esclusivamente analogici
- Solo a partire dagli anni 1960 si inizieranno ad utilizzare segnali digitali



WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

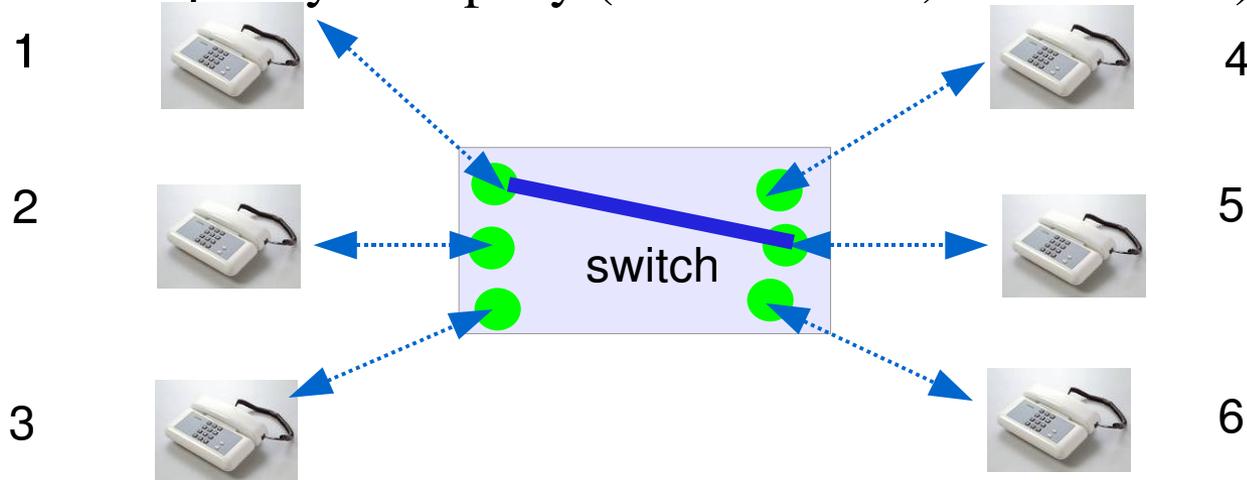
- Rete con topologia **mesh** ossia formata da tanti link di tipo point-to-point
- Costosa, scarsamente utilizzata e complessa da gestire



WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

- Rete con topologia star ossia formata da tanti link di tipo point-to-point connessi ad un unico concentratore (detto switch od exchange oppure office)
- Bell Telephony Company (New Heaven, Connecticut), 1878



WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

- Lo switch crea un collegamento di tipo fisico (**dedicated physical path**), fra chiamante e chiamato (**circuit**) per tutta la durata della chiamata
- **Ottimizzazione** del numero di connessioni fisiche rispetto alla topologia mesh
- Richiede distanze limitate, fra telefono e switch (fino a 5 km circa)
- All'aumentare delle distanze fra i punti da connettere si ha,infatti, un eccessivo degrado del segnale, per problemi di attenuazione ed interferenza

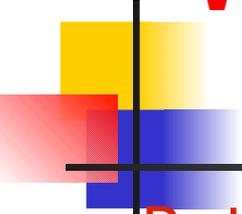
WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

- E' il modello sul quale si sono basate le prime reti telefoniche
- Inizialmente lo switch era effettuato manualmente dall'operatore di centrale mediante apposito ponticello



WAN Circuit switching

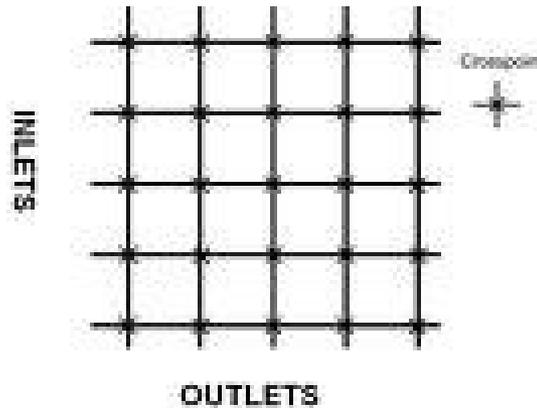


Reti WAN di tipo circuit switching

- Successivamente l'operatore fu sostituito da **switch elettromeccanici** e, dopo l'invenzione del transistor presso i Bell Labs nel 1947, da **switch elettronici** (1960; AT&T 1ESS)
- Si passa quindi da operazioni di switch effettuato in modo elettromeccanico (step by step, crossbar switching; vedi esempio seguente) a sistemi di commutazione controllati elettronicamente
- Per gestire le lunghe distanze si ricorre a più **switch**, fra loro connessi in modalità **point-to-point**

WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

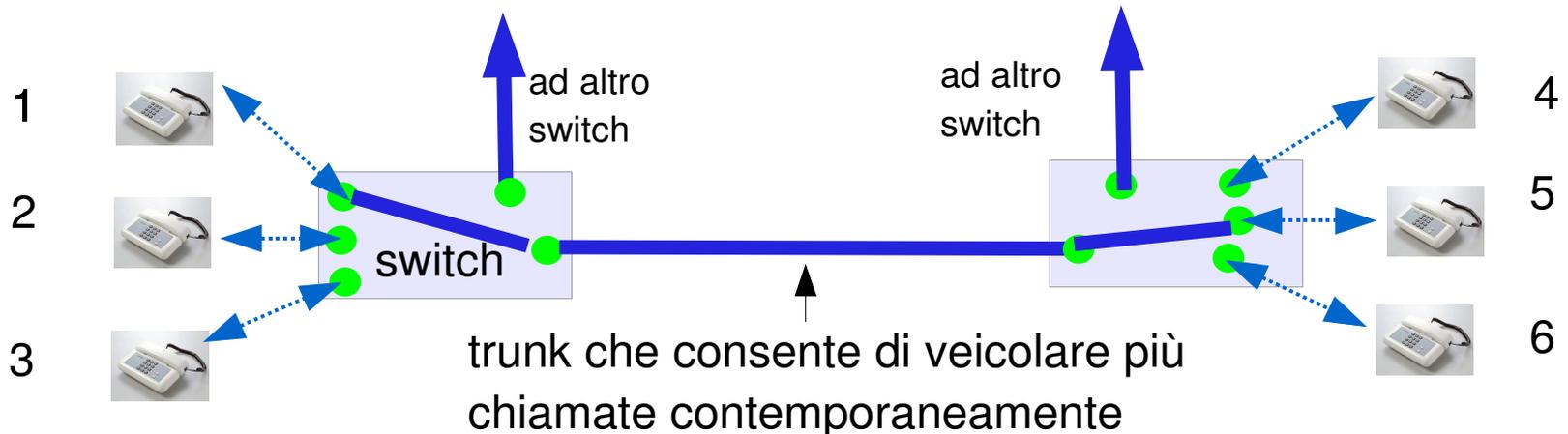


Crossbar switching: dispositivo elettro-meccanico in grado di creare, mediante relay, la continuità elettrica nei punti di incrocio (crosspoint). Si realizza in tal modo continuità elettrica fra una linea entrante ed una uscente

WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

- Si viene così a creare una **switched network** ossia una rete di switch in grado di creare **connessioni temporanee** fra i dispositivi ad esso afferenti (telefoni o switch successivo)
- Una rete così formata è detta di tipo **circuit switching** ad indicare appunto che si viene a creare un circuito temporaneo dedicato fra chiamante e chiamato



WAN Circuit switching

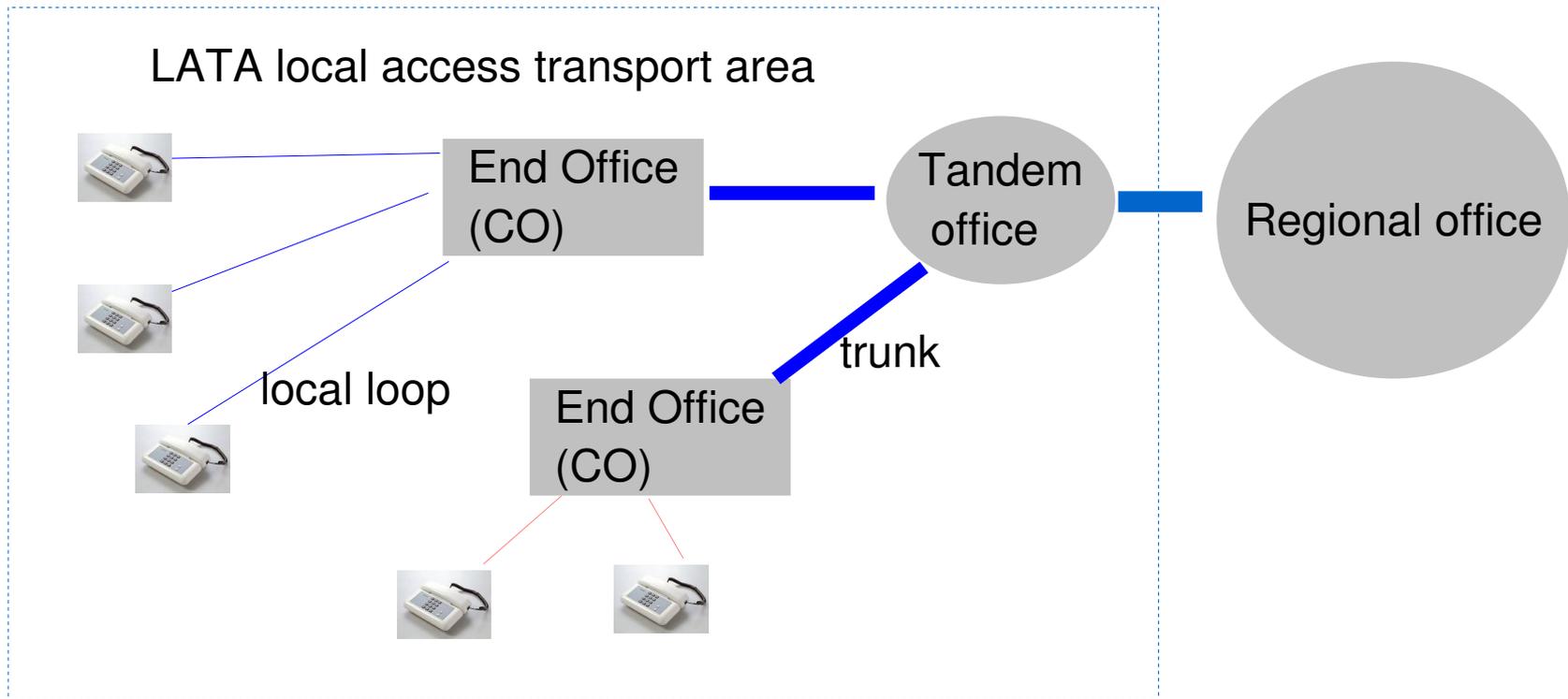
Reti WAN di tipo circuit switching

- Il numero di connessioni fra due switch, che corrisponde al numero di chiamate contemporaneamente effettuabili, dipende dal **numero di linee di interconnessione fisicamente disponibili**
- Vedremo comunque che con tecniche particolari (FDM, TDM) è possibile disporre, sull'**unico collegamento fisico** (generalmente un cavo di rame composto da quattro fili), di più **canali logici contemporanei**
- In tal modo è **possibile veicolare più chiamate telefoniche sull' unico collegamento fisico**, risparmiando in costi di implementazione e gestione (**multiplexing**)
- Il collegamento fisico di interconnessione viene denominato in tal caso **trunk**

WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

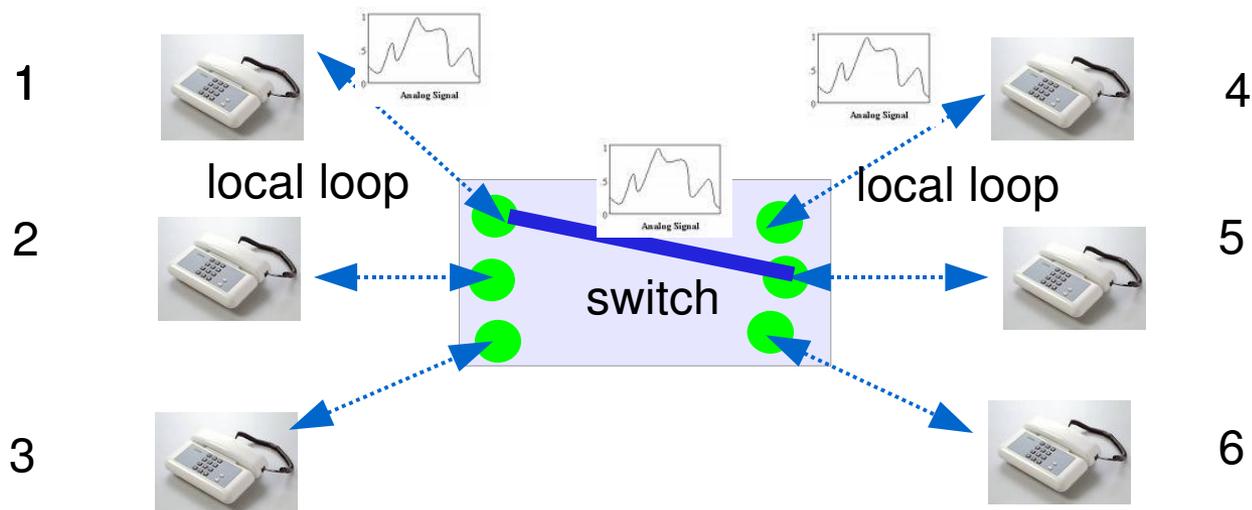
- Gli switch sono organizzati secondo una sequenza gerarchica



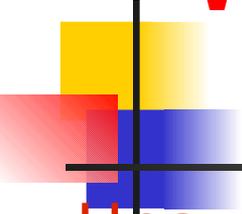
WAN Circuit switching

Distribuzione del segnale analogico

- Nelle reti telefoniche, fino circa agli anni '60, il segnale elettrico analogico, ottenuto dal microfono del chiamante, di frequenza compresa fra i 300 ed i 3400 Hz , viaggiava fino al chiamato, dove veniva di nuovo trasformato in suono nella cornetta



WAN Circuit switching



Una parentesi: trasformata di Fourier

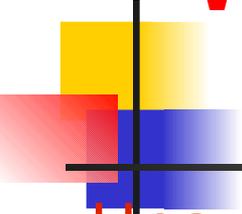
- Ogni segnale periodico può essere considerato composto da un valore costante che rappresenta il suo valore medio nel tempo e da un **numero infinito di segnali sinusoidali**, aventi ognuno una frequenza multipla di una frequenza base ($f=1$, $f=2$, $f=3$)
- La sinusoide avente frequenza coincidente con quella base è detto **fondamentale**, le rimanenti sono dette **armoniche**
- L'ampiezza delle armoniche è decrescente e tendente a zero, all'aumentare della rispettiva frequenza

WAN Circuit switching

Una parentesi: trasformata di Fourier

- Pertanto ogni segnale periodico può essere sufficientemente approssimato con un numero discreto di armoniche
- Tale gamma di frequenze, ossia il range di frequenze comprese fra la fondamentale e l'armonica di frequenza massima utilizzata per la rappresentazione, indica la banda del segnale (**bandwidth**)
- Poiché un range di frequenze più esteso consente di disporre di segnali a frequenze maggiori, che rendono possibile la trasmissione di più informazioni nell'unità di tempo (Nyquist), **il termine banda è diventato sinonimo di velocità**

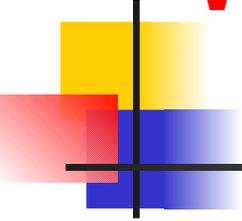
WAN Circuit switching



Una parentesi: trasformata di Fourier

- Nelle reti telefoniche analogiche, la voce è rappresentata con frequenze comprese fra 300 e 3400 Hz ossia con una banda di circa 3000 Hz
- Il motivo per il quale viene adottato un range così limitato di frequenze (la voce umana utilizza in realtà frequenze fino a circa 20 KHz) deriva dall'esigenza iniziale di semplificare e rendere più economica la costruzione degli apparati telefonici
- Per approfondimenti: <http://www.jhu.edu/~signals/listen-new/listen-newindex.htm>

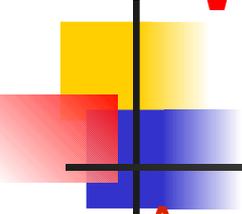
WAN Circuit switching



Segnale analogico vs digitale

- Un segnale di tipo **analogico**, per motivi legati ad interferenze elettromagnetiche ed alle attenuazioni derivanti dalle distanze percorse, **subisce un processo di deformazione che ne riduce la qualità e ne rende impossibile l'esatta ricostruzione**
- Tale perdita di qualità del segnale non può quindi essere risolta introducendo dei ripetitori di segnale e, per limitarla, si riduce il più possibile **la distanza massima** delle interconnessioni

WAN Circuit switching

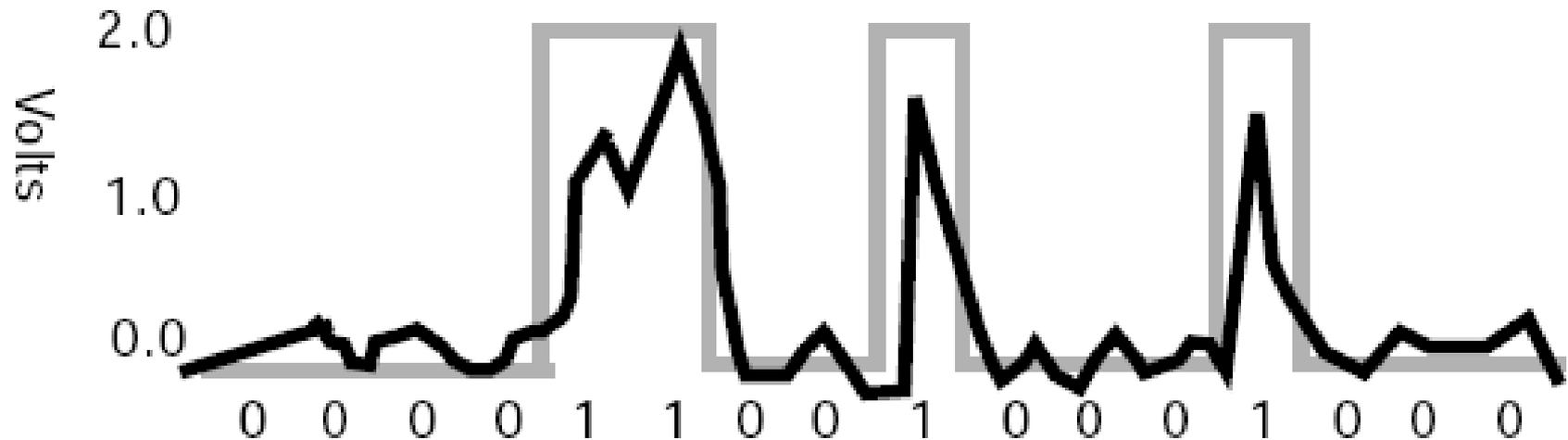


Anni '60: inizia la diffusione del segnale digitale

- Pertanto, verso il 1960, iniziarono a diffondersi le prime reti telefoniche digitali nelle quali il segnale analogico, proveniente dal local loop, viene trasformato, dallo switch, in segnale digitale
- Infatti, il segnale digitale, per sua natura, è più facilmente ricostruibile, anche in presenza di disturbi ed attenuazioni
- Esso infatti può assumere solo un numero discreto di valori (talvolta 2 soli) ed è quindi più facile dedurre il valore originario e rigenerare il segnale in modo preciso

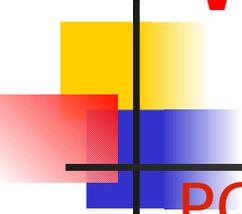
WAN Circuit switching

Ricostruibilità del segnale digitale



Conoscendo a priori i possibili valori discreti del segnale elettrico, è possibile una ricostruzione precisa del segnale originario, anche in presenza di interferenze e degrado del segnale(repeater); la stessa cosa non è possibile con il segnale analogico, non essendo prefissato il livello del segnale

WAN Circuit switching

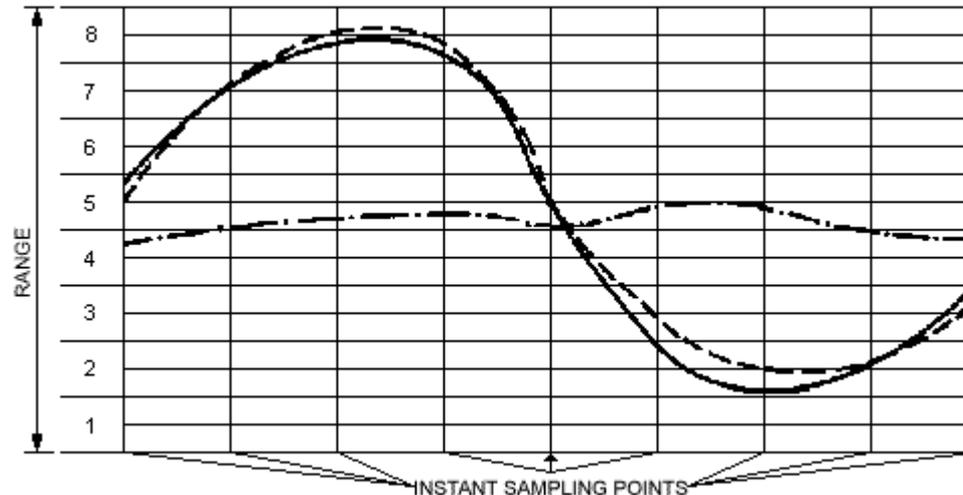


PCM

- Nel procedimento PCM il segnale analogico viene campionato 8000 volte al secondo; il valore di tensione ottenuto dal campionamento viene trasformato in un valore binario di un byte (valori di tensione compresi fra 0 e 255)
- Il valore di 8000 deriva dal teorema di Nyquist-Shannon che stabilisce che , per trasformare con un buon grado di approssimazione, un segnale da analogico a digitale, occorre un suo campionamento ad una frequenza **almeno doppia della frequenza max**
- Da quel momento in poi sulla rete telefonica viaggiano i bytes ottenuti con il processo di campionamento

WAN Circuit switching

PCM



- Esempio **semplificato** di PCM: il valore della tensione del segnale analogico viene trasformato in valori digitali usando 8 livelli di quantizzazione)
- Si può notare la distorsione introdotta, riducibile aumentando il numero di livelli di quantizzazione
- All'aumentare del range di valori disponibili, aumenta però il numero di bits prodotti per secondo
- Occorre quindi trovare un compromesso fra velocità e qualità

WAN Circuit switching

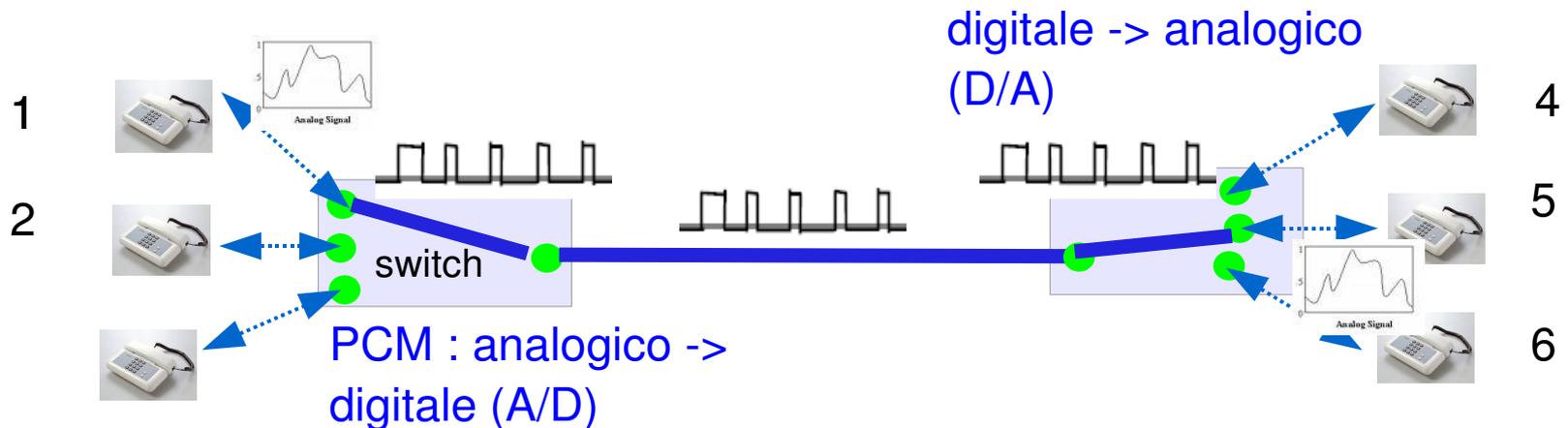
PCM

- Nel procedimento PCM standard, il segnale analogico viene trasformato in valori binari di 13 (a-law) o 14 bits (μ -law), che vengono, a loro volta, trasformati, mediante specifici algoritmi di compressione basati su formule logaritmiche (Europa: a-law; USA e Giappone: μ -law), in valori di 8 bits (compressione)
- La compressione si basa sulla variazione della distanza fra i vari livelli di quantizzazione ad 8 bits, che aumenta al crescere del valore di tensione del segnale (in altre parole, a livelli elevati di tensione corrisponde un minor numero di valori binari utilizzati per la codifica)
- Tale trasformazione produce quindi $8000 * 8$ bits al secondo ossia **64kbps**, che è la velocità standard usata nella telefonia digitale (ISDN)

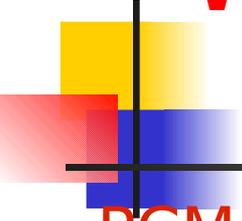
WAN Circuit switching

PCM

- Solo quando il segnale è arrivato allo switch collegato al chiamato, si effettua la trasformazione opposta (da digitale ad analogico)
- Gli switch telefonici diventano quindi apparati forniti di hw / sw opportuni per effettuare sia la trasformazione del segnale che lo switching vero e proprio



WAN Circuit switching

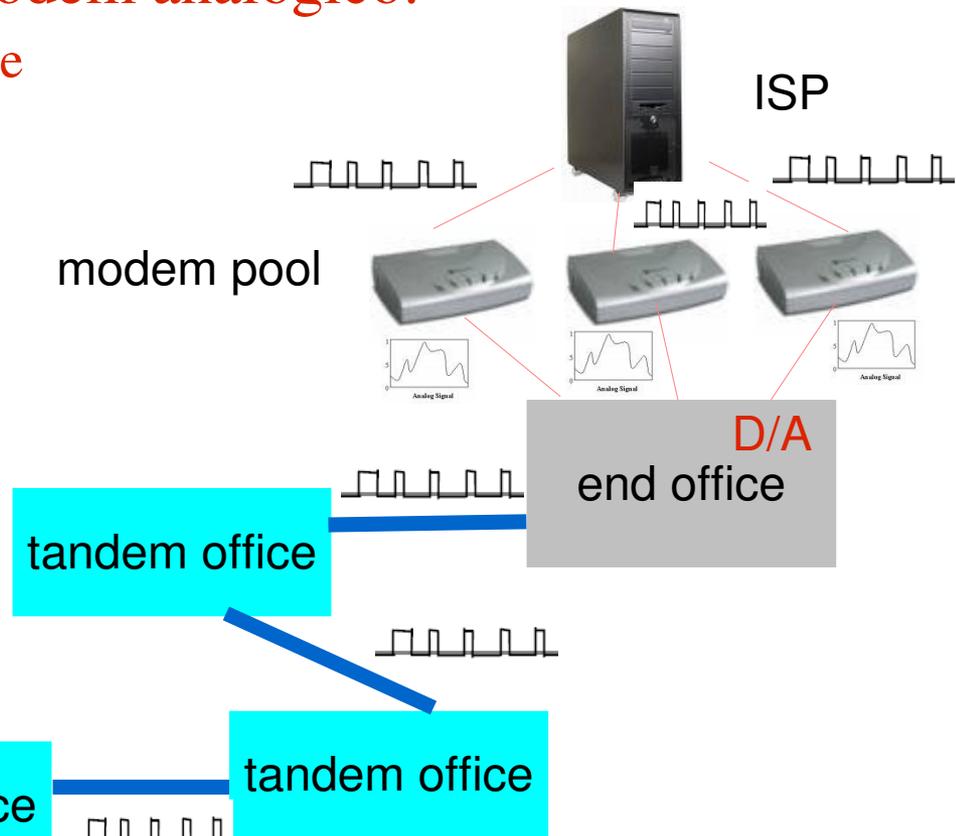


PCM

- Per gli evidenti vantaggi del segnale digitale, nel tempo **tutti gli switch vennero dotati di funzionalità di tipo PCM** in modo da confinare il segnale analogico nel solo local loop (tratto di connessione fra telefono e switch, in Italia detto anche ultimo miglio)
- Con ISDN (che vedremo più avanti) anche il local loop verrà reso digitale (1987) e quindi la digitalizzazione del segnale verrà effettuata direttamente dall'apparecchio telefonico (telefono ISDN)

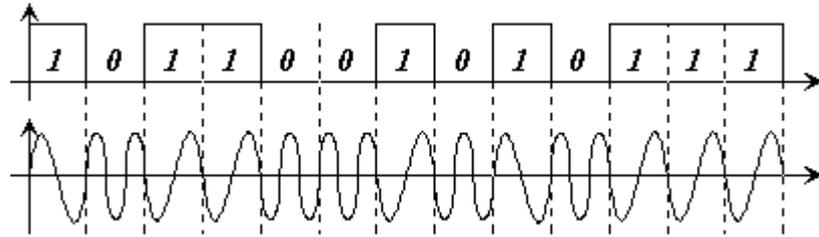
WAN Circuit switching

Es. connessione ad ISP via modem analogico:
Le reti telefoniche iniziano ad essere
utilizzate per trasmettere dati



WAN Circuit switching

Modem: esempio di modulazione di frequenza



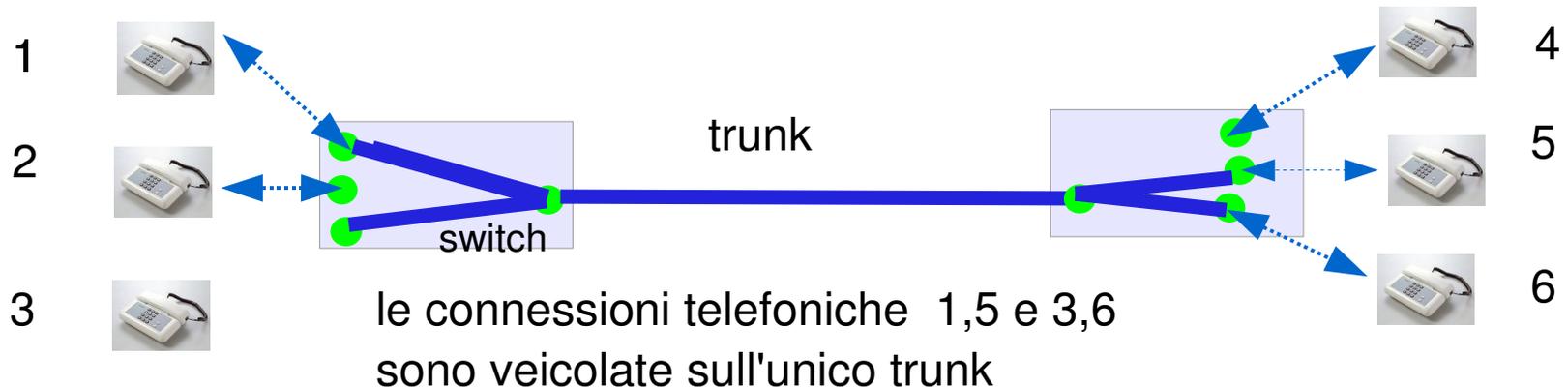
I bits 0 ed 1 ricevuti sull'interfaccia seriale RS232 determinano una differente modulazione in frequenza della portante sinusoidale, di solito compresa fra i 1000 ed i 2000 Herz.

Ovviamente le frequenze minime e massime utilizzate devono ricadere nella limitata banda passante dell'ultimo miglio (0-3400 Khz); anche usando modulazioni molto sofisticate (ampiezza, frequenza, fase), la velocità massima di trasmissione è di circa 56 kbps

WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: multiplexing

- Per ridurre il numero di connessioni fisiche fra gli switch della rete telefonica, si utilizza un unico collegamento fisico (es. rame, fibra, microonde etc) sul quale vengono veicolate n comunicazioni contemporanee di tipo circuit switching
- Tale tecnica viene denominata **multiplexing (multiplazione)**



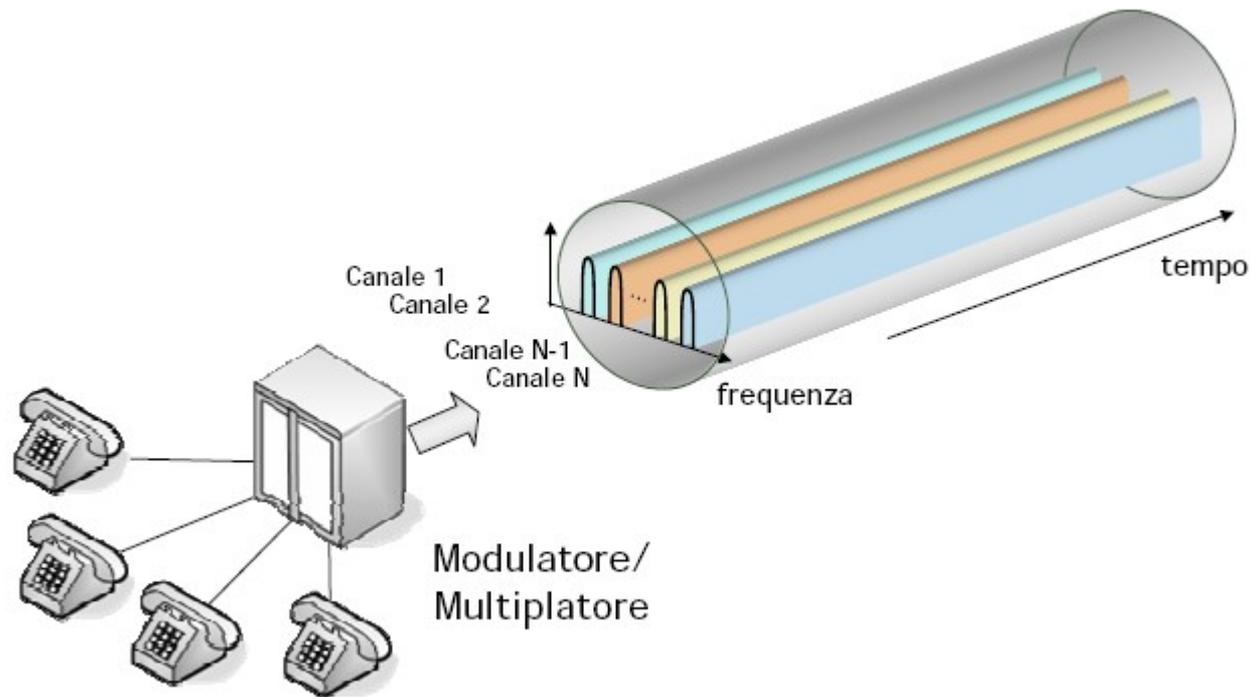
WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: multiplexing

- Una prima tecnica di multiplazione (**Frequency Division Multiplexing**), ora non più usata, consisteva nell'utilizzare **link analogici**, basati più range di frequenze, ognuno di 4 Khz
- Ad ogni range di frequenze corrisponde un canale di comunicazione
- Ad esempio se si utilizzano le frequenze da 0 a 96 Khz si hanno a disposizione contemporaneamente $96:4 = 24$ canali di comunicazione
- Il multiplexer dovrà, per ogni nuova comunicazione da veicolare sul trunk, allocare il primo range di frequenze disponibile
- Analogamente lo switch ricevente dovrà demultiplare il canale fisico, estraendo le comunicazioni presenti

WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: FDM



WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: TDM

- Una seconda tecnica di multiplazione (**Time Division Multiplexing**), attualmente molto diffusa, si usa per link digitali e consiste nell'assegnare, ad ogni comunicazione presente sul trunk, un range temporale, di estensione predefinita e ciclico (**time slot**)
- **Slotted Periodic TDM**
- Ad esempio supponendo di avere 3 comunicazioni telefoniche, contemporaneamente attive sul trunk, viene preso un byte dalla prima comunicazione ed immesso sul canale; poi viene preso un byte dalla seconda comunicazione e così via.

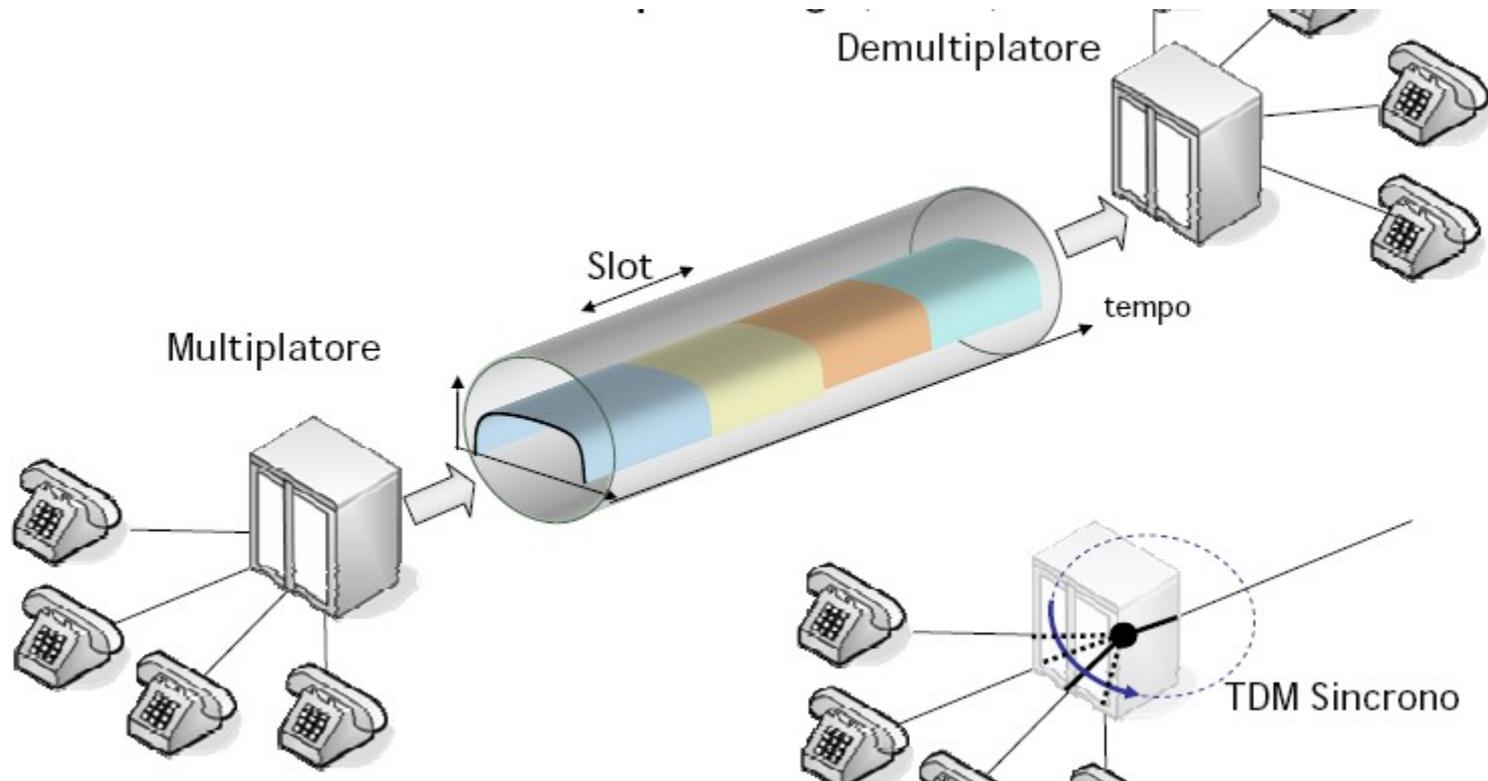
WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: TDM

- Quando viene inviato il byte dell'ultima comunicazione, si ricomincia dalla prima (sequenzializzazione dei segnali)
- Poiché ogni comunicazione richiede 64Kbps (PCM), la velocità complessiva del trunk dovrà essere multipla della velocità di base ($64 \text{ Kbps} * \text{numero canali logici} + \text{overhead}$)
- L'overhead è costituito da informazioni digitali supplementari che devono essere trasferite per esigenze di **sincronizzazione** (clock) e **segnalazione** (messaggi per attivare/chiedere la chiamata ed informazioni di supporto alla comunicazione)

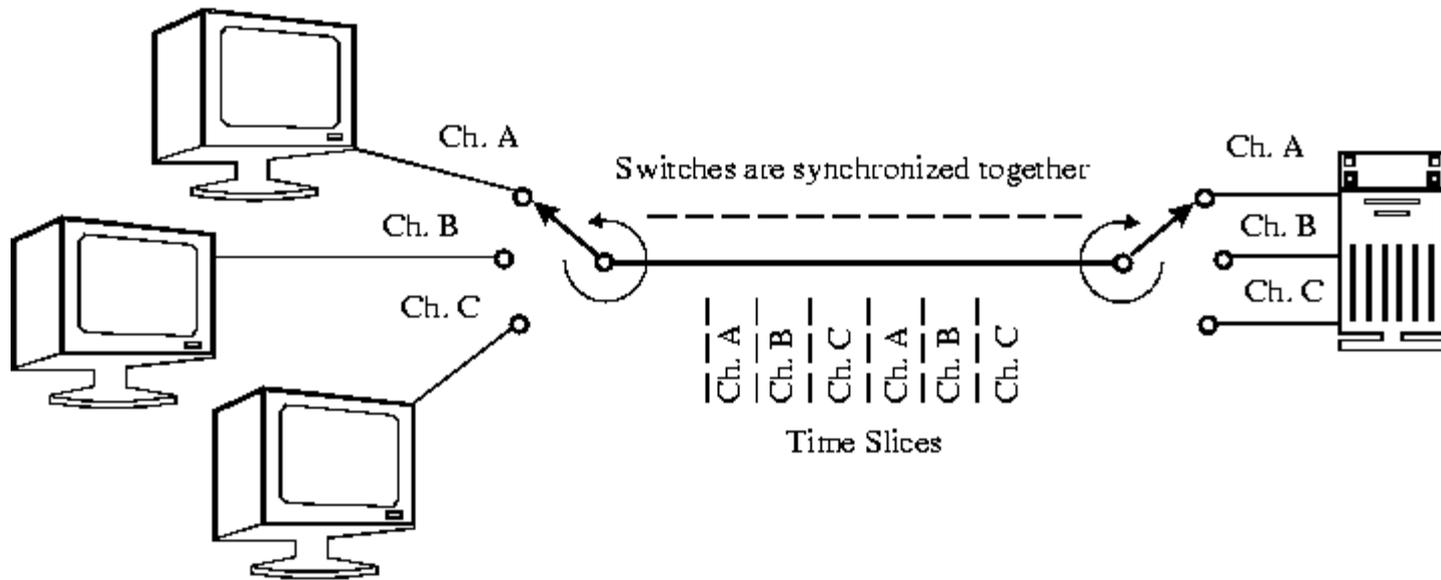
WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: TDM

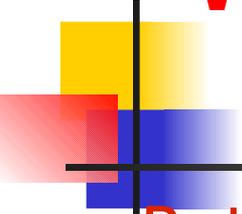


WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: TDM



WAN Circuit switching

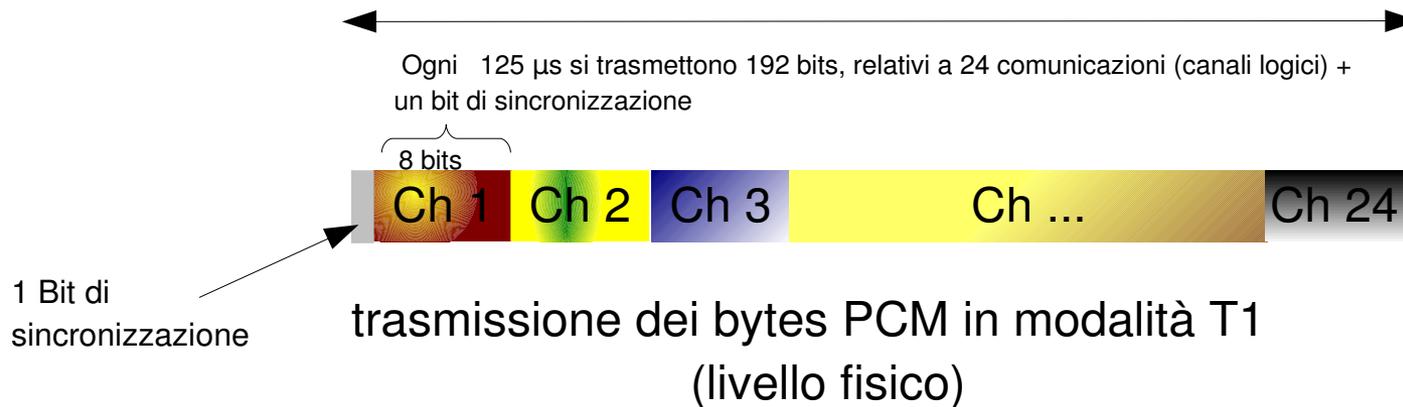


Reti WAN di tipo circuit switching

- 2 standard TDM molto diffusi
- **T1** (USA e Giappone) : sul trunk sono possibili 24 comunicazioni (canali logici) contemporanei
- **E1** (Europa): 32 canali canali logici per trunk dei quali 2 riservati a segnalazione e sincronizzazione

WAN Circuit switching

T1 (USA, Japan)

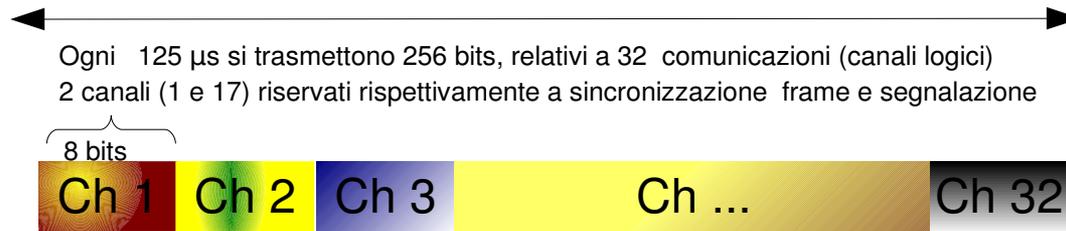


Velocit  del trunk =

$$8 \text{ bits} * 24 \text{ (canali)} * 8000 \text{ (numero di frame per secondo)} + 8000 \text{ (bits sincronizzazione per secondo)} = 1.544.000 \text{ bps} = 1.544 \text{ Mbps}$$

WAN Circuit switching

E1 (standard europeo)



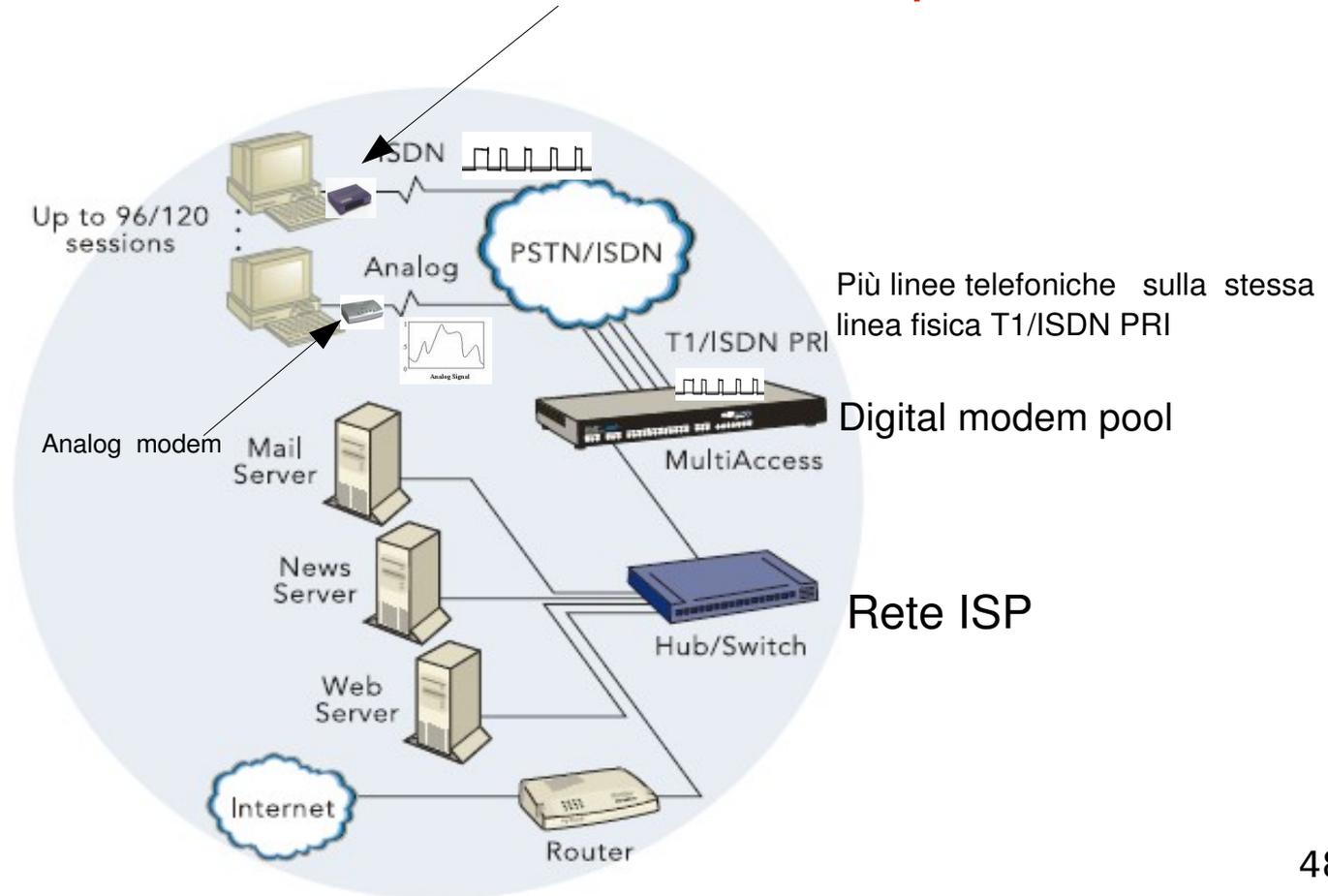
trasmissione dei bytes PCM in modalità E1
(livello fisico)

Velocità del trunk =

$$8 \text{ bits} * 32 \text{ (canali)} * 8000 \text{ (numero di frame per secondo)} = 2.048.000 \text{ bps} = 2 \text{ Mbps}$$

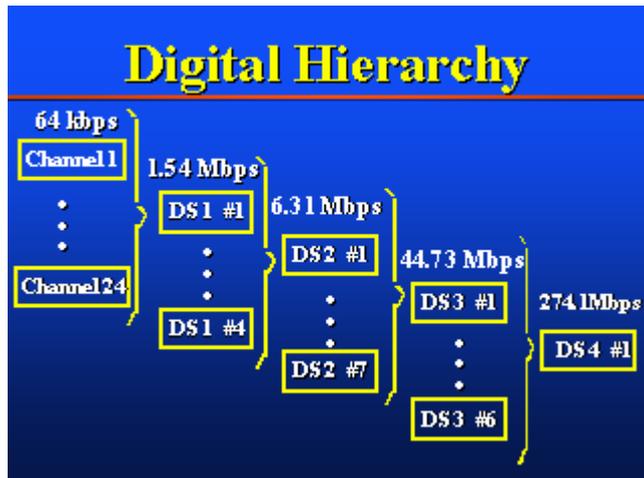
WAN Circuit switching

Connessione ad ISDN via Terminal adapter



WAN Circuit switching

Aggregazione: gerarchia T1



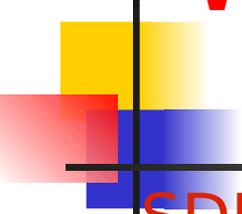
Aggregazione	Canali	Data Rate
T1	24	1.544 Mbps
T2	96	6.312 Mbps
T3	672	44.736 Mbps
T4	4032	274.176 Mbps

WAN Circuit switching

Aggregazione: gerarchia E1

<i>Aggregazione</i>	<i>Canali</i>	<i>Data Rate (Mbps)</i>
E1	32	~2
E2	4 canali E1	~8
E3	4 canali E2	~34
E4	4 canali E3	~140
E5	4 canali E4	~565

WAN Circuit switching



SDH

- Difficoltà create dalla netta differenza di tecnologie trasmissive di trunk fra Europa ed USA (T1, E1)
- Richiesta di velocità sempre maggiori rese possibili, a partire dagli anni '70, dalle tecnologie in fibra ottica
- Problematiche tecniche derivanti dalla gerarchia T1 ed E1 (ossia problemi di sincronizzazione fra i vari tributari da aggregare, dovuta a possibili minime differenze di clock fra di essi), comportano in PDH:
 - un complicato meccanismo di riempimento, dei byte trasmessi, con bit fittizi (bit stuffing)
 - difficoltà di gestione del demultiplexing

WAN Circuit switching

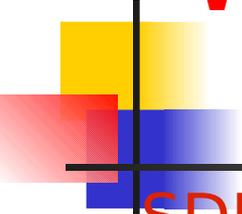


SDH

hanno portato ad un nuovo ed unico standard trasmissivo del segnale digitale su fibra ottica, che sta sostituendo gradualmente PDH, denominato SDH (Synchronous Digital Hierarchy), a velocità di circa 155 Mbps

- Negli USA lo standard ha nome differente (SONET); la velocità di base è inferiore di un terzo (circa 51 Mbps) ma la struttura del frame è simile

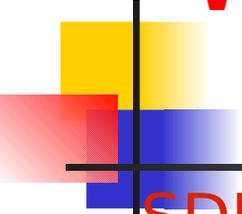
WAN Circuit switching



SDH

- Tecnica TDM con aggregazione (frame) di $9 * 270 = 2430$ canali logici (dati + overhead; cfr. disegno seguente)
- Un frame corrisponde quindi ad un aggregazione TDM di canali logici, analoga a quanto visto per T1 (24) ed E1 (32), ma con sofisticati meccanismi di gestione della differenza di clock fra i vari tributari
- 8000 campioni al secondo; 1 campione corrisponde ad 8 bits
- Ogni cella SDH corrisponde ad un canale a 64kbps, in quanto trasporta $8000 * 8$ bits al secondo (analogamente a quanto visto per T1 ed E1)

WAN Circuit switching

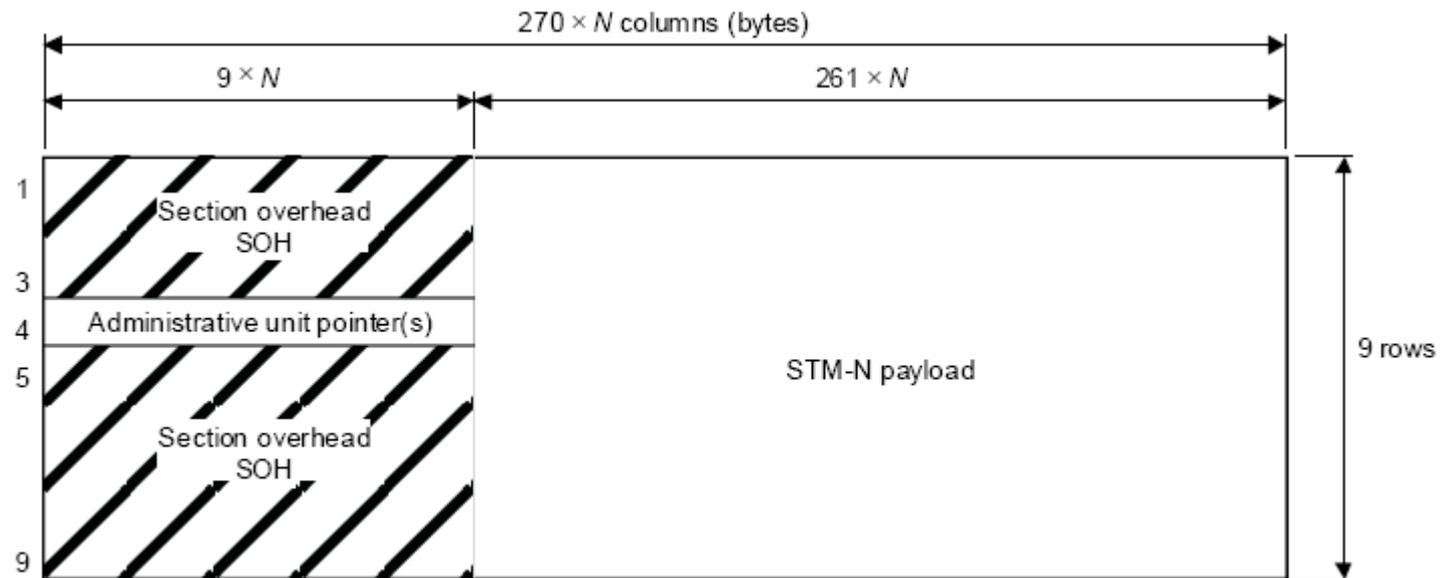


SDH

- Velocità di trasmissione di circa 155000 kbps ($9 \cdot 270 \cdot 64$)
- Rende possibile l'aggregazione di molteplici tributari alla medesima o differente velocità (ad esempio più tributari E1 a 2 Mbps oppure più tributari E1 ed E2)
- Usa un unico orologio e consente di fondere fra loro tributari con leggere differenze di clock grazie ad un sofisticato meccanismo di puntatori, in grado di gestire lo sfasamento del tributario rispetto al frame che lo contiene
- E' lo standard trasmissivo europeo (livello 1) per reti voce e dati (packet switching ATM che vedremo in seguito)

WAN Circuit switching

SDH frame (un esempio)



T1518000-95

WAN Circuit switching

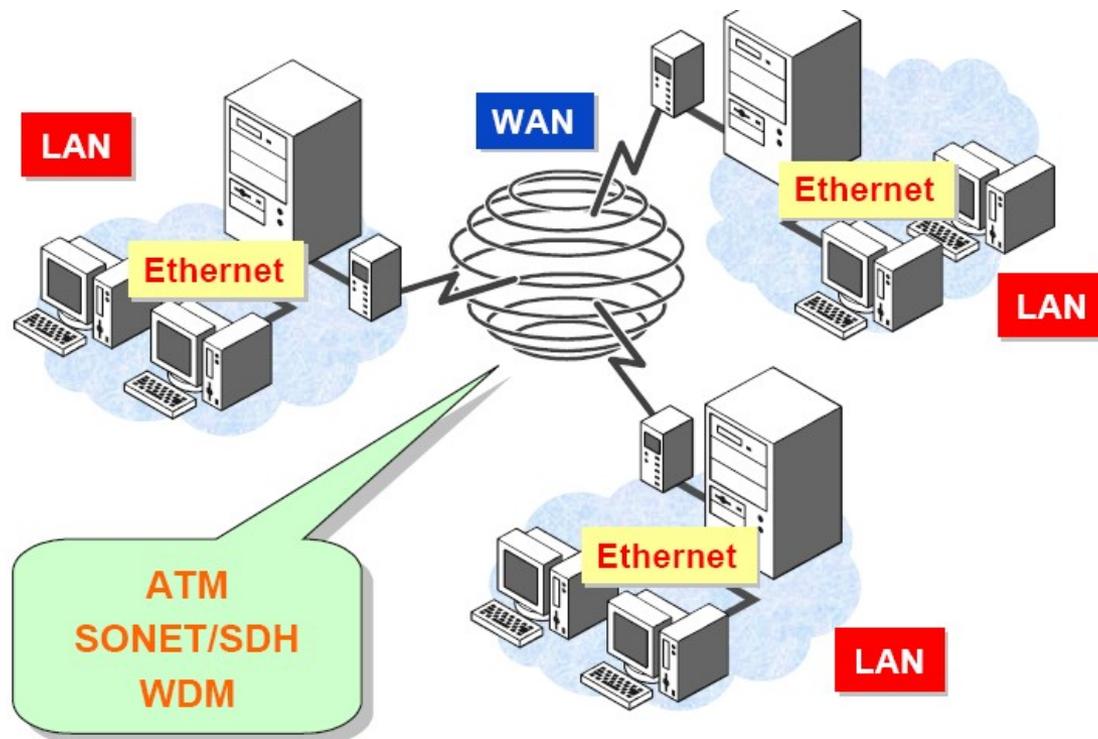
Gerarchia SDH

United States	Europe	Data Rate (Mbps)
STS-1	—	51.84
STS-3	STM-1	155.52
STS-12	STM-4	622.08
STS-24	STM-8	1244.16
STS-48	STM-16	2488.32
STS-192	STM-64	9953.28

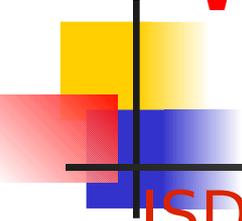
Gerarchia SDH

WAN Circuit switching

Prospective future



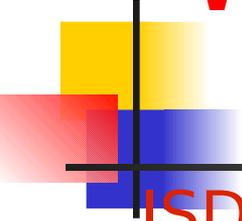
WAN Circuit switching



ISDN

- Il TDM è usato anche nella rete telefonica interamente digitale (ISDN) per trasmettere il segnale telefonico, in forma digitale, sul **local loop**
- Reso possibile grazie al PCM direttamente sugli apparati
- Diffusione inferiore a quanto sperato, per la necessità di sostituire gli apparati
- Nell'unico local loop sono presenti 3 canali logici (canali B1 e B2 a 64 kbps e canale D a 16kbps usato per le segnalazioni ossia lo scambio di messaggi testuali fra i vari dispositivi)

WAN Circuit switching



ISDN

- Tale configurazione prende il nome di ISDN BRI ed un suo interessante aspetto è la **segnalazione outband**
- Le informazioni connesse all'attivazione e chiusura della chiamata (es. attivazione suoneria del chiamato, digitazione delle cifre corrispondenti al numero da chiamare etc), diventano, da segnali elettrici con particolari caratteristiche, messaggi trasmessi con opportuni protocolli (Q921, Q931)
- Questi messaggi sono trasmessi su un canale trasmissivo differente (canale D) da quelli sui quali viene veicolata la voce digitalizzata

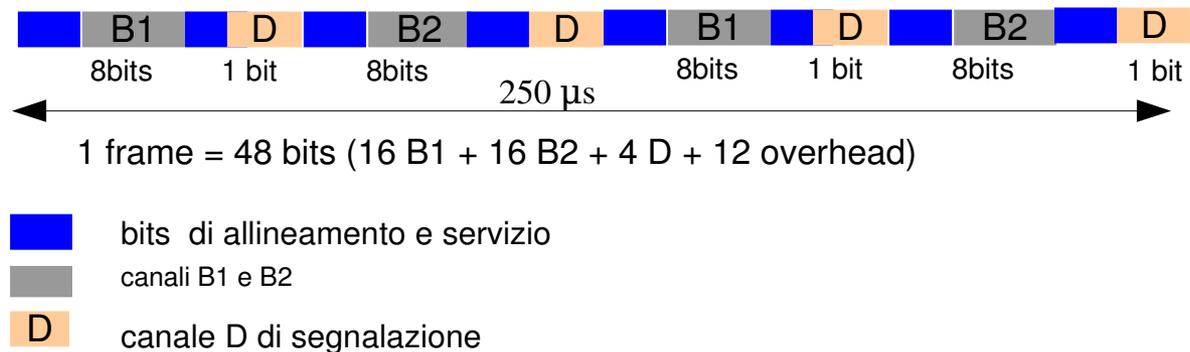
WAN Circuit switching

ISDN

- I messaggi di segnalazione e la voce digitalizzata, una volta pervenuti allo switch tramite, rispettivamente, i canali D, B1 e B2, vengono veicolati, se il destinatario è su altra centrale, sui canali messi a disposizione dai trunk TDM
- Si riutilizza quindi l'infrastruttura di rete telefonica già esistente e l'interazione fra chiamante e chiamato (qualora anche quest'ultimo utilizzi tecnologia ISDN), avviene in modalità completamente digitale
- In questi anni è in corso la sostituzione di tale tecnologia con protocolli Internet (SIP, RTP, UDP) che consentono la sostituzione dell'infrastruttura di rete telefonica con la stessa usata per la trasmissione dati

WAN Circuit switching

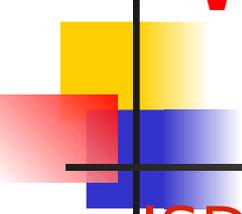
ISDN Basic Rate Interface (BRI)



- 1 frame corrisponde a 48 bits
- si trasmettono 4000 frame al secondo (1 frame = 250 μ s)
- Quindi la velocità del canale è di $4000 * 48 = 192\text{Kbps}$

Trasmissione dei dati a livello fisico nel caso di local loop di tipo ISDN BRI

WAN Circuit switching

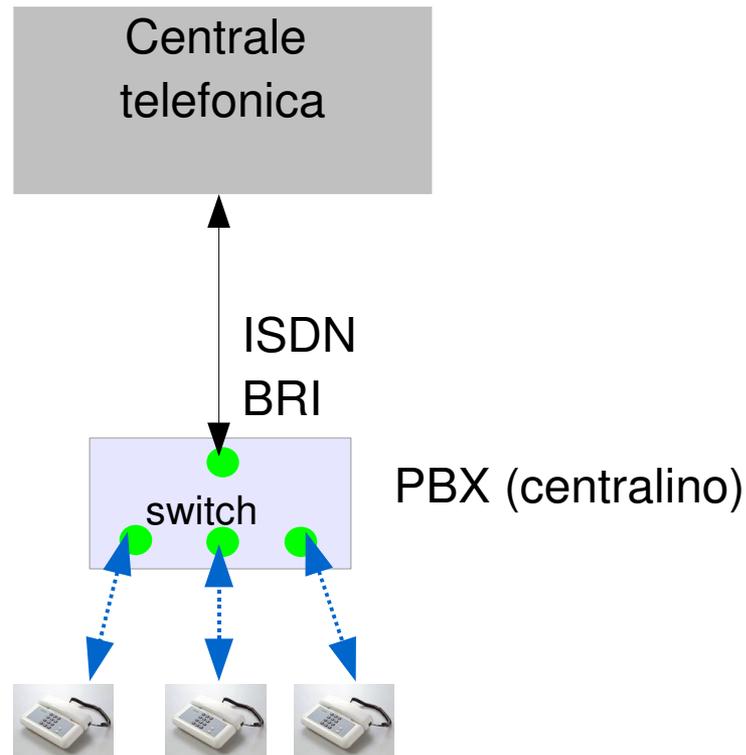


ISDN

- Nel caso di richiesta di velocità maggiori, può essere noleggiato un flusso primario (**ISDN PRI**)
- Tale flusso consente di gestire 30 differenti canali per gestione voce ed utilizza, a livello fisico, un trunk di tipo E1
- Molto usato per connettere PBX (centralini aziendali) alla centrale telefonica

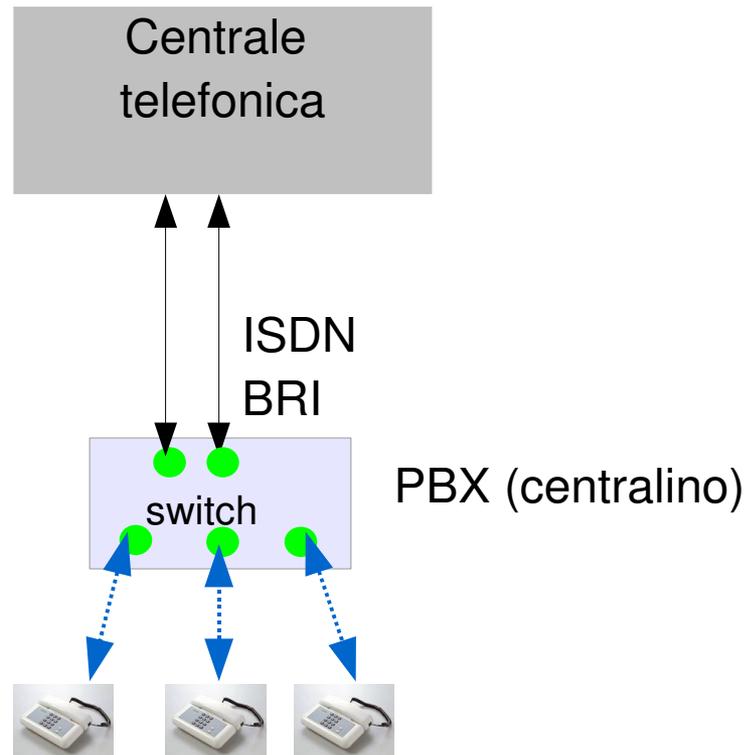
WAN Circuit switching

ISDN: esempio con 2 canali voce



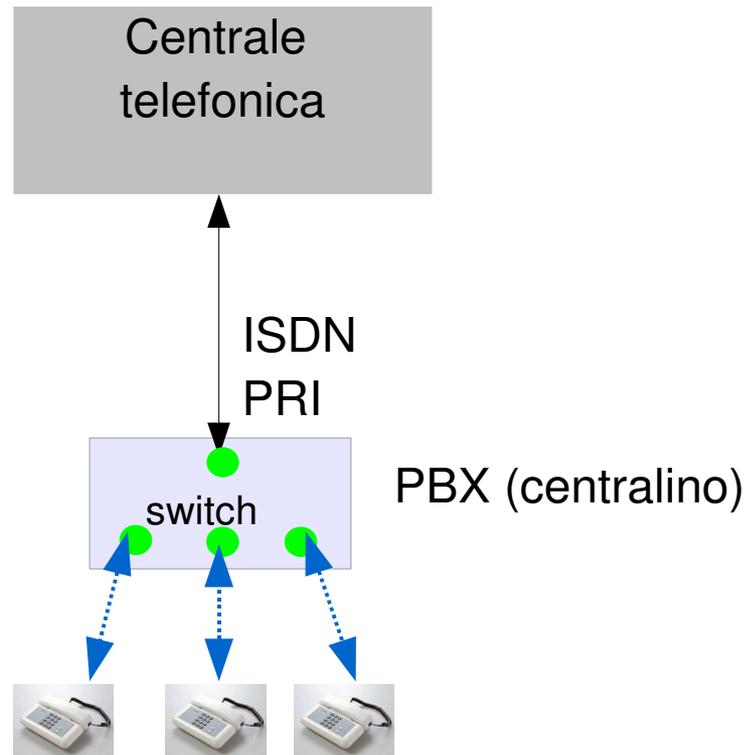
WAN Circuit switching

ISDN: esempio con 4 canali voce



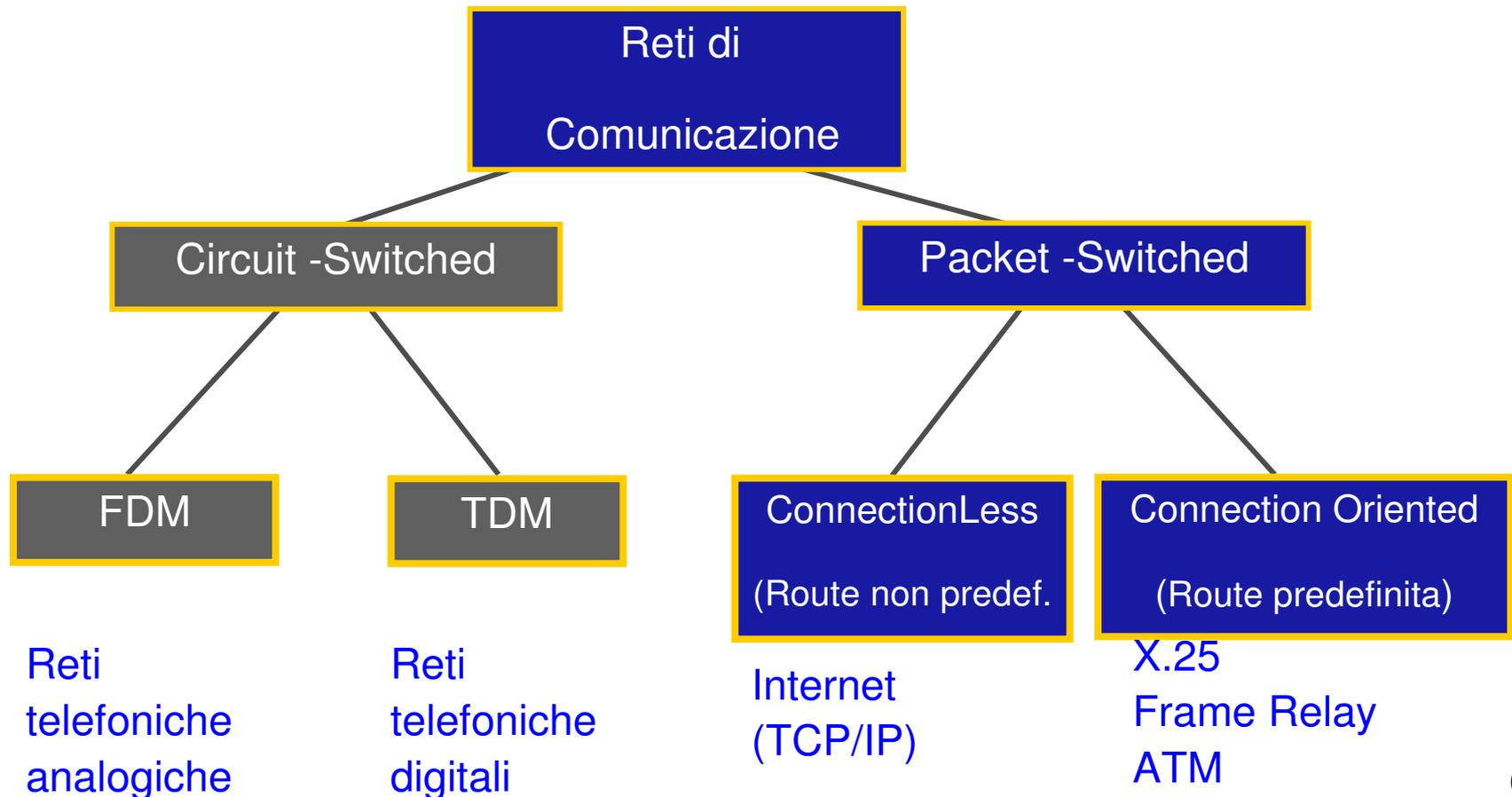
WAN Circuit switching

ISDN: esempio con 30 canali voce



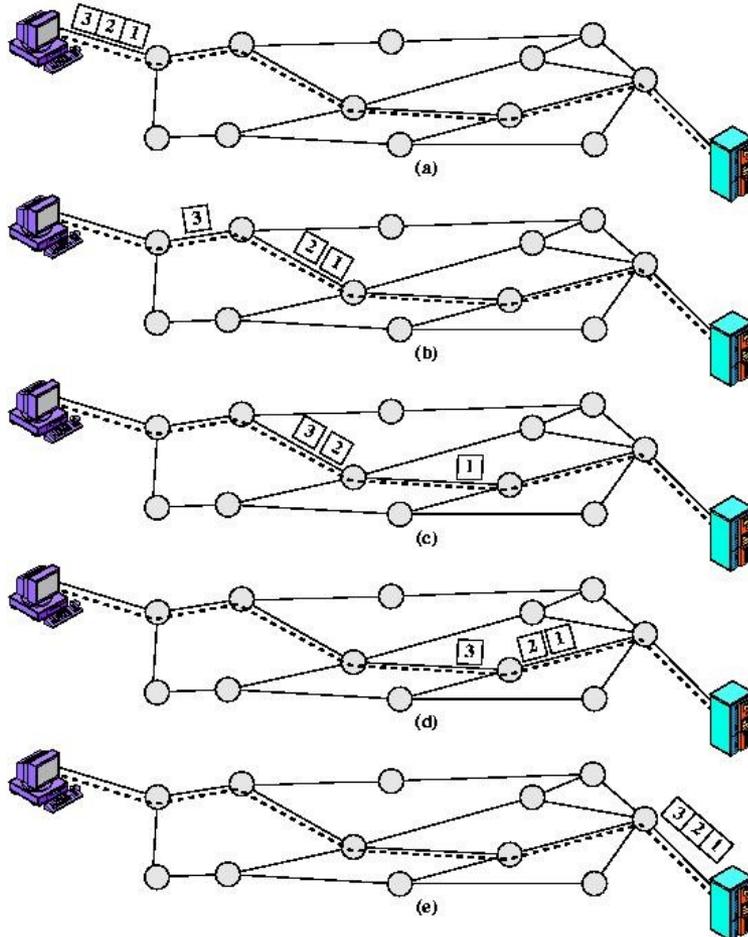
WAN Packet switching

Da circuit switching a packet switching



WAN Packet switching

Da circuit switching a packet switching

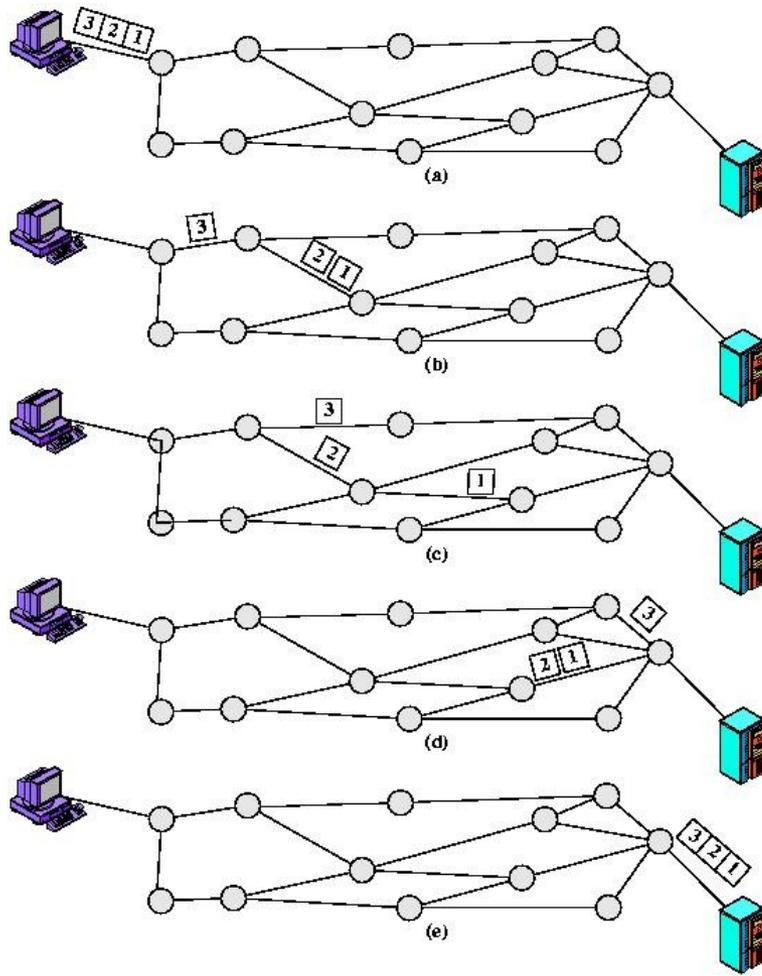


In una rete di tipo connection-oriented, i pacchetti di **una connessione** seguono sempre la stessa strada, definita prima della trasmissione dei dati (call setup)

Esempio X.25, FrameRelay

WAN Packet switching

Da circuit switching a packet switching



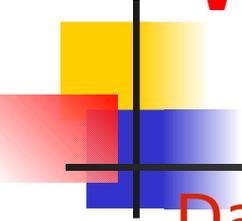
In una rete di tipo connectionless, non vi è call setup ed i pacchetti possono percorrere strade (route) diverse, in funzione delle decisioni di instradamento degli apparati intermedi

Es IP

WAN Packet switching

Da circuit switching a packet switching

- Le comunicazioni basate su TDM di tipo T1 od E1, progettate originariamente per trasportare la voce, **presentano alcuni importanti limiti quando vengono utilizzate per la trasmissione dati:**
 - 1) La voce presenta, per sua natura, esigenze di trasporto **sincrono** (nessun ritardo fra invio ed arrivo del segnale), caratteristica generalmente non necessaria per i dati e che incide sui costi di utilizzo della rete (banda assegnata)
 - 2) In una connessione dati su rete telefonica, la banda disponibile, anche se limitata (64kbps), non viene utilizzata con continuità temporale, in quanto il flusso di interscambio avviene in modo discontinuo (**burstiness, idle time**)

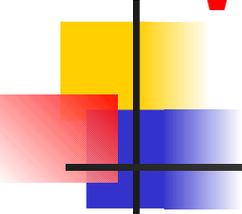


WAN packet switching

Da circuit switching a packet switching

- 3) Un singolo canale voce TDM comporta una velocità di trasmissione costante nel tempo di soli 64 kbps, ben inferiore rispetto a quella auspicabile per i dati
- 4) L'affitto di una linea di tipo T1/E1 dedicata (leased line), risolve tale problema della velocità ma presenta costi elevati e sprechi, essendo la banda completamente riservata (24 x 7).
- 5) I tempi di attivazione delle linee dedicate sono generalmente elevati, anche per la complessità di configurazione

WAN packet switching



Da circuit switching a packet switching

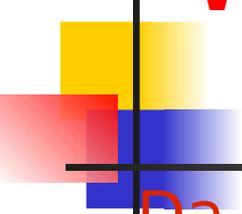
- Per risolvere questo tipo di problemi, alle reti circuit switching si affiancarono nel tempo reti di tipo **packet switching**, più adatte alla trasmissione dati, che inviano pacchetti (blocchi) di bits in modalità **asincrona**
- Esse si basano sulla **suddivisione dei messaggi** applicativi (ad esempio un file inviato da un client ad un server) in pacchetti di dimensioni standard (es. 256 bytes per X.25)
- Ogni pacchetto contiene una parte del messaggio da trasmettere (**payload**) ed informazioni necessarie al suo trattamento (intestazione od **header**), che vedremo meglio in seguito

WAN packet switching

Da circuit switching a packet switching

- Come vedremo, parlando del TCP/IP, i messaggi, creati dai programmi client e server, vengono dati **successivamente** in carico a specifici **layer software** (es. layer TCP, UDP, IP, Ethernet) che aggiungono ad ogni pacchetto delle opportune informazioni, in modo da consentire trattamenti specifici (es. controllo di corretta ricezione di ogni pacchetti, gestione degli instradamenti, etc)
- Ogni pacchetto da inviare, una volta effettuato il passaggio nei vari layer, viene infine trasformato in segnali digitali od analogici, a seconda dell'apparato mittente, e trasmesso al destinatario, ove subisce un trattamento simmetrico (trattamento a ritroso nei vari layer)

WAN packet switching



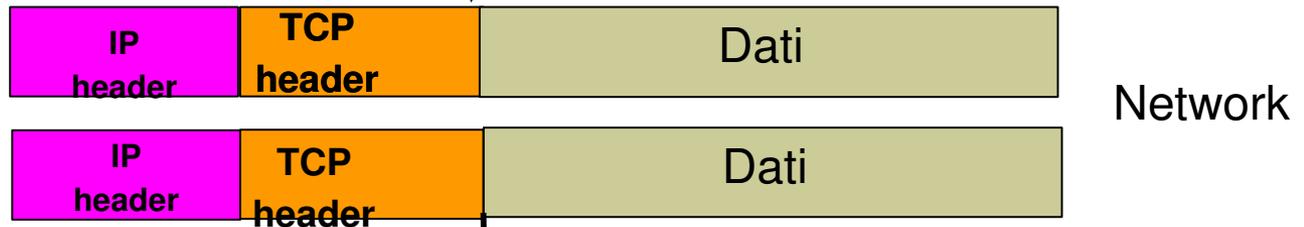
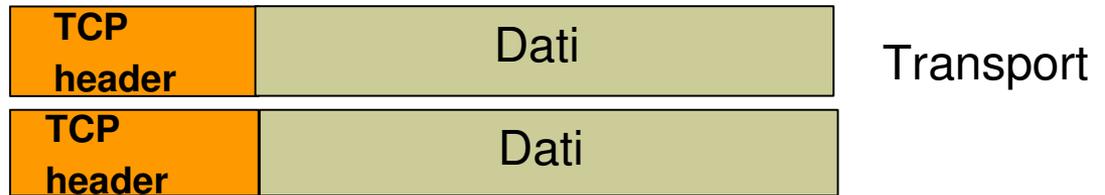
Da circuit switching a packet switching

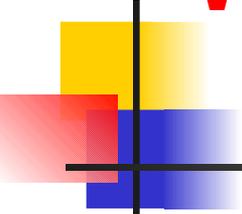
- Tali segnali possono senz'altro essere trasmessi usando reti di tipo circuit switching, ma, per i limiti descritti in precedenza, è più conveniente utilizzare, per il loro invio, reti di tipo packet switching

WAN packet switching



Esempio:
stack TCP/IP/Ethernet





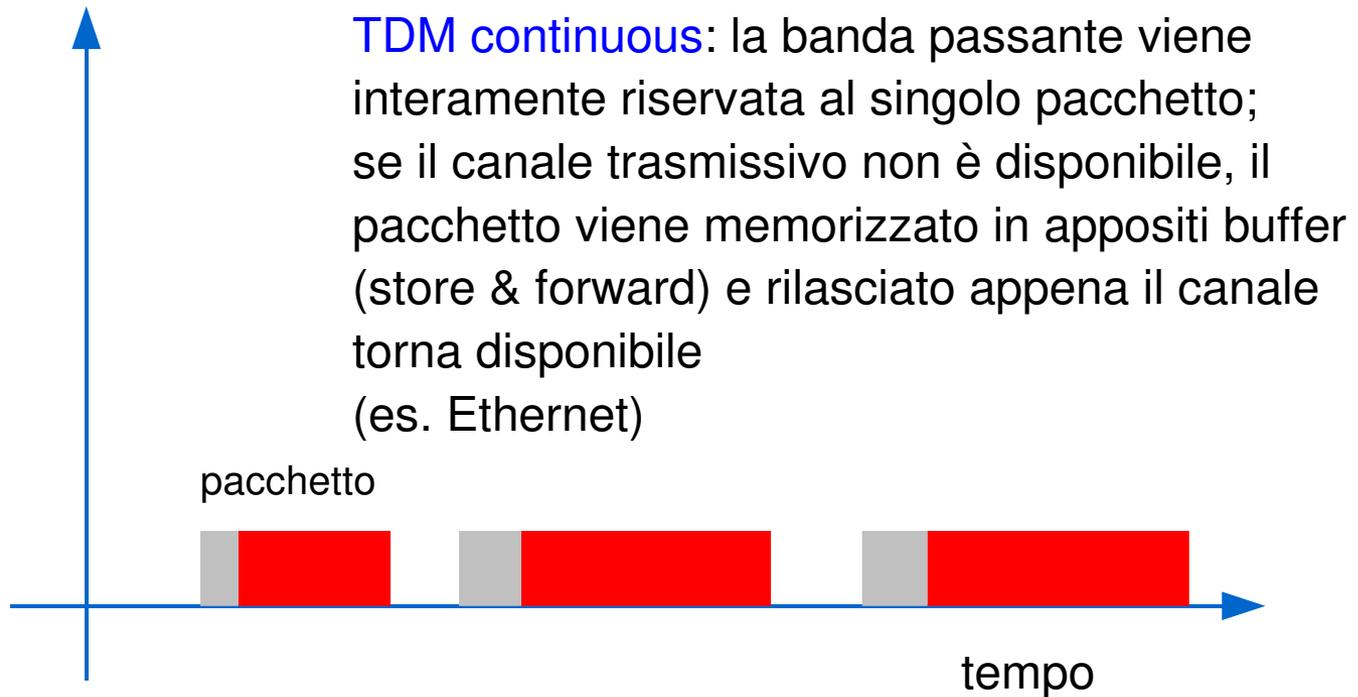
WAN packet switching

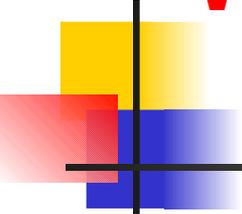
Da circuit switching a packet switching

- Il vantaggio, in termini di comunicazioni, è che il pacchetto, per le sue limitate dimensioni **occupa, solo per un tempo estremamente limitato,** il canale fisico
- Si consente, in tal modo, un uso condiviso della connessione da parte di più utenti; **la banda passante viene utilizzata interamente e solo quando ci sono dati da trasmettere,** non per l'intera durata della sessione (**TDM continuous**)
- Si migliora perciò il grado di utilizzo del canale, con conseguente riduzione dei costi

WAN packet switching

Da circuit switching a packet switching





WAN packet switching

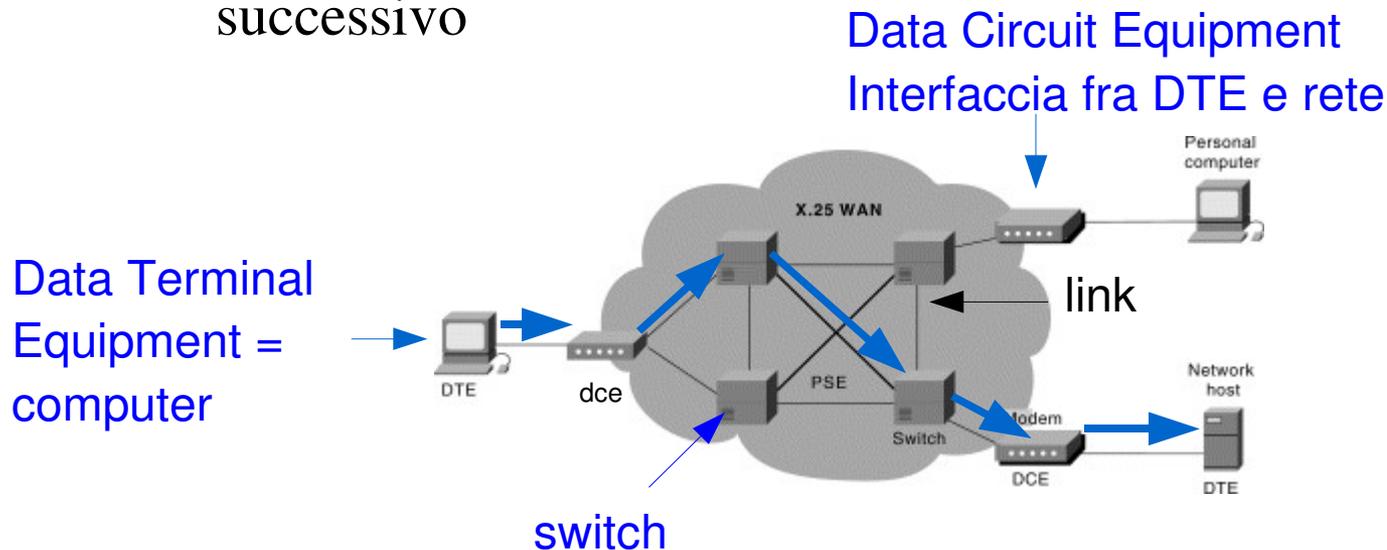
Da circuit switching a packet switching

- Gli svantaggi del packet switching rispetto al circuit switching sono invece rappresentati dal ritardo (**delay**) introdotto da ogni switch e dalla variabilità di questo ritardo (**jitter**)
- Se il ritardo ha poca importanza per i dati veri e propri, può costituire un problema nel caso di reti multimediali, quando si ha a disposizione banda limitata
- Un altro svantaggio è rappresentato dalla presenza degli header dei pacchetti, introdotti dai vari layer, che costituiscono comunque un overhead trasmissivo (nelle reti circuit switching l'unico layer, quando si trasmettono i dati, è quello di livello 1)

WAN packet switching

Packet switching connection-oriented

- Nelle reti WAN di tipo packet switching, i pacchetti vengono trasferiti dal mittente al destinatario attraverso particolari dispositivi (**switch**) che effettuano il cosiddetto **routing** (instradamento) ossia l'invio del pacchetto da uno switch al successivo

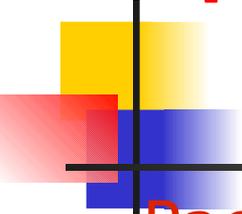


WAN packet switching

Packet switching connection-oriented

- Nelle WAN che andremo a breve ad esaminare (X.25, FrameRelay, ATM), l'instradamento è di tipo **connection-oriented** e si basa sul concetto di **virtual channel**
- Per consentire la condivisione del link da parte di più connessioni contemporanee, ogni link di interconnessione fra gli switch (physical channel) viene suddiviso in più virtual channels, ognuno identificato da un particolare codice (**VCI Virtual Channel Identifier**)
- Ad ogni pacchetto che transita in un link fra due switch, viene assegnato, nell'header, un VCI, per distinguerlo da tutti gli altri pacchetti che transitano sullo stesso link e riguardano altre connessioni

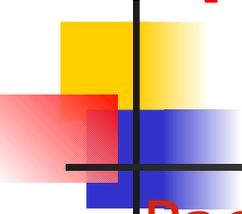
WAN packet switching



Packet switching connection-oriented

- IL VCI può essere, in alternativa:
 - ◆ preconfigurato una tantum in ognuno dei link che il pacchetto deve attraversare (**PVC Permanent Virtual Channel**)
- oppure, in alternativa

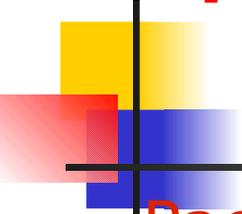
WAN packet switching



Packet switching connection-oriented

- ◆ determinato, all'atto della connessione (**SVC** Switched Virtual Channel) e rilasciato al termine della connessione, nel seguente modo:
- ◆ Quando due apparati iniziano la connessione, attivano la procedura di **call setup** che assegna i valori di **VCI** nei vari **link** che ogni pacchetto della connessione dovrà percorrere
- ◆ IL DTE chiamante, a tale scopo, invia un particolare messaggio al DTE chiamato

WAN packet switching



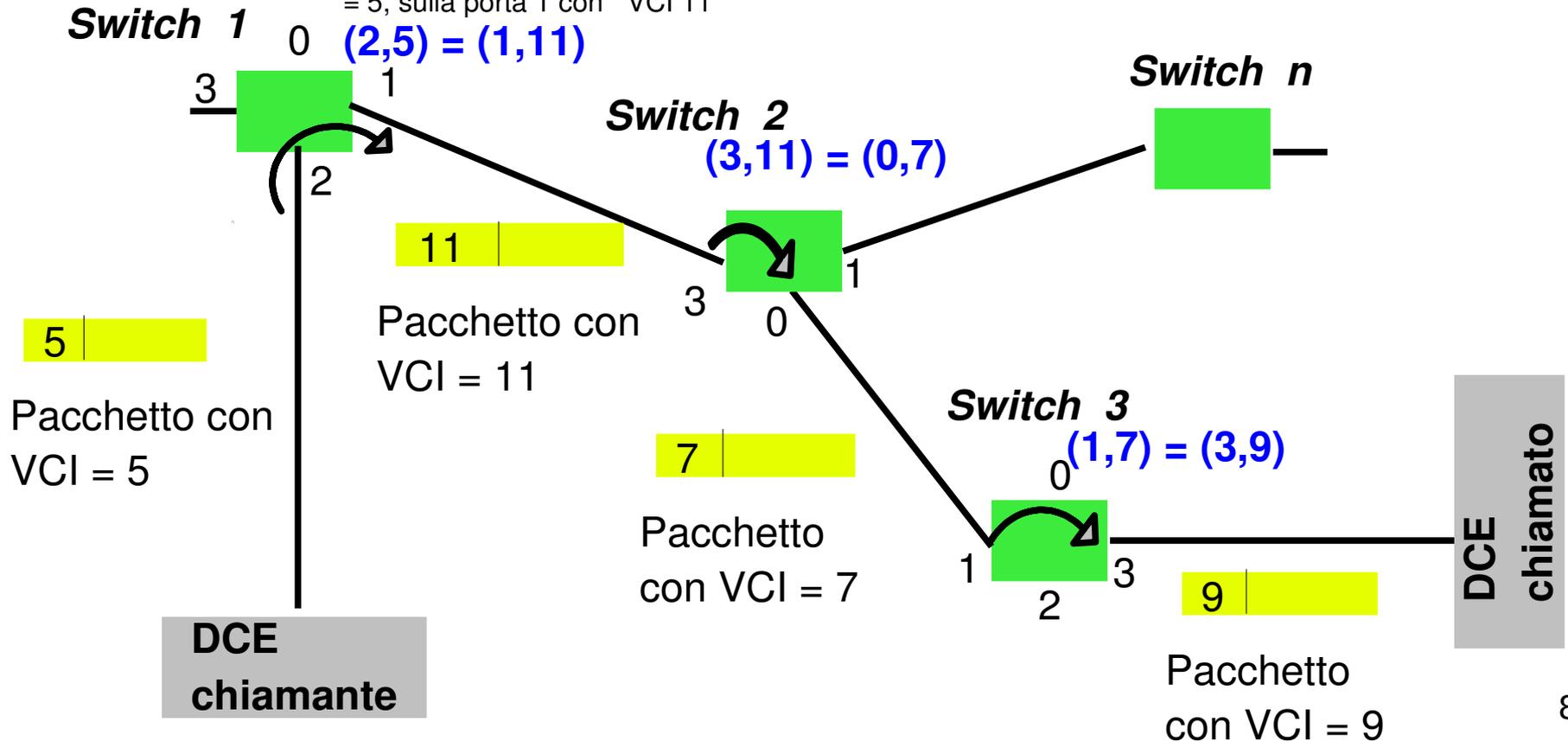
Packet switching connection-oriented

- ♦ Il primo switch della WAN determina, per tale messaggio, in base al DTE chiamato ed apposite informazioni preconfigurate di instradamento, quale deve essere **il successivo switch di inoltro** e quindi il link da usare; assegna inoltre alla connessione il primo valore libero di VCI libero
- ♦ Il VCI identifica quindi la specifica connessione all'interno di ogni link, ma esso non è costante fra i vari link per la stessa connessione in quanto ogni switch, a monte del link, sceglie il primo valore di VCI libero

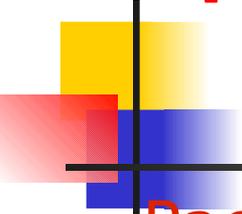
WAN packet switching

Packet switching connection-oriented

Inoltre tutti i pacchetti, che arrivano sulla porta 2 ed hanno VCI = 5, sulla porta 1 con VCI 11



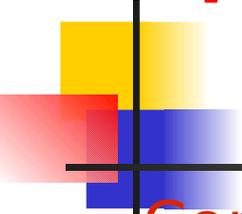
WAN packet switching



Packet switching connection-oriented

- ◆ Ogni VCI allocato per la connessione viene quindi rilasciato, al termine della connessione, per poter essere successivamente riutilizzato

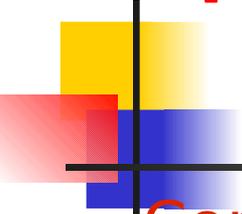
WAN packet switching



Connection-oriented vs connection-less

- Nelle reti connection-oriented l'overhead di trasmissione è limitando, riducendosi al virtual channel e poche altre informazioni di controllo
- Lo switch, ad eccezione della fase di call-setup, esegue un'attività molto semplice dal punto di vista algoritmico, limitandosi a bufferizzare i pacchetti in arrivo e ad instradarli sul link di destinazione, dopo averne opportunamente modificato il valore di virtual channel

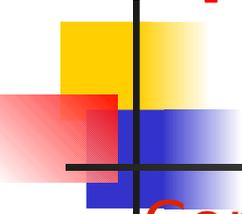
WAN packet switching



Connection-oriented vs connection-less

- Modalità di funzionamento ben diverso hanno, come vedremo, i router, ossia gli apparati di interconnessione della rete Internet
- Essi si basano sul protocollo IP, che, di tipo connection-less, inoltra il pacchetto considerando **esclusivamente l'indirizzo IP di destinazione** (tabelle di routing)
- Questo comporta un maggior overhead, compensato peraltro dalla possibilità di gestire un intradamento alternativo, qualora, per qualche motivo, uno dei router smetta di funzionare

WAN packet switching



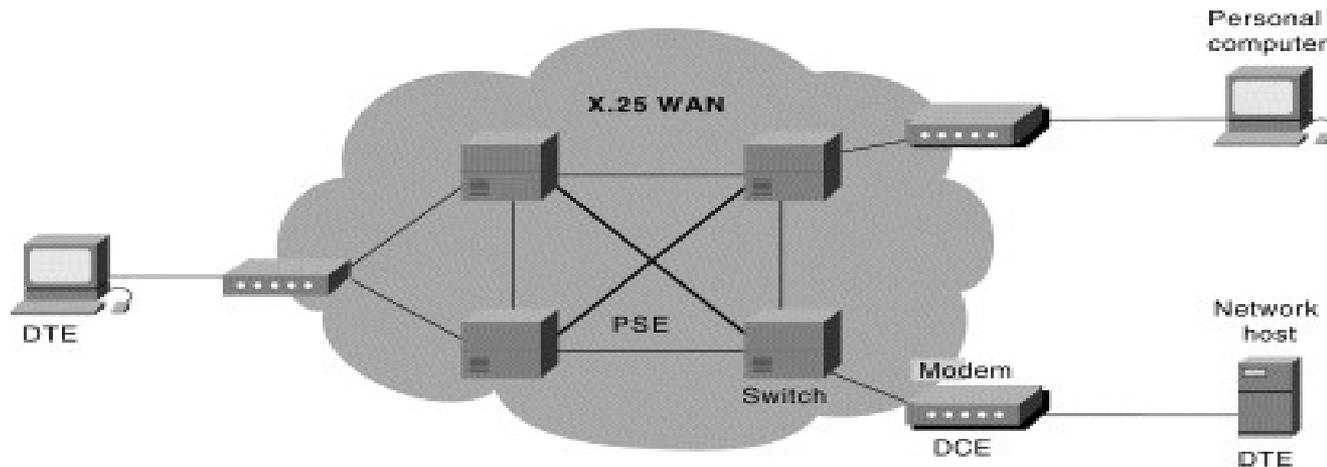
Connection-oriented vs connection-less

- Ovviamente switch di reti WAN connection-oriented e router possono convivere senza problemi
- Se ad esempio due LAN (A e B) sono interconnesse mediante due router (Ra ed Rb), fra i quali esiste una rete wan di tipo connection-oriented (es. FrameRelay), il router RA invierà i pacchetti IP verso il primo switch della rete FrameRelay
- Tale switch incapsulerà opportunamente il pacchetto e lo farà pervenire, in modalità connection-oriented, allo switch collegato al router destinatario RB

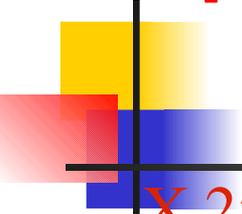
WAN packet switching

X.25

- X.25: primo esempio di rete di tipo **packet switching** (commutazione di pacchetto) di tipo **connection-oriented** (1976)



WAN packet switching



X.25

- **DTE** (Data Terminal Equipment) rappresentano le stazioni da connettere
- **DCE** (Data Circuit-terminating Equipment) sono i dispositivi di connessione che consentono la comunicazione fra DTE e PSE (modem X.25). Nota: i segnali elettrici fra DTE e DCE sono diversi rispetto a quelli richiesti fra DCE e PSE
- **PSE** (Packet Switch Equipment) sono gli switch che effettuano l'instradamento dei pacchetti, in modalità VC

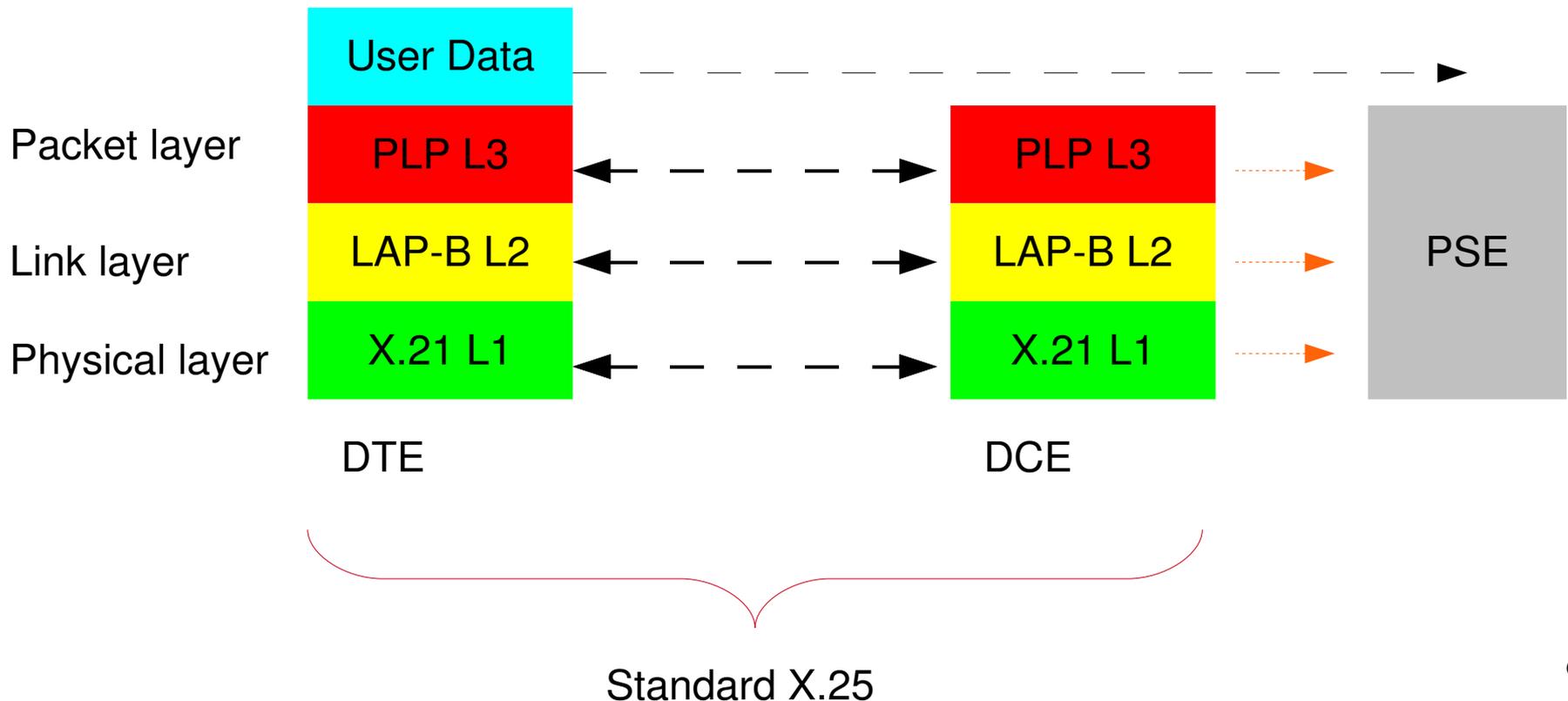
WAN packet switching

Packet switching connection-oriented: X.25

- Gli standard X.25 definiscono solo la comunicazione fra DTE e DCE (datalink); all'interno della rete vera e propria non vi è invece standardizzazione dei protocolli, anche se molte implementazioni riutilizzano i medesimi

WAN packet switching

Packet switching connection-oriented: X.25



WAN packet switching

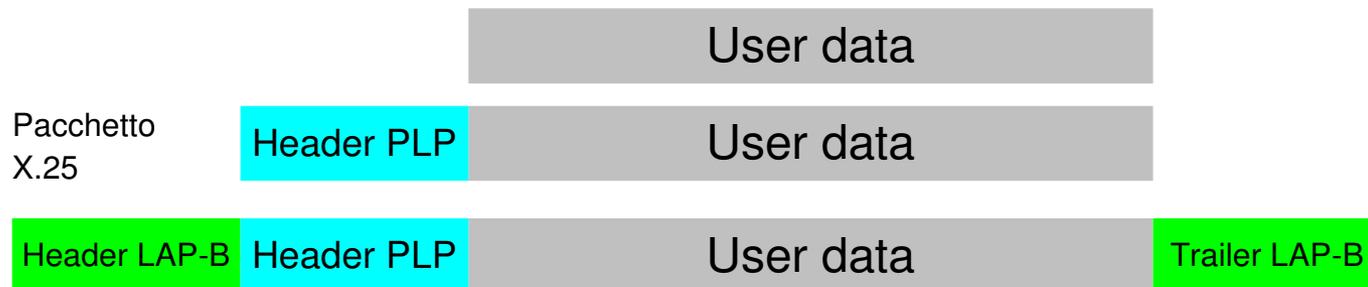
Packet switching connection-oriented: X.25

- X.25 definisce 3 protocolli standard per i livelli ISO/OSI
 - ◆ 1 (**fisico**; X.21)
 - ◆ 2 (**datalink**; LAP-B, evoluzione di HDLC) che gestisce il trasferimento dei pacchetti (**frame**) da nodo a nodo (**link**) in alta affidabilità (ritrasmissione e controllo di flusso)
 - ◆ 3 (**rete**; PLP) consente la creazione della connessione (call setup) e gestisce l'instradamento tramite il VCI. Effettua anche i controlli di corretta ricezione e di flusso **da DTE a DTE (end to end)**
- I pacchetti vengono controllati sia a livello 2 che livello 3, presumendo una bassa qualità del canale trasmissivo

WAN packet switching

Packet switching connection-oriented: X.25

- A livello fisico lo standard è X.21 ma possono essere usati protocolli alternativi (es. X.35, EIA-232, ISDN); esso stabilisce le caratteristiche elettriche dei segnali scambiati fra DTE e DCE
- A livello link (layer 2 del modello ISO/OSI) si usa lo standard LAP-B che definisce il formato del **frame**, ossia del **gruppo di bits** scambiato fra DTE e DCE ed il tipo di controlli effettuati



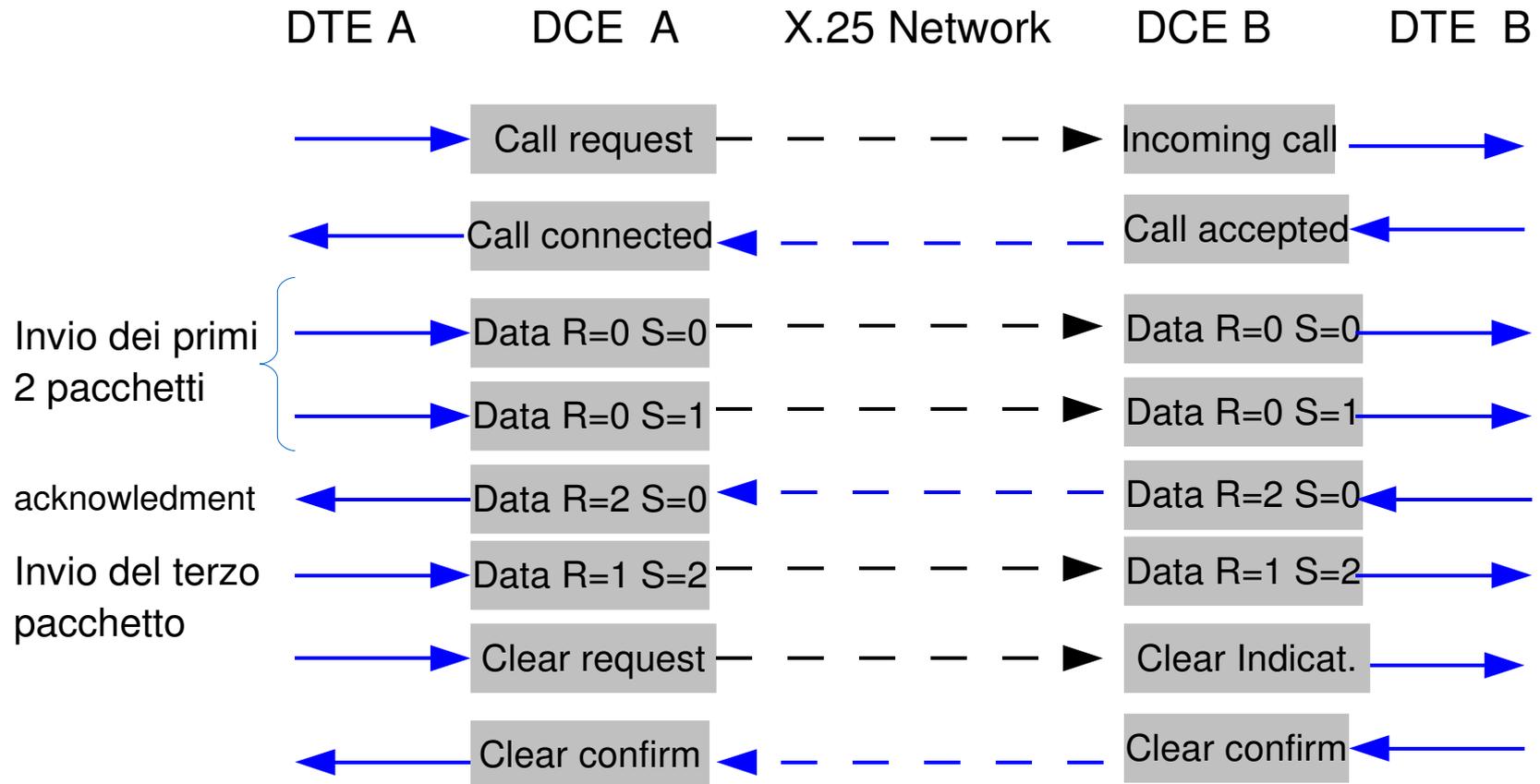
WAN packet switching

Packet switching connection-oriented: X.25

- Il livello 3 di X.25 (PLP) comprende le funzionalità necessarie alla creazione della connessione e quindi all'associazione del corretto VCI al pacchetto in ognuno degli switch da attraversare
- Call setup sullo stessa route che verrà usata per l'invio dati: **inband signalling**
- PLP fornisce inoltre funzionalità di:
 - ◆ Multiplexing (ossia gestione del VC nei vari link)
 - ◆ Controllo della corretta ricezione (sequence number) dei pacchetti, a livello end-to-end (da DTE a DTE)
 - ◆ Controllo di flusso (è possibile bloccare l'invio di nuovi pacchetti da DTE a DTE)

WAN packet switching

Protocollo PLP

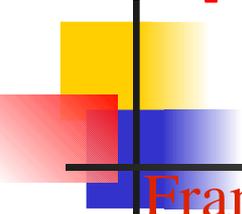


WAN packet switching

Sintesi X.25

- I pacchetti per lo scambio di informazioni di controllo end-to-end (inband signalling; es. call setup) hanno lo stesso VCI e seguono lo stesso percorso di quelli dati
- Vedremo che in più recenti tecnologie (es. FrameRelay) si cerca invece di tenere su canali logici separati trasmissione dei dati (**user plane**) e trasmissione delle informazioni di controllo (**control plane**)
- La gestione dell'instradamento viene effettuata dai vari switch mediante informazioni contenute negli header di livello 3 (PLP)
- Sia il livello 2 che il livello 3 dispongono di meccanismi di controllo degli errori, con eventuale ritrasmissione, e di flusso, determinando un **notevole appesantimento trasmissivo**

WAN packet switching



FrameRelay

- Tecnologia diffusa, nata come **semplificazione e miglioramento**, in termini prestazionali, di X.25 (1990)
- La sempre crescente richiesta di banda (X.25 offre solo 64 kbps), la maggior affidabilità delle linee , sempre più di tipo digitale (T1,E1) e la parallela diffusione della fibra ottica (SONET,SDH) portano all'esigenza di una tecnologia che offra velocità e prestazioni maggiori
- Tecnologia che si diffonde rapidamente soprattutto per i minori costi rispetto alle preesistenti soluzioni basate su linee dedicate (es leased E1)

WAN packet switching

FrameRelay

- Connection-oriented (PVC, Call Setup) come X.25
- I dati utente (user plane) sono trasmessi con protocolli di livello 2 (LAPF Q.922) ed 1 (physical ISDN ad es. BRI, E1)
- L'instaurazione della connessione (call setup) richiede l'uso di protocolli di livello 3 che però vengono trasmessi su un canale trasmissivo completamente differente (**outband signalling**)
- Ad esempio, se si utilizza ISDN BRI come canale di accesso, il settaggio dei vari valori di VCI nei link della connessione avviene mediante scambio di informazioni a livello 3 sul canale D (control plane)

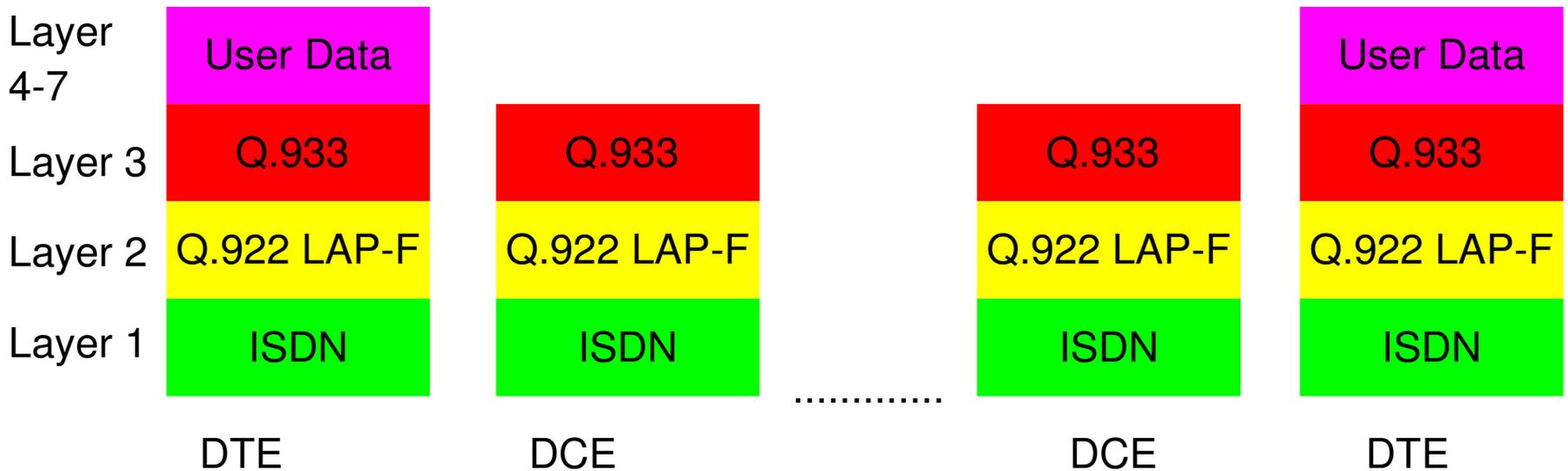
WAN packet switching

FrameRelay

- I dati veri e propri sono trasmessi sui canali B (user plane) ed esclusivamente a livello 2 ; le informazioni relative ai canali virtuali (DLCI) sono quindi contenute direttamente in questo livello e non a livello 3 come in X.25
- **Nel caso di errori trasmissivi nel link, il pacchetto viene scartato;** sarà carico dei protocolli di livello superiore il recupero di queste informazioni (si basa quindi sull'affidabilità delle linee)
- Non esiste nemmeno un controllo end-to end della corretta ricezione dei pacchetti
- I controlli end-to-end di corretta ricezione vengono solitamente delegati ai livelli superiori (es. TCP)

WAN packet switching

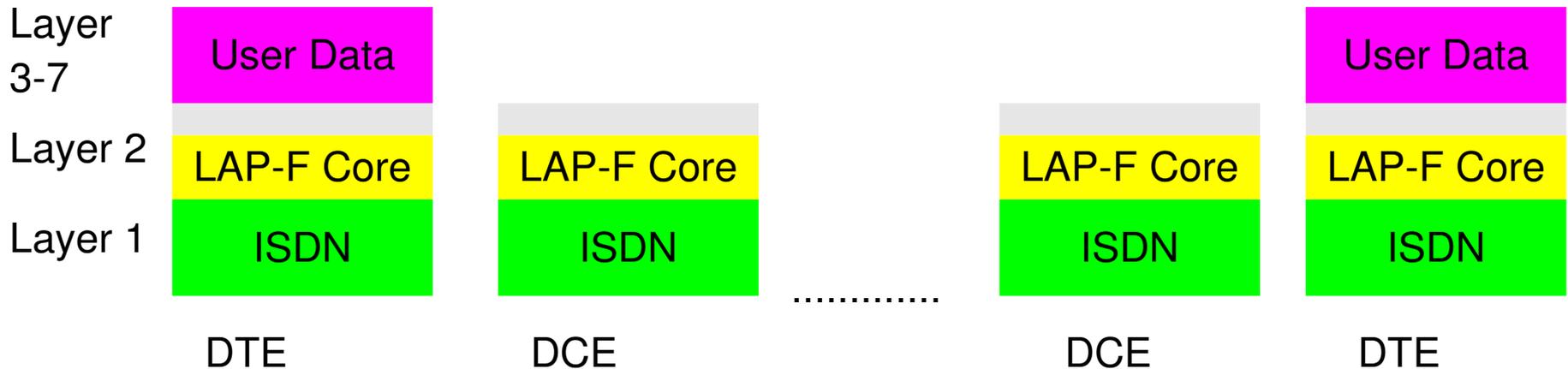
FrameRelay Control Plane



LAP-F: molto simile a LAP-B di X.25,

WAN packet switching

FrameRelay User Plan



LAP-F core: funzioni di instradamento e controlli limitati rispetto a LAP—F; in pratica solo controllo di rilevazione errore ; I controlli end-to-end sono delegati ai livelli superiori

WAN packet switching

Sintesi FrameRelay

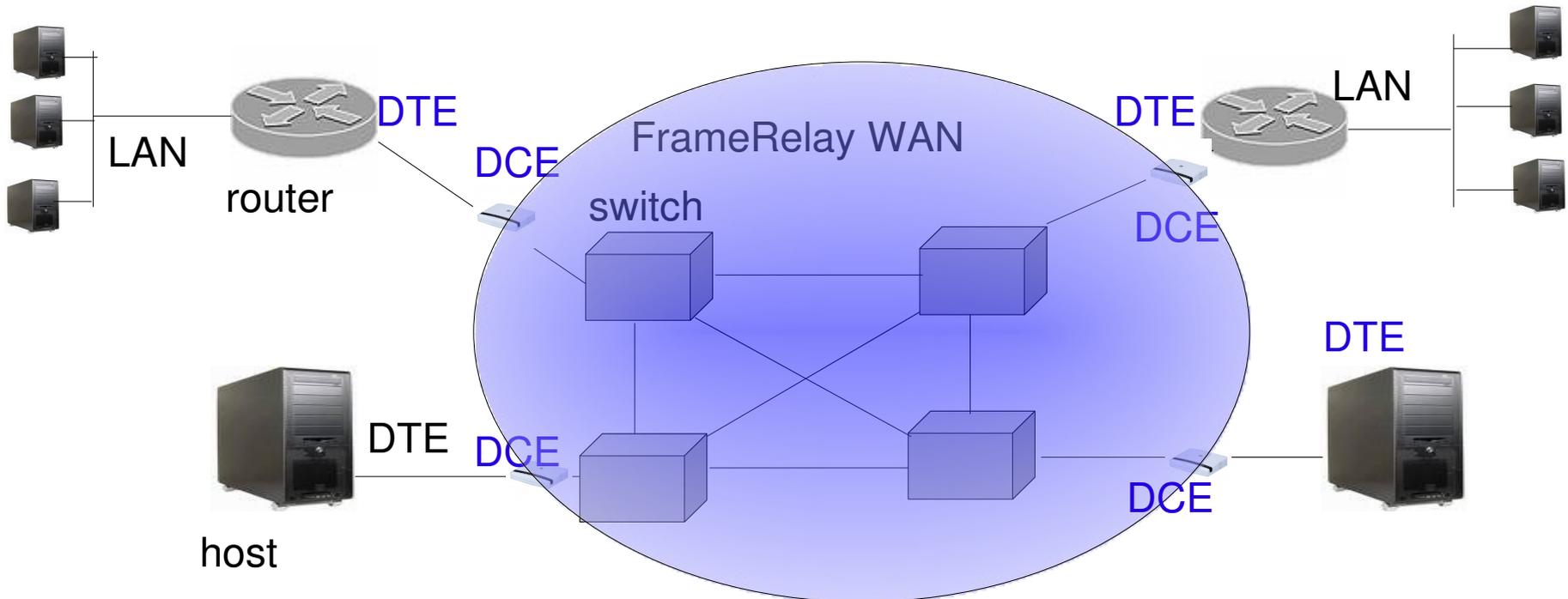
- FrameRelay come **infrastruttura per il trasporto su rete WAN** di pacchetti riguardanti protocolli di livello superiore (es. TCP/IP) ai quali sono delegati i controlli di corretta ricezione:

TCP/IP over FrameRelay= Dati/TCP/IP/FrameRelay

- L'assenza di controlli garantisce una velocità nettamente superiore ad X.25
- Outband signalling consente l'instradamento dei dati ricorrendo al solo layer 2 nei vari nodi

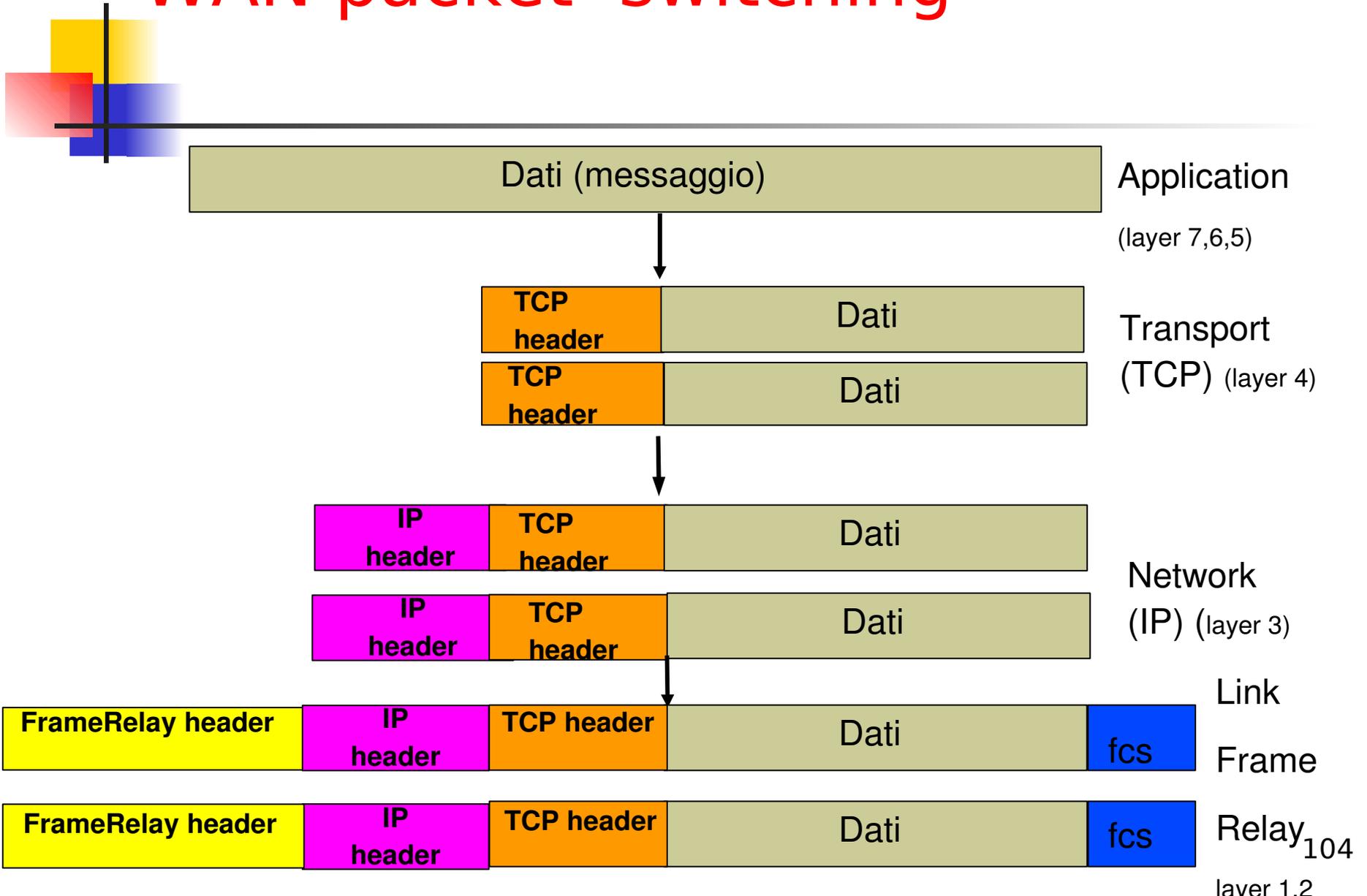
WAN packet switching

Packet switching connection-oriented: FrameRelay



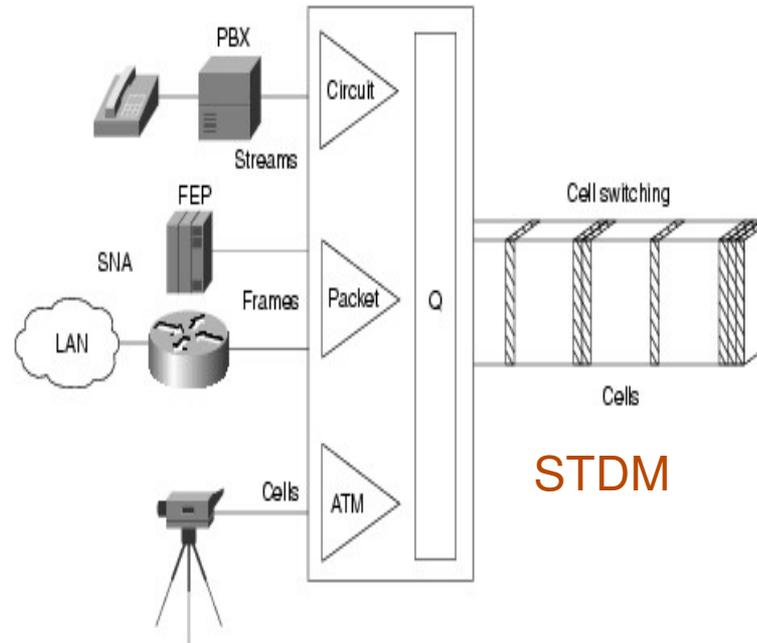
Due LAN o due host, posti a grandi distanze, vengono interconnessi mediante una rete FrameRelay. Il router dovrà essere fornito di interfaccia LAN (es. Ethernet) e FrameRelay (DTE). L'interfaccia DTE verrà connessa allo switch tramite DCE

WAN packet switching

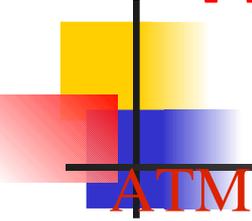


WAN packet switching

WAN (Wide Area Network): ATM



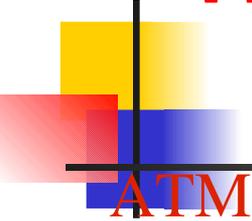
WAN packet switching



ATM

- Tecnologia di base per **B-ISDN** (Broadband ISDN)
- ATM nasce con lo scopo di creare un'unica rete, standard a livello mondiale, in grado di veicolare, sullo stesso mezzo trasmissivo, **voce, video e dati**
- Sono disponibili diversi livelli di QoS (Quality of Service) in funzione delle differenti necessità (ad esempio la voce non deve avere ritardi)
- Questo viene reso possibile ricorrendo a frame (celle in ATM) di lunghezza fissa (48 bytes + header di 5) per non creare eccessivi ritardi nella voce (ritardo di pacchettizzazione)

WAN packet switching

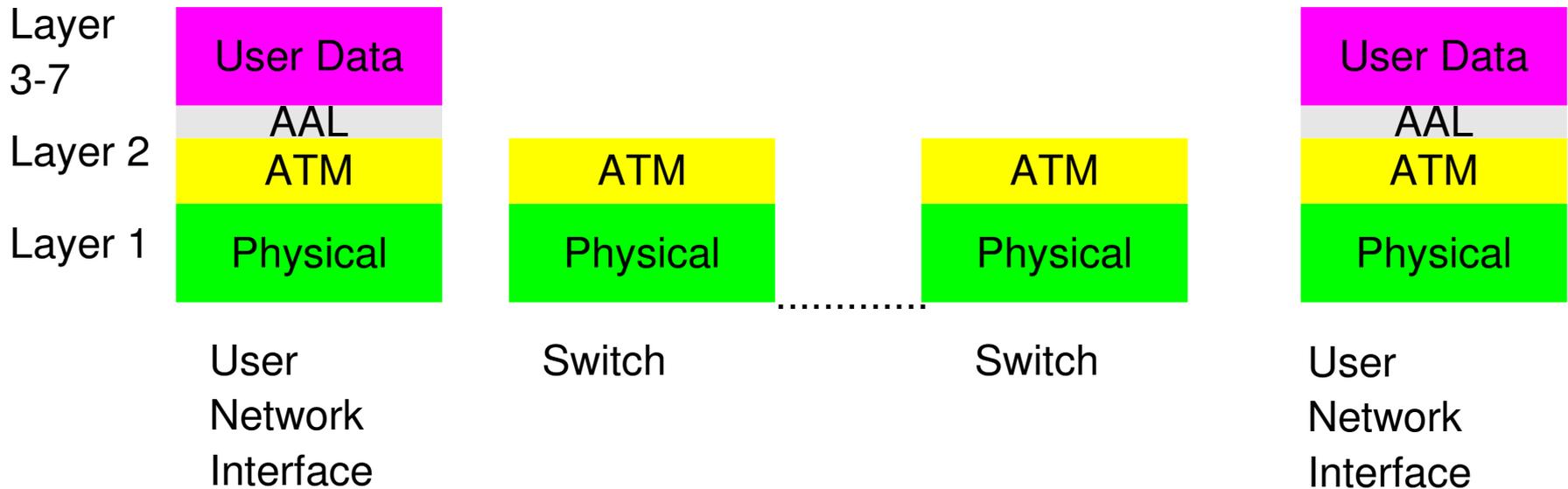


ATM

- Combinazione di packet switching e STDM (1 cella per slot; slot non preallocato ad ogni utente); un pacchetto corrisponde alla cella => Packet switching slotted statistic
- La connessione può essere configurata staticamente (PVC) oppure creata con all'occorrenza mediante una call setup, analogamente a quanto già visto per X.25 e FrameRelay (SVC)
- La trasmissione dei dati veri e propri avviene esclusivamente con protocolli di livello 2, analogamente a FrameRelay
- A livello 2 è presente un sublayer di segmentazione dei pacchetti in celle (AAL Atm Adaptation Layer)

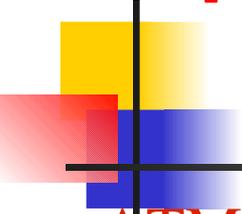
WAN packet switching

ATM User Plan



AAL: segmentazione dei pacchetti di livello superiore in celle ATM ed assegnazione della QoS richiesta

WAN packet switching

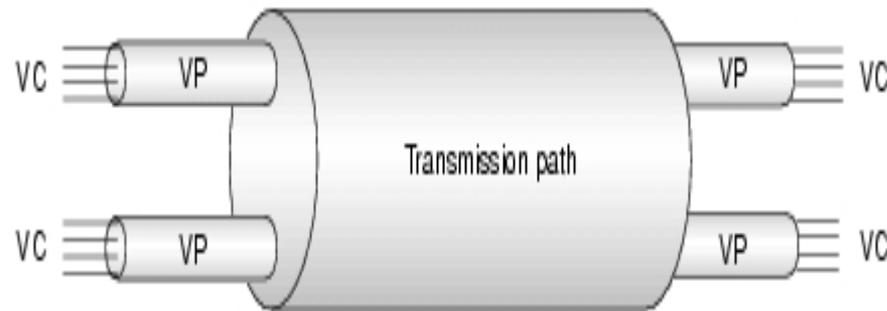


ATM

- Nell'header del pacchetto sono però presenti due valori:
 - VPI (Virtual Path Identifier)
 - VCI (Virtual Channel Identifier)
- VPI è un nuovo parametro che è stato aggiunto in ATM per consentire una gestione del tutto autonoma di un gruppo di canali logici
- Ad esempio un provider potrebbe suddividere una connessione fisica in più trunk logici, affittati ognuno ad organizzazioni diverse

WAN packet switching

ATM



Un' unica connessione fisica punto a punto viene suddivisa in più trunk logici (VP) a sua volta suddivisi in più canali logici

WAN packet switching

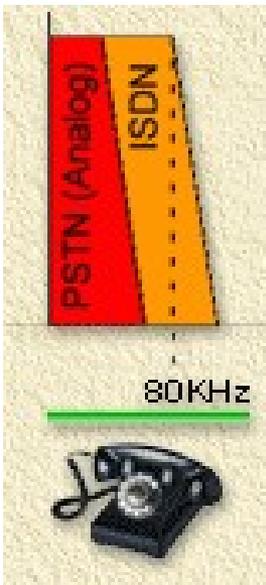
ATM Sintesi

- E' oggi la tecnologia WAN più utilizzata in quanto verso di essa si sono orientati i maggiori fornitori di servizi di telecomunicazione
- Pensata come tecnologia universale (LAN, WAN) è attualmente implementata solo nelle WAN; nelle LAN lo standard de facto è oggi Ethernet
- Gli elevati costi degli apparati e la sempre maggior diffusione dei protocolli di Internet (TCP/IP) stanno portando all'introduzione di una tecnologia alternativa (MPLS) che consente di mantenere il concetto di instradamento mediante circuiti virtuali, ricorrendo a tecnologie di livello 2 alternative ad ATM (es. Ethernet) ¹⁹₁ semplificando il meccanismo di incapsulamento rispetto ad AAL

WAN packet switching

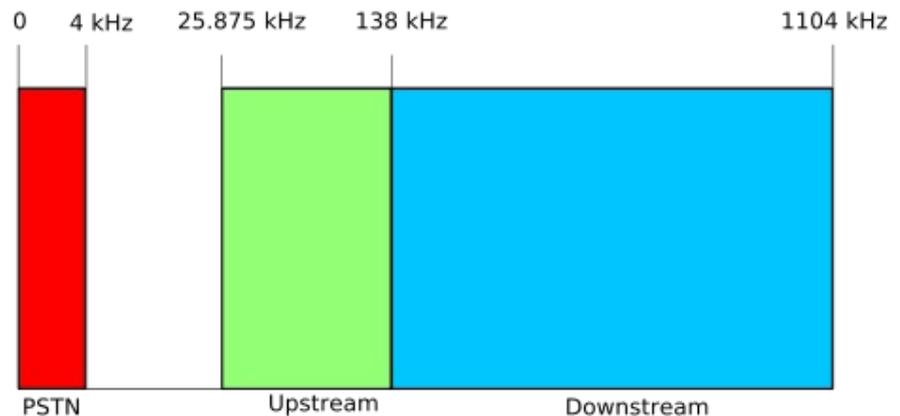
ADSL (xSDL)

- Tecnologia digitale che sta sostituendo ISDN
- Sfrutta la possibilità di trasmettere, sul doppino telefonico, frequenze ben superiori (fino ad 1.1 Mhz) rispetto a quelle utilizzate per la voce (3.4 KHz) => condivisione voce e dati



telefono analogico:
fino a 3.4 KHz

ISDN
fino a 80 KHz



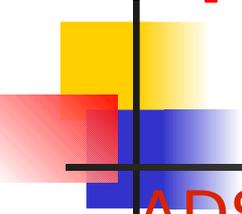
ADSL: da 25 fino a 1100 KHz circa

WAN packet switching

ADSL

- In tal modo è possibile inviare, sullo stesso doppino telefonico, le frequenze relative al segnale analogico (voce) e quelle riguardanti il segnale digitale (dati) => **riuso collegamento telefonico! Esempio classico di FDM**
- Per evitare che le frequenze dati pervengano al telefono, viene inserito, a monte di questo, un filtro in grado di eliminare le frequenze dati (filtro passa basso)
- Le frequenze dati utilizzabili dipendono molto dalla qualità del doppino telefonico e dalla distanza fra telefono e centrale; possibili interferenze e rumore

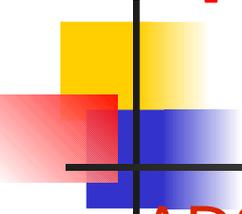
WAN packet switching



ADSL

- Nella fase di handshaking iniziale fra modem ADSL e DSLAM, vengono individuati **circa 250** canali, ognuno di 4 kbps e di frequenza media superiore a quella utilizzate per la voce (FDM), in grado di trasmettere correttamente
- I canali che presentano problemi di interferenza e rumore non vengono utilizzati nella trasmissione
- I bits da trasmettere vengono suddivisi sui canali così individuati, parallelizzando la trasmissione

WAN packet switching



ADSL

- La voce ed i dati, trasmessi contemporaneamente su frequenze distribuite nella banda utile (0-1.1Mhz), arrivano al DSLAM in centrale telefonica
- Qui si provvede ad inviare la parte voce alla rete telefonica tradizionale e la parte dati alla rete (generalmente ATM) del provider, che li inoltra al destinatario
- Diversi tipi di tecnologie (ADSL, HDSL, SHDSL)

Per approfondimenti

- http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/adsl/index_fr.html

WAN packet switching

