



Reti di calcolatori

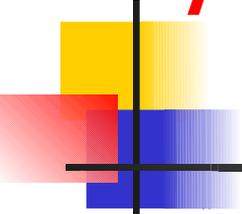
Modulo I vers. 5.1

Prospettiva storico-evolutiva

Claudio Covelli

claudio.covelli@gmail.com

Facoltà di Scienze Matematiche,
Fisiche e Naturali
Università di Trento

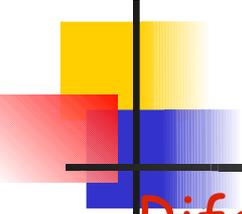


Agenda

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

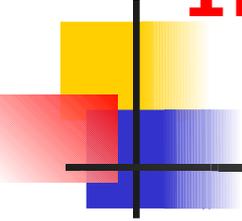


Riferimenti bibliografici

- 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

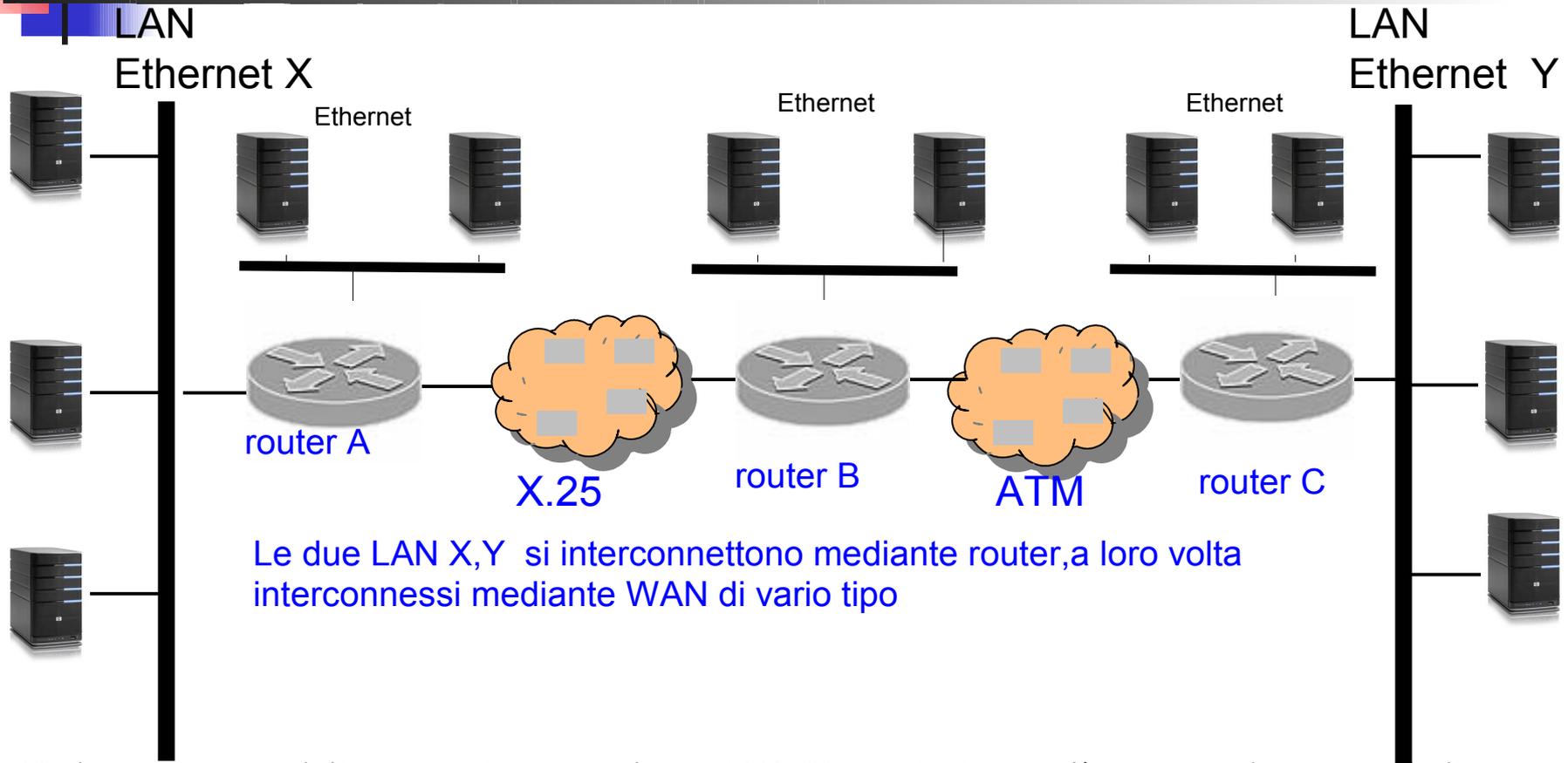


Indice modulo

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

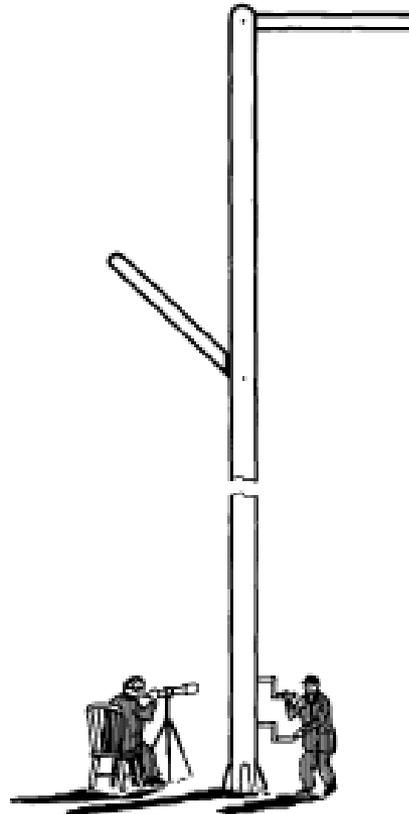
Internetworking



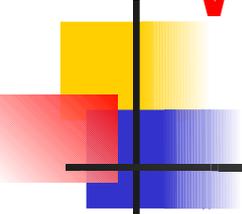
Vedremo, nei moduli successivi, come le reti WAN costituiscano l'ossatura (backbone) di Internet, in quanto esse consentono l'internetworking, ossia lo scambio di messaggi fra reti dati, anche di tecnologia differente e poste a distanza elevata

WAN Circuit switching

Primi sistemi di telecomunicazione ottica
(Francia 1792)



WAN Circuit switching



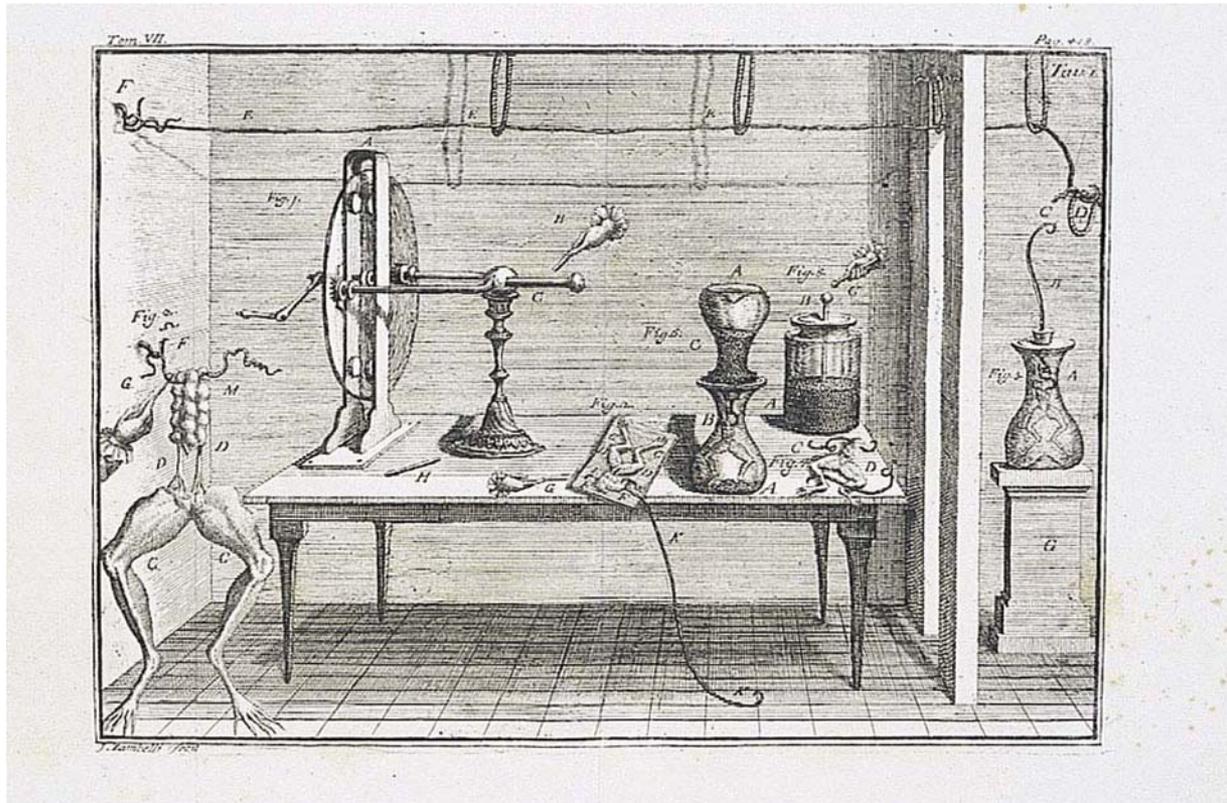
Primi esperimenti con l'elettricità (Galvani 1783)

« Disseccai 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

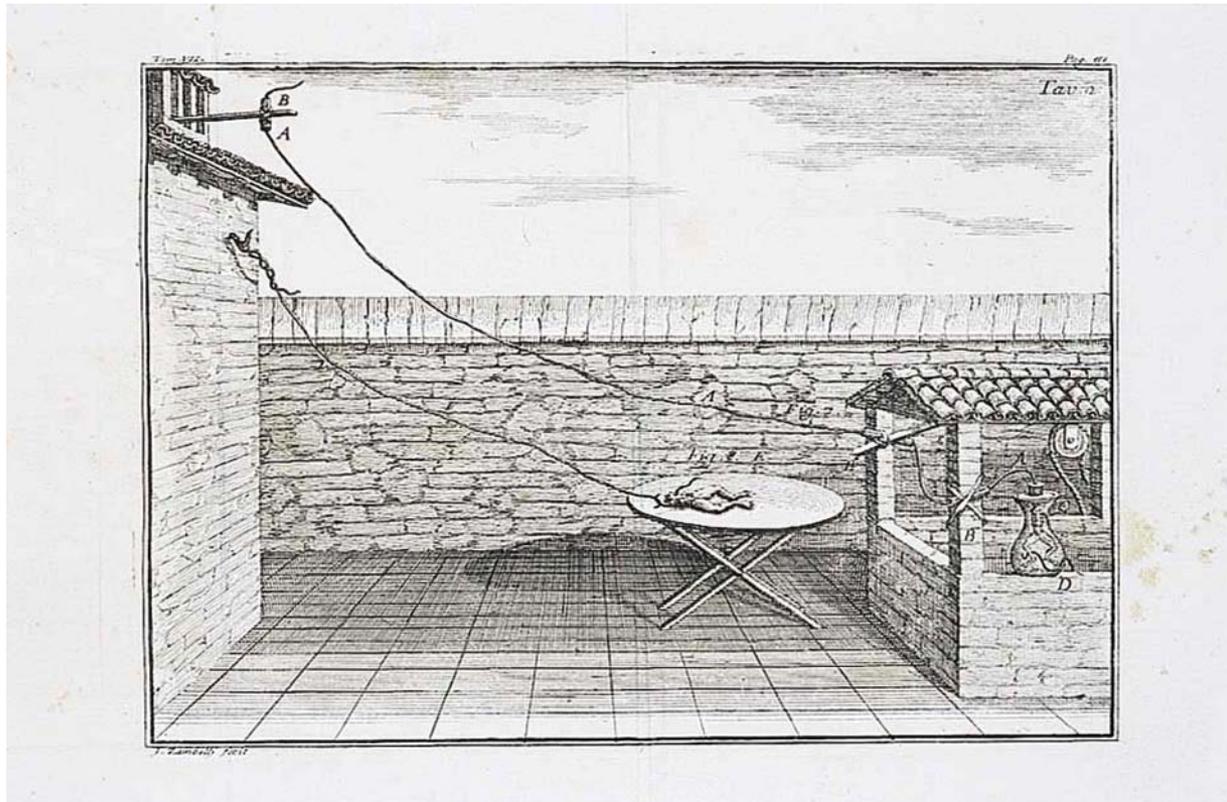
WAN Circuit switching

Primi esperimenti con l'elettricità (Galvani 1783)



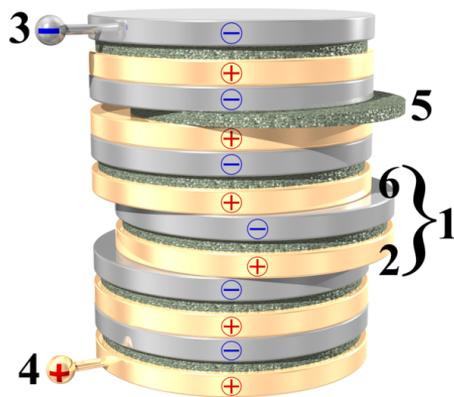
WAN Circuit switching

Primi esperimenti con l'elettricità (Galvani 1783)

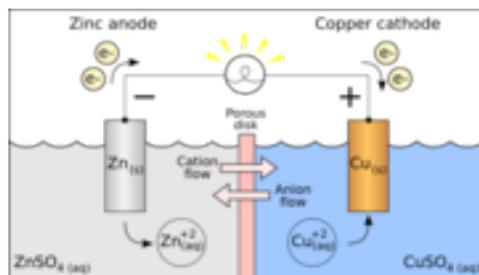


WAN Circuit switching

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



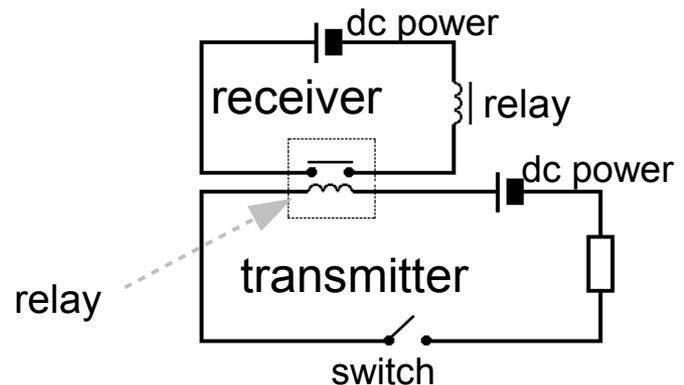
cella galvanica:

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)

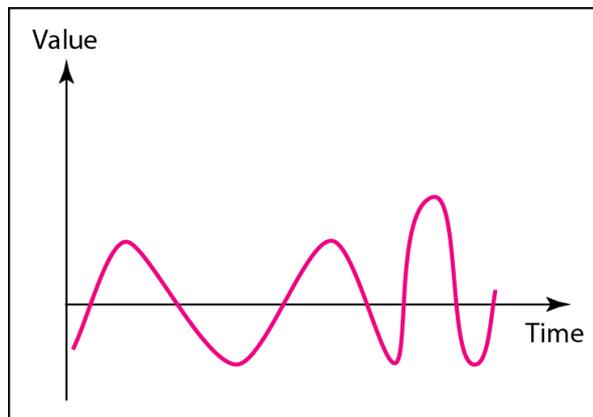
- Primo esempio di telecomunicazione basata su **segnali elettrici digitali** e di uso commerciale e pratico della corrente elettrica
- 1843: progetto finanziato dal Congresso per il collegamento Washington DC - Baltimore



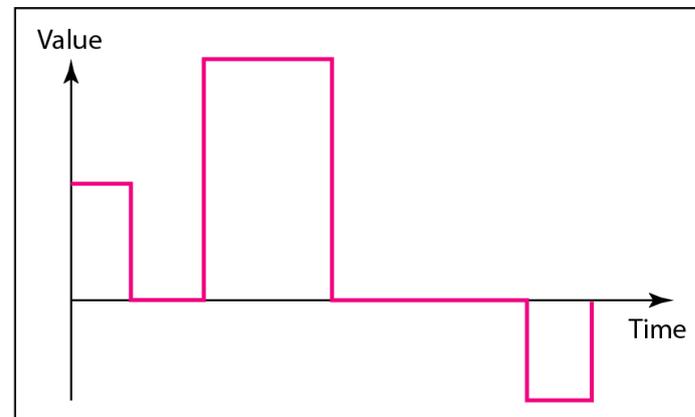
WAN Circuit switching

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

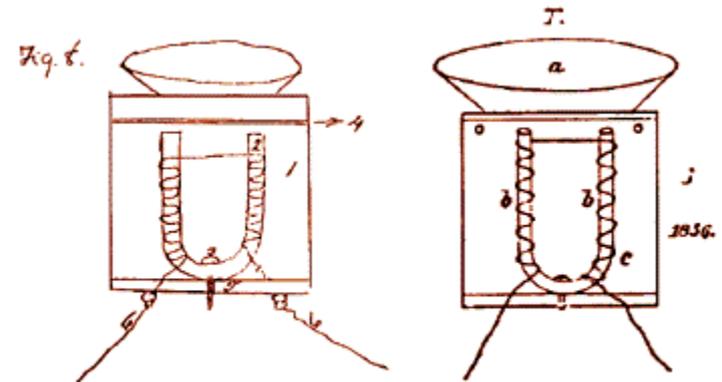


b. Digital signal

WAN Circuit switching

Invenzione del telefono
(Meucci 1871, Bell 1876)

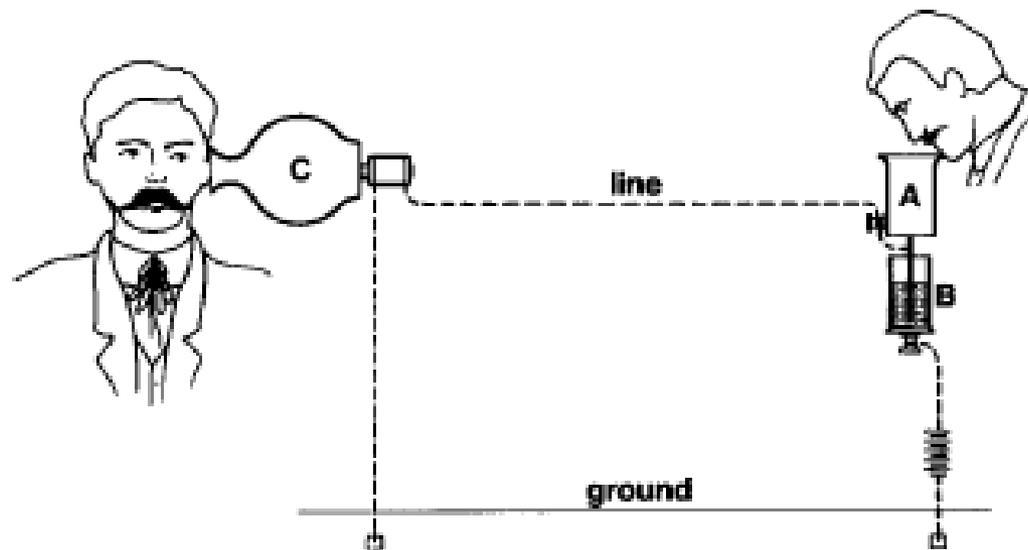
Con l'invenzione del telefono, nasceranno le reti di telecomunicazioni **circuit switching** che verranno usate, successivamente, anche come **reti dati**.



WAN Circuit switching

Prime reti (WAN) telefoniche analogiche

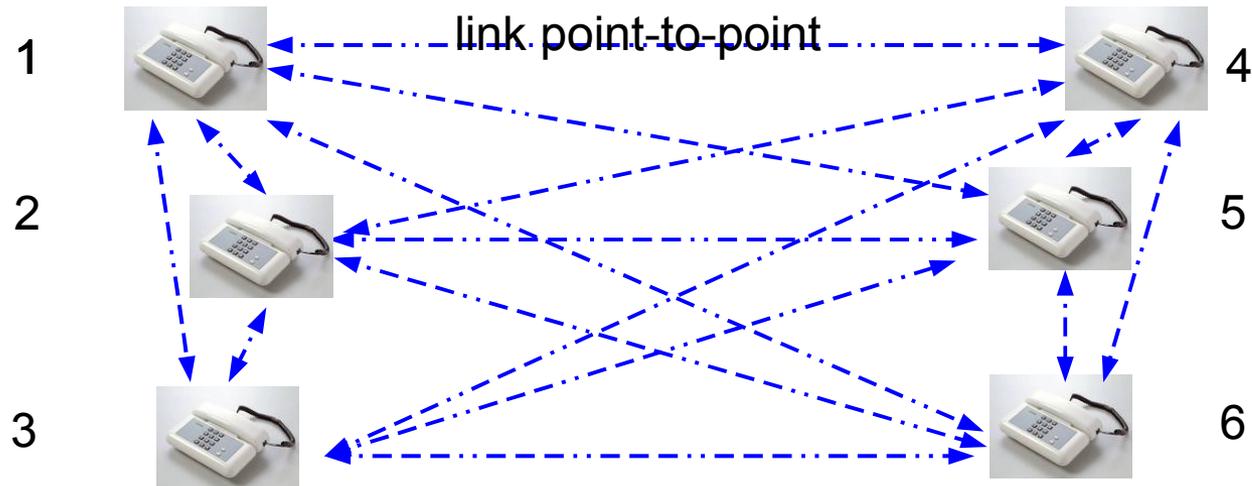
- I primi telefoni usano segnali esclusivamente analogici
- Solo a partire dagli anni 1960 si inizieranno ad utilizzare segnali digitali



WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching

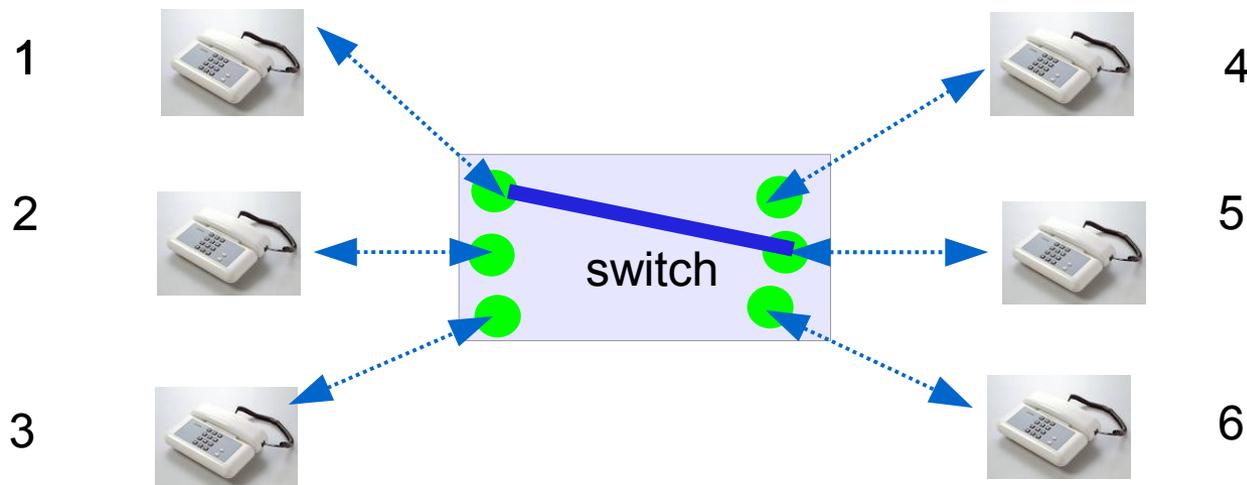
- Rete con topologia **mesh** ossia formata da tanti link di tipo point-to-point
- Costosa, scarsamente utilizzata e complessa da gestire



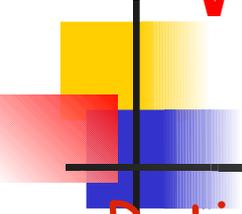
WAN Circuit switching

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

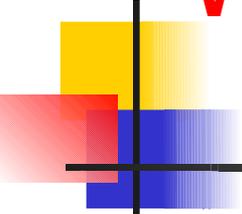
WAN Circuit switching

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

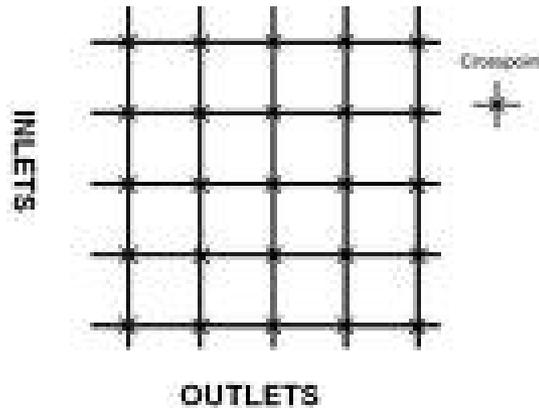


Reti WAN di tipo circuit switching

- 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

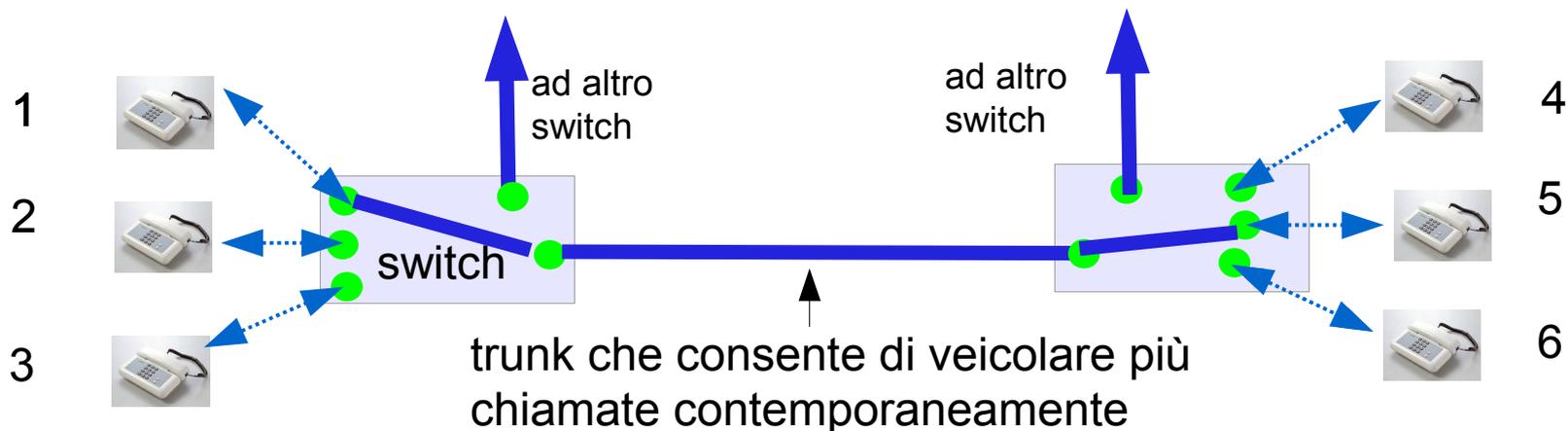


Crossbar switching: dispositivo elettro-meccanico in grado di creare, mediante relay, la continuità elettrica nei punti di incrocio (crosspoint). Si realizza in tal modo continuità elettrica fra una linea entrante ed una uscente

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

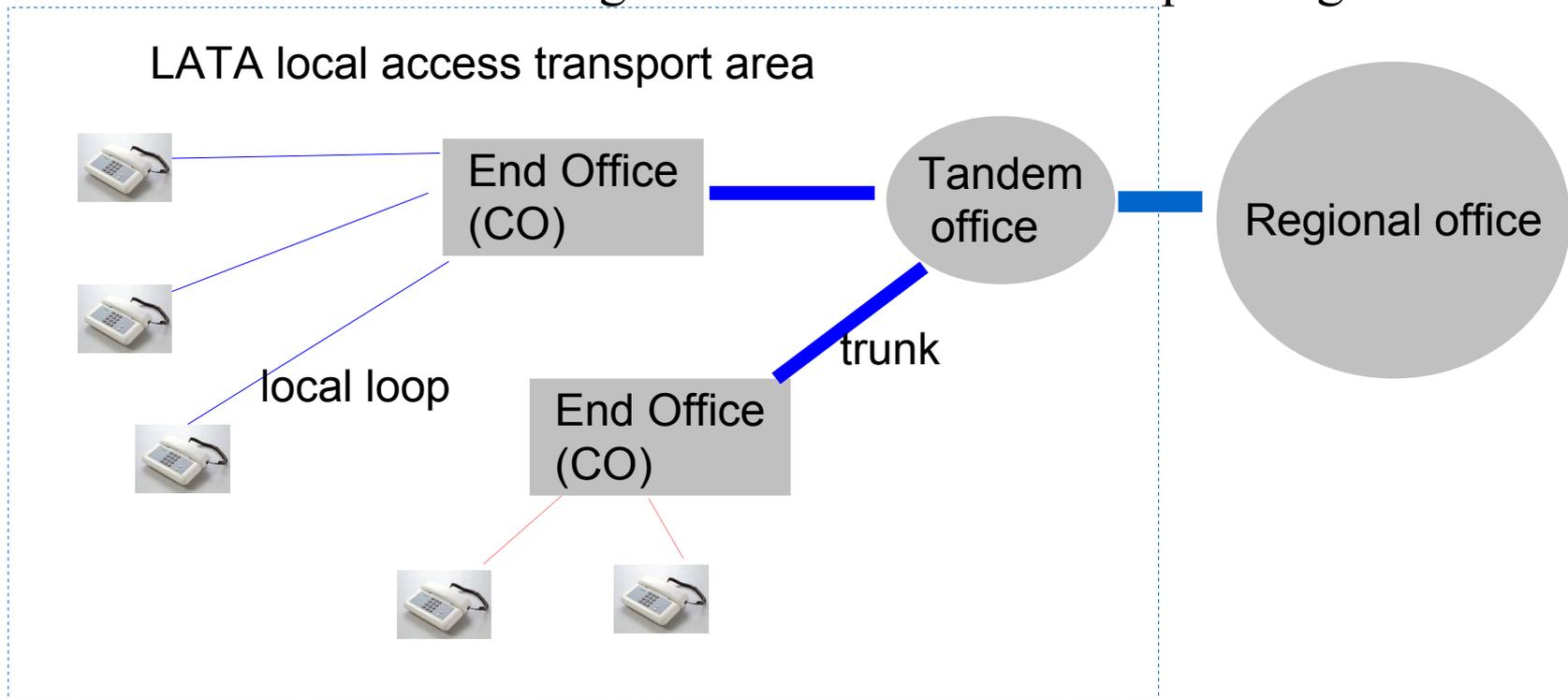
Reti WAN di tipo circuit switching

- 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

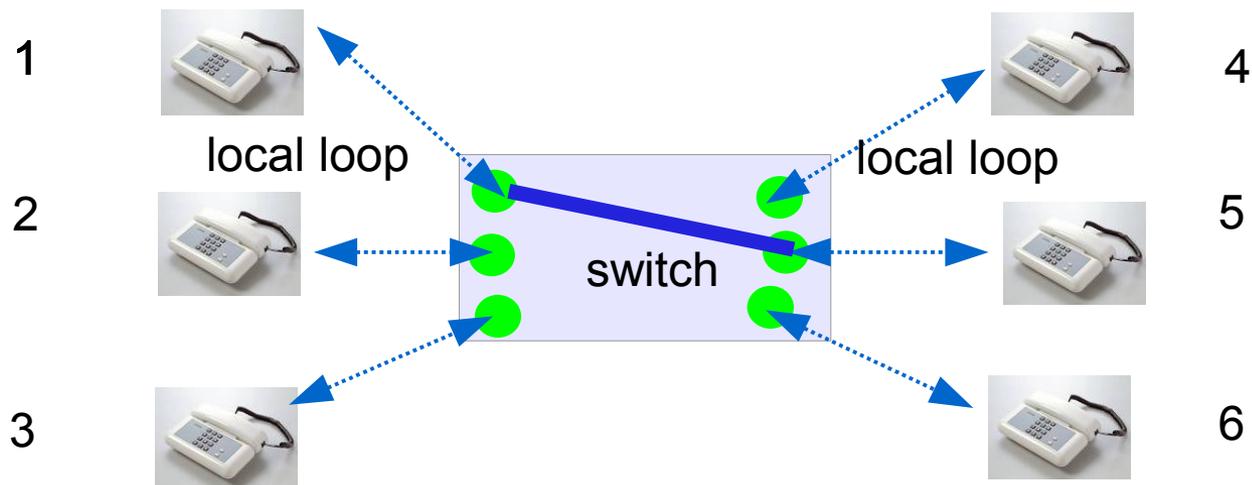
- Gli switch sono organizzati secondo una sequenza gerarchica



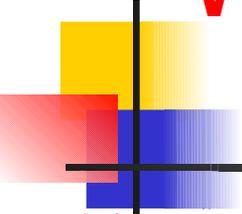
WAN Circuit switching

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



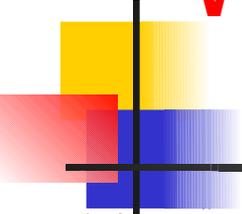
WAN Circuit switching



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

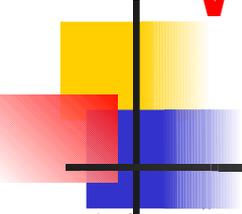
WAN Circuit switching



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**

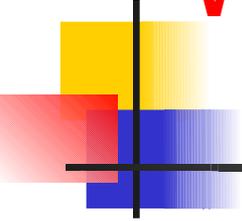
WAN Circuit switching



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>

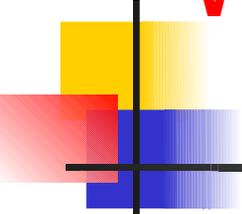
WAN Circuit switching



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

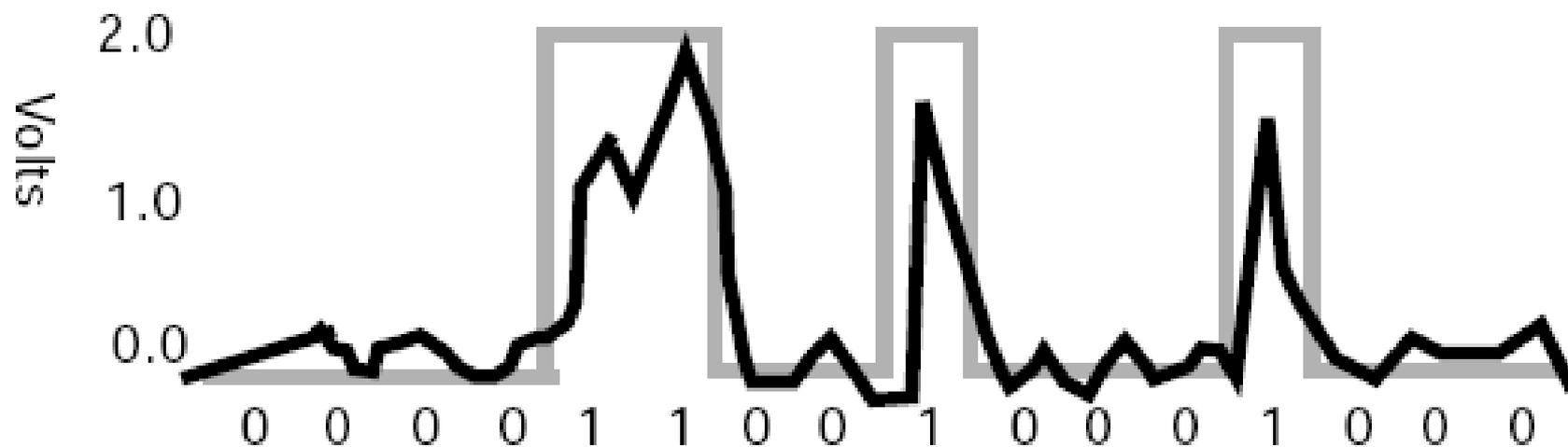


Anni '60: inizia la diffusione del segnale digitale

- 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

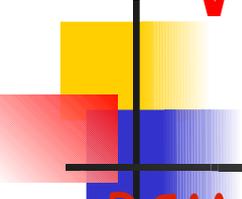
WAN Circuit switching

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

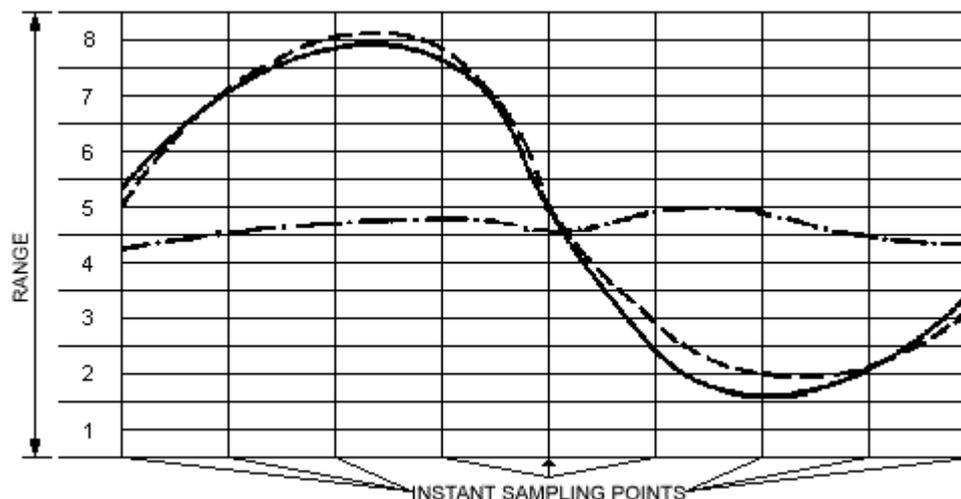


PCM

- 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

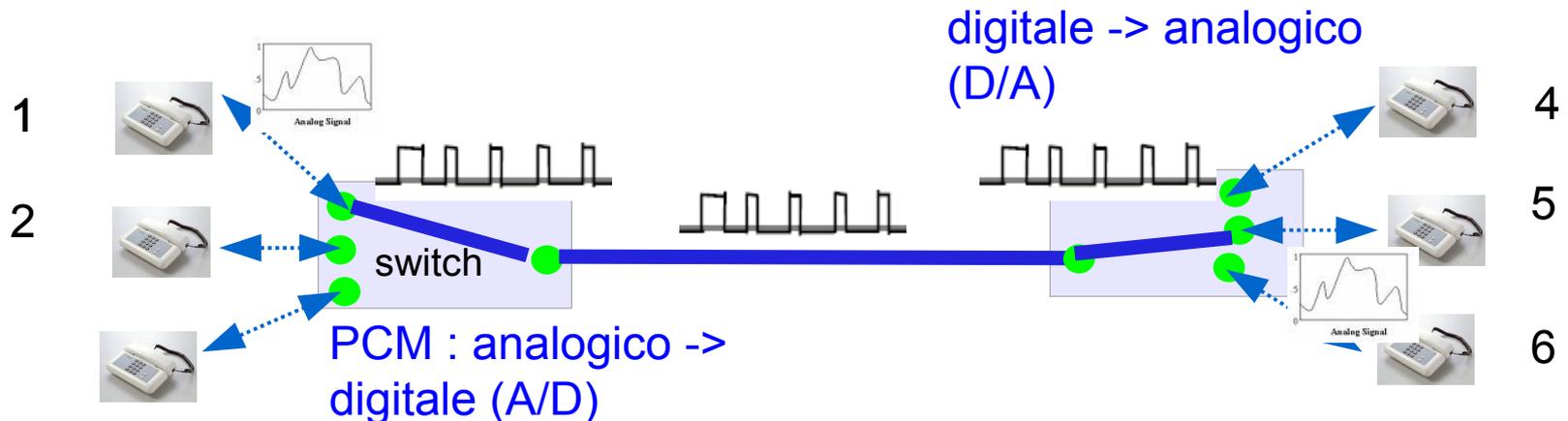
PCM

- 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)

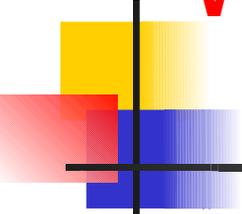
WAN Circuit switching

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

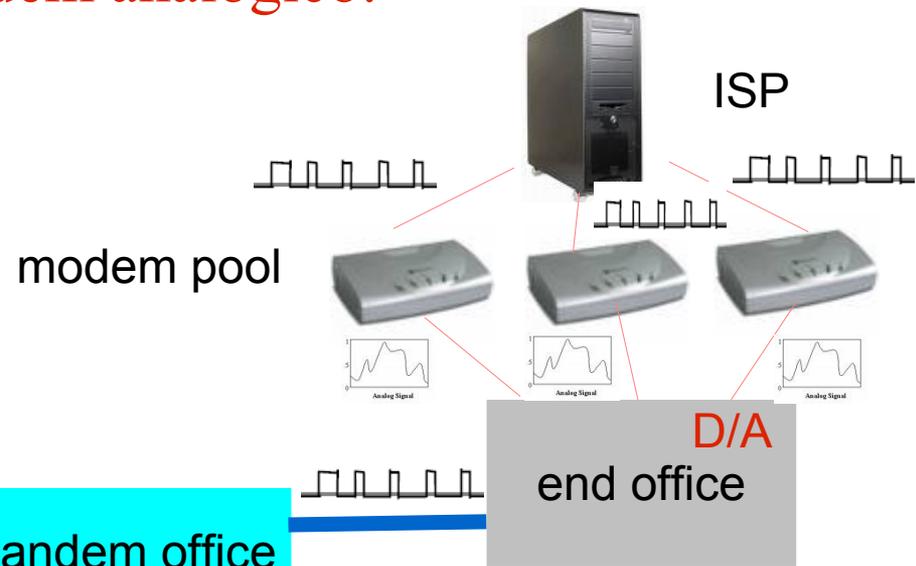


PCM

- 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)

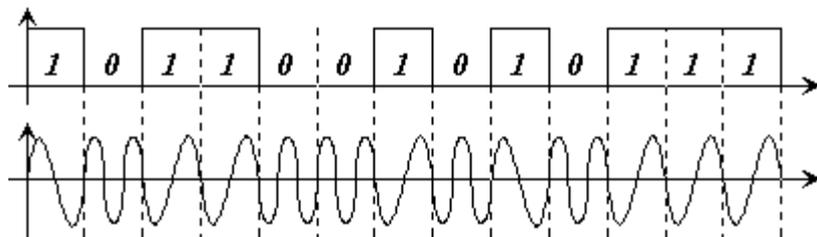
WAN Circuit switching

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)**



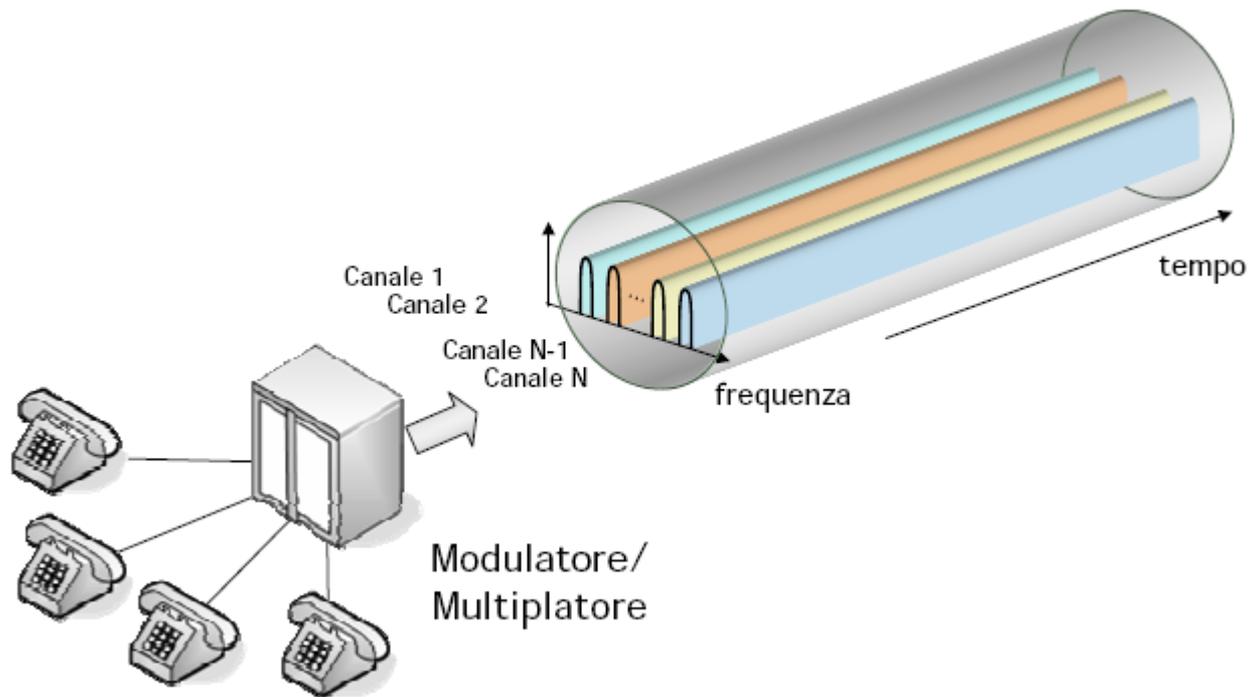
WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: multiplexing

- Una prima tecnica di moltipolazione (**Frequency Division Multiplexing**), ora non più usata nei trunk, 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 demultiplexare 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 moltiplicazione (**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.

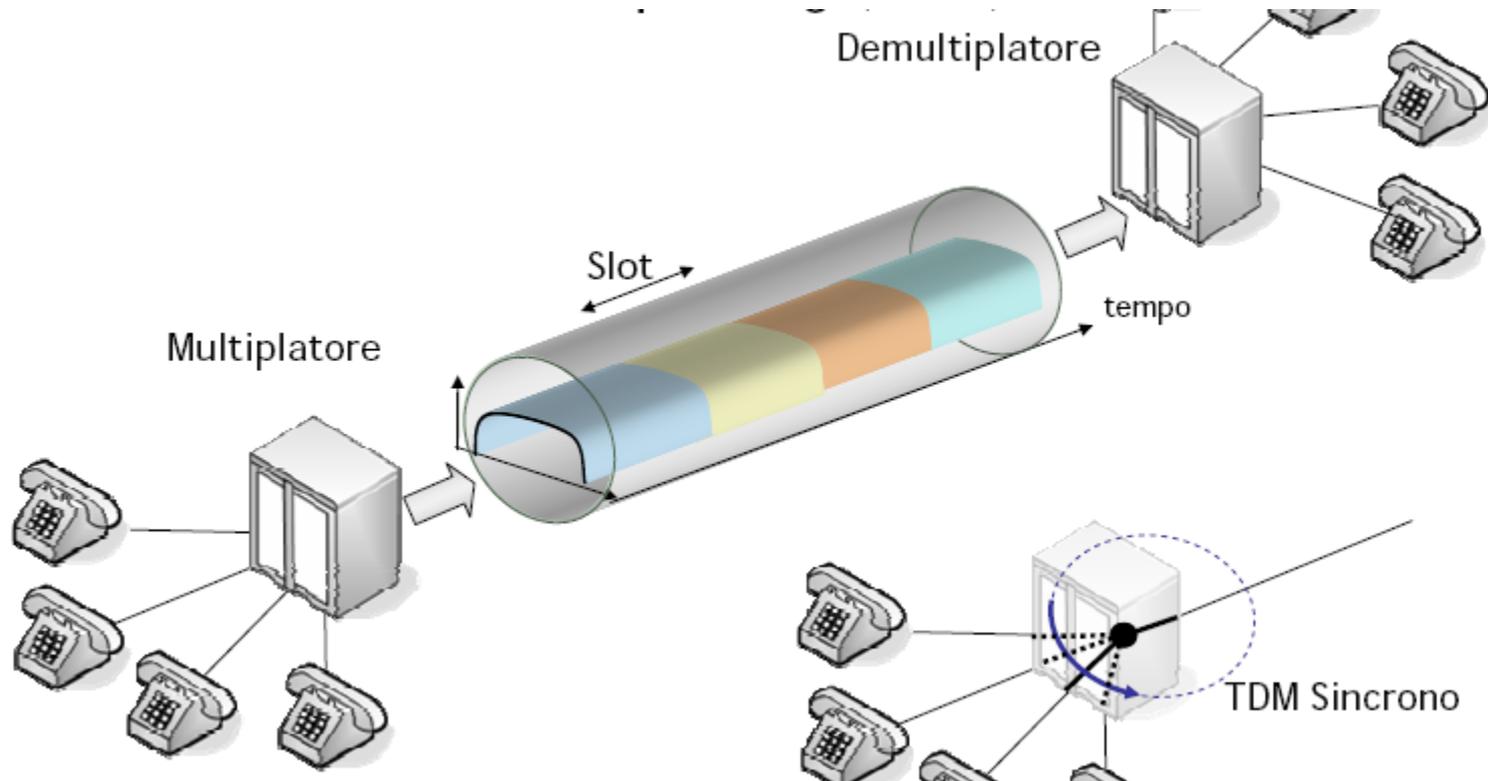
WAN Circuit switching

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)

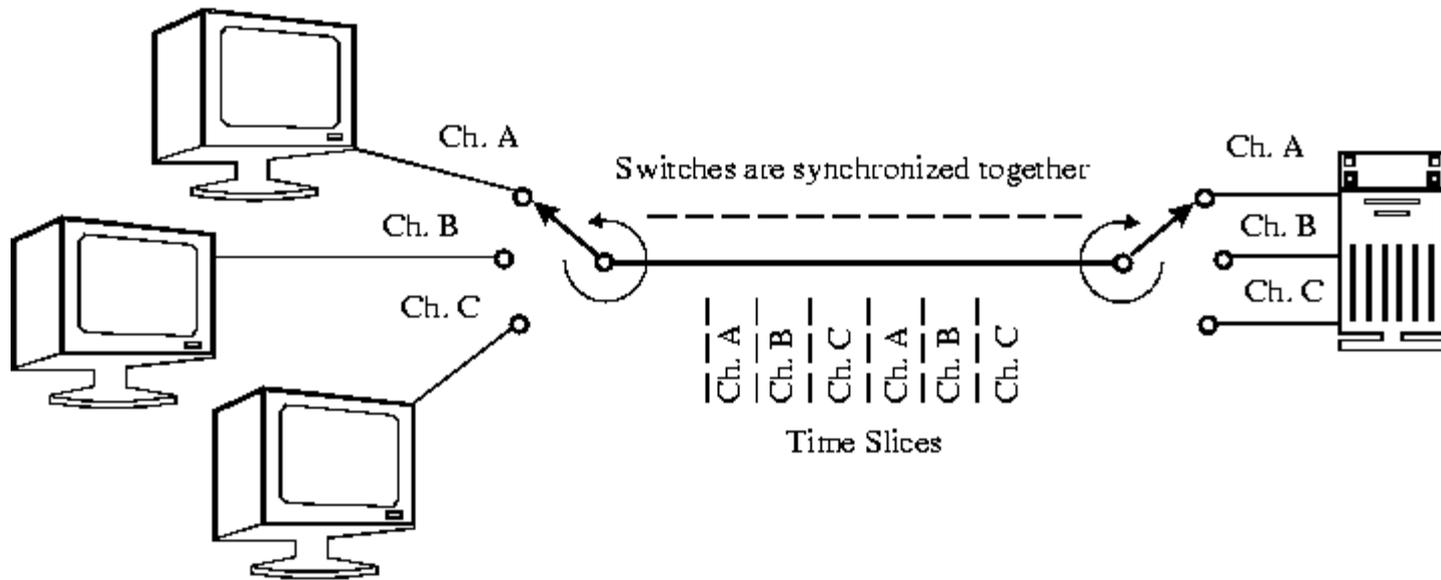
WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: TDM

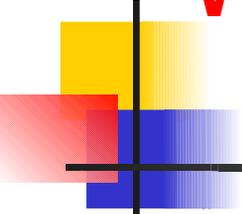


WAN Circuit switching

Reti WAN di tipo circuit switching: TDM



WAN Circuit switching

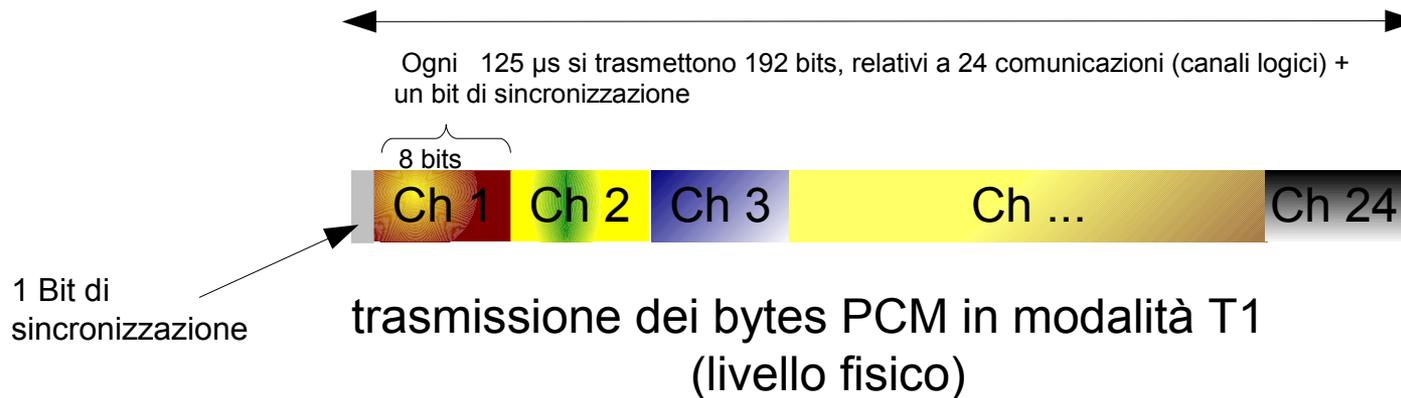


Reti WAN di tipo circuit switching

- 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)

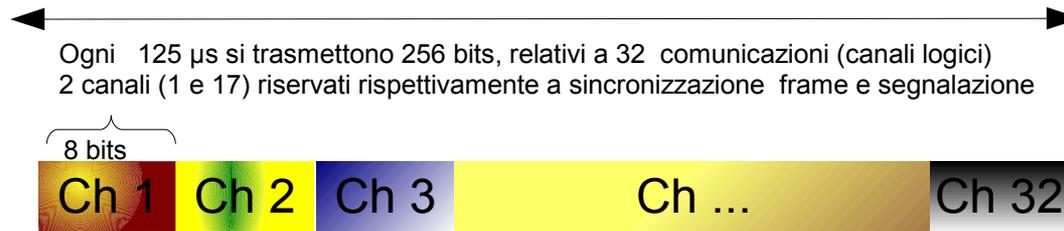


Velocità del trunk =

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

WAN Circuit switching

E1 (standard europeo)



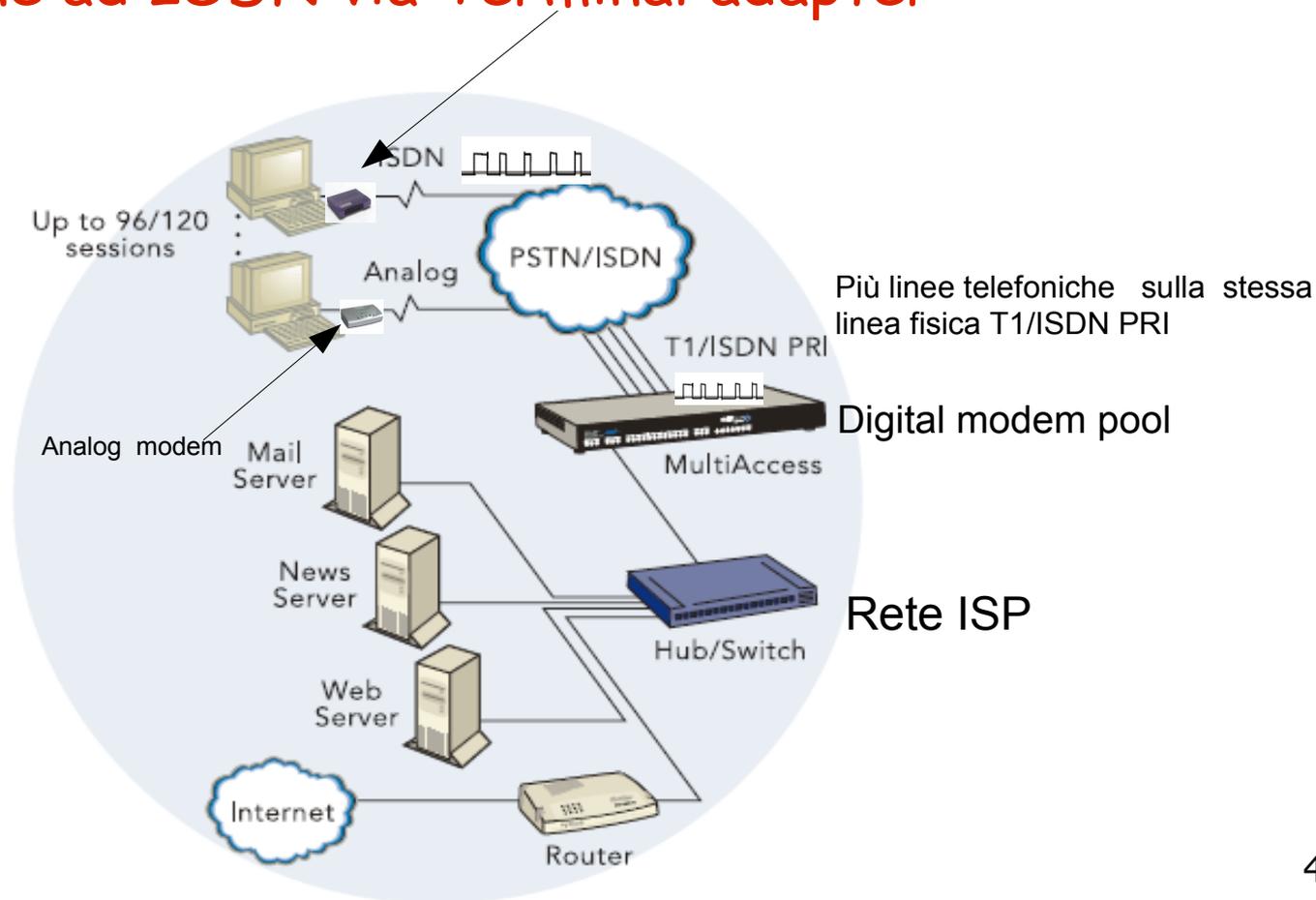
trasmissione dei bytes PCM in modalità E1
(livello fisico)

Velocità del trunk =

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

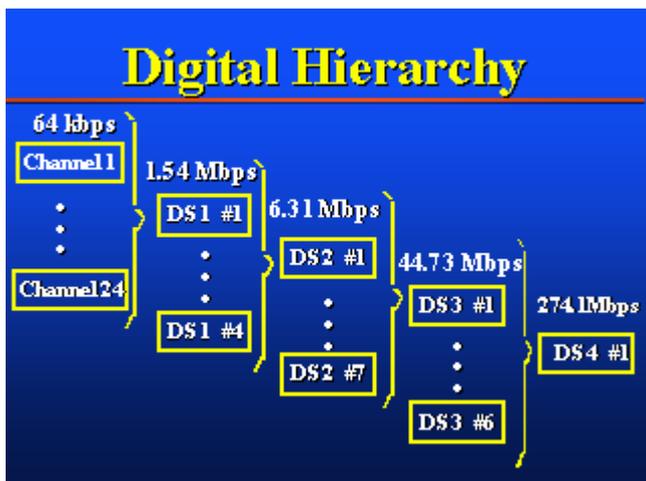
WAN Circuit switching

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

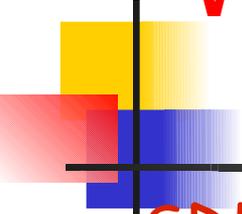
<i>Aggreg.</i>	<i>Canali</i>	<i>Data Rate (Mbps)</i>
E1	32	~2
E2	4 canali E1	~8
E3	4 canali E2	~34
E4	4 canali E3	~140
E5	4 canali E4	~565

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

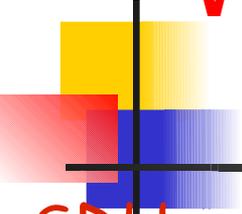


SDH

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

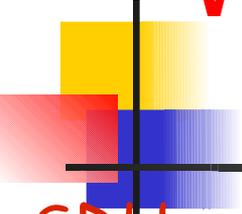
WAN Circuit switching



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

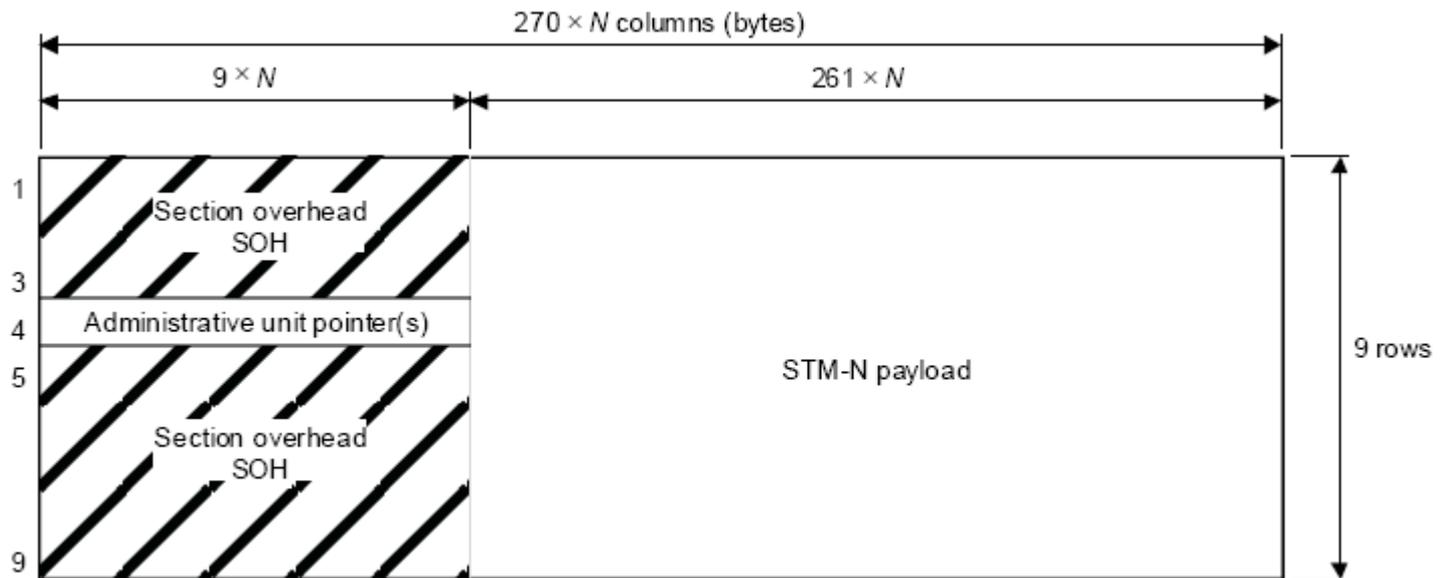


SDH

- 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

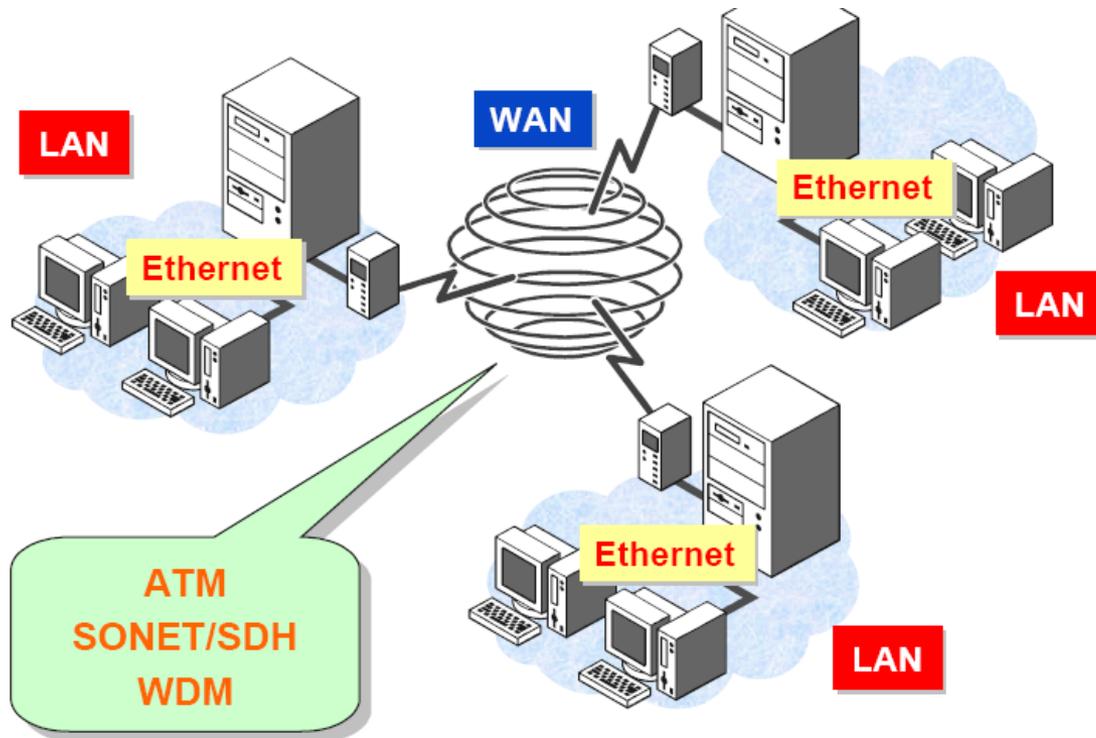
Gerarchia SDH

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

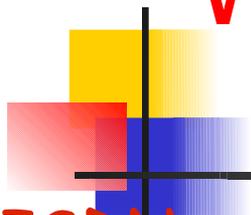
Gerarchia SDH

WAN Circuit switching

Prospettive future



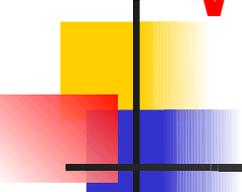
WAN Circuit switching



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

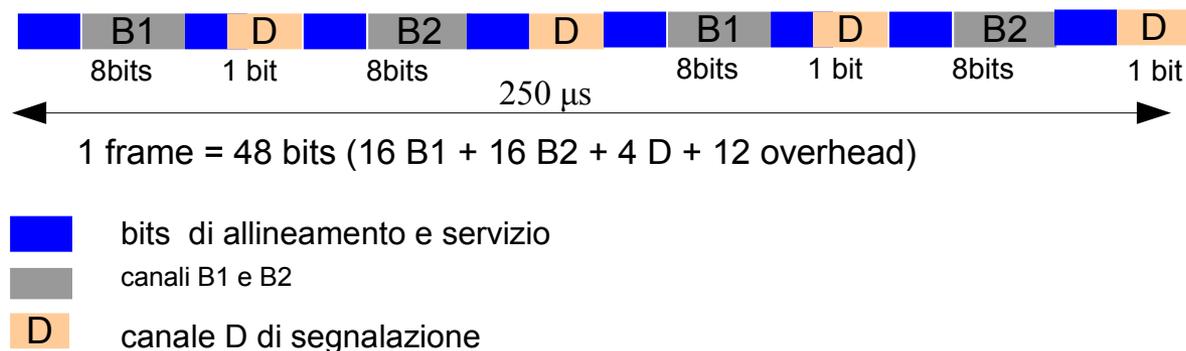
WAN Circuit switching

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

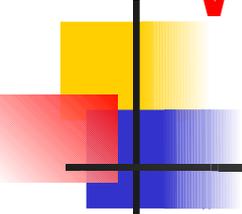
ISDN Basic Rate Interface (BRI)



- 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 = 192Kbps

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

WAN Circuit switching

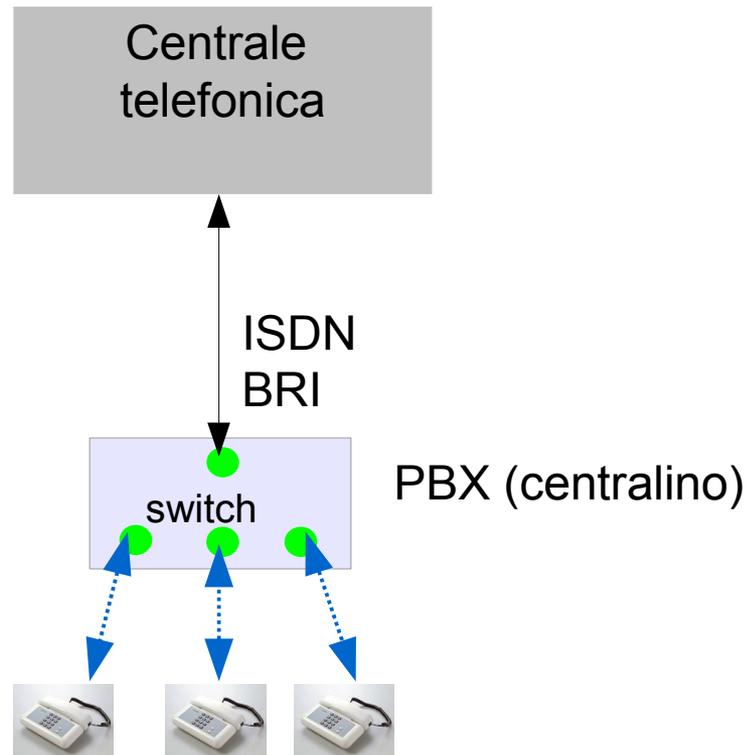


ISDN

- 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

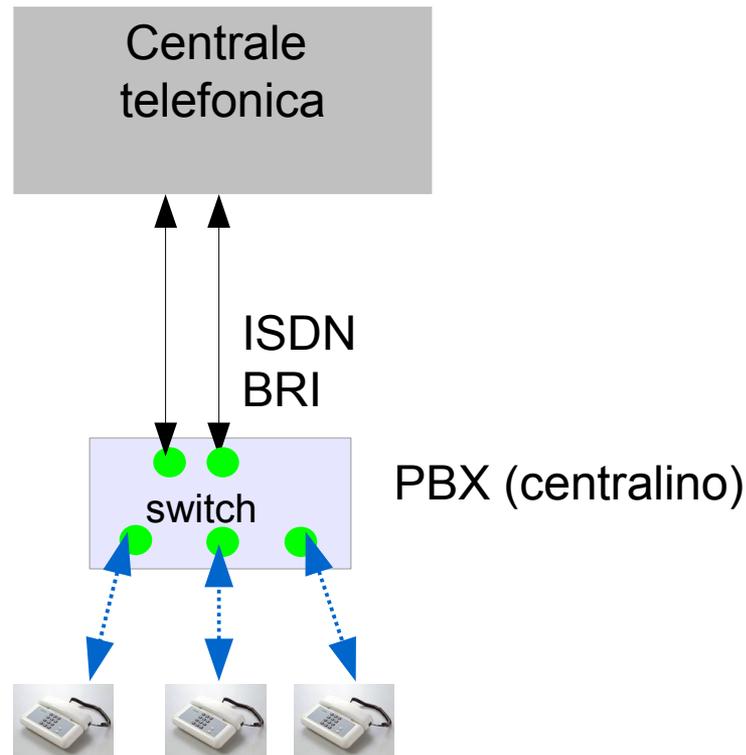
WAN Circuit switching

ISDN: esempio con 2 canali voce



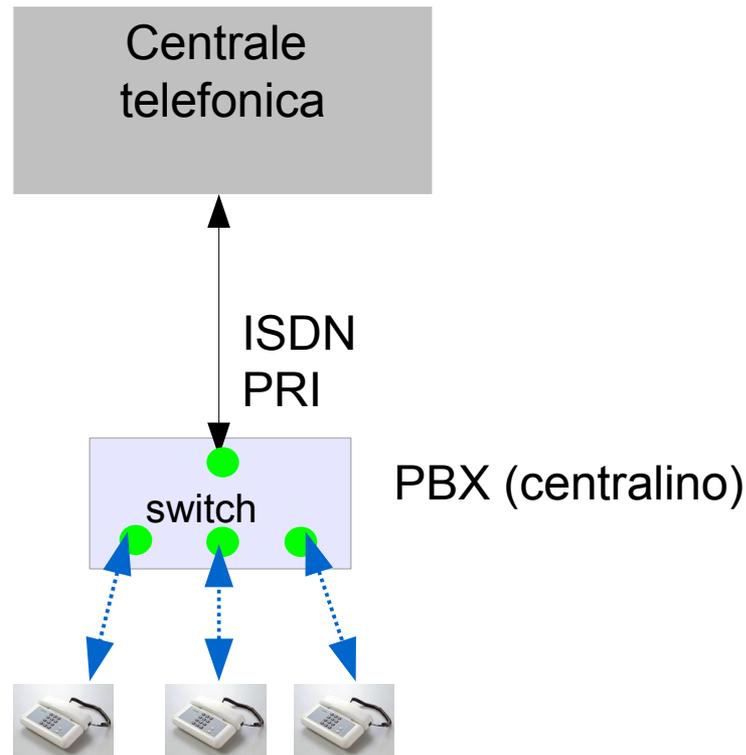
WAN Circuit switching

ISDN: esempio con 4 canali voce



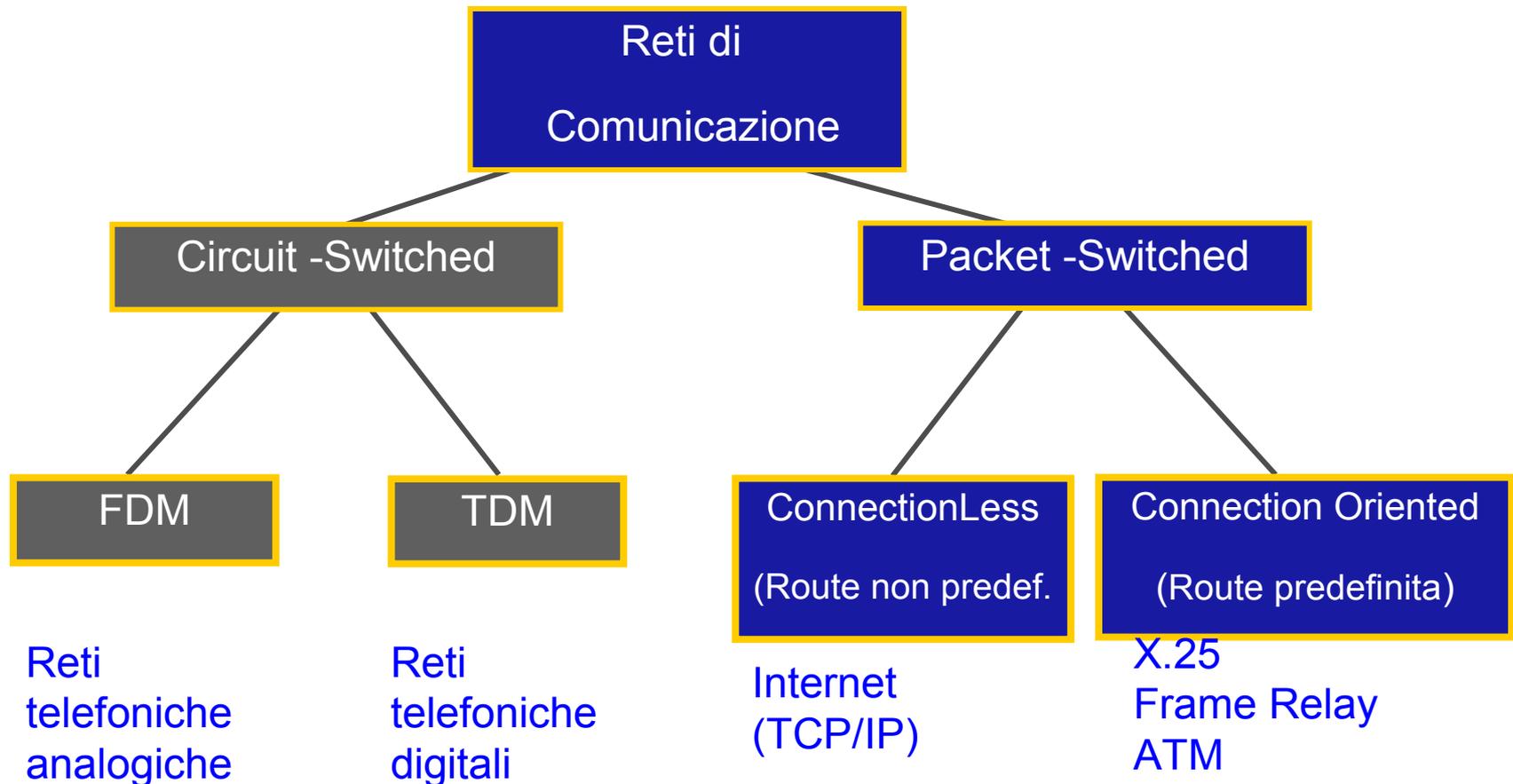
WAN Circuit switching

ISDN: esempio con 30 canali voce



WAN Packet switching

Da circuit switching a packet switching



WAN Packet switching

Da circuit switching a packet switching

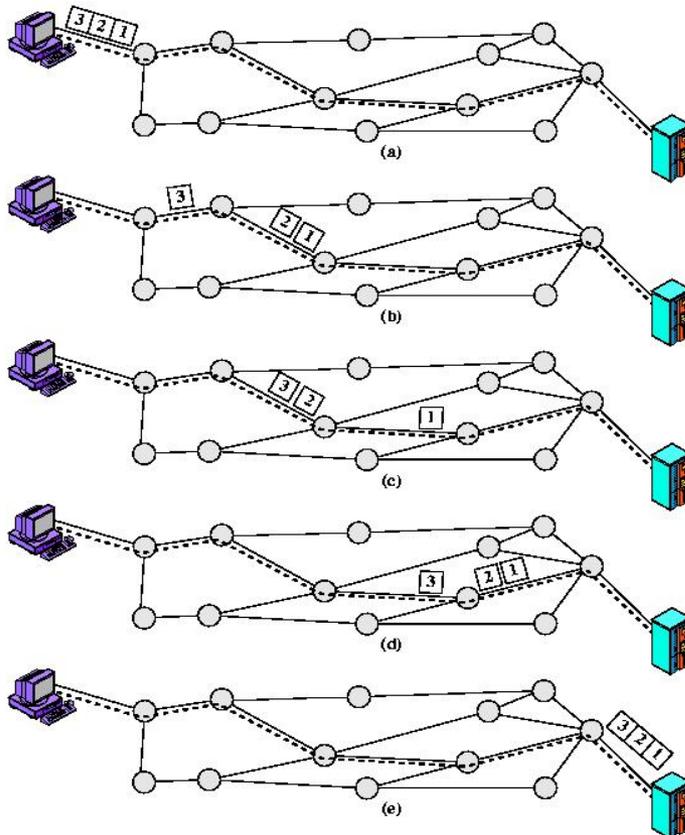


Figure 4.4 Packet Switching: Virtual-Circuit Approach

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

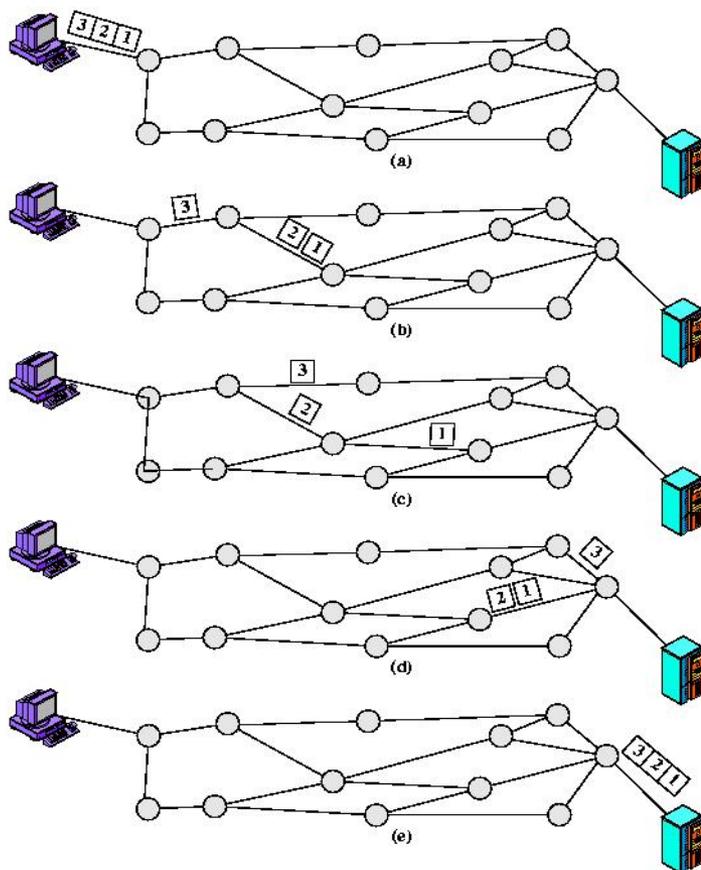


Figure 4.2 Packet Switching: Datagram Approach

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

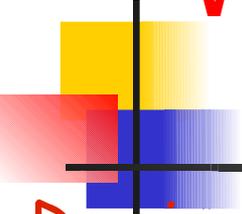
- 3) L'affitto di una linea di tipo T1/E1 dedicata (leased line), risolve tale problema della velocità ma presenta costi elevati e sprechi, essendo la banda completamente riservata (24 x 7).

- 3) 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

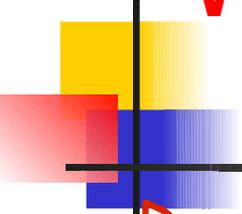
- Per risolvere questo tipo di problemi, alle reti circuit switching si affiancarono nel tempo reti di tipo **packet switching**, più adatte alla trasmissione dati, che inviano **pacchetti** (blocchi) di bits in modalità **asincrona**
- Esse si basano sulla **suddivisione dei messaggi** applicativi (ad 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)

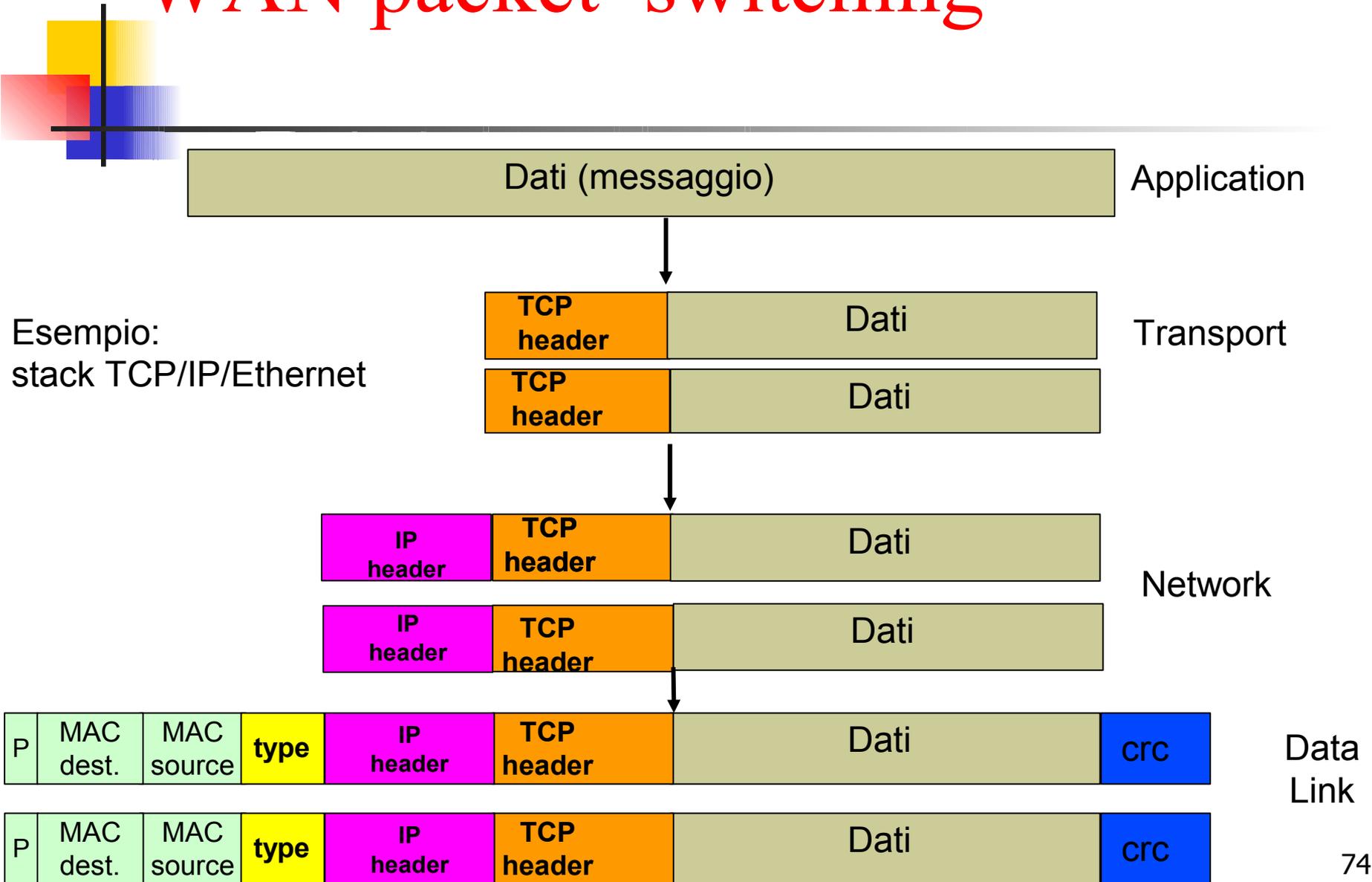


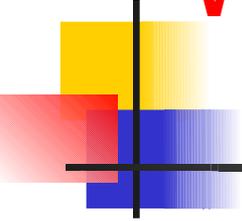
WAN packet switching

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





WAN packet switching

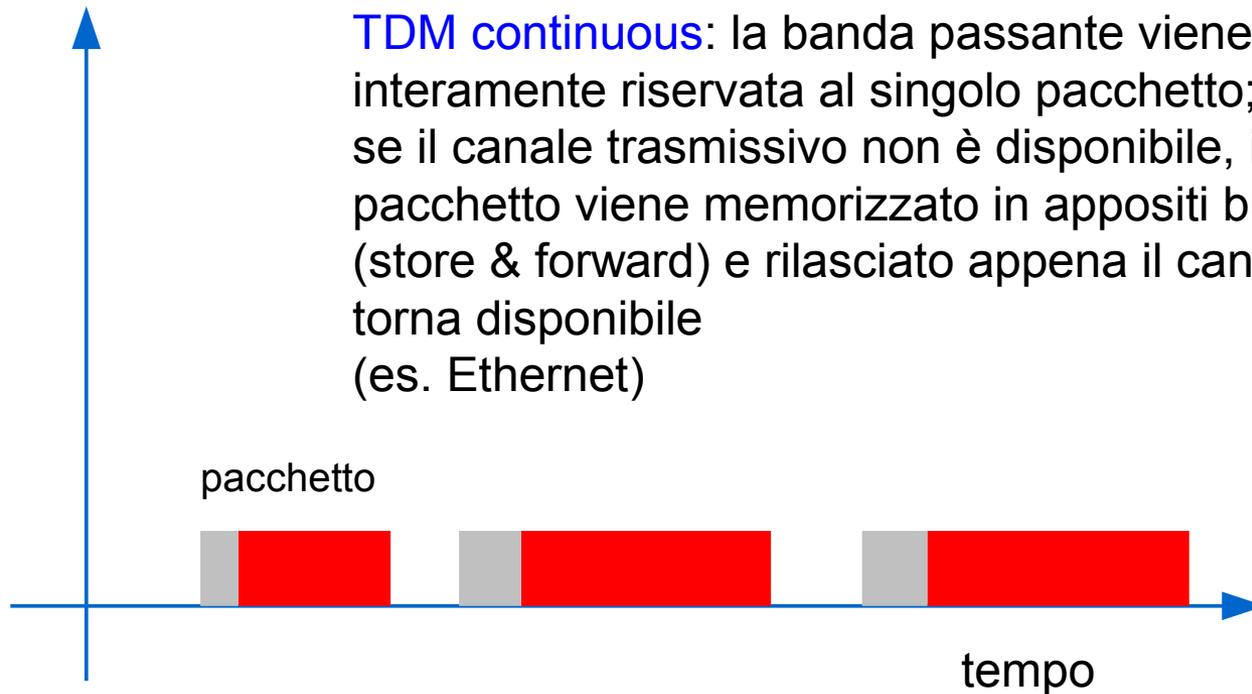
Da circuit switching a packet switching

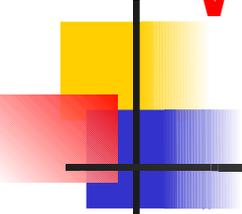
- Il vantaggio, in termini di comunicazioni, è che il pacchetto, per le sue limitate dimensioni **occupa, solo per un tempo estremamente limitato,** il canale fisico
- Si consente, in tal modo, un uso condiviso della connessione da parte di più utenti; **la banda passante viene utilizzata interamente 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

TDM continuous: la banda passante viene interamente riservata al singolo pacchetto; se il canale trasmissivo non è disponibile, il pacchetto viene memorizzato in appositi buffer (store & forward) e rilasciato appena il canale torna disponibile (es. Ethernet)





WAN packet switching

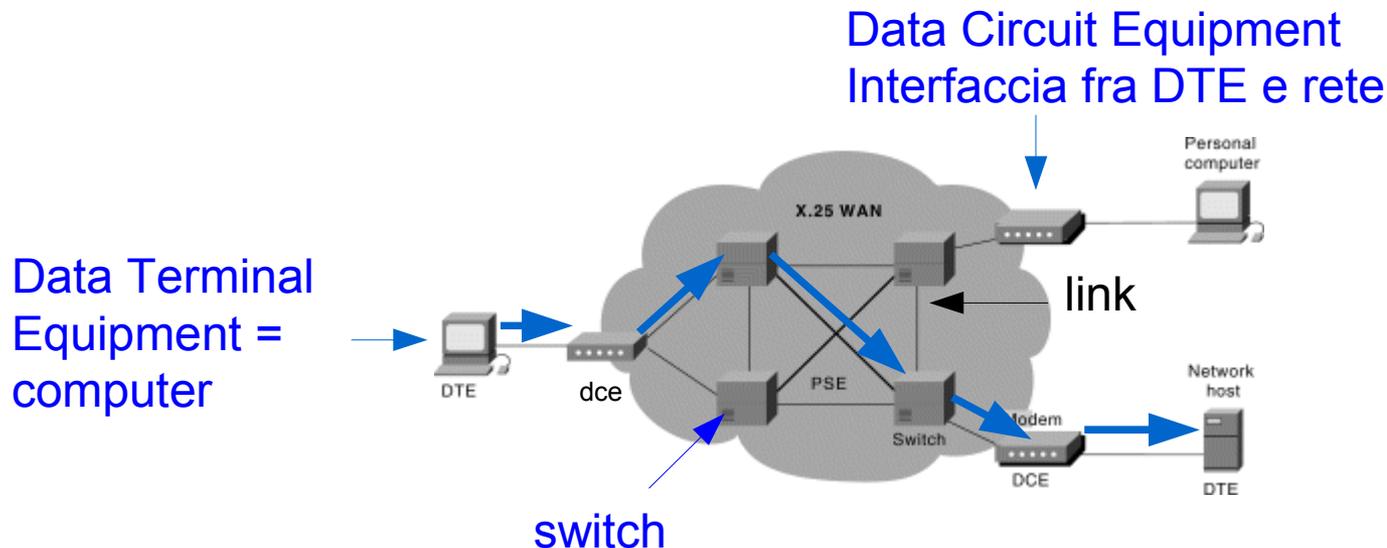
Da circuit switching a packet switching

- 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

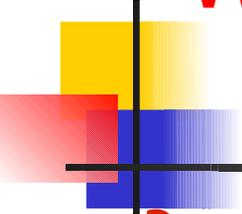


WAN packet switching

Packet switching connection-oriented

- Nelle WAN 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

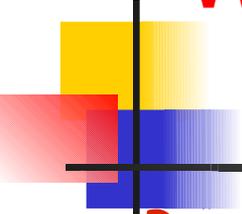
WAN packet switching



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

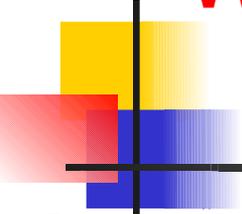
WAN packet switching



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



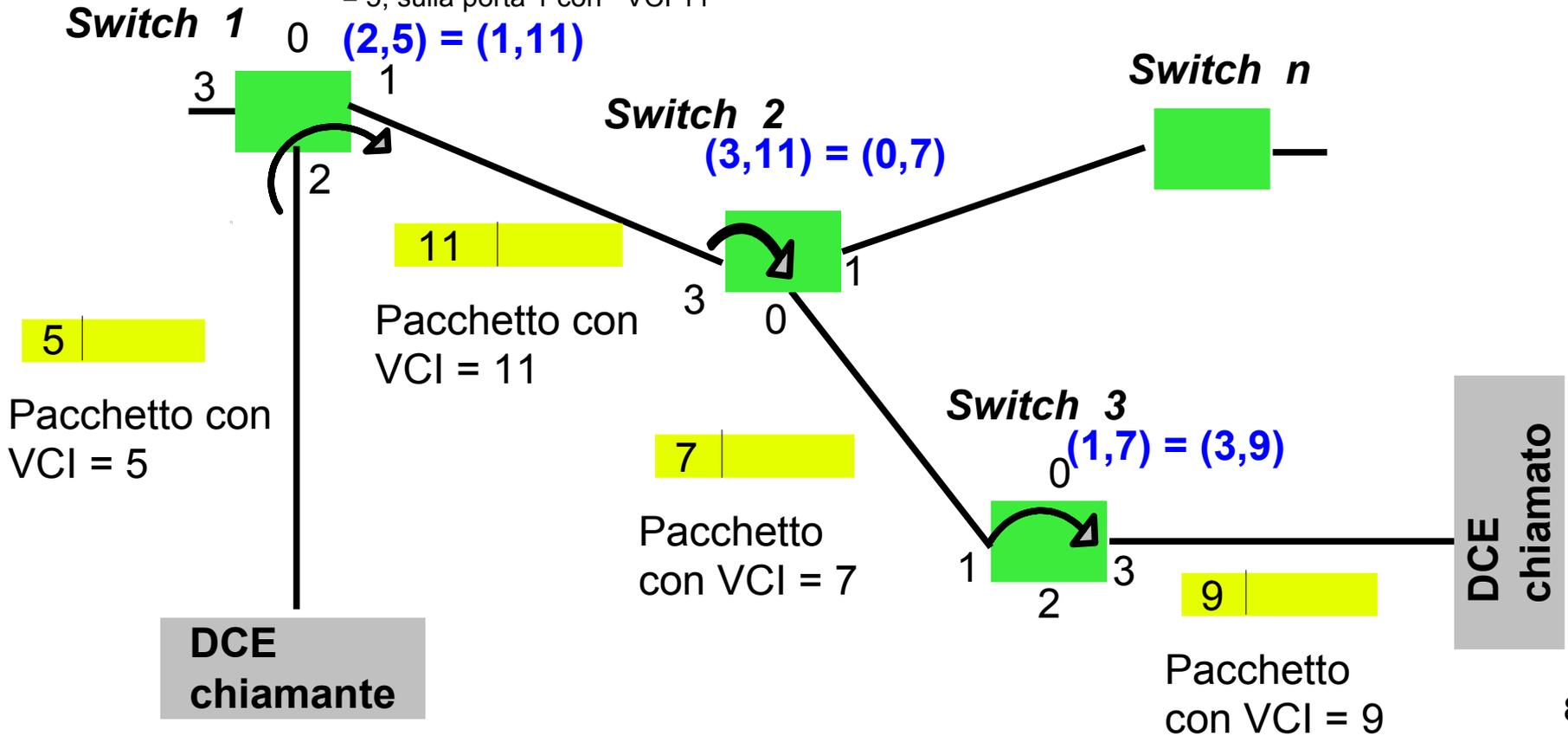
Packet switching connection-oriented

- ♦ 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 inoltra** e quindi il link da usare; assegna inoltre alla connessione il primo valore libero di VCI
- ♦ 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

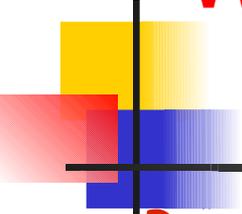
WAN packet switching

Packet switching connection-oriented

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



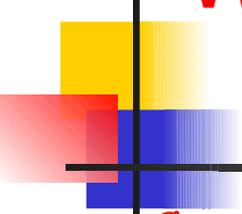
WAN packet switching



Packet switching connection-oriented

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

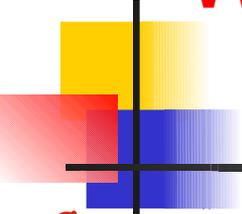
WAN packet switching



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

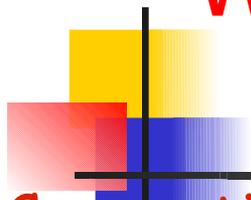
WAN packet switching



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



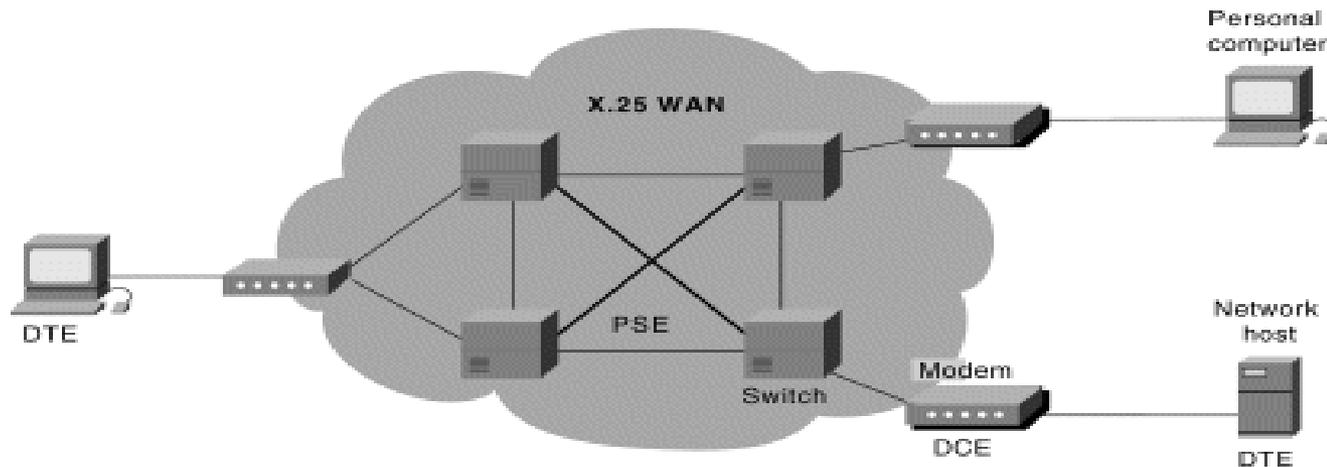
Connection-oriented vs connection-less

- 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

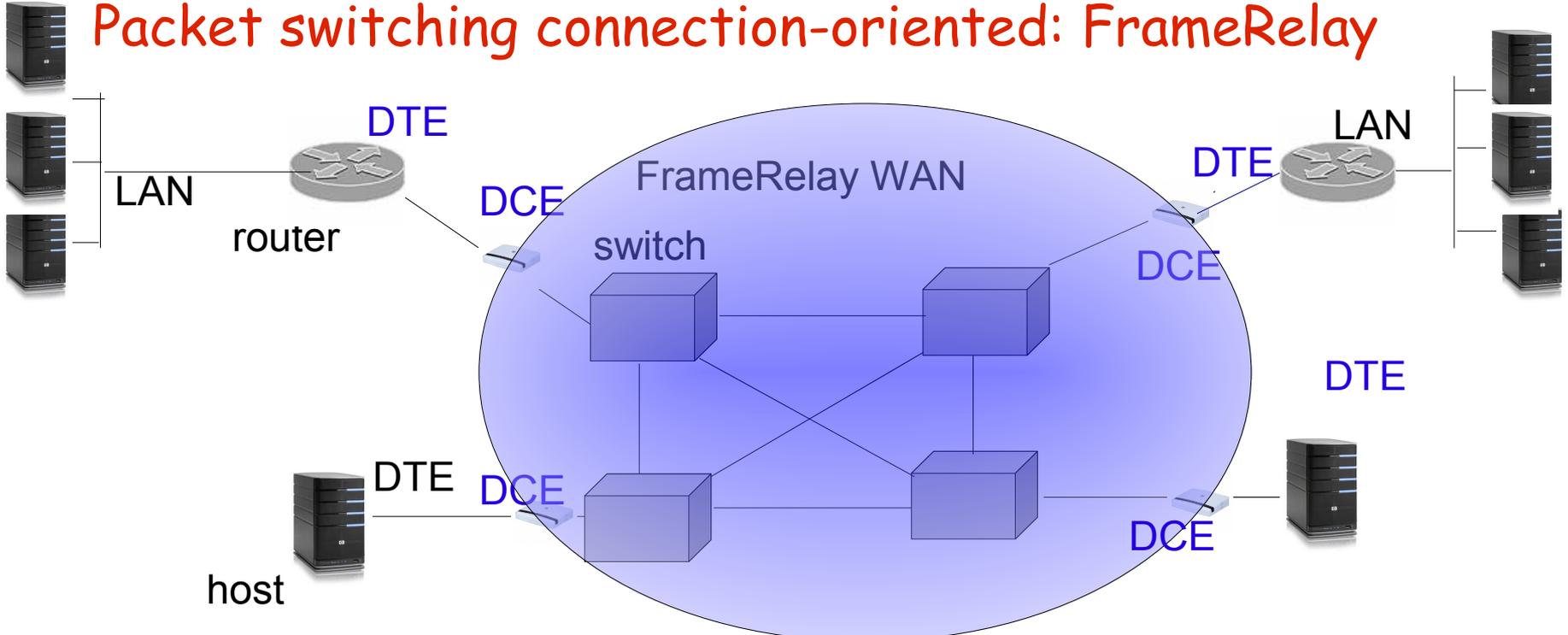


FrameRelay

- 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)

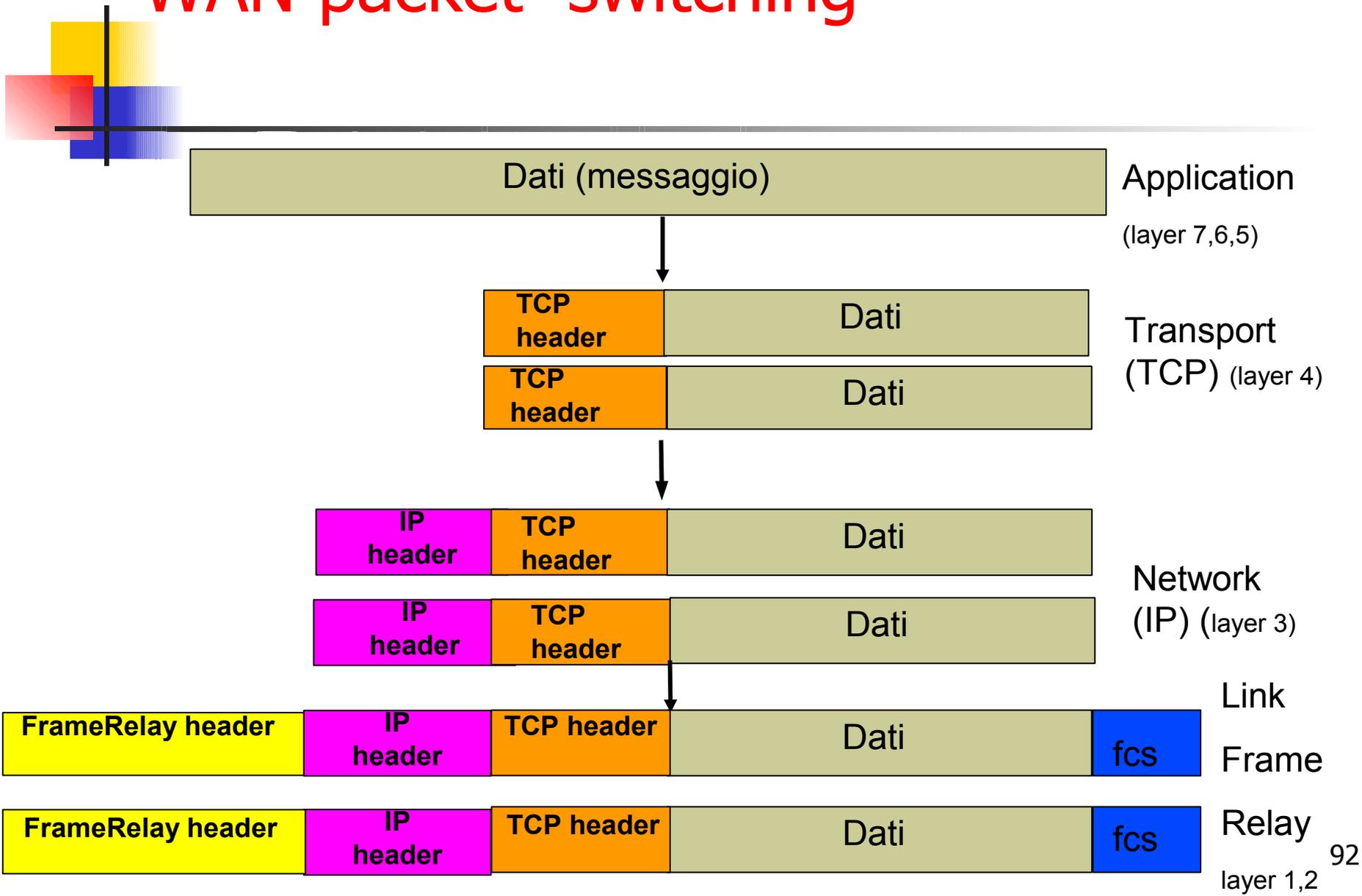
WAN packet switching

Packet switching connection-oriented: FrameRelay



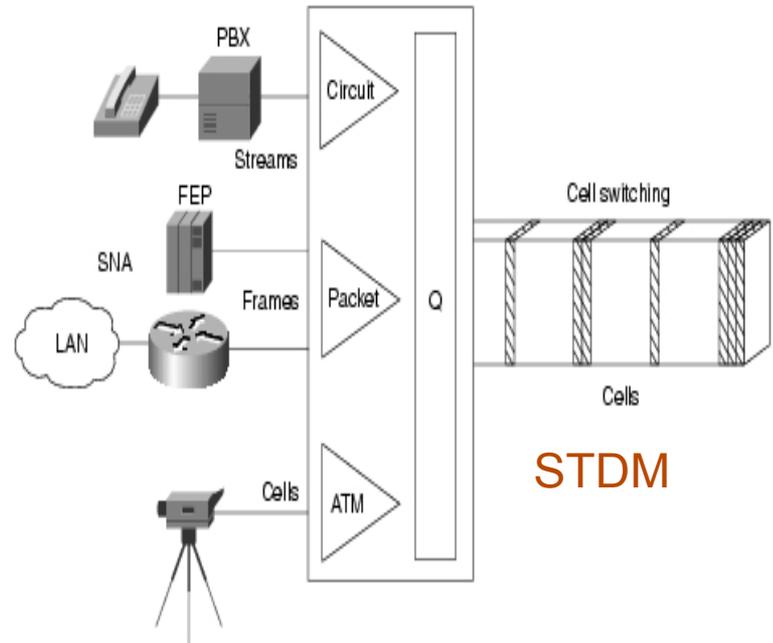
Due LAN o due host, posti a grandi distanze, vengono interconnessi mediante una rete FrameRelay. Il router dovrà essere fornito di interfaccia LAN (es. Ethernet) e FrameRelay (DTE). L'interfaccia DTE verrà connessa allo switch tramite DCE

WAN packet switching

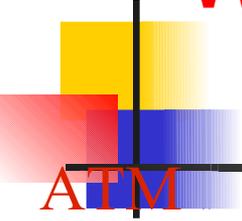


WAN packet switching

WAN (Wide Area Network): ATM



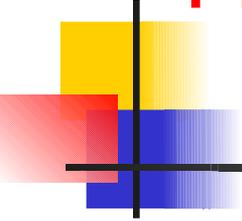
WAN packet switching



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)

Modello ISO/OSI



- ISO: International Standards Organizations
- OSI: Open Systems Interconnections
- Fornisce un modello concettuale per le architetture di rete, mai interamente implementato da nessuna rete reale, finalizzato all'interoperabilità
- Mantiene la sua validità come modello di riferimento in letteratura, anche se l'architettura implementativa standard è lo stack TCP/IP
- Due applicazioni (mittente/destinatario, client/server) si scambiano messaggi applicativi specifici di determinati protocolli (es. Http)

Modello ISO/OSI

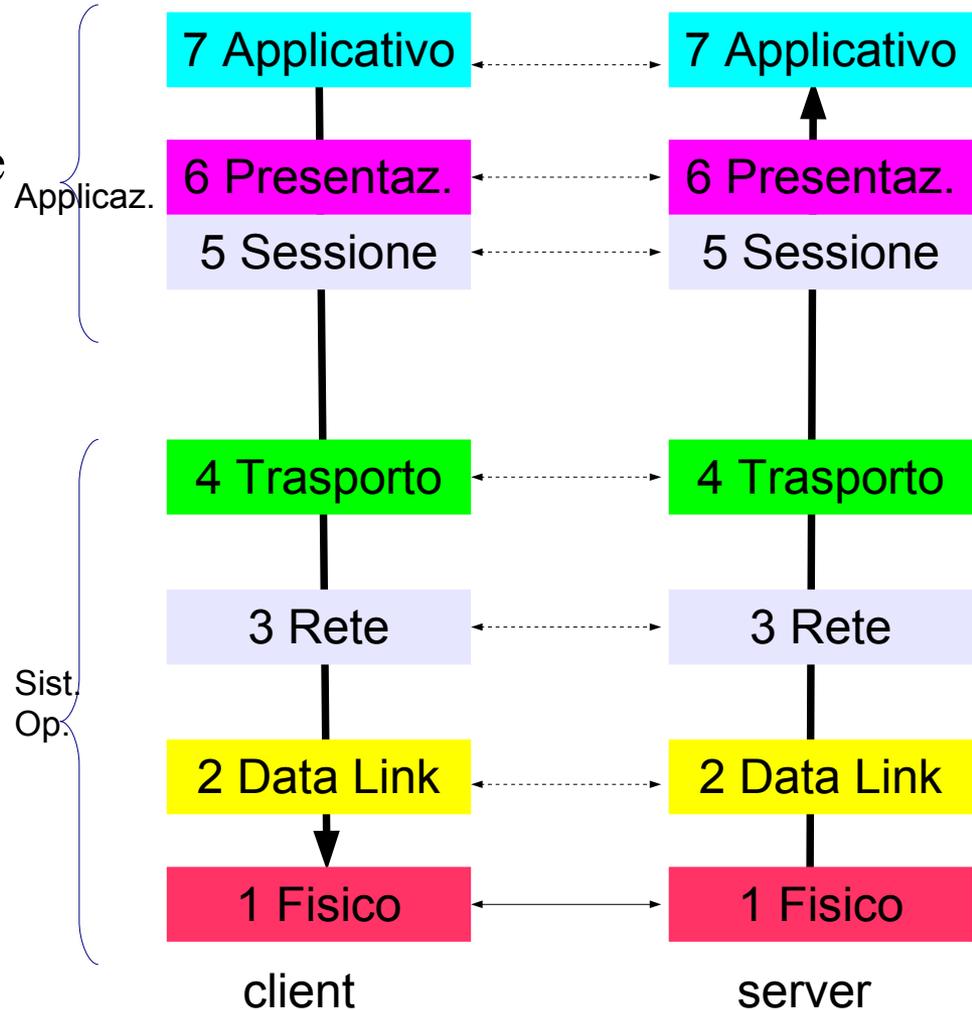
Modello ISO/OSI

- Come vengono generati da questi messaggi i pacchetti che vengono trasmessi nelle reti?
- Ci sono innanzitutto diversi strati (layer) software; questo perché i trattamenti da effettuare sui pacchetti sono numerosi e complessi.
- Si preferisce quindi assegnare ad ogni layer delle funzioni specifiche (es. controllo di corretta ricezione dei pacchetti, instradamento, trasmissione etc)
- Alcuni di questi layer risiedono direttamente nelle applicazioni mittente/destinatario; altri (quelli che gestiscono funzionalità comuni a tutte le applicazioni) direttamente nel sistema operativo

Modello ISO/OSI

Modello ISO/OSI

- Layer 7 Applicativo
- Layer 6: Presentazione
- Layer 5: Sessione
- Layer 4: Trasporto
- Layer 3: Rete
- Layer 2: Data link
- Layer 1: Fisico

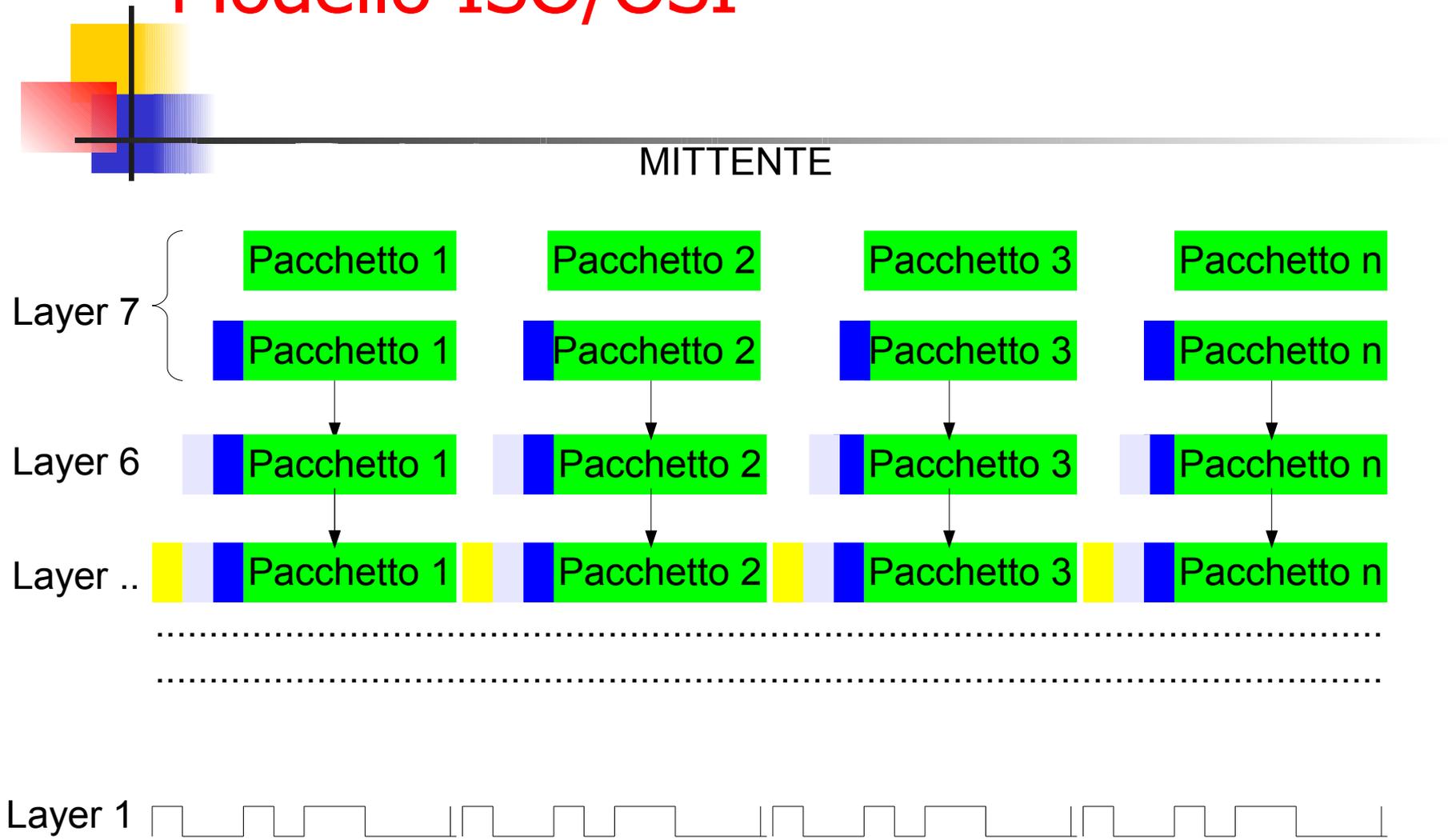


Modello ISO/OSI

Modello ISO/OSI

- I messaggi, creati dal layer 7 vengono suddivisi in pacchetti, e ritrasformati in messaggi dal *layer 7 del destinatario*
- I layer del **mittente** aggiungono ad ogni pacchetto delle apposite informazioni (**header**) per la **specificazione** assegnata al layer e passano il pacchetto così modificato al layer sottostante (**Data Encapsulation**)
- Ogni layer del **destinatario** effettua specifici controlli in base ai dati presenti nell'header di competenza e quindi elimina tale header e passa il pacchetto al layer sovrastante (destinatario). **Data Decapsulation.**

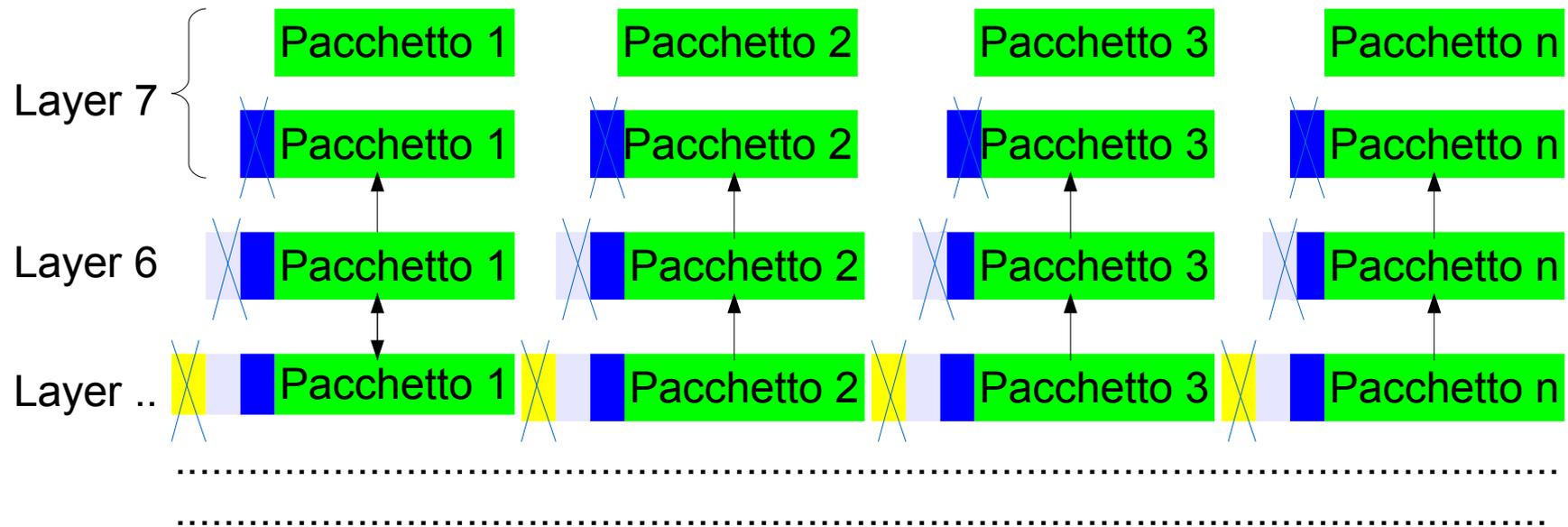
Modello ISO/OSI



Nota: nella realtà Internet (stack TCP/IP) la suddivisione del messaggio in pacchetti avviene solo nel livello 4 !

Modello ISO/OSI

DESTINATARIO



Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 1

- Il livello 1 lato **mittente** si limita a codificare con segnali standard (**elettrici, luminosi, radio**) ogni singolo bit presente nel pacchetto (frame) risultante dalle elaborazioni del layer 2
- Tali segnali vengono trasmessi sul canale fisico e letti dal layer 1 del **destinatario**
- Esiste una comunicazione di tipo virtuale fra layer dello stesso livello nel mittente e destinatario; la comunicazione vera e propria avviene solo al livello 1 (fisico)

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 1

- Ad esempio il layer 4 del destinatario controlla che tutti i pacchetti vengano correttamente ricevuti, in base ad un numero di sequenza che viene inserito nell'header di livello 4 dal mittente
- Il layer 4 segnala quindi con opportune informazioni presenti nell'header dei pacchetti di risposta la corretta ricezione o meno del pacchetto
- Esiste quindi una comunicazione fra i due layer 4 ma essa è virtuale in quanto si basa sempre sulla comunicazione del layer 1

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 2

- Il layer 2 (datalink) organizza in pacchetti detti **frame** le informazioni trasmesse dal livello superiore.
- Tale layer si fa carico della trasmissione dei pacchetti all'interno di una **stessa** rete (**wan oppure lan**)
- Esistono frame differenti a seconda della tecnologia utilizzata (X.25, FrameRelay, ATM, Ethernet); il VCI è uno dei dati già visti presenti nell'header dei frame della wan
- Nelle LAN è invece consolidato lo standard Ethernet che prevede la presenza nell'header degli indirizzi fisici delle schede di rete del mittente e del destinatario

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 2

- Le LAN Ethernet lavorano in broadcast: gli host sono collegati con opportuni cablaggi (cavi UTP) ad un apparato detto hub o switch
- Il mittente trasmette un frame all'hub/switch; tale frame viene inviato a tutte le stazioni collegate all' hub/switch (**broadcast**)
- Tale frame conterrà nell'header l'indirizzo fisico del mittente ossia l'identificativo univoco assegnato dal produttore alla sua scheda di rete (MAC Address)

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 2

- Inoltre nell'header del frame sarà presente l'indirizzo fisico della rete destinataria (capiremo più avanti come fa il mittente a conoscere il MAC address del destinatario)
- Solo la scheda di rete che ha MAC corrispondente a quello del destinatario elabora il pacchetto; le altre lo scartano
- Il destinatario generalmente controlla anche l'esattezza dei dati ricevuti mediante codice di controllo (CRC). In Ethernet il frame, se corrotto, viene scartato. Saranno i layer superiori a farsi carico della ritrasmissione del frame perso

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 3

- Se ci limitassimo a trasmettere dati all'interno di una singola rete LAN o WAN potrebbero essere teoricamente sufficienti gli indirizzi fisici delle schede di rete
- Basterebbe quindi che il layer 5 consegnasse i suoi pacchetti direttamente al layer 2.
- In realtà sono necessari altri due layer (3 e 4) per almeno due ragioni:
 - a) Il layer 2 generalmente si limita a scartare i frame corrotti ; occorre quindi prevedere delle funzioni di ritrasmissione
 - b) Ogni scheda di rete deve avere anche un indirizzo logico

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 3

- Gli indirizzi **logici** (es. IP ormai diventato l'unico standard) consentono l'**internetworking** ossia la comunicazione di pacchetti fra reti diverse
- Tale comunicazione è resa possibile da appositi apparati (**router**) che mettono in comunicazione reti (Lan/WAN) differenti)
- Ad ogni scheda di rete viene quindi associato, oltre al MAC, anche un indirizzo logico, univoco a livello mondiale, che viene utilizzato dai router per consentire la comunicazione fra reti diverse

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 3

- Il layer 3 lato mittente inserisce quindi nel relativo header gli indirizzi logici (es. indirizzi IP) del mittente e del destinatario
- I pacchetti che arrivano al router vengono esaminati dal software presente nel layer 3 dell'apparato che, opportunamente configurato (tabella di routing) è in grado di stabilire dove inoltrare il pacchetto (next hop) in base all'indirizzo logico di destinazione
- Il pacchetto arriva quindi, di router in router, fino al router che ha direttamente collegata la rete del destinatario, dove viene effettuato il processo di decapsulation fino al layer 7

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 4

- Il layer 4 lato mittente inserisce nel relativo header le informazioni necessarie a garantire la corretta consegna del pacchetto end to end ed a gestire il controllo di flusso
- Vedremo ad esempio che TCP (protocollo divenuto uno degli standard mondiali a livello 4 grazie ad Internet) inserisce, ad esempio in ogni pacchetto un particolare numero progressivo (sequence number)
- Il corrispondente software di livello 4 del destinatario esamina il sequence number ed informa il mittente, nei pacchetti di risposta, della corretta ricezione di tale pacchetto (ack number)

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 4

- Il layer 4 lato destinatario è inoltre in grado di ricostruire la sequenza corretta dei pacchetti, nel caso essi arrivino in ordine diverso da quello di spedizione, e di controllare in modo opportuno l'invio di pacchetti dal mittente (flow control)
- Un'altra informazione che viene gestita dal layer 4 è il port number (porta) ossia il numero che identifica il processo applicativo mittente (source port number) ed il numero che identifica il processo applicativo destinatario (destination port number)
- Per i processi server tale numero è prefissato (well-known ports) mentre per i processi client assume valori casuali (ephemeral ports)

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 4

- In base al port number il livello 4 è in grado di sapere, a quale dei processi software che stanno girando nell'host, consegnare il pacchetto

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 5 e 6

- Si tratta di due layer previsti nel modello che oggi nessuna rete gestisce come separati. Le relative funzioni sono infatti sempre delegate al layer 7 (applicativo)
- Il layer 5 gestisce le **sessioni** ossia le informazioni che si rendono necessarie per garantire una comunicazione nel tempo fra due host
- Prevede quindi meccanismi di sicurezza (autenticazione del client nei confronti del server) e di checkpoint (ossia la possibilità , nel caso di caduta della connessione, di riprendere il download di un file a partire dal punto in cui si era arrivati nella connessione precedente)

Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 5 e 6

- Anche per il layer 6 (presentation) valgono considerazioni analoghe. Le relative funzioni sono infatti sempre delegate al layer 7 (applicativo)
- Il layer 6 gestisce la presentazione ossia le informazioni che riguardano le modalità con le quali i dati trasmessi vengono rappresentati
- In questo layer possono essere presenti ad esempio funzioni di conversione del formato dei dati, di compressione e di cifratura

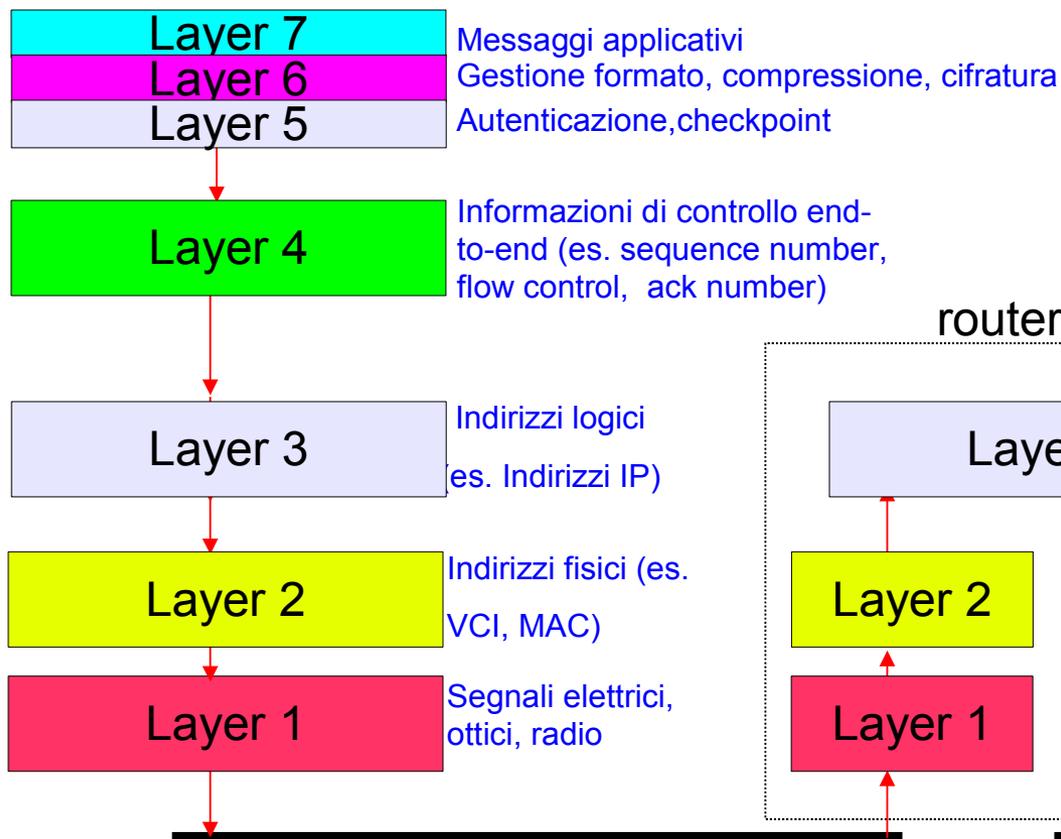
Modello ISO/OSI

Layer ISO/OSI: layer 7

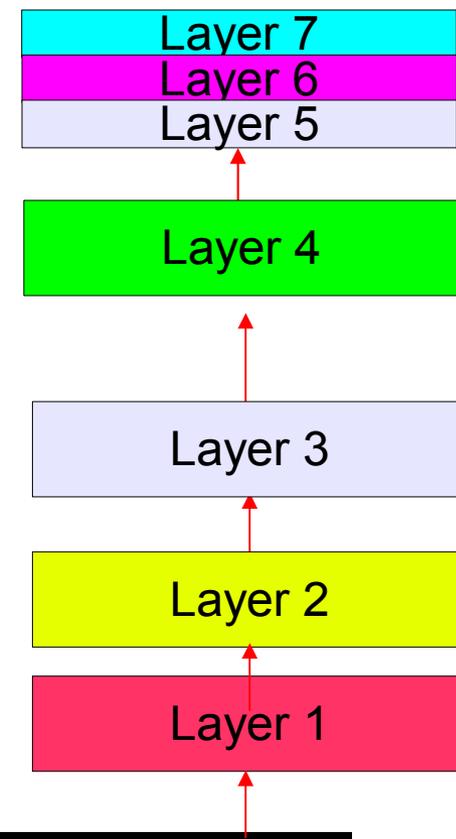
- Il layer 7 gestisce lo scambio di messaggi fra mittente e destinatario
- I messaggi vengono composti secondo standard internazionali (protocolli di livello applicativo che vedremo nel II modulo)
- Ad esempio un client http invia una specifica richiesta di visualizzazione di una pagina html, corredata di informazioni aggiuntive (header) , alla quale il server risponde inviando il relativo file, a sua volta corredata di opportuni header

Modello ISO/OSI

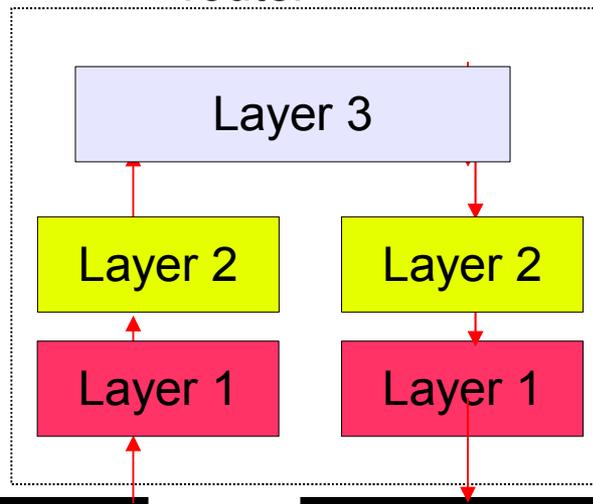
CLIENT



SERVER



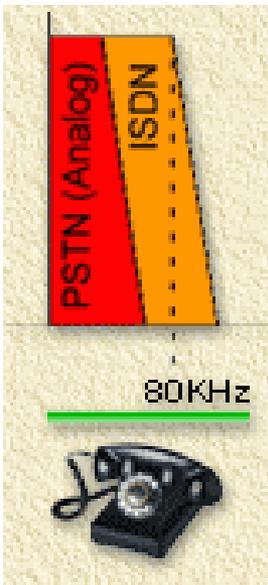
router



WAN packet switching

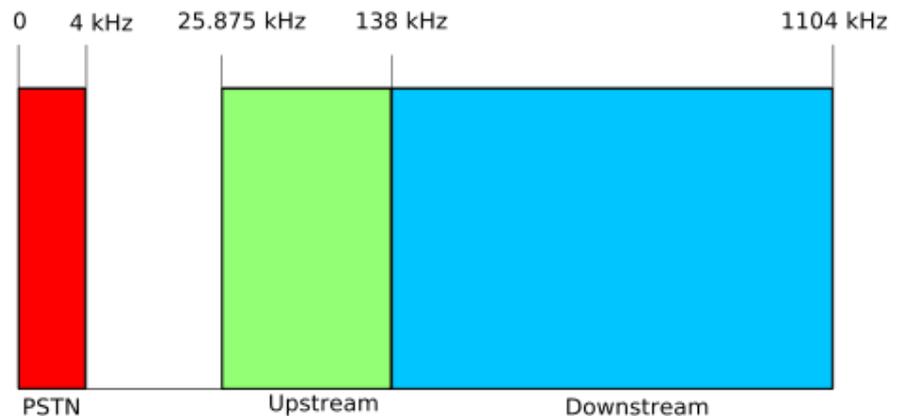
ADSL (xSDL)

- 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



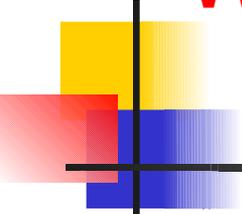
telefono analogico:
fino a 3.4 KHz

ISDN
fino a 80 KHz



ADSL: da 25 fino a 1100 KHz circa

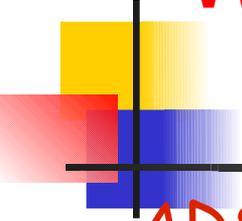
WAN packet switching



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

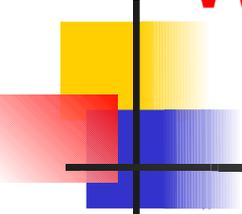
WAN packet switching



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

