



Reti di Calcolatori

Protocolli datalink layer per reti WAN



ADSL

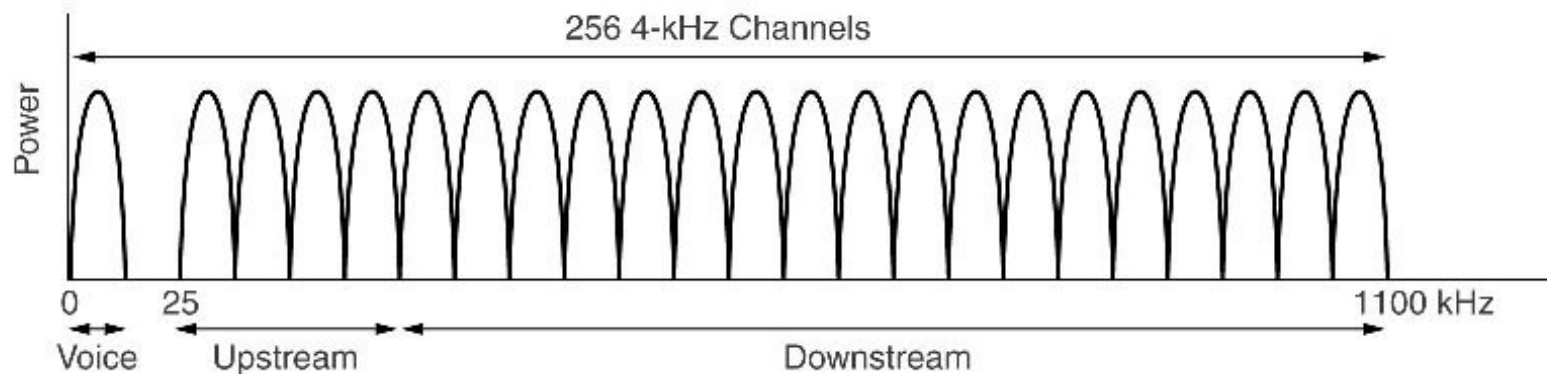
- ADSL (**Asymmetric Digital Subscriber Line**) e' lo standard per fornire all'abbonato un **accesso digitale** a banda piu' elevata di quanto non sia possibile con il modem
- La linea telefonica terminale e' costituita da un **doppino** su cui viene normalmente trasmessa la voce. Questa trasmissione si realizza applicando un **filtro passa basso a 4 KHz**
- Tuttavia il doppino ha una capacita' di banda che **raggiunge il MHz** (dipende dalla **lunghezza** del tratto terminale, che puo' variare in base alla situazione tra poche centinaia di metri a diversi Km)
- Lo spettro disponibile viene suddiviso in **256 canali da 4 KHz** (fino a 60 Kbps ciascuno):
 - Il canale 0 viene **riservato per la telefonia**
 - I successivi 4 canali **non vengono utilizzati** per evitare problemi di interferenza tra la trasmissione dati e quella telefonica
 - I restanti canali vengono destinati al **traffico dati**. Alcuni per il traffico uscente (**upstream**), altri per il traffico entrante (**downstream**)
- Il modem ADSL riceve i dati da trasmettere e li **splitta in flussi paralleli** da trasmettere sui **diversi canali**, genera un segnale **analogico** in banda base per ciascun flusso (con una modulazione **QAM** fino a **15 bit/ baud** a **4000 baud/s**) e li trasmette sui diversi canali utilizzando la modulazione di frequenza

Gli standard ADSL

- La standardizzazione dell'ADSL è stata sviluppata inizialmente in ambito americano (ANSI T1.413), con una grande spinta di ADSL Forum e UAWG (per ADSL Lite)
- ITU-T ha prodotto raccomandazione su ADSL (G.992.1) e ADSL Lite (G.992.2, 6/99)

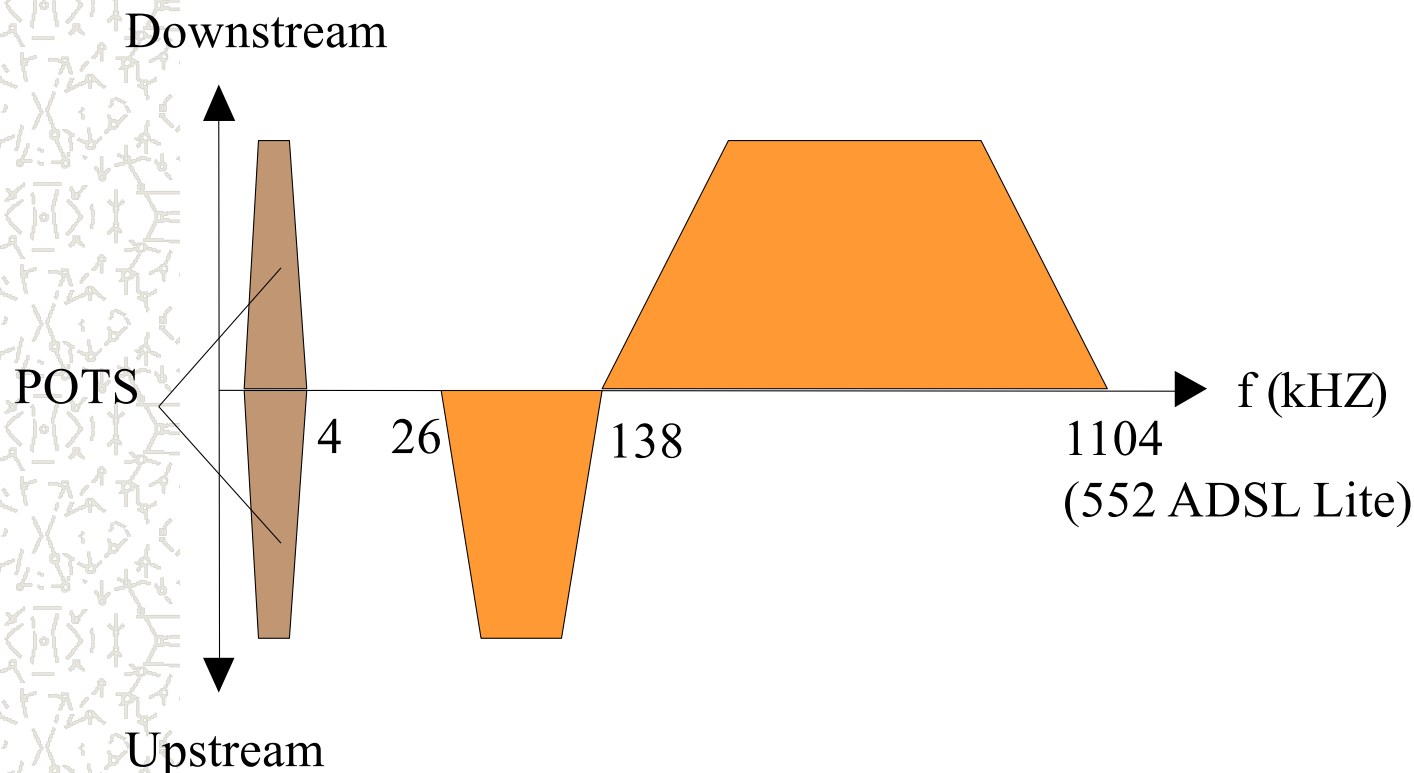
Suddivisione dei canali nell'ADSL

- In teoria l'ampiezza di banda disponibile consente un traffico pari a **13.44 Mbps**, ma non tutti i canali sono capaci di trasmettere a piena banda. L'operatore decide quale servizio offrire.
- Generalmente vengono dedicati **alcuni canali** per il traffico **entrante**, ed altri (**meno**) per il traffico **uscente** (da qui il termine *Asymmetric*)



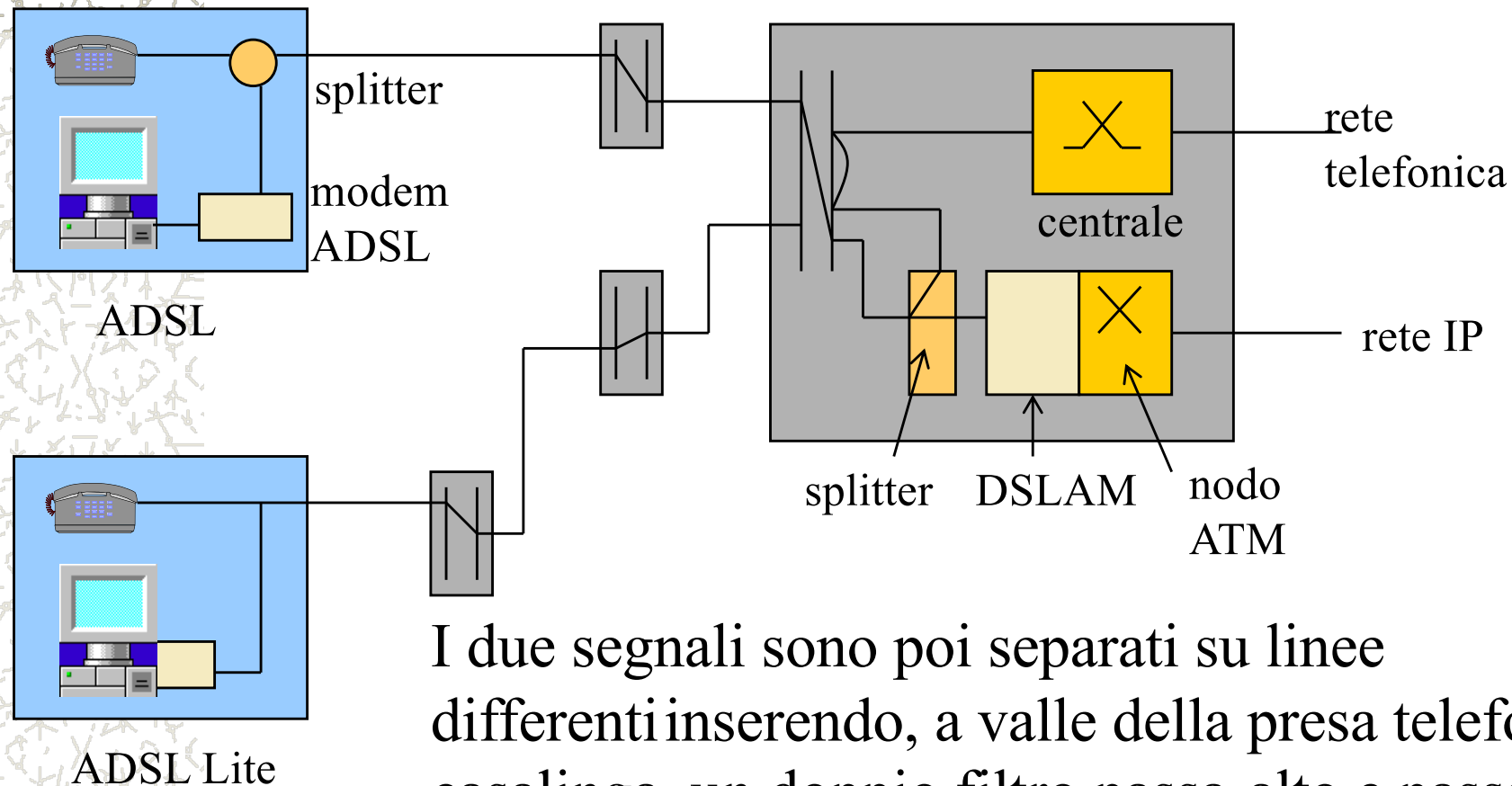
Spettro ADSL e ADSL Lite

- Le singole portanti, modulate in QAM sono spaziate a 4.3 Khz.
- La banda fra 26 e 138 KhZ è riservata al traffico in upstream mentre quella da 138 a 1104 (552) KhZ è riservata al downstream.



- Il termine Plain old telephony services (POTS) indica il normale segnale telefonico (voce) che è compreso tra le frequenze 300 e 3400 Hz.

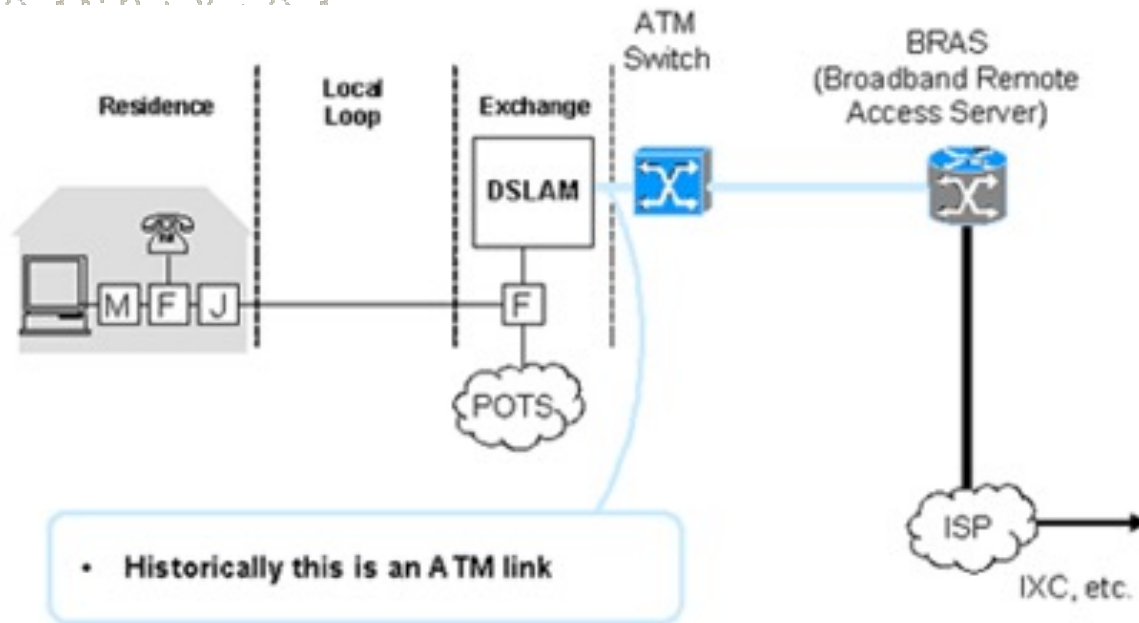
Architettura di accesso ADSL / ADSL Lite



I due segnali sono poi separati su linee differenti inserendo, a valle della presa telefonica casalinga, un doppio filtro passa-alto e passa-basso detto *splitter*.

Un filtro del tutto simile esiste anche dal lato centrale, per inoltrare la componente in banda audio alla centrale pots, e la componente dati verso un dispositivo DSLAM.

DSLAM



Il Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) risiede nella centrale dell'operatore che offre il servizio POTS.

Provvede ad effettuare la demodulazione del segnale ADSL di ogni singolo utente, e si occupa di aggregare il traffico relativo a più utenti ed inviarlo verso gli isp (Internet Service Provider) con cui gli utenti hanno un contratto di connessione ad Internet.

Passaggio ad ATM

- Passaggio dalla commutazione di circuito a quella di pacchetto
- Necessità di nuovi commutatori ad alta velocità
- Si possono utilizzare le dorsali preesistenti

Caratteristiche di ATM

- ATM è orientato alla connessione
 - il principio di commutazione adotta un instradamento connection-oriented; la funzione di inoltro e' basata su operazioni store&forward con assegnamento logico delle risorse e funzionamento asincrono
 - Per iniziare il flusso si invia un messaggio di inizio connessione
 - Stabilita la connessione tutte le celle seguono lo stesso cammino
 - La consegna delle celle non è garantita ma lo è l'ordine
- Lo schema di multiplazione e' **labelled** con capacita' di trasporto slotted
- La segnalazione e le informazioni di utente sono trasportate su canali virtuali separati
- In particolare:
 - Il flusso informativo multiplato e' organizzato in unita' informative di lunghezza fissa denominate **celle**

ATM – Principi di base

Trasferimento dell'informazione

- ATM e' definito come modo di trasferimento **packet-oriented** basato sulla **multiplazione asincrona** a divisione di tempo di **celle** di lunghezza fissa.
- Le celle vengono trasferite attraverso la rete in modo **trasparente**. Non viene effettuato il controllo di errore all'interno della rete.
- ATM puo' trasportare qualunque tipo di servizio. A tale scopo si introducono vari tipi di strati di **adattamento** per soddisfare le diverse esigenze dei diversi servizi.

Instradamento

- ATM e' di tipo connection-oriented: a tale scopo utilizza **percorsi** e **canali virtuali**. Un percorso virtuale puo' essere visto come una aggregazione di canali virtuali. All'interno di ciascun canale virtuale viene preservata l'integrita' della sequenza.

(segue)

ATM – Principi di base

Risorse

- Le risorse possono essere attribuite in modo semi-permanente o per la durata della chiamata ed eventualmente negoziate durante la chiamata stessa.
- Le risorse possono essere espresse in termini di bit rate o di qualita' di servizio.

Throughput

- Ad ogni connessione virtuale viene attribuita una porzione di banda che dipende dal numero di connessioni multiplare, dalla burstiness del traffico trasportato e dalla qualita' di servizio richiesta.
- CCITT ha stabilito fino ad ora l'utilizzo della bit rate di picco come parametro sulla base del quale attribuire la banda disponibile.

Qualita' di servizio

- La qualita' di servizio di una connessione viene espressa in termini di perdita di cella, ritardo, variazione del ritardo.
- Per la gestione della perdita si puo' utilizzare l'indicazione CLP (Cell Loss Priority): si distingue tra due livelli di tasso di perdita su una stessa connessione virtuale e in caso di congestione si scartano le celle con priorita' piu' bassa.

(segue)

ATM – Principi di base

Controllo dei parametri di utente

- L'inserimento dell'informazione di utente in rete e' limitato unicamente dalla velocita' fisica del mezzo trasmissivo.
- Tuttavia poiche' le connessioni virtuali condividono le stesse risorse fisiche, mezzi trasmissivi e buffer, occorre evitare una eccessiva occupazione da parte di alcuni utenti.
- A tale scopo si definisce la funzione **UPC (Usage Parameter Control)** che effettua il monitoraggio del comportamento degli utenti all'interfaccia utente-rete per garantire che siano rispettate le modalita' di trasmissione previste dal contratto.
- E' importante che i parametri di traffico scelti a tale scopo possano essere controllati in tempo reale.

(segue)

ATM – Principi di base

Segnalazione

- La negoziazione utente-rete per l'attribuzione di risorse (VCI/VPI, throughput, QOS) si realizza su un canale virtuale separato con protocollo derivante da un ampliamento di quello usato per la segnalazione nella N-ISDN.
- Deve prevedere l'instaurazione di connessioni punto-punto, punto-multipunto.

Controllo di flusso

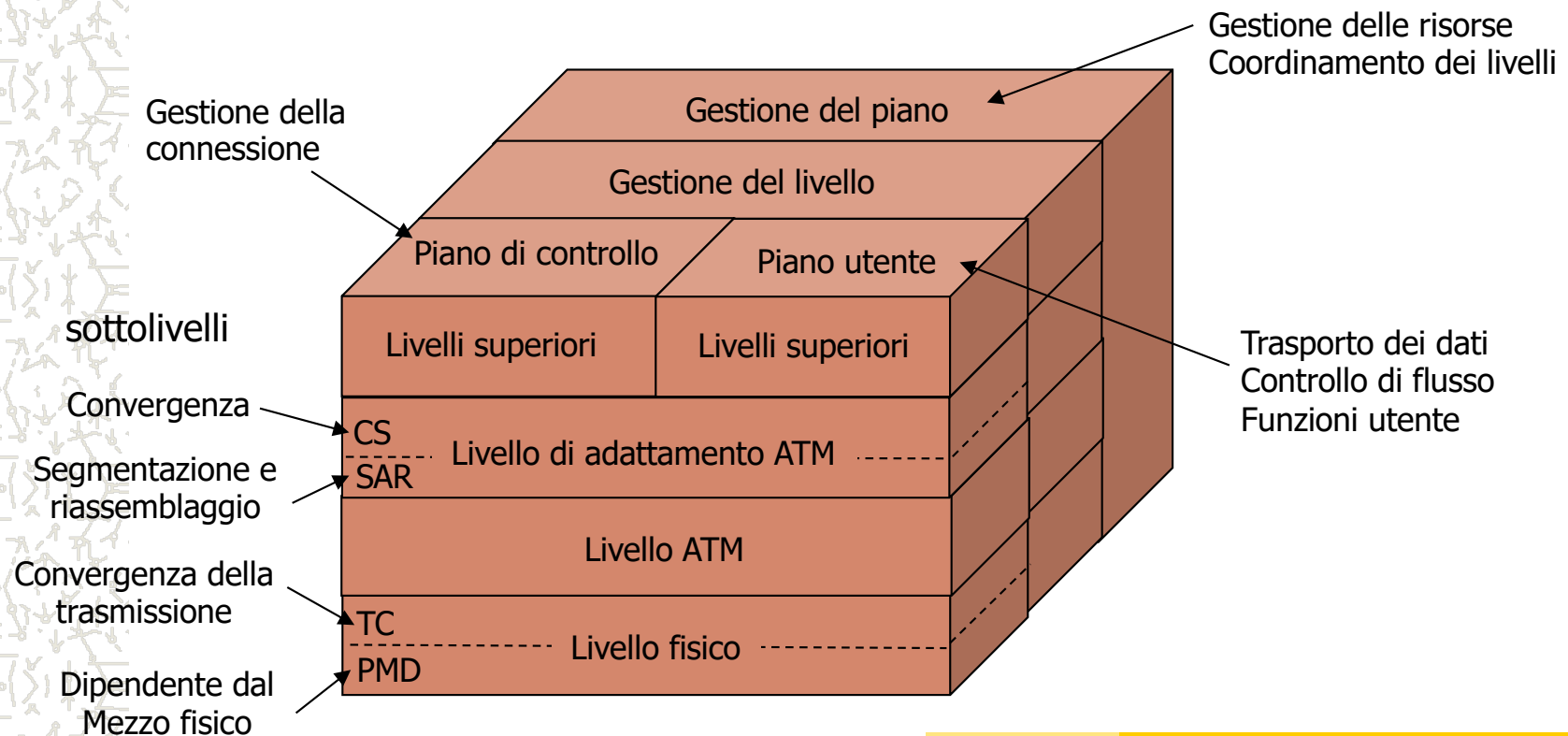
- In linea di principio non si utilizza controllo del flusso di informazioni nell'ambito dello strato ATM all'interno della rete pubblica B-ISDN.
- In alcuni casi e' pero' necessario controllare il flusso di traffico tra terminale e rete. Cio' e' reso possibile all'interfaccia utente rete dal campo GFC (General Flow Control) dell'intestazione delle celle ATM.

Asynchronous Time Division (ATD)

- E' il modo di trasferimento adottato dallo standard ATM
- Schema di moltiplicazione: con suddivisione dell'asse dei tempi in intervalli di durata costante
- Principio di commutazione: con assegnamento logico delle risorse e funzionamento asincrono
- Architettura del protocollo: basata sullo strato di modo di trasferimento

Modello di riferimento ATM

- Il modello di architettura di rete ATM è diverso da quello TCP/IP e ISO-OSI
- E' strutturato in accordo a più livelli e piani ortogonali fra loro



Modello di riferimento ATM

Il modello di riferimento comprende:

- **user plane**: gestisce il flusso delle informazioni di utente
- **control plane**: fornisce le funzioni per il controllo della chiamata; tratta il flusso di segnalazione per attivare una chiamata, variarne le caratteristiche e rilasciarla.
- **management plane**: e' suddiviso in 2 porzioni:
 - *plane management*: ha una struttura non stratificata e si occupa della gestione e del coordinamento tra i vari piani
 - *layer management*: fornisce funzioni di gestione delle risorse residenti in ciascuno strato e gestisce i flussi di informazioni di gestione della rete
- **Due strati forniscono funzioni specifiche del modo ATM:**
 - **strato ATM**: fornisce la capacita' di trasferimento di celle per tutti i tipi di servizio
 - **strato di adattamento ATM**: fornisce funzioni di piu' alto livello dipendenti dal servizio

Livello fisico ATM

- **Le celle ATM possono essere spedite**

- direttamente sul mezzo fisico (fibra in genere)
- incapsulate all'interno del carico utile di un pacchetto spedito con altro standard

- **Le connessioni sono sempre punto-a-punto**

- host-commutatore o commutatore-commutatore
- Sono unidirezionali (il full-duplex richiede una coppia di linee)

- **Lo strato fisico consiste di due sottostrati:**

- trasporto fisico (PMD)
- convergenza di trasmissione (TC)

- **Il sottolivello PMD interfaccia direttamente la trasmissione sul cavo**

- Trasferimento, Temporizzazione e Codifica
- Accesso fisico alla rete

- **Il sottolivello TC converte i bit letti in celle ATM ed effettua:**

- adattamento al framing di trasmissione del flusso di celle
- generazione e recupero del framing di trasmissione
- generazione e verifica della sequenza di controllo dell'errore sull'intestazione HEC (Header Error Check). Si dicono *celle valide* quelle per cui l'header non e' modificato in questa fase
- delimitazione di cella: prepara il flusso di celle in modo che il ricevitore riconosca nel flusso le celle
- disaccoppiamento della velocita': inserimento e soppressione di celle non attive per adattare la velocita' delle celle valide al *payload* di trasmissione

ATM Framing

- CCITT individua tre tipi di approcci per specificare il formato della trama fisica: PDH, SDH e celle
- ATM basato su PDH

Caratteristiche del mezzo fisico

- Utilizza l'infrastruttura di rete esistente

Caratteristiche della convergenza di trasmissione

- Viene utilizzata la struttura delle trame della gerarchia plesiocrona alla quale vengono aggiunti ottetti speciali per realizzare funzioni di manutenzione e monitoraggio di prestazioni.

ATM Framing (continua)

- ATM basato su SDH

Caratteristiche del mezzo fisico:

- Il mezzo fisico consigliato e' la fibra ottica.
- Al punto di riferimento T_B si considera la bit rate 155.520 Mbit/s in entrambe le direzioni.
- La bit rate 622.080 Mbit/s puo' essere sia simmetrica che asimmetrica.
- L'interfaccia puo' essere di tipo ottico o elettrico

Caratteristiche della convergenza di trasmissione

- Le celle vengono organizzate nella struttura STM-1 e precisamente si utilizza il Virtual Container 4.
- Il payload puo' avere un offset dall'inizio del frame che viene specificato da un puntatore nell'overhead di linea
- Poiche' la capacita' del payload (2340 ottetti) non e' multipla della lunghezza della cella ATM (53 byte) una cella puo' attraversare il confine del payload. Un puntatore nel path overhead indica quanti byte precedono il primo confine dopo la locazione del puntatore (H4): il range di questo puntatore va da 0 a 52

ATM Framing (continua)

- ATM basato su celle

Caratteristiche del mezzo fisico

- Sono le stesse della modalita' basata su SDH

Caratteristiche della convergenza di trasmissione

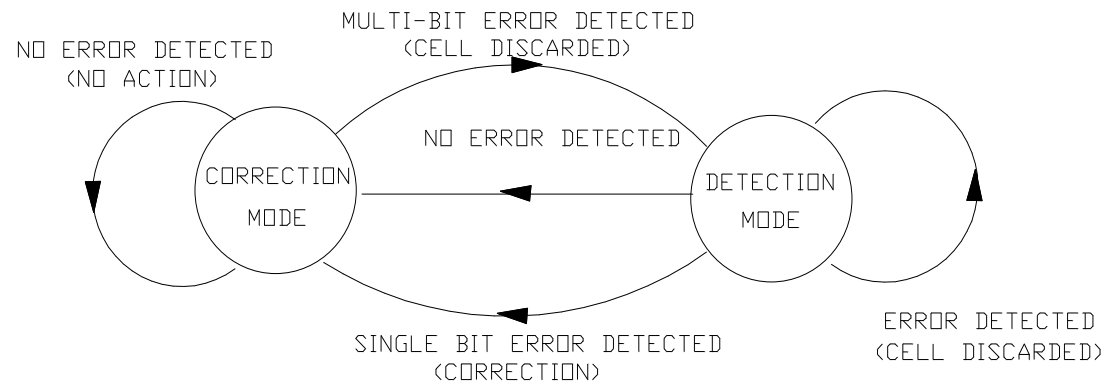
- Non viene di fatto imposto nessun framing di livello fisico
- l'interfaccia consiste in un flusso continuo di celle, eventualmente vuote
- e' necessaria una **modalita' di sincronizzazione** che si effettua per mezzo della intestazione HEC
- Il vantaggio di questo approccio sta nella *semplicita'* dell'interfaccia in quanto sia la trasmissione che il modo di trasferimento sono basati sulla stessa struttura

Gestione errori (HEC)

- Il controllo di errore sull'intestazione si basa su 8 bit
- il ricevitore puo' trovarsi in uno dei due stati seguenti:
 - **Correzione:** rivela e corregge singoli bit errati - se viene rivelato almeno un errore su una intestazione il ricevitore si porta nello stato rivelazione
 - **Rivelazione:** il ricevitore scarta le celle in cui rivela errore sull'intestazione - il ricevitore si riporta nello stato correzione quando riceve una cella senza errori sull'intestazione

si possono correggere errori singoli e rivelare errori multipli sull'intestazione

Il codice utilizzato e' di tipo polinomiale con polinomio generatore x^8+x^2+x+1



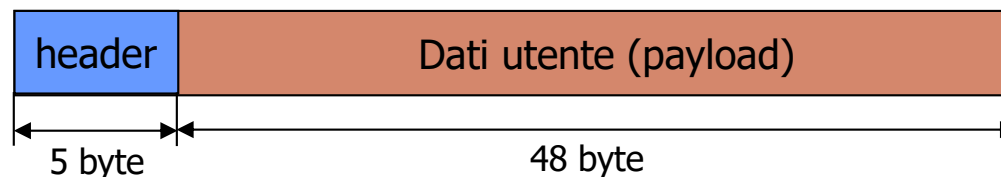
Livello ATM

- Gestisce le funzioni relative all'intestazione della cella ATM
- e' indipendente dal mezzo e comune a tutti i tipi di servizio
- moltiplicazione e demoltiplicazione di celle di canali virtuali differenti in un unico flusso di celle
- generazione ed estrazione dell'intestazione di cella
- traduzione del canale virtuale

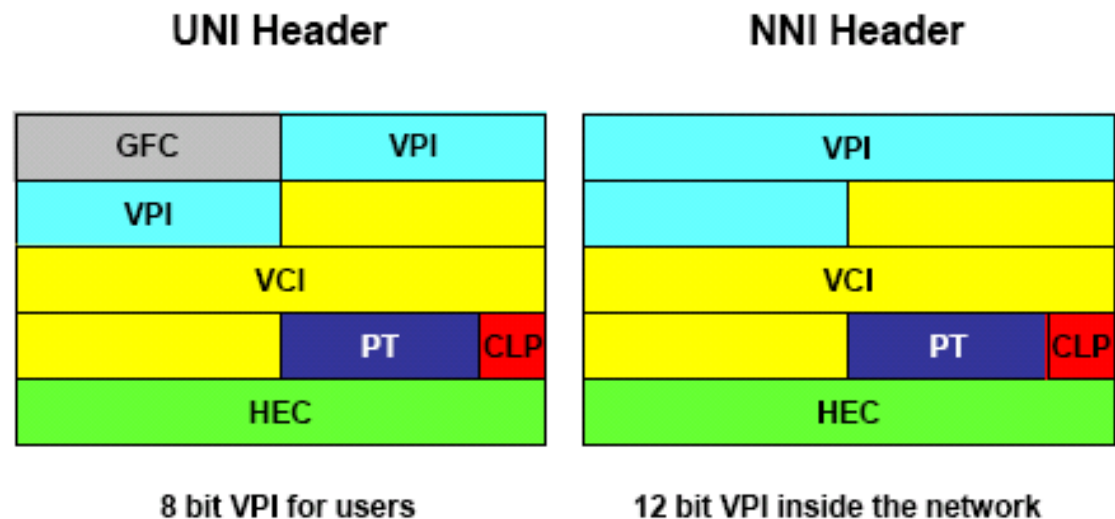
Le celle ATM

Le informazioni sono trasmesse in pacchetti (**celle**) di 53 byte

- 5 byte di intestazione e 48 byte di dati;
- sono previsti due diversi formati all'interfaccia utente-rete (UNI) e all'interno della rete (NNI);
- Il formato NNI differisce dal formato UNI per la mancanza del campo GFC e per il diverso numero di bits dedicati all'identificazione del percorso virtuale;



Le celle ATM (continua)



- **GFC (Generic Flow Control):** composto di 4 bit e si usa per gestire il controllo di flusso di connessioni con diversi requisiti di qualita' di servizio e per la gestione di condizioni di sovraccarico a breve termine. Il meccanismo specifico con cui cio' deve avvenire e' ancora allo studio.
- **PT (Payload Type):** identifica se la cella contiene informazioni di utente o di rete. Se si tratta di informazioni di rete ulteriori informazioni riguardanti il tipo di controllo sono trasportate nel campo informativo
- **CLP (Cell Loss Priority):** discrimina tra due livelli di priorit  dell'informazione trasportata dalla cella. Puo' servire per scartare o meno la cella in caso di congestione
- **HEC (Header Error Check):** sono i bit di controllo riguardanti l'intera intestazione)
- **VPI (Virtual Path Identifier) e VCI (Virtual Channel Identifier)**

Le celle ATM (VPI e VCI)

- VCI (Virtual Channel Identifier) - 16 bit e VPI (Virtual Path Identifier) 8 bit forniscono il meccanismo di identificazione di canali e circuiti virtuali (CRI):

VC = associazione logica unidirezionale tra punti terminali per consentire il trasferimento di celle ATM

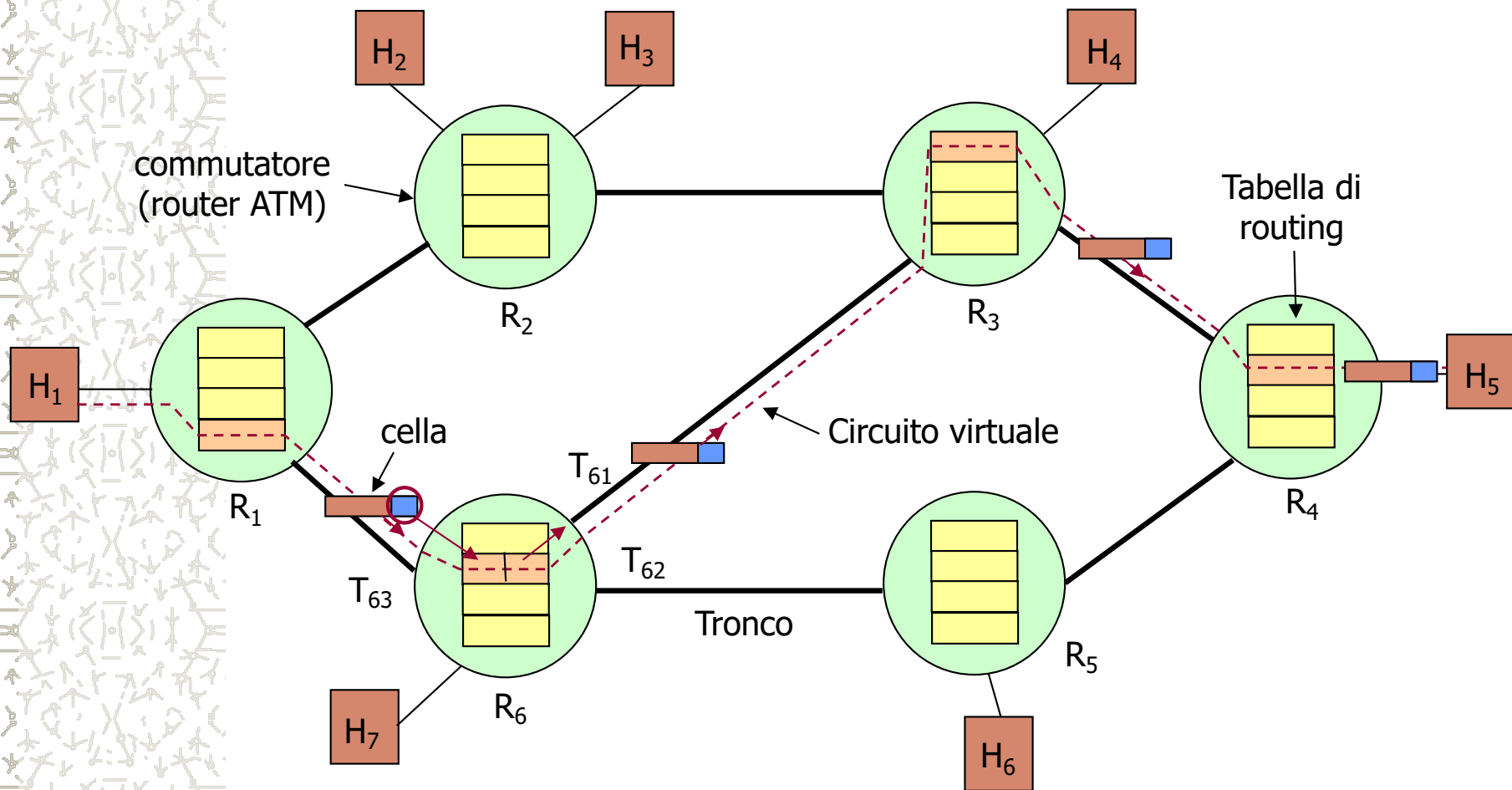
VP = associazione logica di VC che condividono in un certo punto di riferimento le stesse risorse

- i vari VP sono identificati dai rispettivi VPI mentre i VC che sono multiplati all'interno dello stesso VP si distinguono per VCI
- i VC vengono trasportati in modo trasparente dai rispettivi VP
- VCC(Virtual Channel Connection): catena di VCs tra i due end-point
- i confini di un VP si chiamano VPT (Virtual Path Terminator)
- nei VPT vengono processati i VC
- Applicazioni
 - utente-utente: si utilizza il concetto di virtual path per la creazione di reti private virtuali; VCCs hanno significato end-to-end
 - utente-rete: il virtual path si estende dall'interfaccia T a un nodo di rete e serve per fornire un accesso di traffico aggregato a un nodo di rete
 - rete-rete: il percorso virtuale termina in nodi di rete e serve per la gestione globale del traffico; i singoli VC sono commutati o cross-connessi al confine tra VP
 - Rete virtuale: e' un insieme di connessioni semi-permanenti tra punti terminali che utilizzano un grande numero di connessioni simultanee

Circuiti virtuali

- ATM è gestito con commutazione di pacchetto ma ha un comportamento analogo alla commutazione di circuito
- **Circuiti virtuali permanenti**
Fissati su richiesta rimangono attivi fra due punti della rete. Non richiedono l'inizializzazione del circuito
- **Circuiti virtuali commutati**
Sono predisposti dinamicamente ad ogni richiesta e cancellati al termine della connessione
- La creazione di un circuito consiste nella memorizzazione del percorso nelle tabelle di instradamento degli elementi di commutazione
- Ogni pacchetto dovrà avere l'indirizzo del circuito a cui appartiene

Routing su circuiti virtuali



Vantaggi dei circuiti virtuali

- Circuiti virtuali

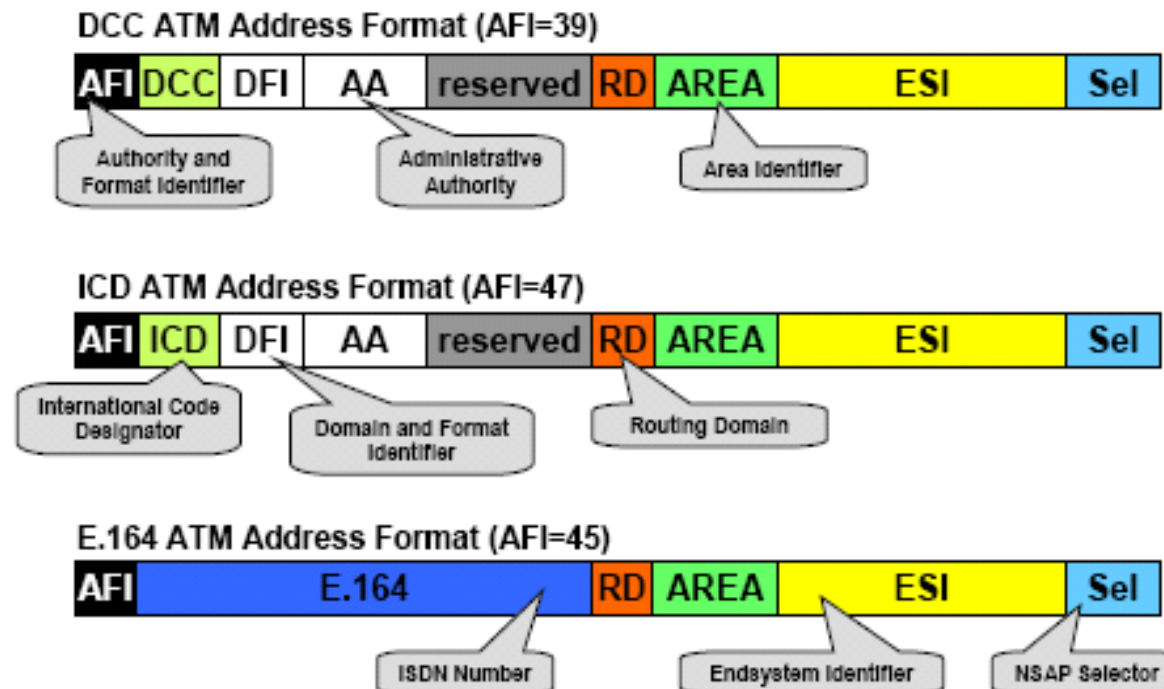
- La banda viene effettivamente usata quando ci sono i dati
- Una volta stabilito il circuito virtuale (caricate le tabelle di routing) le celle si muovono istantaneamente

- Commutazione di circuito

- Una volta stabilito il circuito la banda è allocata anche se non vengono trasmessi dati
- Ad esempio se si alloca un canale T1 si trasmette sempre 1 byte ogni 125 μ s anche se non ci sono dati da trasferire

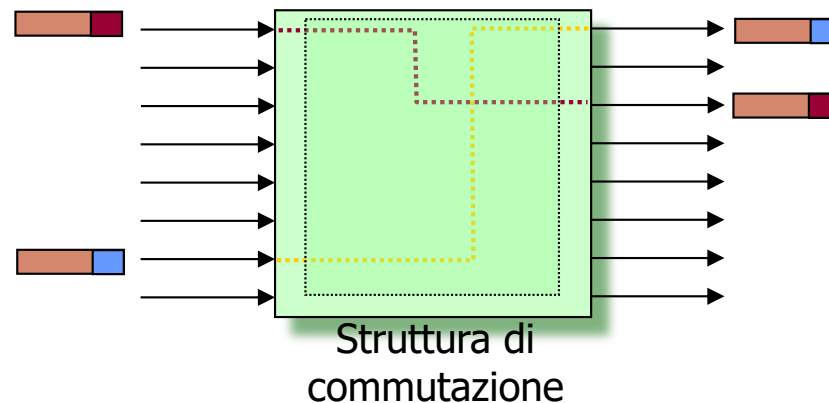
Indirizzamento ATM

- L'identificativo di una sorgente o destinazione (ATM address) può avere tre possibili formati:
 - Il primo byte indica di quale formato si tratta
 - Formato OSI 20 byte: i byte 2 e 3 identificano il paese; il byte 4 specifica il formato dei rimanenti byte di cui 3 indicano l'autorità responsabile della gestione dell'indirizzo, 2 indicano il dominio, 2 l'area di appartenenza e 6 l'indirizzo specifico
 - Formato CCITT E.164: prevede indirizzi formati da 15 cifre decimali come nella telefonia ISDN



Commutatori ATM

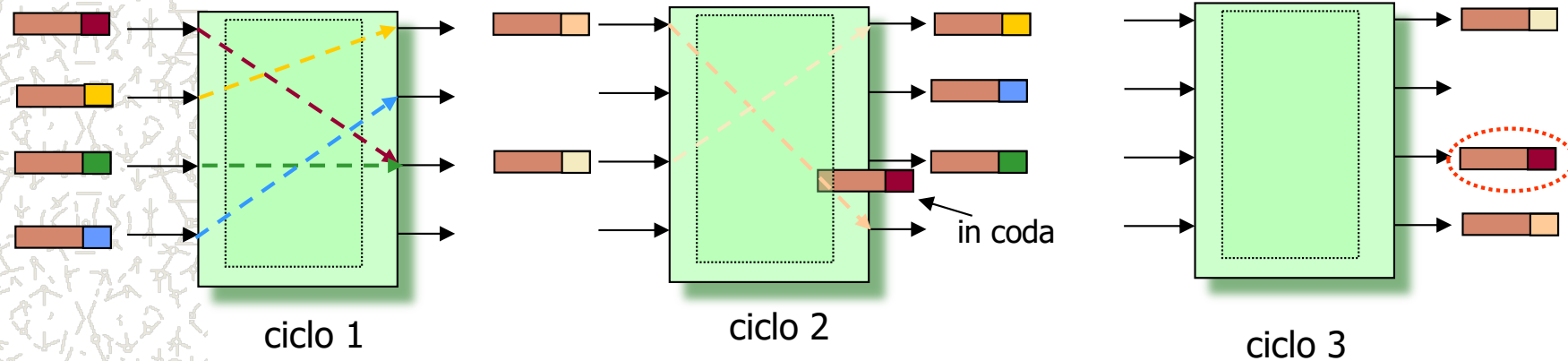
- Un commutatore ha linee di entrata e di uscita
- In genere sono in numero uguale (linee bidirezionali)
- Il funzionamento del commutatore è sincrono con un proprio clock
- Ad ogni ciclo le celle arrivate completamente sono inviate alla struttura di commutazione che la trasmette all'uscita specificata dalla tabella di routing



Specifiche dei commutatori

- Un commutatore di percorso commuta percorsi virtuali trattando in modo trasparente i canali virtuali in essi contenuti
- Il commutatore di canale tratta i singoli canali virtuali e in particolare ne traduce l'identificatore
- I commutatori operano ad alta velocità
 - Per ATM a 155 Mbps sono circa 365000 celle/s per linea di ingresso
- La specifica ATM richiede
 - Commutare tutte le celle col **minimo tasso di scarto**
 - Mantenere lo **stesso ordine** per le celle di un circuito virtuale
- Problema: più celle in ingresso in uno stesso ciclo che devono essere instradate sulla stessa uscita
 - Sceglierne una e scartare il resto non è efficiente
 - Si usano **code** (in ingresso o uscita)

Code in uscita



- La cella da trasmettere in caso di conflitto può essere scelta casualmente per non creare preferenze
- Quando la coda è piena le celle in conflitto sono scartate
- Le code devono essere dimensionate opportunamente
- In genere si usano più code per gestire velocemente collisioni multiple sulla stessa uscita

Interfaccia ATM

- I programmi applicativi interagiscono con lo strato ATM attraverso lo strato di adattamento (ATM Adaptation Layer).
- Esistono vari tipi di strato di adattamento, in relazione al tipo di servizio che si deve realizzare.
- Quando un calcolatore instaura una connessione virtuale deve specificare quale tipo di protocollo di adattamento intende utilizzare.
- Lo strato di adattamento si realizza nella interfaccia del calcolatore mediante *hardware* e *firmware* che realizzano la ricezione e la trasmissione delle celle.

Livello di Adattamento (AAL)

- **AAL (ATM Adaptation Layer)** ha il compito di arricchire il servizio fornito dallo strato ATM per supportare le funzioni richieste dai servizi specifici (I.362). *le funzioni svolte dipendono dal tipo di servizio (utente, segnalazione, gestione).*
- Lo strato di adattamento e' suddiviso in due sottostrati:
 - **SAR (Segmenting and Reassembling):**
 - segmentazione dell'informazione per essere trasportata nella cella ATM;
 - ricomposizione del contenuto delle celle ATM in informazioni di piu' alto livello;
 - **CS (Convergence Sublayer):**
 - identificazione del messaggio
 - recupero della temporizzazione
 - per alcuni tipi di AAL e' ulteriormente suddiviso in
 - **CPCS** Common Part Convergence Sublayer
 - **SSCS** Service Specific Convergence Sublayer
- Differenti combinazioni di SAR e CS danno luogo ai diversi servizi AAL
- Se il servizio ATM e' sufficiente per alcune applicazione, lo strato AAL e' vuoto
- Una AAL-SDU (Service Data Unit) puo' essere trasportata da un punto di accesso al servizio (AAL-SAP) a uno o piu' AAL-SAP attraverso la rete ATM. L'utente AAL e' in grado di selezionare quale AAL-SAP utilizzare per ottenere la qualita' di servizio richiesta
- **Sono state definiti 4 tipi di AAL in relazione a 4 diverse classi di servizio.**

Classi di servizio per AAL

- I servizi vengono classificati in 4 classi in relazione a tre parametri:
 - **relazione temporale** tra sorgente e destinazione. Tale relazione e' presente nel caso di trasmissioni vocali PCM, non c'e' per le trasmissioni tra calcolatori; i servizi con tali relazioni temporali sono talvolta denominati *real time*
 - **bit-rate**: alcuni servizi hanno bit rate costante, altri variabile
 - **connection mode**: servizi connectionless o connection oriented
- Solo 4 delle 8 possibili combinazioni danno origine a servizi reali per cui il CCITT ha definito 4 classi di servizio
 - **Classe A**: presenta relazioni temporali tra sorgente e destinazione e bit rate costante con modo connection oriented: e' il caso della voce a circuito a 64 Kbit/s (*circuit emulation*). Un altro esempio e' il video a bit rate costante
 - **Classe B**: a differenza della A ha bit rate variabile. Es video VBR
 - **Classe C**: non prevede relazioni temporali, e' a bit rate variabile e connection-oriented. Es: trasferimenti dati connection-oriented e segnalazione
 - **Classe D**: differisce da C per il fatto che e' connectionless. Es: trasferimento dati connectionless come in SMDS (Switched Multi-megabit Data Service)

Tipi di Adattamento

Sono previste 4 tipi di AAL:

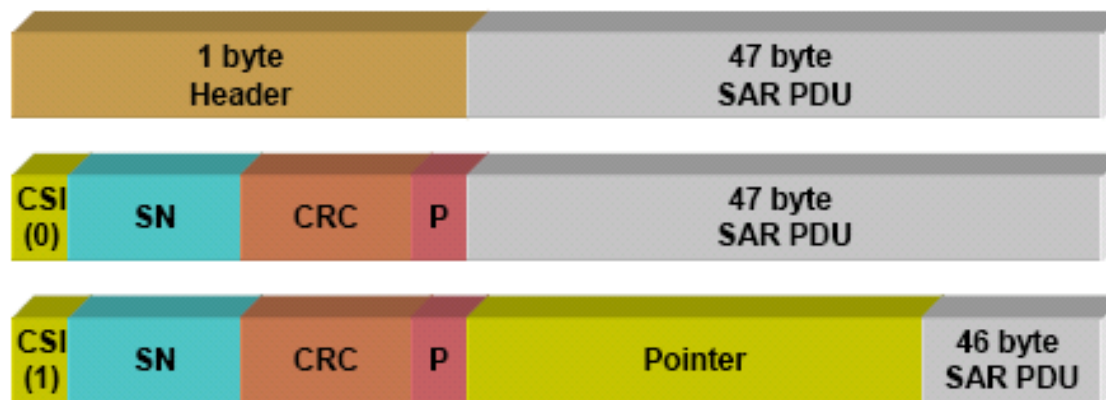
- AAL 1: supporta la classe A di servizio
- AAL 2: supporta la classe B di servizio
- AAL 3/4: supporta sia la classe C che la classe D di servizio
- AAL 5: supporta la classe C di servizio (segnalazione) e trasporto dati a basso overhead

Inizialmente AAL 3/4 era suddiviso in due tipi distinti; successivamente i due tipi sono stati combinati in uno unico adatto per l'interconnessione di ATM con SMDS e MAN.

AAL 3/4 e' stato considerato inadeguato per il trasporto di protocolli di alto livello a causa di eccessivo overhead.

ATM AAL1

- I servizi a bit rate costante (CBR) richiedono il trasferimento di informazioni a bit rate costante dopo che sia stata attivata una connessione virtuale tra sorgente e destinazione. A tale scopo AAL 1 offre i seguenti servizi:
 - trasferimento di SDU (Service Data Units) a bit rate costante
 - trasferimento di informazioni temporali tra sorgente e destinazione
 - trasferimento di informazioni sulla struttura dati
 - indicazione di informazioni perdute o errate



CSI Convergence Sublayer Indication (1 bit) – "1" if pointer exists
SN Sequence Number (3 bits)
CRC ... Cyclic Redundancy Check (3 bits)
P Parity (1 bit)

ATM AAL1 (SAR e CS)

- Il sottostrato SAR accetta blocchi di 47 ottetti da CS e aggiunge un ottetto per formare la SAR-PDU.
- Il SAR destinazione toglie l'ottetto di overhead e consegna al CS destinazione i 47 ottetti.

CSI

CS Indication: indica la presenza del sottostrato CS

SN

Sequence Number: numero di sequenza dell'unita' informativa trasportata per la rivelazione di unita' perdute

SNP

Sequence Number Protection: correzione d'errore sul singolo bit e rivelazione di errori multipli relativi ai primi due campi

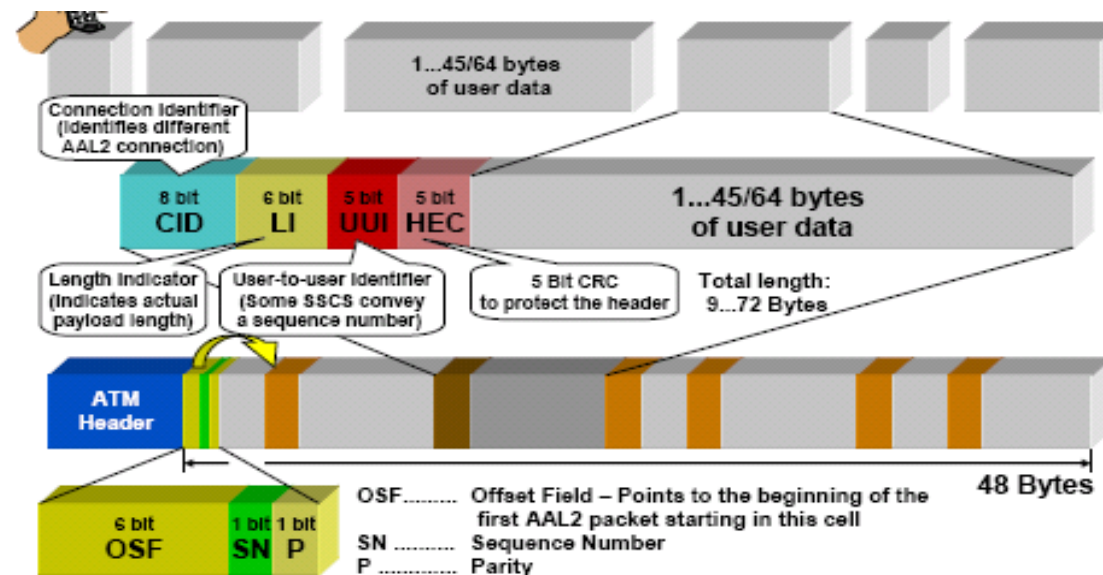
SDU

Service Data Unit

- Il sottostrato CS dipende dal particolare servizio e puo' contenere le seguenti funzioni:
 - gestione delle variazioni di ritardo
 - gestione del ritardo di assemblaggio delle celle
 - recupero del clock di sorgente al ricevitore
 - monitoraggio di celle perdute o male inserite

ATM AAL2

- AAL 2 fornisce servizio di trasferimento di informazione con bit rate variabile.
- E' possibile in questo caso che le celle non siano riempite completamente per cui sono richieste al SAR funzioni aggiuntive rispetto a AAL 1.
- Il CCITT non ha ancora formulato una standardizzazione.



ATM AAL3/4

Fornisce il servizio di adattamento per trasferimenti dati sensibili alla perdita ma non al ritardo.

Vengono definiti due modi di funzionamento:

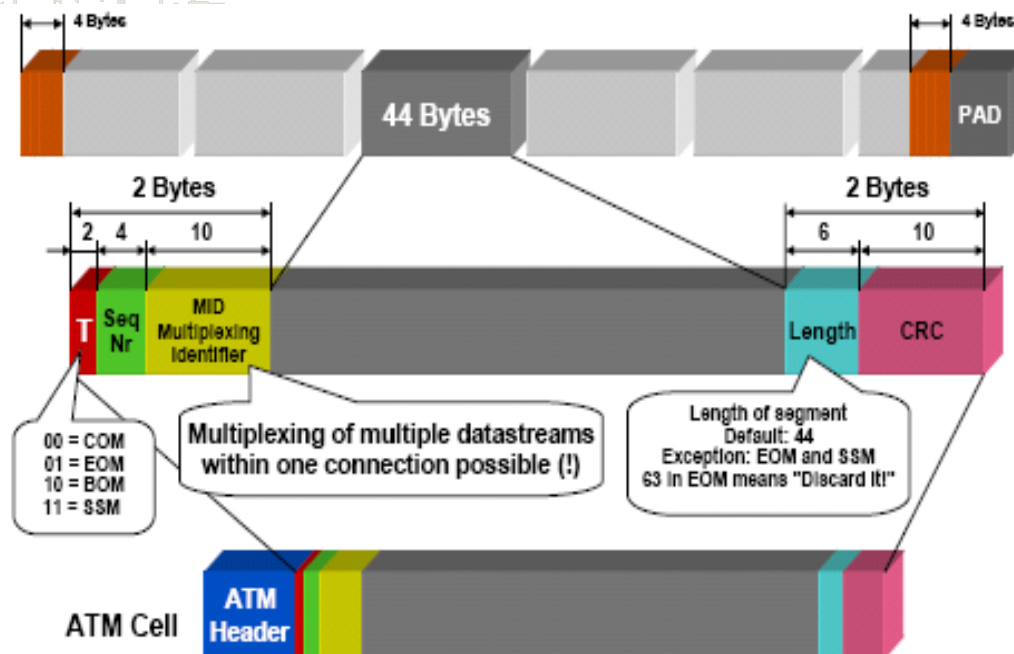
- **message-mode**: ad una AAL-SDU corrisponde una sola unita' informativa di interfaccia
- **streaming mode**: un AAL-SDU viene trasportata da una o piu' unita' informative di interfaccia

Entrambe le modalita' prevedono le procedure

- **assured** con ritrasmissione delle CS-PDU mancanti o corrotte e possibilita' di introdurre controllo di flusso per connessioni punto-punto
- **non assured** senza ritrasmissione delle CS-PDU mancanti o corrotte

ATM AAL3/4 SAR

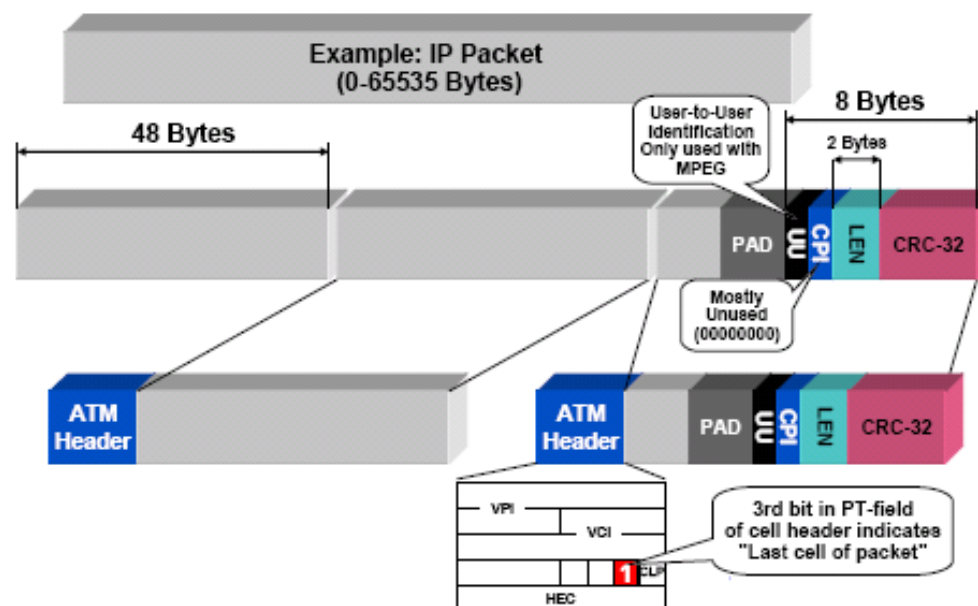
- **T:** segment type e' un campo di 2 bit per indicare di quale parte di CS-PDU si tratta: prima (Begin Of Message 10), intermedia (Continuation Of Message 00), ultima (End Of Message 01). Indica anche il caso di un messaggio costituito da una singola CS-PDU (Single Segment Message 11)
- **Length:** length indicator e' un campo di 6 bit che indica il numero di ottetti validi della SAR-PDU in quanto l'ultimo messaggio o il messaggio singolo possono non essere completamente pieni
- **CRC:** 10 bit per la rivelazione d'errore basata sul polinomio generatore $1 + x + x^4 + x^5 + x^9 + x^{10}$
- **Seq Nr:** e' un numero di sequenza a 4 bit per la rivelazione di celle perdute o male inserite



- **MID:** e' un campo riservato per AAL 3. Per AAL 4 gestisce la moltiplicazione. Consente di moltiplicare fino a 2^{10} connessioni AAL su una singola connessione ATM per trasferimenti dati connection-oriented. Per le comunicazioni connection-less il MID consente di moltiplicare le SAR-PDU di fino 2^{10} CS-PDU sulla stessa connessione virtuale ATM semi-permanente.
- **SAR-SDU:** contiene l'informazione CS-PDU

ATM AAL5

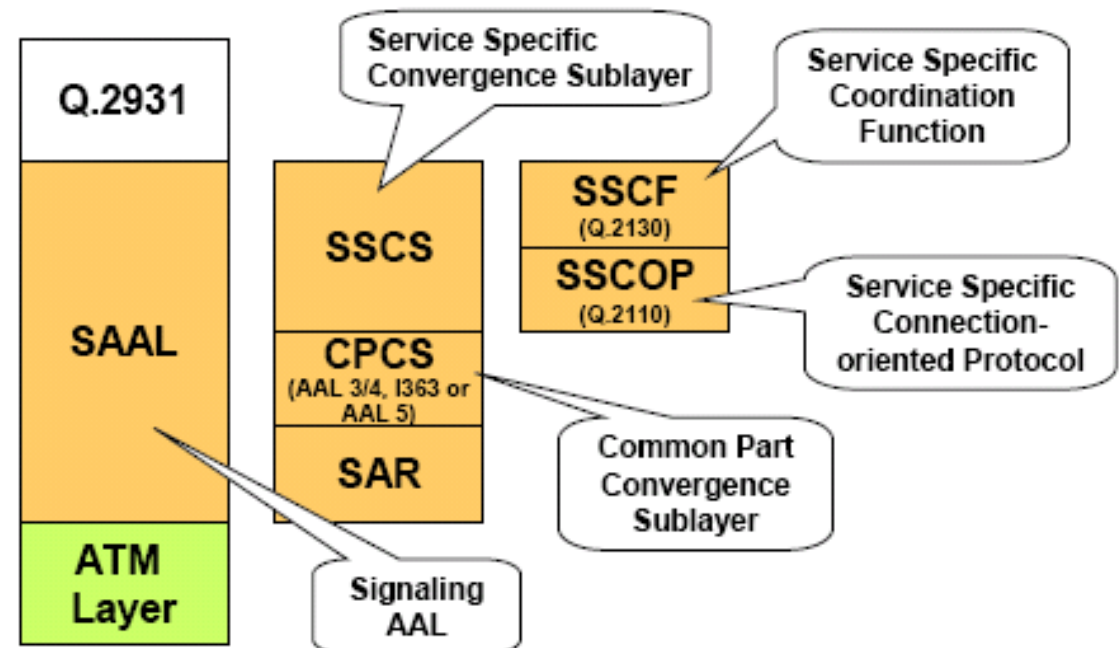
- E' lo strato di adattamento per la trasmissione dati a pacchetto
- Accetta pacchetti di lunghezza variabile da 1 a 65535 byte
- Introduce un *trailer* di 8 byte alla fine del pacchetto
- AAL5 svolge funzioni di segmentazione in trasmissione e riassetblaggio in ricezione, dove occorre riconoscere quante celle formano il pacchetto (funzione di *convergenza*)



Segnalazione – ATM SAAL

- La segnalazione è gestita in accordo allo standard ITU Q.2931 attraverso il Signalling Adaptation Layer (SAAL)
- La componente SSCOP è molto simile a X.25
- Per CPCS ITU-T raccomanda AAL3/4 mentre ATM forum AAL5
- I principali messaggi di segnalazione sono:

- **SETUP**
- **CALL PROCEEDING**
- **CONNECT**
- **CONNECT ACK**
- **RELEASE**
- **RELEASE COMPLETE**



Segnalazione – ATM SAAL

- Per trasportare traffico IP proveniente da una singola sorgente, si usa l'Adaptation Layer 5 (AAL5), che segmenta il pacchetto IP in celle. Per ogni PDU, AAL5 ha un overhead di 8 byte. Mentre un pacchetto AAL5 verrà trasmesso su più celle in AAL2, una cella potrà trasportare più pacchetti AAL2. Ciò comporta perdita di efficienza (Goodput).
- Con l'aumento delle prestazioni di elaborazione dei router IP fino al superamento delle capacità degli switch ATM (gli switch ATM offrivano infatti prestazioni fino a 622 Mbit/s), ATM ha mostrato tutti i suoi limiti in termini di gestione contemporanea di due diverse tipologie di rete (IP sopra e ATM sotto), nonché il problema del cablaggio che aumentava col quadrato dei terminali per le topologie a maglia completa adottate da ATM.

Fibra nella rete di accesso (FTTx)

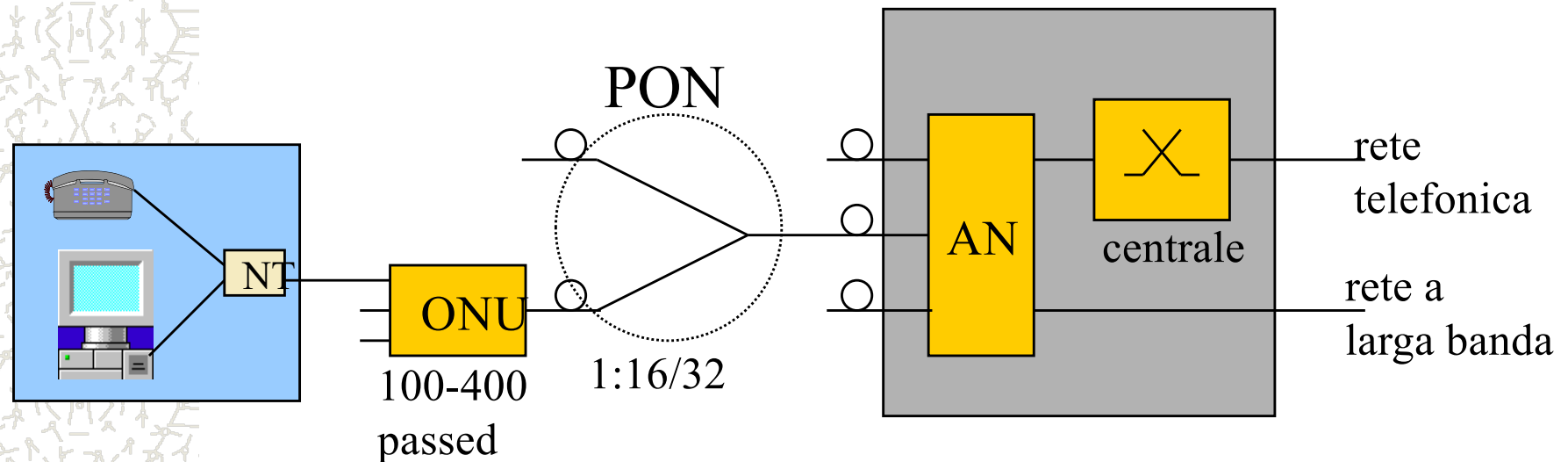
- Esistono molte soluzioni, in cui la fibra arriva fino ad un certo livello di “profondità” (vicinanza all’utente); da quel punto il collegamento prosegue in rame
- Differenti soluzioni comportano diversi livelli di investimento e capacità offerta all’utente
- L’architettura dipende anche dalla situazione urbanistica
- FTTx indica delle architetture, non degli standard

Le principali soluzioni FTTx

Fiber To The ...

- FTTO: Office
- FTTC: Curb
- FTTCab: Cabinet
- FTTB: Building
- FTTO: Office
- FTTH: Home
- FTTD: Desktop

Esempio: architettura FTTCab



AN: Access Node

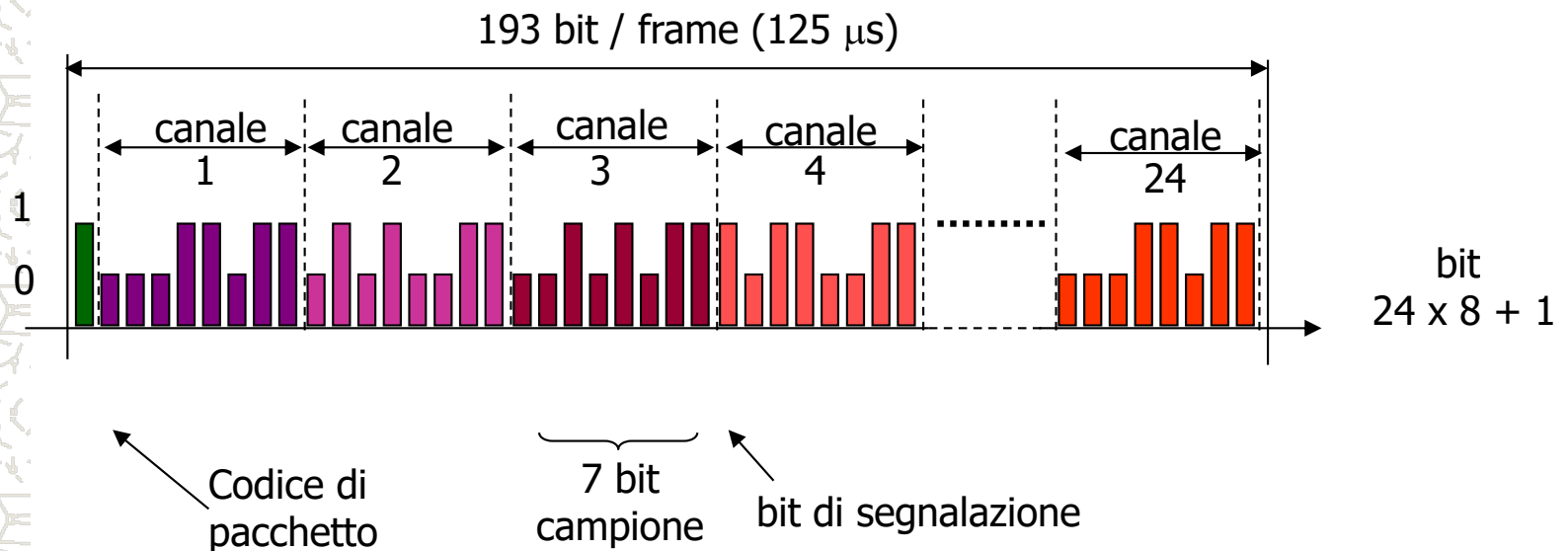
PON: Passive Optical Network

ONU: Optical Network Unit

NT: Network Termination

Portante T1

24 canali vocali campionati, codificati e multiplati in un singolo canale TDM PCM



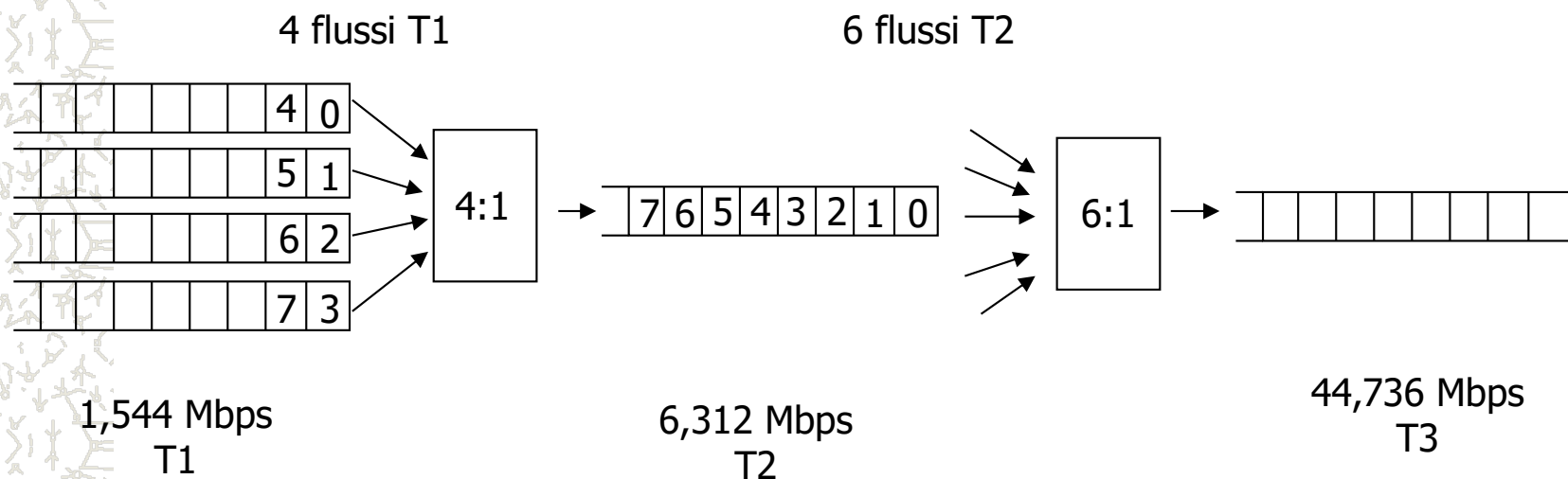
Velocità = $193 \times 8000 = 1,544$ Mbps

Il bit aggiuntivo è usato per la sincronizzazione (010101010....)

Per uso dati: 23 canali + 1 per la sincronizzazione

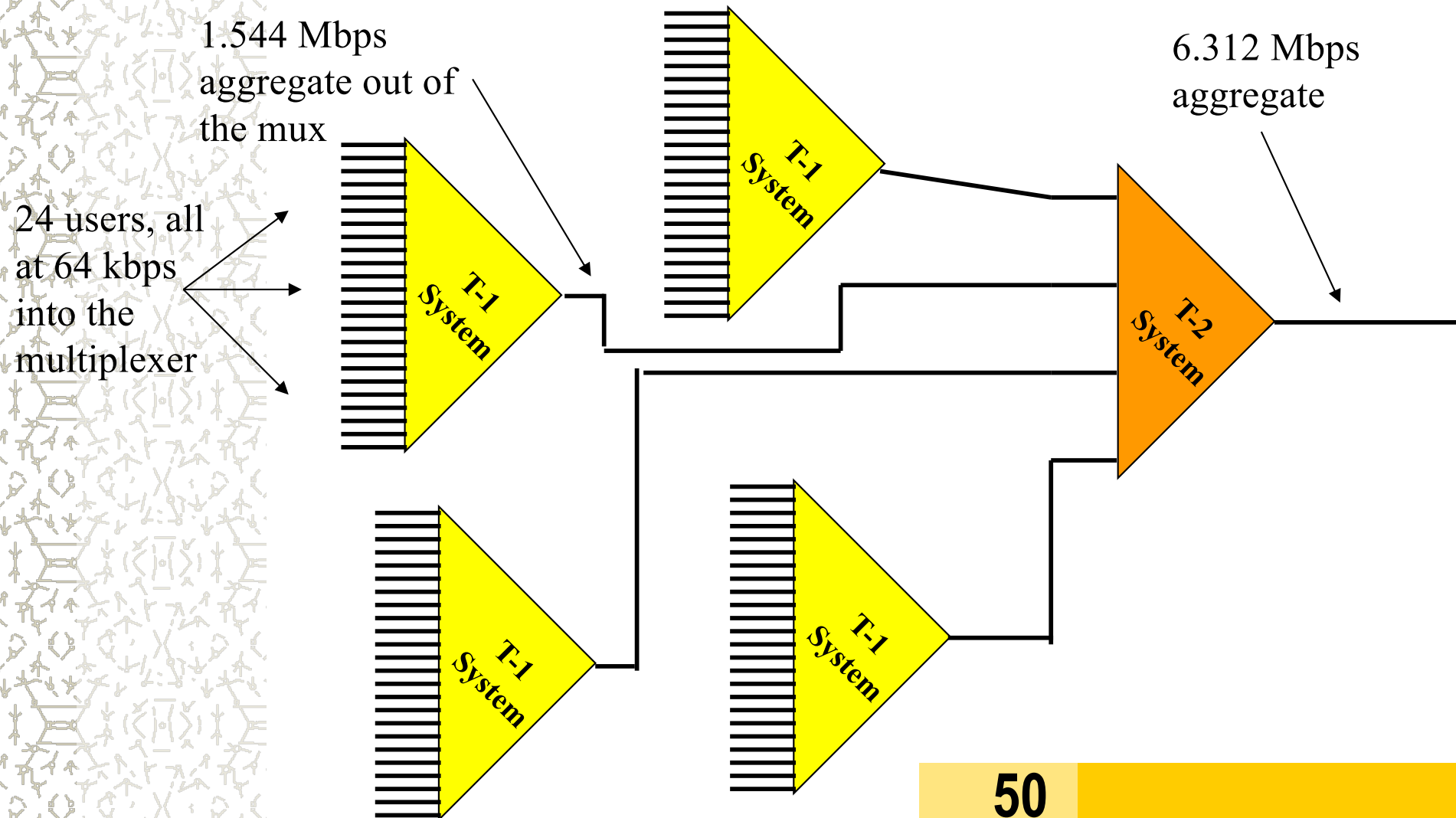
T1 T2 T3

Si possono commutare più portanti T1 in un canale T2 e così via ...



- 4 canali T1 corrispondono a 6,176 Mbps
- I bit in più sono per suddividere i frame e per il controllo
- E' difficile identificare un singolo canale dentro uno stream: ogni volta occorre demoltiplicare tutti i livelli per estrarre/inserire altri canali
- E' difficile mantenere due canali in perfetta sincronia: si usa un bit stuffing per avere un sistema quasi sincrono

Gerarchie di multiplazione



Gerarchie T- ed E-

Livello	America (T-)	Europe (E-)	Japan
0	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s
1	1.544 Mb/s	2.048 Mb/s	1.544 Mb/s
2	6.312 Mb/s	8.488 Mb/s	6.312 Mb/s
3	44.736 Mb/s	34.368 Mb/s	32.064 Mb/s
4	274.176 Mb/s	139.264 Mb/s	97.928 Mb/s

La gerarchia SONET/SDH

- Insieme di Raccomandazioni ITU-T (le prime sono del 1989) che coprono:
 - la definizione di una gerarchia di multiplazione molto strutturata
 - la definizione di tecniche di gestione di rete e di protezione dai guasti
 - le modalità di interfacciamento verso il mezzo fisico (fibre e componenti ottici)
 - la definizione di interfacce verso altri protocolli che possono lavorare sopra SONET/SDH

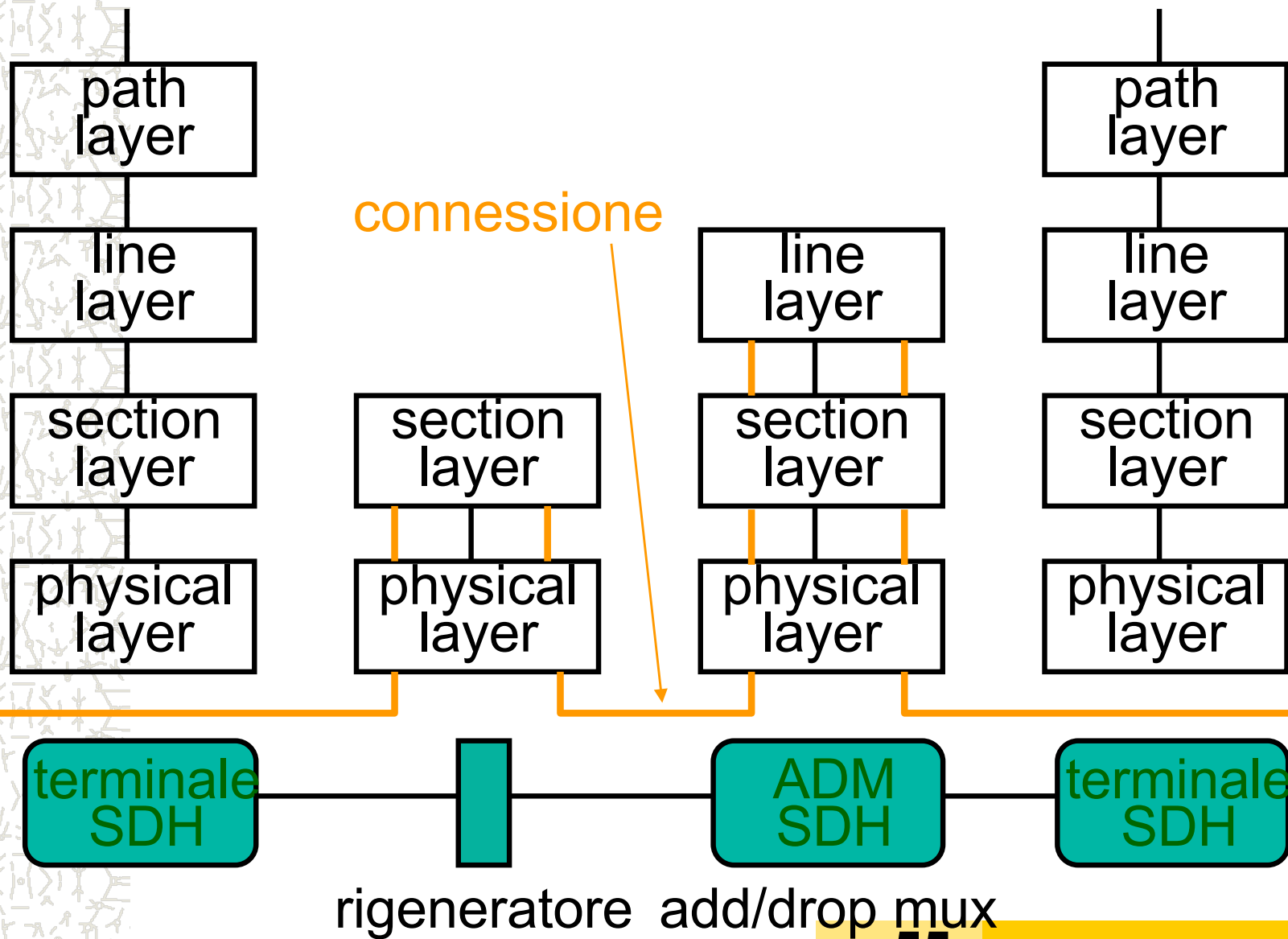
Obiettivi di SONET/SDH

- I principali obiettivi degli standard sono:
 - *Affidabilità* della rete, compatibile con i requisiti di carrier nazionali e internazionali (99.999% - five nines - availability)
 - *Interoperabilità* tra apparati di diversi costruttori
 - *Flessibilità* dei formati per supportare diverse architetture di rete e possibili migrazioni
 - Articolate funzioni di controllo e monitoraggio (*monitoring*) delle prestazioni e del traffico (recupero di guasti singoli in 50 ms)

Stratificazione SONET/SDH

- Path layer (simile al livello 3 - Network - di OSI)
 - Responsabile di connessioni end-to-end
 - Controlla e gestisce lo stato delle connessioni
- Line Layer
 - Multiplazione di più connessioni di path-layer tra due nodi
 - Protezione e recupero guasti
- Section Layer
 - Definisce lungo la tratta le operazioni svolte dai rigeneratori e tra i rigeneratori
 - I livelli Line e Section in SONET corrispondono al livello 2 (Data Link) OSI
- Physical Layer (identico al livello 1 OSI)
 - Definisce come i bit vengono trasmessi sulle fibre

Stratificazione SONET/SDH

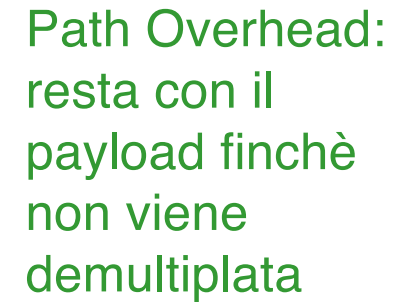


SONET Physical Layer

- Il livello fisico SONET è completamente di tipo ottico
- Le più importanti raccomandazioni sono:
 - ITU-T G.957: Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy
 - Single span, single channel link without optical amplifiers
 - ITU-T G.691: Optical interfaces for single-channel STM-64, STM-256 and other SDH systems with optical amplifiers
 - Single channel, single or multi span, optically amplified links at 622 Mbit/s, 2.5 Gbit/s, 10 Gbit/s
 - ITU-T G.692: Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers
 - Multi channel, single or multi span, optically amplified
 - Definition of the ITU frequency grid
- Le raccomandazioni coprono diversi tipi di canali, da very short-haul interoffice links fino a ultra-long haul, WDM backbone links
 - Tutti i parametri di trasmettitori e ricevitori sono completamente specificati

Framing SONET

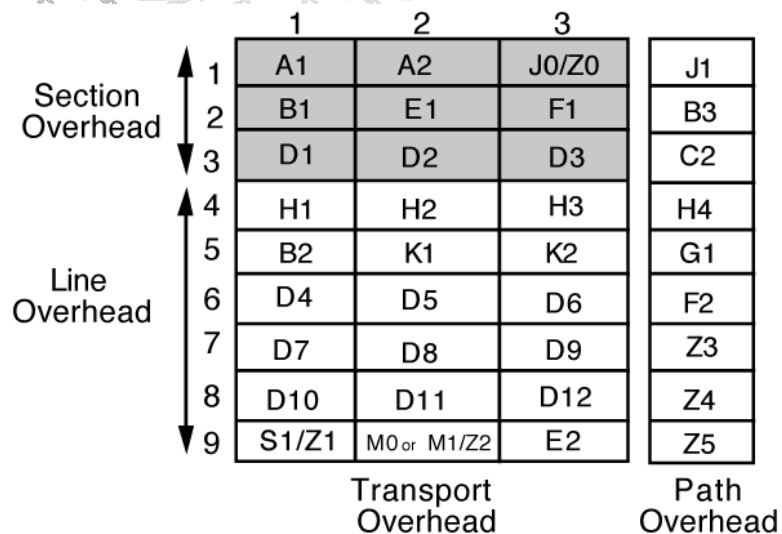
- SONET e SDH trasmettono una sequenza continua di bit ad una certa velocità
- La multiplexazione dei diversi flussi di informazione è ottenuta con un complesso schema a divisione di tempo (TDM)
 - Anche se complessa, l'architettura di multiplexazione è stata progettata in modo da consentire efficienti implementazioni VLSI
- Una trama (frame) SONET è una sequenza organizzata di bit
 - Per un certo livello di multiplexazione, ogni flusso tributario di ingresso diventa un Synchronous Payload Envelope (SPE)
 - Un insieme di bit, chiamato Path Overhead, viene aggiunto al SPE, realizzando funzioni di controllo, di monitoring, ecc.
 - SPE + Path Overhead formano un Virtual Tributary (VT)



Frame del Sonet

- Il frame e' costituito da **810 byte** (di durata temporale 125 microsecondi, da cui i 51.84 Mbps), e si descrivono come una matrice di **9 righe e 90 colonne**
- Le prime tre colonne vengono dedicate ad **informazioni di controllo**
 - i primi **due byte** assumono sempre lo stesso valore e sono utilizzati per il **framing**
 - un byte viene utilizzato come **puntatore** per indicare **l'inizio dei dati validi** sul frame, in modo da poter inviare dati utili anche se questi si presentano **mentre si sta preparando** un frame, senza dover attendere il frame **successivo**
 - alcuni byte nel campo di controllo sono utilizzati per costruire un **singolo canale dati** per il **management**, o anche un **canale vocale**
 - altri byte di controllo sono usati per informazioni di **parita'**, **allineamento** delle singole trame ed informazioni sul loro **contenuto**

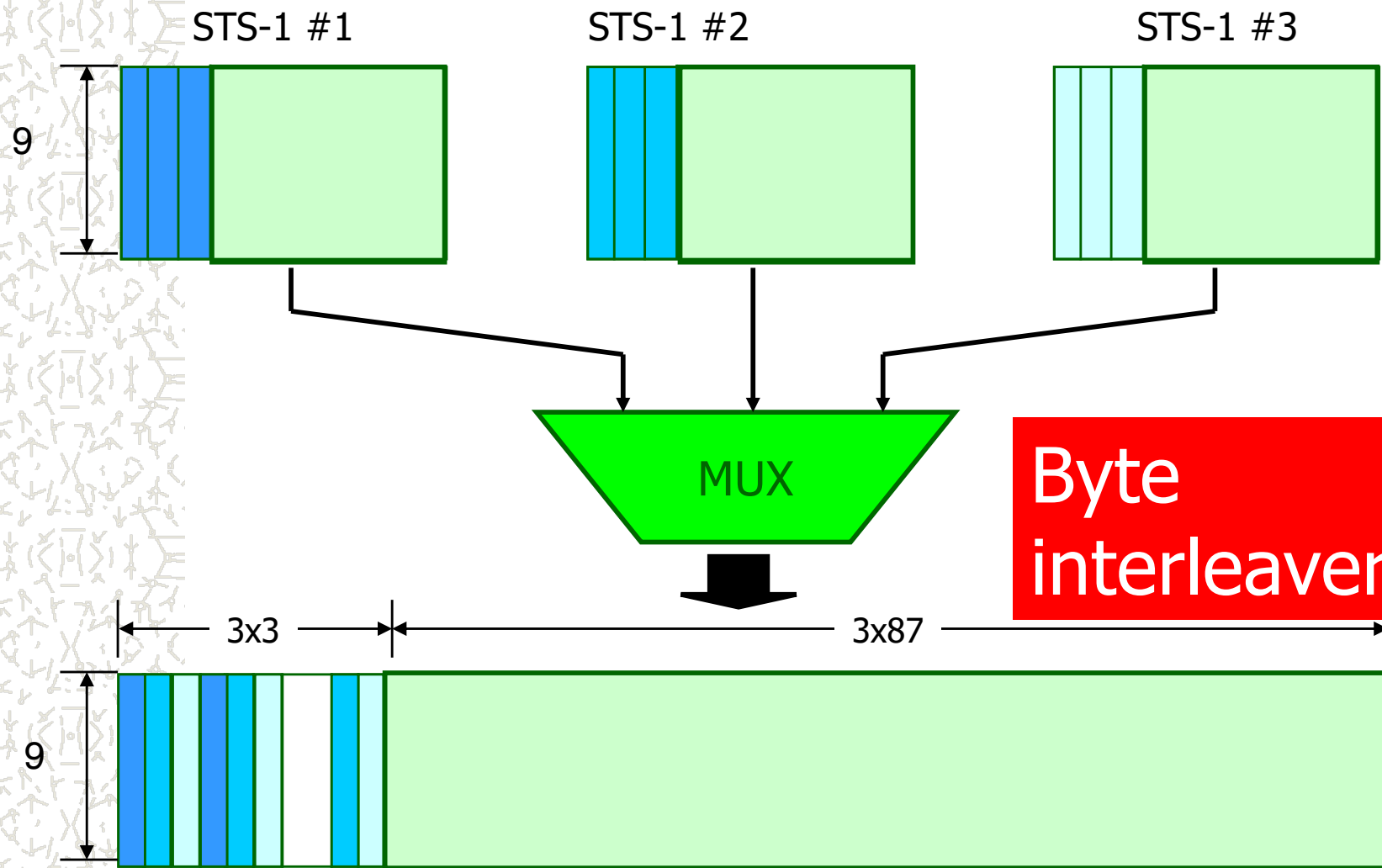
SONET overhead - SOH



Monitoraggio delle prestazioni sulla trama
Canale di comunicazione dati per operation,
administration and maintenance (OAM)
Framing

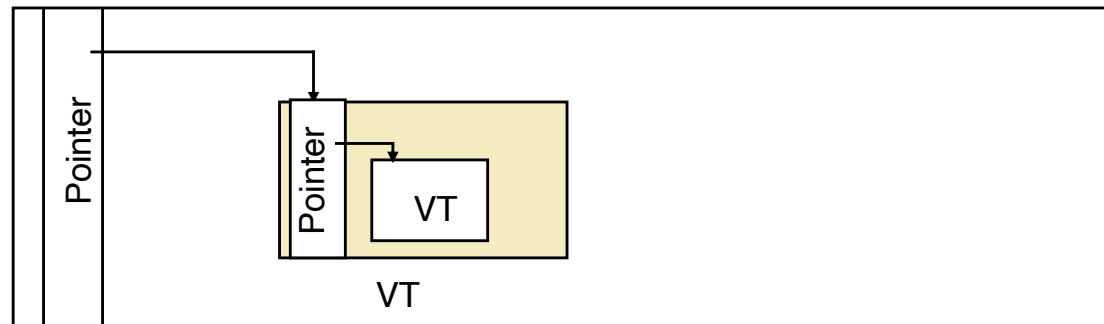
A1 A2	framing bytes —Indicano l’inizio di una trama STS-1. Usati per sincronizzazione.
J0	section trace (J0)/section growth (Z0) —Questi byte, presenti in ogni N STS-1 in un flusso N-STs sono usati o come section trace byte (nel primo STS-1 del STS-N), o come section growth byte (dal secondo fino all’ultimo STS-1s).
B1	section bit-interleaved parity code (BIP-8) byte —Codice a controllo di parità (even parity), usato per rilevare errori di trasmissione su una sezione. E’ definito su tutti i bit della trama STS-N precedente dopo l’operazione di scrambling e quindi inserito in B1 prima dello scrambling.
E1	section orderwire byte —Fornisce un canale vocale a 64Kbit/s per la comunicazione di operatori.
F1	section user channel byte — Non definito il suo scopo. Può essere letto e scritto da ogni apparato
D1, D2, D3	section data communications channel (DCC) bytes —Insieme formano un canale a 192Kbit/s usato per messaggi di OAM&P tra i due apparati di sezione. Il canale è usato per segnali, controllo, monitoraggio, gestione e altri tipi di segnalazione. E’ possibile avere messaggi generati dagli apparati, manualmente, oppure specificati da formato proprietario

Multiplazione di ordine superiore



Virtual Tributary (VT)

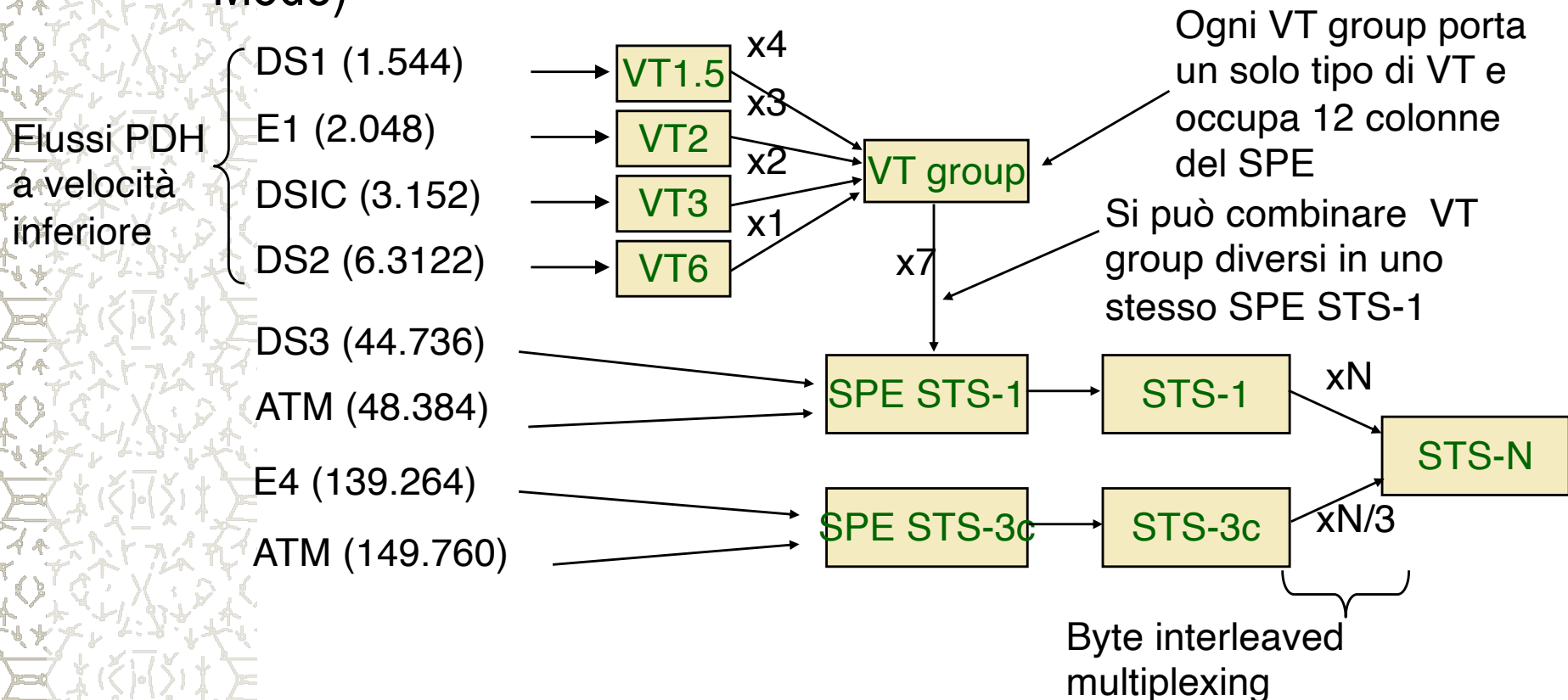
- I VT sono posizionati nelle trame con puntatori contenuti nei bit di overhead della trama
- Un puntatore dice quale è la posizione di inizio di un dato VT all'interno della trama
- La struttura è ricorsiva: un VT può contenere diversi VT più piccoli



- Questo approccio consente di moltiplicare i flussi a velocità anche molto differenti in una trama molto ben strutturata

Gerarchia SONET

- Un esempio di multiplazione SONET
 - SONET è stato sviluppato per essere compatibile con il trasporto di formati diversi, quali ad esempio ATM (Asynchronous Transfer Mode)



Intestazioni (overheads) SONET

- **Section Overhead:**
 - Usato, elaborato e generato da Section Terminal Equipments (STE)
 - Monitoraggio delle prestazioni sulla trama
 - Canale di comunicazione dati per operation, administration and maintenance (OAM)
 - Framing

Overheads SONET

- **Line Overhead:**

- Usato, elaborato e generato da Line Terminal Equipment (LTE)
- Localizzazione dei VT nella trama
- Multiplexing/instradamento
- Monitoraggio delle prestazioni
- Commutazione per protezione
- Gestione della tratta

- **STS Path Overhead:**

- Usato, elaborato e generato da Path Terminal Equipment (PTE)
- Monitoraggio end-to-end delle prestazioni dei VT SPE
- Stato e gestione della connessione

SONET overhead - LOH

	1	2	3	
Section Overhead	1	A1	A2	J0/Z0
	2	B1	E1	F1
	3	D1	D2	D3
Line Overhead	4	H1	H2	H3
	5	B2	K1	K2
	6	D4	D5	D6
	7	D7	D8	D9
	8	D10	D11	D12
	9	S1/Z1	M0 or M1/Z2	E2
		Transport Overhead		Path Overhead
				J1
				B3
				C2
				H4
				G1
				F2
				Z3
				Z4
				Z5

**H1
H2**

STS payload pointer (H1 and H2)—Questi due byte contengono il puntatore che indica l'offset in byte tra il puntatore stesso e il primo byte dello SPE in questo STS.

H3

pointer action byte (H3)—Questo pointer action byte è usato nelle fasi di risincronizzazione. H3 trasporta il byte extra nel caso di aggiustamenti negativi del puntatore.

B2

line bit-interleaved parity code (BIP-8) byte—Codice di parità usato per identificare errori di trasmissione sulla linea. Usa codice di parità even ed è calcolato su tutti i bit del line overhead e del SPE della trama precedente.

K1

K2

automatic protection switching (APS channel) bytes—Questi due byte sono usati per la trasmissione di segnalazione in caso di attivazione di procedure di protezione da malfunzionamenti.

D4

D12

line data communications channel (DCC) bytes—9 byte che formano un canale a 576Kbit/s per trasferimento di segnalazione OAM&P tra entità di livello linea.

S1

synchronization status (S1)— S1 è presente nel primo STS-1 di un STS-N, e i bit da 5 a 8 sono allocati per trasportare elementi di sincronizzazione tra gli apparati di rete a livello STS-N.

Z1

growth (Z1)— Libero, per futuri usi.

M0

STS-1 REI-L (M0)—M0 è definito solo per un STS-1 trasportato in un OC-1. Bit da 5 a 8 sono allocati per funzioni di segnalazione di errore remoto.

M1

STS-N REI-L (M1)— Usato per funzionalità REI-L (restoration)

Z2

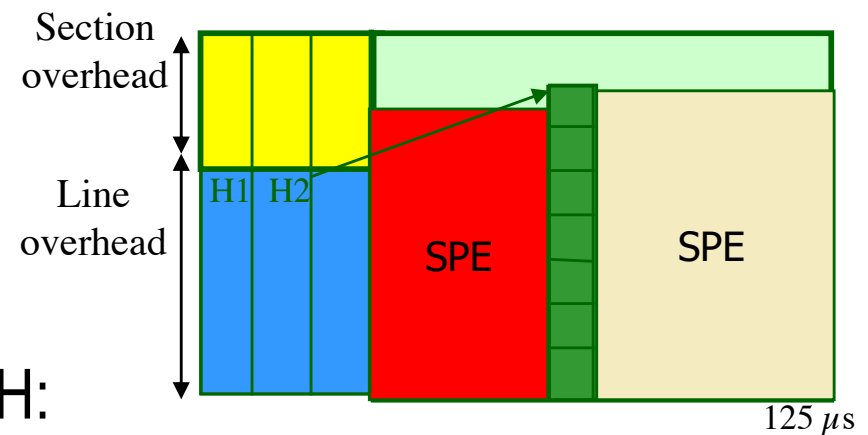
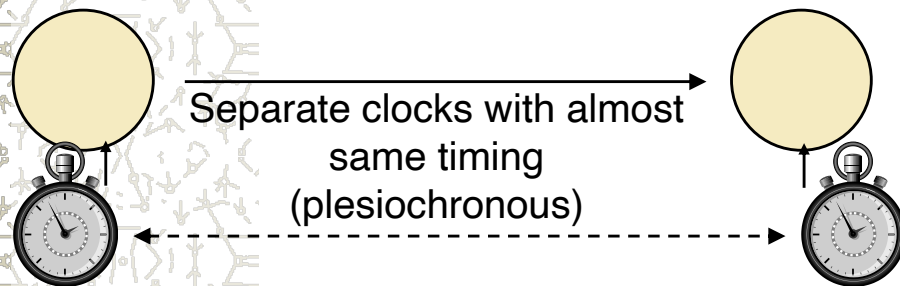
growth (Z2)—Libero, per futuri usi.

E2

orderwire byte—Fornisce un canale vocale a 64Kbit/s per la comunicazione di operatori.

Puntatori in SONET

- Uno dei problemi della moltiplicazione è gestire flussi tributari a velocità leggermente differenti
 - Si usano puntatori per compensare variazione di frequenza e fase dei clock
 - I puntatori consentono un allineamento di fase dinamico e flessibile
 - Evitano buffer di compensazione per la sincronizzazione

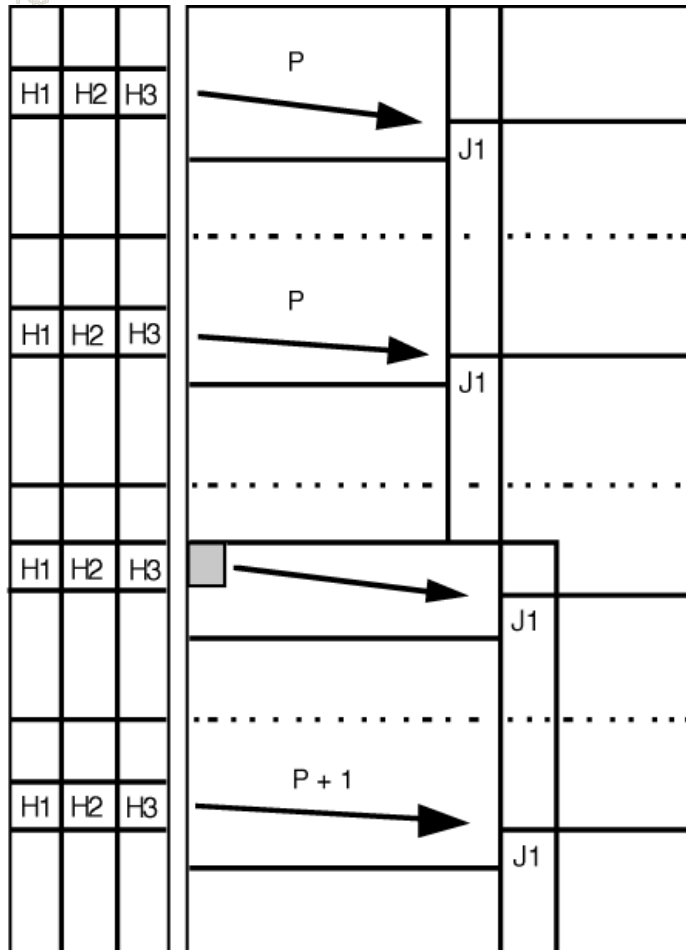


Bit Stuffing per la sincronizzazione in PDH:

- quando la velocità della trama del SPE è lenta rispetto a STS-1, si inserisce un byte extra
- quando la velocità della trama del SPE è veloce rispetto a STS-1, si rimuove un byte che viene posto nell'overhead

Positive stuffing

Frame N



Frame N + 1

Frame N + 2

Frame N + 3

500 μ s elapsed

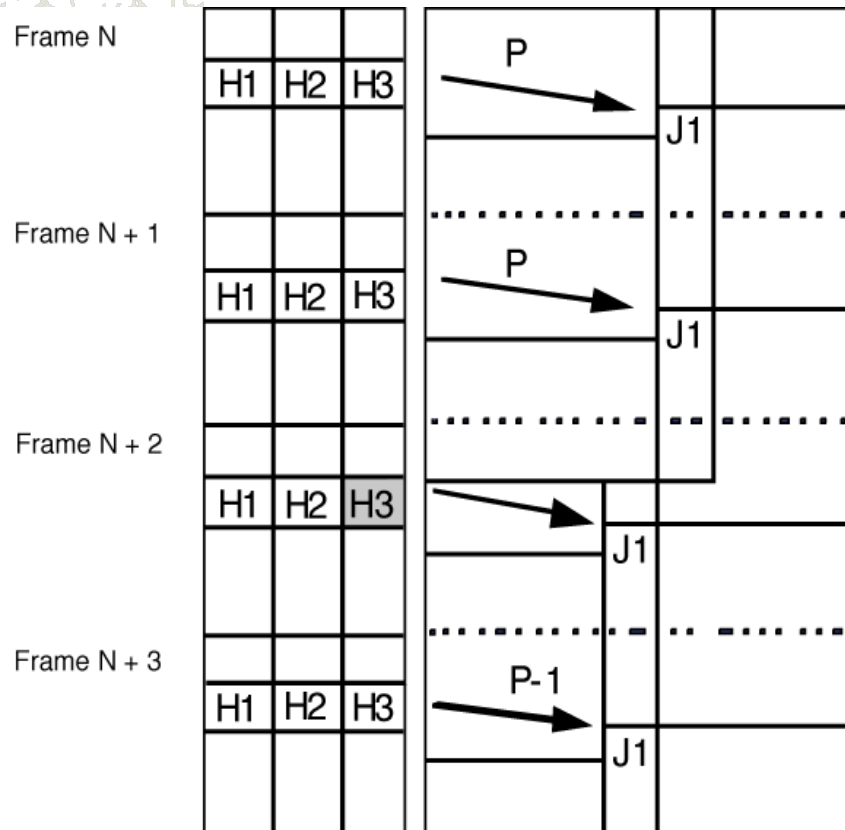
Extra bytes allow the SPE to slip back in time.

A positive stuff byte immediately follows the H3 byte.

- Velocità di una SPE più piccola
- Periodicamente, quando lo SPE è un byte in ritardo, i bit dispari nella parola del puntatore sono invertiti, per segnalare un positive stuffing
- Un byte aggiuntivo è inserito nel VT, permettendo uno slittamento dell'allineamento del VT stesso
- Il byte aggiuntivo viene sempre messo a lato del byte H3 (nello SPE stesso)
- Il puntatore è incrementato di uno nel frame successivo, e i frame seguenti conterranno il nuovo valore.

Negative stuffing

- Velocità di una SPE più alta
 - Periodicamente, quando il frame dello SPE è un byte in anticipo, i bit pari del puntatore sono invertiti, indicando un negative stuffing
 - L'inizio del contenitore virtuale viene anticipato, e il byte "sovrascritto" viene spostato in H3
 - Il puntatore è quindi decrementato di uno nel prossimo frame
 - Devono esserci almeno 3 frame nei quali il puntatore rimane costante prima di poter operare un'altra operazione di stuffing



500 μ s elapsed

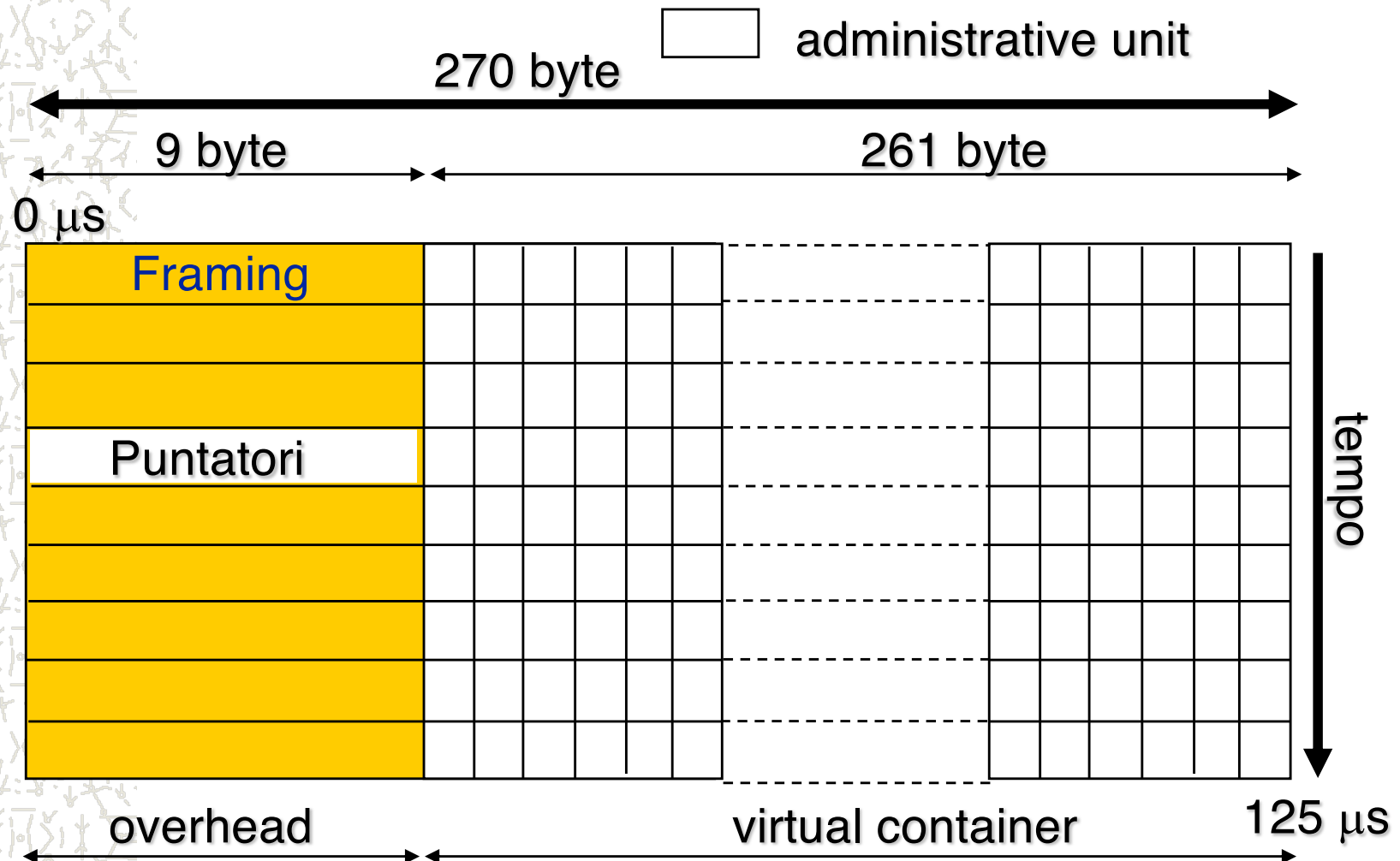
The SPE moves forward in time when a data byte has been stuffed into the H3 byte.

Actual payload data is written in the H3 bytes.

Trama SDH

- SDH usa una terminologia differente, ma i principi sono identici a quelli di SONET
- Elemento base in SDH è la trama STM-1, con periodo di ripetizione 125 μ s
- La trama è costituita da 19440 bit, corrispondenti a una velocità di 155.520 Mbit/s
- L'informazione è organizzata in byte su 9 righe da 270 byte ciascuna
- Il virtual container (VC) è la sezione utile al trasporto dati ($261 \times 9 = 2349$ byte)
- L'administrative unit (AU) è l'insieme di VC e dei relativi puntatori

Trama STM-1 in SDH

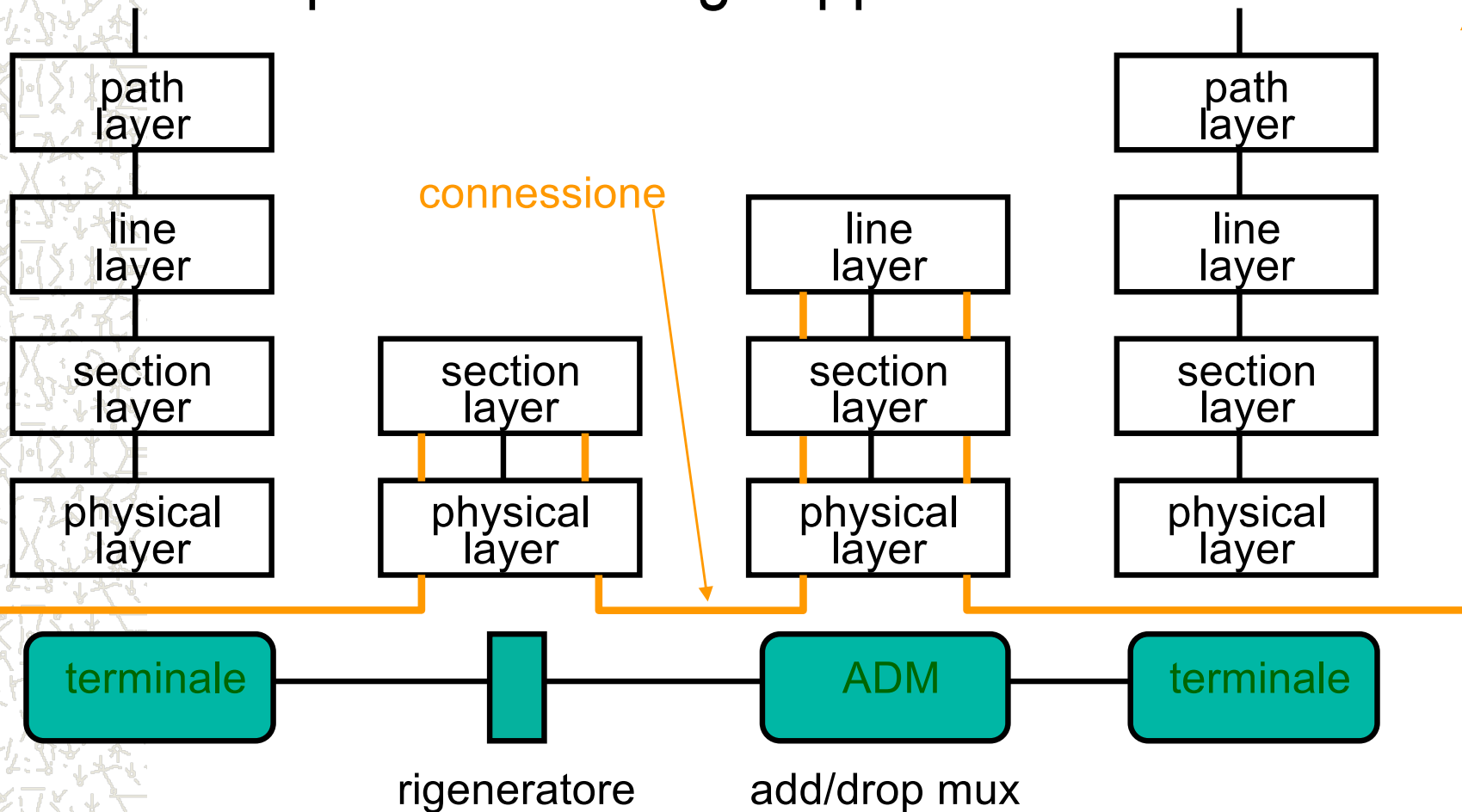


SONET Network Elements

- Lo standard Sonet definisce diversi apparati di rete, differenziati per le loro funzionalità
 - Multiplexer and demultiplexer
 - Rigeneratori
 - Add-Drop multiplexers
 - Digital cross-connects
- Sono tutti apparati di rete “elettronici”, nessuna operazione viene realizzata direttamente in ottica

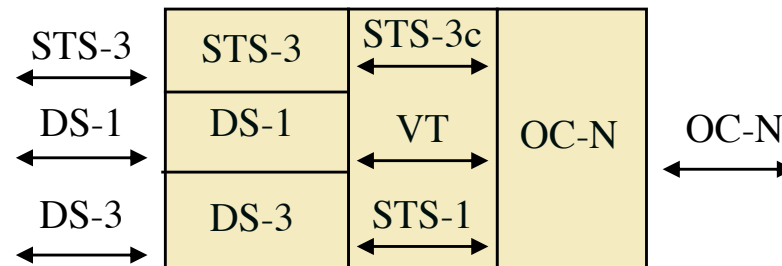
SONET/SDH layering

- Riprendiamo la pila di riferimento, indicando espressamente gli apparati



SONET Network Elements: PTE

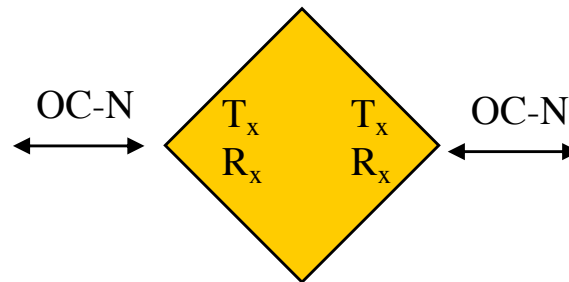
- Multiplexer and demultiplexer: si occupano di aggregare traffico da tributari differenti
- Il Path Terminating Element (PTE)
 - Versione minima di multiplexer path-terminating terminal
 - Funzionalità di concentratore di DS-1, e di generazione dei segnali del tributario
 - Due terminal multiplexer connessi da una fibra sono il più semplice collegamento SONET (section, line, path sullo stesso link)



SONET Network Elements: Rigeneratore

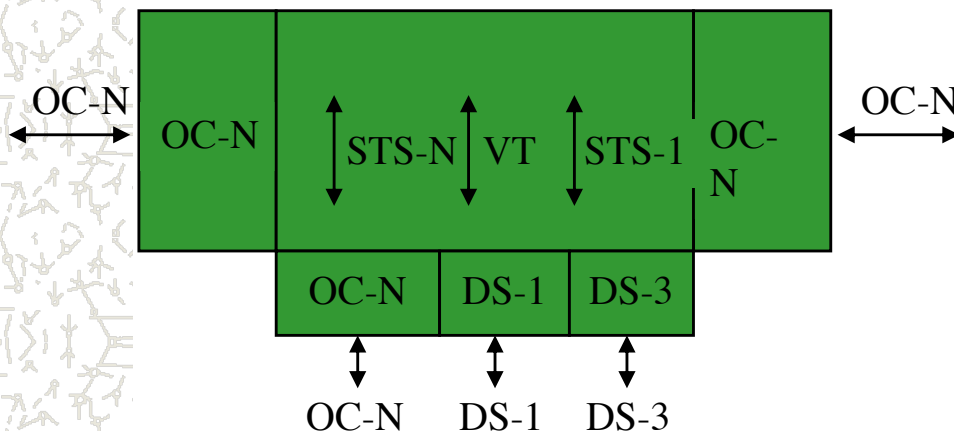
- **Rigeneratore**

- È il più semplice elemento. Opera una rigenerazione 3R
- Usato per superare vincoli di distanza
- Si sincronizza sul segnale in ingresso, e rigenera il section overhead prima di trasmettere il segnale. Non altera il Line e Path overhead (diverso da repeater in ethernet)



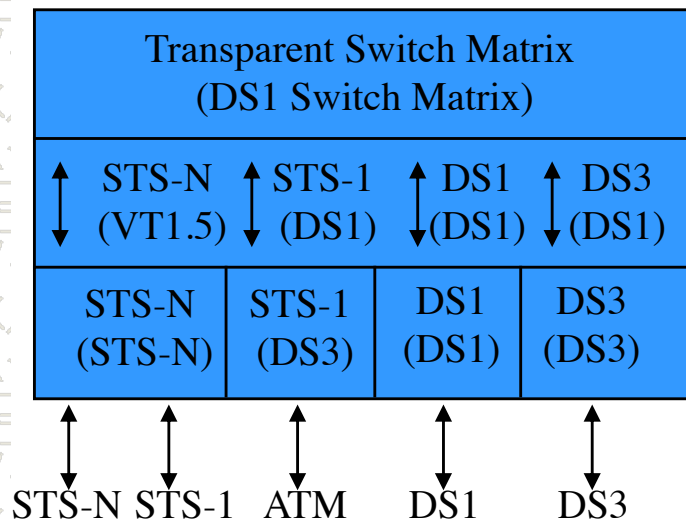
SONET Network Elements: ADM

- Add-Drop multiplexer: si occupa di multiplexing e instradamento in topologie ad anello
- Multipla diversi tributari in un segnale OC-N
- In un nodo add/drop, solo i segnali che devono essere estratti sono processati e estratti/inseriti
- Il traffico in transito viene trasmesso attraverso l'apparato senza particolari trattamenti. Ha funzionalità di instradamento alternativo in caso di guasti



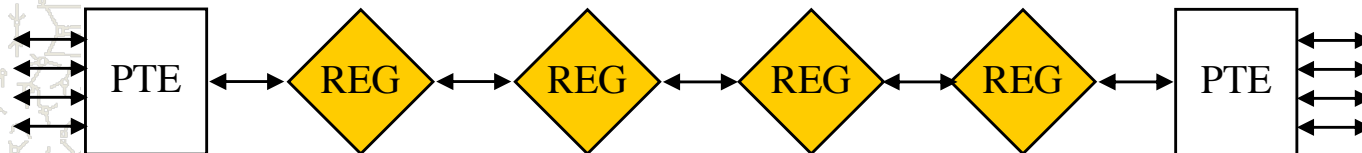
SONET Network Elements: DCS

- Digital cross-connect: si occupa di multiplexing e instradamento in topologie magliate
 - Accetta diverse velocità di linea
 - Accede ai segnali STS-1
 - Commuta tutto a questo livello
 - Usato per interconnettere tanti accessi STS-1
 - Cross-connect a larga banda sono usati per aggregare traffico efficientemente



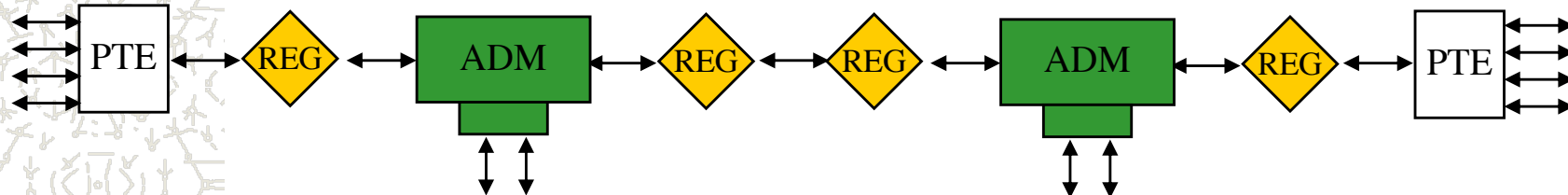
SONET Network Configurations

- Configurazione punto-punto
 - È la più semplice topologia
 - Il link punto punto parte e termina da un Path Terminal Equipments, che si occupa di moltiplicazione e demoltiplicazione dei tributari
 - Non si usa instradamento e demoltiplicazione lungo il sistema
 - Si usano rigeneratori per superare problemi trasmissivi



SONET Network Configurations

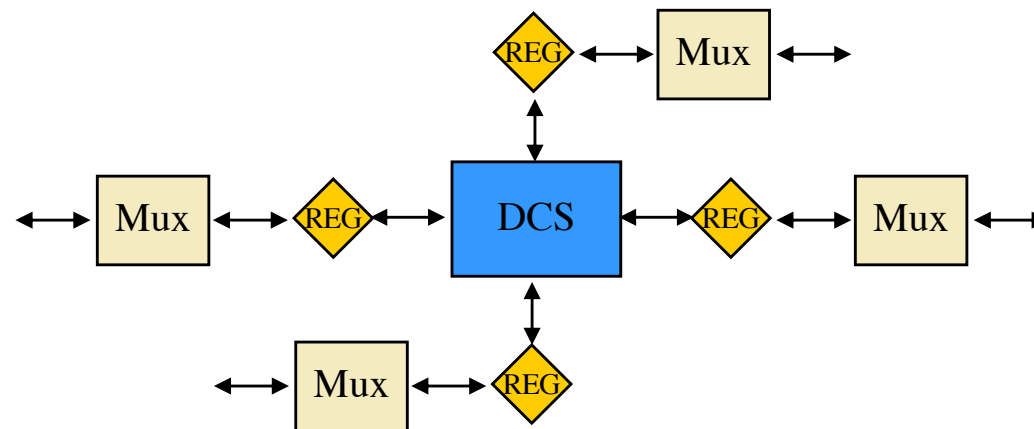
- Configurazione Punto-Multipunto (linear add-drop)
 - Ancora una topologia lineare
 - ADM (e rigeneratori) sono usati lungo la linea
 - Gli ADM inseriscono ed estraggono canali lungo il percorso
 - Gli ADM sono specificatamente pensati per questo scopo, e hanno una struttura significativamente più semplice di un generico cross-connect (non occorre demultiplexare per poi rimultiplexare)



SONET Network Configurations

- Configurazione “Hub network”

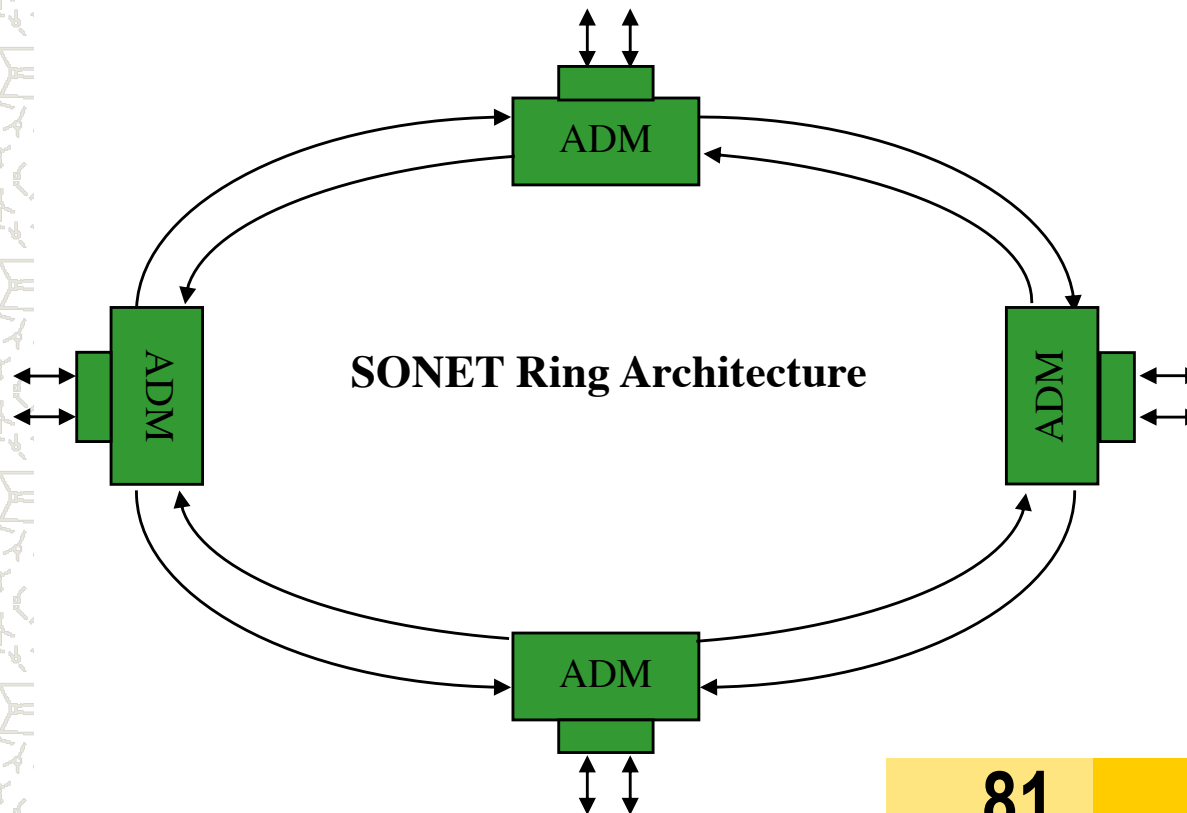
- Per concentrare traffico, tipicamente alla centrale operativa principale
- È una configurazione che fa uso di Digital Cross connect (DCS) a alta velocità
- DCS sono molto più complessi di un ADM: devono essere in grado di moltiplicare connessioni arbitrarie tra differenti tributari, sia livello SONET che dei singoli tributari



SONET Network Configurations

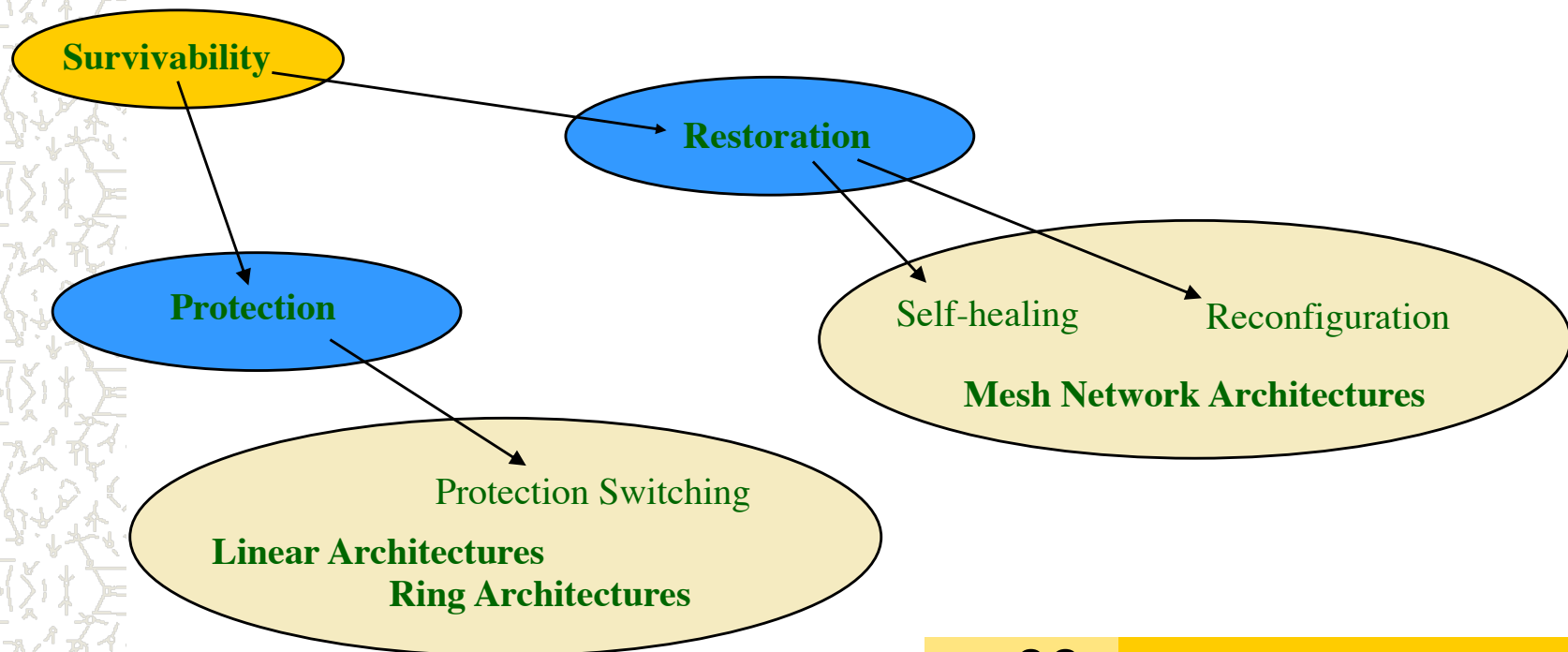
- **SONET Rings**

- È la configurazione più usata, che usa due o quattro fibre e un ADM in ogni nodo. Bidirezionale
- Realizza funzionalità di protezione (sempre due percorsi)



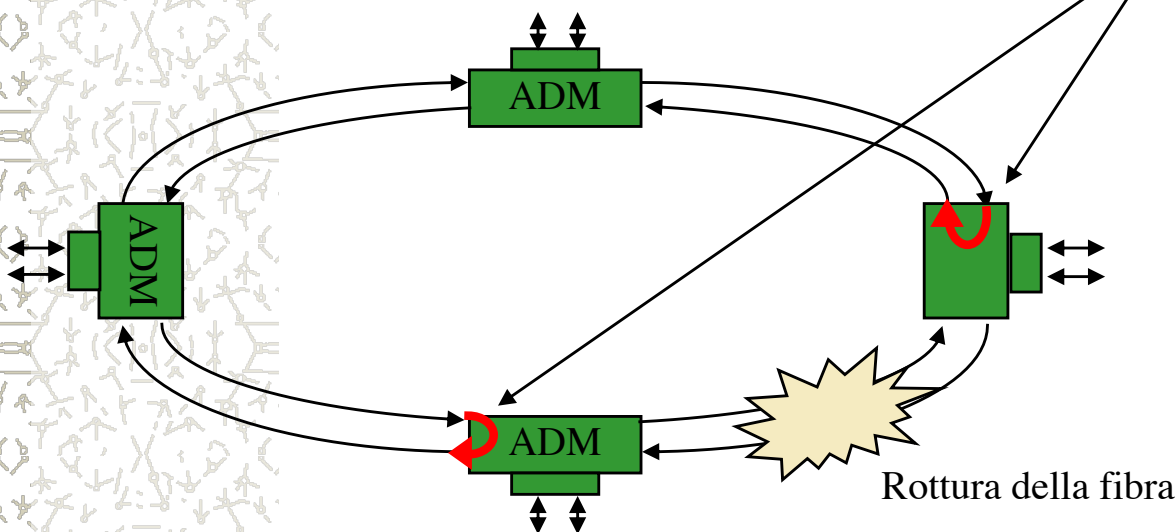
Network Survivability/Fault Management

- **Survivability:** la possibilità della rete di continuare a fornire un servizio usando capacità in eccesso in caso di guasti. È una necessità sulle reti di backbone, il cui malfunzionamento deve essere minimo
- **Restoration:** approccio più complicato, tipico di reti genericamente magliate. Per reagire a guasti, la rete è in grado di auto-riconfigurarsi lentamente.
- **Protection:** Risposta “immediata” (automatica) della rete dopo un guasto, per instradare il traffico su percorso alternativo



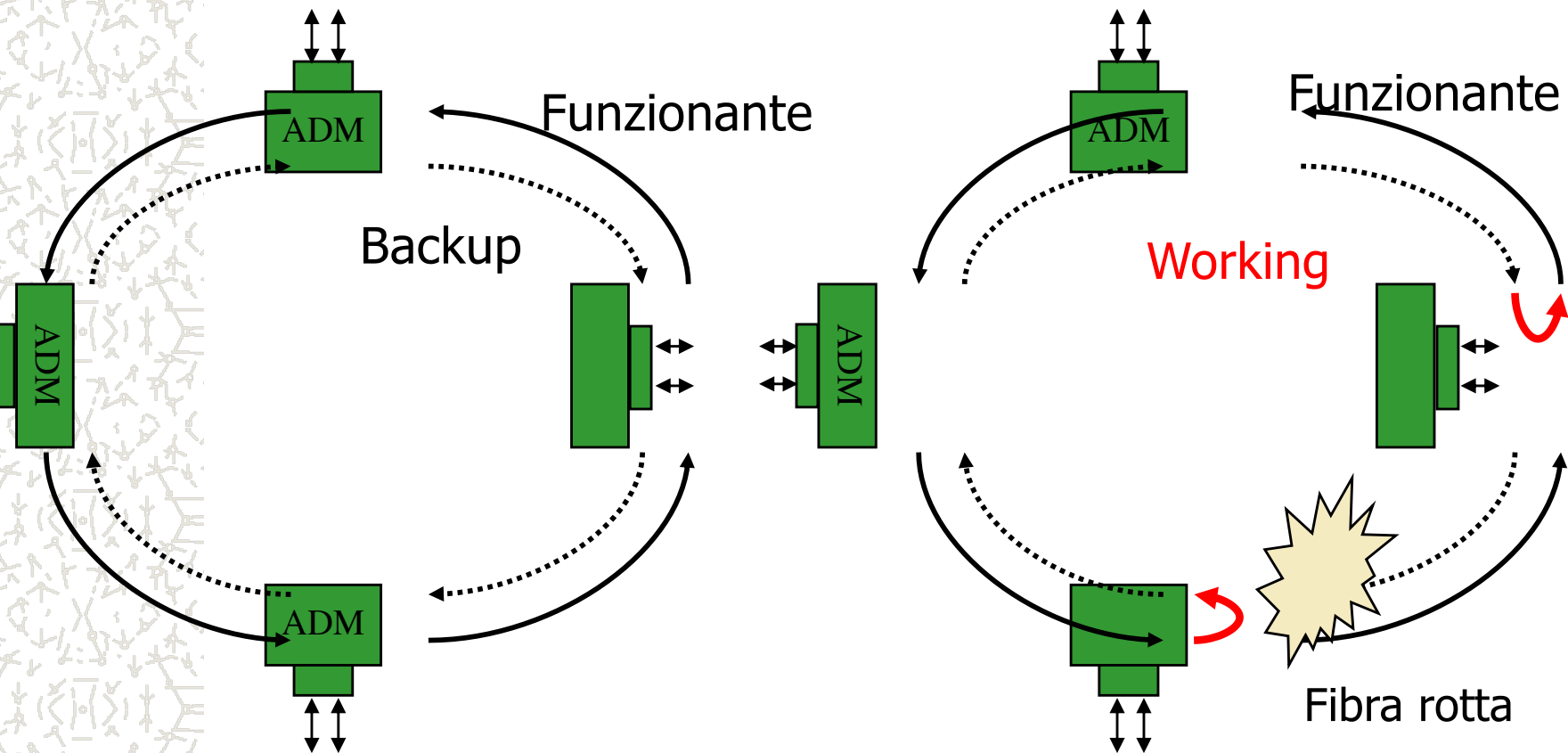
Survivability in SONET

- Diverse tecniche sono usate in SONET per Survivability, Protection e Restoration
- Una degli approcci più comuni è basato su anelli bidirezionali, che sfruttano le loro capacità di protezione



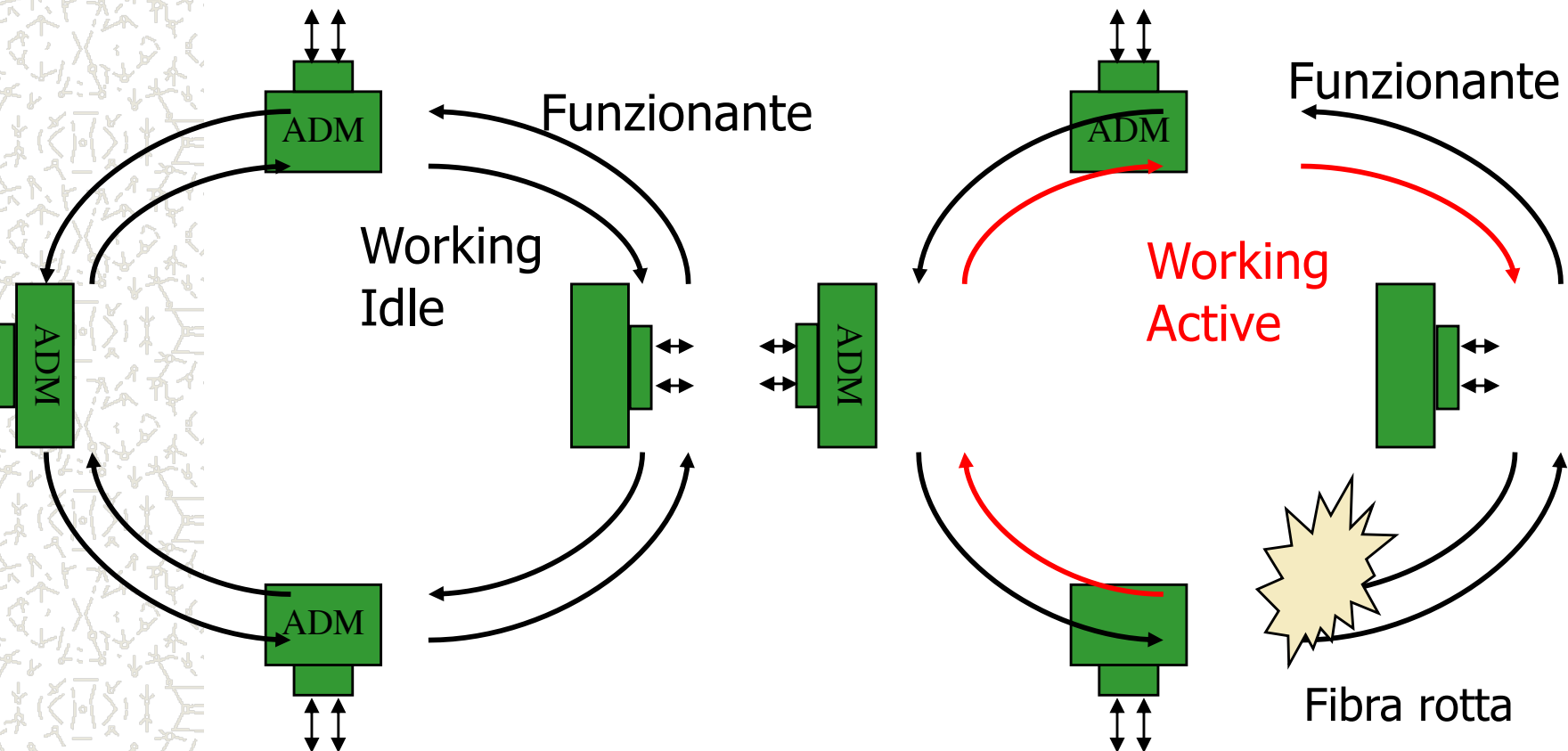
- La formazione di due loopback nei nodi adiacenti il guasto permette di connettere tutti i nodi
- La topologia logica dopo la riconfigurazione è un anello monodirezionale, che attraversa ogni nodo due volte

1:1 protection



Due nodi adiacenti al guasto sono responsabili della commutazione del traffico sull'anello di protezione

1+1 protection



I segnali dati sono trasmessi su entrambi i percorsi.
Ogni ADM in ogni nodo decide quale segnale è
corretto e lo seleziona.

Protection and Restoration

- Il recupero dei guasti in SONET è molto veloce:
 - meno di 50ms
- Il restoration time
 - Nelle reti PDH è spesso dell'ordine dei minuti
 - Nelle reti IP è dell'ordine dei minuti
 - Nelle reti ethernet è dell'ordine della decina di secondi (60 secondi per riconfigurare lo spanning tree)