



4. Le gerarchie superiori

- ❏ Tecniche di moltiplicazione
- ❏ Memoria tampone
- ❏ Stuffing
- ❏ Gerarchia plesiocrona
- ❏ Confronto con tecniche di moltiplicazione sincrone

Note

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Riepilogo: Multiplazione Numerica

Segnali sorgente (tributari)	Tipo di multiplazione	Modalità di interallacciamento	Capacità
Digitali  Relazione fase/frequenza plesiocroni (asincroni) mesocroni (sincroni) isocroni (allineati)	Divisione di tempo	bit per bit parola per parola	alta bassa
 Tecnica di multiplazione sincrona asincrona			

Le reti di telecomunicazione hanno subito, nell'ultimo ventennio, una forte trasformazione dovuta essenzialmente allo sviluppo tecnologico dei dispositivi elettronici le cui prestazioni, in termini d'integrazione e di frequenza di lavoro, sono andate sempre migliorando.

L'avvento su larga scala dei circuiti elettronici integrati a basso costo ha portato ad un rapido sviluppo delle reti numeriche che hanno, in tempo relativamente breve, sostituito quelle analogiche.

Con la "numerizzazione" dei sistemi trasmissivi e di commutazione, si è presentato anche il problema relativo alla scelta della strategia di sincronizzazione da adottare: plesiocrona oppure sincrona.

La prima modalità porta ad una rete che non prevede la distribuzione del sincronismo di riferimento, per cui ogni nodo dispone di un orologio locale; le inevitabili differenze di frequenza tra le varie sorgenti di temporizzazione vengono, come è noto, compensate mediante l'impiego della tecnica di giustificazione ("stuffing").

Al contrario, in ambito sincrono è prevista la distribuzione di un cronosegno di riferimento dal quale ogni apparato presente in rete estrae la propria sincronizzazione.

L'impossibilità di disporre, dall'inizio degli anni '70, di orologi di temporizzazione di adeguata precisione a basso costo e la difficoltà di trasportare il segnale di sincronismo con elevata stabilità lungo tutta la rete, portò alla inevitabile scelta di impiegare la modalità di sincronizzazione plesiocrona, utilizzando la strategia sincrona solamente a livello di reti locali o per collegamenti a breve distanza.

Lo sviluppo tecnologico di quest'ultimo decennio, rendendo disponibili sia oscillatori con elevata stabilità ad un prezzo ragionevole sia apparati in grado di distribuire il segnale di temporizzazione con un elevato grado di affidabilità, ha permesso di rivedere le posizioni e di valutare la possibilità di rendere le reti di telecomunicazioni sincrone.

Gerarchie di moltiplicazione numerica plesiocrona (PDH)

	ETSI	ANSI	NTT
Quaternary Rate	E4 139,264 Mb/s		J4 97,728 Mb/s
Tertiary Rate	E3 34,368 Mb/s	DS3 44,736 Mb/s	J3 32,064 Mb/s
Secondary Rate	E2 8,448 Mb/s	DS2 6,312 Mb/s	J2 6,312 Mb/s
Primary Rate	E1 2,048 Mb/s	DS1 1,544 Mb/s	J1 1,544 Mb/s
	64 kb/s		

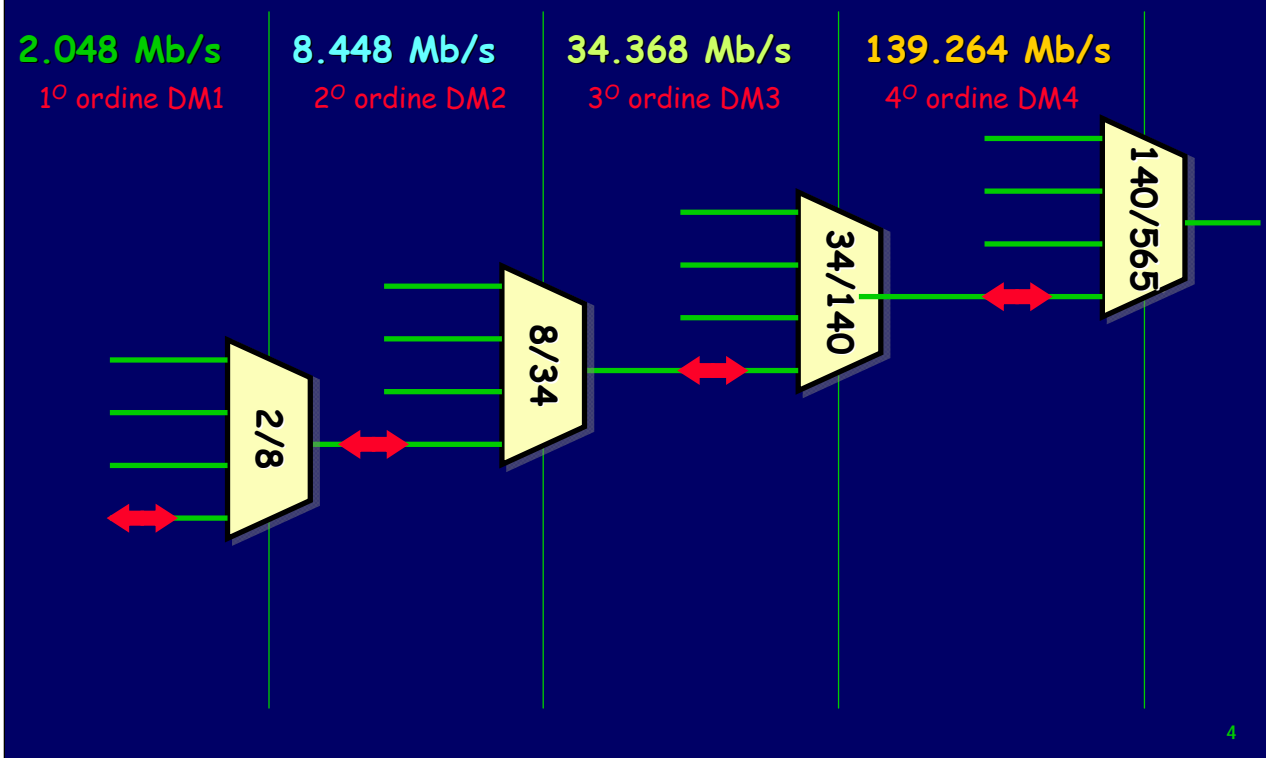
3

La maggior parte delle reti di trasmissione numerica esistenti è basata sulla gerarchia di moltiplicazione e trasmissione plesiocrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy) definita dalla Racc. ITU-T G.702, la cui prima edizione risale al 1972. Essa specifica le velocità di trasmissione a livello mondiale secondo diversi standard: europeo, americano e giapponese. Le caratteristiche fisiche ed elettriche dei segnali sono specificate nella Racc. ITU-T G.703.

La caratteristica fondamentale, comune a queste gerarchie numeriche, è costituita appunto dal sistema di moltiplicazione plesiocrona che consente, mediante l'aggiunta dei bit di giustificazione e dei relativi bit di controllo, la trasmissione di flussi tributari mantenendone inalterato il relativo orologio di temporizzazione, pur essendo quest'ultimo originato da una sorgente diversa da quella del flusso aggregato.

In America e in Giappone le differenze degli standard adottati sono dovute alla diversa scelta fatta per il flusso primario operante su 24 canali a 64 kbit/s e caratterizzato da una frequenza di cifra di 1.544 Mbit/s.

Le gerarchie della tecnica PDH ETSI



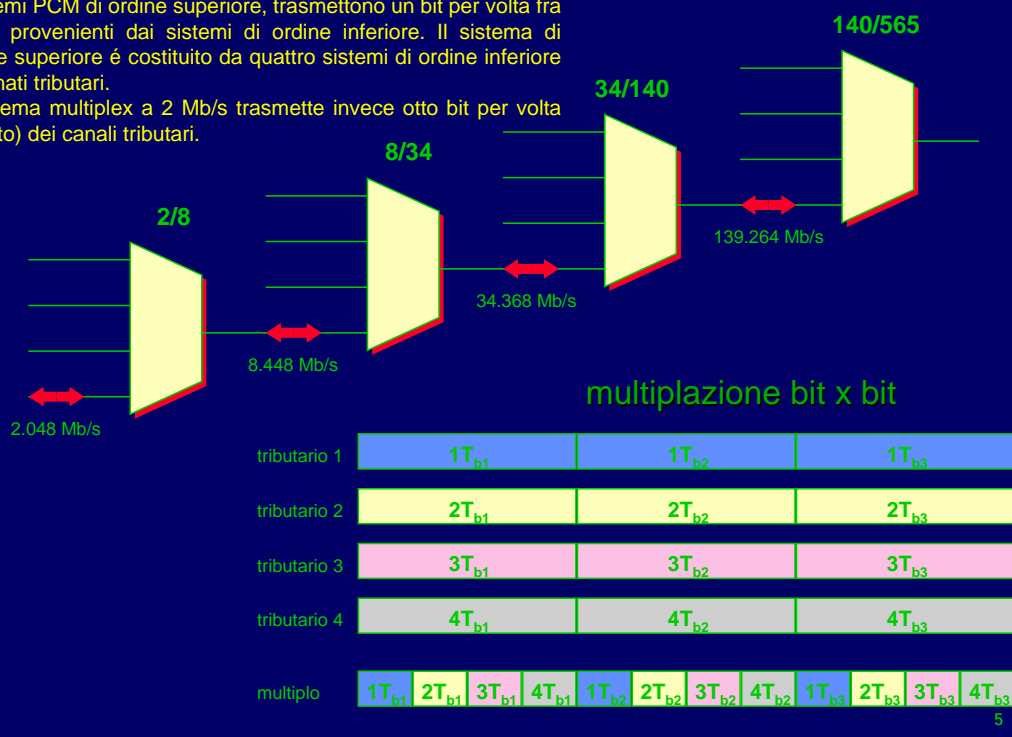
Lo standard PDH in versione europea prevede: - un flusso base a 64 kbit/s moltiplicato all'interno di uno dei 32 time slot (30 canali utili) di una trama sincrona, ottenendo così un flusso primario a 2048 kbit/s (E1);

- El primo livello: 32 time slot a 64 kbit/s pari a 2.048 Mbit/s;
 - E2 secondo livello: 4 tributari a frequenza di cifra primaria che equivalgono a 8192 kbit/s; a questi vengono aggiunti 256 kbit/s per il segnale multiplo (allinea-mento, allarmi, canale ausiliario dati, parole/bit di giustificazione) per un totale di 8.448 Mbit/s.
 - E3 terzo livello: 4 tributari a frequenza di cifra secondaria, che equivalgono a 33792 kbit/s, ai quali vengono aggiunti per il segnale multiplo 576 kbit/s di over-head (come sopra) per un totale 34.368 Mbit/s;
 - E4 quarto livello: 4 tributari a frequenza di cifra E3 che equivalgono a 137472 kbit/ s ai quali vengono aggiunti per il segnale multiplo 1792 kbit/s di overhead per un totale di 139.264 Mbit/s.
- Esiste inoltre un livello E5 (non standard) formato da 4 tributari a frequenza di cifra quaternaria.

Sistemi PCM di ordine superiore

I sistemi PCM di ordine superiore, trasmettono un bit per volta fra quelli provenienti dai sistemi di ordine inferiore. Il sistema di ordine superiore è costituito da quattro sistemi di ordine inferiore chiamati tributari.

Il sistema multiplex a 2 Mb/s trasmette invece otto bit per volta (ottetto) dei canali tributari.



Time-slot Interleaving (multiplazione parola per parola)

L'interallacciamento è realizzato moltiplicando nell'ordine un gruppo di cifre (time-slot di 8 bit) del primo tributario, uno del secondo, uno del terzo e così via. Questo metodo viene impiegato nella multiplazione PCM per la formazione del 2 Mb/s partendo da segnali tutti codificati a pacchetti di 8 bit.

La multiplazione parola per parola ha la particolarità di mantenere il significato intrinseco del tributario. Infatti, nel caso di creazione del segnale PCM a 2 Mb/s le parole appartenenti ai canali interallacciati tra di loro mantengono il significato della codifica del campione o, nel caso di trasmissione dati, del byte del segnale a 64 Kb/s.

Inoltre la trama PCM a 2 Mb/s, non prevedendo meccanismi di giustificazione, richiede che i tributari entranti siano tutti sincroni con il multiplex PCM a 2Mb/s.

Questa caratteristica, insieme ad una durata della trama fissa (pari a 125 μ Sec), è stata recepita anche nella definizione della gerarchia SDH e consente una maggior semplicità nelle operazioni di estrazione/inserzione di un tributario senza dover demultiplare e rimultiplare tutto il segnale aggregato (operazione di Drop Insert).

Bit Interleaving (multiplazione bit per bit)

L'interallacciamento avviene moltiplicando nell'ordine un bit del primo tributario, uno del secondo, uno del terzo e così via. Questa tecnica viene impiegata normalmente nella multiplazione numerica poiché è più flessibile ed economica, in quanto richiede memorie tampone di dimensioni minori; è inoltre più adatta alla multiplazione di segnali codificati in modo molto diversi tra di loro poiché prescinde dalla struttura di trama del tributario.

Caratteristiche della gerarchia PDH

	2° ordine DM2	3° ordine DM3	4° ordine DM4	5° ordine
Frequenza di cifra	8.448 Mb/s +/- 30 10 ⁻⁶	34.368 Mb/s +/- 20 10 ⁻⁶	139.264 Mb/s +/- 15 10 ⁻⁶	564.992 Mb/s +/- 15 10 ⁻⁶
Numero di tributari	4	4	4	4
Frequenza di cifra dei tributari	2.048 Mb/s +/- 50 10 ⁻⁶	8.448 Mb/s +/- 30 10 ⁻⁶	34.368 Mb/s +/- 20 10 ⁻⁶	139.264 Mb/s +/- 15 10 ⁻⁶
Numero canali "Capacità Telefonica equivalente"	120	480	1920	7680
Lunghezza della trama	848 bit	1536 bit	2928 bit	2688 bit
Parola di allineamento trama	1111010000	1111010000	111110100000	111110100000
Frequenza nominale di ripetizione della trama	9.96 KHz	22.375 KHz	47.56 KHz	210.190 KHz
Codice all'interfaccia di uscita e livello del segnale	AMI / HDB3 2,37 Vp	HDB3 1 Vp	CMI 0.5 Vp	

6

Le Racc. ITU-T G.742 e G.751 definiscono le strutture di trama europee di ordine n derivanti dalla moltiplicazione di flussi di ordine n-1. I moltiplicatori che realizzano le gerarchie di ordine superiore al 2 Mbit/s sono considerati ad alta capacità. Tipicamente vengono impiegati moltiplicatori che realizzano le gerarchie E3, E4 e E5, mentre è in disuso la gerarchia E2

Con un procedimento analogo sono articolate le gerarchie di moltiplicazione adottate in Nord America e Giappone. Anche se presentano caratteristiche di dettaglio diverse da quanto descritto nella gerarchia europea. Ad esempio, la denominazione per i flussi numerici in Nord America è DS (Digital Signal).

Tutte le moltiplicazioni sono del tipo bit a bit.

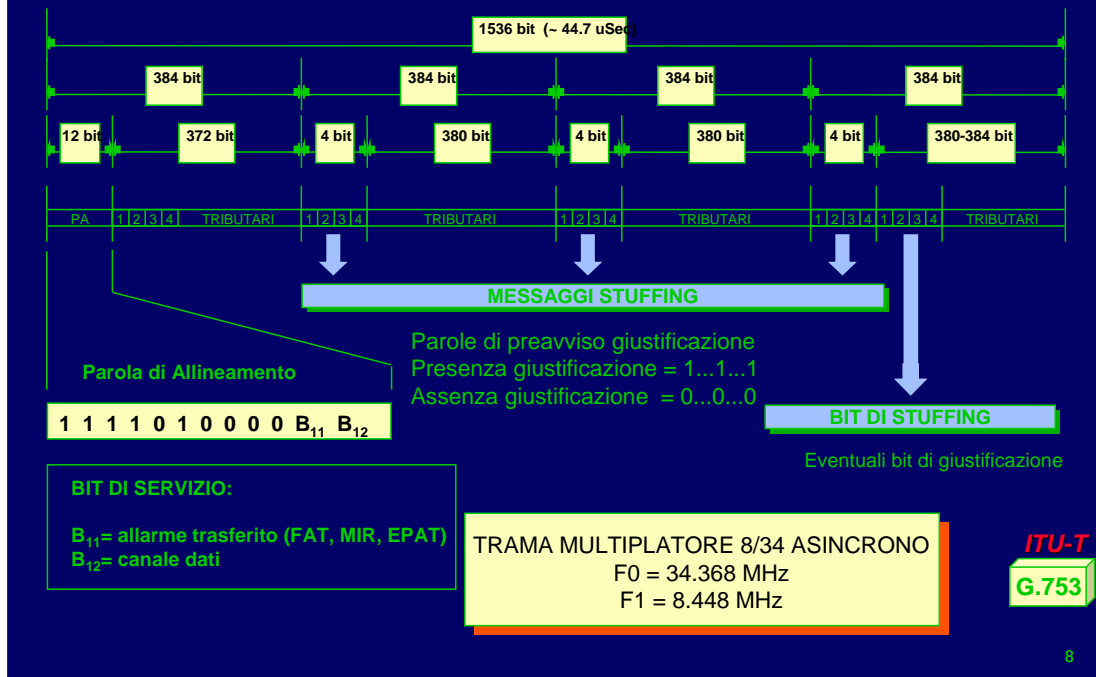
Caratteristiche dei sistemi numerici di trasmissione

Caratteristiche	Livello gerarchico			
	2° ordine DM2	3° ordine DM3	4° ordine DM4	5° ordine
Frequenza di cifra del segnale multiplato	8.448 Mb/s +- 30 10 ⁻⁶	34.368 Mb/s +- 20 10 ⁻⁶	139.264 Mb/s +- 15 10 ⁻⁶	564.992 Mb/s +- 15 10 ⁻⁶
Numero di tributari	4	4	4	4
Frequenza di cifra dei tributari	2.048 Mb/s +- 50 10 ⁻⁶	8.448 Mb/s +- 30 10 ⁻⁶	34.368 Mb/s +- 20 10 ⁻⁶	139.264 Mb/s +- 15 10 ⁻⁶
Numero canali o "Capacità Telefonica" equivalente	120	480	1920	7680
Lunghezza della trama	848 bit	1536 bit	2928 bit	2688
Parola di allineamento trama	1111010000	1111010000	111110100000	111110100000
Numero delle sottotrame	4	4	6	7
Numero di bit per sottotrama	212	384	488	384
Numero di bit di stuffing per trama, per ogni tributario	1	1	1	1
Numero di bit di avviso stuffing, per trama, per ogni tributario	3	3	5	5
Stato logico dei bit di avviso stuffing nel caso di stuffing	111	111	11111	11111
Stato logico dei bit di avviso stuffing nel caso di assenza stuffing	000	000	00000	00000
Frequenza nominale di ripetizione della trama	9.96 KHz	22.375 KHz	47.56 KHz	210.190 KHz
Frequenza massima di stuffing per tributario	9.96 KHz	22.375 KHz	47.56 KHz	210.190 KHz
Frequenza nominale di stuffing	4.23 KHz	9.75 KHz	19.93 KHz	92.286 KHz
Codice all'interfaccia di uscita e livello del segnale	AMI / HDB3 2.37 Vp	HDB3 1 Vp	CMI 0.5 Vp	Interfaccia non normalizzata. Definito dal CCITT come 4 x 140 Mb/s (G.954)

Note

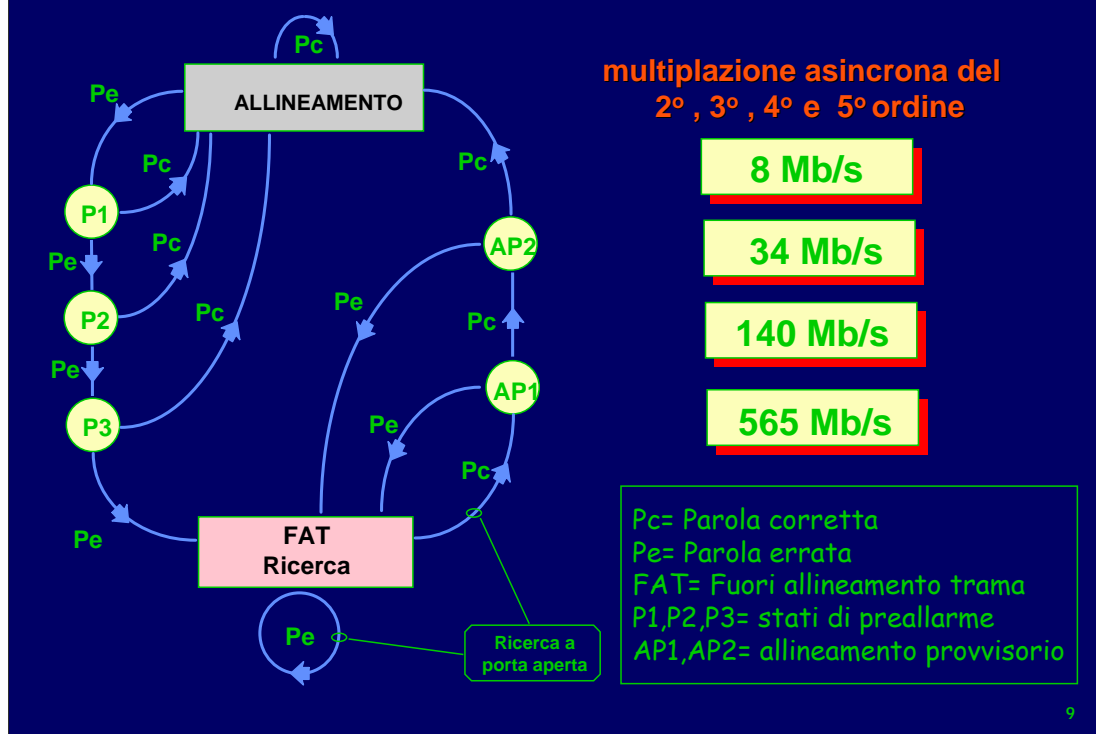
This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Multiplazione asincrona del 3° ordine (34,368 Mb/s)



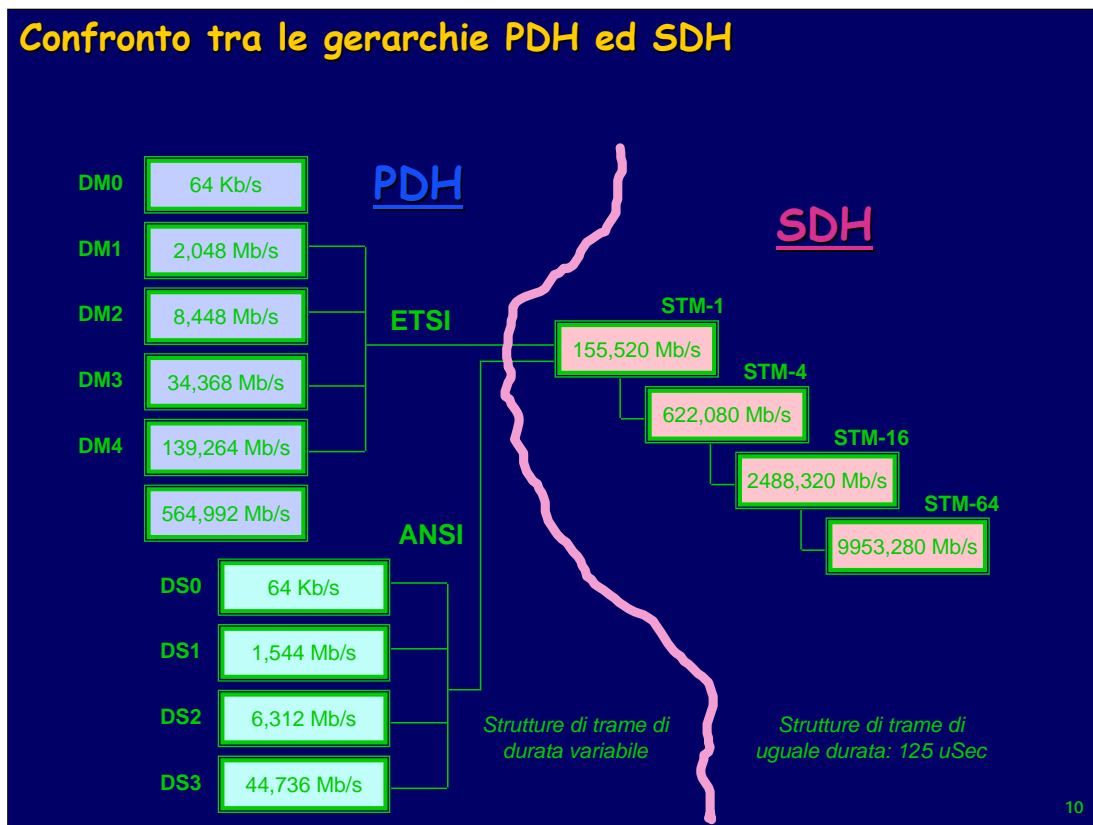
I bit di messaggio stuffing e di stuffing sono indipendenti per ogni tributario anche se sono affiancati l'uno all'altro in un punto ben preciso della trama.

Strategia di allineamento trama



Note

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



I segnali di linea della gerarchia SDH sono identificati dalla sigla STM (Synchronous Transport Module) seguita da un numero che indica il livello gerarchico. Il segnale STM-1, corrispondente al primo livello della gerarchia SDH, costituisce il segnale base dal quale, per moltiplicazione sincrona ad interallacciamento di ottetti, si ottengono gli altri livelli gerarchici; questi ultimi sono identificati dal numero di segnali base affasciati. Per la precisione il segnale STM-N ($N = 4, 16, 64$) si ottiene moltiplicando N segnali STM-1. La gerarchia SDH prevede la possibilità di trasportare segnali PDH appartenenti sia allo standard europeo (ETSI) sia a quello nord americano (ANSI). Da notare come le Frequenze di cifra SDH siano frutto di un compromesso per ottimizzarne il riempimento con tributari ANSI ed ETSI, ed eventuali riempimenti fissi, considerando anche le necessarie ridondanze (overhead di trama) per le funzionalità di Gestione, Manutenzione e Protezione della rete. Per ogni segnale STM-N sono normalizzate le interfacce ottiche nei punti di riferimento NNI (Network Node Interface), corrispondenti, nelle reti SDH, all'interfaccia di linea.

In generale sono previste diverse soluzioni realizzative a seconda del tipo di fibra e delle sorgenti ottiche utilizzate; in particolare per le soluzioni intra-office (entro la medesima centrale) è possibile usufruire di fibre e sorgenti ottiche (LED) meno pregiate rispetto alle interconnessioni inter-office (centrali differenti), ove si ricorre a sorgenti LASER. Solo per il livello STM-1 e solo per interconnessioni intra-office è prevista anche l'interfaccia elettrica.

La gerarchia plesiocrona PDH ha consentito lo sviluppo delle reti numeriche esistenti garantendo lo standard delle interfacce di centrale ed offrendo un metodo che si è rivelato efficiente per risolvere il problema della temporizzazione nella trasmissione numerica (pulse-stuffing).

Tuttavia le attuali esigenze richiedono strutture flessibili ed intelligenti nella rete di accesso e una gestione efficiente (network management) della rete trasmissiva a lunga distanza. La gerarchia sincrona SDH, resa possibile dalla rapida evoluzione della tecnologia delle fibre ottiche, della microelettronica, del software e dalla riduzione dei costi degli oscillatori ad alta precisione, nasce per rispondere a tali esigenze evolutive (match tra esigenze del mercato e possibilità tecnologiche nell'ambito delle telecomunicazioni).

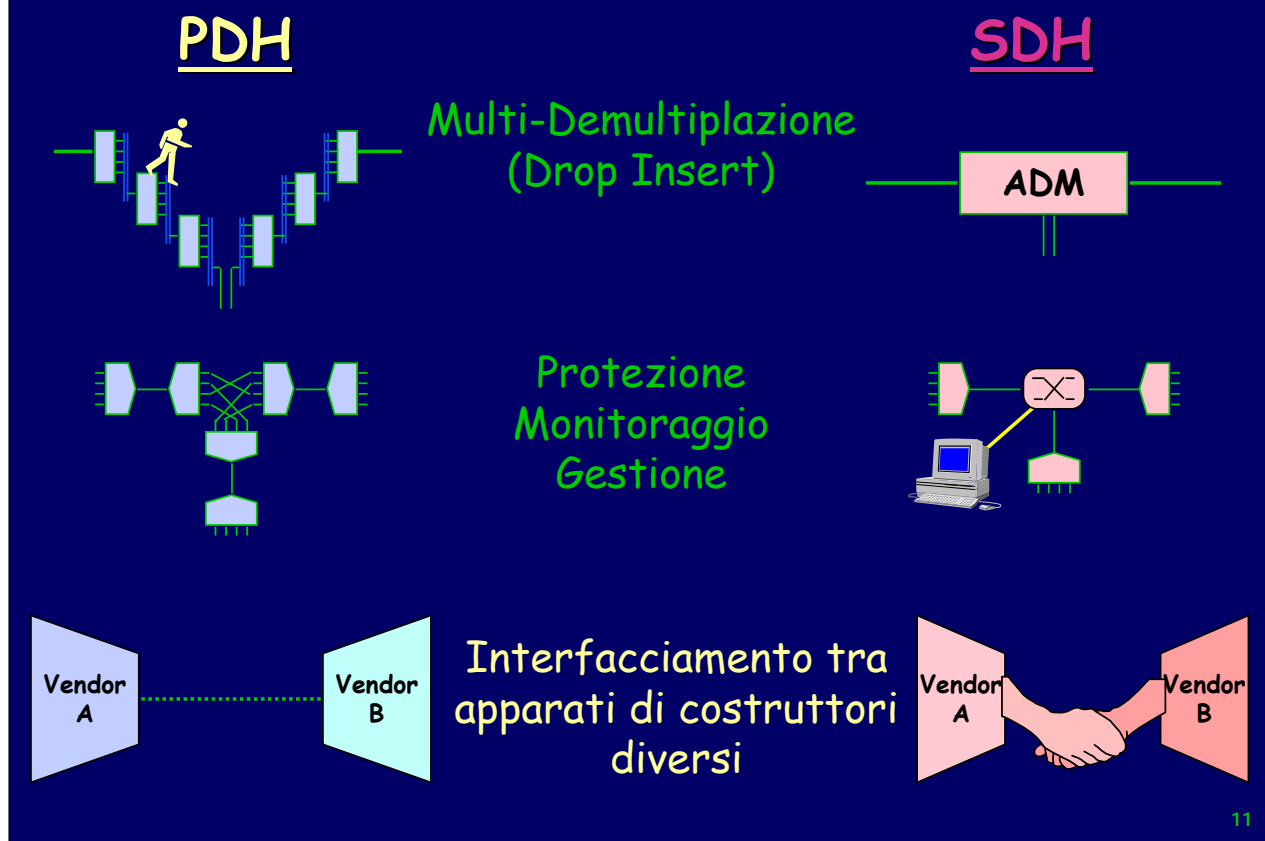
Infatti la moltiplicazione sincrona è da sempre considerata vantaggiosa, ma solo ora è diventata conveniente nella realizzazione pratica.

Caratteristiche fondamentali dei sistemi SDH

Semplificazione, grazie alla struttura di trama basata sulla moltiplicazione sincrona, delle funzioni di inserimento ed estrazione dei tributari (accesso diretto a qualunque livello gerarchico senza step di multi-demoltiplicazione intermedi) e di permutazione dei flussi. Per funzionare al meglio richiede la sincronizzazione di tutta la rete numerica.

Armonizzazione delle due gerarchie plesiocrone, europea ed americana, creando così un unico standard mondiale in grado di offrire servizi a larga banda e l'integrazione con reti LAN, MAN e ATM. Grande capacità trasmissiva ausiliaria dedicata a funzioni di OAM (Operation Administration Maintenance) standardizzate. Interfacce di linea standard, sia a livello elettro-ottico che di trama. Possibilità di realizzare nuove topologie di rete (rete di accesso ad anello) più economiche per ed efficienti nel gestire la protezione del traffico.

Confronto tra le prestazioni delle reti PDH e SDH



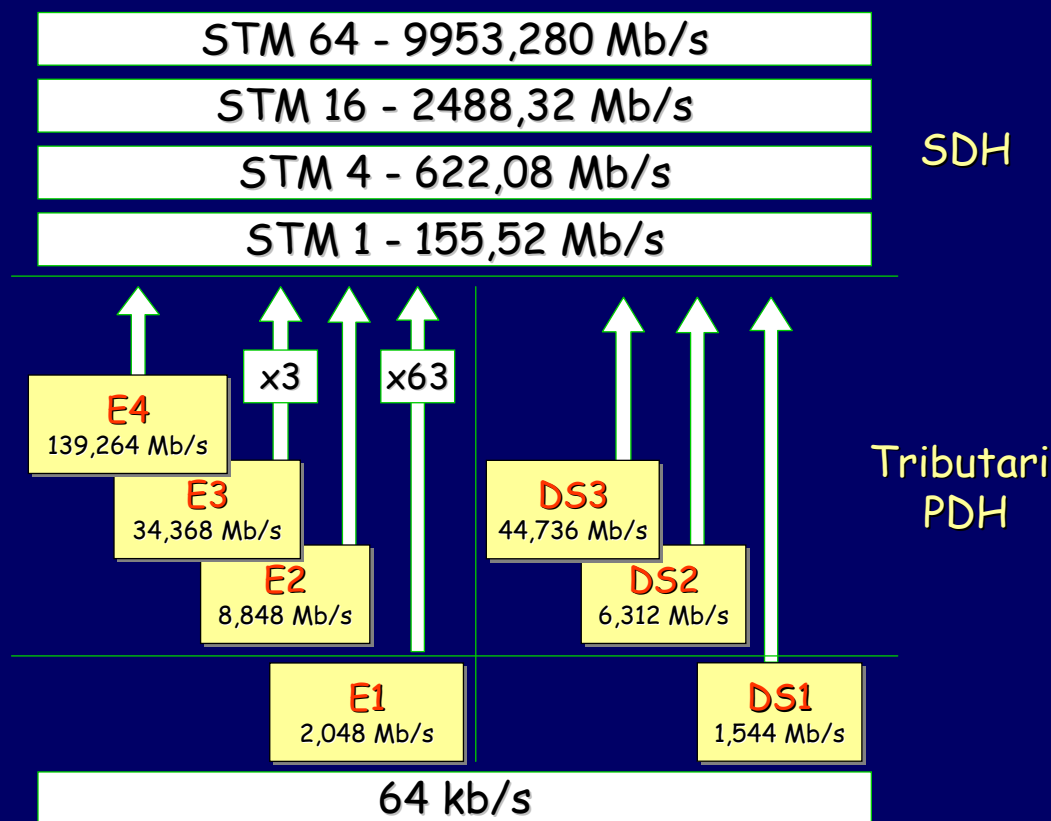
Le motivazioni che hanno portato negli anni '80 alla nascita della gerarchia numerica di trasmissione sincrona sono correlate all'esigenza dei gestori di rete di disporre di una infrastruttura digitale con elevate caratteristiche di flessibilità, gestibilità, affidabilità e qualità. Tale esigenza è stata rivolta anche a soddisfare l'evoluzione verso la larga banda della rete di TLC.

L'adozione di interfacce ottiche standard nelle reti di trasmissione è ormai diventata irrinunciabile, così come l'integrazione delle funzioni di terminazione di linea nei sistemi di multiplazione. A ciò si aggiunga la necessità di evolvere verso strutture di rete flessibili, ridondate nei collegamenti e facilmente riconfigurabili in modo da ridurre i tempi di provisioning del servizio o ripristino in caso di guasto. Lo sviluppo dei sistemi avanzati di gestione ha reso fattibile un salto decisivo in questa direzione.

I vantaggi offerti dalla gerarchia SDH sono principalmente:

- compatibilità multivendor, ovvero la possibilità di interconnettere apparati di trasmissione di costruttori diversi.
- flessibilità della multiplazione. La tecnica sincrona SDH, realizzabile anche grazie all'estrema precisione degli attuali orologi di riferimento, consente a un singolo segnale tributario di essere direttamente multiplato a un qualsiasi livello della gerarchia superiore (es. un 2 Mbit/s in un flusso a 622 Mbit/s) senza attraversare tutti i livelli di multiplazione intermedi.
- Accesso diretto ai tributari del segnale multiplato, con conseguente semplicità di realizzazione delle funzionalità di drop-insert e di cross-connect. Appositi puntatori indicano in ogni istante la posizione del tributario all'interno della trama.
- Alta capacità trasmissiva, grazie alle elevate velocità messe a disposizione dei sistemi ottici.
- Interfacce standard: SDH rappresenta uno standard internazionale. La definizione di interfacce standard su fibra ottica garantisce l'interoperabilità tra apparati di differenti costruttori. SDH può essere utilizzato in tutti i livelli della rete: lunga distanza, giunzione, distribuzione.
- Gestione integrata: circa il 5% della trama SDH è riservata a byte di overhead dedicati alla gestione della rete, per realizzare funzioni di supervisione e di controllo delle configurazioni e della qualità dei flussi trasportati.

Gerarchie di multiplazione numerica sincrona (SDH)



12

Lo studio di SDH è iniziato in ambito ITU-T nel 1986 (allora CCITT) con l'obiettivo di produrre uno standard universale per i sistemi di trasmissione. Tale attività ha portato all'approvazione delle specifiche di riferimento nel corso del 1988. La convergenza verso la tecnica SDH è stata alquanto laboriosa, a causa della difficoltà di allineamento con lo standard gemello SONET (Synchronous Optical NETWORKS) proposto originariamente dagli USA nel 1986 e ottimizzato per il trasporto dei flussi della gerarchia plesiocrona americana.

La gerarchia SDH è definita da tre raccomandazioni dell'ITU-T: G.707, G.708, G.709. Esse stabiliscono rispettivamente le velocità di cifra dei vari ordini gerarchici, i principi e la struttura generale della multiplazione con i singoli elementi costitutivi e le modalità di multiplazione con le relative strutture di trama.

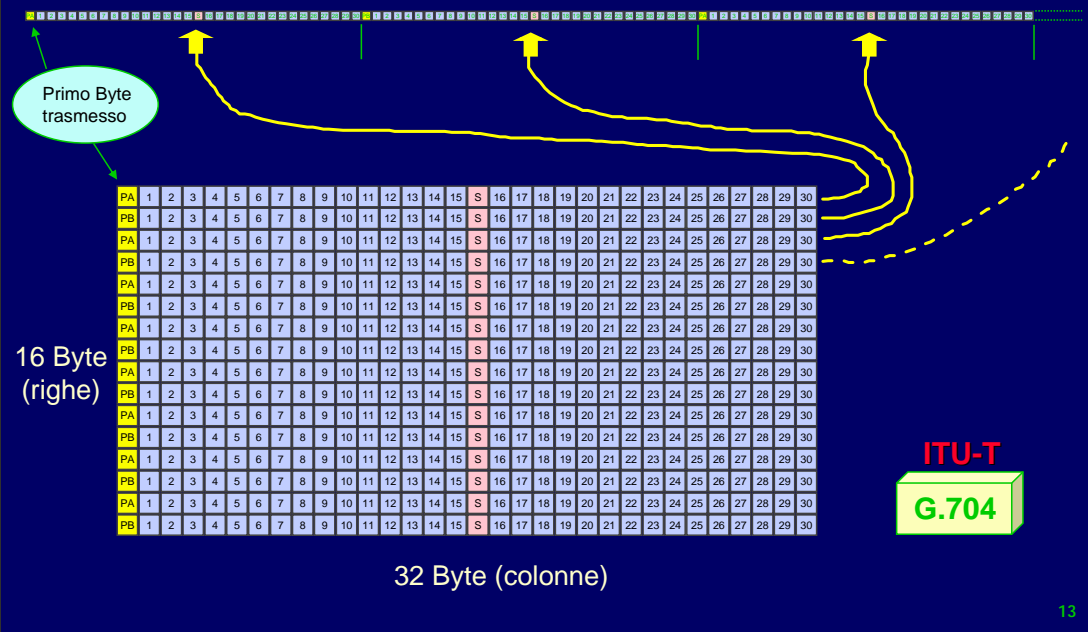
Il livello base (livello 1) della gerarchia SDH è costituito da un flusso digitale con velocità di 155520 Mbit/s detto STM-1 (Synchronous Transport Module-1). Le velocità di cifra dei flussi di ordine superiore al primo sono multipli interi della velocità del flusso base di 155520 Mbit/s (per semplicità nel seguito ci riferiremo ad esso indicando 155 Mbit/s). All'interno della trama multiplata sono facilmente individuabili i flussi tributari, perché sincroni con la trama stessa. La struttura di trama sincrona è la caratteristica fondamentale di SDH. La multiplazione è del tipo byte a byte, ottenuta mediante l'interallacciamento degli ottetti dei vari tributari.

Oltre a STM-1 esistono STM-4, STM-16 e STM-64. Per questi ultimi il numero d'ordine indica anche il numero di flussi STM-1 multiplati. La durata della trama è di 125 μ s qualunque sia il livello della gerarchia considerato.

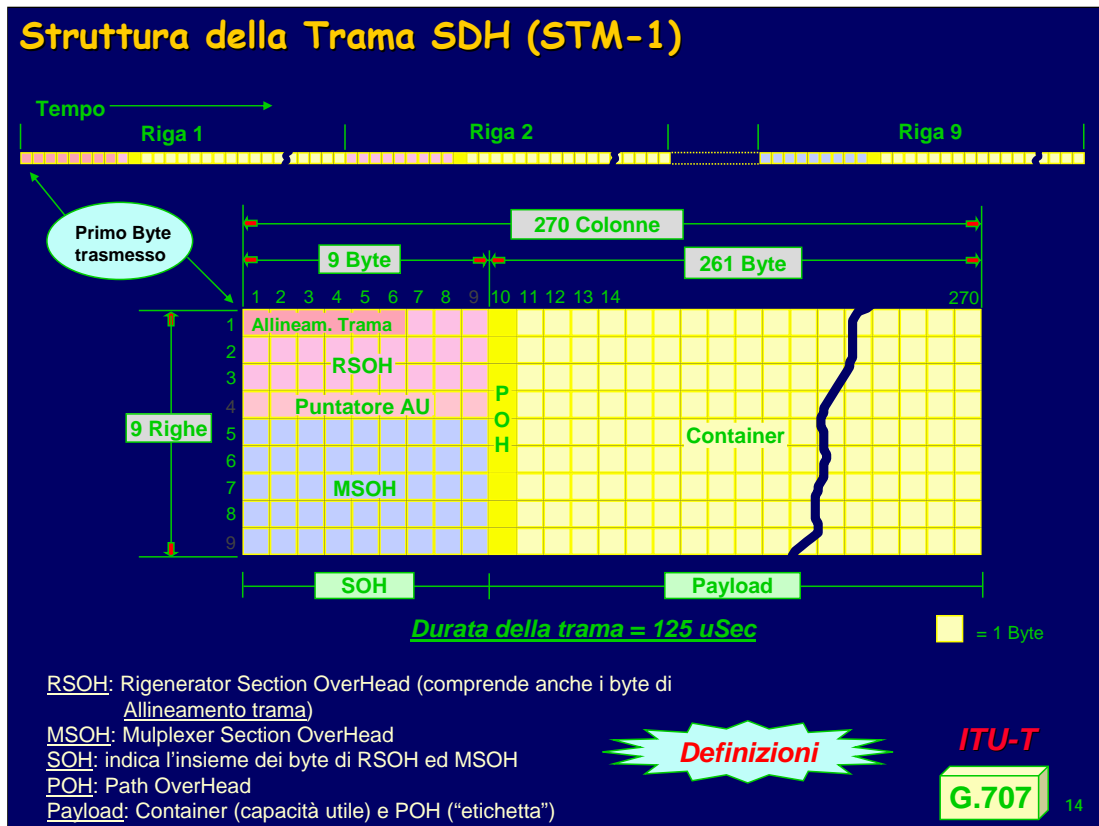
La struttura di trama SDH è in grado di accogliere, come tributari, i vari livelli delle gerarchie plesiocrone europea e americana. Questo consente una facile e graduale migrazione dai sistemi PDH a quelli SDH.

Rappresentazione della struttura di trama PDH

Esempio di rappresentazione di 16 trame a 2 Mb/s
per la schematizzazione della struttura di multitrama del CRC-4



Note



Il segnale STM-1 (STM-N), così come tutti i segnali numerici multipli, sono strutturati in trame trasmesse sequenzialmente.

A differenza della gerarchia plesiocrona però tutti i livelli gerarchici STM-N sono caratterizzati dall'avere la medesima durata del periodo di trama pari a 125 μsec.

Non è un caso che la durata della trama sia equivalente al periodo di campionamento utilizzato nella formazione dei segnali fonici PCM, ciò rende infatti possibile l'osservabilità diretta di flussi fino a 64 kb/s multiplati in modo sincrono.

Ogni trama è organizzata a sua volta in una sequenza ordinata di byte (ogni otetto corrisponde quindi ad un canale a 64 kb/s) e si può schematizzare come una matrice bidimensionale, i cui elementi sono byte, che è trasmessa riga dopo riga da sinistra a destra e dall'alto al basso. Anche all'interno del singolo byte si esegue la sequenza di trasmissione da sinistra verso destra (si trasmettono prima i bit più significativi).

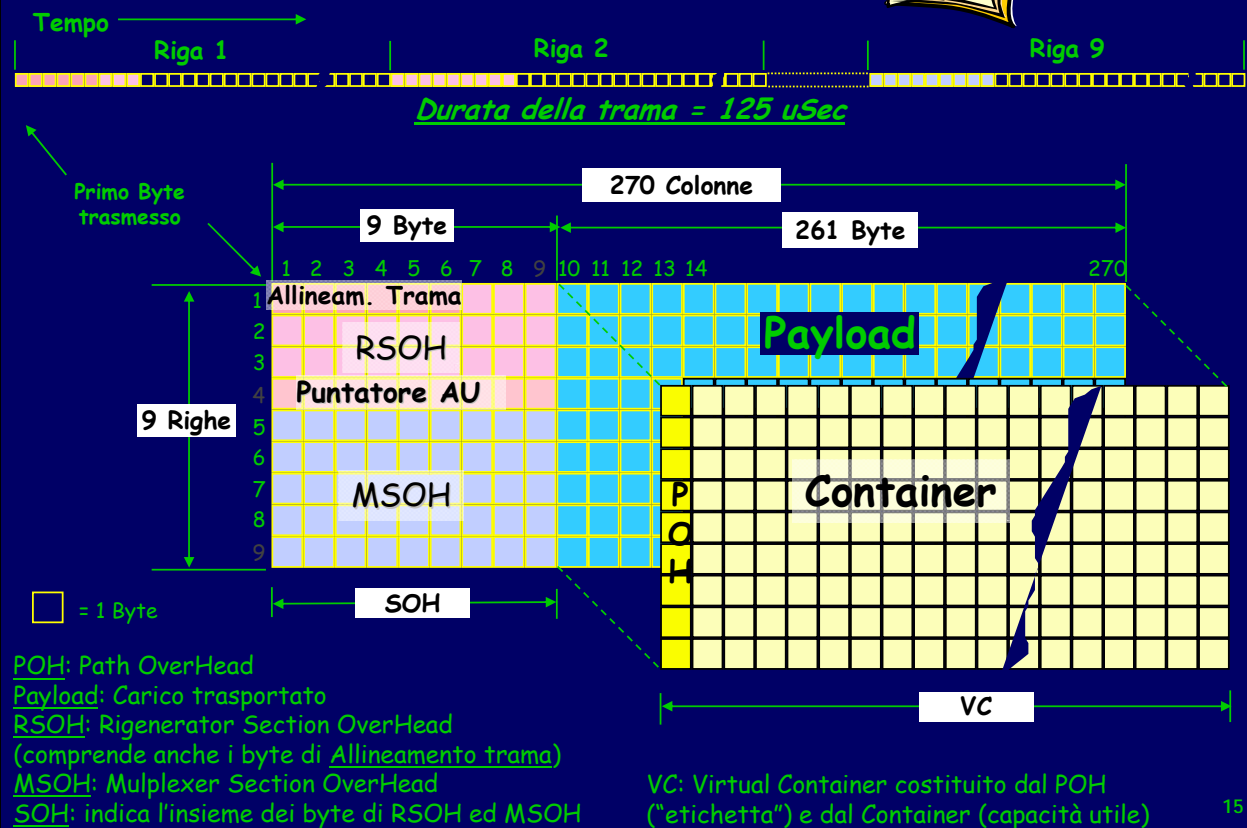
All'interno della trama possono essere identificate tre aree principali:

Overhead di Sezione SOH, suddivisa a sua volta in RSOH (Regenerator Section OverHead) e MSOH (Multiplexer Section OverHead) e dedicata a funzioni quali allineamento trama, monitoraggio degli errori e canali dati ausiliari

Puntatore AU, il quale individua la posizione di inizio dei dati sistemati entro il Payload

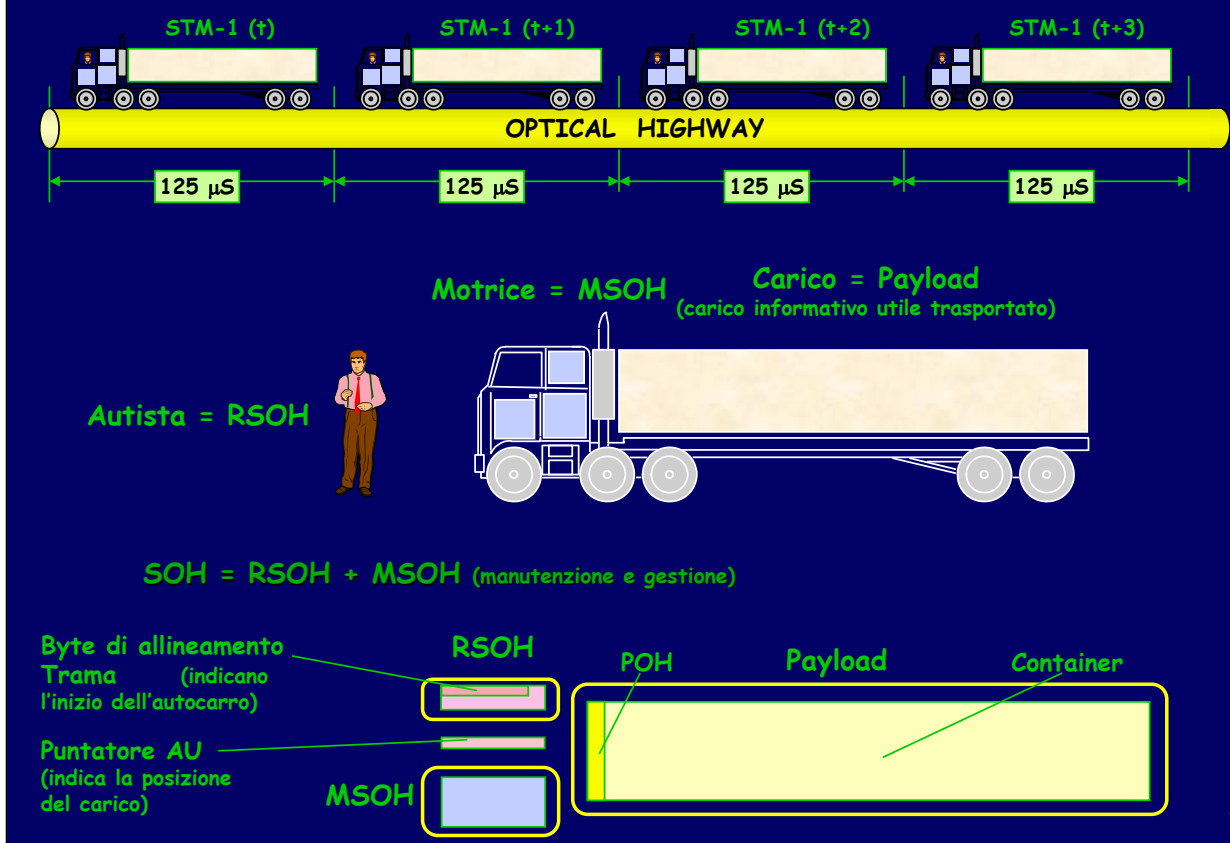
Payload, che rappresenta la capacità utile di trasporto del segnale STM-1 (POH + Container)

Struttura della Trama SDH (STM-1)



Note

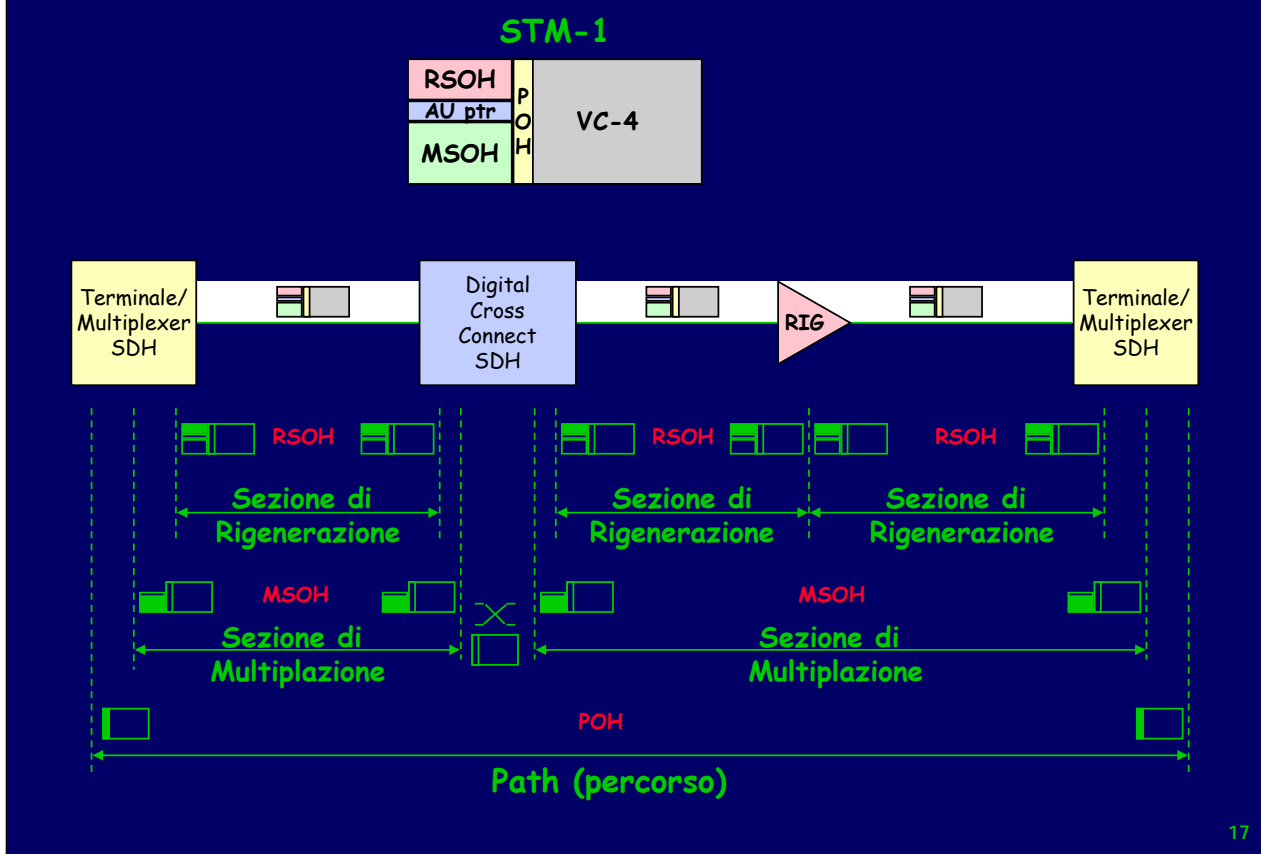
Rappresentazione della Trama SDH: STM-1



Note

[illegible]

Livelli di trasporto SDH e relativi overhead



La suddivisione logica della rete di trasporto SDH prevede i seguenti livelli (Racc. ITU-T G.803).

- Livello di percorso (path): rappresenta la connessione logica tra i due punti della rete in cui il segnale tributario accede a un livello della SDH ed è indipendente dal servizio (fonia, dati) e dal mezzo trasmissivo (fibra o altro).
- Livello trasmissivo: è suddiviso a sua volta in livello di sezione (section) e livello fisico del mezzo trasmissivo vero e proprio. Il livello di sezione risulta ulteriormente suddiviso in sezione di multiplazione e sezione di rigenerazione;

Ai livelli di path e di section vengono associate informazioni di controllo e supervisione, trasferite nei byte di overhead della trama, per la gestione delle informazioni di performance e monitoring sia del singolo collegamento che dell'intero sistema trasmissivo. Un livello è definito proprio in base ai punti della rete in cui l'overhead è scritto e letto.

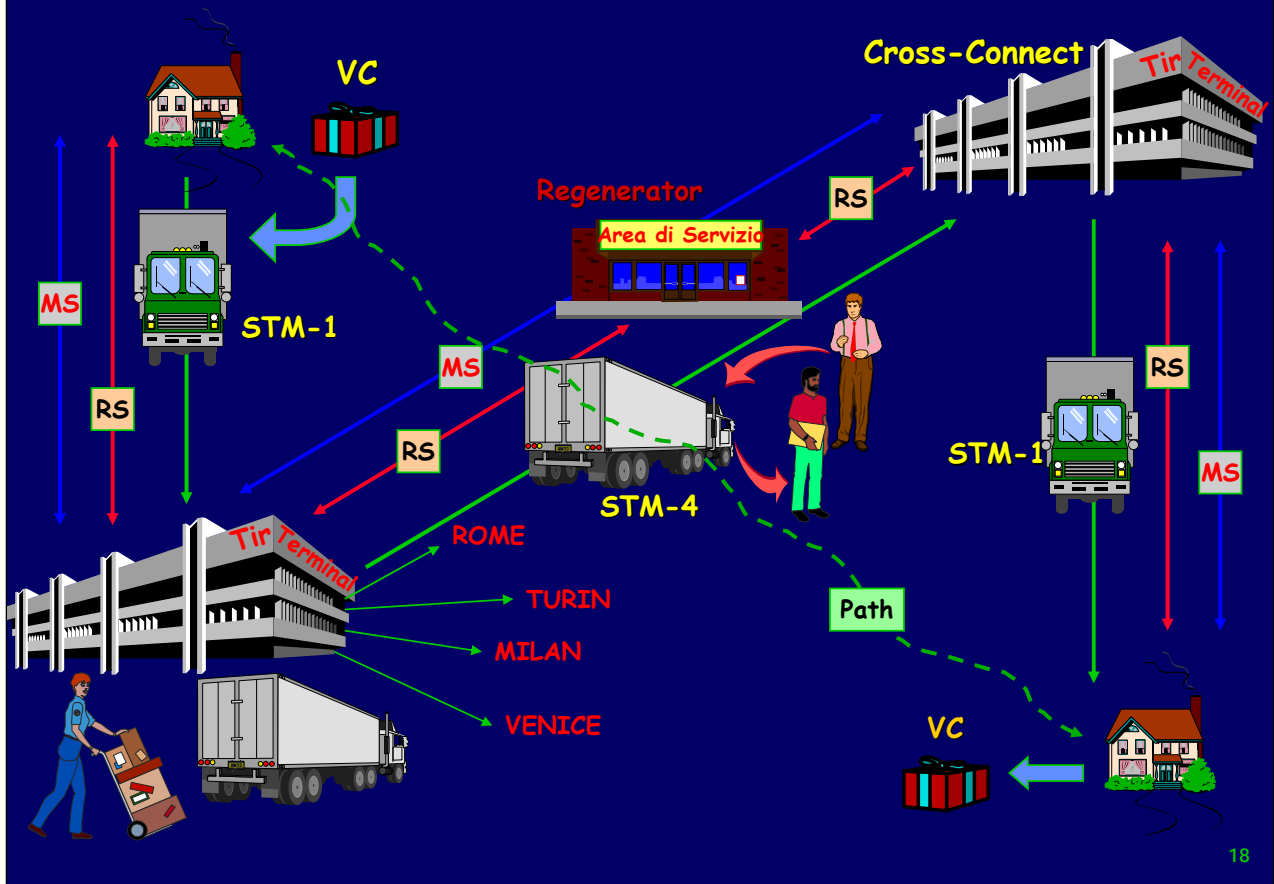
Gli overhead della struttura STM-N (STM-1) possono essere suddivisi in diversi livelli con particolare riferimento alle funzioni di OAM:

RSOH con funzioni dedicate alle sezioni di rigenerazione; è terminato (scritto e letto) ai capi di ogni sezione di rigenerazione.

MSOH con funzioni dedicate alle sezioni di multiplazione; è terminato (scritto e letto) ai capi di ogni sezione di multiplazione.

POH con funzioni overhead di percorso si suddivide in POH di ordine superiore (VC-n con n=3,4) e POH di ordine inferiore (VC-n con n=11,12,2,3); è terminato (scritto e letto) ai capi di ogni path di ordine superiore o inferiore dove sono assemblati/disassemblati i VC di ordine superiore o inferiore rispettivamente.

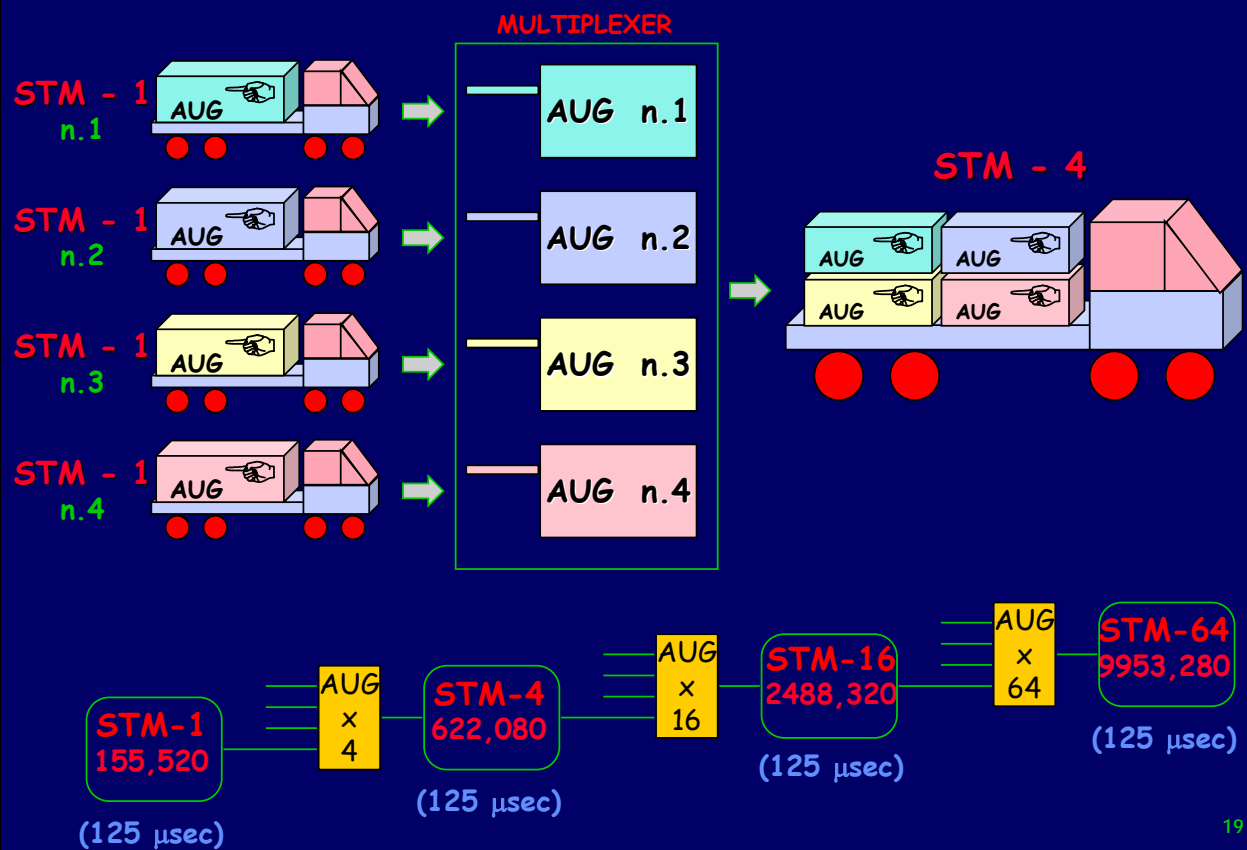
Rappresentazione dei percorsi SDH



Note

[illegible]

Rappresentazione della Multiplazione SDH



Dall'affasciamento di N segnali STM-1 si ottengono strutture numeriche definite STM-N, dove con N si indica il numero di flussi STM-1 multiplati. N è un numero che vale 4, 16 o 64 ed identifica le strutture STM-4, STM-16, STM-64 (multipli di 4).

Prima di effettuare la multiplazione dei segnali tributari, da ogni struttura STM-1 entrante vengono estratti gli overhead RSOH ed MSOH; in questo modo rimane una struttura denominata AUG praticamente coincidente con l'AU-4.