

***Introduzione ai protocolli***

***Concetti base della multiplazione PDH e SDH***

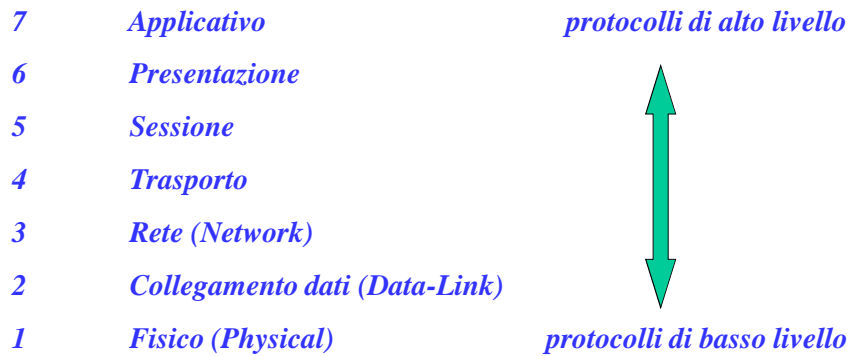
***Mauro Giaconi***

***Introduzione e generalità***

- ❖ *Un protocollo consiste in un gruppo di regole e modalità per realizzare una o più funzioni;*
- ❖ *le funzioni dei processi dei sistemi di comunicazione sono di regola strutturate in modelli “a strati”;*
- ❖ *in tali modelli, ognuno degli “strati” ha il compito di processare “unità informative”, denominate PDU (Protocol Data Unit);*
- ❖ *ciascuna PDU è composta dall’informazione utile, detta SDU (Service Data Unit), e da una “etichetta” o PCI (Protocol Control Information): ogni PDU di un generico strato è “imbustata” in una SDU dello strato più “basso”.*
- ❖ *il “transito” delle informazioni riguardo i dati di utente e la rete di comunicazioni attraverso gli strati (del sistema “mittente” e del sistema “destinatario”) si svolge tramite opportune “interfacce” tra coppie di strati contigui: tali interfacce stabiliscono le informazioni e i “servizi” che ogni strato deve fornire al successivo.*

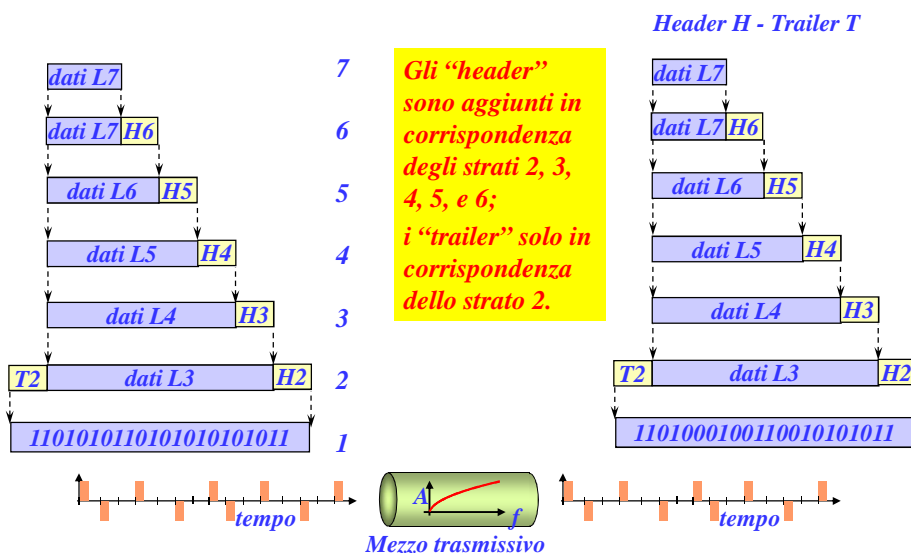
**Il modello OSI: un richiamo riassuntivo**

*I livelli del modello OSI, detti anche "strati", sono:*

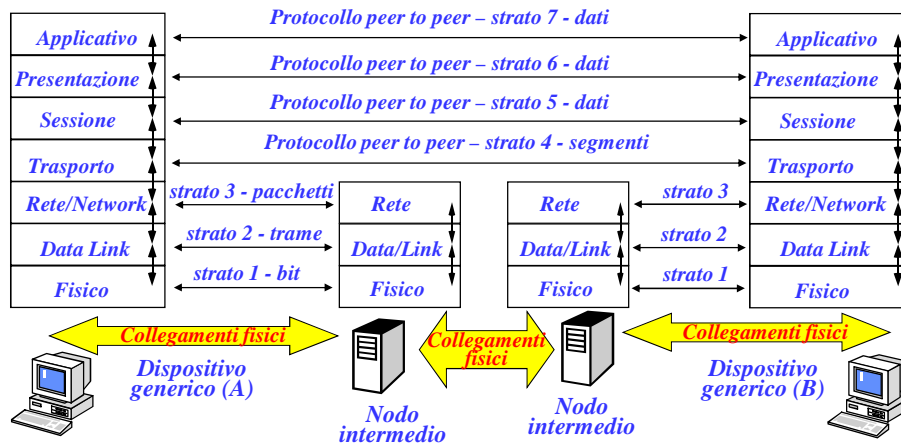


*Ogni strato fornisce servizi allo strato superiore; ciascun strato aggiunge ai dati ("encapsulation") le informazioni necessarie per la comunicazione con lo stesso strato ("peer to peer") del dispositivo (host) di destinazione.*

**Il modello OSI: un richiamo riassuntivo**



### **Il modello OSI: un richiamo riassuntivo**



**Nel passaggio tra nodi intermedi sono di solito coinvolti solo i tre livelli inferiori del modello OSI.**

### **Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato fisico**

**Svolge le funzioni necessarie per la trasmissione di un flusso di bit su un mezzo trasmissivo (fisico) tra due dispositivi; pertanto:**

- ❖ *definisce le interfacce tra dispositivi di ricetrasmisione e mezzi fisici;*
- ❖ *converte i bit in segnali ottici o elettrici e li invia sul mezzo trasmissivo;*
- ❖ *riconverte in bit i segnali ottici o elettrici ricevuti;*
- ❖ *stabilisce la frequenza di trasmissione (frequenza di bit e di simbolo);*
- ❖ *provvede alla sincronizzazione (di bit e di simbolo);*
- ❖ *definisce la configurazione di linea (punto – punto / multipunto);*
- ❖ *stabilisce la topologia fisica (maglia / anello / bus);*
- ❖ *definisce la modalità trasmissiva: semplice (solo un dispositivo può trasmettere i dati, l'altro può solo riceverli), half duplex (i due dispositivi inviano a turno i loro dati), full duplex (ricetrasmisione contemporanea).*

***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato Data/Link***

***Rende lo strato fisico “affidabile”, così che appaia senza errori allo strato di rete; quindi:***

- ❖ organizza le “trame”, suddividendo il flusso binario in tali unità di dati;*
- ❖ aggiunge alla trame un header che contiene le informazioni sul mittente e sul destinatario (indirizzi “fisici”) e informazioni di controllo (tipo di trama e notizie sull'instradamento e la segmentazione), così da smistare le trame stesse (se il destinatario appartiene ad una rete differente da quella del mittente, l'indirizzo del destinatario è quello del sistema che connette la rete del mittente alla rete successiva nel collegamento);*
- ❖ esegue il controllo di flusso, per prevenire la congestione del sistema ricevente, se la frequenza di ricezione è minore di quella di produzione dei dati dal mittente;*

***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato Data/Link***

*Ed ancora ...*

- ❖ provvede al controllo di errore, correggendo gli errori e verificando che le trame siano giunte intatte al destinatario; identifica le trame eventualmente danneggiate o smarrite, provvedendo alla loro ritrasmissione (sottostrato del controllo del collegamento logico - Logical Link Control, LLC);*
- ❖ provvede al controllo di accesso, nel caso in cui più dispositivi ricetrasmittenti condividono lo stesso mezzo trasmissivo, stabilendo di volta in volta quale sia il dispositivo abilitato alla trasmissione, ovvero che “controlla” il collegamento (sottostrato del controllo dell'accesso ai supporti di trasmissione - Media Access Control, MAC).*

### ***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato di rete***

***Lo strato di rete si occupa della consegna dal mittente al destinatario (end to end) dei singoli pacchetti, in cui è suddiviso il messaggio, attraverso i suoi passaggi lungo reti in generale differenti (“nascondendo” agli strati superiori la “confusione” di collegamenti fisici di diverso tipo).***

***In sostanza, lo strato Data Link è responsabile della trasmissione tra sistemi della stessa rete (non è necessario lo strato di rete se i sistemi da connettere appartengono alla stessa rete), lo strato di rete si occupa della consegna di pacchetti a sistemi connessi a reti differenti; pertanto:***

***❖ provvede all’indirizzamento logico (quello fisico, valido a livello locale, è gestito dallo strato Data Link), necessario se i sistemi appartengono a reti diverse: a tal fine, lo strato di rete aggiunge un header che contiene, tra l’altro, gli indirizzi logici del mittente e del destinatario;***

***❖ provvede all’instradamento (routing), così che i dispositivi di connessione (router o switch) instradino i pacchetti verso la loro destinazione (ogni pacchetto può essere trattato in modo differente).***

### ***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato di trasporto***

***Lo strato di trasporto è responsabile della consegna mittente destinatario (non solo in termini di dispositivo, ma di “processo”) dell’intero messaggio, e non già dei soli singoli pacchetti.***

***Al riguardo, lo strato di rete, che è responsabile della consegna dei singoli pacchetti, non riconosce le relazioni tra i pacchetti stessi, diversamente dallo strato di trasporto che, consapevole di tali relazioni, è, viceversa, in grado di assicurarsi che i pacchetti giungano tutti a destinazione, nell’ordine corretto; pertanto, lo strato di trasporto:***

***❖ consegna il messaggio dal processo mittente al processo destinatario, utilizzando gli indirizzi di “porta”, che inserisce nel proprio header;***

***❖ segmenta (e riassembla) il messaggio in segmenti più piccoli adatti ad essere trasferiti; i segmenti sono numerati e possono essere riassemblati in ricezione, sostituendo quelli che, eventualmente, siano stati smarriti;***

### ***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato di trasporto***

*Ed inoltre ...*

- ❖ controlla la connessione; nel caso di trasporto orientato alla connessione, tale connessione è assicurata prima della trasmissione dei pacchetti e viene chiusa dopo la loro corretta ricezione; nel caso, invece, di trasporto non orientato alla connessione, i singoli pacchetti sono trattati in modo indipendente, con semplice consegna allo stato di trasporto del (processo del) destinatario;*
- ❖ controlla il flusso dei dati, similmente a quanto fatto dallo strato di Data Link, ma, in questo caso, da estremo ad estremo del collegamento;*
- ❖ controlla gli errori (in modo simile a quanto fatto dallo strato Data Link, ma, ora, da estremo ad estremo del collegamento), garantendo che l'intero messaggio giunga integro a destinazione (controllando danni, smarrimenti o duplicazioni) e provvedendo ad eventuali ritrasmissioni.*

### ***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato di sessione***

***Lo strato di sessione si occupa di aprire, gestire e sincronizzare la comunicazione tra due sistemi; pertanto:***

- ❖ controlla il dialogo tra i due sistemi, assicurando la loro reciproca comunicazione, in modo half duplex o full duplex;*
- ❖ frammenta le sessioni di comunicazione in un certo numero di flussi di dati più "piccoli" tra le applicazioni dei due processi, così che la reciproca comunicazione sia controllabile tramite "check-point" di "sincronizzazione".*

### ***Modello OSI: un richiamo riassuntivo – strato di presentazione***

***Lo strato di presentazione si preoccupa di controllare la sintassi e la semantica del flusso informativo scambiato tra due sistemi; pertanto:***

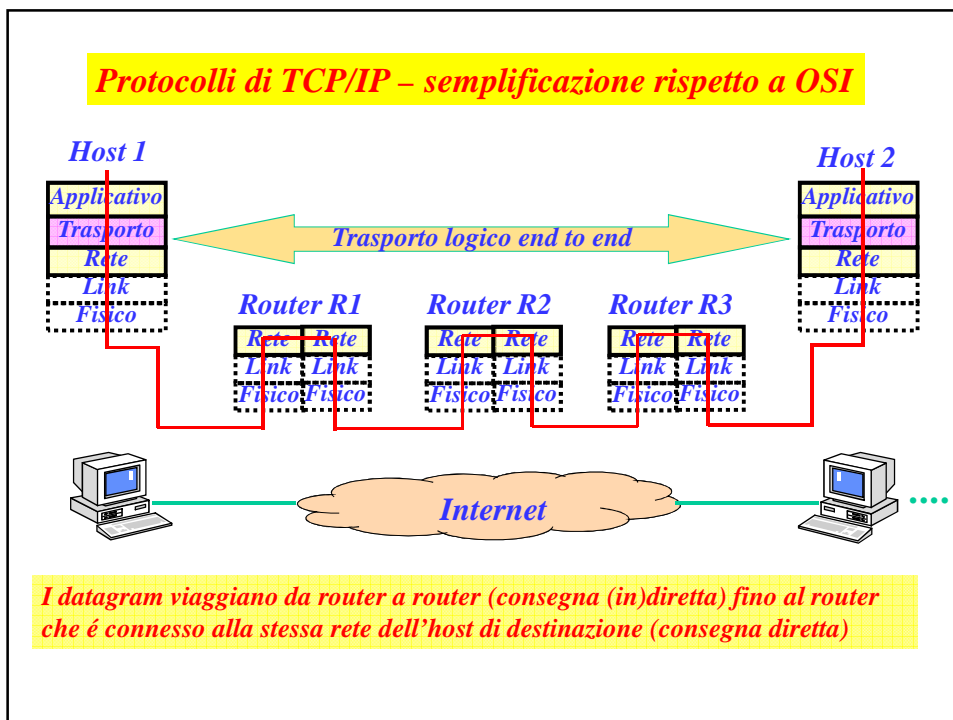
- ❖ provvede a “traslare” il formato dei dati: lo strato di presentazione del mittente cambia il formato dei dati (caratteri dei file di testo sullo schermo, file immagini, audio o video) da quello del mittente ad un formato comune, mentre lo strato del destinatario cambia il formato dei dati dal tipo comune a quello del destinatario: in sostanza, tale strato, rende i dati prodotti da una applicazione del sistema mittente “leggibili” da una simile applicazione del sistema destinatario destinazione;***
- ❖ si preoccupa della crittografia dei dati al sito del mittente, se è necessaria tale funzione di “sicurezza”; l’operazione, inversa, decrittografia, è effettuata al sito del destinatario;***
- ❖ comprime i dati, riducendo il numero totale dei bit contenuti nel messaggio, operazione importante con file audio, video o di testo.***

### ***Il modello OSI: un richiamo riassuntivo – lo strato applicativo***

***Lo strato applicativo consente all’utente di connettersi alla rete, garantendo l’interfaccia per i servizi, quali posta elettronica, l’accesso a file remoti e il loro trasferimento, la condivisione di data base, etc.***

***Tra i possibili servizi applicativi: X.400, per la gestione dei messaggi – posta elettronica; FTAM, File Transfer Access and Management, per file transfer; VTS, Virtual Terminal Service per remote terminal/access; X.500 per directory services): pertanto, compiti di tale strato sono:***

- ❖ realizzare un terminale virtuale di rete, versione software di un terminale fisico che consente ad un utente di gestire una sessione di lavoro su host remoti (il computer utente dialoga con il terminale virtuale, che dialoga con l’host, il quale “crede” di dialogare con un proprio terminale);***
- ❖ consentire accesso, gestione o trasferimento di file su host remoto;***
- ❖ fornire i servizi base per trasmettere e memorizzare la posta elettronica.***
- ❖ accedere a database distribuiti o a informazioni di vario genere.***



## *La multiplazione*



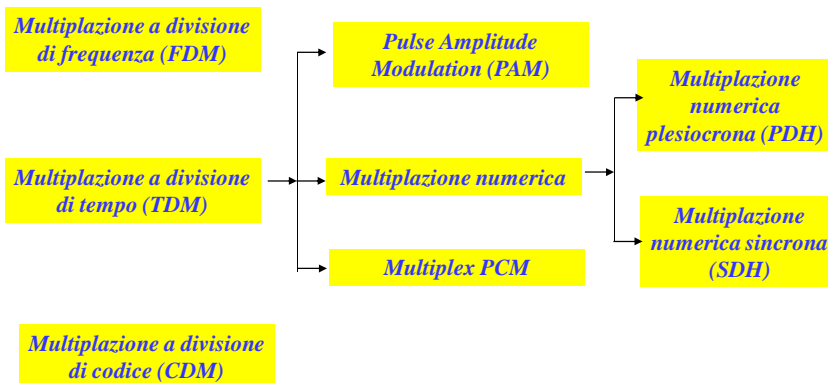
## **La moltipolazione**

*La moltipolazione consente la condivisione di un sistema trasmissivo tra una molteplicità di flussi informativi diversi (di differenti utenti o già “aggregati”), garantendone, nel contempo, la separabilità*

*Vi sono diverse tecniche moltipolazione:*

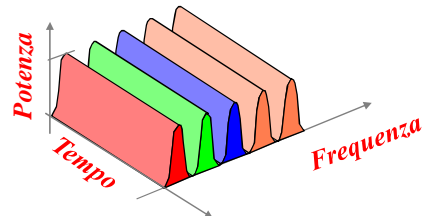
- ❖ *a “divisione di spazio” - ad ogni flusso informativo si assegna un diverso “portante” trasmissivo (ad es. gli utenti collegati alla centrale con doppiini telefonici);*
- ❖ *a “divisione di frequenza” (FDM) - ad ogni flusso informativo è assegnata una diversa banda frequenziale (ad es. gli utenti del TACS);*
- ❖ *a “divisione di tempo” (TDM) - ad ogni flusso informativo è assegnata un diverso “time slot” (ad es. le gerarchie numeriche PDH e SDH)*
- ❖ *a divisione di codice (CDM) - ad ogni flusso informativo è assegnata un diverso “codice” (ad es. i vari canali del sistema UMTS)*

## **La moltipolazione**



### *La moltiplicazione a divisione di frequenza*

*Ad esempio, Frequency Division Multiple Access, FDMA, accesso multiplo a divisione di frequenza.*



*Non c'è bisogno di sincronizzazione.*

*La complessità degli apparati è bassa.*

*Ma ...*

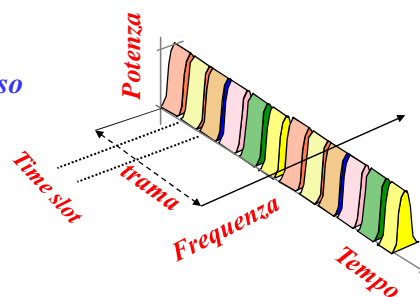
*Necessarie bande di guardia tra sottobande adiacenti: riduzione di efficienza.*

*Intermodulazione tra i diversi canali in presenza di non linearità.*

*Vi è un elevato numero di unità di trasmissione e ricezione.*

### *La moltiplicazione a divisione di tempo*

*Ad esempio, Time Division Multiple Access, TDMA, accesso multiplo a divisione di tempo.*



*Un solo apparato di trasmissione e ricezione per portante.*

*Non risente degli effetti di non linearità.*

*Ma ...*

*Necessari tempi di guardia tra slot temporali adiacenti: riduzione di efficienza.*

*Complessità elevata degli apparati.*

*Necessità di accurata sincronizzazione.*

### **La moltiplicazione a divisione di codice**

*Questa tecnica, nota anche come Spread-Spectrum (SS), si è sviluppata per applicazioni militari e adesso è popolare per l'accesso wireless.*

*Il nome Spread Spectrum nasce dal fatto che lo spettro di banda base del segnale viene molto espanso in modulazione.*

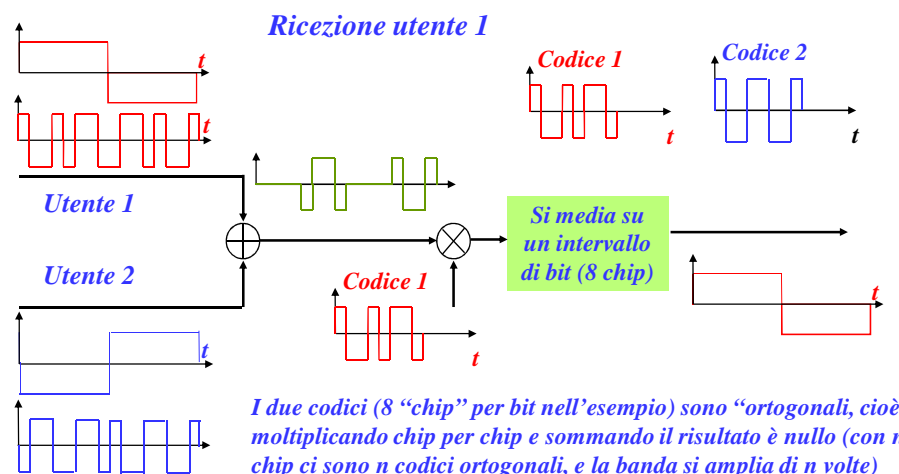
*Tale espansione non causa, come potrebbe sembrare, una riduzione di efficienza spettrale, perché, proprio per tale espansione, un gran numero di utenti può condividere simultaneamente la banda in modulazione.*

*Nella variante DS (Direct Sequence), i bit degli utenti sono moltiplicati per sequenze numeriche ad alta frequenza (ciò che causa l'espansione di banda); tali successioni sono tali (reciprocamente ortogonali) che il ricevitore riveli solo il segnale utile ignorando (o quasi) gli altri segnali.*

*Nella variante FH (Frequency Hopping) si cambia molte volte, nel tempo di bit, con una successione prestabilita, la portante di trasmissione.*

### **La moltiplicazione a divisione di codice**

*Ad esempio, Code Division Multiple Access, CDMA*



## *La moltiplicazione numerica*

## *La moltiplicazione numerica*

*Di regola, la capacità trasmissiva dei portanti disponibile è molto superiore a quella dei flussi informativi generati dalle varie applicazioni.*

*Di conseguenza, per un efficiente impiego di tali portanti, e pertanto per una convenienza tecnico economica, è necessario aggregare una molteplicità di tali flussi informativi, sino a saturare, almeno in parte, la capacità del mezzo trasmissivo.*

*In tale contesto, la moltiplicazione numerica consente l'affasciamento, a divisione di tempo, di vari flussi "tributari, che costituiscono il flusso "aggregato".*

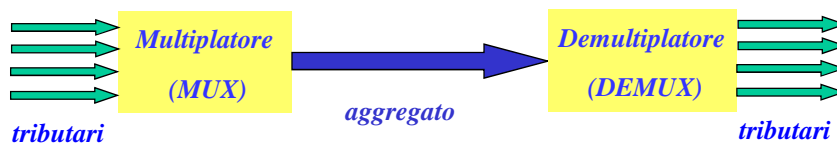
*Le apparecchiature che eseguono tale operazioni si dicono moltiplicatori; in ricezione, l'operazione inversa, demoltiplicazione, è eseguita dai demoltiplicatori.*

### **La moltipolazione numerica**

*La caratteristica della moltipolazione numerica è che i segnali da moltipolare sono già in forma numerica.*

*La moltipolazione è bit per bit o byte per byte, se nella moltipolazione si preleva, rispettivamente, un bit o un byte alla volta dai vari tributari.*

*Diversamente da quanto accade nel multiplex PCM, ove tutte le sincronizzazioni provengono da un unico orologio, nella moltipolazione numerica le sorgenti di temporizzazione sono diverse, essendo relative sia ai vari tributari sia all'aggregato: si pone, quindi, il fondamentale problema della loro sincronizzazione.*



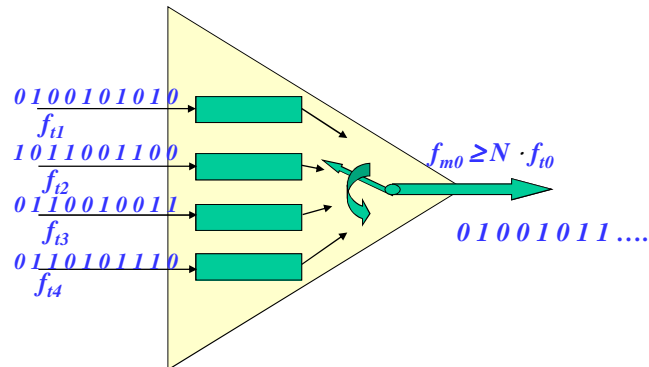
### **La moltipolazione numerica**

*Similmente a quanto accade per il multiplex PCM per fonia, il flusso aggregato ha una struttura di trama (in generale di durata diversa da quella del multiplex PCM, di 125  $\mu$ s).*

*La trama è composta dai flussi informativi dei tributari, payload, più una parte di over-head (extra-informazione), le cui funzioni sono:*

- *la sincronizzazione (o allineamento) di trama;*
- *la giustificazione, per compensare la eventuale assenza di sincronismo tra flussi tributari e flusso aggregati (si inseriscono bit privi di significato per adeguare la frequenza finale del flusso aggregato);*
- *supervisione e controllo del link trasmissivo, necessità di gestione (allarmistica, monitoraggio della qualità, canali ausiliari..).*

### La moltiplicazione numerica



**scrittura:** i bit degli  $N$  tributari sono scritti nei relativi buffer con frequenza di scrittura,  $f_m$ , pari alla propria frequenza istantanea di cifra

**lettura:** i buffer dei tributari sono letti, da moltiplicatore, ciclicamente, con frequenza di lettura  $f_{m0} \geq N \cdot f_{tn \max}$

### La moltiplicazione numerica – i “cronosegnali”

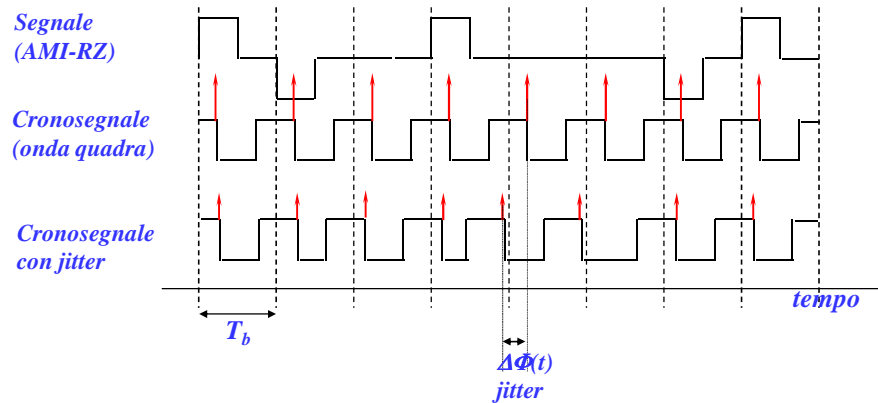
Per la classificazione e lo studio dei moltiplicatori numerici, è importante definire i “cronosegnali” associati ai diversi flussi numerici da moltiplicare.

Al riguardo, il cronosegnale è un segnale periodico, che definisce “istanti temporali caratteristici” mediante “eventi” univocamente (e semplicemente) individuabili; ad esempio:

- ❖ per un segnale “sinusoidale”, gli attraversamenti dello zero;
- ❖ per un segnale ad onda quadra, i fronti di salita o di discesa;
- ❖ per una segnale di tipo impulsivo, la posizione temporale degli impulsi.

## La moltiplicazione numerica – i “cronosegnali”

Di seguito si mostrano esempi di cronosegnali



## Classificazione temporale dei flussi numerici

Due flussi numerici sono detti:

**sincroni**: se i rispettivi cronosegnali hanno la stessa frequenza istantanea (pertanto la differenza di fase è costante);

**mesocroni**: se i rispettivi cronosegnali hanno esattamente la stessa frequenza media (a lungo termine), ma fase istantanea variabile;

**plesiocroni**: se i rispettivi cronosegnali hanno la stessa frequenza nominale e gli scostamenti del valore istantaneo delle varie frequenze dal valore nominale sono contenuti in un intervallo di tolleranza prefissato;

**eterocroni**: se i rispettivi i cronosegnali hanno frequenza nominale diversa;

### **Classificazione temporale dei flussi numerici**

Con riferimento ai sistemi di moltiplicazione e demoltiplicazione, si hanno i Moltiplicatori mesocroni (geralmente denominati **sincroni**), i cui tributari hanno tutti la stessa frequenza **media** di cifra

i Moltiplicatori plesiocroni (geralmente denominati **asincroni**), i cui tributari hanno frequenze **solo nominalmente uguali**, ma le cui fluttuazioni, rispetto alla frequenza nominale, sono circoscritte **entro intervalli specificati** (per esempio, per il multiplex PCM @ 2.048 Mbit/s tale intervallo è  $\pm 50$  ppm)

### **Degradazione della sincronizzazione**

In una rete geograficamente molto estesa, anche se i segnali fossero originariamente sincroni, tale sincronia sarebbe perduta nell'attraversamento della rete (sia lungo i link trasmissivi, sia all'interno dei nodi della rete), a causa di una molteplicità di fenomeni:

- fluttuazione, nel tempo, della velocità di propagazione dei mezzi trasmissivi, e, quindi, del corrispondente tempo di propagazione;
- jitter dovuto ai meccanismi di stuffing (descritti in seguito) nei moltiplicatori;
- jitter nei processi di estrazione della temporizzazione nei vari ricevitori;
- instabilità degli orologi asserviti.

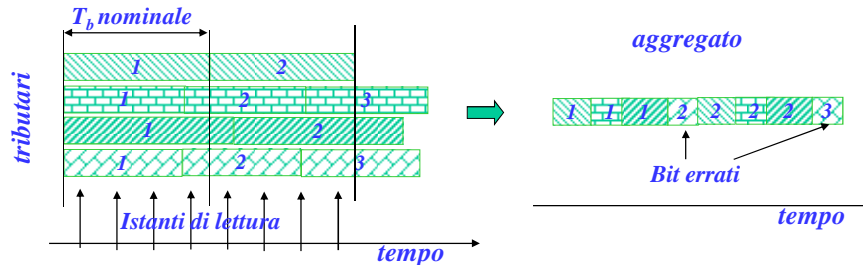
Geralmente, le fluttuazioni di fase sono dette:

- jitter se sono "veloci"
- wander se sono "lente" (con frequenza minore di 10Hz)



### **Sincronizzazione dei flussi mesocroni**

*Per i meccanismi detti, se i tributari non sono sincroni, ma mesocroni, con l'aggregato, la moltiplicazione non può essere eseguita correttamente.*



*Per ovviare a ciò, su ciascuna interfaccia dei tributari deve essere inserito un "buffer" ove memorizzare i bit dei tributari stessi:*

- *per inserire quando occorre l'overhead (parola di allineamento, bit di servizio ..);*
- *per risincronizzare i tributari, ovviando alle differenze istantanee di fase.*

### **Multiplazione "sincrona" e "asincrona"**

*La multiplazione di flussi mesocroni è, quindi, possibile, in modo assai semplice, impiegando memorie tampone (i buffer, appunto) di lunghezza adeguata, per assorbire le variazioni istantanee di fase; tale semplicità era un punto di forza per la tecnologia disponibile all'epoca della prima numerizzazione della rete.*

*D'altronde, all'aumentare della lunghezza e della complessità dei collegamenti, deve aumentare anche la capacità di tali buffer, che risulta di difficile dimensionamento se la rete, oltre che estesa, è molto complessa.*

*Il problema, agli albori della nascita delle reti numeriche si presentava, quindi, assai complesso, acuito, inoltre, dall'introduzione in rete delle centrali numeriche, ciascuna delle quali imponeva la propria temporizzazione alla parte di rete numerica ad essa connessa.*

### ***Multiplazione “sincrona” e “asincrona”***

*Quindi, se non si voleva rendere sincrona tutta la rete nazionale, obiettivo in quegli anni tecnologicamente di difficile conseguimento, per la difficoltà di distribuire in modo efficiente ed affidabile tale sincronizzazione a tutta la rete, bisognava abbandonare l'idea di avere tutti gli apparati sincroni sulla rete stessa.*

*La soluzione fu la multiplazione asincrona (plesiocrona), in cui i segnali tributari possono avere frequenze di cifra diverse ed indipendenti, solo nominalmente uguali a quelle del clock di lettura del multiplatore.*

*Ne derivarono macchine molto semplici, pienamente adeguate alle limitate possibilità tecnologiche di quegli anni; ne derivarono, anche, parecchie criticità, in primis la scarsa flessibilità di gestione della rete, con difficoltà per riconfigurare e proteggere il traffico, e la necessità di demultiplare completamente il segnale di linea fino al livello gerarchico del tributario da estrarre.*

### ***La multiplazione numerica plesiocrona***

### ***La moltiplicazione numerica plesiocrona***

*Come già detto, nella tecnica plesiocrona di moltiplicazione i cronosegnali delle sorgenti tributarie hanno tra loro frequenze solo nominalmente uguali, ma di fatto diverse e indipendenti (tributari plesiocroni).*

*Inoltre, il cronosegnale del multiplex numerico non è in rapporto fisso con le frequenze istantanee di cifra dei tributari.*

*La sincronizzazione di cifra, per ovviare al fenomeno dello “slip”, viene realizzata con la tecnica di “giustificazione di bit” (per analogia con la tecnica tipografica), detta anche “pulse stuffing”. Lo stuffing (“riempimento”) è gestito a livello di ciascun tributario.*

*I formati di moltiplicazione PDH sono specificati nella Raccomandazione ITU-T G.702, mentre le relative caratteristiche elettriche e fisiche delle interfacce sono indicate nella Raccomandazione ITU-T G.703.*

### ***La moltiplicazione PDH - slip di sincronizzazione***

*In presenza di differenze sistematiche nella frequenza media tra scrittura e lettura (alla base della moltiplicazione plesiocrona), se non si prendono precauzioni, è inevitabile che vi siano, ripetitivamente “riempimenti” o “svuotamenti” del buffer (ovvero slip “periodici”).*

*Nel caso di slip periodici, se  $f_S$  e  $f_L$  sono, rispettivamente, le frequenze di scrittura e lettura del buffer tampone, e  $N$  la sua dimensione in bit, la frequenza giornaliera di slip è data da*

$$f_{slip} = 86400 \cdot \frac{|f_L - f_S|}{N} \quad (\text{slip/giorno})$$

*La limitata precisione di frequenza degli apparati genera una frequenza di slip assolutamente inaccettabile, se non si prendono precauzioni, appunto tramite la tecnica della giustificazione.*

### **La moltiplicazione PDH – pulse stuffing**

*Da quanto detto in precedenza, si evince facilmente la filosofia della tecnica del pulse stuffing*

*All'ingresso del moltiplicatore i bit dell' n-esimo tributario sono scritti nella relativa memoria di moltiplicazione con la frequenza di scrittura,  $f_{in}$ , estratta dal flusso numerico del tributario stesso.*

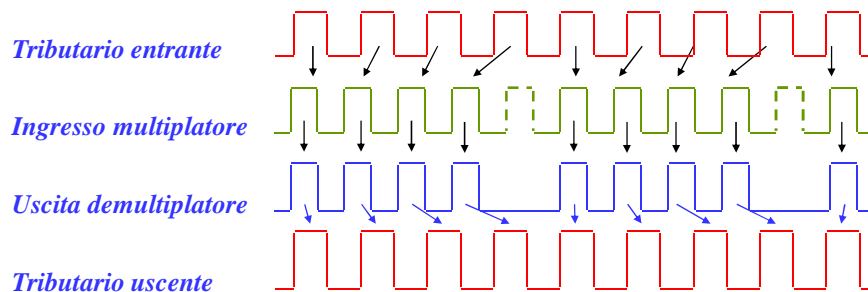
*La frequenza di lettura  $f_{ro}$ , ricavata dall'orologio locale, ha un valore leggermente maggiore di quello massimo ammesso per tutte le frequenze di scrittura (frequenze di cifra dei possibili tributari).*

*In tali condizioni, è sistematico il progressivo “svuotamento” delle memorie*

### **La moltiplicazione PDH – pulse stuffing**

*L'effettivo “svuotamento” del buffer di lettura si evita, semplicemente, inserendo nel flusso binario di tributario bit privi di significato (stuffing), dando, quindi, possibilità al buffer di riempirsi nuovamente.*

*I bit di stuffing, non essendo bit del flusso originario, devono essere segnalati al demoltiplicatore, affinché esso possa rimuoverli.*



### **La moltiplicazione PDH – pulse stuffing**

*Operativamente, il grado di “svuotamento” del buffer di lettura è rilevabile comparando l’indirizzo di lettura e scrittura del buffer.*

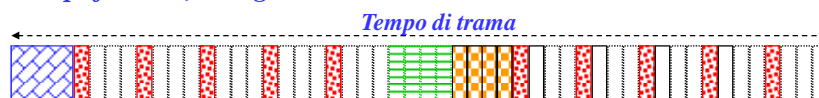
*Quando si è prossimi allo “svuotamento”, cioè se l’indirizzo di lettura è troppo “vicino” a quello di scrittura, la lettura del buffer del tributario è inibita, ma solo in corrispondenza di predeterminate posizioni della trama del segnale multiplex numerico (opportunità di giustificazione).*






*In tali posizioni, sono quindi inseriti bit di stuffing non significativi, la cui presenza o assenza è segnalata al demultiplicatore da una parola inserita in punti determinati della trama (segnalazione di stuffing).*

*Il meccanismo descritto semplifica la realizzazione delle apparecchiature, ma introduce una fonte di jitter: l’inibizione della lettura non avviene, infatti, quando è necessario per mantenere costante la sincronizzazione, ma solo nei predetti tempi destinati alle opportunità di giustificazione.*

### **La moltiplicazione PDH – pulse stuffing**

*L’organizzazione della trama, potrebbe essere, quindi, a puro titolo esemplificativo, la seguente*



-  *Bit di overhead*
-  *Bit di un tributario*
-  *Bit dei messaggi di giustificazione (C)*
-  *Bit di opportunità di giustificazione (S)*
-  *Bit degli altri tributari*

*Nel caso di pulse stuffing positivo, se  $C = 0$ ,  $S$  è un bit del tributario, se  $C = 1$ ,  $S$  è un bit di “riempimento”.*

*Nel caso di pulse stuffing negativo: se  $C = 0$ ,  $S$  è un bit di “riempimento”, se  $C = 1$   $S$  diventa un bit del tributario*

### ***Il Moltiplatore Plesiocrono***

*Si scrivono i bit del tributario di ingresso nella memoria tampone con un clock estratto dal flusso del tributario.*

*Si legge la memoria con un clock a frequenza lievemente superiore alla massima frequenza di scrittura dei vari tributari.*

*Essendo la velocità di lettura superiore a quella di scrittura, onde evitare lo “svuotamento” della memoria il moltiplatore inserisce, quando necessario, ma in istanti prefissati di tempo (per semplificare la procedura di moltipolazione e demoltipolazione, sebbene ciò generi jitter da “tempo d’attesa”), un bit senza significato (di stuffing), segnalandolo, ovviamente, al demoltiplatore.*

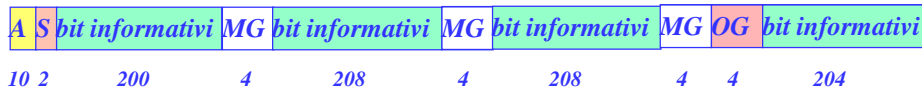
*Devono, chiaramente, essere rispettate opportune condizioni sulle frequenze dei tributari e del moltiplatore.*

### ***Gerarchia PDH Europea***

<i>livello</i>	<i>Frequenza nominale</i>	<i>Numero canali telefonici</i>	<i>Periodo di trama</i>	<i>Tolleranza di frequenza</i>	<i>Interfaccia di centrale</i>	
<i>E1</i>	<i>2.048 Mbit/s</i>	<i>30</i>	<i>125 μs</i>	<i>±50 ppm</i>	<i>HDB3</i>	<i>Mux PCM primario</i>
<i>E2</i>	<i>8.448 Mbit/s</i>	<i>120</i>	<i>≈100 μs</i>	<i>±30 ppm</i>	<i>HDB3</i>	<i>4 ×E1 (in disuso)</i>
<i>E3</i>	<i>34.368 Mbit/s</i>	<i>480</i>	<i>≈44.7 μs</i>	<i>±20 ppm</i>	<i>HDB3</i>	<i>4 ×E2</i>
<i>E4</i>	<i>139.264 Mbit/s</i>	<i>1920</i>	<i>≈21 μs</i>	<i>±15 ppm</i>	<i>CMI</i>	<i>4 ×E3</i>
<i>E5</i>	<i>564.992 Mbit/s</i>	<i>7680</i>	<i>≈4.8 μs</i>	<i>±15 ppm</i>	<i>Non definita</i>	<i>4 ×E4 (non è stato mai completamente standardizzato)</i>

### **La moltiplicazione PDH – struttura delle trame PDH europea**

*2/8 Mbit/s 848 bit, durata trama di  $\approx 100 \mu\text{s}$*



*8/34 Mbit/s 1536 bit, durata trama di  $\approx 44.7 \mu\text{s}$*



*34/140 Mbit/s 2928 bit, durata trama di  $\approx 21 \mu\text{s}$*



*A - parola di allineamento*

*S - bit di servizio*

*MG - messaggi di giustificazione*

*OG - bit di opportunità di giustificazione*

### **La moltiplicazione PDH – capacità di sincronizzazione**

*2/8 Mbit/s 848 bit, durata trama di  $\approx 100 \mu\text{s}$*



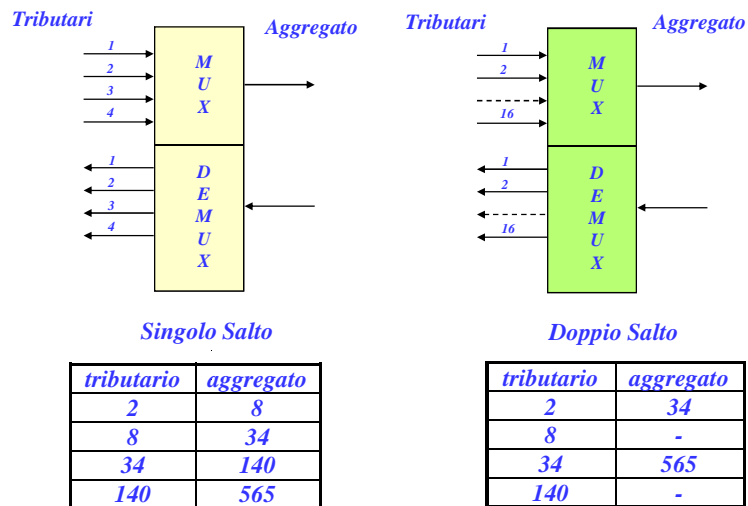
*Per comprendere come la struttura indicata consenta di sincronizzare apparati con clock diversi, si consideri, ad es., il flusso @ 8.448 Mbit/s.*

*I bit destinati ai tributari, per ogni trama, sono 820 su 848, quindi 205 bit per tributario per trama, più il bit di stuffing (OG): pertanto, in ogni trama possono essere trasmessi 205 o 206 bit per tributario.*

*La frequenza del tributario può variare, allora, tra 8.448 (205/848) Mbit/s e 8.448 (206/848) Mbit/s, ovvero tra 2.042264 Mbit/s e 2.052226 Mbit/s.*

*I sistemi @ 2.048 Mbit/s hanno una tolleranza di  $\pm 50$  ppm, quindi il clock va da 2.0481024 a 2.0478967 Mbit/s, ed è compreso, con molto margine, nel predetto intervallo.*

### Schema generale di un Moltiplicatore PDH

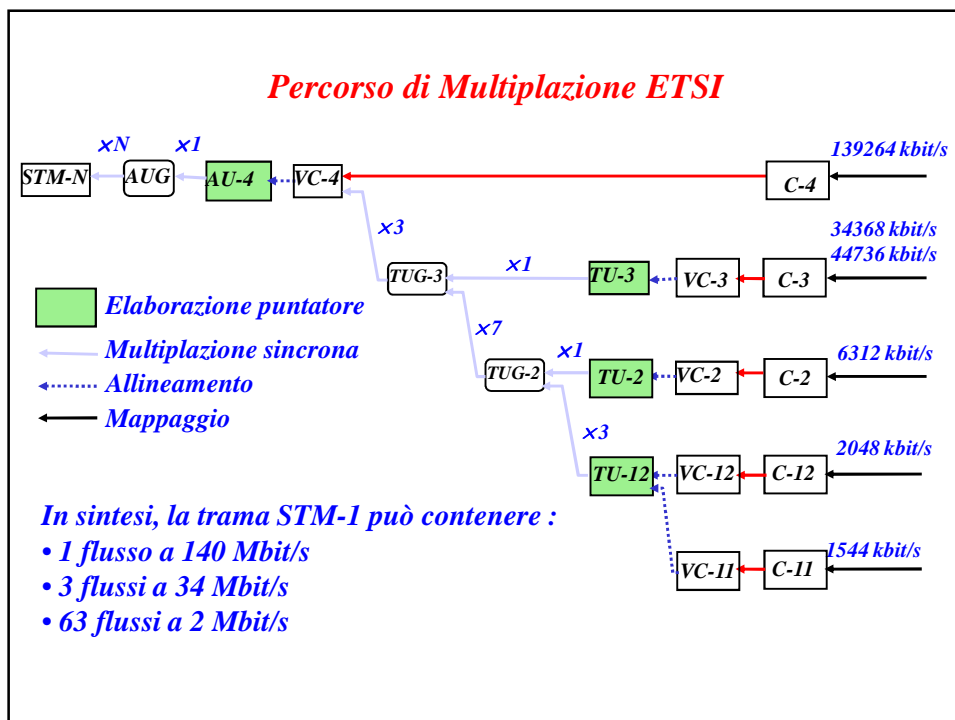
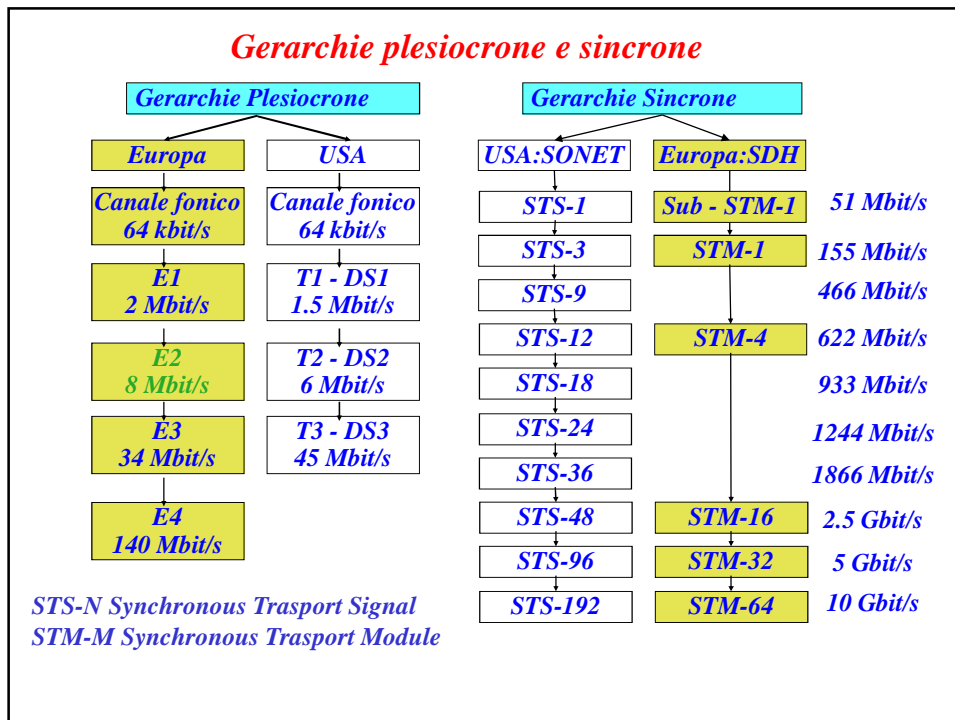


### Livelli gerarchici SDH e SONET

La gerarchia di moltiplicazione SDH é articolata su quattro livelli (ITU-T G.707), **comunque basati su trame lunghe 125  $\mu$ s**

- i segnali dei livelli gerarchici del sistema SDH sono denominati **STM-N** (Synchronous Transport Module, livello N)
- i segnali dei livelli gerarchici del sistema SONET sono denominati **STS-N** (Synchronous Transport Signal, livello N) oppure **OC-N** (Optical Carrier, livello N)





### ***Percorso di Multiplazione ETSI***

*L'avvento della gerarchia SDH non ha eliminato la gerarchia PDH: gli apparati SDH devono affasciare anche segnali provenienti dalla rete PDH.*

*A seconda del bit rate del tributario asincrono, è necessario eseguire successive multiplazioni per ottenere il 155 Mbit/s (STM-1), primo livello della gerarchia SDH.*

*Sono previste architetture di multiplazione (ITU, ETSI), che consentono di inserire i flussi PDH (2 Mbit/s, 34 Mbit/s, 140 Mbit/s) nella struttura SDH.*

*I flussi di ingresso sono inseriti in container, canali dati di dimensioni fisse, sufficienti a contenere flussi PDH, onde trasportarli nel flusso SDH.*

### ***Percorso di Multiplazione ETSI***

*A partire dal 2 Mbit/s, aggregando 3 unità tributarie, TU-12, si forma il gruppo di unità tributarie TUG-2.*

*Aggregando 7 TUG-2 si forma il TUG-3 che, in alternativa, può essere formato da un flusso PDH a 34 Mbit/s.*

*Aggregando 3 gruppi di unità tributarie TUG-3 si forma il modulo di trasporto sincrono di primo livello STM-1 a 155 Mbit/s.*

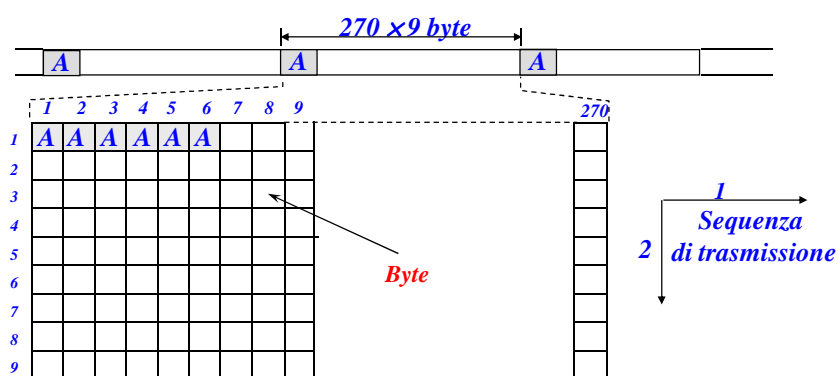
*L' STM-1 può essere realizzato direttamente da un flusso PDH a 140 Mbit/s.*

### Percorso di Multiplazione ETSI

Si considerano i seguenti tipi di relazioni tra strutture numeriche:

- **mapping** di un carico informativo (ad esempio un segnale PDH) in un Container (con eventuale giustificazione – stuffing - per inserire un segnale a frequenza variabile in un Container di dimensione fissa)
- **multiplazione sincrona** di una o più strutture numeriche in un'altra (ad esempio mediante interallacciamento byte a byte, aggiunta di byte) con relazione fissa di fase
- **allineamento di fase** di una struttura dentro un'altra con codifica della relazione di fase in un puntatore

### Rappresentazione della trama STM-1

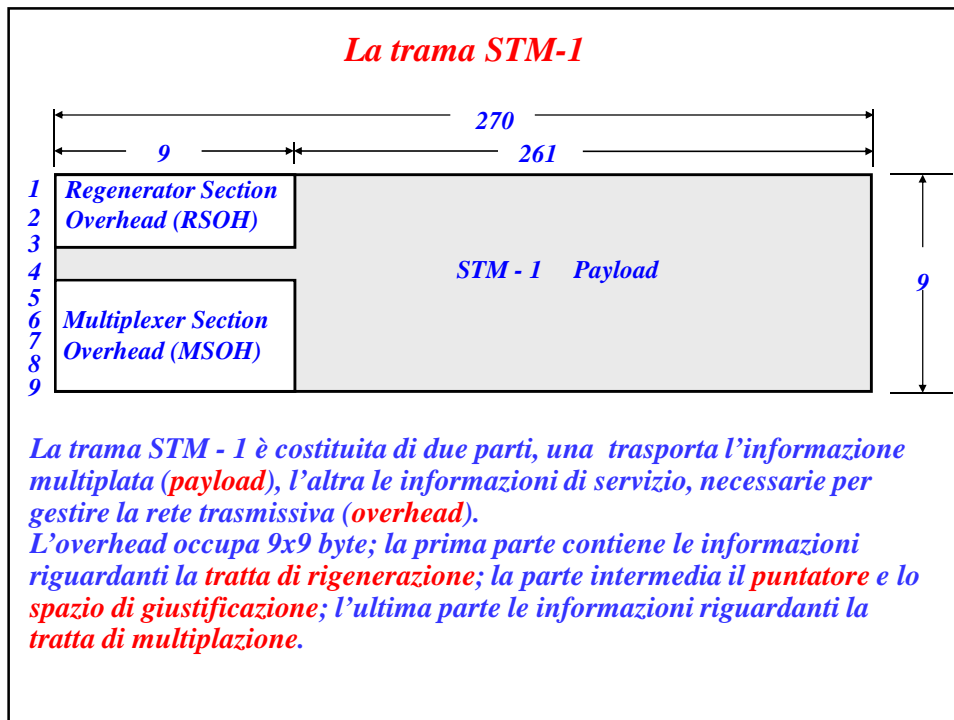


Periodo di trama  $T = 125 \mu\text{s}$

$$f_c = 270 \times 9 \times 8 \times (1/T) = 155.520 \text{ Mbit/s}$$

$A =$  Parola di allineamento

Ogni byte  $8 \text{ bit}/(125 \cdot 10^{-6} \text{ s}) = \text{canale a } 64 \text{ kbit/s}$



### **Rappresentazione della trama STM-1**

*La trama STM-1 è ottenuta attraverso una moltiplicazione byte a byte.*

*L'inizio della trama è identificato dalla **parola di allineamento** (6 byte).*

*Per comodità di rappresentazione logica, la trama viene rappresentata con una struttura a matrice (la trasmissione è da sinistra a destra e dall'alto in basso), in cui ogni elemento è un byte (canale a 64 kbit/s).*

*La matrice ha 9 righe e 270 colonne - 2430 byte (19440 bit) - e l'intera trama è trasmessa in 125  $\mu$ s.*

*Section Overhead è diviso in **Regenerator Section OverHead (RSOH)** e **Multiplexer Section OverHead (MSOH)** e svolge funzioni di allineamento di trama, monitoraggio delle prestazioni, trasporto di informazioni di gestione*

*Il **Puntatore AU** indica dove leggere il carico pagante*

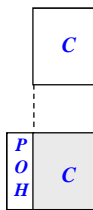
### **Percorso di multiplazione – Il contenitore**



Contenitore (C)

**Contenitore:** struttura dati che consente il caricamento (mapping) dei flussi plesiocroni adattando la velocità del tributario al clock del moltiplicatore sincrono

### **Percorso di multiplazione - Il contenitore virtuale**



Contenitore (C)

Contenitore Virtuale (VC)  
= Contenitore + POH

**Contenitore virtuale** (di livello inferiore VC-11, VC-12, VC-2): insieme del contenitore e delle informazioni ausiliare per la supervisione e il controllo del contenitore stesso, queste informazioni sono create all'ingresso del mondo SDH ed analizzabili durante l'intero cammino (path) attraverso l'SDH.

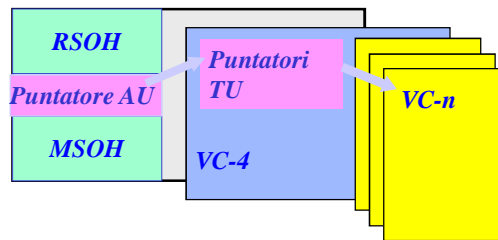
I Contenitori Virtuali (di livello superiore o inferiore) sono utilizzati per le connessioni dello strato di cammino (tra punti di accesso alla rete SDH, per trasportare dati di utente).

### **Percorso di moltiplicazione - Il contenitore virtuale**

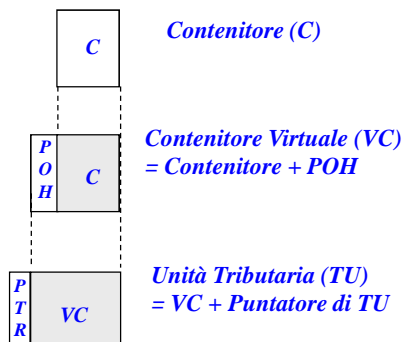
*I Virtual Container (VC) sono l'elemento di base più innovativo rispetto al sistema PDH: è "virtuale" poiché tali strutture logiche esistono solo all'interno di STM-N; è un "contenitore" in quanto tali strutture contengono le informazioni degli strati "clienti".*

*Il Virtual Container è un insieme strutturato di byte ove è possibile inserire i bit di un tributario (ad esempio un flusso PDH) o altre strutture numeriche.*

*I Virtual Container sono accessibili in modo **individuale ed indipendente** tramite un puntatore ad essi associato nel processo di moltiplicazione sincrona.*



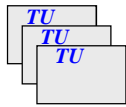
### **Percorso di moltiplicazione – l'Unità Tributaria**



**Unità tributaria (TU):** struttura dati che trasporta il VC e le informazioni necessarie a gestire il sincronismo tra VC e NE. Il VC è l'entità che può essere inserita (add), tralata e prelevata (drop) nel flusso aggregato. I VC, a parte quelli creati all'interno del moltiplicatore, sono mesocroni rispetto al clock dell'elemento di rete (NE Network Element).

*Quindi, il contenitore virtuale è trasportato dalla unità tributaria, temporizzata dal clock del NE, sincronizzandolo con la giustificazione. L'SDH tiene traccia della posizione del Virtual Container all'interno dell'Unità Tributaria con un puntatore che fa parte dell'Unità Tributaria, inserito in essa in posizione prestabilita e fissa.*

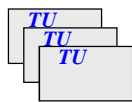
### Percorso di moltiplicazione – Gruppi di Unità Tributarie



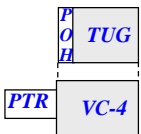
Gruppo di Unità  
Tributarie (TUG)

**Gruppi di unità tributaria:**  
struttura dati ottenuta  
semplicemente moltiplicando le  
unità tributarie o gruppi di  
unità tributarie di livello  
inferiore. Da notare che la  
moltiplicazione **non presenta**  
**alcun problema** essendo le unità  
da affasciare sincrone con il  
NE.

### Percorso di moltiplicazione – Contenitori Virtuali di livello superiore, Unità Amministrativa e Gruppo di Unità Amministrative

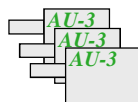


Gruppo di Unità  
Tributarie (TUG)



VC-4 (VC di ordine superiore)  
= TUG + POH

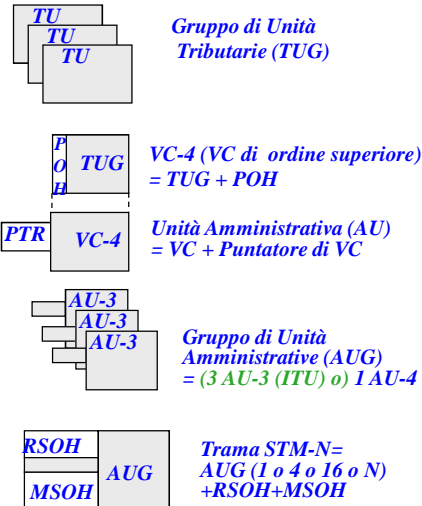
Unità Amministrativa (AU)  
= VC + Puntatore di VC



Gruppo di Unità  
Amministrative (AUG)  
= (3 AU-3 (ITU) o) 1 AU-4

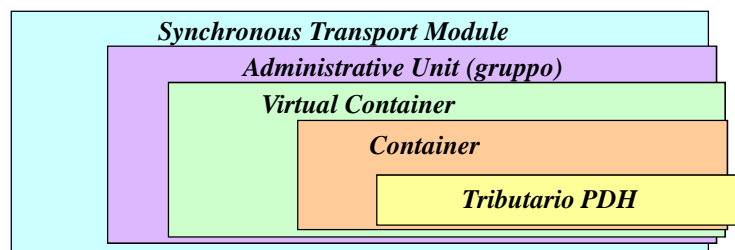
**Contenitore virtuale** (di livello  
superiore VC-4, VC-3) **Unità**  
**Amministrativa e Gruppo di**  
**Unità Amministrative**  
svolgono funzioni analoghe  
rispettivamente al contenitore  
virtuale di livello inferiore,  
all'unità tributaria e al gruppo  
di unità tributaria a livello  
gerarchico superiore.

**Percorso di multiplazione – Modulo di Trasporto Sincrono**



**Modulo di trasporto Sincrono:** struttura dati scambiata tra gli apparati SDH costituita dalla multiplazione di Gruppi di Unità Amministrative e dalle informazioni ausiliare per la supervisione ed il controllo del collegamento.

**Percorso di multiplazione – una sintesi**



STM ← AU4 ← VC4 ← C4 ← Tributario PDH

Multiplicazione

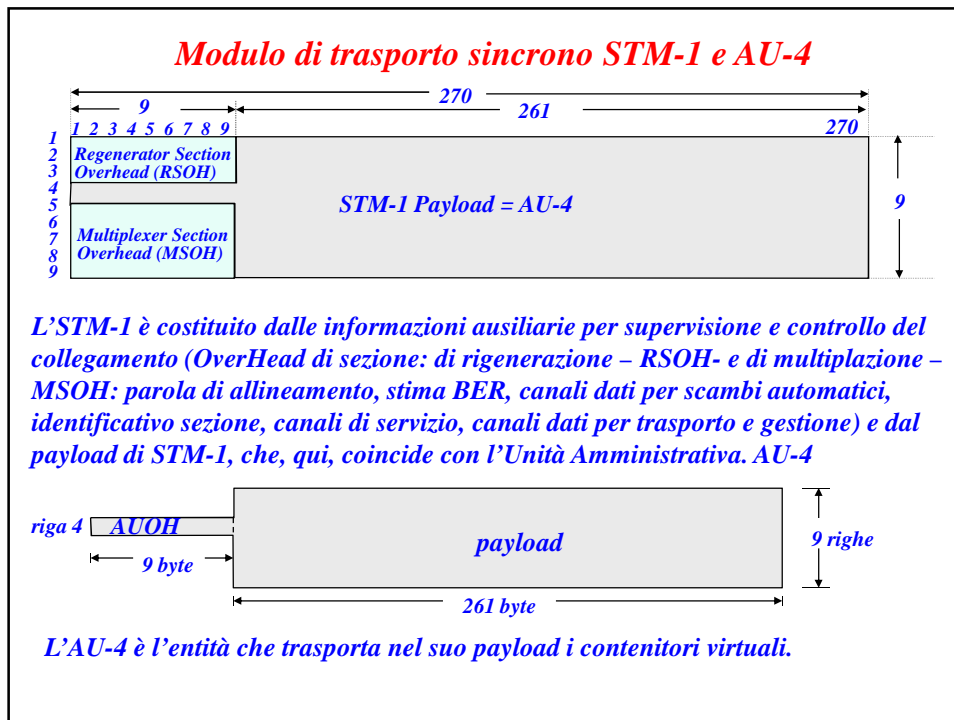
Allineamento di fase

Multiplicazione

Mappaggio

Nello schema ETSI, AUG e AU-4 coincidono





### **Tecnica di Multiplazione**

*Nel sistema SDH la multiplazione è realizzata tramite interallacciamento di otetto, ovvero byte interleaving, a tutti i livelli gerarchici.*

*Nello schema successivo, tale tecnica è illustrata con particolare riferimento alla multiplazione di 4 AUG in una trama STM-4.*

*La modalità di multiplazione detta è possibile per la sincronizzazione dei diversi tributari, col che essi sono rigidamente allocati entro la trama SDH.*

*Questo fatto, che, come più volte ripetuto, permette inserzioni e disinserzioni immediate di tributari, è uno dei più importanti punti di forza dei sistemi SDH.*

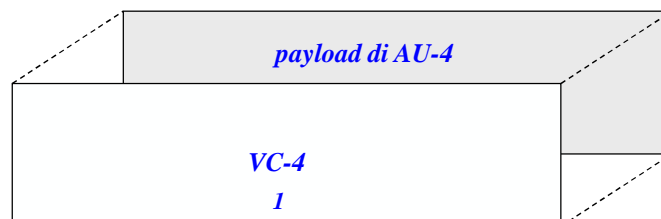


### **Sistemi SDH**

- *Evoluzione dei sistemi di moltiplicazione – dal PDH all’SDH*
- *Percorsi di moltiplicazione e struttura della trama SDH*
- ***Inserimento di flussi plesiocroni nella rete SDH***
- *Stratificazione della Rete Trasmissiva SDH*
- *Impiego delle informazioni di overhead*
- *Apparati e rete SDH*

### **Possibili caricamenti del payload dell’AU-4 → 1VC-4**

*I tipi di contenitori caricabili nel payload di AU-4 possono essere di varia capacità nel rispetto della capacità massima: ad es. 1 VC-4 (140 Mbit/s).*



*Si possono avere caricamenti con contenitori uguali o misti rispettando le regole di equivalenza:*

- ❖ *1 VC-4 = 3 VC-3; 1 VC-3 = 7 VC-2; 1 VC-3 = 21 VC-12;*
- ❖ *un VC-3 può contenere un 45 Mbit/s o un 34 Mbit/s.*



### Contenitori concatenati

*Per trasportare flussi aventi capacità che non si adattano a quelle fornite dai contenitori virtuali, si possono definire strutture più adatte tramite la modalità di concatenazione.*

*Ad esempio un contenitore VC-4-Xc (X VC-4 concatenati) è costituito da più C-4 contigui all'interno di un flusso STM-N. La struttura di trama è formata da 9 righe e X×260 colonne di carico utile più X-1 colonne di riempimento fisso e una colonna per l'overhead del VC-4-Xc.*

