

Commutazione di circuito

Multiplazione PCM

Multiplazione numerica PDH

Stefano Salsano
stefano.salsano@uniroma2.it

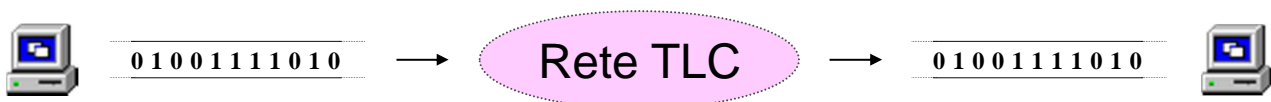
Fondamenti di Telecomunicazioni - AA2012/13

1

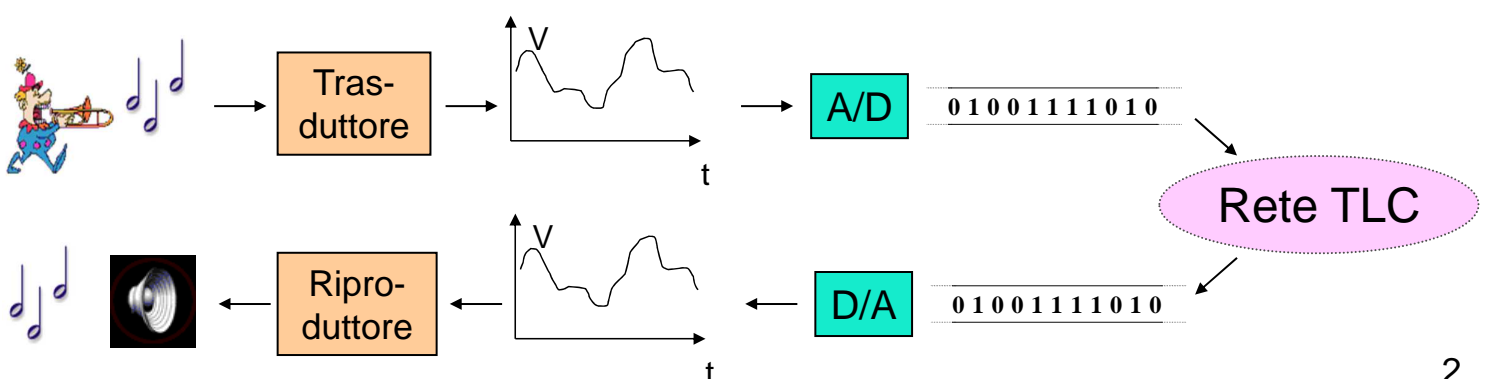
La Natura Digitale dell'Informazione

L'informazione scambiata nelle moderne reti (numeriche) è in forma digitale, cioè come sequenza di cifre binarie **1** o **0** (bit=Binary digiT).

☞ Informazione intrinsecamente digitale → Dati



☞ Informazione digitalizzata proveniente da sorgenti analogiche

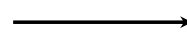


2

Trasferimento dell'informazione digitale nella rete

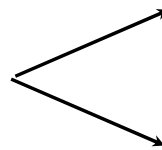
- Vi sono fondamentalmente due modalità per trasferire l'informazione digitale attraverso la rete

modalità a circuito



Orientata alla connessione

modalità a pacchetto



Orientata alla connessione

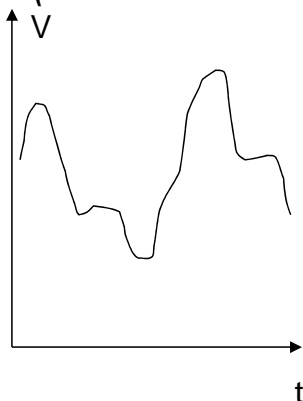
Senza connessione

3

Conversione A/D

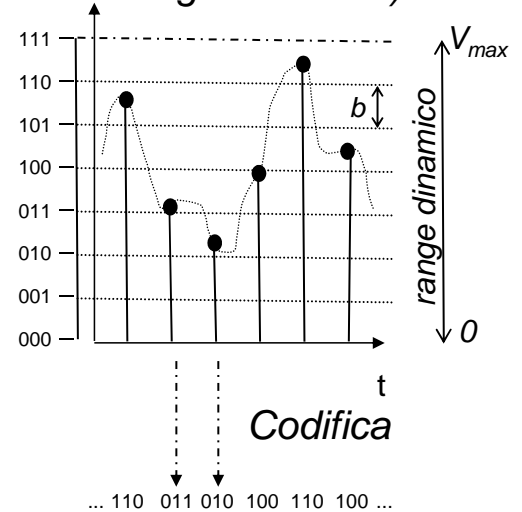
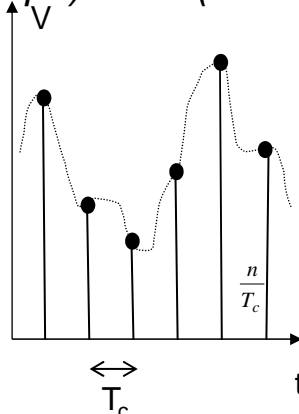
Campionamento

(discretizzazione nel tempo)



Quantizzazione

(discretizzazione nel range dinamico)



T_c intervallo di campionamento (sec)

$f_c=1/T_c$ frequenza di campionamento (Hz)

n bits di codifica per campione

($\rightarrow 2^n$ intervalli di quantizzazione di ampiezza $b = \frac{V_{\max}}{2^n - 1}$)

Ritmo di emissione o *bit-rate*:

$$R = n \cdot f_c = \frac{n}{T_c}$$

Es. codifica PCM per la voce:

$f_c=8\text{KHz}$ $T_c=125\mu\text{s}$ $n=8$

$P=64\text{Kb/s}$

4

Nella slide precedente abbiamo visto che la conversione A/D produce N bit ogni T_c secondi.

Possiamo quindi definire il ritmo di emissione R della sorgente, cioè il numero di bit emessi nell'intervallo di tempo come:

$$R = N_b/T_c = N_b \cdot f_c \text{ [b/s]}$$

Il ritmo di emissione di una sorgente è un parametro fondamentale per valutare il servizio che la rete dovrà offrire alla sorgente, cioè le capacità trasmissive che dovranno essere impiegate per trasportare il flusso generato dalla sorgente.

Nella slide successiva viene rappresentato il processo inverso, cioè la conversione Digitale/Analogica. Tale processo consente di convertire un flusso di bit in una forma d'onda analogica, che dovrebbe essere quanto più fedele possibile alla forma d'onda originale.

Dal flusso di bit vengono estratte le sequenze di bit che rappresentano i valori discreti di tensione, quindi un generatore di tensione controllato fornisce negli istanti di riferimento il valore di tensione corrispondente a tale valore, infine viene prodotto un segnale in uscita che “interpola” in forma continua i valori discreti.

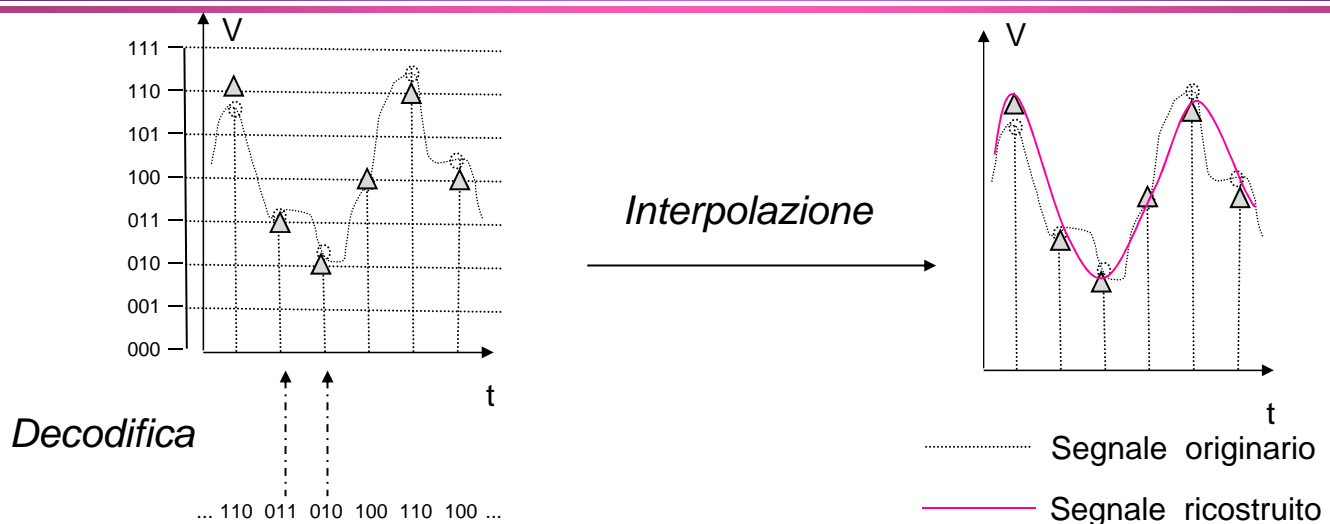
Nella figura si vede che la distanza tra il segnale originale e quello ricostruito dipende:

- (1) dall'errore di quantizzazione
- (2) dal fatto che il segnale potrebbe avere delle oscillazioni tra due istanti di campionamento non riprodotte dalla interpolazione

Il primo fenomeno si controlla riducendo gli intervalli di quantizzazione cioè aumentando il numero N_b di bit per campione.

Il secondo fenomeno è possibile se l'intervallo di campionamento è troppo lungo, ossia la frequenza di campionamento è minore di due volte la banda B del segnale.

Conversione D/A



Il segnale ricostruito è tanto più simile a quello originario quanto...

- ☞ ...minore è l'intervallo di campionamento T_c \longrightarrow maggiore freq. di camp. f_c
- ☞ ...minore è l'intervallo di quantizzazione b \longrightarrow maggior numero n di bits di cod.

migliore qualità di riproduzione	\longleftrightarrow	maggiore ritmo di emissione (<i>bit-rate</i>)
--	-----------------------	---

Conversione analogico-digitale

- Ogni segnale analogico tempo-continuo $s(t)$ può essere convertito in forma numerica attraverso due operazioni
- Si rende discreto l'asse temporale (campionamento)
 - » Si sostituisce il segnale analogico tempo-continuo con una serie di campioni analogici (teorema del campionamento: $f_c \geq 2B$)
- Si rende discreto l'asse delle ampiezze (quantizzazione)
 - » l'ampiezza analogica dei campioni che ricadono in un intervallo è approssimata con un singolo valore (ampiezza quantizzata)
 - » ad ogni intervallo dell'asse si associa un numero
 - » la quantizzazione di solito non è uniforme

9

Multiplazione numerica TDM

- I flussi tributari sono inseriti in un flusso aggregato
- Il flusso aggregato ha una struttura di trama
- Nella trama si distinguono le informazioni provenienti dai flussi tributari più una parte di over-head (extra-informazione)
- L'over-head consente di effettuare le funzioni di:
 - » sincronizzazione (allineamento) di trama
 - » giustificazione: per compensare la mancanza di sincronizzazione
 - » supervisione, controllo del link trasmissivo, gestione

10



Dove siamo ?



- **Tecniche di multiplazione, PCM e PDH**
 - »
 - » **Multiplazione numerica PCM**
 - » **Multiplazioni numeriche, multiplazione plesiocrona, PDH**
- **SDH, multiplazione, apparati e reti**
 - » **Multiplazione sincrona**
 - » **Motivazioni per l'SDH**
 - » **Stratificazione, Trama SDH**
 - » **Puntatori e sincronizzazione**
 - » **Apparati, interconnessione in rete e protezione**

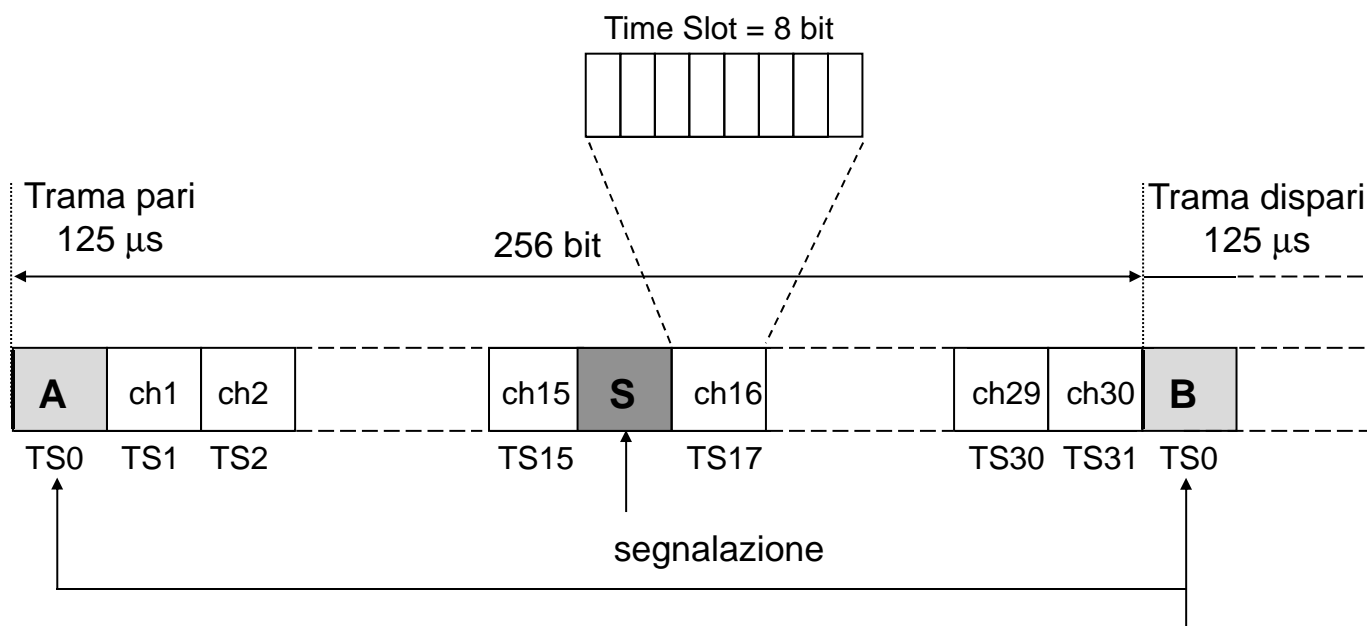
11

Multiplex PCM primario

- **Il principio della multiplazione PCM si riassume in tre funzioni:**
 - » **campionamento ($f_c = 8 \text{ kHz}$)**
 - » **quantizzazione (non uniforme: Legge A, Legge μ)**
 - » **codifica (8 bit/campione)**
- **i segnali Multiplex PCM Primari sono alla base delle gerarchie PDH**
 - » **standard europeo: 2.048 Mb/s, 30 canali telefonici (Legge A)**
 - » **standard americano: 1.544 Mb/s, 24 canali telefonici (Legge μ)**
- **L'apparato che esegue la multiplazione PCM, e all'inverso la demultiplazione, si chiama multiplex(er) PCM**

12

Struttura di Trama a 2048 kbit/s



N.B. La struttura di trama americana è costituita da 24 canali di 8 bit (traffico + segnalazione) ed un bit per l'allineamento, in totale 193 bit. La velocità di cifra è pertanto $193 \cdot 8000 = 1544$ kbit/s

Allineamento A e B
- A = X0011011
- B = X1S₁XXXXX

13

Trama del multiplex PCM primario europeo

- La trama è organizzata in 32 intervalli temporali (TS = Time Slot) ciascuno contenente 8 bit:
 - ⊙ TS0: parola di allineamento
 - » A = X0011011 (trama pari)
 - » B = X1S₁XXXXX (trama dispari): X = bit di servizio per uso nazionale, S₁ = allarme terminale lontano (ATL)
 - ⊙ TS1 ÷ TS15 e TS17 ÷ TS31: 30 canali telefonici
 - ⊙ TS16: segnalazione associata o un ulteriore canale telefonico
- La nomenclatura corrente definisce
 - ⊙ payload i bit che costituiscono l'informazione utile dell'utente
 - ⊙ over-head i bit aggiuntivi che servono per il funzionamento e la gestione del collegamento trasmissivo

14

Strategia di allineamento

- La procedura di allineamento controlla continuamente la presenza alternativa delle parole A e B nel flusso numerico ricevuto
- Se si rivelano tre parole consecutive diverse da quelle attese il sistema si dichiara in fuori allineamento e si attiva una procedura di ricerca del nuovo allineamento
- Si sposta la trama di un bit per volta esaminando se nella nuova condizione di allineamento si ritrova l'esatta alternanza delle parole A e B
 - ⊙ Si passa dalla fase di fuori allineamento a quella di allineamento se si trovano due parole A intercalate da una parola B in posizione corretta
 - ⊙ La perdita di allineamento è un malfunzionamento gravissimo in quanto rende impossibile l'estrazione dei tributari dal flusso aggregato

15



Dove siamo ?

- **Tecniche di moltiplicazione, PCM e PDH**

»

» Moltiplicazione numerica PCM

» Moltiplicazioni numeriche, moltiplicazione plesiocrona, PDH



- **SDH, moltiplicazione, apparati e reti**

» Moltiplicazione sincrona

» Motivazioni per l'SDH

» Stratificazione, Trama SDH

» Puntatori e sincronizzazione

» Apparati, interconnessione in rete e protezione

16

Multiplicazione numerica

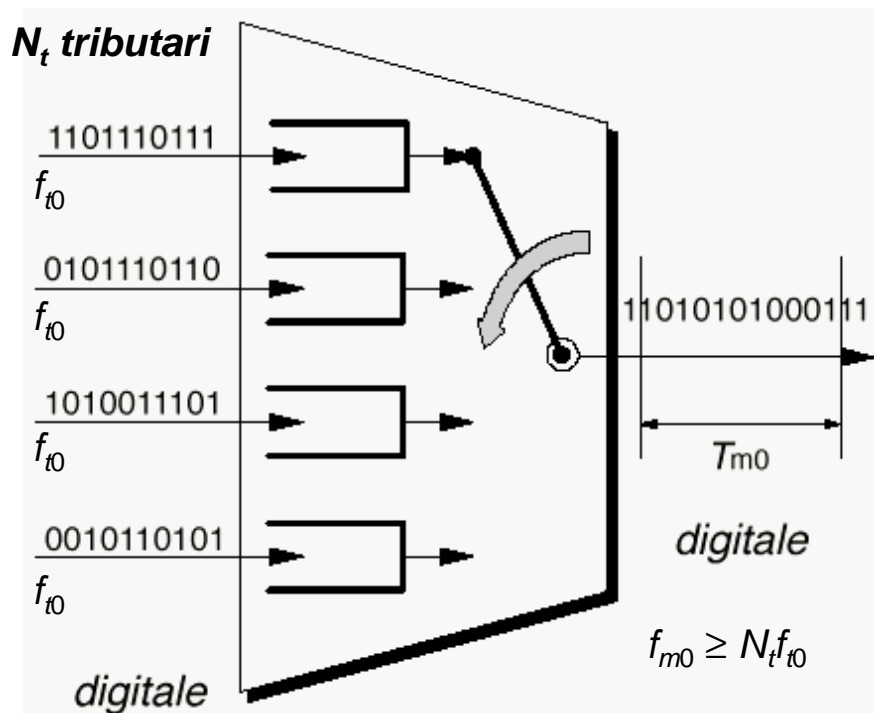
- La moltiplicazione numerica permette a più flussi numerici, denominati tributari, di essere affasciati a divisione di tempo in un unico flusso a più alta velocità, denominato aggregato
- Le apparecchiature corrispondenti sono denominate moltiplicatori
- Caratteristica distintiva di un moltiplex numerico è che i segnali da moltiplicare sono già in forma numerica
- Il flusso moltiplex numerico si ottiene per interallacciamento di cifra (bit interleaving) dei tributari, in trame di durata in generale diversa da $125 \mu\text{s}$

Poiché le sorgenti di temporizzazioni sono molteplici, tributari ed aggregato, si pone il problema della loro sincronizzazione

17

Multiplicazione numerica

- Fase di scrittura: i bit dei tributari sono scritti nei rispettivi buffer con frequenza di scrittura uguale alla loro frequenza istantanea di cifra
- Fase di lettura: i buffer dei tributari sono letti ciclicamente, con frequenza di lettura $f_{r0} = n/T_{m0} \geq f_t$ (n =cifre di tributario per trama)
 T_{m0} : tempo di trama dell'aggregato

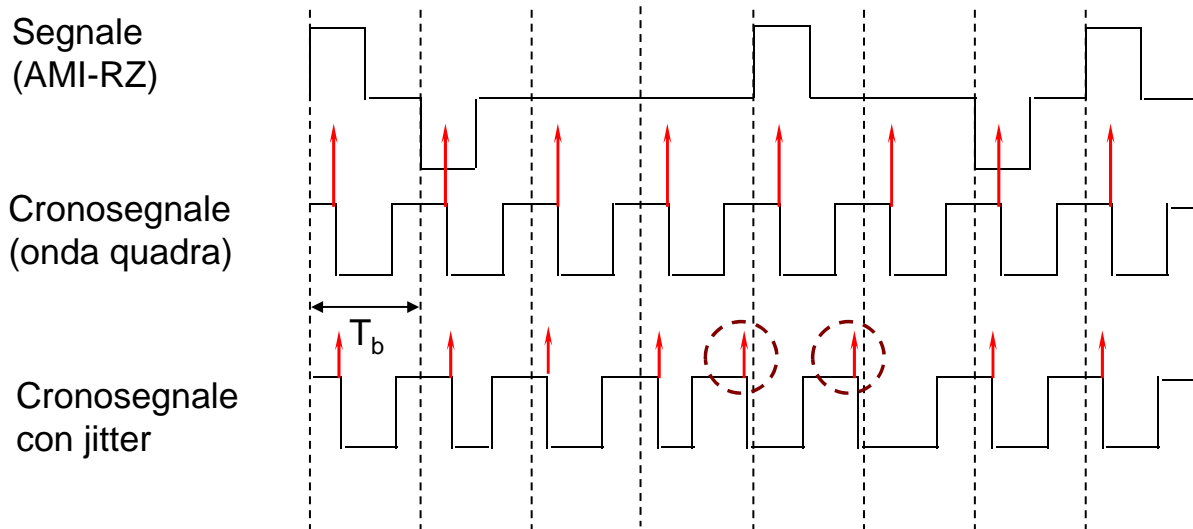


$$f_{m0} = 1/T_{m0} * n. \text{ totale bit/trama}$$

18

Cronosegnale

- **Segnale periodico, che definisce gli “istanti caratteristici” attraverso eventi univocamente (e facilmente) individuabili p.e.:**
 - ⊙ **sinusoide: attraversamenti dello zero**
 - ⊙ **onda quadra: fronti di salita o di discesa**
 - ⊙ **segnale impulsivo: posizione degli impulsi**



19

I flussi numerici vengono trasmessi utilizzando dei segnali (elettrici, elettromagnetici, ottici) codificati utilizzando delle opportune “codifiche di linea”. Ad esempio nella slide precedente il segnale più in alto rappresenta una codifica chiamata AMI-RZ (Alternate Mark Index – Return to Zero), in cui il valore “1” è rappresentato da un impulso (alternativamente positivo e negativo) e il valore “0” è rappresentato dalla assenza di impulso.

Per estrarre l’informazione da un segnale numerico è necessario “sincronizzarsi” e valutare il segnale codificato nei suoi “istanti caratteristici”. Ad esempio nella slide precedente si mostra nella seconda riga un “crono segnale” sincronizzato che consente di estrarre correttamente l’informazione dal segnale codificato.

L’operazione di generazione del cronosegnale deve essere effettuata dall’apparato di ricezione per estrarre correttamente l’informazione. Questa procedura è detta sincronizzazione di linea.

Se la procedura non è effettuata in modo ideale, si verifica che il cronosegnale non è sincronizzato con il segnale codificato (vedi terza riga nella slide precedente) e la decodifica può essere affetta da errori.

Classificazione dei flussi numerici

- **Due flussi numerici sono detti:**
 - ⊙ sincroni: quando i rispettivi cronosegnali hanno la stessa frequenza istantanea (quindi differenza di fase costante)
 - ⊙ mesocroni: quando i cronosegnali hanno esattamente la stessa frequenza media a lungo termine ma fase variabile
 - ⊙ plesiocroni: quando i cronosegnali hanno la stessa frequenza nominale e i possibili scostamenti del valore istantaneo sono contenuti in un intervallo di tolleranza prefissato
 - ⊙ eterocroni: quando i cronosegnali hanno frequenza nominale diversa
- **Multiplicatori mesocroni (comunemente detti sincroni)**
 - ⊙ i tributari hanno tutti la stessa frequenza media di cifra
- **Multiplicatori plesiocroni (comunemente detti asincroni)**
 - ⊙ i tributari hanno frequenze nominalmente uguali e con fluttuazioni circoscritte entro intervalli specificati (p.e. 2048 kbit/s \pm 50 ppm)

21

Multiplicazione numerica plesiocrona

- I cronosegnali delle sorgenti tributarie operano a frequenze solo nominalmente uguali, ma in effetti diverse e indipendenti (tributari plesiocroni)
- Il cronosegnale del multiplex numerico non è in rapporto fisso con le frequenze istantanee di cifra dei tributari
- La sincronizzazione di cifra viene attuata mediante la tecnica di giustificazione di bit o pulse stuffing (a riempimento di impulsi). La gestione dello stuffing è eseguita a livello di singolo tributario
- I formati di moltiplicazione PDH sono definiti nella Racc. ITU-T G.702. Le caratteristiche elettriche e fisiche delle interfacce PDH sono invece specificate nella Racc. ITU-T G.703

22

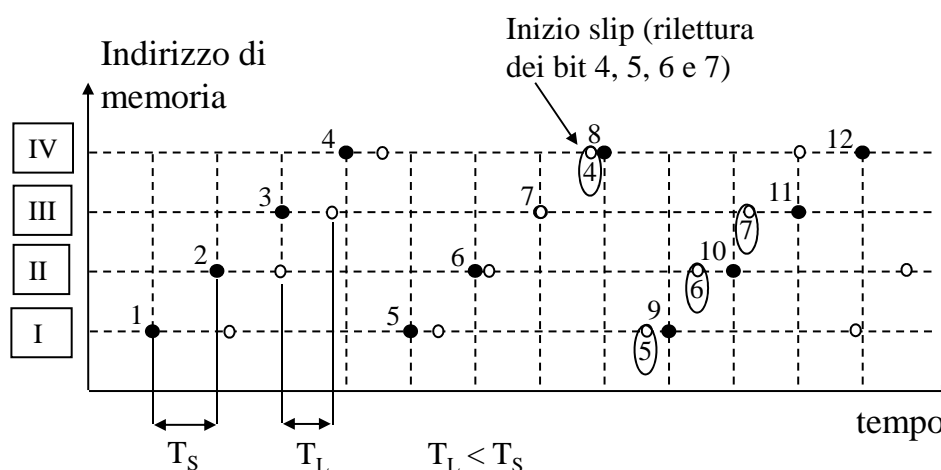
Slip di sincronizzazione

- Ogni differenza di frequenza media (multiplazione plesiocrona) tra scrittura e lettura conduce, prima o poi, al riempimento o allo svuotamento del buffer (slip “periodici”)
- Nel caso di slip periodici, dette f_S e f_L le frequenze di scrittura e lettura del buffer tampone, N la sua dimensione in bit, la frequenza di slip è

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

23

Slip: esempio grafico



- L'esempio considera la sincronizzazione di un singolo tributario a prescindere dalla successiva multiplazione.
- La sequenza prodotta è la seguente:
1-2-3-4-5-6-7-4-5-6-7-8-9-10-11-12

24

Riempimento di bit

- All'ingresso del moltiplicatore le cifre binarie dell' i -esimo tributario vengono scritte nella relativa memoria di moltiplicazione con una frequenza di scrittura pari a f_{ti}
- La frequenza di lettura f_{r0} , ricavata dall'orologio locale, ha un valore leggermente maggiore di quello massimo ammesso per la frequenze di scrittura

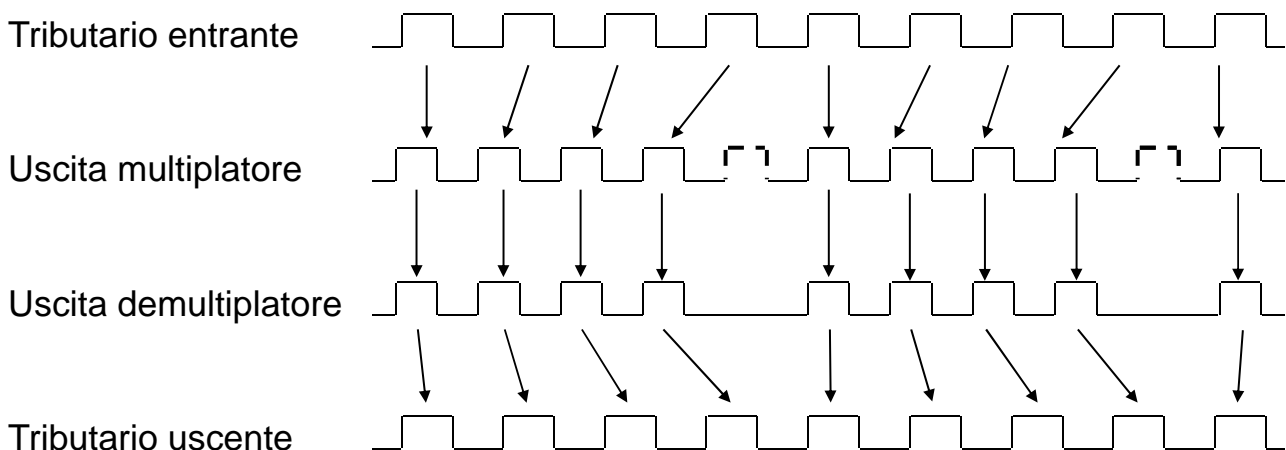


- Si verifica il progressivo svuotamento delle memorie

25

Riempimento di bit

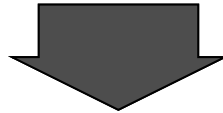
- Lo svuotamento del buffer di lettura si evita inserendo nel flusso binario di tributario cifre non significative (stuffing)
- La cifra di riempimento, non essendo un bit informativo, deve essere rimossa dal demoltiplicatore



26

Riempimento di bit

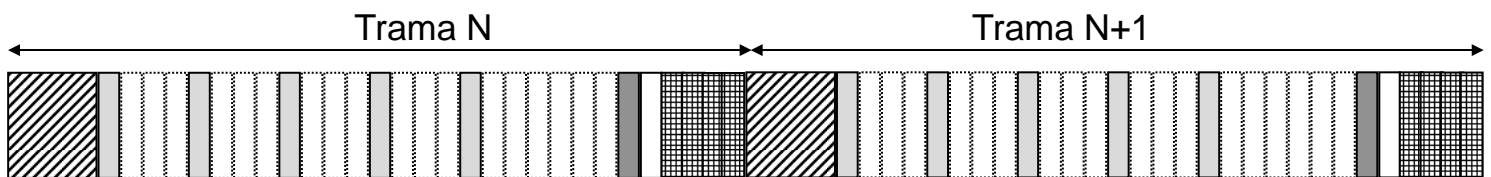
- Lo svuotamento del buffer di lettura è rilevabile comparando l'indirizzo di lettura e scrittura
- Quando si è prossimi allo svuotamento, la lettura del buffer di tributario è inibita in corrispondenza di predeterminate posizioni di cifra della trama del segnale multiplex numerico (opportunità di giustificazione)



- Sono inserite *cifre di riempimento non significative*
- La presenza o l'assenza delle cifre di riempimento è segnalata dalle cifre di *segnalazione di riempimento*

27

Segnalazione di riempimento



- ▨ Bit non appartenenti ai flussi tributari (overhead)
- Bit del tributario 1
- C=Bit di segnalazione di riempimento del tributario 1
- S=Bit di opportunità di riempimento del tributario 1
- Bit di altri tributari
- ▩ Bit di segnalazione e opportunità di riempimento di altri tributari

Stuffing positivo: se $C=0$ il bit S è un bit del tributario, se $C=1$, S diventa un bit di riempimento

Stuffing negativo: se $C=0$ il bit S è un bit di riempimento, se $C=1$ S diventa un bit del tributario

28

Tecnica di Multiplazione Plesiocrona

- Si scrivono i bit del tributario di ingresso nella memoria tampone con un clock ricavato dal flusso entrante
- Si legge la memoria con un clock a frequenza leggermente superiore della massima frequenza di scrittura.
- Poiché la velocità di lettura è superiore a quella di scrittura per evitare lo svuotamento della memoria il multiplatore inserisce, quando opportuno, un bit privo di significato (di stuffing) segnalandolo al demultiplatore

29

Tecnica di Multiplazione Plesiocrona

- Sia N la dimensione in bit di una trama, di cui $M+1$ siano i bit utili a disposizione di un tributario
- Siano:
 f_t la frequenza del tributario
 f_a la frequenza dell'aggregato
 f_{ta} la frequenza del tributario all'interno dell'aggregato (si considera la frequenza massima possibile cioè utilizzando sempre come dati i bit di opportunità di giustificazione)
- Sia e l'errore in parti per milione (ppm), le frequenze effettive si ricavano a partire da quelle nominali:

$$f_{t\text{-eff}} = f_{t\text{-nom}} \pm \Delta f_{t\text{-nom}} = f_{t\text{-nom}} \pm e/10^6 f_{t\text{-nom}}$$

$$f_{a\text{-eff}} = f_{a\text{-nom}} \pm \Delta f_{a\text{-nom}} = f_{a\text{-nom}} \pm e/10^6 f_{a\text{-nom}}$$

$$f_{ta\text{-eff}} = f_{ta\text{-nom}} \pm \Delta f_{ta\text{-nom}} = f_{ta\text{-nom}} \pm e/10^6 f_{ta\text{-nom}}$$

**NON TRATTATO
A LEZIONE**

30

Condizioni di funzionamento

- Affinché la multiplazione plesiocrona funzioni correttamente, devono essere rispettate le condizioni di non overflow e di non underrun. Considerando le frequenze effettive esse si possono esprimere così:

non overflow: $f_{t\text{-eff}} < f_{ta\text{-eff}}$

non underrun: $f_{ta\text{-eff}} \cdot M/(M+1) < f_{t\text{-eff}}$ (a)

oppure $f_{\text{slip}} < f_{a\text{-eff}} / N$ (b)

oppure $f_{\text{slip}} < f_{ta\text{-eff}} / (M+1)$ (c)

dove $f_{\text{slip}} = f_{ta\text{-eff}} - f_{t\text{-eff}}$

NON TRATTATO
A LEZIONE

31

Condizioni di funzionamento

- Considerando le frequenze nominali e gli errori, le condizioni di corretto funzionamento si possono esprimere così:

non overflow: $f_{t\text{-nom}} + \Delta f_{t\text{-nom}} < f_{ta\text{-nom}} - \Delta f_{ta\text{-nom}}$

non underrun: $(f_{ta\text{-nom}} + \Delta f_{ta\text{-nom}}) \cdot M/(M+1) < f_{t\text{-nom}} - \Delta f_{t\text{-nom}}$ (a)

oppure $(f_{ta\text{-nom}} + \Delta f_{ta\text{-nom}} - f_{t\text{-nom}} + \Delta f_{t\text{-nom}}) < (f_{a\text{-nom}} + \Delta f_{a\text{-nom}}) / N$ (b)

oppure $(f_{ta\text{-nom}} + \Delta f_{ta\text{-nom}} - f_{t\text{-nom}} + \Delta f_{t\text{-nom}}) < (f_{ta\text{-nom}} + \Delta f_{ta\text{-nom}}) / (M+1)$ (c)

NON TRATTATO
A LEZIONE

32

Gerarchia PDH Europea

Livello	Freq. nomin.	Num. canali telef.	Periodo trama	Num. settori $2(k+1)$	Num. bit per settore	Toller. freq.	Interf. fisica di centrale	Note
E1	2.048 Mb/s	30	125 μ s	N/A	N/A	± 50 ppm	HDB3	Mux PCM Primario
E2	8.448 Mb/s	120	~ 100 μ s	4	212 b	± 30 ppm	HDB3	mux num. asincr. $4 \times E1$
E3	34.368 Mb/s	480	~ 44.7 μ s	4	384 b	± 20 ppm	HDB3	mux num. asincr. $4 \times E2$
E4	139.264 Mb/s	1920	~ 21 μ s	6	488 b	± 15 ppm	CMI	mux num. asincr. $4 \times E3$
E5	564.992 Mb/s	7680	~ 4.8 μ s	6+1	384 b	± 15 ppm	<i>non definita</i>	mux num. asincr. $4 \times E4$

33

Trame della gerarchia plesiocrona Europea

Multiplex E2

A	S	T	MG	T	MG	T	MG	OG	T
10	2	200	4	208	4	208	4	4	204

Multiplex E3

A	S	T	MG	T	MG	T	MG	OG	T
10	2	372	4	380	4	380	4	4	376

Multiplex E4

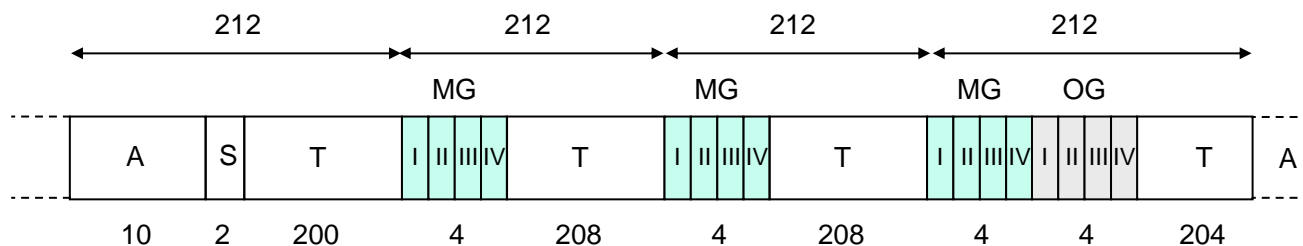
A	S	T	MG	T	MG	T	MG	T	MG	T	MG	OG	T
12	4	472	4	484	4	484	4	484	4	484	4	4	480

MG : Messaggio di Giustificazione
OG : Opportunità di giustificazione

T : Tributari
A : Allineamento

34

Struttura di trama del multiplex E2



A Parola di allineamento (1111010000)

S Bit di Servizio (B_{11} , B_{12})

T Bit Informativi ottenuti leggendo ciclicamente bit a bit i quattro tributari

MG Messaggio di Giustificazione (ripetuto tre volte per correggere errori singoli)

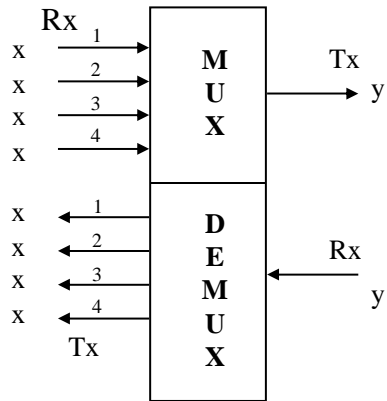
OG Bit di opportunità di giustificazione

I bit di segnalazione di giustificazione (chiamati “Messaggio di giustificazione”) nella trama E2 sono ripetuti 3 volte per ciascun tributario.

In ricezione viene presa una decisione con la tecnica del “voto a maggioranza”. Ad esempio se due bit indicano che ci deve essere giustificazione e un bit no, il ricevitore assume che ci sia giustificazione. In questo caso si risolvono i problemi dovuti ad un eventuale errore singolo su un bit.

Schema di un Multiplatore PDH

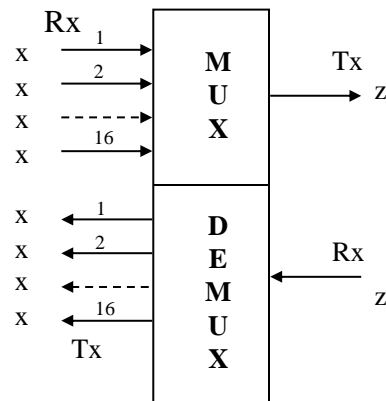
Tributari **x/y** Aggregato



Singolo Salto

Tributario x	Aggregato y
2	8
8	34
34	140
140	565

Tributari **x/z** Aggregato

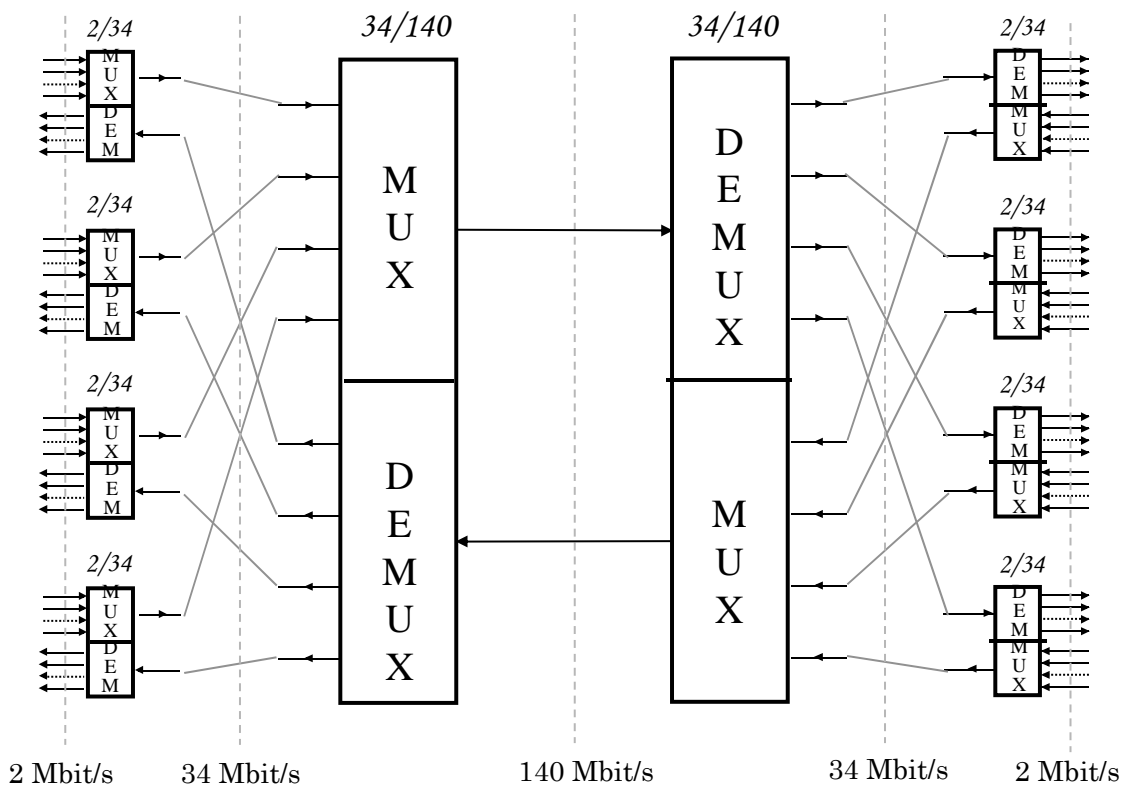


Doppio Salto

Tributario x	Aggregato z
2	34
8	-
34	565
140	-

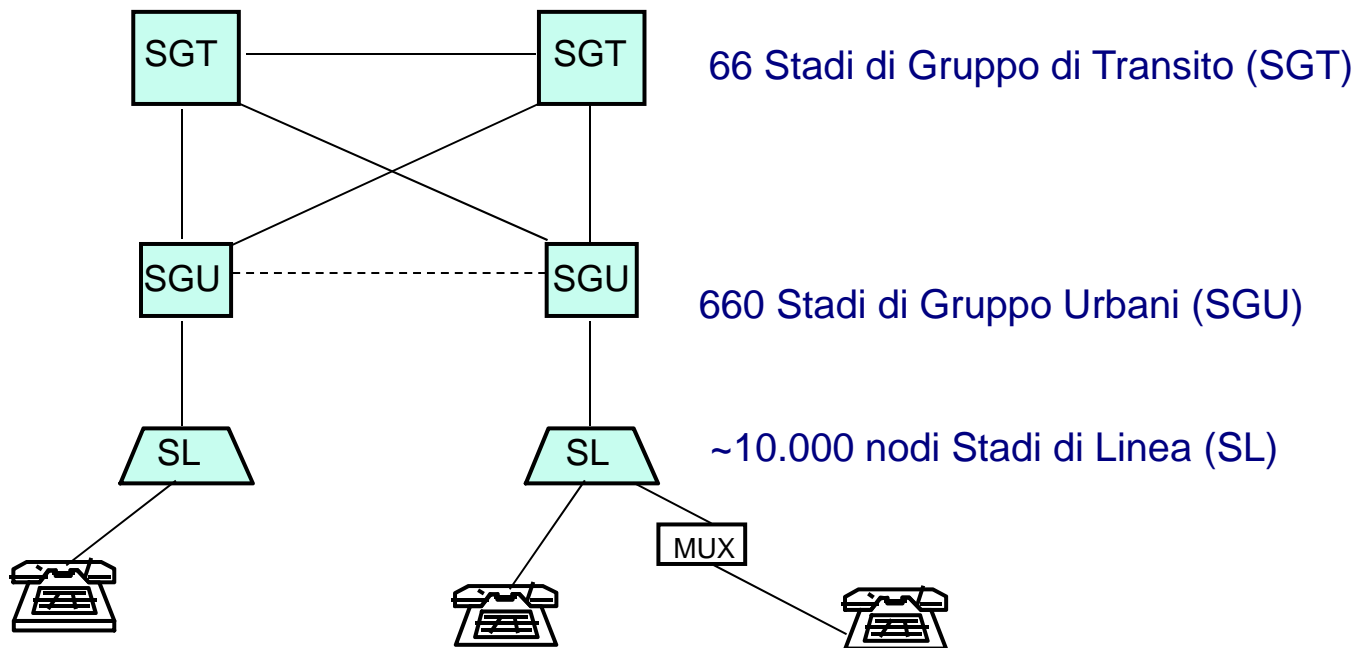
37

Multi-Demultiplazione 2/140 Mbit/s



38

Struttura della rete telefonica tradizionale



39

Struttura della rete telefonica tradizionale

- La struttura della rete telefonica presentata in queste slide si riferisce ad una rete telefonica prima dell'avvento della tecnologia IP (in particolare si descrive la rete di Telecom Italia alla fine degli anni '90). In questo contesto, il trasporto della voce avviene esclusivamente in modalità a circuito.
- Vedremo più avanti nel corso che con l'avvento della tecnologia IP si introduce il trasporto della voce a pacchetto, ad iniziare dalle sezioni interne della rete.

40