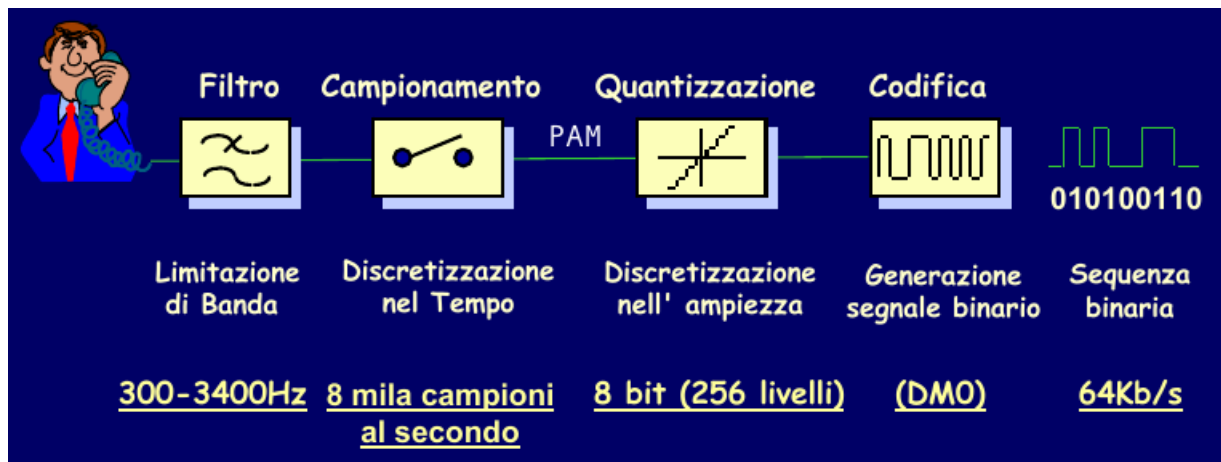


PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Conversione A/D

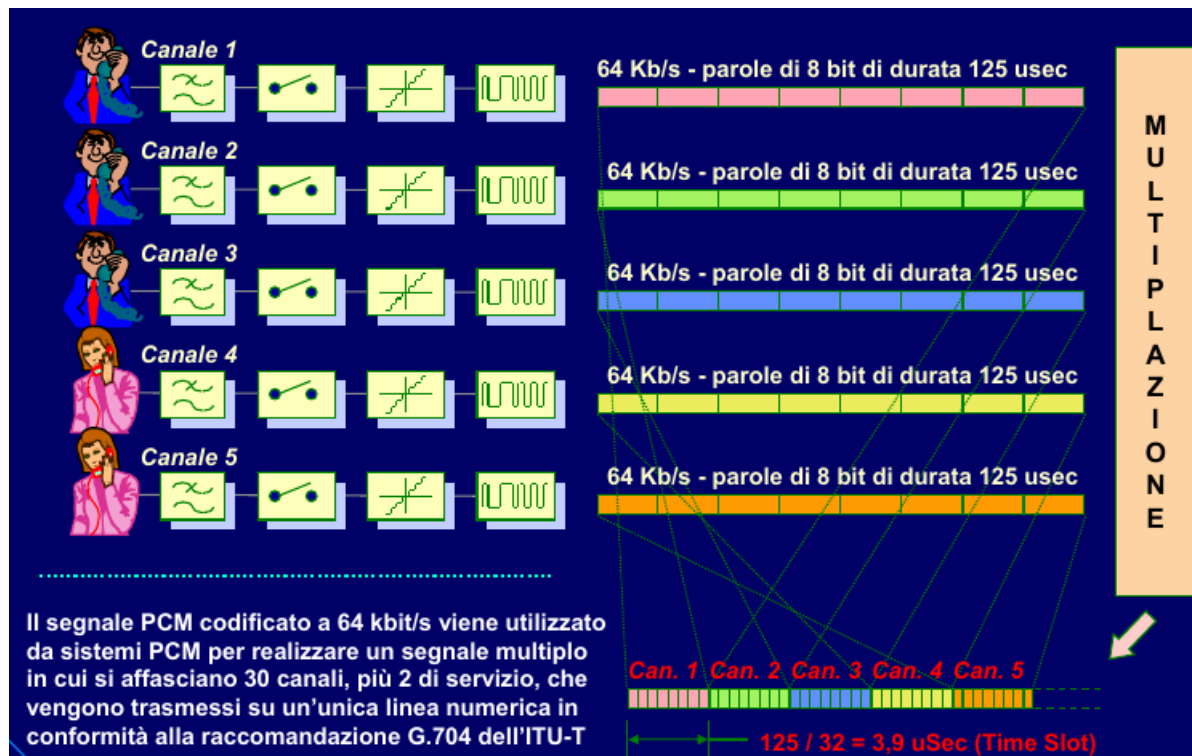


- **PCM** (Pulse Code Modulation)
 - consente di convertire un segnale analogico in uno digitale
 - segnale vocale ($300Hz - 3400Hz$) → segnale digitale (64 Kb/s)
 - $B = 4000Hz, F_c \geq 2B \rightarrow F_c = 8000Hz, T_c = \frac{1}{F_c} = 125\mu s$
 - $8000 \text{ campioni/s}, 8 \text{ bit/campione} \rightarrow 64.000 \text{ bit/s} = 64 \text{ Kb/s}$
 - $64 \text{ Kb/s} * 32 \text{ canali} = 2 \text{ Mb/s}$
 - si possono accoppiare 30 telefonate (2 canali di servizio) contemporanee usando doppiini con banda di 2 Mb/s

Reti a 2 Mb/s

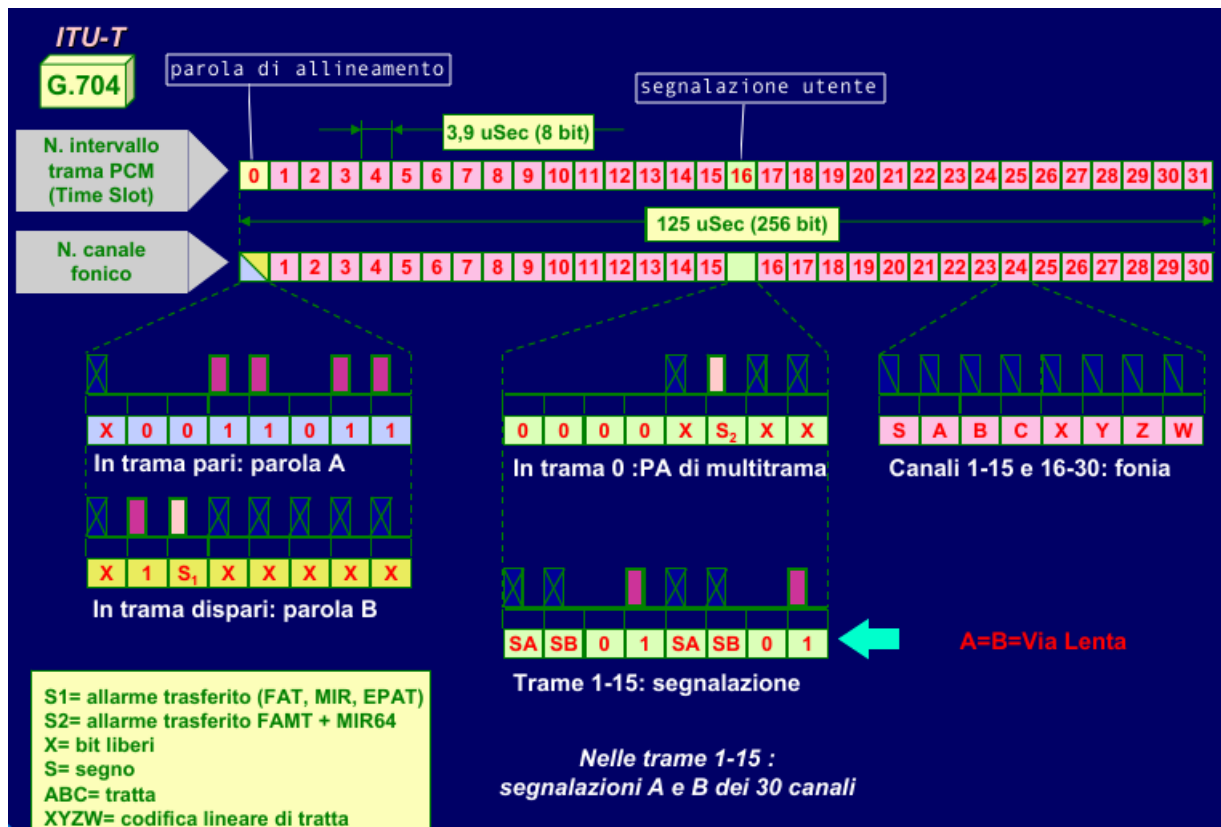
- 1° livello delle gerarchie di multiplazione PDH
- full-duplex - si possono inviare e ricevere dati contemporaneamente
- è rudimentale con basso overhead, infatti non consente:
 - inviare segnalazioni o allarmi significativi
 - calcolare in tempo reale il tasso d'errore
 - una supervisione ed una gestione moderna di una rete
- le linee a 2 Mb/s vengono ancora usate per trasportare 30 linee telefoniche in corrispondenza di uffici di piccole / medie dimensioni

Multiplazione TDM



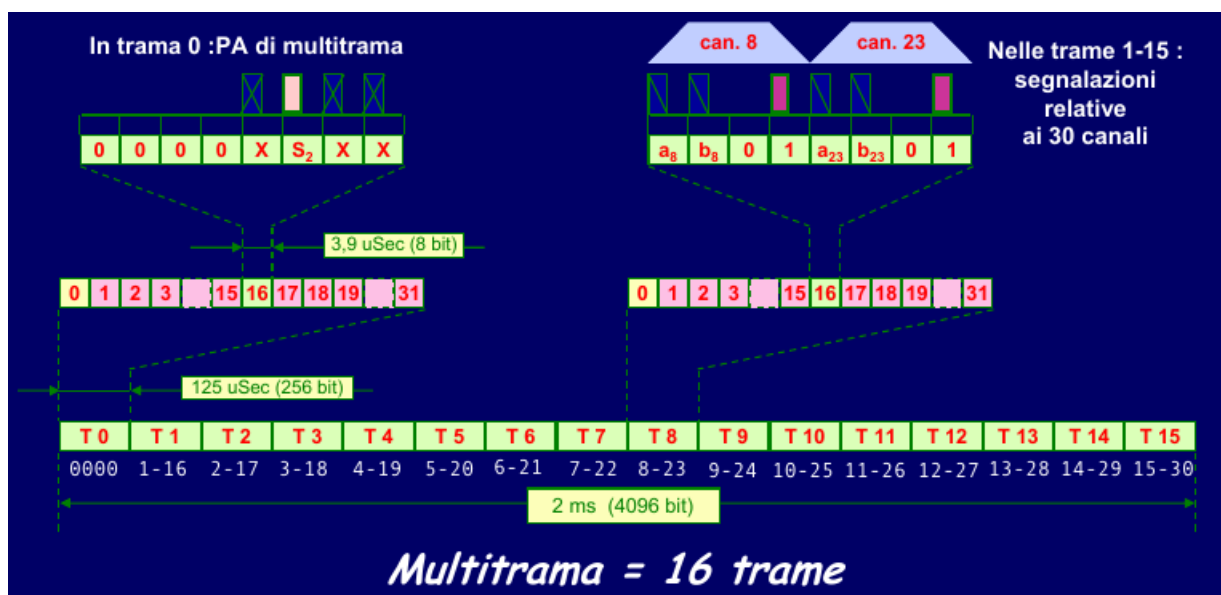
- parola: campione di fonia ad 8 bit
- multiplazione TDM:
 - si prende una parola di ogni canale (32 parole di durata $125\mu s$)
 - si accorpano sequenzialmente in un'unica linea numerica ($\frac{125\mu s}{32} = 3,9\mu s$ a parola \rightarrow **TIME SLOT**)
 - *fenomeno dello slip*:
 - il moltiplicatore legge, ad esempio, 9 bit invece di 8
 - il flusso viene shiftato di 1 bit e si perde la comunicazione
 - i 30 canali possono essere usati in multiplazione:
 - deterministica - assegnando ad ognuno di essi una telefonata
 - statistica - la banda dei 30 canali viene gestita in modo dinamico

Struttura di trama



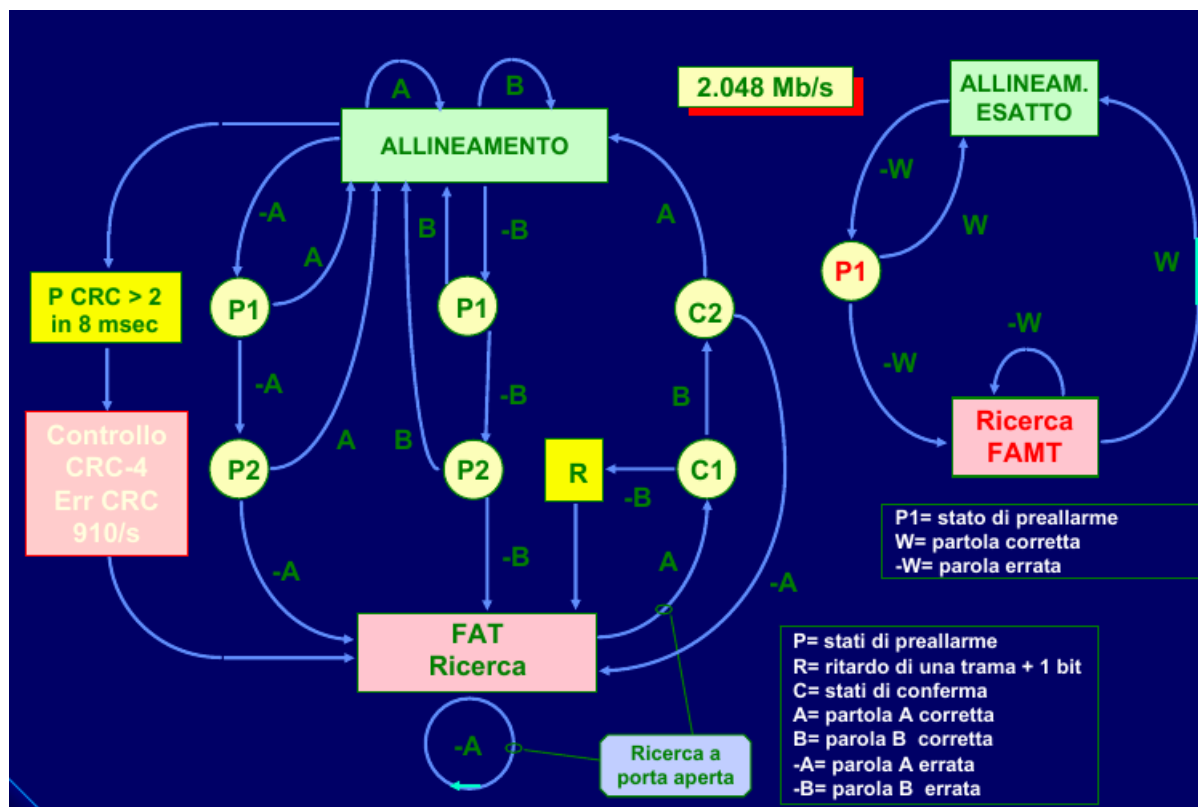
- ogni trama PCM è suddivisa in 32 canali o time slot
 - 1-15 e 17-31 → informazione fonica / dati
 - caso trasmissione dati → segnalazione utente non necessaria → canale 16 disponibile
 - 0 → parola di allineamento di trama
 - trama pari: parola A
 - trama dispari: parola B
 - 16 → segnalazione telefonica (utente)
- allineamento di trama: meccanismo che consente al ricevitore di allinearsi all'inizio della trama e leggere correttamente gli 8 bit di ogni telefonata (evitando lo slip)

Canale di segnalazione: multitrama



- **multitrama** (16 trame):
 - T0 → parola di allineamento di multitrama
 - T1 → segnalazione canale 1, 16
 - T2 → segnalazione canale 2, 17
 - (la segnalazione avviene SEMPRE sul time slot 16 di ogni trama)
- **bit di allarme** (il protocollo 2 Mb/s ne prevede solo due)
 - S1 (trasmesso ogni 2 trame)
 - S1-FAT (Fuori Allineamento Trama) - sequenza di allineamento non trovata dal ricevitore
 - S1-MIR (Mancanza Impulsi in Ricezione) - cavo danneggiato / tranciato
 - S1-EPAT (Errore Parola Allinemanento di Trama) - ad ogni PA errata il ricevitore incrementa un contatore; dopo una certa soglia si entra in stato di EPAT
 - S2 (trasmesso ogni 16 trame)
 - S2-FAMT (Fuori Allineamento Multi Trama) - sequenza di multitrama non trovata
 - S2-MIR64 (Mancanza Impulsi in Ricezione nel canale a 64 Kb/s)

Strategia di allineamento



- **pallogramma**: algoritmo implementato dal dispositivo ricevente
- **stato di FAT** - un ricevitore che arriva nello stato di fuori allineamento di trama:
 - butta via tutti i 30 canali informativi (è disallineato)
 - si effettua una ricerca a porta aperta
 - la parola A (trame pari) non viene ricercata ogni 32 time slot ma a partire da un punto qualsiasi della trama
 - se la successiva parola B è errata → R
 - ritardo di una trama + 1 bit
 - ciò per evitare di incontrare nuovamente una simulazione della parola di allineamento
 - ottenendo una sequenza corretta A-B-A, la trama è considerata allineata
- se il ricevitore si pone in stato di FAT / FAMT manda una segnalazione al mittente con il bit S1 / S2

CRC (Cyclic Redundancy Check)

scopo

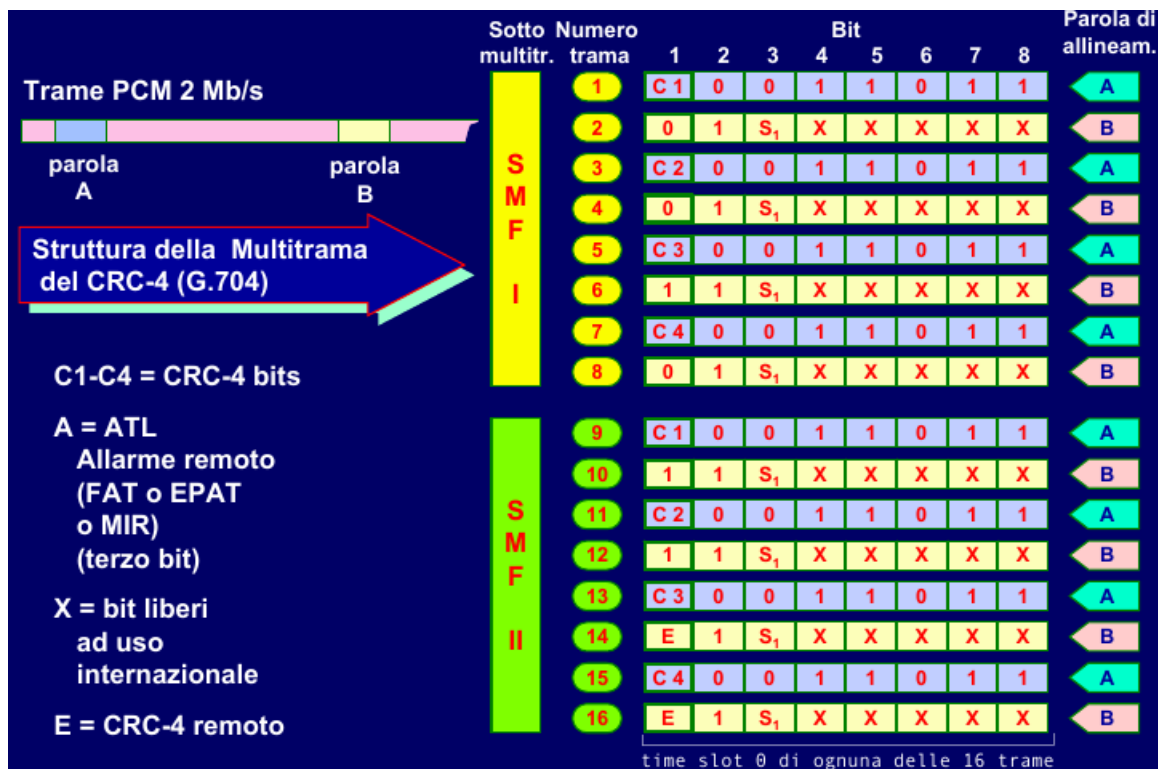
- evitare errori
- evitare falsi allineamenti

procedimento

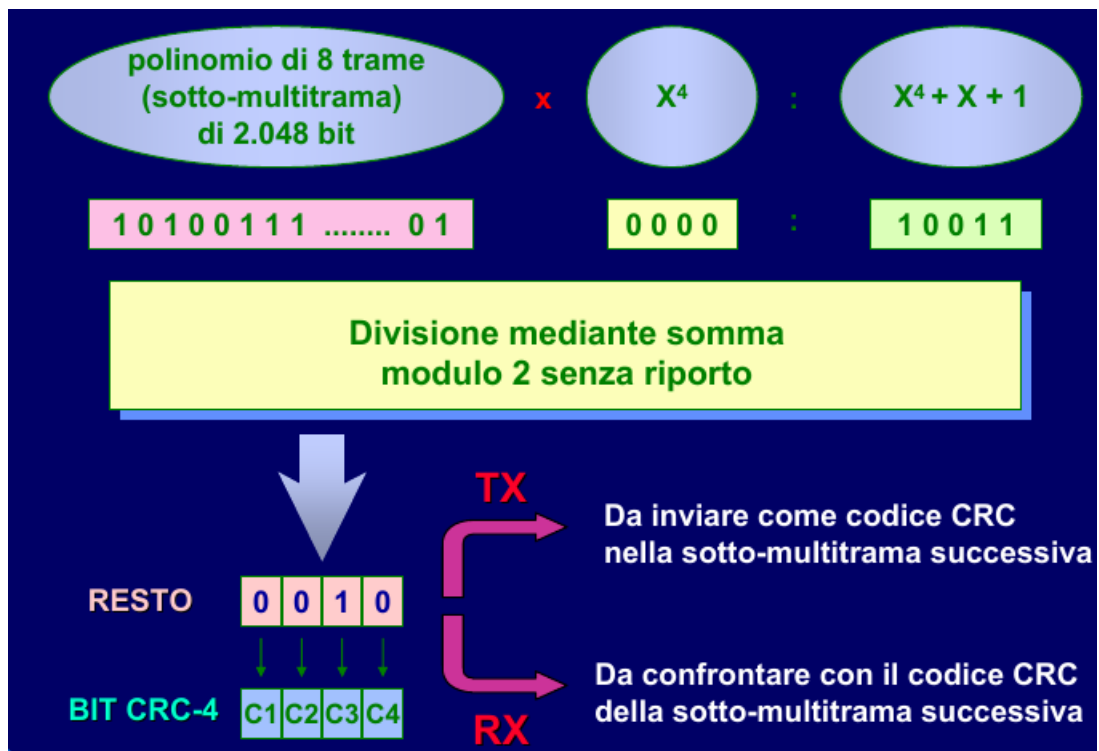
- il mittente calcola un check sum sui bit da trasmettere e lo invia al ricevente
- il destinatario effettua lo stesso calcolo e lo confronta con il valore ricevuto

struttura della multitrama CRC-4

- suddivisa in due sotto-multitrame (SMF I, SMF II) da 8 trame ciascuna
- il CRC è composto da 4 bit (C1-C4) e viene calcolato per ogni SMF (2048 bit)
 - dopo aver calcolato il CRC di una sotto-multitrama, il mittente lo trasmette nella SMF successiva
- si utilizza il primo bit della:
 - parola A per memorizzare un bit del CRC
 - parola B per memorizzare:
 - la parola di allineamento della multitrama CRC-4 **001011** (prime 6 trame dispari, serve a notificare il ricevente dell'uso del CRC)
 - due bit **E** per l'indicazione remota di errori CRC-4 (vengono settati a 0 per ogni sotto-multitrama errata)



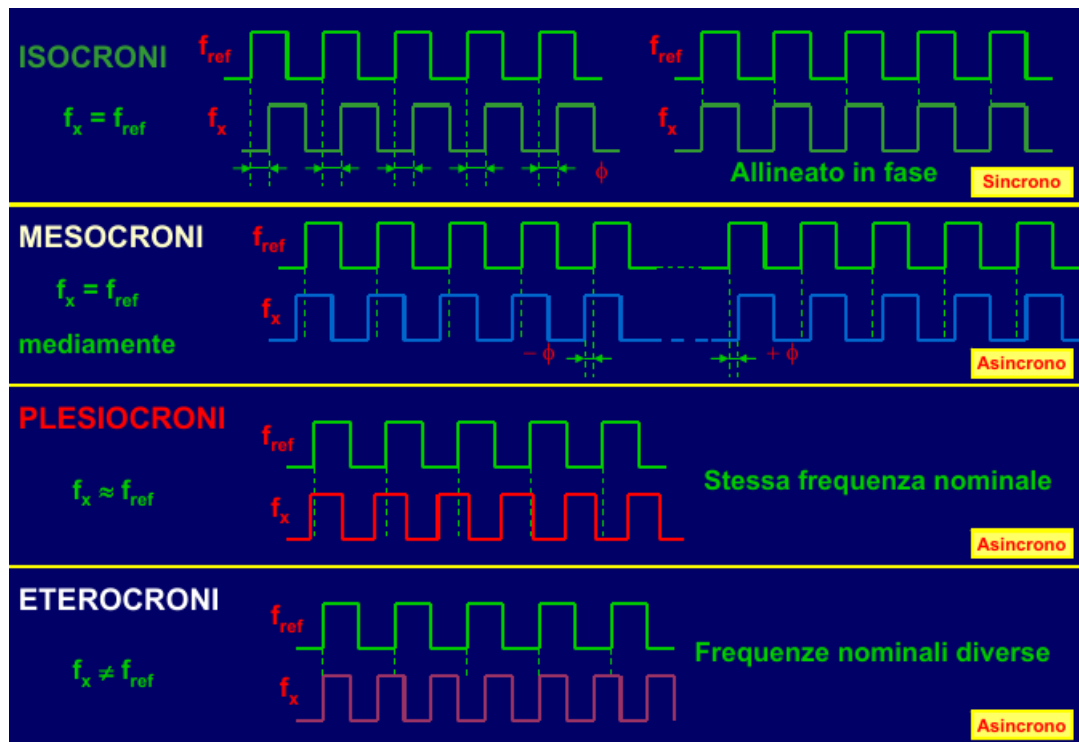
calcolo del CRC-4



diagnostica dei collegamenti

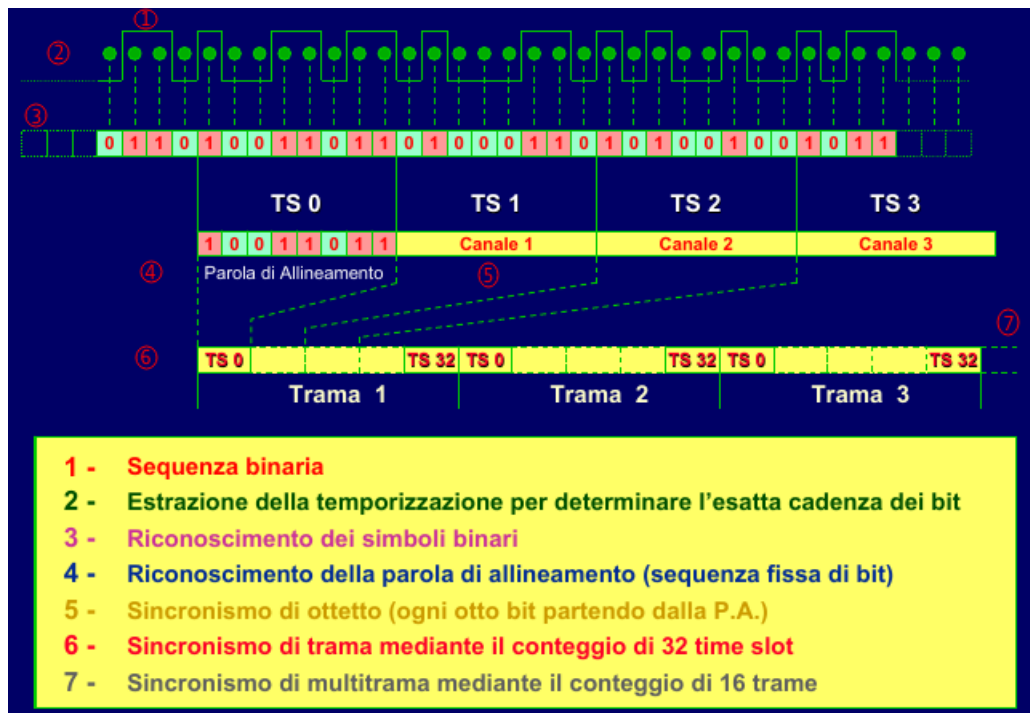
- BER - stima dei bit errati in ricezione
- misure di BER utilizzando:
 - bit della PA di trama:
 - 8 bit ogni due trame (7 parola A + 1 parola B)
 - bit del CRC-4:
 - bit della trama coinvolti - tutti
 - probabilità di rilevare errori singoli in una sotto-multitrama - 100%
 - probabilità di rilevare errori multipli in una sotto-multitrama - 75%
- vantaggi del CRC-4:
 - tempo di osservazione (per rilevare guasti) 60 / 70 volte inferiore di quello con bit della PA
 - localizzazione di anomalie e degradi sui flussi con occupazione limitata delle risorse

Tipi di sincronismi



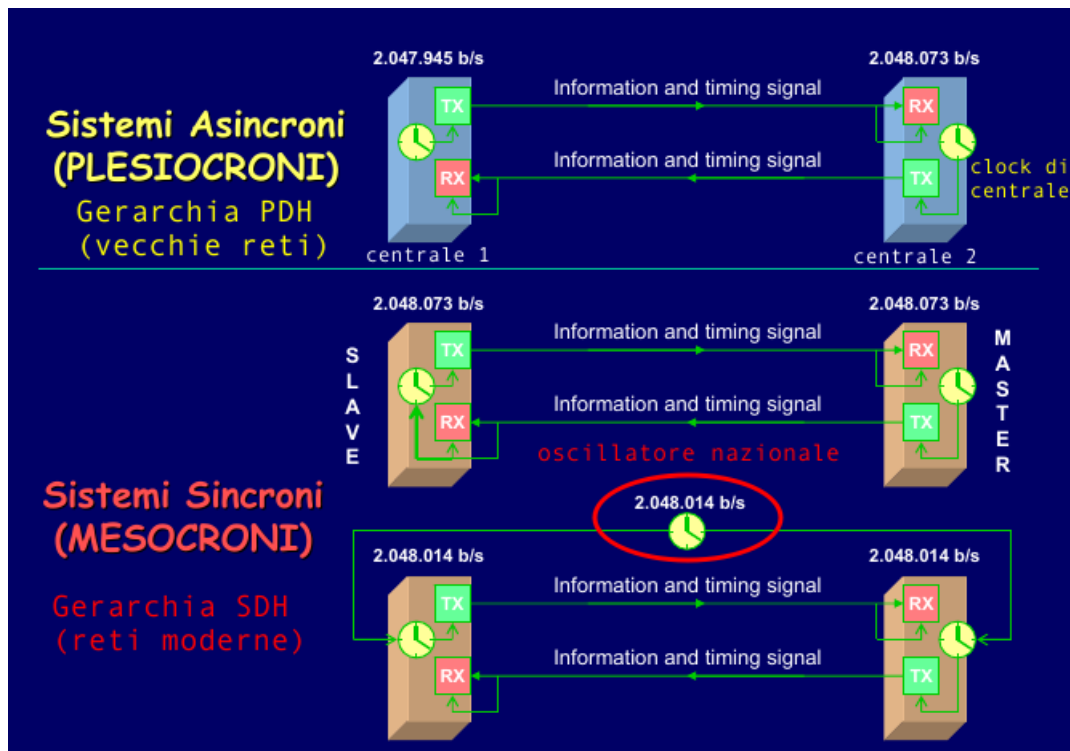
- tipologie di sincronismi tra due segnali numerici:
 - **isocroni**
 - stessa frequenza
 - sfasamento costante
 - non esistono nella realtà
 - **mesocroni** (*gerarchie SDH*)
 - stessa frequenza (mediamente) → massimo sincronismo ottenibile in un sistema reale
 - fase variabile (dipende da impedenza caratteristica del mezzo, distanza, ecc...)
 - **plesiocroni** (*gerarchie PDH*)
 - stessa frequenza nominale
 - frequenze effettive dei moltiplicatori diverse
 - come funzionavano le reti fino a qualche anno fa
 - **eterocroni**
 - frequenze nominali diverse
- segnali sincroni
 - generati da un unico clock
 - condizione di perfetto sincronismo → non realizzabile in pratica
 - grandi distanze → degradazione del sincronismo
 - mantengono la stessa frequenza media → mesocroni tra loro

Sincronismi nelle reti 2 Mb/s



- livelli di sincronizzazione:
 - bit
 - bit rate fisso (la frequenza di lettura si estrae dalla sequenza stessa)
 - linea mantenuta attiva anche quando non vi è invio di informazioni
 - trasmissione di bit ridondanti (o di stuffing)
 - rimozione in ricezione
 - utile quando un tributario ha rallentato la frequenza di trasmissione
 - time slot (canale)
 - riconoscimento PA (time slot 0 di ogni trama)
 - trama
 - conteggio di 32 time slot
 - multitrama
 - conteggio di 16 trame

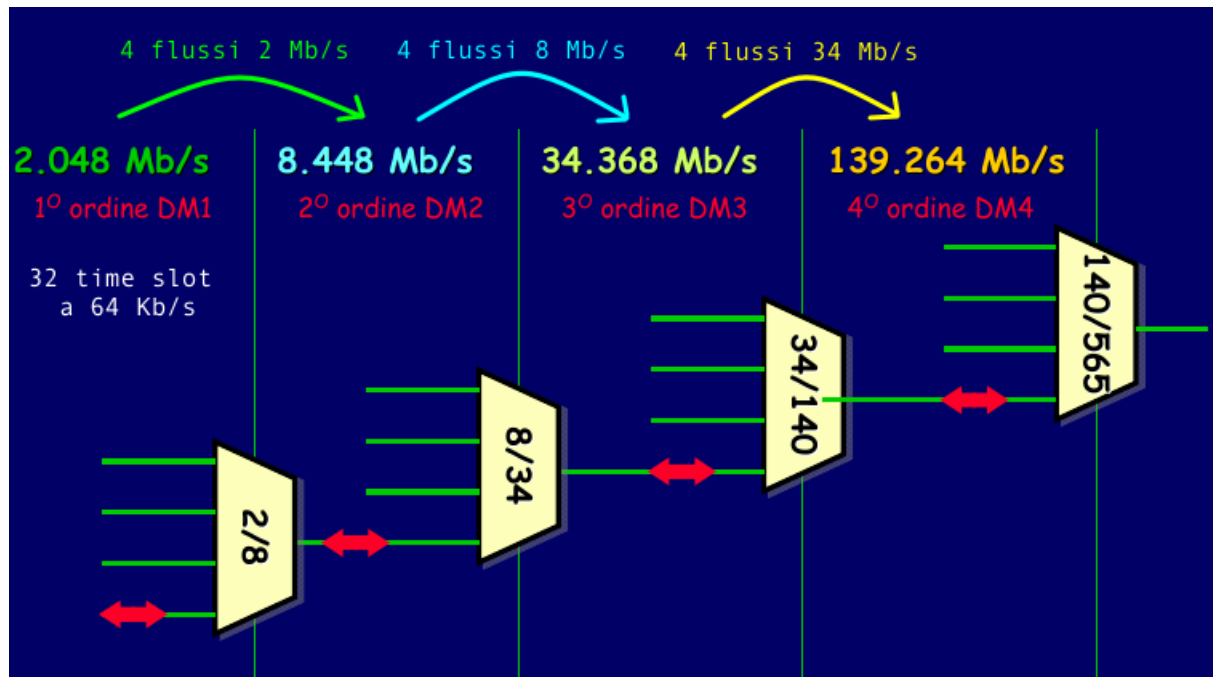
Sistemi sincroni e asincroni



- regime asincrono (o plesiocrono)
 - trasmettitore → frequenza nominale di 2.048 Kb/s
 - ricevitore
 - frequenza estratta dal segnale in ricezione
 - allineamento sia in frequenza, che in fase
- regime sincrono (o mesocrono)
 - *modalità master-slave*
 - master: trasmette sia informazioni che il segnale di clock
 - slave: sincronizza il suo clock con quello ricevuto dal master
 - *modalità centralizzata*
 - connessione degli apparati ad un oscillatore centralizzato
 - PRO: generalmente più preciso
 - CON: bisogna prevedere un'opportuna rete di distribuzione del sincronismo

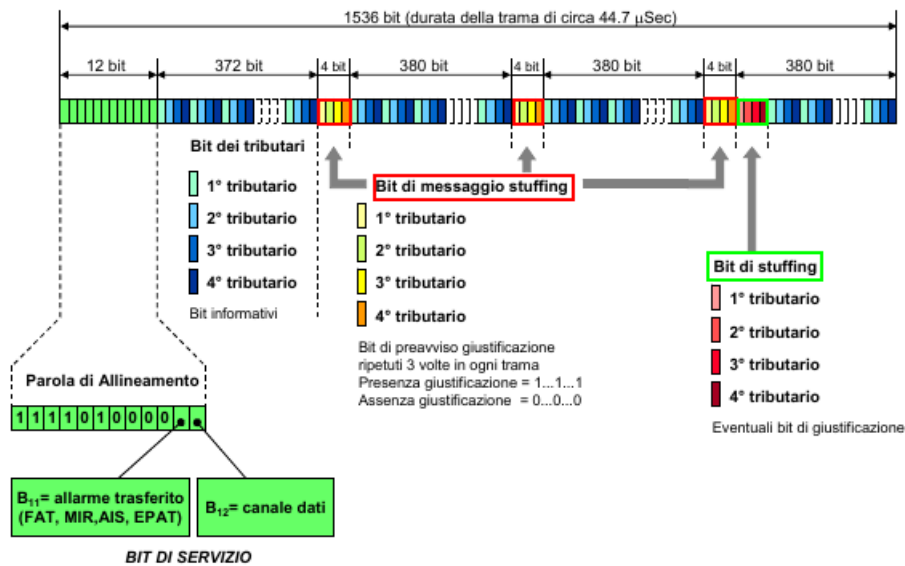
Gerarchie superiori

- gerarchia di moltiplicazione PDH: insieme di protocolli di livello fisico per reti WAN
- gerarchie ETSI (ente europeo):



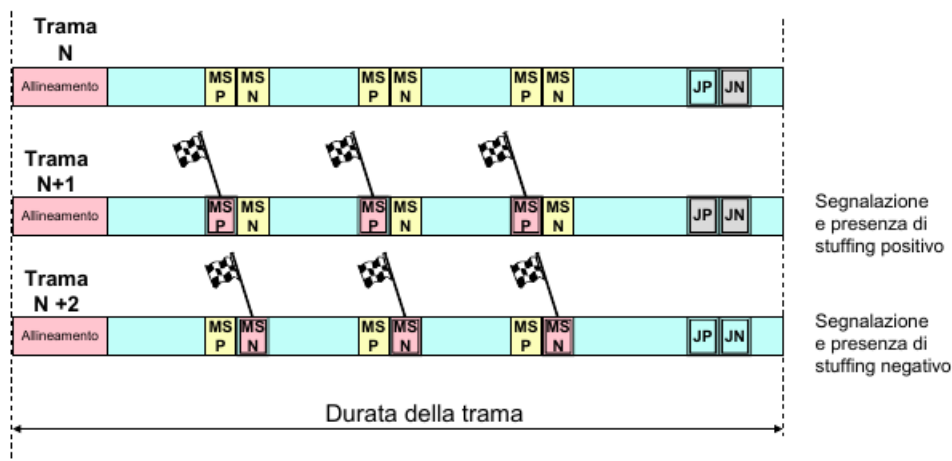
- moltiplicazione parola per parola
 - interlacciamento di gruppi di 8 bit di ogni tributario
 - PRO:
 - mantiene il significato delle parole di ogni tributario
 - semplicità nelle operazioni di estrazione / inserzione (basta consultare il time slot desiderato)
 - impiegata nel 1° livello PCM (2 Mb/s)
- moltiplicazione bit per bit
 - interlacciamento di un bit di ogni tributario alla volta
 - PRO:
 - tecnica flessibile ed economica
 - adatta alla moltiplicazione di segnali codificati in modi diversi (prescinde dalla struttura di trama del tributario)
 - impiegata nei livelli superiori della gerarchia PCM

Multiplicazione asincrona del III° ordine



- sincronizzazione tramite tecnica pulse-stuffing o di giustificazione positiva
- bit di stuffing - possono essere occupati da bit di tributario o da bit non significativi
- messaggi di stuffing - utilizzati per indicare la presenza o meno di bit significativi:
 - 0 in tutti e tre i blocchi (rossi) in una certa posizione → bit di stuffing significativo
 - 1 in tutti e tre i blocchi → bit di stuffing non significativo
 - in caso di errori si considerano i bit in maggioranza

Segnalazione per giustificazione positiva e negativa



- struttura:
 - MS-P → messaggi di stuffing, giustificazione positiva
 - MS-N → messaggi di stuffing, giustificazione negativa
 - JP → bit informativi (solitamente), riempito occasionalmente con bit non significativi
 - JN → bit di stuffing (solitamente), riempito occasionalmente con bit significativi
- casi possibili:
 - **zero justification**
 - bit di MS-P, MS-N disattivi → JP contiene un bit informativo, JN uno di stuffing
 - **positive justification**
 - un tributario è più lento della frequenza di trama
 - bit di MS-P attivi → JP e JN contengono bit di riempimento

- **negative justification**

- un tributario è più veloce della frequenza di trama
- bit di MS-N attivi → JP e JN contengono bit significativi

Problemi della gerarchia PDH

- Mancanza di visibilità del singolo canale ai livelli superiori
 - nella trama 2 Mb/s si ha accesso al singolo canale informativo (basta prendere il time slot corrispondente)
 - nelle trame delle gerarchie superiori bisogna interpretare i messaggi di stuffing e demoltiplicare il flusso fino a 2 Mb/s
- bassa velocità, overhead limitato → impossibilità di gestire complesse reti moderne
- Incompatibilità tra apparati di produttori differenti (telefonie di diversi continenti)