

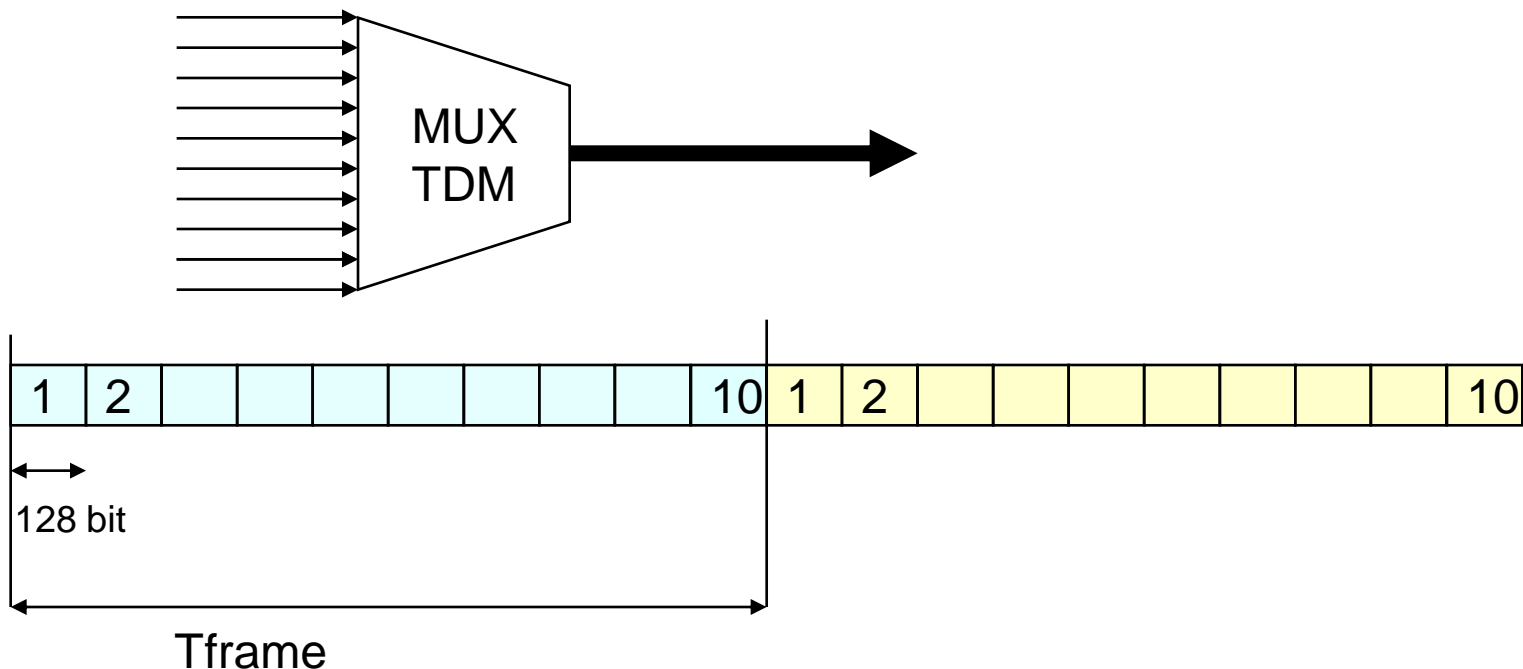
---

**Esercizi**  
**Multiplicazione TDM**  
**Accesso Multiplo TDMA**

---

# Esercizio 1

Un sistema di multiplazione TDM presenta una trama di 10 slot e in ciascuno slot vengono trasmessi 128 bit. Se il sistema è usato per moltiplicare 10 canali telefonici numerici a 64 kb/s, si dica quale è la velocità e la durata della trama multiplex.



# Esercizio 1-Soluzione

---

- Primo modo:
    - La velocità del multiplex è  $V = 64 \text{ [Kb/s]} \times 10 = 640 \text{ [kb/s]}$
    - la durata della trama di  $128 \text{ [bit]} \times 10 / 640 \text{ [Kb/s]} = 2 \text{ ms}$
  
  - Altro modo:
    - La durata della trama può calcolarsi anche come:  
 $T_{\text{frame}} = 128 \text{ [bit]} / 64 \text{ [Kb/s]} = 2 \text{ ms}$
    - La velocità di multiplex è  $V = 128 \text{ [bit]} \times 10 / 2 \text{ [ms]} = 640 \text{ [Kb/s]}$
-

## Esercizio 2

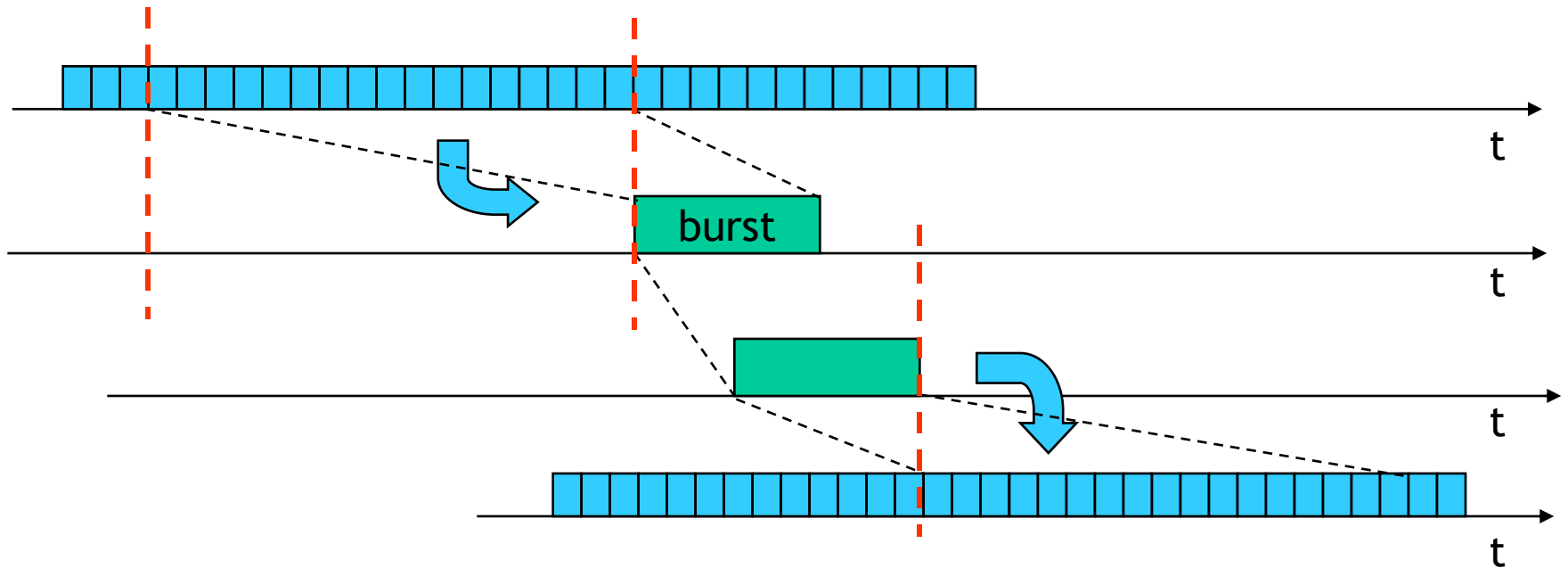
---

- Facendo riferimento all'esercizio precedente, si determinino poi ritardi subiti dal primo e dall'ultimo bit del *burst* da quando arriva al multiplex a quando viene prelevato dal buffer di ricezione, ipotizzando un meccanismo *store and forward*, ossia che il primo bit viene trasmesso (e prelevato in ricezione) quando i bit del *burst* sono arrivati tutti.
-

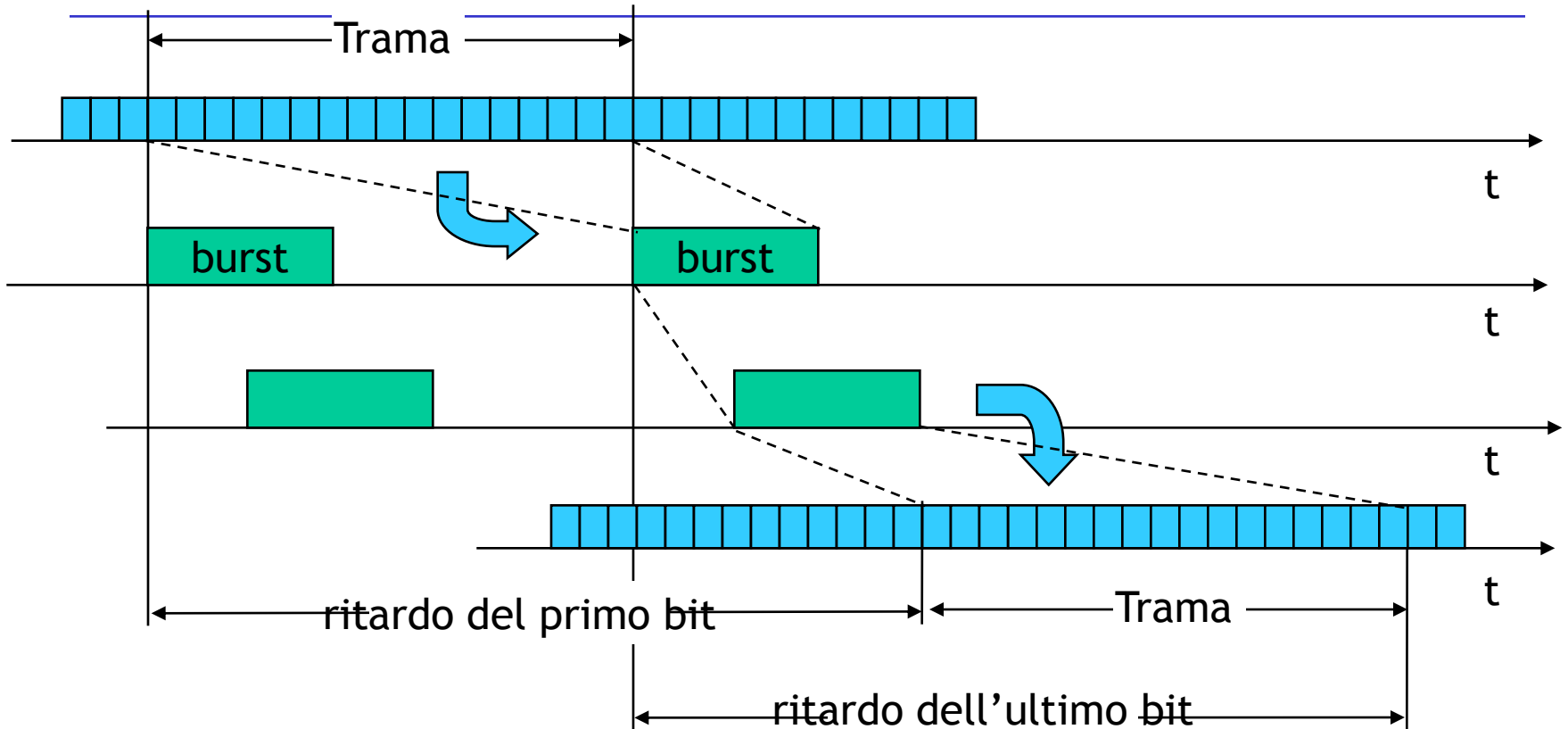
## Esercizio 2- Soluzione

---

- Ad ogni arrivo di slot il register di 128 bit viene svuotato e il burst viene trasmesso. In ricezione la trasmissione in uscita incomincia quando il register è riempito completamente.

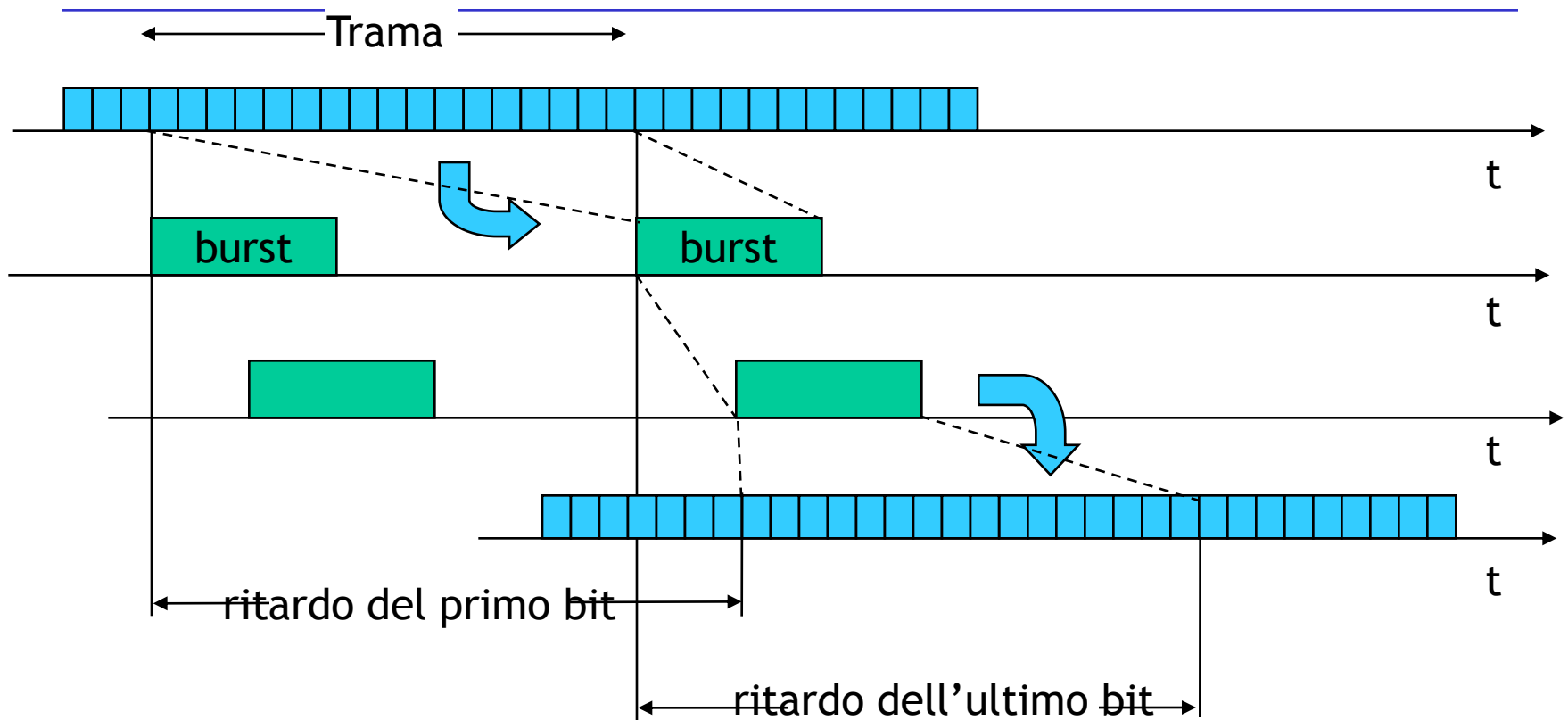


## Esercizio 2-Soluzione



Tutti i bit subiscono un ritardo costante pari a un tempo di trama + tempo di trasmissione (+ tempo di propagazione) = 2.2 ms

## Esercizio 2-Soluzione



Se si incomincia ad emettere il primo bit del burst non appena ricevuto (cut through), non si paga il tempo di trasmissione

## Esercizio 3

---

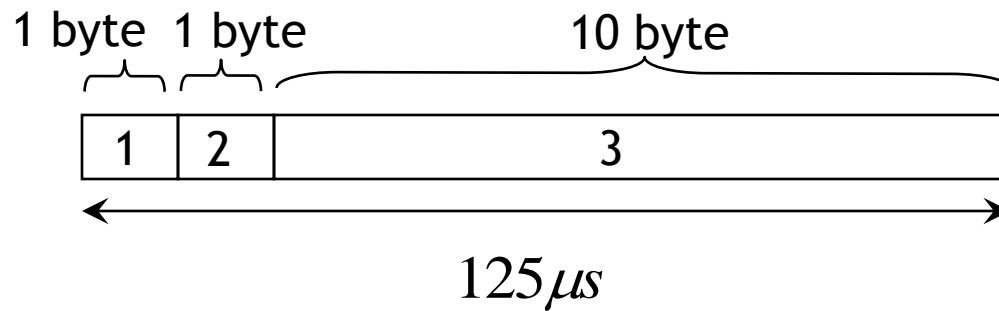
- Due segnali di 64 kb/s e un segnale di 640 kb/s vengono multiplexati insieme a divisione di tempo. Assumendo che l'unità minima di multiplexazione sia un ottetto, si determini la struttura della trama di durata minima, la sua durata e la velocità di trasmissione del multiplex. Si rifacciano i conti nel caso in cui l'unità minima di multiplexazione sia un bit.
-



# Esercizio 3-Soluzione

---

Struttura della trama:



$$\text{Durata Trama} = \frac{1 \text{ byte}}{8 \text{ kbyte/s}} \equiv 125\mu s$$

$$\text{Velocità trasmissione multiplex} = \frac{12 \times 8 \text{ bit}}{125 \mu s} \equiv 768 \text{ kbit/s}$$

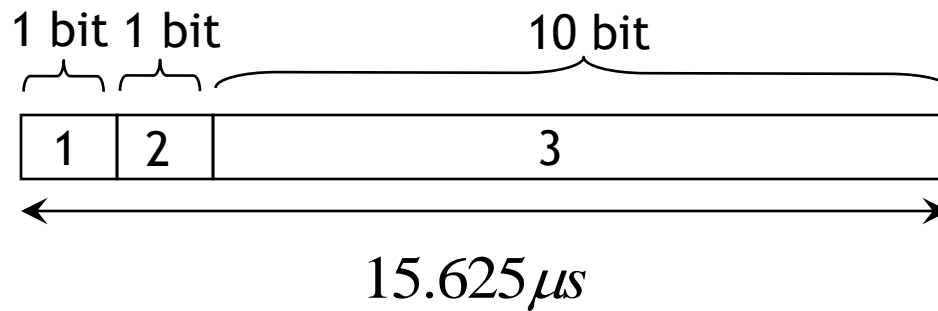
Anche  $2 \times 64 + 640 = 768 \text{ kb/s}$

---

# Esercizio 3-Soluzione

---

Struttura della trama:



$$\text{Durata Trama} = \frac{1 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s}} \equiv 15.625 \mu s$$

$$\text{Velocità trasmissione multiplex} = \frac{12 \text{ bit}}{15.625 \mu s} \equiv 768 \text{ kbit/s}$$

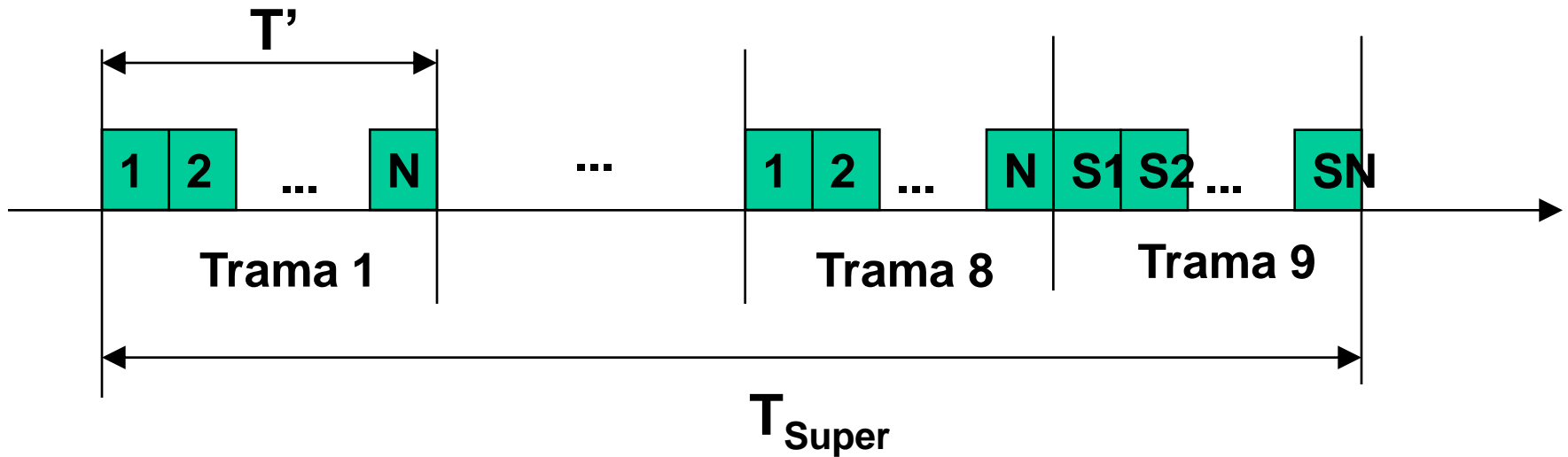
---

## Esercizio 4

---

- $N$  flussi vocali a 64 kb/s sono multiplexati a divisione di tempo ad interlacciamento di ottetto. Gli stessi  $N$  slot della trama sono usati anche per convogliare un canale di segnalazione a 8 kb/s per ogni flusso vocale con il meccanismo della multitrama (ogni slot di canale nella multitrama è usato per tale servizio anziché per il flusso vocale). Si determini la durata della trama e della multitrama.
-

## Esercizio 4- Soluzione



- La segnalazione è 8 volte più lenta. Quindi abbiamo uno slot di segnalazione ogni 8 slot voce.
- Ogni sorgente manda 8 ottetti in un tempo di supertrama ( $T_{Super}$ ):

$$T_{Super} = \frac{8 \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s}} = 1 \text{ ms}$$

$$T' = \frac{T_{Super}}{9} = 111 \mu\text{s}$$

# Esercizio 5

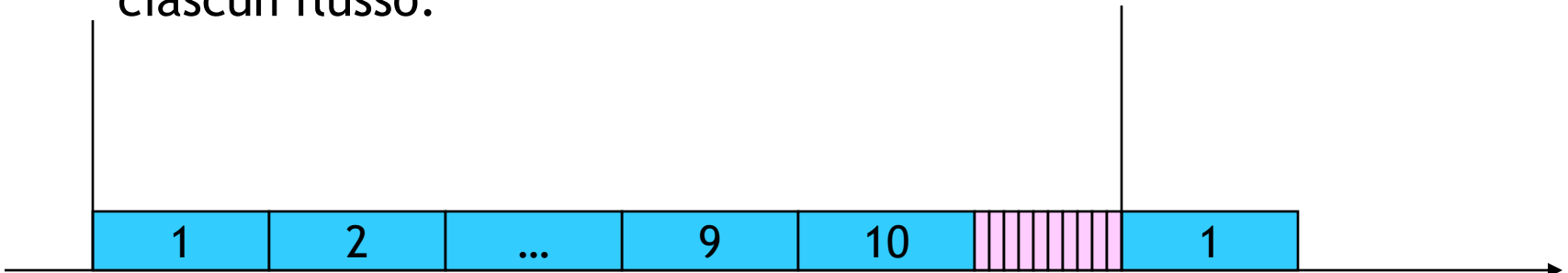
---

- 10 flussi vocali a 64 kb/s sono multiplati a divisione di tempo su un multiplex configurabile parametricamente in N canali ad interlacciamento di ottetto con durata della trama anch'essa configurabile. A ciascun flusso va aggiunto un canale di segnalazione. Si considerino le diverse soluzioni possibili nei casi:
    - il canale di segnalazione abbia velocità pari a 6.4 kb/s
    - il canale di segnalazione abbia velocità pari a 8 kb/s e si possano usare frazioni del canale del multiplex col minimo spreco possibile
    - il canale di segnalazione abbia velocità pari a 8 kb/s e ciascuno di questi venga ricavato dividendo il canale di traffico col meccanismo della multitrama.
  - Si calcoli, in tutti i casi, il numero N di canali da usare, la durata della trama, la dimensione della eventuale multitrama, la velocità del multiplex.
-

## Esercizio 5-Soluzione (a)

---

- La segnalazione complessivamente necessita di 64 kb/s, l'equivalente di un canale in più. Se l'interlacciamento fosse stato a 10 bit, un bit per trama corrisponderebbe a una velocità di 6,4 kb/s
- e la durata trama sarebbe stata di 156 micros (10bit/64 kb/s).
- Sarebbe allora bastato aggiungere un canale in più (N=11) e assegnare i 10 bit di una trama uno per la segnalazione di ciascun flusso.



La velocità del multiplex è  $11 \times 64 = 704 \text{ kb/s}$

---

## Esercizio 5-Soluzione (a)

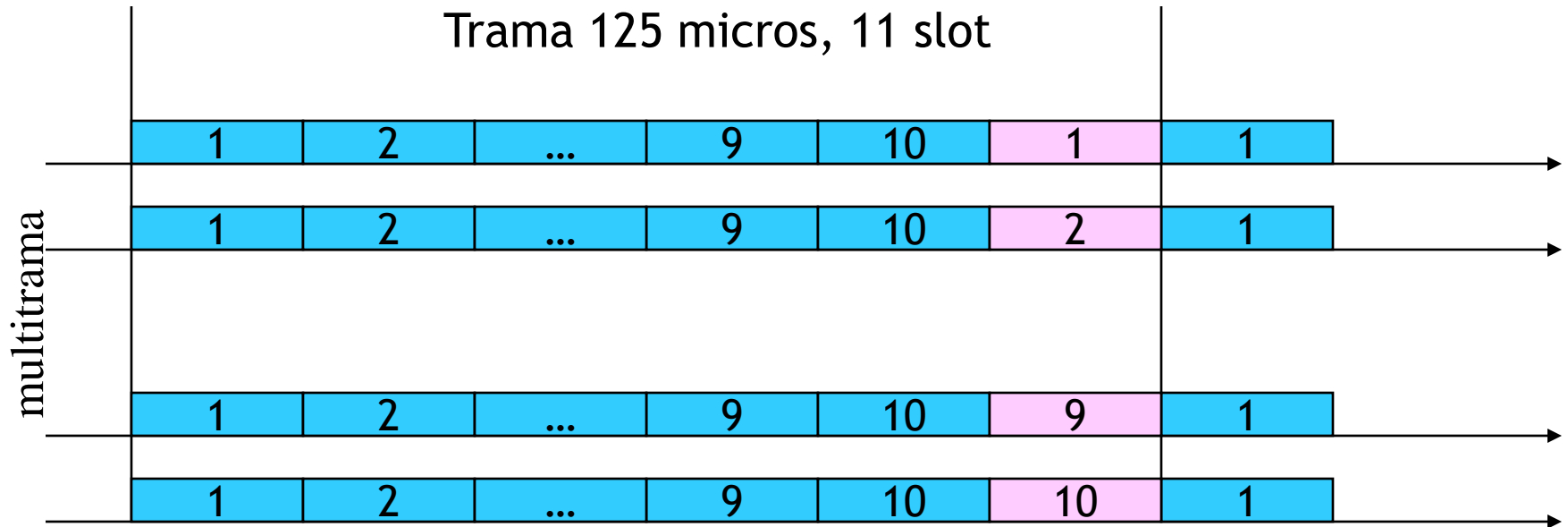
---

- Nel caso attuale la durata della trama è di 125 micros e un bit per trama corrisponde a 8 kb/s, velocità troppo grande. Per ridurla occorre far ricorso al meccanismo a multitrama. Si può usare il canale in più ( $N=11$ ) nella trama di  $8/64=125$  micros assegnandolo alla segnalazione di ciascun flusso col meccanismo della multitrama di dimensione  $m=10$ . Tutti gli 8 bit dello slot assegnati alla segnalazione di un flusso vocale, cambiando flusso di trama in trama all'interno della multitrama.
  - 8 bit ogni 10 trame forniscono infatti  $64/10$  kb/s.
-

# Esercizio 5-Soluzione (a)

---

Meccanismo della multitrama.



La velocità del multiplex è  $11 \times 64 = 704 \text{ kb/s}$

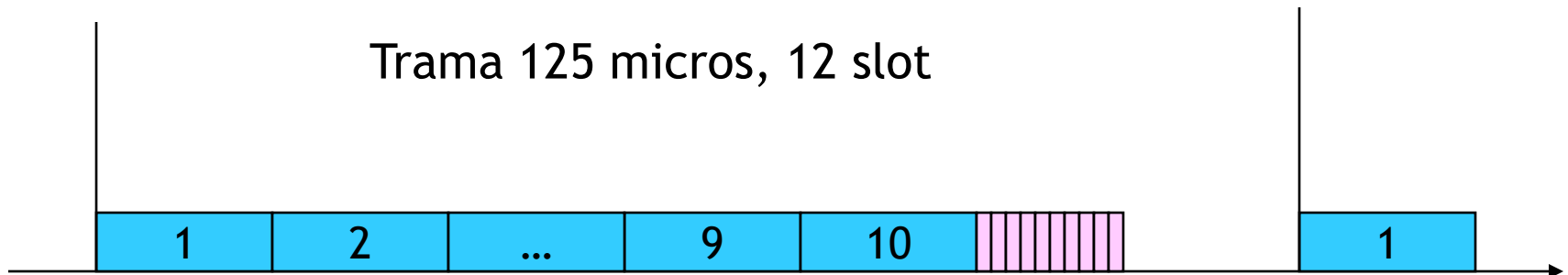
---



## Esercizio 5-Soluzione (b)

---

- In questo caso la segnalazione complessivamente necessita di 80 kb/s, l'equivalente di 1,25 canali in più, che non si possono ottenere senza sprechi.
- Si possono allora usare due canali in più (N=12, con 16 bit in più) e assegnare i primi 10 bit dei 16 bit uno per ciascun flusso, sprecando i restanti 6 bit.

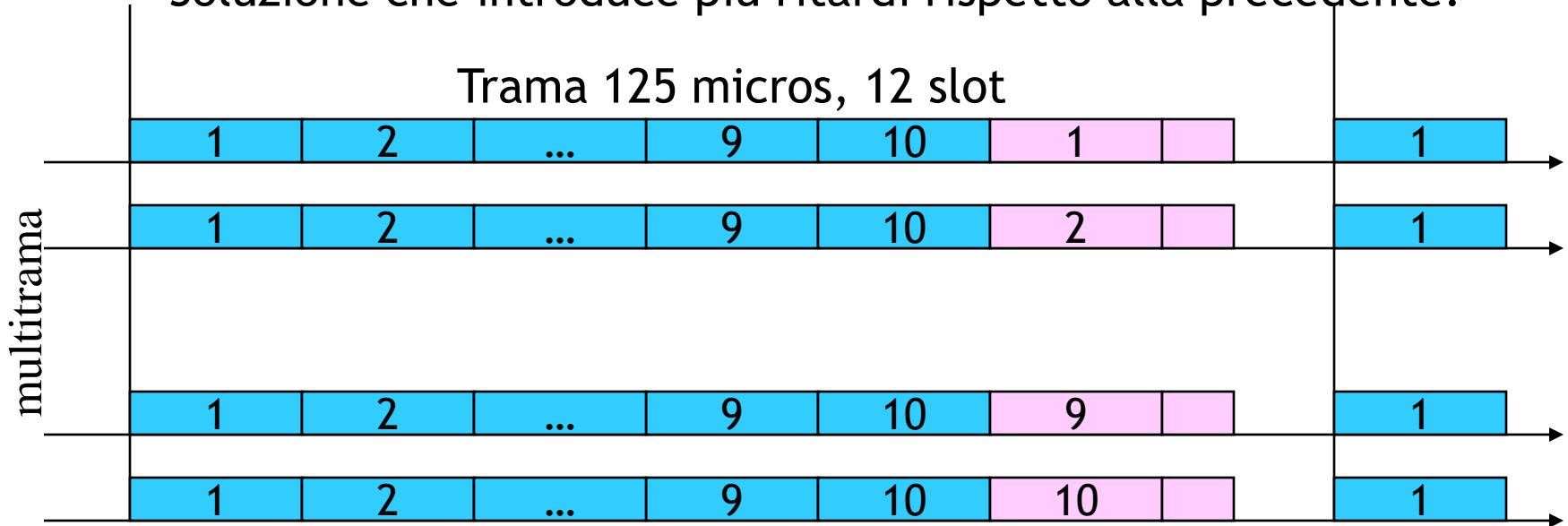


La velocità del multiplex è  $12 \times 64 = 768 \text{ kb/s}$

---

## Esercizio 5-Soluzione (b)

- L'alternativa è di assegnare i due canali in più col meccanismo della multitrama usando sempre 10 bit su 16. Non si può evitare lo spreco perché ciascuno slot corrisponde a 64 kb/s mentre la segnalazione complessiva corrisponde a 80 kb/s. Soluzione che introduce più ritardi rispetto alla precedente.



La velocità del multiplex è  $12 \times 64 = 768 \text{ kb/s}$

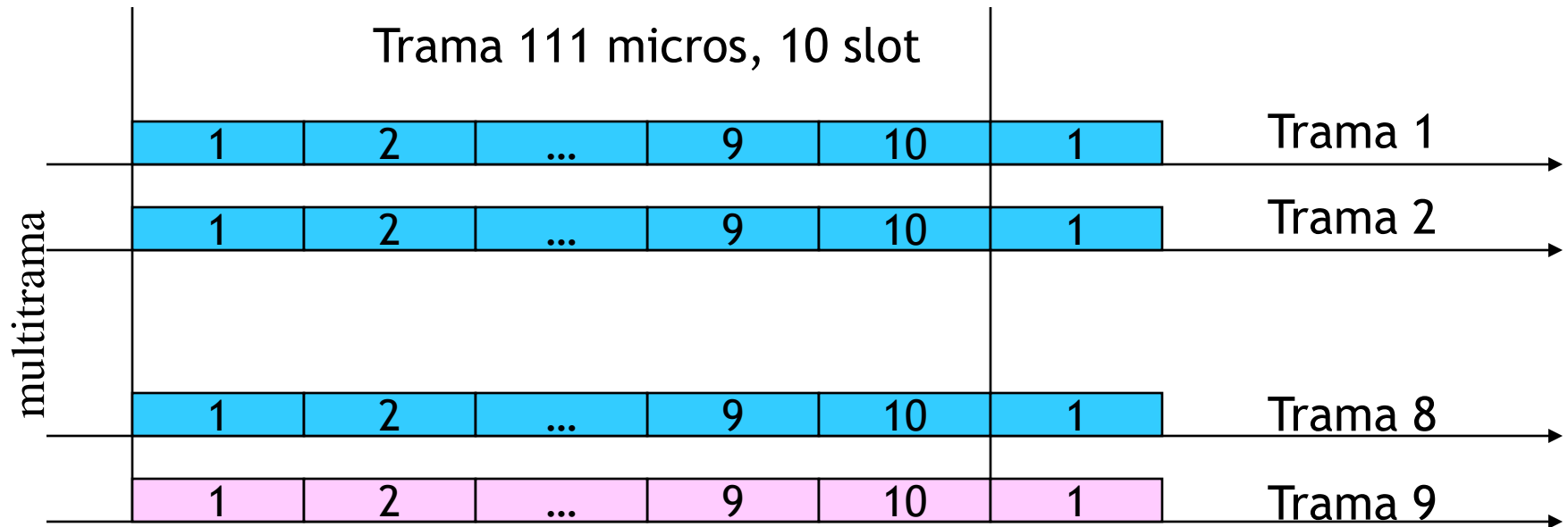
## Esercizio 5-Soluzione (c)

---

- Si adotta una trama con  $N=10$  e si assegna ciascuno slot in parte al flusso vocale e in parte alla segnalazione col meccanismo della multitrama. Poiché la velocità del canale di servizio è  $1/8$  della velocità del flusso occorre una multitrama di 9 trame dove nello slot delle prime 8 vanno trovati posto l'ottetto vocale mentre nella nona trova posto un ottetto del canale di servizio.
  - Poiché dalla voce vengono usate le trame 8 volte su 9 la durata della trama va ridotta in modo che la frequenza media degli slot voce non cambi (v dopo)
-

# Esercizio 5-Soluzione (c)

---



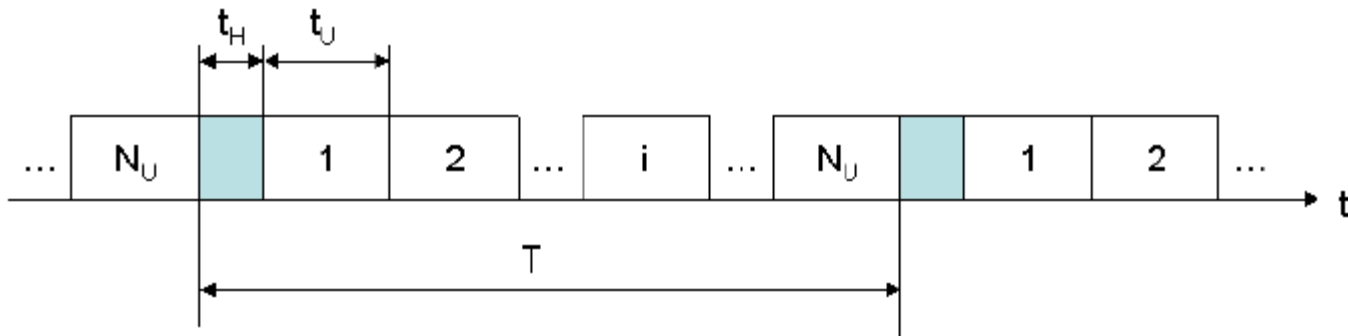
## Esercizio 5-Soluzione (c)

---

- Gli 8 ottetti vocali trasmessi da un canale nella multitrama sono generati in  $125 \times 8 = 1000$  ms e tale deve essere la lunghezza della multitrama e dunque ciascuna nuova trama è lunga  $1000/9 = 111.11$  ms.
  - La velocità del multiplex è  $(10 \times 8)/(1000/9) = 720$  kb/s
  - Ovviamente pari alla somma dei flussi entranti ( $11 \times 64$  kb/s) , dato che non ci sono sprechi
  - Con questo meccanismo si riesce a realizzare qualunque velocità del canale di segnalazione (usato nel GSM)
-

# Esercizio 6

- Un link che trasmette al bit-rate  $F_L = 40$  Mbit/s è collegato mediante un multiplexer di tipo TDM ad un certo numero di stazioni-sorgente. Si dimensiona il sistema per garantire che ciascuna stazione trasmetta alla frequenza media  $F_U = 155$  kbit/s. Per i messaggi di segnalazione è necessario prevedere in ogni trama un numero di bit addizionali  $C_H$  pari al 50% del numero di bit  $C_U$  trasmessi da ciascuna stazione in ogni trama.
  - Calcolare il numero massimo di stazioni  $N_U$ .
  - Il sistema trasmissivo impone che ogni stazione non possa rimanere senza trasmettere bit per più di  $t_s = 64.125$   $\mu$ s. Facendo riferimento alla figura seguente, calcolare  $t_U$ ,  $C_U$ ,  $C_H$  e  $T$ .



# Esercizio 6-Soluzione

---

La velocità del multiplex deve soddisfare la seguente disuguaglianza:

$$F_L \geq N_U F_U + F_H \quad (1)$$

In ogni trama, servono un numero di bit di segnalazione pari a  $C_U/2$ , quindi:

$$F_H = C_H / T = C_U / (2T) = F_U / 2$$

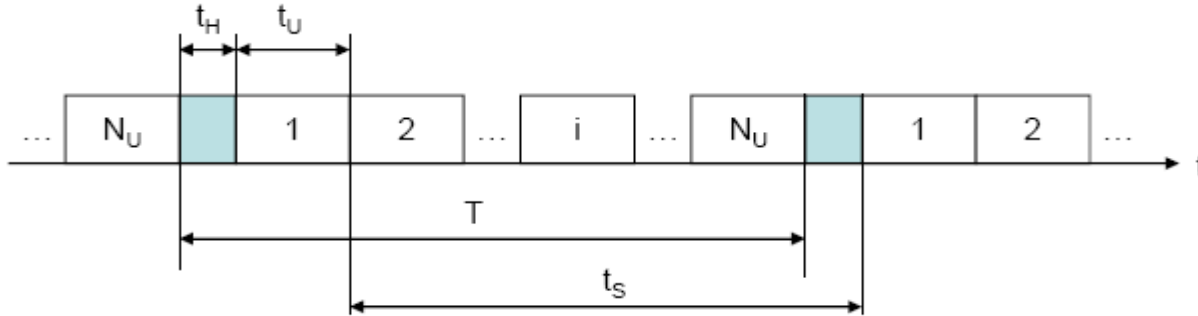
Risolvendo la (1) in  $N_U$ , si ha:

$$N_U \leq \frac{F_L - F_U / 2}{F_U} = \frac{40[\text{Mb} / \text{s}] - 77,5[\text{kb} / \text{s}]}{155[\text{kb} / \text{s}]} = 257,5$$

---

# Esercizio 6-Soluzione

---



Per ipotesi:  $t_S = (N_U - 1)t_U + t_H$

Sapendo che:  $t_H = t_U / 2$  si ha

$$t_S = (N_U - 1/2)t_U$$

$$t_U = 0,25\mu s$$

E' quindi facile trovare:

$$C_U = F_L t_U = 10[bit]$$

$$C_H = 5[bit]$$

$$T = N_U t_U + t_H = 64,375\mu s$$

---



# Esercizio 7

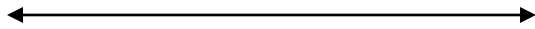
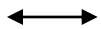
---

- In un sistema cellulare la velocità della portante è di 1.6 Mb/s a valle del demodulatore. Il sistema opera secondo un meccanismo di accesso multiplo a divisione di tempo. In ogni slot trasmissivo sono necessari 32 bit di guardia.
  - Dire quale è il tempo di guardia corrispondente
-

# Esercizio 7 - Soluzione

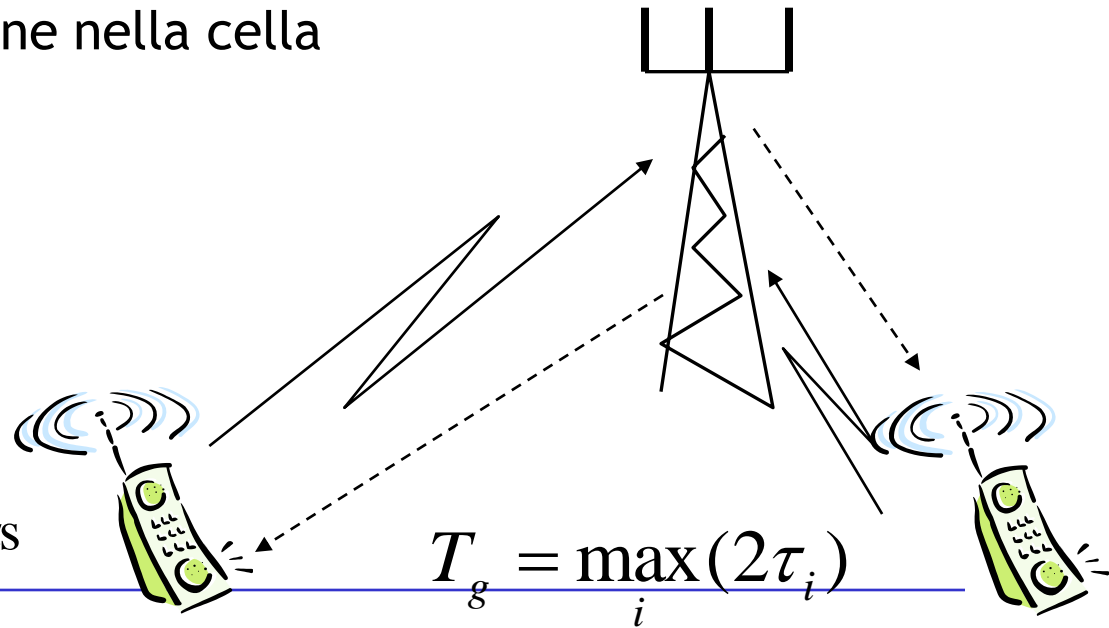
- Obiettivo: Mantenere la sincronizzazione
- Sincronizzazione (potenzialmente) persa per:
  - Stazioni a distanza diversa da BTS
  - Diversi ritardi di propagazione
- Soluzione:
  - Lo slot trasmissivo deve “compensare” la massima differenza tra i ritardi di propagazione nella cella

$T_{\text{guardia}}$



Slot

$$T_G = 32[\text{bit}] / 1,6[\text{Mb/s}] = 20 \mu\text{s}$$



$$T_g = \max_i(2\tau_i)$$

## Esercizio 8

---

- Un operatore mobile ha progettato un sistema cellulare basato sulla tecnica di accesso a divisione di tempo (TDM/TDMA) con velocità di portante di 2 Mb/s a valle del modulatore e raggio massimo delle celle pari a 1Km.
  - Trovare il tempo di guardia necessario e il corrispondente numero di bit di guardia da inserire in ogni slot trasmissivo (si assuma che la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche sia pari a  $3 \times 10^8$  m/sec).
  - Calcolare l'efficienza sapendo che la durata complessiva dello slot trasmissivo è di 666  $\mu$ s.
-

# Esercizio 8 -Soluzione

---

- Se R è il raggio massimo delle celle si ha:

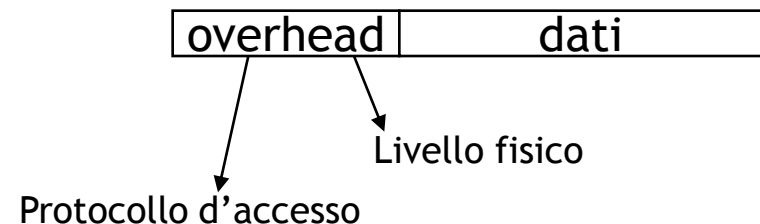
$$T_g = 2\tau = 2 \frac{R \text{ [Km]}}{3 * 10^8 \text{ [m / s]}} = 6.6 \mu\text{s}$$

- Il numero di bit di guardia N è:

$$N = 6 \times 10^{-6} \text{ [s]} \times 2 \times 10^6 \text{ [bit / s]} = 12$$

- L'efficienza è data da:

$$\eta = \frac{T_{INFO}}{T_{INFO} + T_G} = 0,99$$



# Esercizio 9

---

- Un sistema radio cellulare presenta un accesso multiplo di tipo TDMA per 100 canali che trasportano voce codificata a 32 kb/s. Immaginando che il raggio delle celle sia di 300 m, che non si usi il meccanismo di compensazione delle distanze (*timing advance*), e che l'efficienza di trasmissione complessiva non debba essere inferiore al 90% (trascurando i bit di *overhead* all'interno del *burst*) si calcoli
    - Il tempo di guardia
    - La durata della trama
    - La lunghezza del TDMA *burst* in bit
    - La velocità del TDMA
  - Si assuma che la velocità di propagazione del segnale sia di  $3 \times 10^8$  m/s.
-

## Esercizio 9 - Soluzione (1)

---

Detto  $\tau$  il ritardo di propagazione *one way* si ha

$$\tau = 300 \text{ m} / 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 1 \mu\text{s}$$

e un tempo di guardia di

$$2\tau = 2 \mu\text{s}.$$

Dunque il *burst* di trasmissione deve durare almeno  $T$  con

$$T/(T+2\tau) > 90\%$$

che fornisce  $T > 18\tau$ , ossia

$$T > 18 \mu\text{s}$$

La durata della trama  $D$ , con  $T = 18 \mu\text{s}$  è allora

$$D = 100 (18 \mu\text{s} + 2 \mu\text{s}) = 2000 \mu\text{s} = 2 \text{ ms}.$$

---

## Esercizio 9 - Soluzione (2)

---

Ogni canale trasmette un *burst* di durata T ogni trama di durata D.

I bit B che arrivano per ogni canale durante il periodo di trama sono:

$$B = 32000 \text{ bit/s} \times 2 \text{ ms} = 64 \text{ bit.}$$

I B bit nel *burst* vanno spediti alla velocità V tale da impiegare un tempo T.

$$V = 64 \text{ bit} / 18 \mu\text{s} = 3.555 \text{ Mb/s}$$

---

# Esercizio 10

---

- Un sistema di accesso multiplo TDMA via satellite geostazionario utilizza burst di 10.000 bit alla velocità di 34 Mb/s. Le distanze delle stazioni di terra dal satellite variano da 36.000 a 40.000 Km, la velocità del segnale è di circa 300.000 Km/s e il ritardo a bordo del satellite è trascurabile.
    - Si calcoli la larghezza dello slot temporale assegnato a ciascuna stazione e l'efficienza del sistema nel caso in cui non si possa compensare la differenza di distanza.
    - Quante stazioni di terra si possono mettere se ciascuna deve poter trasmettere un flusso a 2 Mb/s?
    - Come il caso precedente in cui vengano compensate in toto le differenze di distanze.
    - Come il caso precedente in cui vengano compensate ma con un margine d'errore di 0,001.
-



## Esercizio 10 - Soluzione

---

- a) Calcolo il tempo di guardia:

$$\tau_1 = \frac{36000km}{300000km/s} = 0.12s \quad \text{Ritardo di propagazione minimo}$$

$$\tau_2 = \frac{40000km}{300000km/s} = 0.133s \quad \text{Ritardo di propagazione massimo}$$

$$2\Delta\tau = 2(\tau_2 - \tau_1) = 0.0267s \equiv 26.7 \text{ ms}$$

- La durata di un *burst* è pari a:

$$T_B = \frac{10000\text{bit}}{34 \text{ Mbit/s}} = 294.118 \mu\text{s}$$

---

## Esercizio 10 - Soluzione

---

a) Lunghezza slot temporale ed efficienza del sistema

$$T_{SLOT} = 2\Delta\tau + T_B = 26.99 \text{ ms}$$

$$\eta = \frac{T_B}{2\Delta\tau + T_B} = \frac{0.2941}{26.99} = 0.0109$$

b) La lunghezza della trama è il tempo d'arrivo di 10000 bit a 2 Mb/s, ossia 5 ms, ma il tempo di slot è di 26.99 ms

Non è possibile accomodare nessuna stazione a 2 Mb/s

---

## Esercizio 10 - Soluzione

---

c) Lunghezza slot temporale ed efficienza del sistema:

$$T_{SLOT} = T_B = 294.12 \mu s$$

$$\eta = 1$$

b) La lunghezza della trama è il tempo d'arrivo di 10000 bit a 2 Mb/s, ossia 5 ms. Posso accomodare

$$5/0.29412 = 17$$

---

## Esercizio 10 - Soluzione

---

d) Un per mille di  $2\tau$  è

$$2\Delta\tau \times 0.001 = 26.7 \times 0.001 = 0.0267 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} T_{SLOT} &= 2\Delta\tau + T_B = 26.7 + 294.117 = \\ &= 320.7 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{T_B}{2\Delta\tau + T_B} = \frac{294.117}{320.7} = 0.917$$

Numero di stazioni

$$\frac{5000}{320.7} = 15.59$$

---