

---

**Esercizi su:**  
**Ritardi di trasferimento**  
**Commutazione**  
**Sorgenti di Traffico**

---

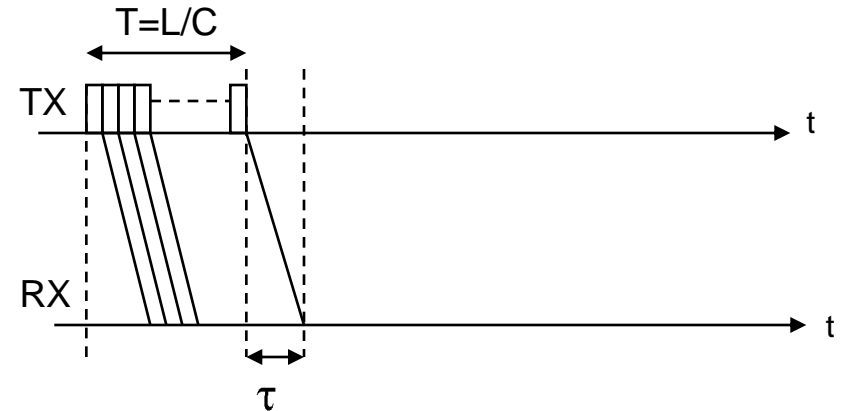
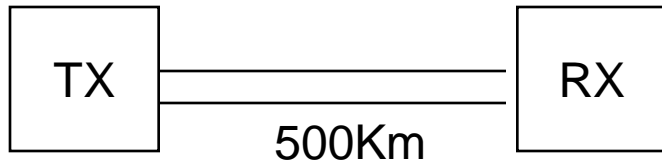
# Esercizio 1

---

- Un sistema trasmissivo della velocità di  $100 \text{ kb/s}$  presenta una lunghezza di  $500 \text{ km}$ . Si calcoli il tempo che intercorre fra la trasmissione del primo bit e la ricezione dell'ultimo bit di un pacchetto lungo  $2000 \text{ bit}$ , assumendo che il ritardo di propagazione sia di  $5 \mu\text{s/km}$
-

# Esercizio 1 - Soluzione

---



Il tempo di trasmissione è

$$T = 2000 \text{ bit} / 100 \text{ kb/s} = 20 \text{ ms}$$

mentre il tempo di propagazione è

$$\tau = 5 \mu\text{s/km} \cdot 500 \text{ km} = 2500 \mu\text{s} = 2,5 \text{ ms}$$

Il tempo cercato è dunque di

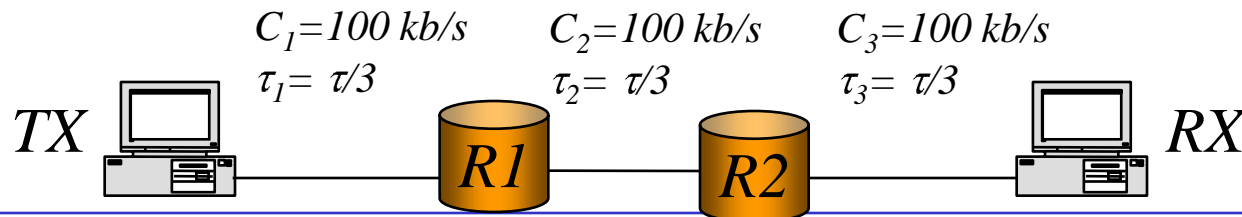
$$T + \tau = 22.5 \text{ ms.}$$

---

## Esercizio 2

---

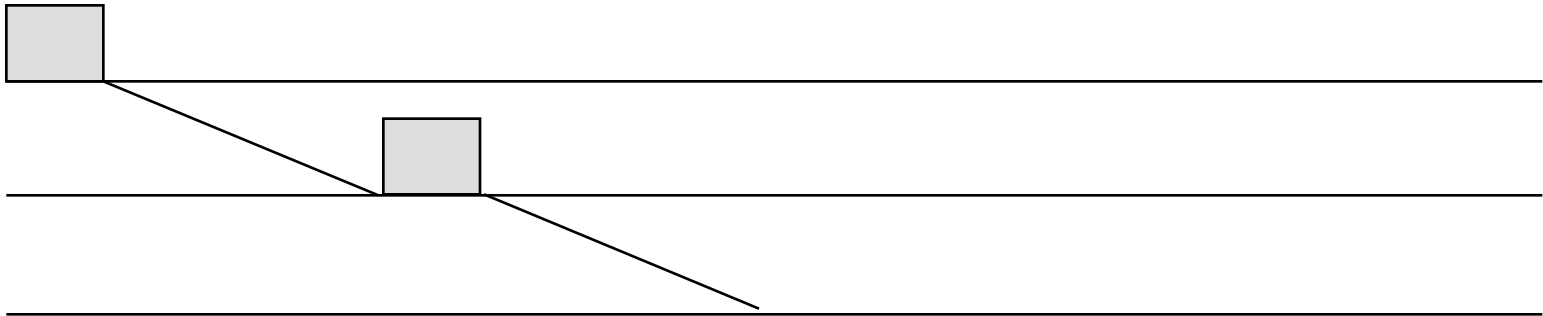
- Il sistema dell'esercizio precedente (stessa lunghezza complessiva del collegamento TX-RX) attraversi due router, ciascuno dei quali presenta una latenza (*latency*), ossia un tempo di accodamento in uscita, pari al tempo di trasmissione, ed una capacità di 100kb/s.
- Si calcoli il ritardo totale nei due casi in cui nei router si applichi:
  - la modalità *store and forward*
  - e la modalità *cut-through*, ipotizzando che la lunghezza dell'*header* sia di 200 bit (a parità di dimensione totale del pacchetto).



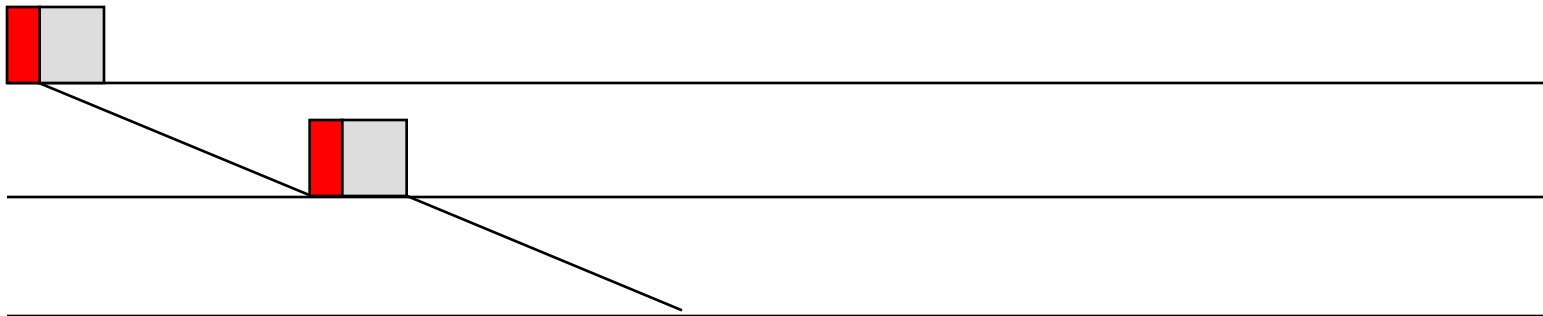
## Esercizio 2 - Soluzione

---

- *Store-and-forward*: il pacchetto deve essere completamente ricevuto prima di essere ritrasmesso

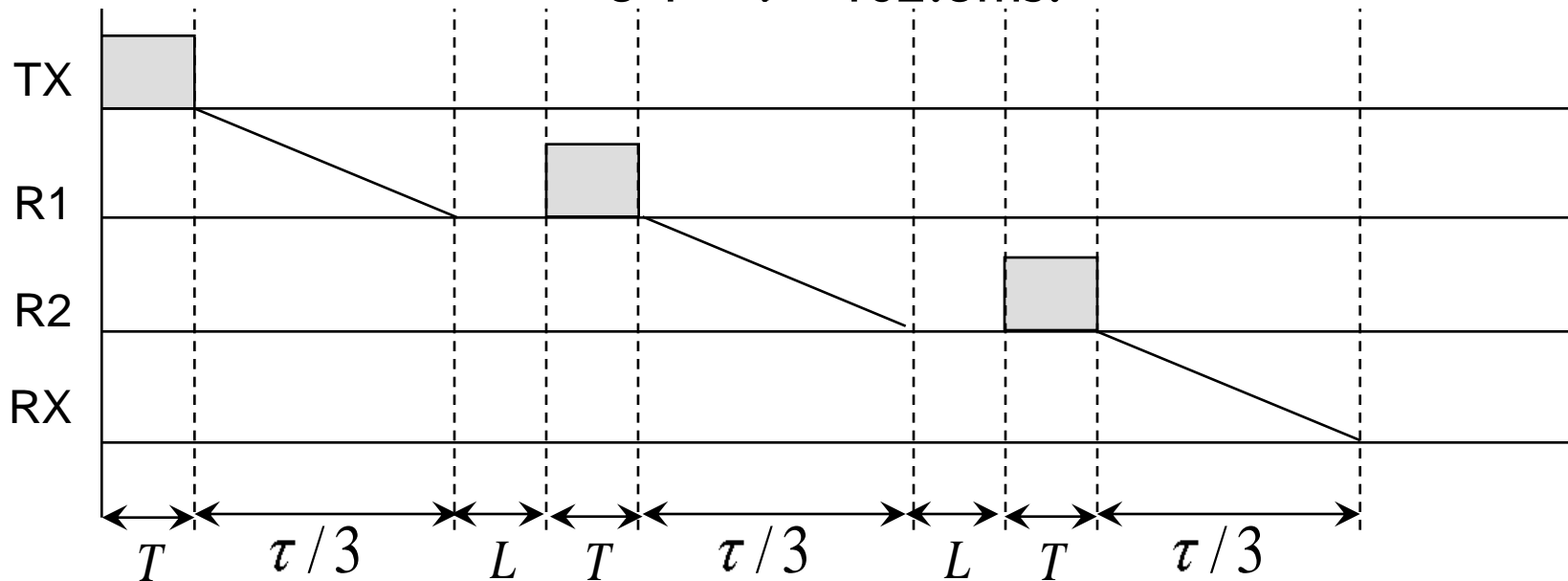


- *Cut-Through*: il pacchetto viene ritrasmesso alla completa ricezione dell'header



## Esercizio 2 - Soluzione

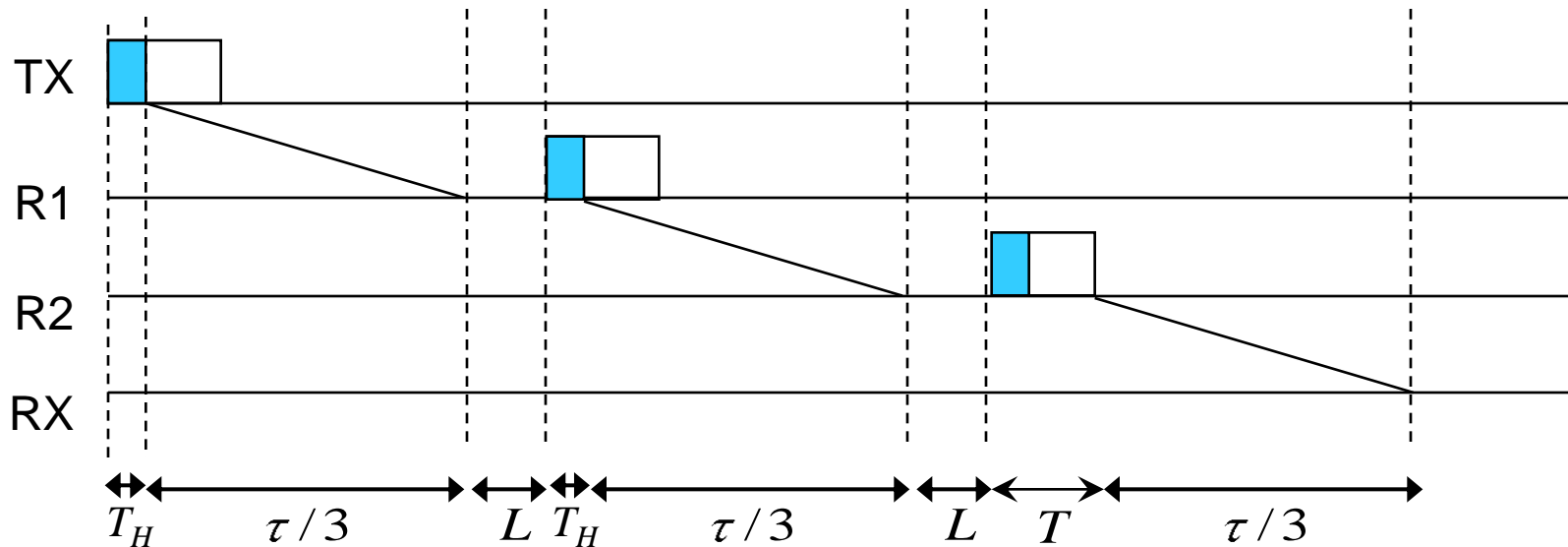
- Nel caso *store-and-forward* si pagano  
3 tempi di trasmissione ( $T$ ) + 2 latency ( $L$ ) +  
+ il tempo di propagazione ( $\tau$ ).
- Poiché  $L=T$ , il ritardo cercato è dunque di  
 $5 T + \tau = 102.5\text{ms}$ .



## Esercizio 2 - Soluzione

- Nel caso *cut-through* il tempo di trasmissione dell'*header* si paga tre volte (l'*header* è sempre trasmesso con modalità *store and forward*) mentre il tempo di trasmissione del resto si paga una sola volta. Il tempo totale è dunque

$$3 \cdot \underbrace{2 \text{ ms}}_{T_H} + \underbrace{18 \text{ ms}}_{T - T_H} + 2 \cdot \underbrace{20 \text{ ms}}_L + \underbrace{2.5 \text{ ms}}_{\tau} = 66.5 \text{ ms.}$$



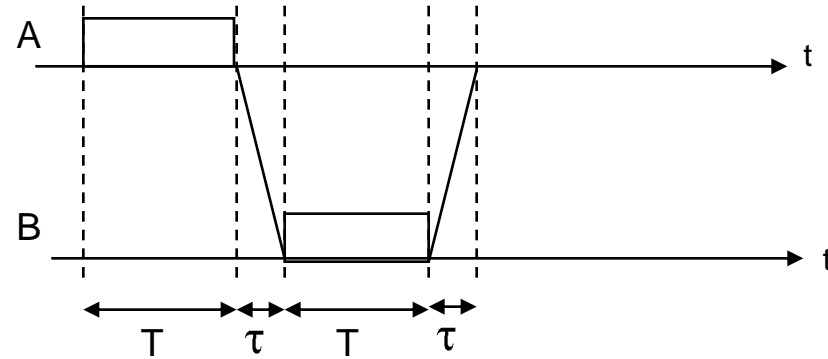
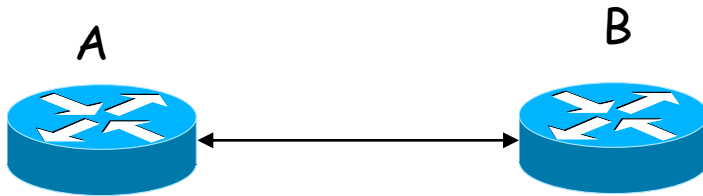
## Esercizio 3

---

- Un pacchetto di 10000 bit viene inviato dal nodo A alla velocità di 100 kb/s su un collegamento di 100 km. Il pacchetto viene ricevuto tutto in B e poi viene rimandato al mittente A alla stessa velocità di trasmissione.
  - Si calcoli l'intervallo di tempo che intercorre fra la trasmissione del primo bit in A e la ricezione dell'ultimo bit, sempre in A, assumendo che la velocità del segnale sia di 200000 km/s.
  - Si ripeta il conto nel caso in cui la velocità di trasmissione sia di 10 Gb/s.
-



## Esercizio 3 - Soluzione



Il tempo cercato si può esprimere come:

$$\begin{aligned} T &= T_1 + \tau_1 + T_2 + \tau_2 = 2 \times (T + \tau) = \\ &= 2 \times \left[ \frac{10 \text{ kb}}{100 \text{ kb/s}} + \frac{100 \text{ km}}{200000 \text{ km/s}} \right] = \\ &= 0,2 \text{ s} + 0,001 \text{ s} = 0,201 \text{ s} = 201 \text{ ms} \end{aligned}$$

Con 1 Gb/s risulta 0,001002 s = 1,002 ms

## Esercizio 4

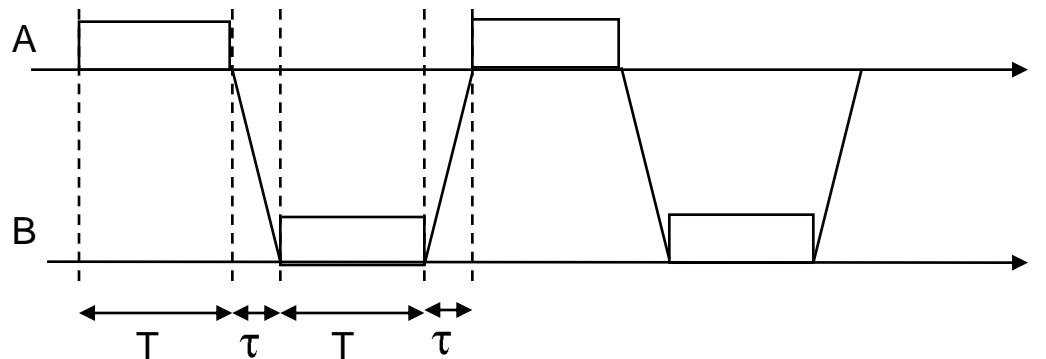
---

- Due utenti colloquiano su un canale half-duplex lungo 100 km alla velocità di trasmissione di 1 Gb/s.
  - I due utenti debbono trasferirsi l'un l'altro dei files, ed eseguono la trasmissione in *half-duplex* commutando il canale ogni 10000 bit ricevuti.
  - Assumendo che la commutazione del canale avvenga in un tempo nullo e che velocità del segnale sia di 200000 km/s, a che velocità effettiva trasmettono i files?
  - Si calcoli il totale tempo di trasmissione di un file di 1 Gbyte.
-

## Esercizio 4 - Soluzione

---

- Tempo di trasmissione,  $T = 10 \text{ kbit} / 1 \text{ Gbit/s} = 10 \mu\text{s}$
- Tempo di propagazione,  $t = 500 \mu\text{s}$



- Un utente trasmette il suo blocco di dati, aspetta che sia arrivato, commuta il canale ed aspetta il blocco trasmesso dall'altro utente.
  - Ogni utente trasmette 10000 bit in un periodo di  $2 \times 510 \mu\text{s} = 1,02 \text{ ms}$
  - Il rate di trasferimento effettivo è:  $V = 10 \text{ kbit} / 1,02 \text{ ms} = 9,8 \text{ Mbit/s}$
-

# Esercizio 4 - Soluzione

---

- File da trasferire 1Gbyte = 8Gbit
  - Tempo totale =  $8\text{Gbit} / 9,8 \text{ Mbit/s} = 816 \text{ s}$
  - Altro modo
  - Numero di trasmissioni necessarie:  
$$N = 8\text{Gbit} / 10 \text{ kbit} = 800000$$
  - Tempo totale =  $N \times 1.02\text{ms} = 816 \text{ s}$
-

## Esercizio 5

---

- Una rete LAN é composta da un segmento broadcast lineare lungo 1 km. Due stazioni agli estremi opposti trasmettono contemporaneamente un pacchetto di 2000 bit.
  - Si calcoli l'istante di fine trasmissione, l'istante di inizio ricezione e l'istante di fine ricezione nell'ipotesi che la velocità della rete,  $C$ , sia di 1 Gb/s, assumendo che la velocità del segnale sia di 200.000 km/s.
  - Si ripeta il conto nel caso in cui la velocità,  $C$ , sia di 10 Mb/s.
-

# Esercizio 5 - Soluzione

---

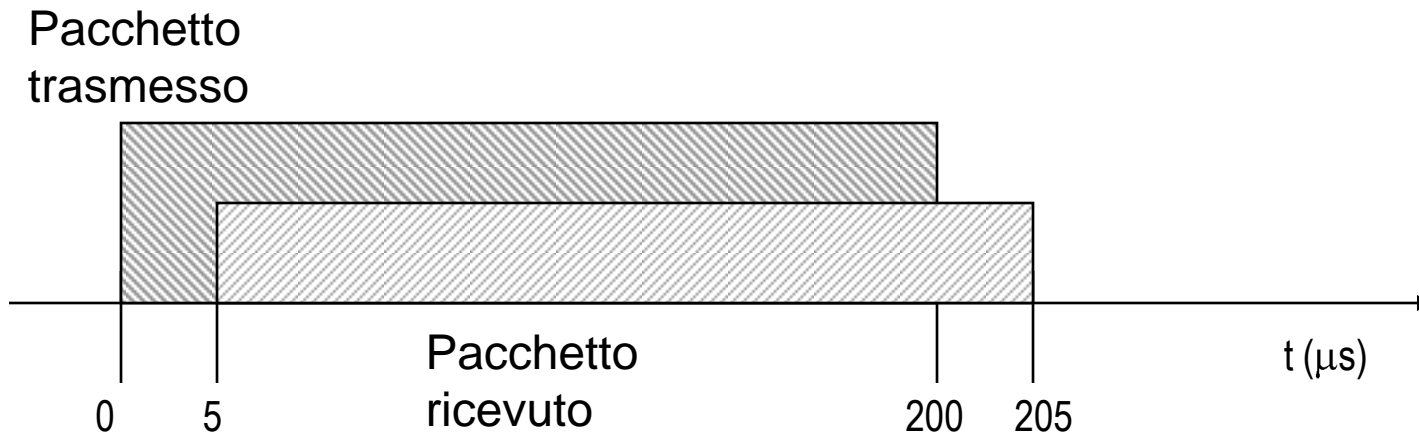
- Nel caso di  $C = 1 \text{ Gbit/s}$ 
  - inizio trasmissione,  $t = 0$
  - fine trasmissione,  $t = 2 \text{ kbit} / 1 \text{ Gbit/s} = 2 \mu\text{s}$
  - inizio ricezione,  $t = 1 \text{ km} / 200000 \text{ km} = 5 \mu\text{s}$
  - fine ricezione,  $t = 2 \mu\text{s} + 5 \mu\text{s} = 7 \mu\text{s}$



# Esercizio 5 - soluzione

---

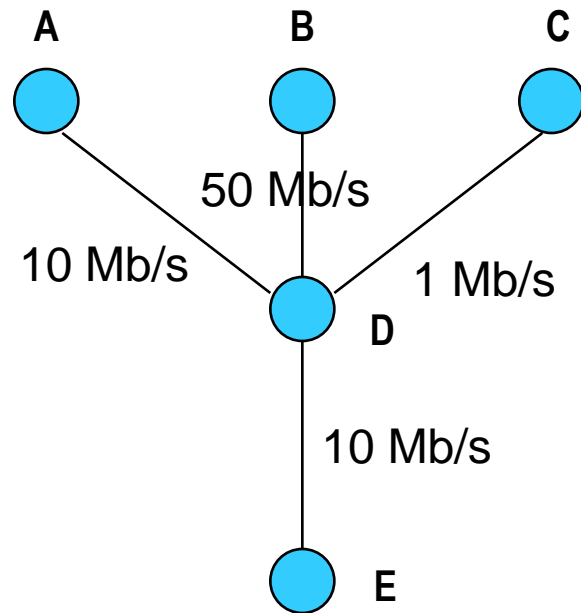
- Nel caso di  $C = 10 \text{ Mbit/s}$ 
  - inizio trasmissione,  $t = 0$
  - fine trasmissione,  $t = 2 \text{ kbit} / 10 \text{ Mbit/s} = 200 \mu\text{s}$
  - inizio ricezione,  $t = 1 \text{ km} / 200000 \text{ km} = 5 \mu\text{s}$
  - fine ricezione,  $t = 200 \mu\text{s} + 5 \mu\text{s} = 205 \mu\text{s}$



## Esercizio 6 (1)

---

- Al tempo  $t=0$  un pacchetto di 10 kbit viene trasmesso dal nodo A al nodo D su un canale con velocità pari a 10 Mb/s.
- Nel medesimo istante un altro pacchetto di 100 kbit viene trasmesso dal nodo B al nodo D su un canale con velocità pari a 50 Mb/s.
- Infine, sempre nel medesimo istante, un terzo pacchetto di 10 kbit viene trasmesso dal nodo C al nodo D su un canale con velocità pari a 1 Mb/s.
- Dal nodo D i tre pacchetti vengono trasmessi al nodo E su un canale con velocità pari a 10 Mb/s.





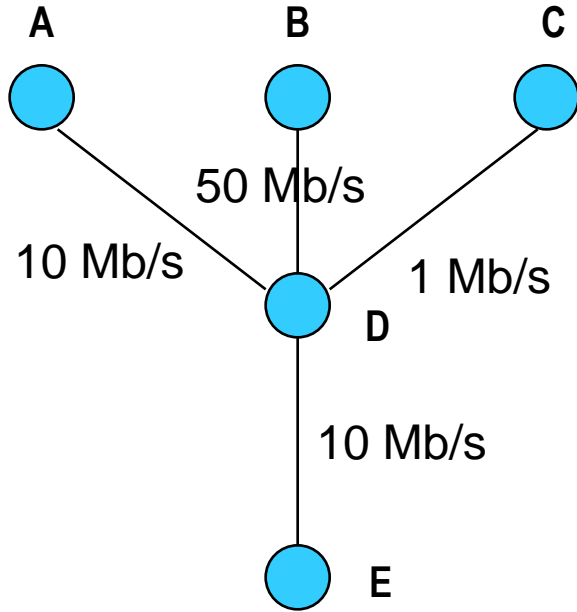
## Esercizio 6 (2)

---

- Si calcolino gli istanti di ricezione del primo e dell'ultimo bit dei tre pacchetti nel caso in cui i nodi eseguano commutazione *store and forward* e che l'accodamento verso il nodo E avvenga su base primo arrivato, supponendo che i tempi di propagazione e di *processing* siano trascurabili.
  - Si ripeta il conto supponendo che la commutazione in D sia, quando possibile, di tipo *cut-through* con un *header* pari a 1 kbit.
-

# Esercizio 6 - Soluzione

---



**Tempi trasmissione su link  
AD, BD e CD**

$$T_{AD} = \frac{10^4 \text{ bit}}{10^7 \text{ bit/s}} = 1 \text{ ms}$$

$$T_{BD} = \frac{10^5 \text{ bit}}{5 \cdot 10^7 \text{ bit/s}} = 2 \text{ ms}$$

$$T_{CD} = \frac{10^4 \text{ bit}}{10^6 \text{ bit/s}} = 10 \text{ ms}$$

**Tempi trasmissione su link DE**

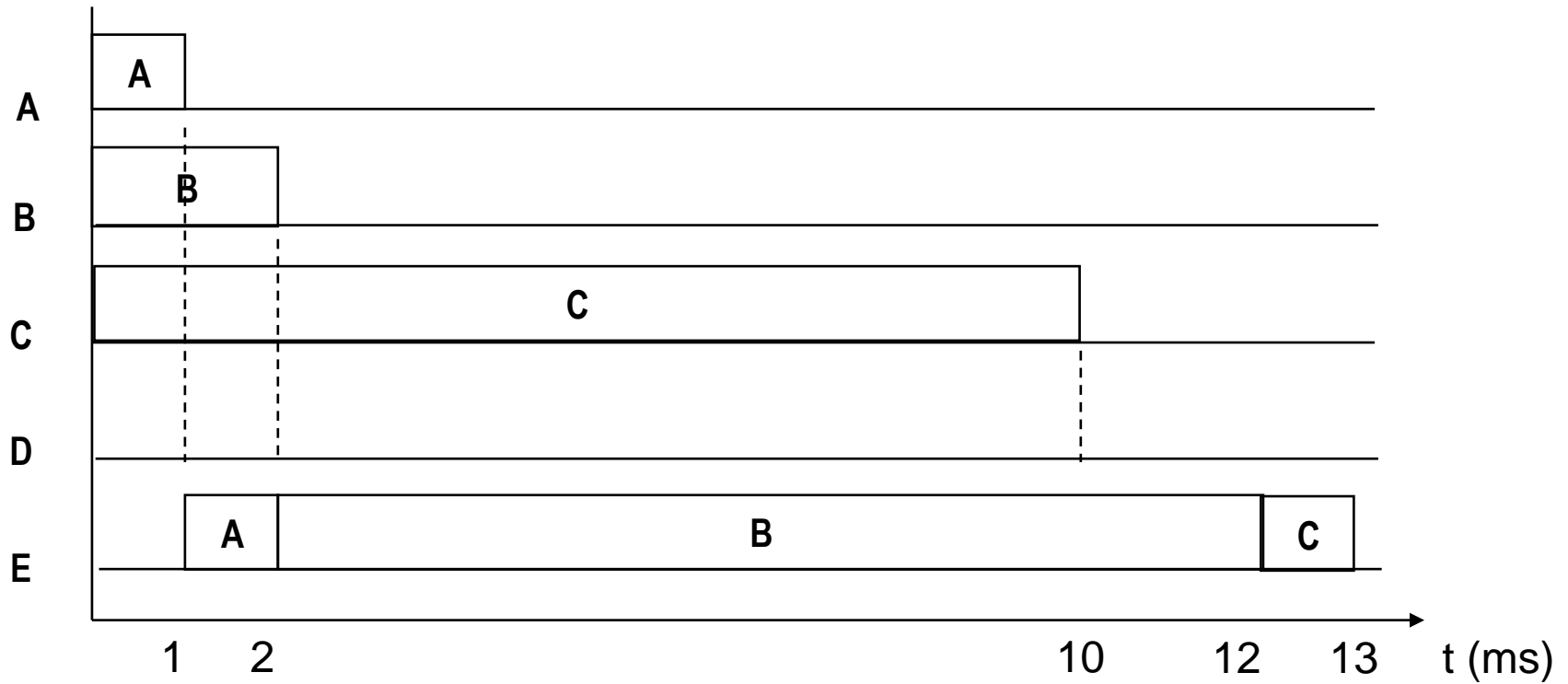
$$T_{DE}^A = T_{AD} = 1 \text{ ms}$$

$$T_{DE}^B = 10 \text{ ms}$$

$$T_{DE}^C = T_{CD} = 10 \text{ ms}$$

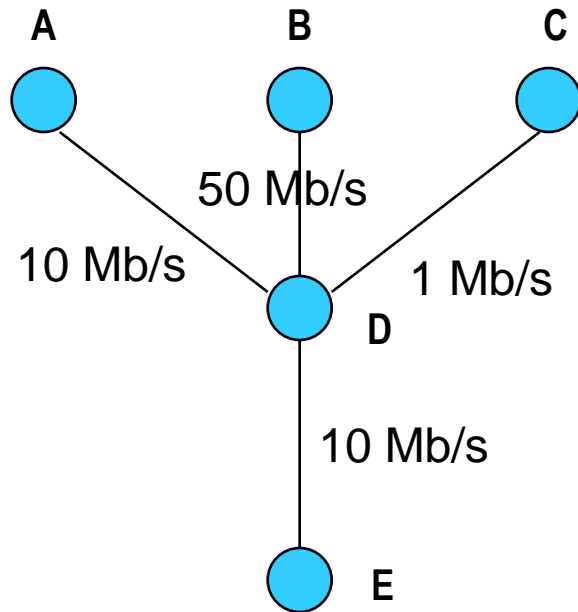
# Esercizio 6 - Soluzione

Nel caso *store and forward*:



## Esercizio 6 - Soluzione

Il Cut Through: Non è utilizzabile se il link di ingresso è più lento del link di uscita (la coppia CD e DE).



**Tempi trasmissione Header  
su link AD e BD**

$$T_{AD}^H = \frac{10^3 \text{ bit}}{10^7 \text{ bit/s}} = 0.1 \text{ ms}$$

$$T_{BD}^H = \frac{1}{5} T_{AD}^H = 0.02 \text{ ms}$$

**Tempi trasmissione su link DE**

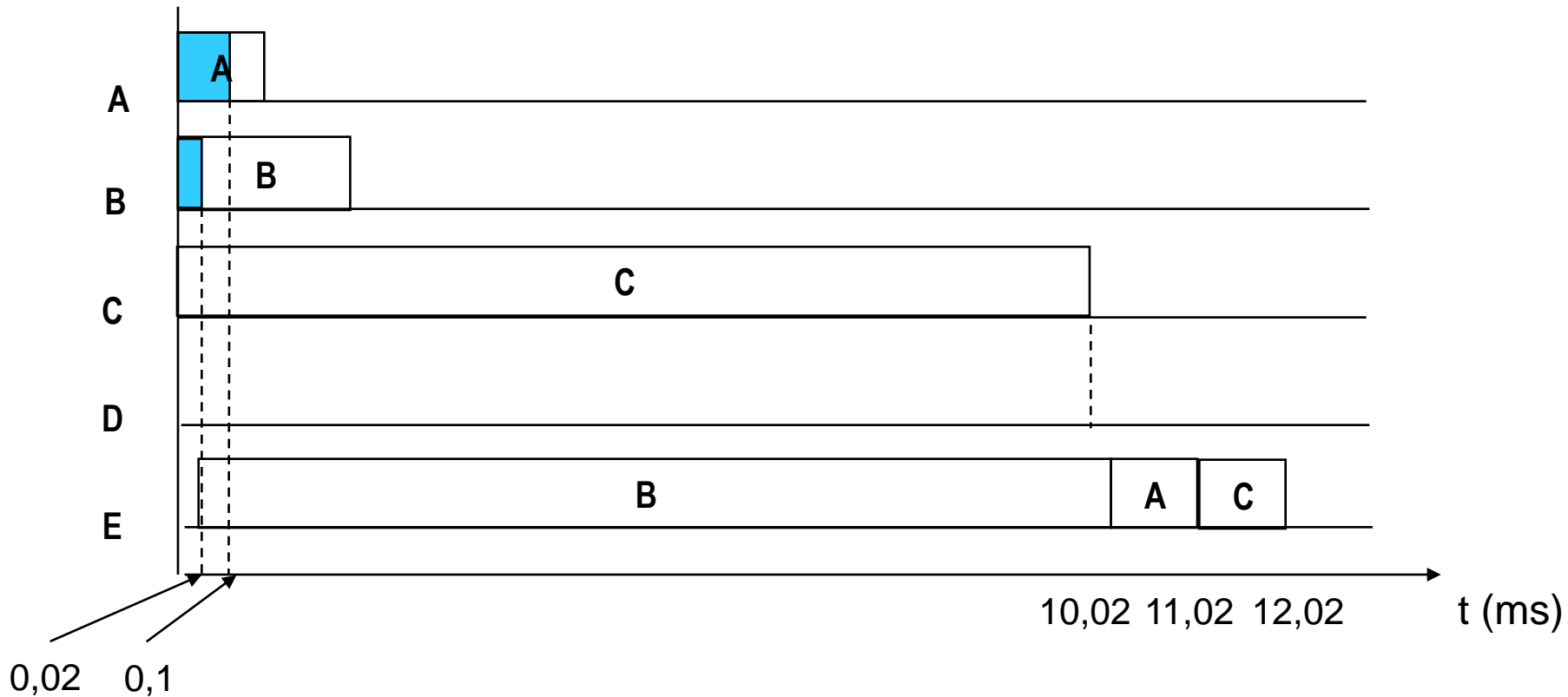
$$T_{DE}^A = T_{AD} = 1 \text{ ms}$$

$$T_{DE}^B = 10 \text{ ms}$$

$$T_{DE}^C = T_{DE}^A = 1 \text{ ms}$$

# Esercizio 6 - Soluzione

Nel caso con *cut through*



**Pacchetto A: primo bit a 10.02ms, ultimo bit a 11.02ms**

**Pacchetto B: primo bit a 0.02ms, ultimo bit a 10.02ms**

**Pacchetto C: primo bit a 11.02ms, ultimo bit a 12.02ms**

# Esercizio 7

---

Il segnale sonoro del formato “compact disc” viene campionato a 44 KHz e quantizzato a 16 bit. Si dica:

1. La frequenza massima del segnale sonoro riproducibile
  2. Il flusso registrato sul CD in bit/s conoscendo che i canali registrati sono due e che a ciascuno, prima della registrazione, viene aggiunto un codice FEC con rate  $1/2$
-

# Esercizio 7 - Soluzione

---

- Per il teorema del campionamento:  $B=22 \text{ kHz}$
- Per ogni canale, ho un flusso di

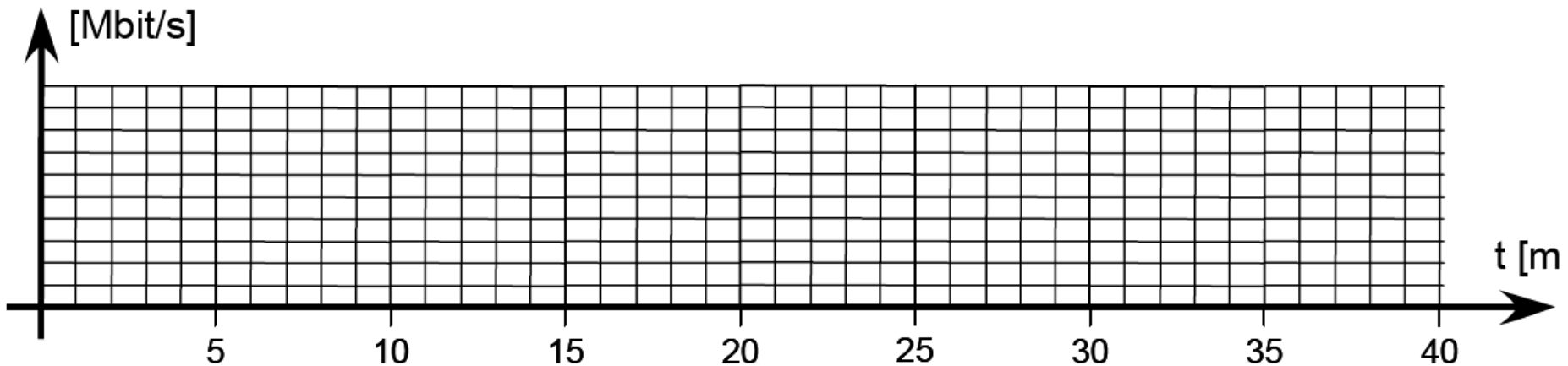
$$44000 \frac{\text{campioni}}{s} \cdot 16 \frac{\text{bit}}{\text{campione}} \cdot 2 = 1.408 \text{ Mb/s}$$

- Dunque, il flusso totale è pari a  $2.816 \text{ Mb/s}$
-

## Esercizio 8

---

- Disegnare l'andamento del traffico generato da una sorgente caratterizzata da frequenza media  $A = 4 \text{ Mbit/s}$ , pause di durata costante  $S = 2 \text{ ms}$  e che trasmette nei suoi periodi di attività blocchi di  $L = 3000 \text{ byte}$ . La sorgente inizia il suo primo periodo di attività a  $t=0$ . Calcolare anche il fattore di burstiness  $B$ .





# Esercizio 8 - Soluzione

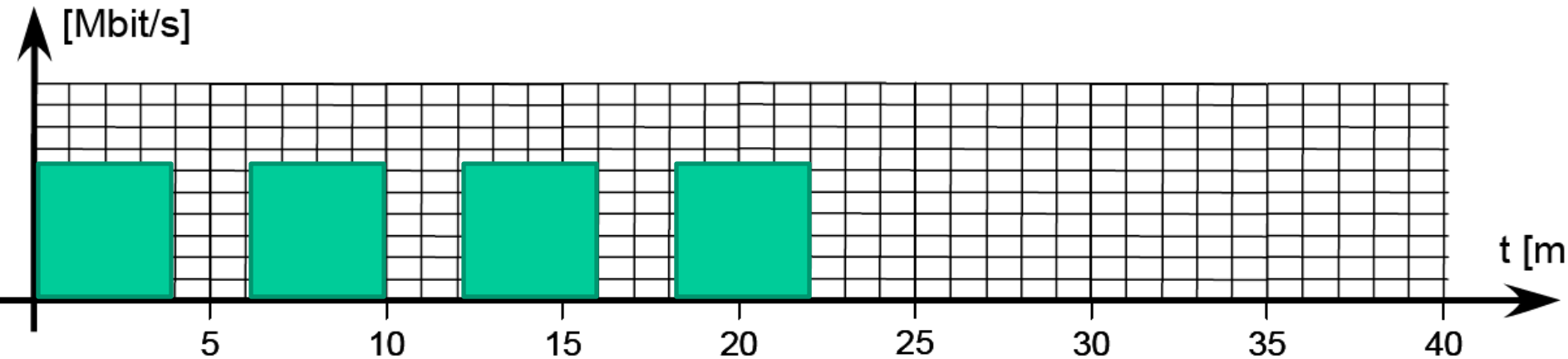
---

La frequenza media della sorgente è:  $A = \frac{L}{T_{ON} + T_{OFF}}$

Quindi:  $T_{ON} = \frac{L}{A} - T_{OFF} = 4[ms]$

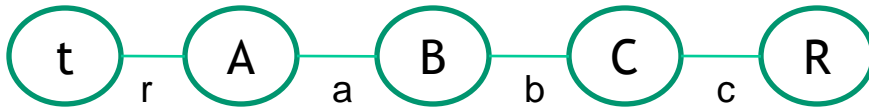
Il fattore di burstiness è:  $B = T_{ON} / (T_{ON} + T_{OFF}) = 2/3$

La frequenza di picco è:  $P = 24000[bit]/4[ms] = 6 [Mb/s]$



# Esercizio 9

- Si considerino due terminali  $t$  e  $R$  collegati dalla rete in figura, costituita dai nodi  $A$ ,  $B$  e  $C$  e dai link  $r$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (i pedici  $t$ ,  $A$ ,  $B$  e  $C$  indichino nello svolgere l'esercizio le interfacce di uscita rispettivamente di  $t$ ,  $A$ ,  $B$  e  $C$ ). Si indichino con  $R_i$  e  $T_i$  il ritmo di trasmissione di bit e la durata del pacchetto (o burst) all'interfaccia  $i$ , con  $i = \{t, A, B, C\}$ .



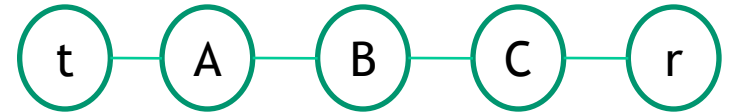
- $t$  è una sorgente continua di tipo ON-OFF con frequenza media  $A_T = 980$  kbit/s e fattore di burstiness  $B_T = 0.5$ . Ogni burst prodotto da  $t$  viene trasportato da  $A$  a  $C$  come una PDU: si utilizza per questo un protocollo che aggiunge agli  $L$  byte di PDU  $H$  byte di overhead ( $H/L = 1/7$ , i byte di overhead vengono aggiunti da  $A$ , mantenuti da  $B$  ed eliminati da  $C$ ). Ogni nodo opera in store and forward. I tempi di elaborazione e di accodamento dei pacchetti nei nodi siano nulli.
  - Il terminale  $R$  deve ricevere ad una frequenza media  $A_C$  pari alla frequenza media della sorgente. Inoltre  $C$  trasmette in modalità ON-OFF con fattore di burstiness  $B_C = 3/4$  e tempo di silenzio  $T_{\text{OFF-C}} = 100 \mu\text{s}$ .
  - Sia  $R_B = 1.12$  Mbit/s e il sistema progettato in modo tale che l'interfaccia  $B$  continui ad emettere bit senza intervalli di silenzio.
  - I link  $r$  e  $c$  sono di lunghezza trascurabile.
  - Il link  $a$  è lungo 40 [Km],
  - Il link  $b$  ha un ritardo di propagazione  $\tau_b$  pari a  $3/2$  di quello del link precedente.
  - Il ritardo di trasferimento totale di un burst da inizio trasmissione di  $t$  a fine ricezione di  $R$  sia 1.5 ms.
- Calcolare  $R_i$  e  $T_i$  di tutte le interfacce.
- Disegnare sul grafico riportato sotto il diagramma temporale relativo alla trasmissione di due burst consecutivi prodotti da  $t$  tratteggiando i byte di overhead e determinando quanto vale l'unità di misura dei tempi del diagramma.

# Esercizio 9 - Soluzione

---

Il tempo di trasferimento complessivo è:

$$T_{tot} = T_t + T_A + T_B + T_C + \tau_{tA} + \tau_{AB} + \tau_{BC} + \tau_{Cr} = 1,5 [ms]$$



Per ipotesi:

$$\tau_{tA} = \tau_{Cr} = 0$$

$$\tau_{AB} = 40[Km] \times 5[\mu s / Km] = 200[\mu s]$$

$$\tau_{BC} = 3/2 \tau_{AB} = 300[\mu s]$$

La sorgente  $t$  è caratterizzata da:

$$A_t = R_t B_t$$

$$R_t = 980[Kb / s] \times 2 = 1960[Kb / s]$$

Per ipotesi, la sorgente C ha la stessa frequenza media della sorgente t:

$$A_C = A_t$$

$$R_C = 980[Kb / s] \times 4/3 = 1,3[Mb / s]$$

---

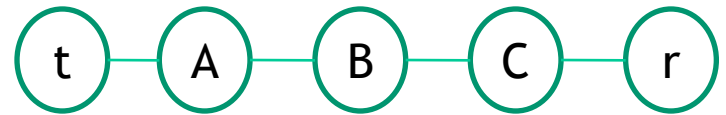
# Esercizio 9 - Soluzione

---

Nota il tempo di OFF e la burstiness della sorgente C, è possibile calcolare La lunghezza del burst (L):

$$T_{ON-C} = 3T_{OFF-C} = 300 [\mu s]$$

$$L = T_{ON-C} \times R_C = 392 [bit]$$



Il tempo di trasferimento dei burst da 392 bit tra t ed A sarà

$$T_t = L / R_t = 200 [\mu s]$$

Le PDU in transito sui link A-B e B-C avranno lunghezza:

$$L^* = L + L/7 = 448 [bit]$$

Quindi, il tempo di trasmissione da B a C è:

$$T_B = L^* / R_B = 400 [\mu s]$$

---

# Esercizio 9 - Soluzione

---

Per differenza:

$$\begin{aligned} T_A &= T_{tot} - T_t - T_B - T_C - \tau_{AB} - \tau_{BC} \\ &= 1,5 [ms] - 200[\mu s] - 400[\mu s] - 300[\mu s] - 200[\mu s] - 300[\mu s] = 100[\mu s] \end{aligned}$$

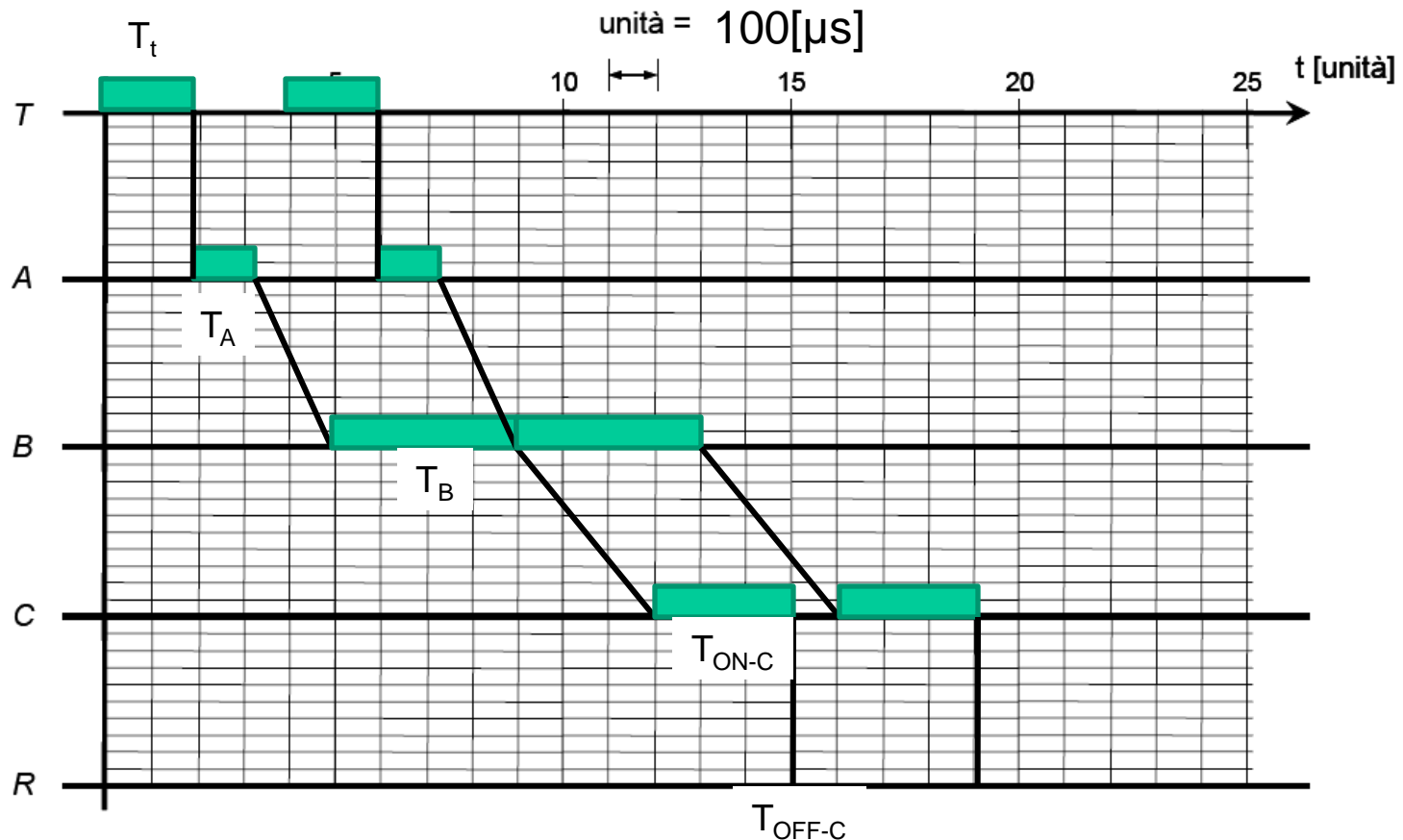
Quindi:

$$R_A = L^* / T_A = 4,48 [Mb / s]$$

---

# Esercizio 9 - Soluzione

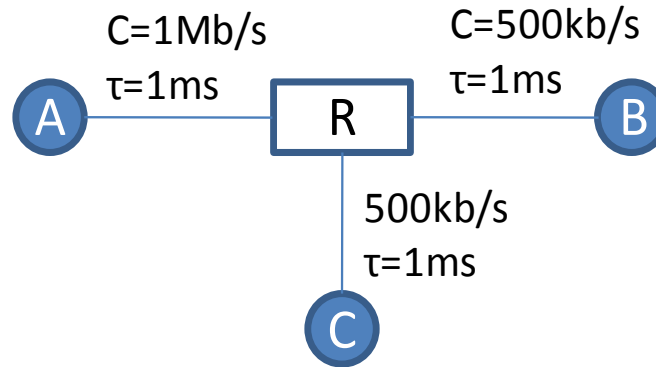
- Disegnare sul grafico riportato sotto il diagramma temporale relativo alla trasmissione di due burst consecutivi prodotti da  $t$  tratteggiando i byte di overhead e determinando quanto vale l'unità di misura dei tempi del diagramma



# Esercizio 10

---

- L'host A invia 2 pacchetti all'host B ed uno all'host C nel seguente ordine B-B-C. I pacchetti sono di 10 [kbit].



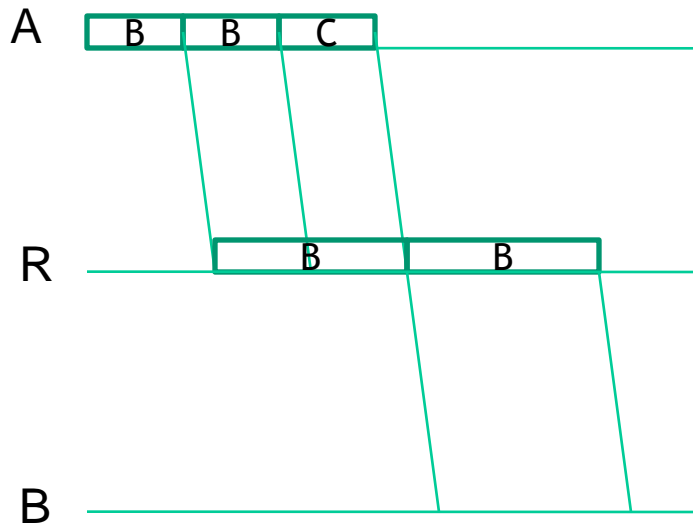
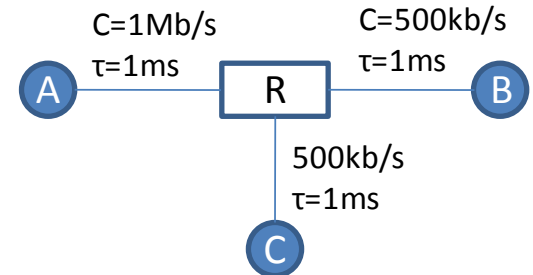
- Quale è il tempo di accodamento del secondo (diretto a B) e del terzo pacchetto (diretto a C) nell'host A?
  - Quale è il tempo di accodamento del secondo (diretto a B) e del terzo pacchetto (diretto a C) nel router R?
-

# Esercizio 10 - Soluzione

I tempi di trasmissione dei pacchetti sui tre link sono:

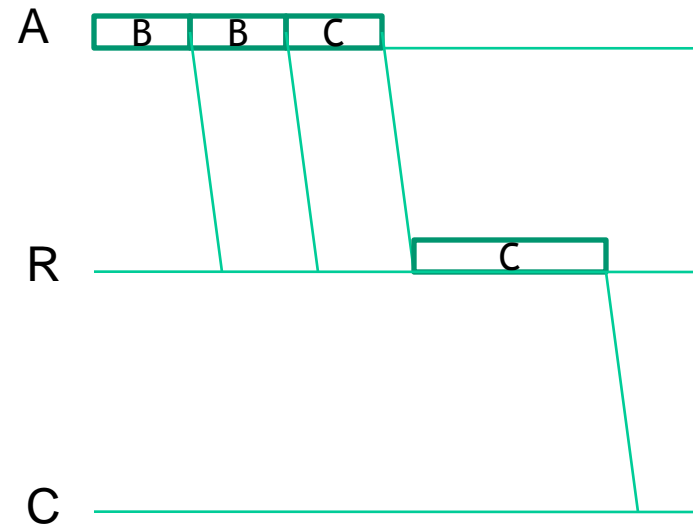
$$T_{AR} = 10[kbit] / 1[Mb/s] = 10[ms]$$

$$T_{RB} = 20[ms], \quad T_{RC} = 20[ms]$$



$$T^2_B(A) = T_{AR} = 10[ms]$$

$$T^1_C(A) = 2T_{AR} = 20[ms]$$



$$T^2_B(R) = T_{AR} = 10[ms]$$

$$T^1_C(R) = 0$$