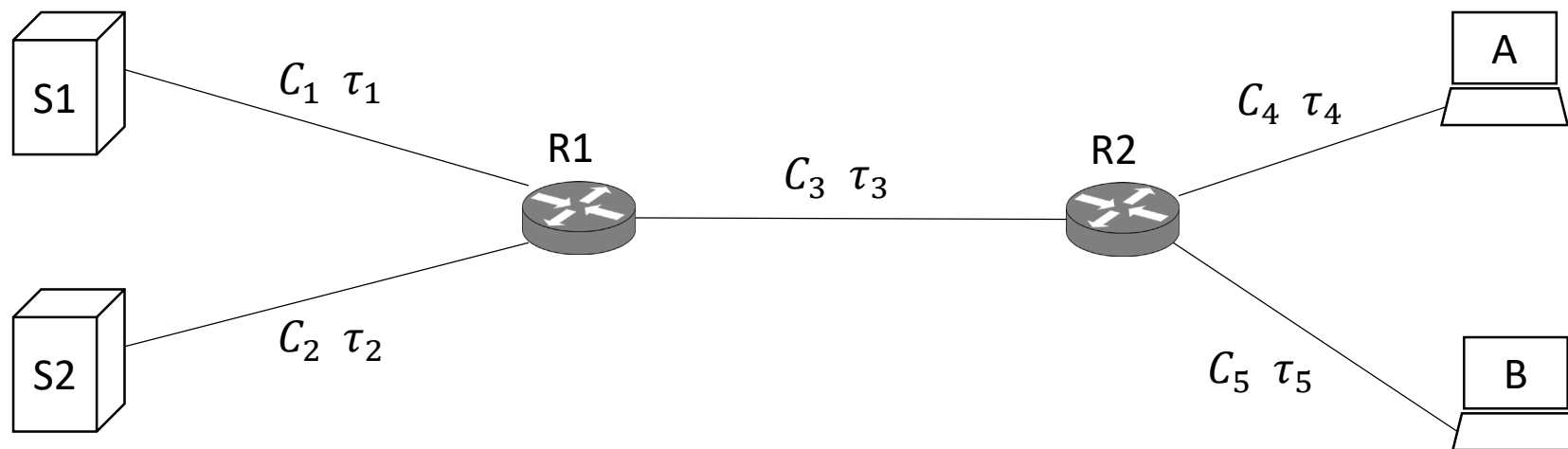


## Es. 1



Si consideri la rete in figura con le velocità dei link indicate con  $C_x$  ( $x = 1, \dots, 5$ ) e i tempi di propagazione  $\tau_x$  ( $x = 1, \dots, 5$ ). Al tempo  $t = 0$  sono presenti 3 pacchetti in S1 e diretti in A (pacchetti A1, A2, A3) di dimensioni  $L_{A1} = 1500 B, L_{A2} = 1500 B, L_{A3} = 500 B$  rispettivamente. Si indichino con  $T_x^y$  ( $y = A1, A2, A3$  e  $x = 1, \dots, 5$ ) i tempi di trasmissione dei pacchetti sui diversi link.

Parte 1) Si calcoli il tempo in cui i pacchetti sono ricevuti a destinazione.

Parte 2) Si consideri il caso in cui al tempo  $t=0$  in S2 è presente un pacchetto destinato a B (pacchetto B1) di lunghezza  $L_{B1} = 1500 B$ . Si calcoli l'istante in cui il pacchetto è ricevuto da B.

Versione 1:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_2 = 16 \text{ Mb/s} \\ C_3 &= 20 \text{ Mb/s} \\ C_4 &= C_5 = 100 \text{ Mb/s} \\ \tau_1 &= \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0.1 \text{ ms} \\ \tau_2 &= 1.3 \text{ ms} \end{aligned}$$

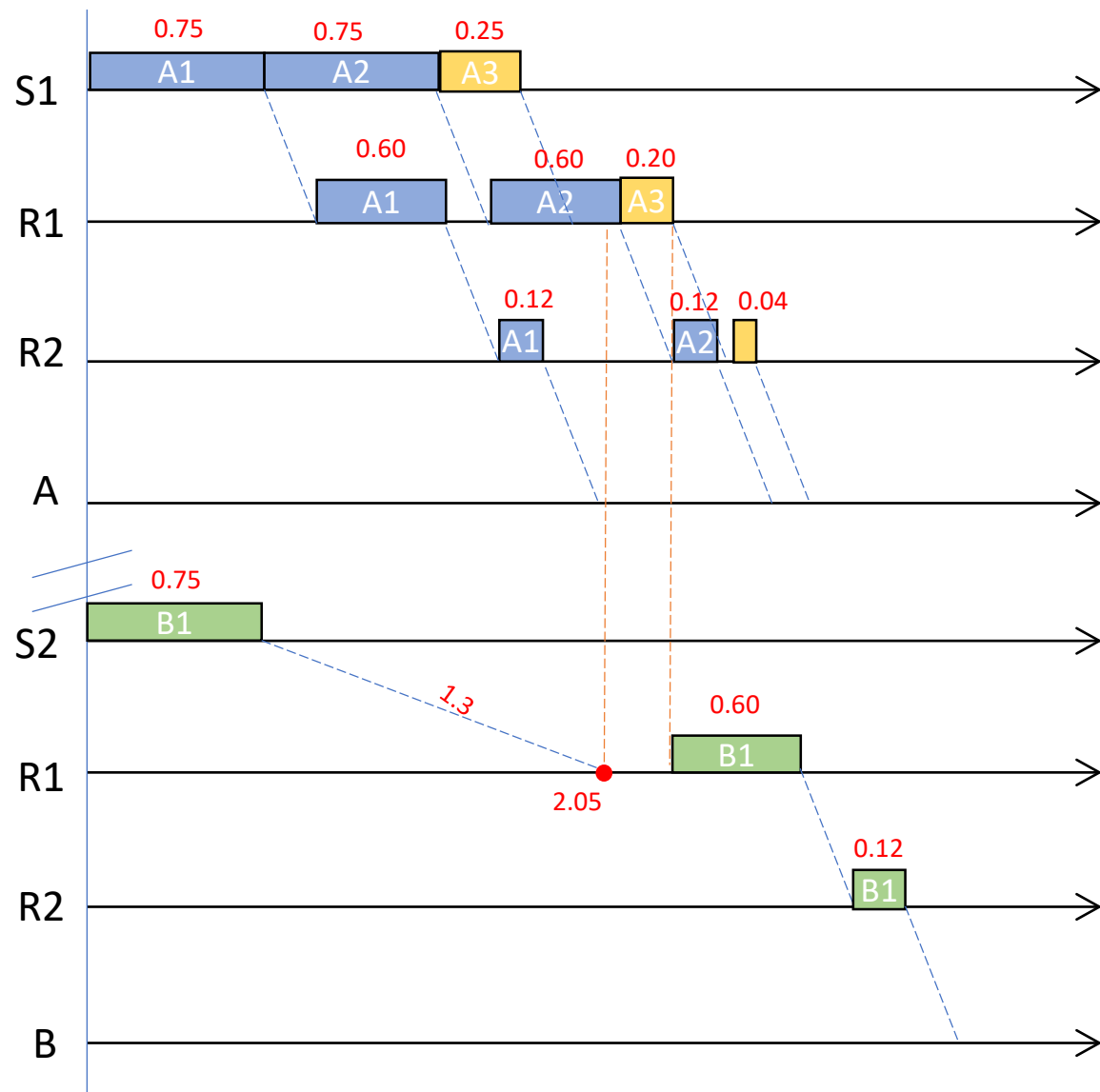
Versione 2:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_2 = 8 \text{ Mb/s} \\ C_3 &= 10 \text{ Mb/s} \\ C_4 &= C_5 = 50 \text{ Mb/s} \\ \tau_1 &= \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0.2 \text{ ms} \\ \tau_2 &= 2.6 \text{ ms} \end{aligned}$$

Versione 3:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_2 = 8 \text{ Mb/s} \\ C_3 &= 10 \text{ Mb/s} \\ C_4 &= C_5 = 100 \text{ Mb/s} \\ \tau_1 &= \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0.3 \text{ ms} \\ \tau_2 &= 2.5 \text{ ms} \end{aligned}$$

Versione 1:



$$T_1^{A1} = T_1^{A2} = T_2^{B1} = 0.75 \text{ ms}$$

$$T_3^{A1} = T_3^{A2} = T_3^{B1} = 0.60 \text{ ms}$$

$$T_1^{A3} = 0.25 \text{ ms}$$

$$T_3^{A3} = 0.20 \text{ ms}$$

$$T_4^{A1} = T_4^{A2} = T_5^{B1} = 0.12 \text{ ms}$$

$$T_4^{A3} = 0.04 \text{ ms}$$

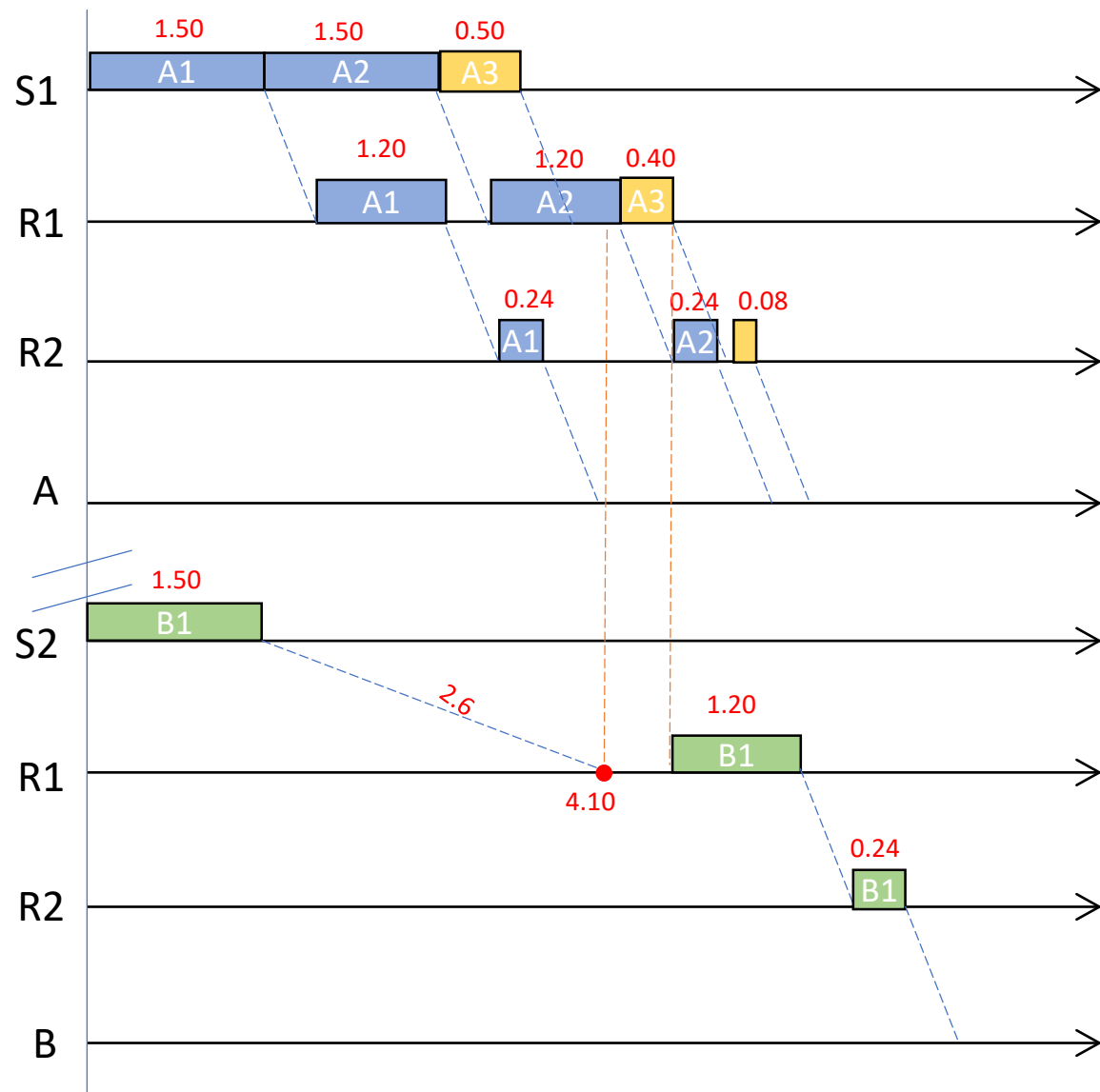
$$T_{A1} = T_1^{A1} + \tau_1 + T_3^{A1} + \tau_3 + T_4^{A1} + \tau_4 = 1.77 \text{ ms}$$

$$T_{A2} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + \tau_3 + T_4^{A2} + \tau_4 = 2.52 \text{ ms}$$

$$T_{A3} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + T_3^{A3} + \tau_3 + T_4^{A3} + \tau_4 = 2.64 \text{ ms}$$

$$T_{B1} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + T_3^{A3} + T_3^{B1} + \tau_3 + T_5^{B1} + \tau_5 = 3.32 \text{ ms}$$

Versione 2:



$$T_1^{A1} = T_1^{A2} = T_2^{B1} = 1.50 \text{ ms}$$

$$T_3^{A1} = T_3^{A2} = T_3^{B1} = 1.20 \text{ ms}$$

$$T_1^{A3} = 0.50 \text{ ms}$$

$$T_3^{A3} = 0.40 \text{ ms}$$

$$T_4^{A1} = T_4^{A2} = T_5^{B1} = 0.24 \text{ ms}$$

$$T_4^{A3} = 0.08 \text{ ms}$$

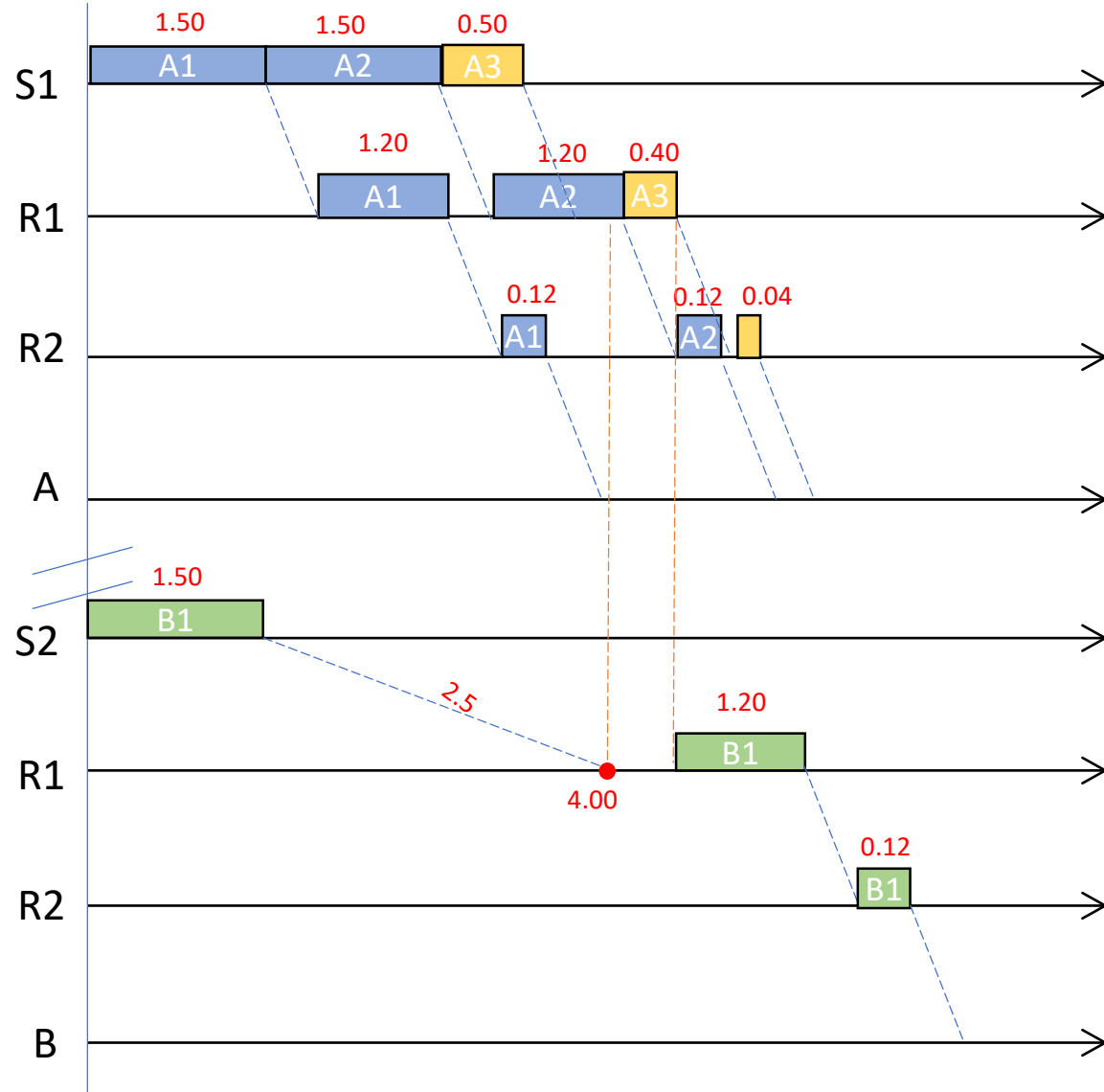
$$T_{A1} = T_1^{A1} + \tau_1 + T_3^{A1} + \tau_3 + T_4^{A1} + \tau_4 = 3.54 \text{ ms}$$

$$T_{A2} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + \tau_3 + T_4^{A2} + \tau_4 = 5.04 \text{ ms}$$

$$T_{A3} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + T_3^{A3} + \tau_3 + T_4^{A3} + \tau_4 = 5.28 \text{ ms}$$

$$T_{B1} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + T_3^{A3} + T_3^{B1} + \tau_3 + T_5^{B1} + \tau_5 = 6.64 \text{ ms}$$

Versione 3:



$$T_1^{A1} = T_1^{A2} = T_2^{B1} = 1.50 \text{ ms}$$

$$T_3^{A1} = T_3^{A2} = T_3^{B1} = 1.20 \text{ ms}$$

$$T_1^{A3} = 0.50 \text{ ms}$$

$$T_3^{A3} = 0.40 \text{ ms}$$

$$T_4^{A1} = T_4^{A2} = T_5^{B1} = 0.12 \text{ ms}$$

$$T_4^{A3} = 0.04 \text{ ms}$$

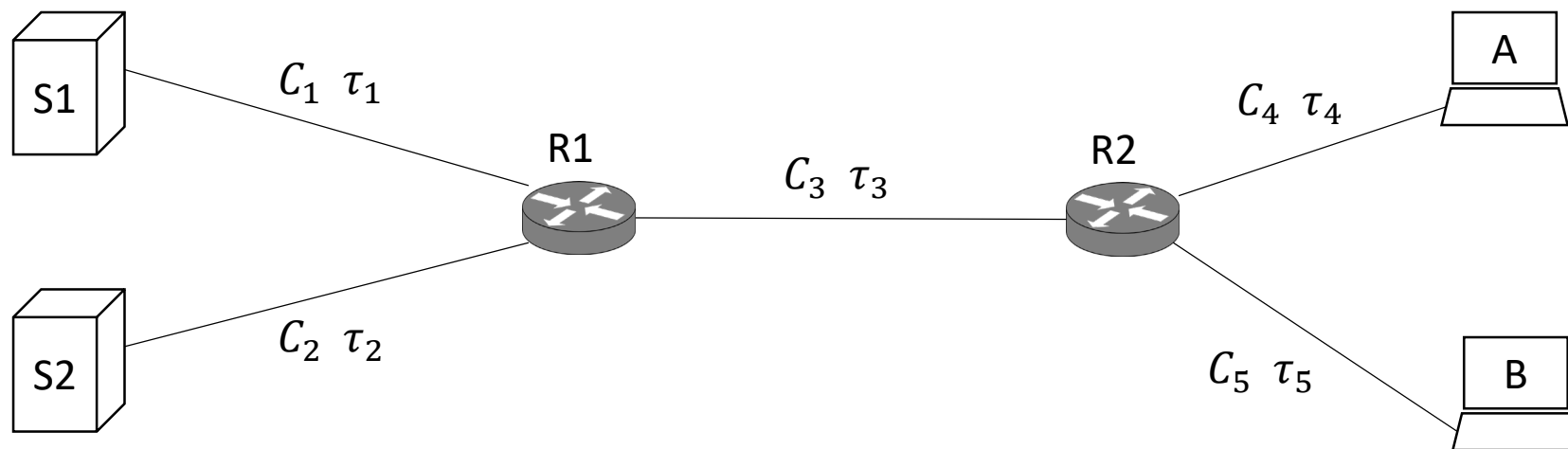
$$T_{A1} = T_1^{A1} + \tau_1 + T_3^{A1} + \tau_3 + T_4^{A1} + \tau_4 = 3.72 \text{ ms}$$

$$T_{A2} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + \tau_3 + T_4^{A2} + \tau_4 = 5.22 \text{ ms}$$

$$T_{A3} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + T_3^{A3} + \tau_3 + T_4^{A3} + \tau_4 = 5.54 \text{ ms}$$

$$T_{B1} = T_1^{A1} + T_1^{A2} + \tau_1 + T_3^{A2} + T_3^{A3} + T_3^{B1} + \tau_3 + T_5^{B1} + \tau_5 = 6.82 \text{ ms}$$

## Es. 2



Si consideri la rete in figura con le velocità dei link indicate con  $C_x$  ( $x = 1, \dots, 5$ ) e i tempi di propagazione  $\tau_x$  ( $x = 1, \dots, 5$ ). Un client HTTP in A vuole scaricare una pagina web dal server S1 composta da un documento base della lunghezza di  $L_{html} = 15 \text{ kB}$  e 4 oggetti della lunghezza di  $L_{obj} = 150 \text{ kB}$ . I pacchetti per apertura della connessione e per il GET sono di lunghezza trascurabile. Tra S2 e B è attivo 1 flusso interferente di lunga durata.

Calcolare il tempo di download della pagina web nel caso di connessione HTTP persistente

Calcolare il tempo di download della pagina web nel caso di connessione HTTP non persistente e oggetti scaricati in parallelo

Versione 1:

$$C_1 = C_2 = 16 \text{ Mb/s}$$

$$C_3 = 5 \text{ Mb/s}$$

$$C_4 = 100 \text{ Mb/s}$$

$$C_5 = 2 \text{ Mb/s}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 10 \text{ ms}$$

Versione 2:

$$C_1 = 20 \text{ Mb/s}$$

$$C_2 = 4 \text{ Mb/s}$$

$$C_3 = 10 \text{ Mb/s}$$

$$C_4 = C_5 = 50 \text{ Mb/s}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 5 \text{ ms}$$

Versione 3:

$$C_1 = 50 \text{ Mb/s}$$

$$C_2 = 5 \text{ Mb/s}$$

$$C_3 = 15 \text{ Mb/s}$$

$$C_4 = C_5 = 50 \text{ Mb/s}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 3 \text{ ms}$$

Versione 1:

$$C_1 = C_2 = 16 \text{ Mb/s}$$

$$C_3 = 5 \text{ Mb/s}$$

$$C_4 = 100 \text{ Mb/s}$$

$$C_5 = 2 \text{ Mb/s}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 10 \text{ ms}$$

$$RTT = 60 \text{ ms}$$

$$T_{html} = \frac{L_{html}}{C_3 - C_5} = \frac{15 \cdot 8 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^6} = 40 \text{ ms}$$

$$T_{obj}^{pers} = \frac{L_{obj}}{C_3 - C_5} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^6} = 400 \text{ ms}$$

$$T_{obj}^{non\ pers} = \frac{L_{obj}}{C_3/5} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^6} = 1200 \text{ ms}$$

$$T_{tot} = 2RTT + T_{html} + 4(RTT + T_{obj}^{pers}) = 2000 \text{ ms}$$

$$T_{tot} = 2RTT + T_{html} + 2RTT + T_{obj}^{non\ pers} = 1480 \text{ ms}$$

Versione 2:

$$C_1 = 20 \text{ Mb/s}$$

$$C_2 = 4 \text{ Mb/s}$$

$$C_3 = 10 \text{ Mb/s}$$

$$C_4 = C_5 = 50 \text{ Mb/s}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 5 \text{ ms}$$

$$RTT = 30 \text{ ms}$$

$$T_{html} = \frac{L_{html}}{C_3 - C_5} = \frac{15 \cdot 8 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^6} = 20 \text{ ms}$$

$$T_{obj}^{pers} = \frac{L_{obj}}{C_3 - C_5} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^6} = 200 \text{ ms}$$

$$T_{obj}^{non\ pers} = \frac{L_{obj}}{C_3/5} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} = 600 \text{ ms}$$

$$T_{tot} = 2RTT + T_{html} + 4(RTT + T_{obj}^{pers}) = 1000 \text{ ms}$$

$$T_{tot} = 2RTT + T_{html} + 2RTT + T_{obj}^{non\ pers} = 740 \text{ ms}$$

Versione 3:

$$C_1 = 50 \text{ Mb/s}$$

$$C_2 = 5 \text{ Mb/s}$$

$$C_3 = 15 \text{ Mb/s}$$

$$C_4 = C_5 = 50 \text{ Mb/s}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 3 \text{ ms}$$

$$RTT = 18 \text{ ms}$$

$$T_{html} = \frac{L_{html}}{C_3 - C_5} = \frac{15 \cdot 8 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} = 12 \text{ ms}$$

$$T_{obj}^{pers} = \frac{L_{obj}}{C_3 - C_5} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} = 120 \text{ ms}$$

$$T_{obj}^{non\ pers} = \frac{L_{obj}}{C_3/5} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^6} = 400 \text{ ms}$$

$$T_{tot} = 2RTT + T_{html} + 4(RTT + T_{obj}^{pers}) = 600 \text{ ms}$$

$$T_{tot} = 2RTT + T_{html} + 2RTT + T_{obj}^{non\ pers} = 484 \text{ ms}$$



## D. 1

Un segnale musicale avente banda 18 kHz viene campionato a frequenza di Nyquist e quantizzato con 24 bit per campione. Successivamente viene trasmesso con una modulazione 16 QAM avente efficienza spettrale di 1 bps/Hz

Qual è la velocità del segnale digitale in kb/s? –  $R_b = 864 \text{ kb/s}$

Quanto banda occupa il segnale modulato in kHz? –  $B_m = R_b [\text{kbps}] / 1 [\text{bps/Hz}] = 864 \text{ kHz}$

Un segnale musicale avente banda 22 kHz viene campionato a frequenza di Nyquist e quantizzato con 16 bit per campione. Successivamente viene trasmesso con una modulazione 16 QAM avente efficienza spettrale di 1 bps/Hz

Qual è la velocità del segnale digitale in kb/s? –  $R_b = 704 \text{ kb/s}$

Quanto banda occupa il segnale modulato in kHz? –  $B_m = R_b [\text{kbps}] / 1 [\text{bps/Hz}] = 704 \text{ kHz}$

Un segnale musicale avente banda 20 kHz viene campionato a frequenza di Nyquist e quantizzato con 16 bit per campione. Successivamente viene trasmesso con una modulazione 32 QAM avente efficienza spettrale di 1 bps/Hz

Qual è la velocità del segnale digitale in kb/s? –  $R_b = 640 \text{ kb/s}$

Quanto banda occupa il segnale modulato in kHz? –  $B_m = R_b [\text{kbps}] / 1 [\text{bps/Hz}] = 640 \text{ kHz}$

## D. 2

Si consideri lo scambio SMTP sotto:

```
S: 220 smtp.polimi.com ESMTP Postfix
C: HELO mail.ucla.edu
S: 250 smtp.polimi.com
C: MAIL FROM: <len@ucla.edu>
S: 250 OK
C: xxxx TO: <student@polimi.it>
S: 250 OK
C: yyyy
S: 354 End data with <CR><LF>.<CR><LF>
C: From: "L.K." <len@ucla.edu >
C: To: "Student" <student@polimi.it>
C: Date: Mon, 22 March 2021 11:00:43 -0500
C: Subject: Messaggio dal passato
C: Ciao, ricordati la storia
C: .
S: 250 Ok: queued as 12345
C: QUIT
S: 221 Bye
```

Si indichi cosa sostituire a «xxxx»

Si indichi cosa sostituire a «yyyy»

Si consideri lo scambio SMTP sotto:

```
S: 220 smtp.polimi.com ESMTP Postfix
C: xxxx mail.ucla.edu
S: 250 smtp.polimi.com
C: yyyy FROM: <len@ucla.edu>
S: 250 OK
C: RCPT TO: <student@polimi.it>
S: 250 OK
C: DATA
S: 354 End data with <CR><LF>.<CR><LF>
C: From: "L.K." <len@ucla.edu >
C: To: "Student" <student@polimi.it>
C: Date: Mon, 22 March 2021 11:00:43 -0500
C: Subject: Messaggio dal passato
C: Ciao, ricordati la storia
C: .
S: 250 Ok: queued as 12345
C: QUIT
S: 221 Bye
```

Si indichi cosa sostituire a «xxxx»

Si indichi cosa sostituire a «yyyy»

Si consideri lo scambio SMTP sotto:

```
S: 220 smtp.polimi.com ESMTP Postfix
C: HELO mail.ucla.edu
S: 250 smtp.polimi.com
C: xxxx FROM: <len@ucla.edu>
S: 250 OK
C: yyyy TO: <student@polimi.it>
S: 250 OK
C: DATA
S: 354 End data with <CR><LF>.<CR><LF>
C: From: "L.K." <len@ucla.edu >
C: To: "Student" <student@polimi.it>
C: Date: Mon, 22 March 2021 11:00:43 -0500
C: Subject: Messaggio dal passato
C: Ciao, ricordati la storia
C: .
S: 250 Ok: queued as 12345
C: QUIT
S: 221 Bye
```

Si indichi cosa sostituire a «xxxx»

Si indichi cosa sostituire a «yyyy»