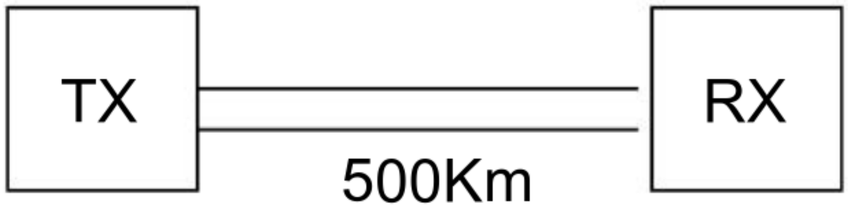
Esercitazione Capitolo 1

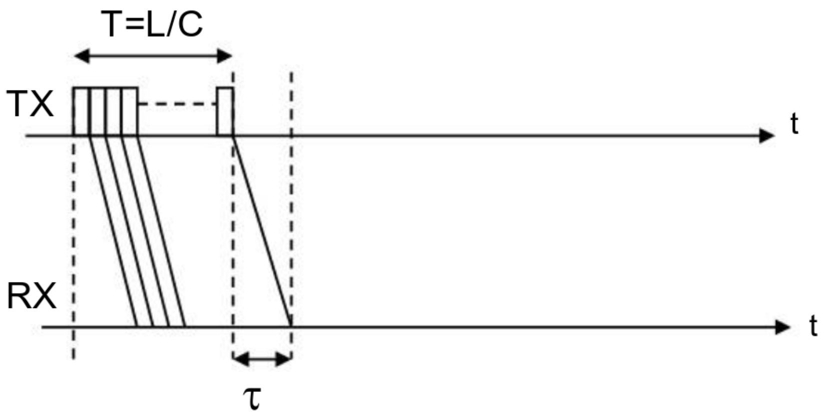
Fondamenti di Comunicazioni e Internet A.A. 23/24

Esercizio 1

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



Esercizio 1 - soluzione



Il tempo di trasmissione è: T = 2000 [bit] / 100 [kb/s] = 20 [ms]

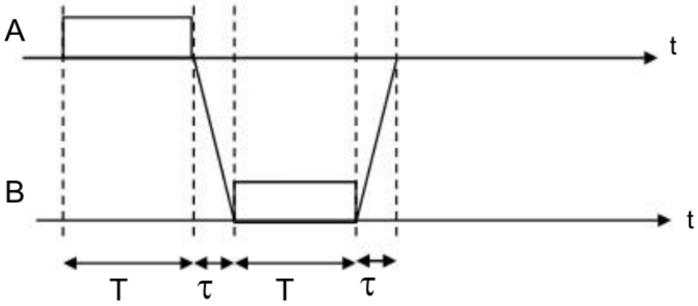
mentre il tempo di propagazione è
τ= 5 [μs/km] · 500 [km] = 2500 [μs] = 2.5 [ms]

Il tempo cercato è dunque di
$T + \tau = 22.5$ [ms].

Esercizio 2

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 200.000 [km/s].
Si ripeta il conto nel caso in cui la velocità di trasmissione sia di 10 [Gb/s].

Esercizio 2 - soluzione



Il tempo cercato si può esprimere come:

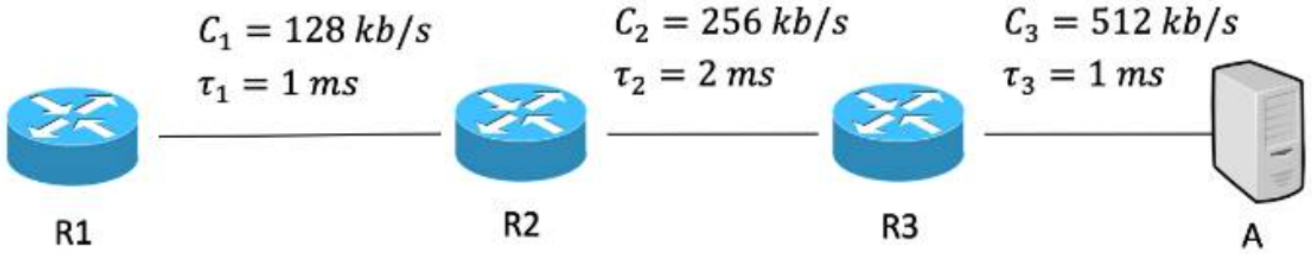
$$T = 2(T + \tau) = 2\left(\frac{10[kb]}{100\ [kb/s]} + \frac{100\ [Km]}{200.000\ [Km/s]}\right) = 2(100\ [ms]\ + 0.5\ [\mathrm{ms}]) = 201\ [\mathrm{ms}]$$

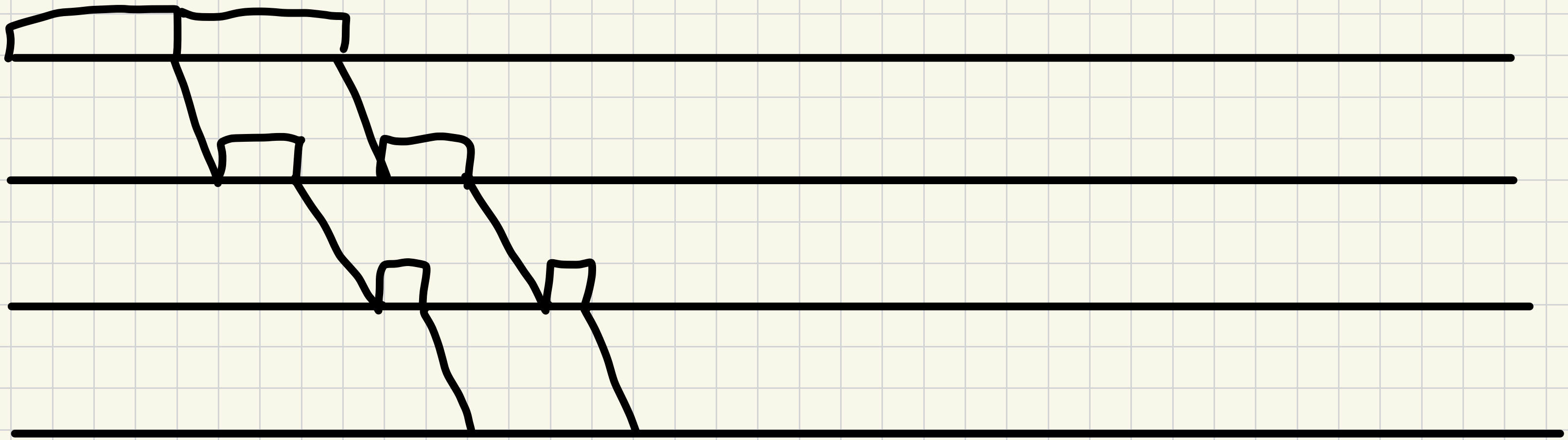
Nel caso in cui la velocità del collegamento sia 1[Gb/s], si ha:

$$T = 2(T + \tau) = 2\left(\frac{10[kb]}{10\ [Gb/s]} + \frac{100\ [Km]}{200.000\ [Km/s]}\right) = 2(0.001\ [ms]\ + 0.5\ [\mathrm{ms}]) = 1.002\ [\mathrm{ms}]$$

Esercizio 3

Si consideri la rete in figura. Al tempo t=0 la coda di uscita di R1 ha 2 pacchetti diretti ad A. Assumendo lunghezza dei pacchetti di L=512 [bits], si indichi per ciascun pacchetto l'istante in cui viene completamente ricevuto a destinazione.

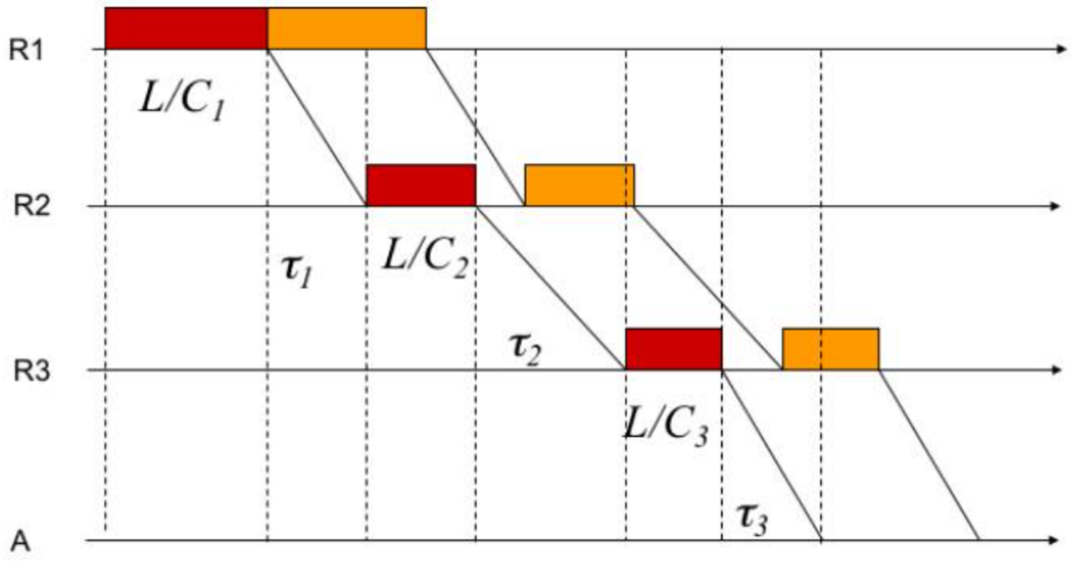




$$T_1 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} + \tau_3 = 11\ \text{ms}$$

$$T_2 = 2\frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} + \tau_3 = 15\ \text{ms}$$

Esercizio 3 - soluzione

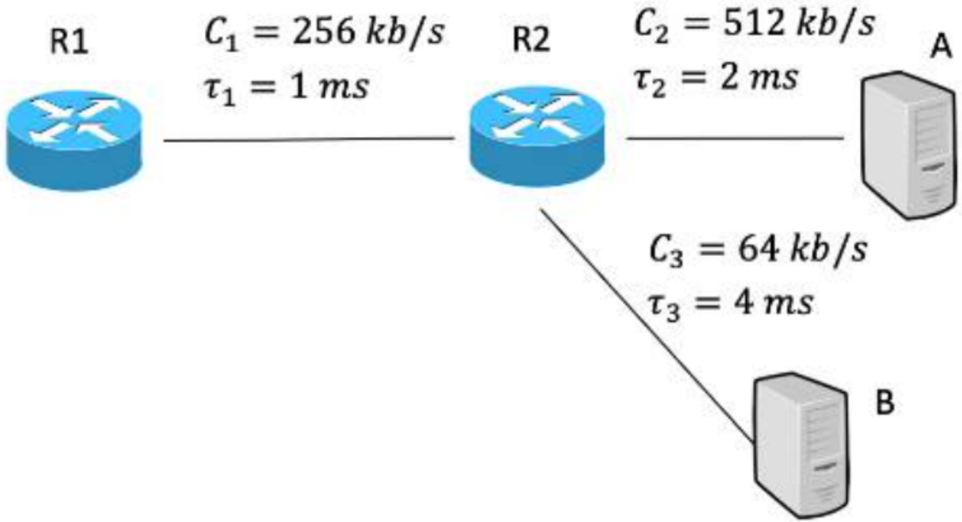


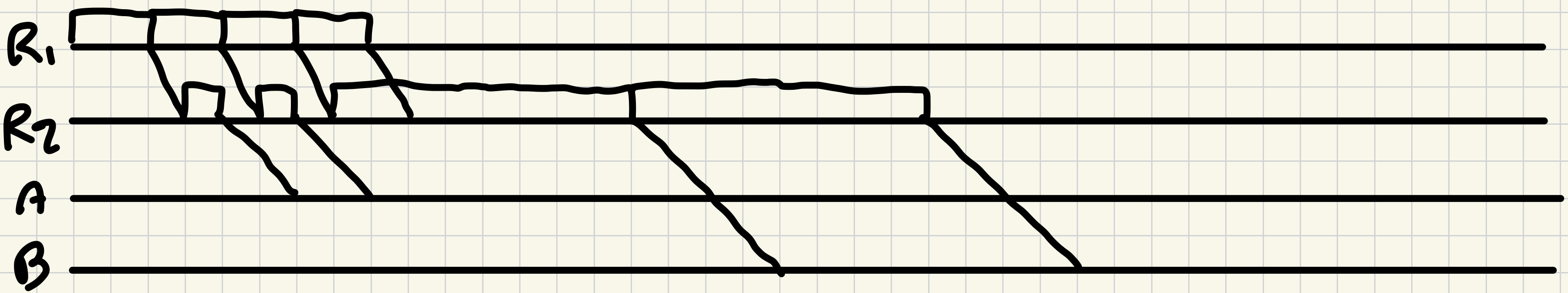
$$T_1 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} + \tau_3 = 4 + 1 + 2 + 2 + 1 + 1 = 11 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{2L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} + \tau_3 = 15 \text{ ms}$$

Esercizio 4

Si consideri la rete in figura. Al tempo t=0 la coda di uscita di R1 ha 4 pacchetti diretti rispettivamente A, A, B, B. Assumendo lunghezza dei pacchetti di L=512 [bits], si indichi per ciascun pacchetto l'istante in cui viene completamente ricevuto a destinazione.





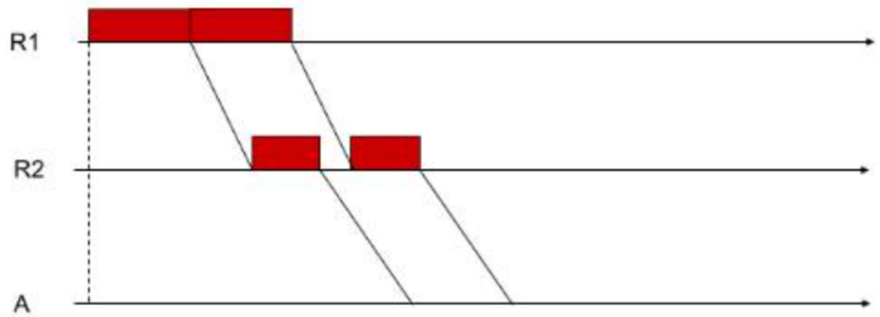
$$T_{A_1} = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 = 6\ \text{ms}$$

$$T_{A_2} = 2\frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 = 8\ \text{ms}$$

$$T_{B_1} = \tau_3 + \frac{L}{C_3} + \tau_1 + \frac{3L}{C_1} = 19\ \text{ms}$$

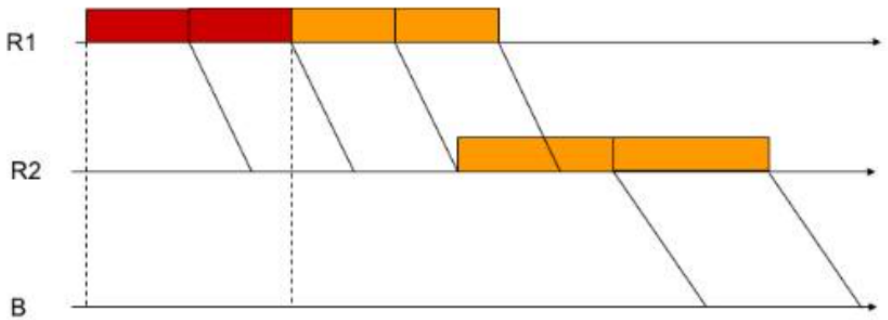
$$T_{B_2} = \tau_3 + \frac{2L}{C_3} + \tau_1 + \frac{3L}{C_1} = 27\ \text{ms}$$

Esercizio 4 - soluzione



$$T_1 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 = 2 + 1 + 1 + 2 = 6\,ms$$

$$T_2 = \frac{L + L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 = 8\,ms$$

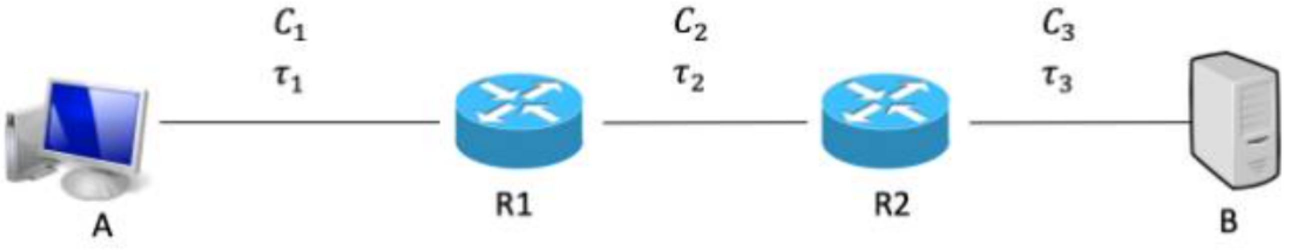


$$T_3 = \frac{L + L + L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_3} + \tau_3 = 6 + 1 + 8 + 4 = 19\,ms$$

$$T_4 = T_3 + \frac{L}{C_3} = 19 + 8 = 27\,ms$$

Esercizio 5

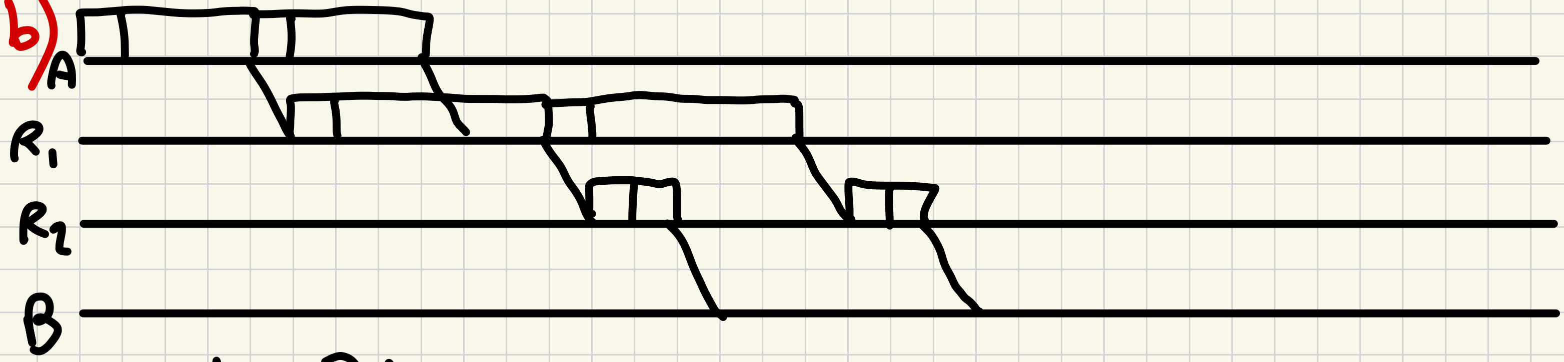
Si consideri la rete in figura.



a) Si calcoli in forma parametrica il tempo necessario a trasmetter un pacchetto da A a B (header h, dati D).
b) Si assume di dividere il pacchetto in 2 frammenti. Si calcoli in forma parametrica il tempo necessario per trasmettere tutti i frammenti. Si assuma: $C_2 \leq C_1 \leq C_3$.
c) Qual è il numero n di frammenti che minimizza il ritardo?
d) Nel caso la lunghezza dell'header sia trascurabile che espressione assume il ritardo al crescere di n?

a) $T = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} + \tau_3$ $\qquad L = h + D$

b)

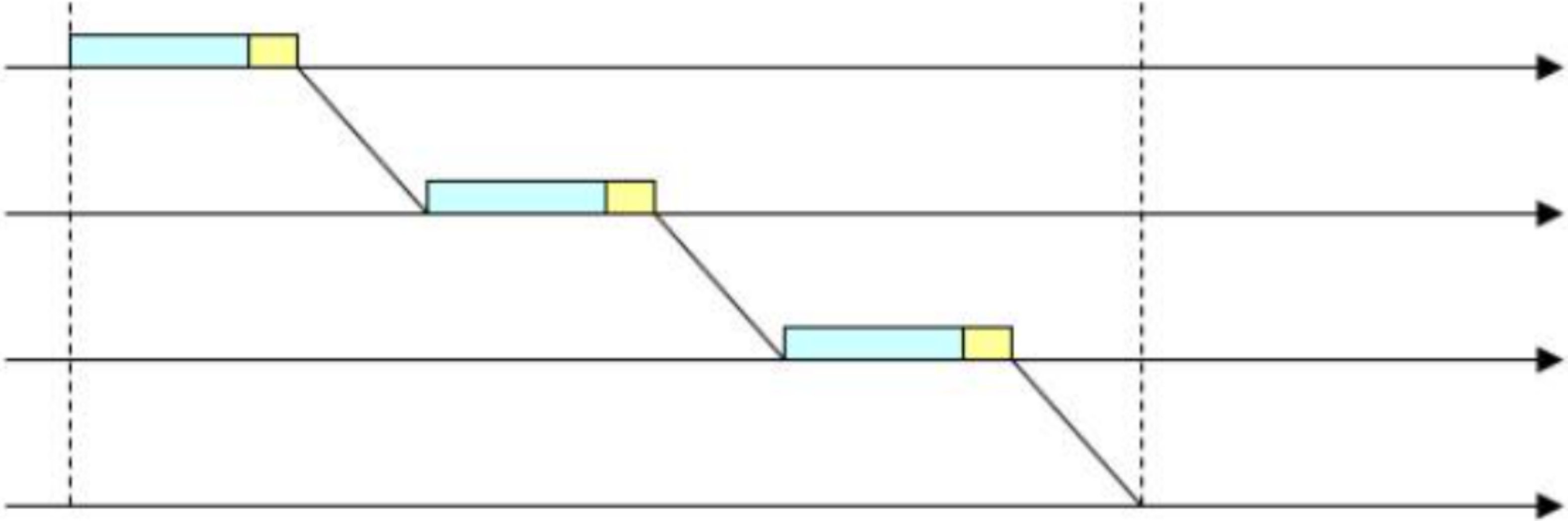


$L = h + D/2$

$T = \tau_3 + \frac{L}{C_3} + \tau_2 + \frac{2L}{C_2} + \tau_1 + \frac{L}{C_1}$

Esercizio 5 - soluzione A

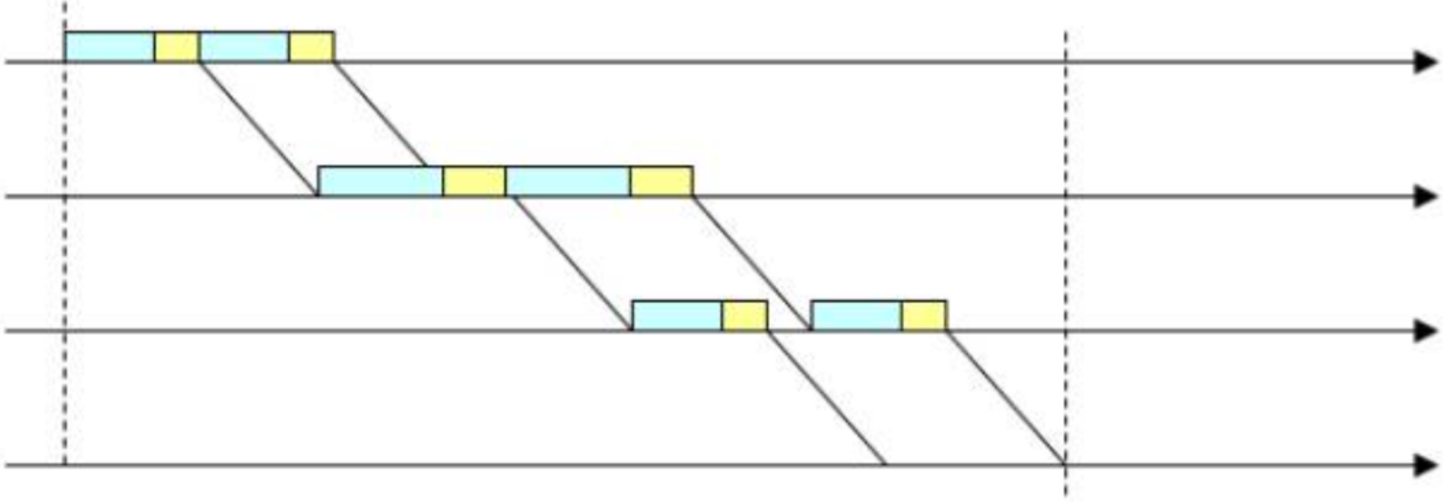
$$T = \frac{h + D}{C_1} + \tau_1 + \frac{h + D}{C_2} + \tau_2 + \frac{h + D}{C_3} + \tau_3$$



Esercizio 5 - soluzione B

$$d = D/2$$

$$T = \frac{h+d}{C_1} + \tau_1 + \frac{2(h+d)}{C_2} + \tau_2 + \frac{h+d}{C_3} + \tau_3$$



Esercizio 5 - soluzione C

$$T = \frac{h + D/n}{C_1} + \tau_1 + \frac{n(h + D/n)}{C_2} + \tau_2 + \frac{h + D/n}{C_3} + \tau_3 =$$

$$= \left(\frac{h}{C_1} + \tau_1 + \frac{D}{C_2} + \tau_2 + \frac{h}{C_3} + \tau_3 \right) + \frac{D}{nC_1} + \frac{nh}{C_2} + \frac{D}{nC_3}$$

Troviamo il punto di minimo:

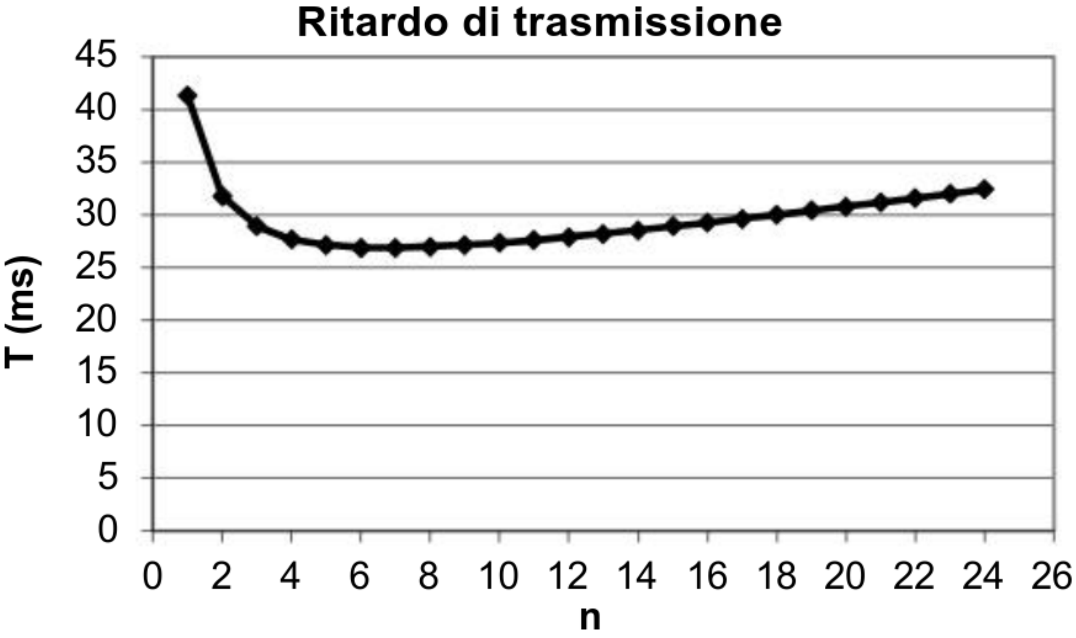
$$\frac{\partial T}{\partial n} = \frac{h}{C_2} - \frac{D}{n^2 C_1} - \frac{D}{n^2 C_3} = 0$$

$$n^* = \sqrt{\frac{C_2}{h}\left(\frac{D}{C_1} + \frac{D}{C_3}\right)}$$

Esercizio 5 - soluzione C

Esempio numerico:
$C_1 = 1\ Mb/s$
$C_2 = 900\ kb/s$
$C_3 = 1\ Mb/s$
$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 3\ ms$
$h = 400\ b$
$D = 10000\ b$

$$\boldsymbol{n}^* = \sqrt{\frac{C_2}{h}\left(\frac{D}{C_1} + \frac{D}{C_3}\right)} = \mathbf{6.71}$$



Esercizio 5 - soluzione D

$$T = \frac{D/n}{C_1} + n\frac{D/n}{C_2} + \frac{D/n}{C_3} + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \frac{D/n}{C_1} + \frac{D}{C_2} + \frac{D/n}{C_3} + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

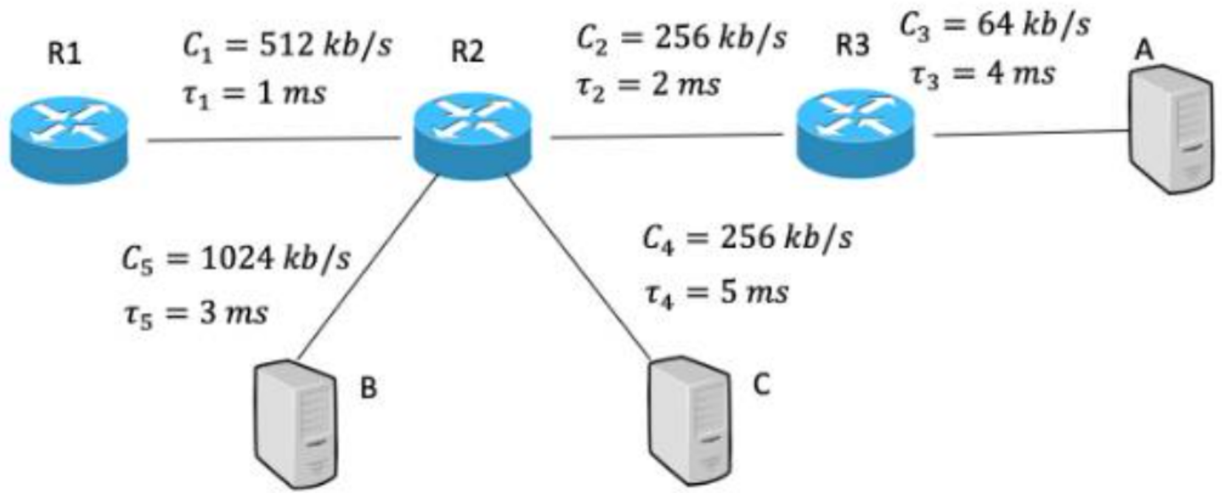
Al crescere di n, il primo e il terzo termine possono essere trascurati e il ritardo diventa:

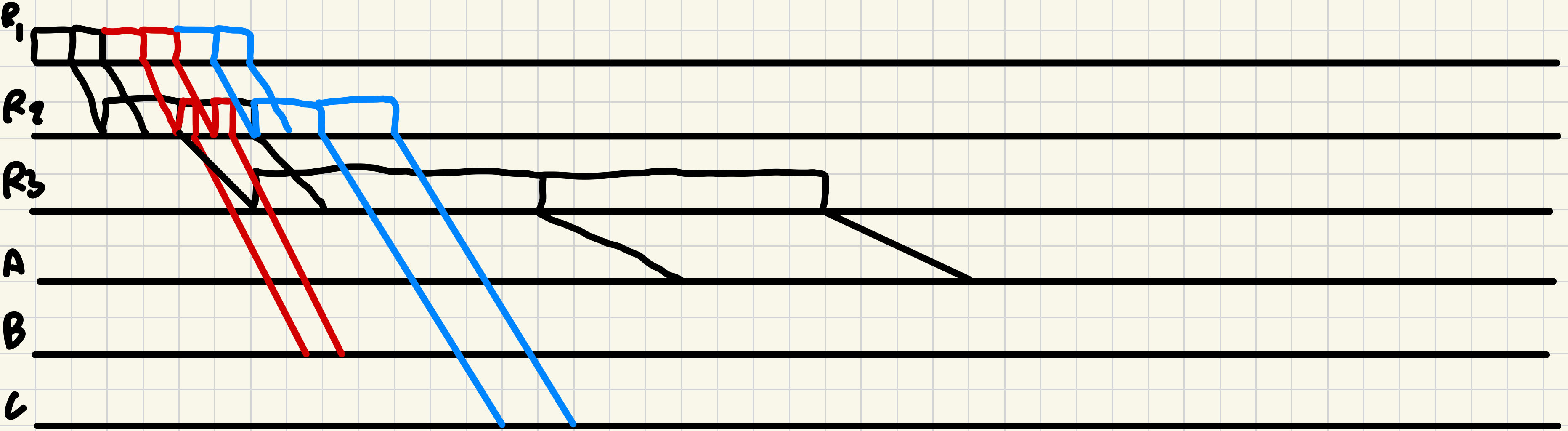
$$T = \frac{D}{C_{min}} + \tau_{tot}$$

Dove con $C_{\min}$ si è indicata la capacità di collegamento minima lungo il percorso (collo di bottiglia), e con τ_{tot} il ritardo di propagazione totale lungo il percorso.

Esercizio 6

Si consideri la rete in figura. Al tempo t=0 la coda di uscita di R1 ha 6 pacchetti diretti rispettivamente A, A, B, B, C, C. Assumendo lunghezza dei pacchetti di L=512 [bits], si indichi per ciascun pacchetto l'istante in cui viene completamente ricevuto a destinazione.





$$T_{A_1} = \tau_3 + \frac{L}{c_3} + \tau_2 + \frac{L}{c_2} + \tau_1 + \frac{L}{c_1} = 18\ ms$$

$$T_{A_2} = \tau_3 + \frac{2L}{c_3} + \tau_2 + \frac{L}{c_2} + \tau_1 + \frac{L}{c_1} = 26\ ms$$

$$T_{B_1} = \tau_5 + \frac{L}{c_5} + \tau_1 + \frac{3L}{c_1} = 7{,}5\ ms$$

$$T_{B_2} = T_{B_1} + \frac{L}{c_5} = 8{,}5\ ms$$

$$T_{C_1} = \tau_4 + \frac{L}{c_5} + \tau_1 + \frac{5L}{c_1} = 13$$

$$T_{C_2} = T_{C_1} + \frac{L}{c_5} = 15$$

Esercizio 6 - soluzione

Il primo pacchetto arriva al nodo A senza incontrare altri pacchetti in rete. Il secondo pacchetto, sempre diretto a A, verrà accodato, dato che i link successivi al primo hanno un rate trasmissivo minore.

$$T_1 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} + \tau_3 = 18 \text{ ms}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{L}{C_3} = 26 \text{ ms}$$

Esercizio 6 - soluzione

I pacchetti diretti a B vengono trasmessi da R1 dopo quelli diretti a A, e da R2 in poi ne diventano indipendenti. Non c’è accodamento tra i pacchetti di B perché il link R2-B ha un rate trasmissivo maggiore di R1-R2

$$T_3 = \frac{3L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_5} + \tau_5 = 7.5\ \text{ms}$$

$$T_4 = \frac{4L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_5} + \tau_5 = 8.5\ \text{ms}$$

Esercizio 6 - soluzione

I pacchetti diretti a C vengono trasmessi da R1 dopo quelli diretti a A e B, e da R2 in poi ne diventano indipendenti. Dato che R2-C ha un rate trasmissivo minore di R1-R2, abbiamo accodamento tra i pacchetti diretti a C.

$$T_5 = \frac{5L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_4} + \tau_4 = 13 \text{ ms}$$

$$T_6 = T_5 + \frac{L}{C_4} = 15 \text{ ms}$$

Esercizio 7

Quanti metri è "lungo" nel mezzo trasmissivo il segnale corrispondente ad un pacchetto di lunghezza $L = 75$ byte durante la trasmissione su di un canale radio di capacità $C = 64$ Mbit/s (velocità di propagazione pari alla velocità della luce nel vuoto)?
Quanto dura la sua trasmissione?

$$T = \frac{600}{64000000} = 9 \mu s$$

Esercizio 7 - soluzione

ν = c ≅ 300.000 km/s

L = 75 byte = 600 bit; C = 64 Mbit/s

Durata: T = L / C = (600 / 64) μs = 9.375 μs

Lunghezza: $l \;=\; T \cdot \nu \;=\; (0.3 \cdot 10^{6}[km/s]) \cdot (9.375 \cdot 10^{-6}[s]\,)\; km \;=\; 2.8125\; km$

Esercizio 8

Un sistema sonar misura la distanza di eventuali ostacoli in base al ritardo tra la partenza di un impulso e la ricezione dell'eco. Si assuma un valore di velocità di propagazione del suono nell'acqua costante pari a 1480 m/s.

a) Se l'impulso ha durata $T = 0.34$ ms, calcolare la lunghezza in acqua dell'onda acustica corrispondente.
b) Se lo strumento misura i tempi di ritardo con una tolleranza di $\pm$ 1.5 ms, determinare il corrispondente errore di misura sulle distanze

Esercizio 8 - soluzione

a) La lunghezza dell'onda acustica corrispondente ad un impulso di durata T è la distanza percorsa da un segnale in propagazione a velocità v nel tempo T, ed è quindi data da:
$L = v \cdot T = (1480 \cdot 0.34 \cdot 10^{-3})$ m = 50.32 cm

b) Lo strumento misura il tempo X di andata e ritorno sorgente-ostacolo (2τ). Quindi:
$X = 2\tau = 2\ d / v \Rightarrow \Delta X = 2\ \Delta d / v \Rightarrow \Delta d = \Delta X \cdot v / 2 = (1.5 \cdot 1480 / 2)$ mm = 1.11 m

Esercizio 9

Quanti pacchetti di dimensione $L = 100$ byte si trovano "in volo" durante la trasmissione su di un canale radio di capacità $C = 80$ Mb/s (velocità di propagazione pari alla velocità della luce nel vuoto) e lunghezza fisica 27 km? Tra i vari pacchetti c'è un tempo di pausa, ovvero un tempo che intercorre tra la trasmissione dell'ultimo bit di un pacchetto e la trasmissione del primo bit del pacchetto successivo, che è pari a 20 μs.

Quanti secondi dura la trasmissione del singolo pacchetto?

Esercizio 9 - soluzione

$v = c \cong 300000$ km/s

$L = 100$ B $= 800$ b; $C = 80$ Mb/s

Durata: $T = L / C = (800 / 80)\ \mu s = 10\ \mu s$

Lunghezza:

l (pacchetto) $= T \cdot v = (0.3 \cdot 10)$ km $= 3$ km

Δ (interarrivo) $= T_{int} \cdot v = (0.3 \cdot 20)$ km $= 6$ km

$D = 27$ km

Nr pacchetti in volo $= D / (l + \Delta) = 27$ km $/ (6+3)$ km $= 3$ pacchetti

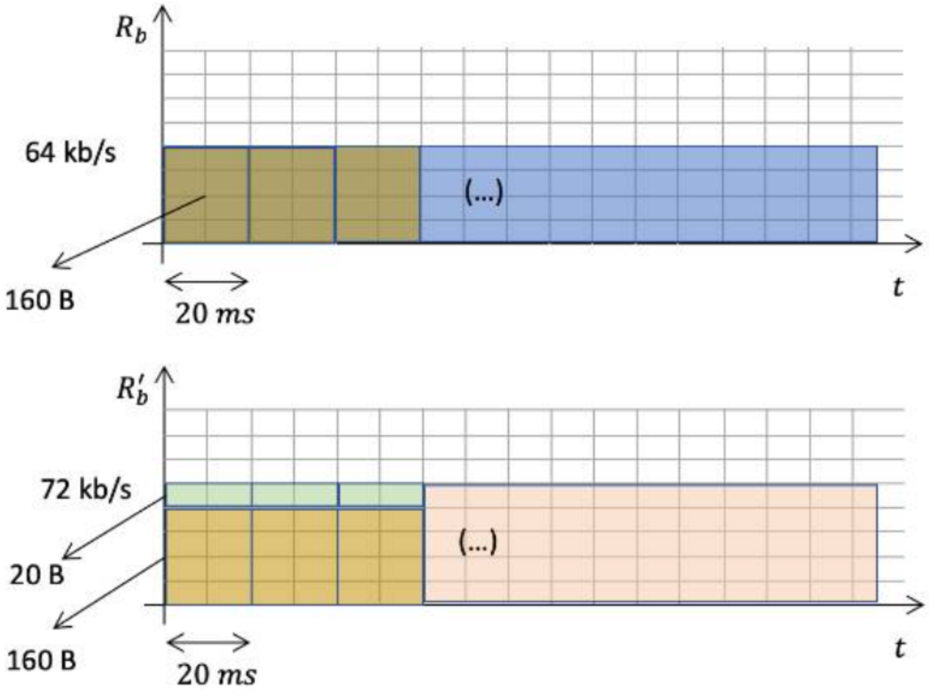
Esercizio 10

Un codificatore vocale trasforma il segnale vocale in un flusso binario a $R_b = 64\ kb/s$. Assumendo che i bit generati siano inseriti in pacchetti dati da 160 B, calcolare:

- La velocità di generazione di pacchetti in pacchetti al secondo
- Il tempo tra la generazione di un pacchetto e il successivo
- Assumendo che ad ogni pacchetto venga aggiunto un header di h = 20 B prima di essere trasmesso in rete, calcolare la velocità media del flusso di pacchetti in kb/s.

Esercizio 10 - soluzione

Una rappresentazione grafica della sorgente di traffico può essere utile:



Esercizio 10 - soluzione

La lunghezza dei pacchetti di dati è pari a $L_d = 160 \cdot 8 = 1280\ b$.
La velocità di generazione dei pacchetti è dunque pari a $R_p = \frac{R_b}{L} = 50$ pacchetti/s, e il tempo tra la generazione di un pacchetto e il successivo $T = \frac{1}{R_p} = 0.02\ s = 20\ ms$.
Dopo l'aggiunta dell'header la lunghezza dei pacchetti diventa $L_{d+h} = (160 + 20) \cdot 8 = 1440\ b$.
La velocità media del flusso di pacchetti diventa dunque pari a:

$$R'_b = R_p L_{d+h} = 1440 \cdot 50 = 72\ kb/s$$

Esercizio 11

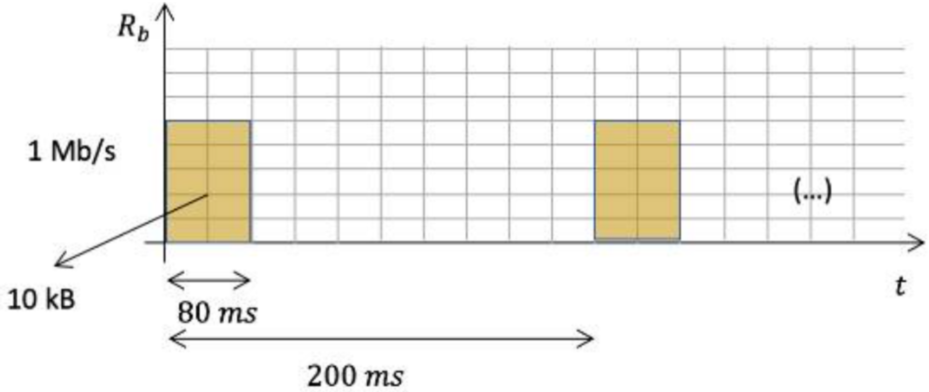
Un sensore microfonico d'ambiente per la misurazione del livello medio di rumore converte il segnale in digitale con una velocità di $R_b = 1Mb/s$. Il sensore non trasmette in modo continuo, ma ad intermittenza generando ad intervalli regolari dei blocchi da $L_b = 10\ kB$ ogni $T = 200\ ms$.
Calcolare:

- L'intervallo di tempo di inattività del sensore tra due blocchi consecutivi
- La velocità media di generazione di bit del sensore

Esercizio 11 - soluzione

$$T_b = \frac{L_b}{R_b} = \frac{8 \cdot 10 \cdot 10^3}{10^6} = 80\ ms$$

$$T_s = T - T_b = 120\ ms$$

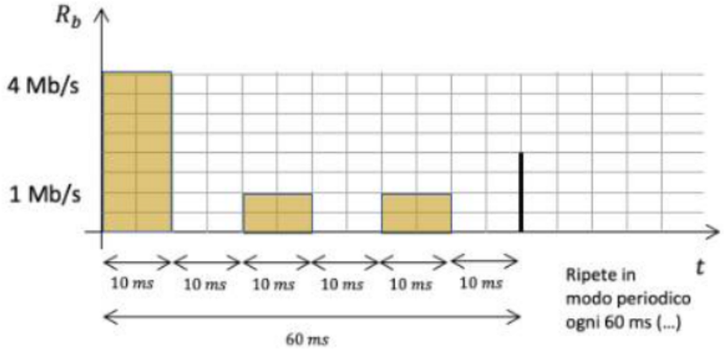


$$R_b' = \frac{L_b}{T} = \frac{8 \cdot 10 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^{-3}} = 0.4\ Mb/s$$

$$R_b' = R_b \frac{T_b}{T_b + T_s} = 1 \cdot \frac{80}{200} = 0.4\ Mb/s$$

Esercizio 12

Il codificatore video di una telecamera genera bit a velocità variabile, corrispondente a fotogrammi (frame) di immagini a diverso contenuto di pixel, secondo il diagramma mostrato in figura.



Si assuma che i bit generati vengano messi in pacchetti dati di massimo $D = 1500\ b$ e che se alla fine del fotogramma il pacchetto che non ha raggiunto la sua lunghezza massima venga comunque creato con lunghezza inferiore.

Si calcoli:

- Quanti pacchetti vengono generati nei primi 60 ms e con quale lunghezza
- La velocità media di generazione di bit della telecamera
- La velocità media dei pacchetti generati assumendo che ciascuno di essi abbia un header di 40B

Esercizio 12 - soluzione

Il primo fotogramma viene generato alla velocità di $4\ Mb/s$ in $10\ ms$ e quindi genera una quantità di bit pari a $L_1 = (4 \cdot 10^6) \cdot (10 \cdot 10^{-3}) = 40.000\ b$ che corrispondono a un numero di pacchetti di lunghezza massima pari a:

$$N_1 = \left\lfloor \frac{L_1}{D} \right\rfloor = 26$$

e ad un ultimo pacchetto di lunghezza pari a:

$$D' = L - N_1 D = 1000\ b$$

per un totale di $P_1 = 27$ pacchetti.
In modo analogo per il secondo fotogramma abbiamo $L_2 = (1 \cdot 10^6) \cdot (10 \cdot 10^{-3}) = 10.000\ b$ che corrispondono ad un numero di pacchetti di lunghezza massima pari a:

$$N_2 = \left\lfloor \frac{L_2}{D} \right\rfloor = 6$$

e ad un ultimo pacchetto di lunghezza pari a:

$$D' = L - N_2 D = 1000\ b$$

per un totale di $P_2 = 7$ pacchetti.
Il terzo fotogramma è uguale al secondo.
In totale sono stati generati un numero di bit pari a:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = 60.000\ b$$

in un intervallo $T = 60\ ms$. Quindi la velocità media risulta pari a:

$$R_b' = \frac{L}{T} = 1\ Mb/s$$

A ciascuno dei $P = P_1 + P_2 + P_3 = 41$ pacchetti vengono aggiunti $40\ B = 320\ b$ per un totale di $H = 41 \cdot 320 = 13.120\ b$ per una velocità media pari a:

$$R_b' = \frac{L + H}{T} = 1.22\ Mb/s$$