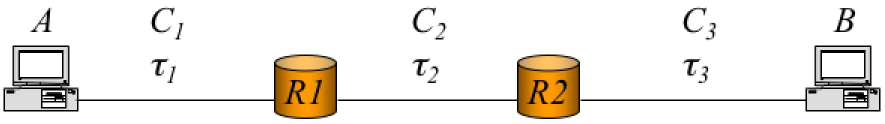
2 Concetti base

Esercizio 2.1

Si consideri la rete in figura.

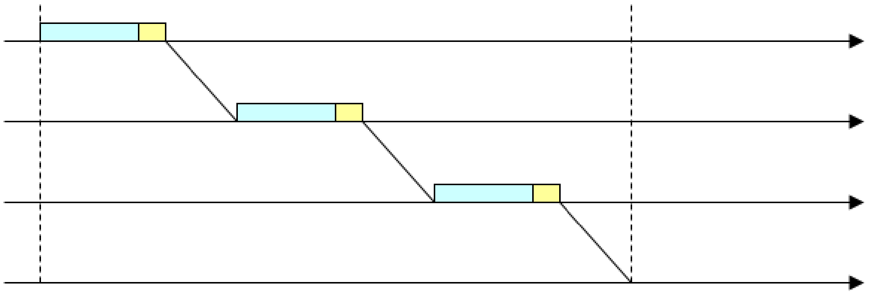


a) Si calcoli in forma parametrica il tempo necessario a trasmettere un pacchetto da A a B (header h, dati D).
b) Si assume di dividere il pacchetto in 2 frammenti. Si calcoli in forma parametrica il tempo necessario per trasmettere tutti i frammenti. Si assuma $C_2 \le C_1 \le C_3$
c) Qual è il numero di frammenti che minimizza il ritardo?

---

a) La lunghezza di ogni pacchetto è data dalla somma dei bit di header e di dati

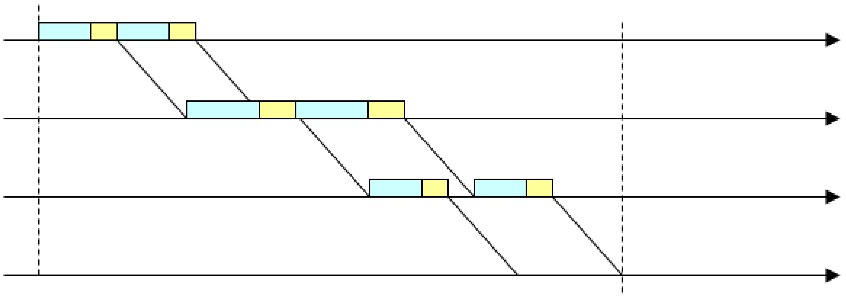
$$T = \frac{h+D}{C_1} + \tau_1 + \frac{h+D}{C_2} + \tau_2 + \frac{h+D}{C_3} + \tau_3$$



b) Ogni frammento sarà formato da una parte dati pari alla metà della parte dati del pacchetto originario, mentre la lunghezza dell'header rimane uguale. Ogni frammento avrà bisogno del proprio header per poter essere processato dai nodi intermedi.

$$d = D/2$$

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



c) Nell'espressione parametrica la dimensione di ciascuno degli *n* frammenti sarà pari ad *1/n* della dimensione del pacchetto originario

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

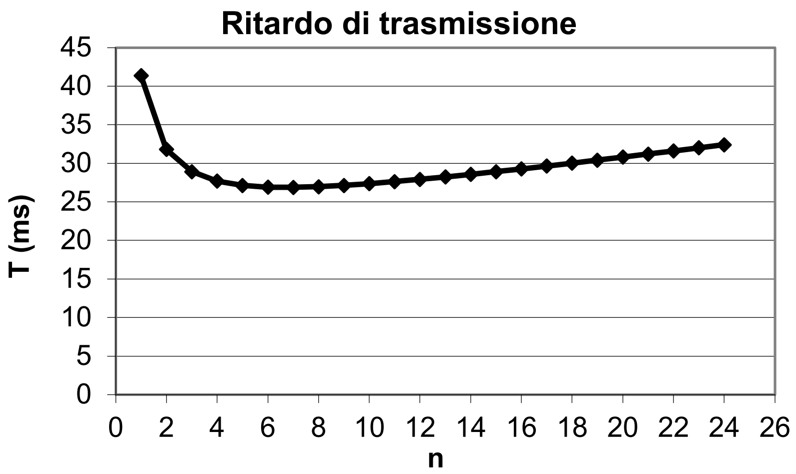
Troviamo il punto di stazionarietà

$$\frac{\partial T}{\partial n}=\frac{h}{C_2}-\frac{D}{n^2C_1}-\frac{D}{n^2C_3}=0$$
$$n^*=\sqrt{\frac{C_2}{h}\left(\frac{D}{C_1}+\frac{D}{C_3}\right)}$$

Esempio numerico

C_1=1 Mbit/s
C_2=900 Kbit/s
C_3=1 Mbit/s
$\tau_1=\tau_2=\tau_3$=3 ms
h=400
D=10000

$$n^*=\sqrt{\frac{C_2}{h}\left(\frac{D}{C_1}+\frac{D}{C_3}\right)}=6{,}71$$



Esercizio 2.2

Quanti metri "abbraccia" una UI 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)?

Quanti secondi dura la sua trasmissione?

- $v = c \cong 300000$ km/s
- $L = 75$ byte $= 600$ bit; $C = 64$ Mbit/s
- Durata: $T = L / C = (600 / 64)\ \mu s = 9.375\ \mu s$
- Lunghezza: $l = T \cdot v = (0.3 \cdot 9.375)$ km $= 2.8125$ km

Esercizio 2.3

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 ± 1.5 ms, determinare il corrispondente errore di misura sulle distanze

---

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:

   $L = v \cdot T = (1480 \cdot 0.34)$ mm $= 50.32$ 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 2.4

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

Quanti secondi dura la trasmissione del singolo pacchetto?

- $v = c \cong 300000$ km/s
- $L = 100$ byte = 800 bit; $C = 80$ Mbit/s
- Durata: $T = L / C = (800 / 80)$ μs = 10 μs
- 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 2.5

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.

La lunghezza dei pacchetti di dati è pari a $L_d = 160 \cdot 8 = 1280\ b$.

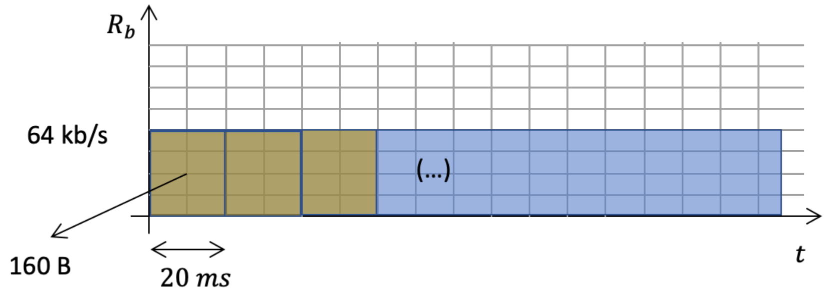
La velocità di generazione dei pacchetti è dunque pari a $R_p = \frac{R_b}{L} = 50$ pacchetti/s, e il tempo tra la generazione di un pacchetto e il successivo $T = \frac{1}{R_p} = 0.02\ s = 20\ ms$.

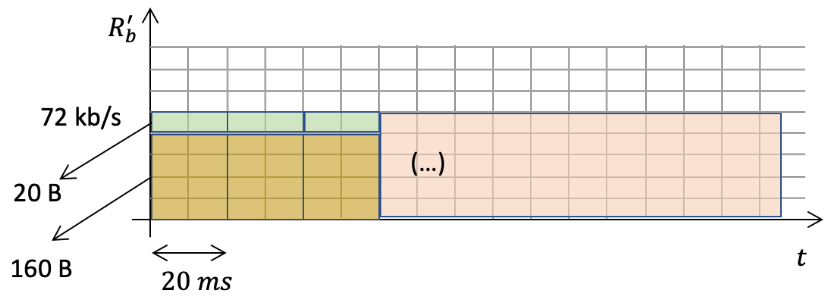
Dopo l'aggiunta dell'header la lunghezza dei pacchetti diventa $L_{d+h} = (160 + 20) \cdot 8 = 1440\ b$.

La velocità media del flusso di pacchetti diventa dunque pari a:

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

Una rappresentazione grafica della sorgente di traffico può essere utile:





Esercizio 2.6

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

Il tempo di generazione di un blocco è pari a:

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

E dunque il tempo di inattività tra un blocco e l'altro è pari a:

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

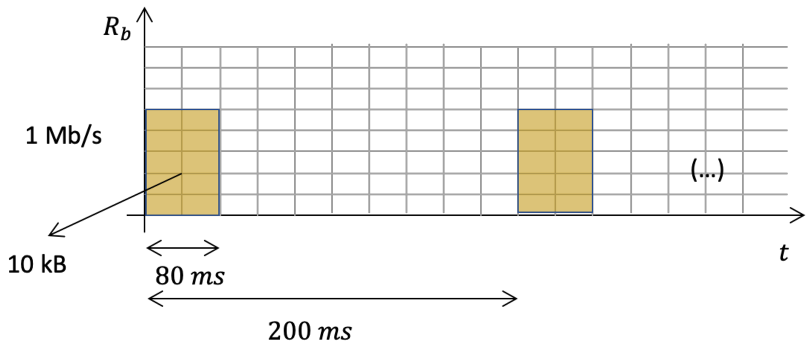
La velocità media di generazione è pari a:

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

che è anche pari a:

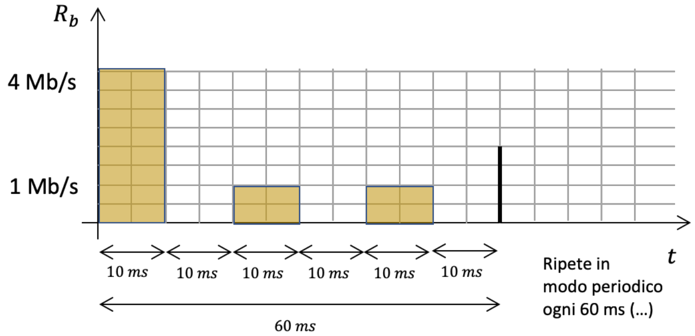
$$R_b' = R_b \frac{T_b}{T_b + T_s} = 1 \cdot \frac{80}{200} = 0.4\ Mb/s$$

La rappresentazione grafica corrispondente è:



Esercizio 2.7

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 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

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:

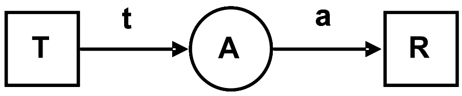
$$R_b' = \frac{L}{T} = 1\ Mb/s$$

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:

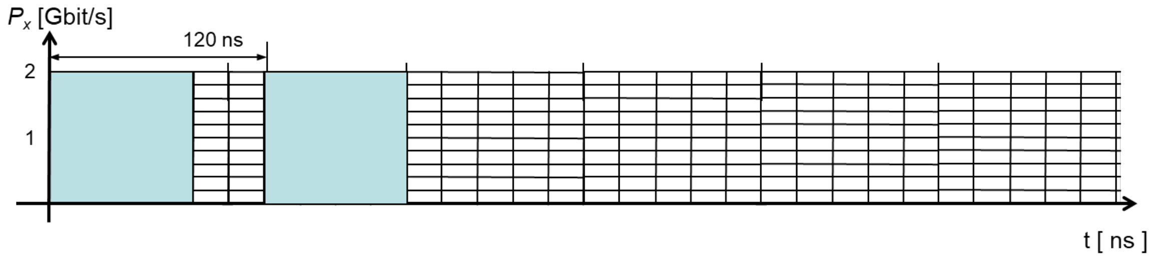
$$R_b' = \frac{L+H}{T} = 1.22\ Mb/s$$

Esercizio 2.8

I due terminali **T** ed **R** sono collegati attraverso un nodo A come in figura. Il link **t** è un collegamento in fibra ottica, con distanza L_t = 36 m tra **T** e **A**. Il link **a** è anch'esso in fibra di lunghezza L_a = 8 m.



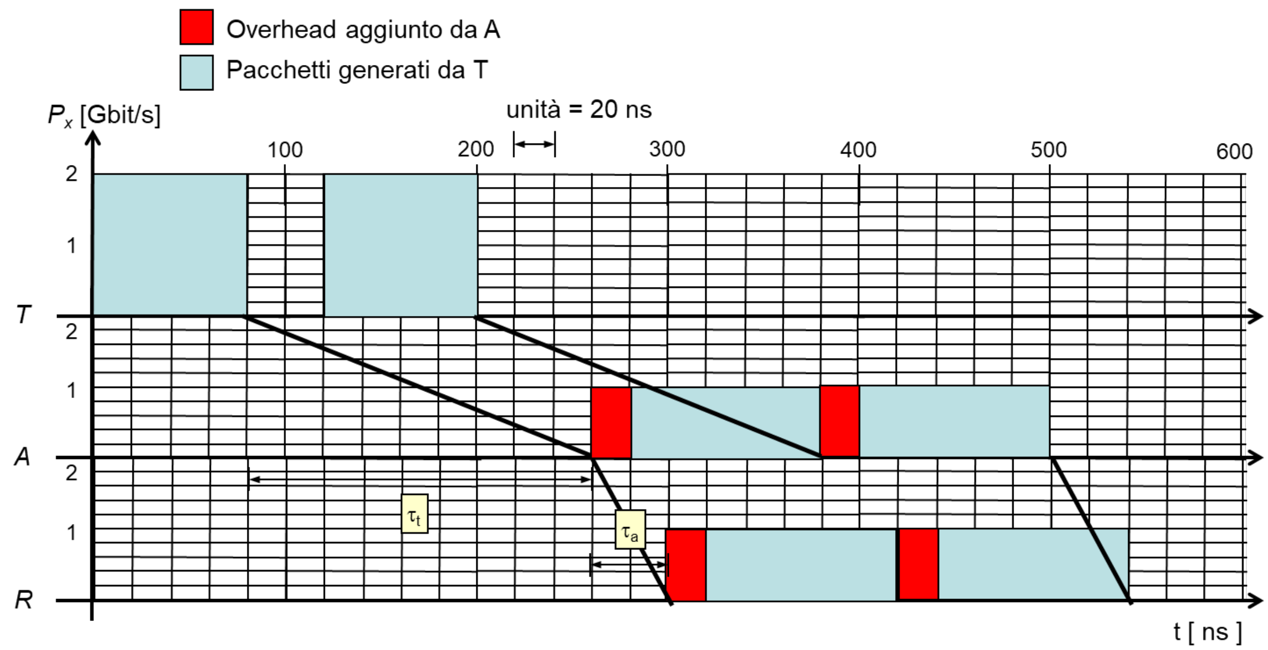
T emette 2 pacchetti di dimensione P = 20 byte su un canale di capacità P_T = 2 Gbit/s. Gli istanti di inizio trasmissione dei pacchetti al terminale **T** sono distanti 120 ns, come mostrato nella figura sottostante.



Ogni pacchetto generato da **T** viene ricevuto da **A** e ritrasmesso verso il terminale **R** su un canale a velocità P_A = 1.6 Gbit/s dopo aver aggiunto ai P byte del pacchetto un hoverhead di H byte, con H/P = 1/5. Il nodo **A** non inizia a trasmettere un pacchetto sull'interfaccia di uscita prima che non lo abbia interamente ricevuto dall'interfaccia di ingresso. Si considerino nulli i tempi di elaborazione.

Per ciascuno dei due pacchetti emessi dal terminale **T**, si calcoli l'istante di ricezione al terminale **R**.

- I due pacchetti emessi da **T** sono trasmessi a partire dagli istanti t_1=0 e t_2=120 ns, rispettivamente.
- $T_T = P/P_T$ = 20 byte / 2 Gbit/s = 80 ns
- $\tau_t = l_t \cdot \tau_{fibra}$ con τ_{fibra} = 5 ns / m $\Rightarrow \tau_t$ = (36 · 5) ns = 180 ns
- $\tau_a = l_a \cdot \tau_{rame}$ con τ_{rame} = 5 ns / m $\Rightarrow \tau_a$ = (8 · 5) ns = 40 ns
- H / P = 1 / 5 $\Rightarrow$ H = 4 byte
- $T_A = (H+P)/P_A$ = 24 byte / 1.6 Gbit/s = 120 ns
- $T_{R1} = t_1+T_T + \tau_t + T_A + \tau_a$ = 420 ns
- $T_{R2} = t_2+T_T + \tau_t + T_A + \tau_a = t_1+T_T + \tau_t + 2T_A + \tau_a$ = 540 ns
  - Si noti che gli istanti di fine trasmissione del primo pacchetto in A e di fine ricezione del secondo pacchetto in A coincidono $\Rightarrow$ il secondo pacchetto può essere subito trasmesso da A, non appena interamente ricevuto.



Overhead aggiunto da A
Pacchetti generati da T
P_x [Gbit/s]
unità = 20 ns
100
200
300
400
500
600
2
1
T
2
1
A
2
1
R
τ_t
τ_a
t [ns]

Esercizio 2.9

Un segnale musicale di banda pari a $B = 22\,kHz$ viene campionato a frequenza di Nyquist e convertito in digitale usando $l = 512$ livelli. Il flusso ottenuto viene immesso in pacchetti di lunghezza pari a L=1000 B a cui sono aggiunti $h = 60\,B$ di header.

Calcolare:

- La velocità del segnale musicale digitale
- La velocità media del flusso di pacchetti

La frequenza di campionamento è pari a:

$$F_c = 2B = 44\,kHz$$

Il numero di bit per ciascuno campione è pari a:

$$b = \log_2(l) = 9$$

Per una velocità del segnale musicale digitale pari a:

$$R_b = F_c b = 396\,kb/s$$

che corrisponde ad una velocità di pacchetti al secondo pari a:

$$R_p = \frac{R_b}{L} = 49.5 \text{ pacchetti/s}$$

Una volta aggiunto l'header la velocità media del flusso di pacchetti diventa:

$$R_b' = (L + h)R_p = 419.76\,kb/s$$

Esercizio 2.10

Un convertitore video per vecchie cassette analogiche codifica le immagini in digitale usando per ciascun frame (fotogramma) un numero di pixel pari a 640×480, $b = 24\ bit$ per pixel per ciascuno dei tre colori fondamentali (codifica RGB), e una frequenza di frame (fotogrammi) di $F_f = 50\ Hz$.

Calcolare:

- La velocità del segnale video digitale
- La banda del segnale analogico di ogni singolo colore assumendo un campionamento alla frequenza di Nyquist

---

Il numero totale di pixel per frame è pari a:

$$p = 640 \cdot 480 = 307.200 \text{ pixel}$$

Il numero totale di bit per fotogramma è pari a:

$$L = 3pb = 22.12\ Mb$$

e quindi la velocità media del segnale digitale è pari a:

$$R_b = L \cdot F_f = 1.1\ Gb/s$$

La frequenza di campionamento del segnale video risulta pari a:

$$F_c = p \cdot F_f = 15.36\ MHz$$

e quindi la banda $B = F_c/2 = 7.68\ MHz$

Esercizio 2.11

Un segnale audio di banda $B = 15\ kHz$ viene campionato alla frequenza di Nyquist, convertito in digitale con 16 bit per campione, e trasmesso con una modulazione 16-QAM. Si calcoli la banda occupata dal segnale modulato assumendo una efficienza spettrale η di 1 simbolo/s per Hz.

La frequenza di campionamento risulta pari a:

$$F_c = 2B = 30\ kHz$$

Con 16 bit per campione, la velocità (rate) del segnale digitale è:

$$R_b = 16F_c = 480\ kb/s$$

Con la modulazione 16-QAM ogni simbolo trasporta 4 bit e dunque il Baud rate è dato da:

$$R_s = \frac{R_b}{4} = 120\ kHz$$

ovvero 120000 simboli/s.

Infine, la banda del segnale modulato risulta pari a:

$$B_m = \frac{R_s}{\eta} = 120\ kHz$$