

# Fondamenti di Internet e Reti

Esercizi

## **3 - Esercizi sul Livello di Trasporto**

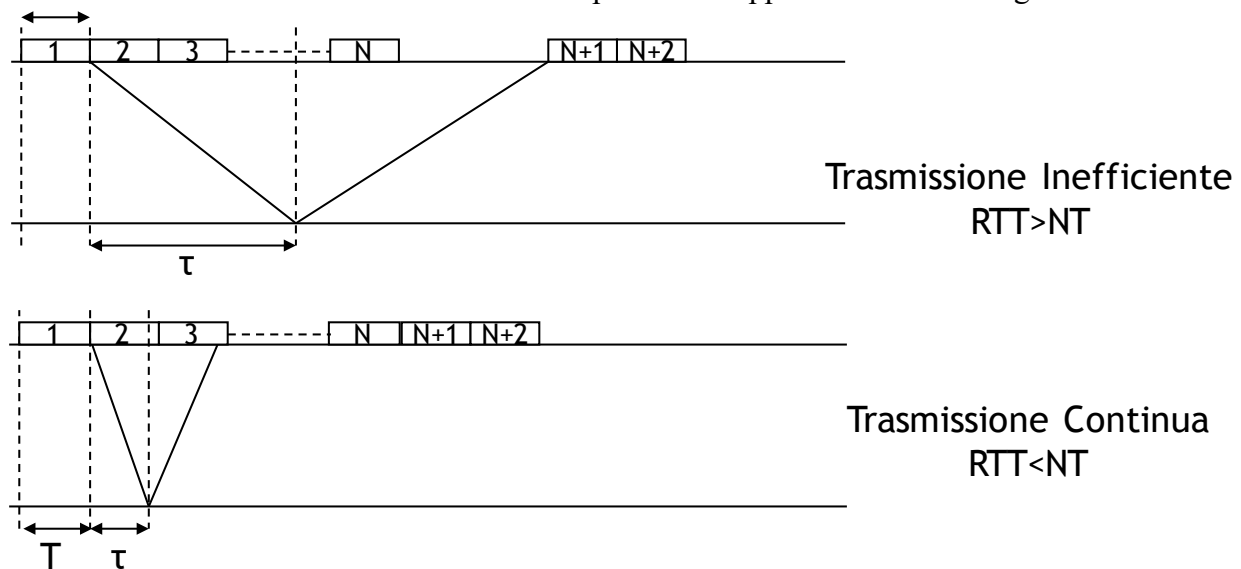
### 3.1 - Esercizio

Si consideri un canale via satellite della capacità di  $1\text{ Mb/s}$ . Considerando che il tempo di propagazione attraverso un satellite geostazionario richiede  $250\text{ ms}$ , si chiede di dimensionare la minima finestra di trasmissione di un protocollo Go-BACK-N (con time-out) in modo che sia consentita la massima efficienza temporale del canale quando vengano trasmesse trame di  $2000\text{ bit}$  in assenza di errori. Si suppongano gli ACK trascurabili.

Si calcoli poi la massima efficienza trasmissiva che si avrebbe nel caso in cui il meccanismo ARQ fosse di tipo STOP and WAIT.

#### Soluzione

L'efficienza del meccanismo Go-BACK-N dipende dal rapporto tra RTT e lunghezza della finestra.



Per avere la massima efficienza il numero di pacchetti  $N$  nella finestra deve essere tale che il loro tempo di trasmissione copra il tempo di andata e ritorno del primo pacchetto.

Indicati con:

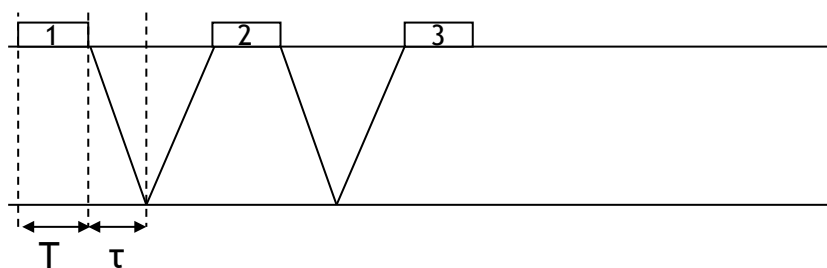
- $T = 2\text{ [ms]} = 2000\text{ [bit]} / 1\text{ [Mb/s]}$ , il tempo di trasmissione di un pacchetto
- $\tau = 250\text{ [ms]}$ , il tempo di propagazione

allora deve essere:

$$NT \geq T + 2\tau \rightarrow N \geq 1 + 2\frac{\tau}{T} = 1 + 2 \cdot 250/2 = 251$$

Per finestre  $N \geq 251$ , la trasmissione risulta continua, dunque l'efficienza del meccanismo è 1.

Nel caso di meccanismo STOP&WAIT abbiamo:



L'efficienza del meccanismo STOP&WAIT si calcola considerando che il meccanismo trasmette 1 pacchetto (durata  $T = 2\text{ ms}$ ) ogni  $T + 2\tau$ , dunque l'efficienza:  $\eta = T/(T + 2\tau) = 1/251$ .

### 3.2 - Esercizio

Un sistema che utilizza un protocollo GO-BACK-N presenta un ritardo di propagazione pari a 24 volte il tempo di trasmissione di un pacchetto e viene usato per inviare un file di 1000 pacchetti. Si assuma la durata del timeout pari al tempo di trasmissione dell'intera finestra di pacchetti. Ipotizzando che tutti i pacchetti ricevuti correttamente siano riscontrati (*tempo di trasmissione del riscontro = tempo di trasmissione del pacchetto*), si calcoli il numero di pacchetti trasmessi inutilmente (errati o corretti ma scartati dal ricevitore) nel caso in cui la finestra sia lunga  $W = 100$  quando:

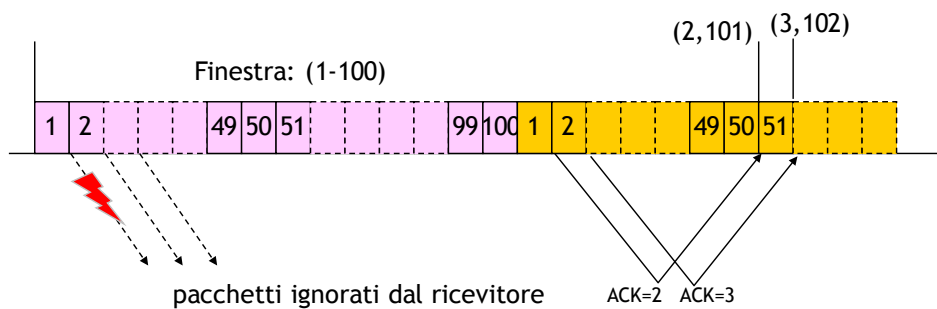
- si sbaglia il primo pacchetto del file
- si sbagliano il primo e il 100-esimo pacchetto del file
- si sbaglia l'ACK del primo pacchetto del file
- si sbaglia l'ACK del primo e del 100-esimo pacchetto del file

### Soluzione

Tempo di ritorno dell'ACK,

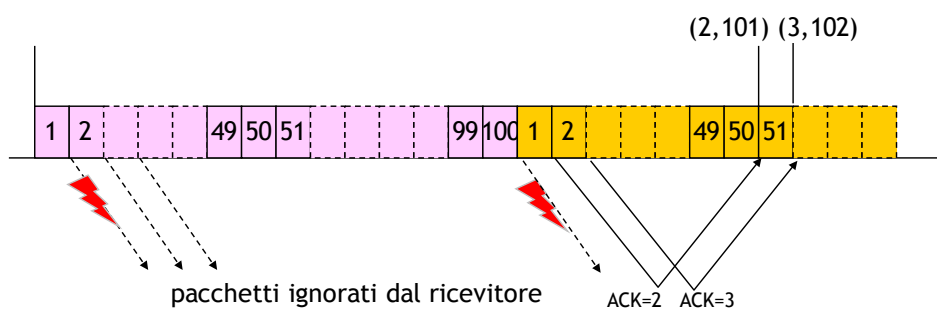
$$RTT = T + T_{ack} + 2\tau = T + 24T + T + 24T = 50T$$

### Caso 1

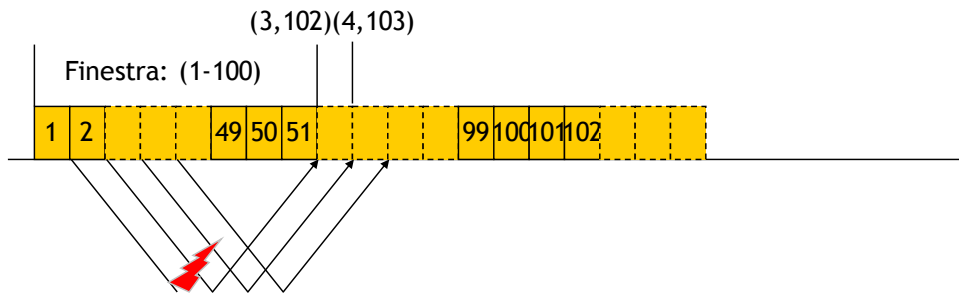


Trasmetto inutilmente i pacchetti dal 1 a 100

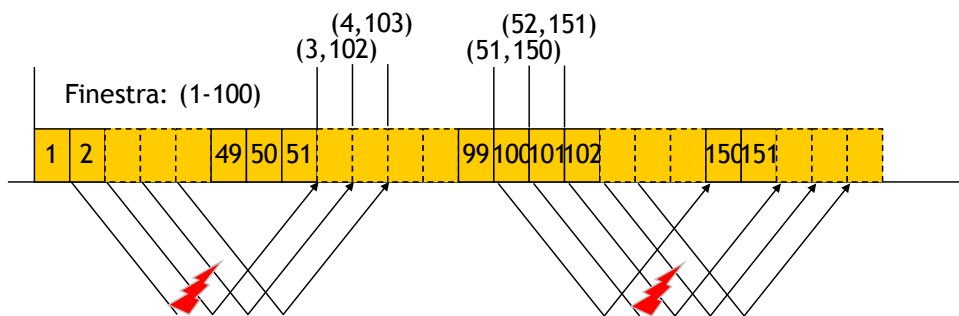
### Caso 2



Come nel caso precedente trasmetto inutilmente i pacchetti dal 1 a 100

*Caso 3*

I pacchetti 1, 2, ... sono tutti ricevuti correttamente e viene inviato l'ACK. L'ACK del 2 riscontra implicitamente anche il pacchetto 1 e pertanto non si ritrasmette NESSUN pacchetto.

*Caso 4*

Anche in questo caso la perdita del 100-esimo ACK non ha effetto.

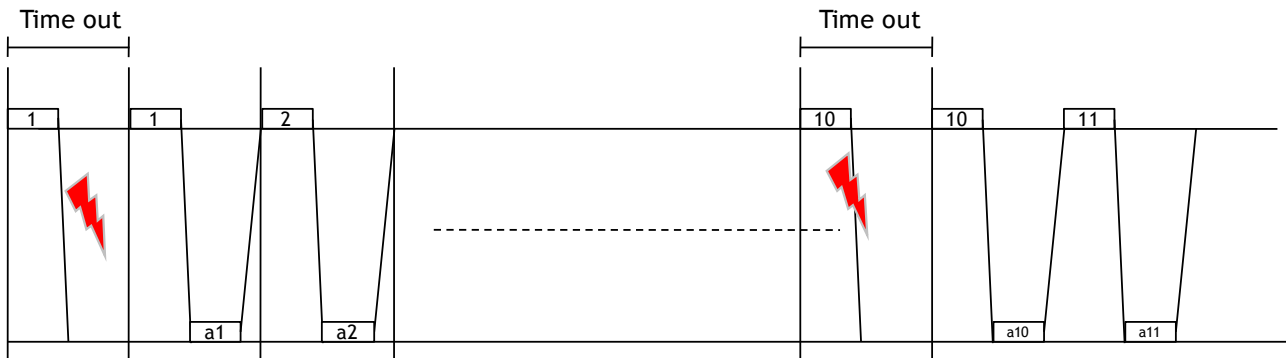
### 3.3 - Esercizio

Un canale genera errori nella trasmissione di pacchetti in ragione di 1 ogni 10, mentre non introduce mai negli ACK di ritorno. Si calcoli l'efficienza del meccanismo in termini di *numero di pacchetti corretti / numero totale pacchetti trasmessi* nel caso in cui si usi STOP and WAIT con time-out minimo.

Si calcoli poi l'efficienza trasmissiva temporale totale (*tempo usato per trasmettere pacchetti corretti/tempo totale*) nel caso in cui il tempo di propagazione sia pari a  $n$  volte il tempo di trasmissione di un pacchetto  $T$  e il tempo di trasmissione dell'ACK sia pari a  $T$ .

#### Soluzione

Con lo STOP and WAIT, ogni 10 pacchetti, 1 è errato. Dunque l'efficienza è  $\eta_{pkt} = 9/10 = 0.9$



Per quanto visto prima si trasmettono 9 pacchetti corretti (durata  $9T$ ) ogni 10 round trip time. Un round trip time è pari a  $RTT = T + T_{ack} + 2\tau = T + T + 2nT$ . Dunque:  $\eta_{tot} = 9T / 10T(2 + 2n) = 9 / 20(1 + 1n)$

### 3.4 - Esercizio

Due stazioni A e B colloquiano attraverso due collegamenti in cascata con velocità rispettivamente di 100 e 200 Mb/s e ritardo di propagazione di 500  $\mu$ s su ciascun collegamento. Il forwarding fra i due collegamenti sia di tipo *Store and Forward* senza ritardo di processing. Un file di 1250 MB viene trasferito fra i due nodi suddividendolo in pacchetti di 10000 bit con header trascurabile. Si calcoli il ritardo con cui viene ricevuto l'ultimo bit del file nella stazione B nei seguenti casi:

- 1) i pacchetti sono trasmessi sulle linee alla velocità massima
- 2) i pacchetti sono trasferiti attraverso un meccanismo di ARQ *Stop and Wait* applicato end-to-end.
- 3) i pacchetti sono trasferiti attraverso un meccanismo di ARQ *Stop and Wait* applicato su ciascuno dei due collegamenti separatamente

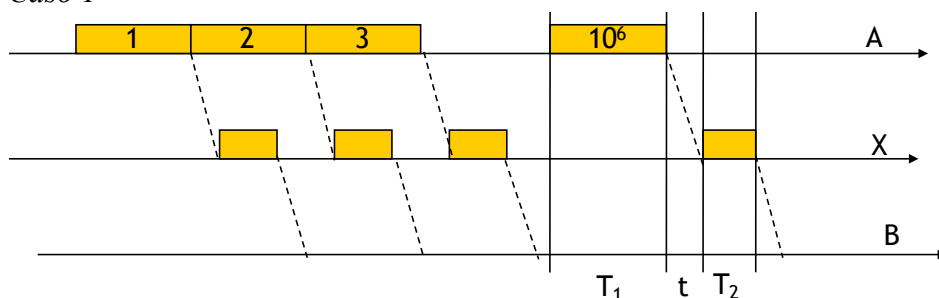
Si ipotizzi che le trasmissioni siano senza errori e che la lunghezza degli ACK sia pari a quella dei pacchetti.

### Soluzione

Il numero di pacchetti da trasmettere è pari a  $N = (1250 \cdot 8 \cdot 10^6) / 10.000 = 1.000.000$  pacchetti.

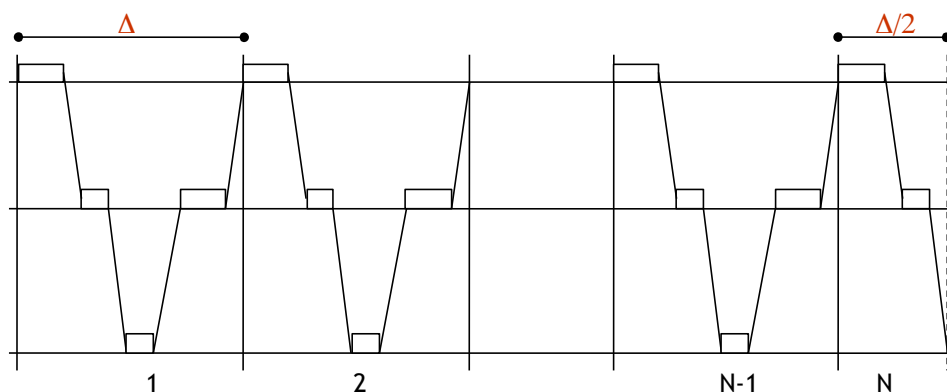
Il tempo di trasmissione sul primo link è  $T_1 = 10000 [bit] / 100 [Mbps] = 100 [\mu s]$ , mentre sul secondo link è  $T_2 = T_1/2 = 50 [\mu s]$ , infatti la velocità di trasmissione è doppia.

Caso 1



Il tempo totale di trasferimento è  $T_{tot} = NT_1 + 2\tau + T_2 = 10^6 \cdot 100 [\mu s] + 2 \cdot 500 [\mu s] + 50 [\mu s] = 100.0015 [s]$

Caso 2



Il tempo fra due trasmissioni consecutive sul primo link è pari a

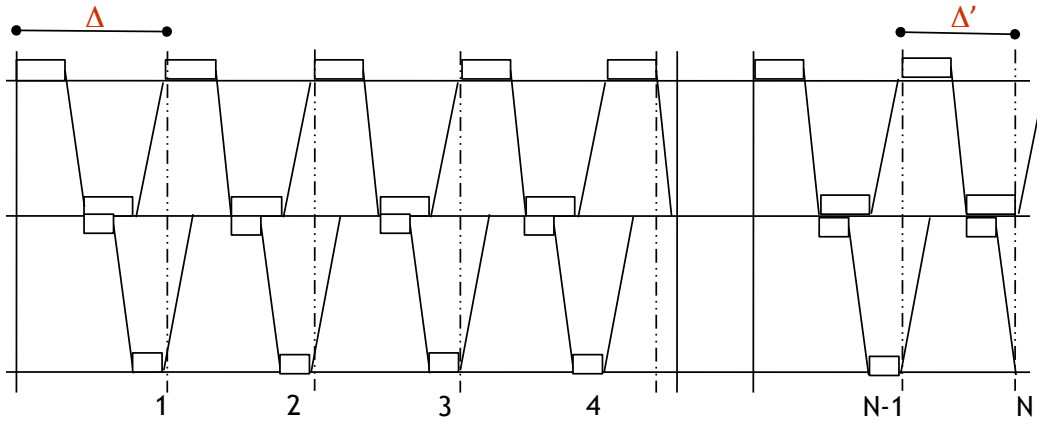
$$\Delta = T_1 + \tau + T_2 + \tau + T_2 + \tau + T_1 + \tau = 2T_1 + 2T_2 + 4\tau = 2.3 \text{ ms}$$

L'ultimo bit sul secondo link viene ricevuto dopo il tempo

$$(N - 1) \Delta + \Delta/2 = N\Delta - \Delta/2 = 2300 - 0.00115 \text{ s} = 2299.99885 \text{ s}$$

*Caso 3*

Il tempo fra due trasmissioni consecutive sul primo link è pari a  $D_1 = 2T_1 + 2\tau = 1.2 [ms]$ , mentre il tempo fra due trasmissioni consecutive sul secondo link è pari a  $D_2 = 2T_2 + 2\tau = 1.1 [ms]$ . Dunque, i pacchetti non fanno coda tra il primo ed il secondo link (quando arriva il secondo pacchetto sul primo link, il primo pacchetto è già partito sul secondo link).



La trasmissione dell'ACK sul primo link avviene contemporaneamente alla trasmissione del pacchetto sul secondo link, le interfacce coinvolte sono diverse.

Il tempo totale di trasferimento è pari a

$$\begin{aligned}
 (N-1)\Delta + \Delta' &= (N-1)\Delta + \Delta/2 + T_2 + \tau = N\Delta - \Delta/2 + T_2 + \tau = \\
 &= ND_1 - D_1/2 + T_2 + \tau = 1200000 [ms] - 0.6 [ms] + 0.05 [ms] + 0.5 [ms] \\
 &= 1199.99995 s
 \end{aligned}$$

### 3.5 - Esercizio

Due navi **A** e **B** si trovano alla distanza  $d = 30$  km. E si scambiano dati usando Stop and Wait. **A** deve trasferire a **B** un blocco di  $B = 480$  byte. Le velocità di trasmissione sul canale da **A** a **B** e sul canale di ritorno da **B** ad **A** sono, rispettivamente,  $C_{AB} = 8$  Mb/s,  $C_{BA} = 1$  Mb/s.

Le caratteristiche del protocollo *Stop&Wait* utilizzato per le trasmissioni sono le seguenti:

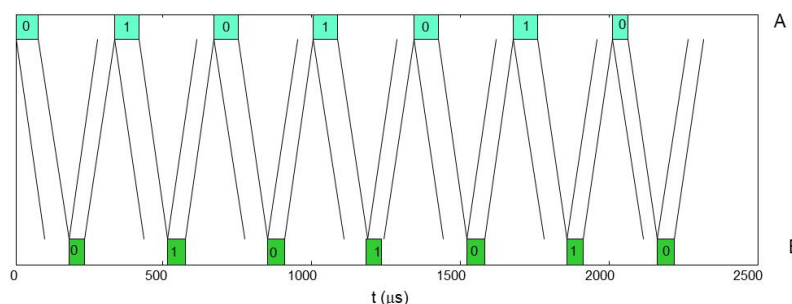
- dimensione fissa dei riscontri (ACK):  $L_a = 7$  byte
- dimensione massima dei pacchetti dati  $L_{fmax} = 80$  byte di cui 7 byte di header ( $D_{fmax} = 73$  byte dati)
- i pacchetti da **A** a **B** hanno tutti lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultimo che ha dimensione  $L_{flast}$  ( $D_{flast}$  di dati e 7 byte di header)
- i tempi di elaborazione nelle stazioni A e B sono trascurabili

Si calcoli:

- il tempo di trasferimento  $T_{S\&W}$  del file dati (dall'inizio della trasmissione del primo pacchetto al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- il *throughput* dati di utente effettivo (velocità media di trasferimento) della connessione **A**  $\rightarrow$  **B**  $THR_{S\&W}$ , misurato in [bit/s], e quanto questo vale in percentuale rispetto alla capacità del canale **A**  $\rightarrow$  **B** (efficienza  $\eta_{S\&W}$ ).

#### Soluzione

- Distanza A-B:  $d = 30$  km
- Ritardo di propagazione A-B (e B-A) ( $c = 300000$  km/s):  
 $\tau = d / c = (30 / 300000) \text{ s} = 100 \text{ } \mu\text{s}$
- $B = 480$  byte  $\Rightarrow n_{fmax} = \left\lfloor \frac{B}{D_{fmax}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{480}{73} \right\rfloor = 6$  pacchetti di lunghezza  $L_{fmax} + 1$  pacchetto di lunghezza  $L_{flast}$  con  $D_{flast} = B - n_{fmax} D_{fmax} = 480 - 6 \cdot 73 = 42$
- $L_{fmax} = [(7 + 73) \cdot 8] \text{ bit} = (80 \cdot 8) \text{ bit} = 640 \text{ bit}$
- $L_{flast} = (7 + 42) \text{ byte} = 392 \text{ bit}$
- $L_a = (7 \cdot 8) \text{ bit} = 56 \text{ bit}$
- $C_{AB} = 8 \text{ Mbit/s}$
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C_{AB} = 80 \text{ } \mu\text{s}$
- $T_{flast} = L_{flast} / C_{AB} = 49 \text{ } \mu\text{s}$
- $C_{BA} = 1 \text{ Mbit/s}$
- $T_a = L_a / C_{BA} = (7 \cdot 8 / 1) \text{ } \mu\text{s} = 56 \text{ } \mu\text{s}$



#### Stop and wait

- $T_{S\&W} = 6 (T_{fmax} + T_a + 2 \tau) + (T_{flast} + T_a + 2 \tau) = [6 (80 + 56 + 200) + (49 + 56 + 200)] \text{ } \mu\text{s} = 2.321 \text{ ms}$
- $THR_{S\&W} = B / T_{S\&W} = (480 \cdot 8 / 2.321) \text{ kbit/s} = 1.66 \text{ Mbit/s}$



- $\eta_{s\&w} = \text{THR}_{s\&w} / C = 1.66 / 8 = 0.21 \Rightarrow \eta_{s\&w\%} = 21.00 \%$

### 3.6 - Esercizio

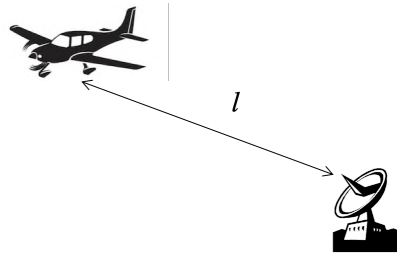
Un aereo per il telerilevamento (**A**) deve inviare a una stazione di terra **B** distante  $l = 90\text{km}$  un file di 1008 byte. Le velocità di trasmissione sul canale da **A** a **B** e sul canale di ritorno da **B** ad **A** sono identiche e uguali a  $C = 9.6\text{ Mb/s}$ . Le caratteristiche del protocollo *Stop&Wait* utilizzato per le trasmissioni sono le seguenti:

- dimensione fissa dei riscontri (ACK):  $L_a = 48\text{ byte}$
- dimensione massima dei pacchetti dati  $L_{fmax} = 240\text{ byte}$  dei quali  $H = 48\text{ byte}$  di header
- i pacchetti utilizzati per trasferire da **A** a **B** il blocco  $B$  abbiano tutti lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultimo
- tempi di elaborazione nelle stazioni **A** e **B** trascurabile

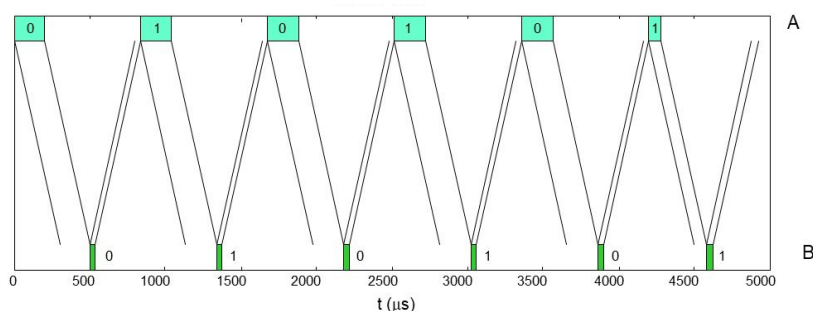
Si calcoli in assenza di errori sul collegamento:

- il tempo di trasferimento  $T_{S\&W}$  del file (dall'inizio della trasmissione del primo pacchetto al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- il *throughput* dati di utente effettivo (velocità media di trasferimento) della connessione  $THR_{S\&W}$ , misurato in [bit/s], e quanto questo vale in percentuale rispetto alla capacità del canale **A**  $\rightarrow$  **B** (efficienza  $\eta_{S\&W}$ ).

### Soluzione



- Ritardo di propagazione A-B (e B-A) ( $c = 300000\text{ km/s}$ ):  $\tau = l / c = (90 / 300000)\text{ s} = 300\text{ }\mu\text{s}$
- $D_{fmax} = L_{fmax} - H = 192\text{ byte}$
- $n_{fmax} = \left\lfloor \frac{B}{D_{fmax}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1008}{192} \right\rfloor = 5\text{ pacchetti}$
- $D_{flast} = B - n_{fmax} D_{fmax} = 48\text{ byte}$
- $L_{fmax} = [(192 + 48) \cdot 8]\text{ bit} = (240 \cdot 8)\text{ bit} = 1920\text{ bit}$
- $L_{flast} = (48 + 48)\text{ byte} = 768\text{ bit}$
- $L_a = (48 \cdot 8)\text{ bit} = 384\text{ bit}$
- $C = 9.6\text{ Mbit/s}$
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 200\text{ }\mu\text{s}$ ;
- $T_{flast} = L_{flast} / C = 80\text{ }\mu\text{s}$ ;
- $T_a = L_a / C = 40\text{ }\mu\text{s}$
- $T_{S\&W} = 5 (T_{fmax} + T_a + 2 \tau) + (T_{flast} + T_a + 2 \tau) = [5 (200 + 48 + 600) + (80 + 48 + 600)]\text{ }\mu\text{s} = 5,008\text{ ms}$



### 3.7 - Esercizio

Due rack **A** e **B** di un supercomputer comunicano tra di loro mediante un collegamento in fibra ottica con interfacce a  $C = 10 \text{ Gb/s}$ . La linea in fibra ha lunghezza  $d = 16 \text{ m}$ .

Il rack **A** trasferisce un file  $F = 375 \text{ byte}$  a **B** utilizzando un protocollo di tipo GoBackN (GBN).

Le caratteristiche del protocollo GBN utilizzato sono le seguenti:

- dimensione fissa di riscontri (ACK):  $L_a = 10 \text{ byte}$ ,
- dimensione variabile dei pacchetti, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di trama  $L_{fmax} = 60 \text{ byte}$  dei quali  $10 \text{ byte}$  di header
- tempo di elaborazione nelle stazioni **A** e **B** trascurabile
- ampiezza della finestra di trasmissione  $W_s = 4$ ,
- timeout  $TO = 3 \text{ s}$ .

Dopo aver rappresentato lo scambio di pacchetti su un diagramma temporale, indicando per ogni pacchetto (sia da **A** a **B** che da **B** ad **A**) il relativo valore di numerazione, si calcolino:

- il tempo di trasferimento  $T_{GBN}$  del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima trama al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- il throughput dati effettivo  $THR_{GBN}$  della connessione (velocità media di trasferimento), misurato in  $[\text{bit/s}]$ , e l'efficienza  $\eta$  del collegamento  $A \rightarrow B$ ;
- la dimensione minima  $W_s'$  della finestra di trasmissione per cui si raggiunge l'efficienza  $\eta_{max}$  massima.

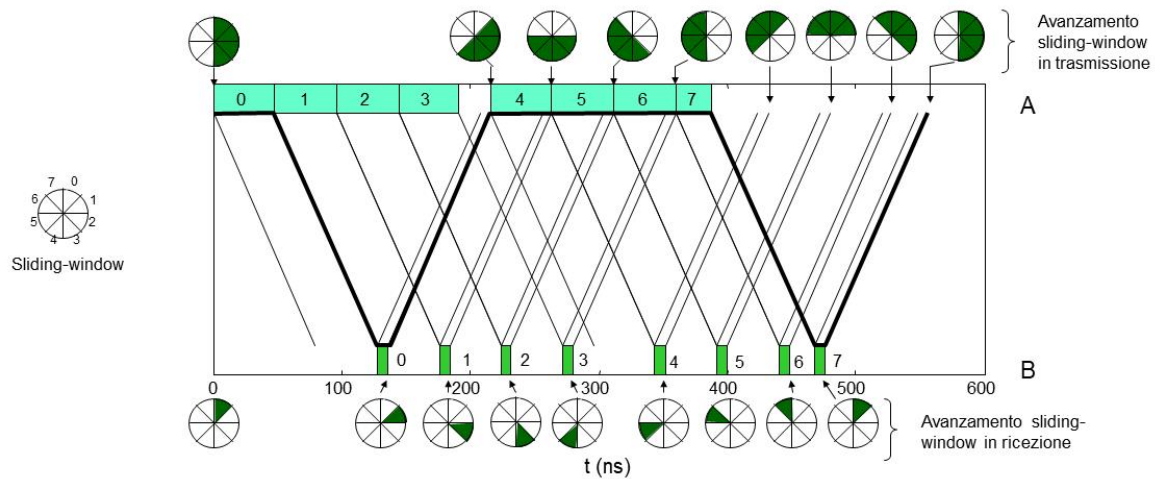
#### Soluzione

- $L_{fmax} = (60 \cdot 8) \text{ bit} = 480 \text{ bit}$
- $B = 375 \text{ byte} = (7 \cdot 50 + 1 \cdot 25) \text{ byte} \Rightarrow 7 \text{ pacchetti di dimensione massima } L_{fmax} + 1 \text{ pacchetto di dimensione } L_{flast}$
- $L_{flast} = (25 + 10) \text{ byte} = 280 \text{ bit}$

**A** invia a **B** 8 pacchetti in totale, di cui 7 di dimensione  $L_{fmax} = 480 \text{ bit}$  ed 1 di dimensione  $L_{flast} = 280 \text{ bit}$ .

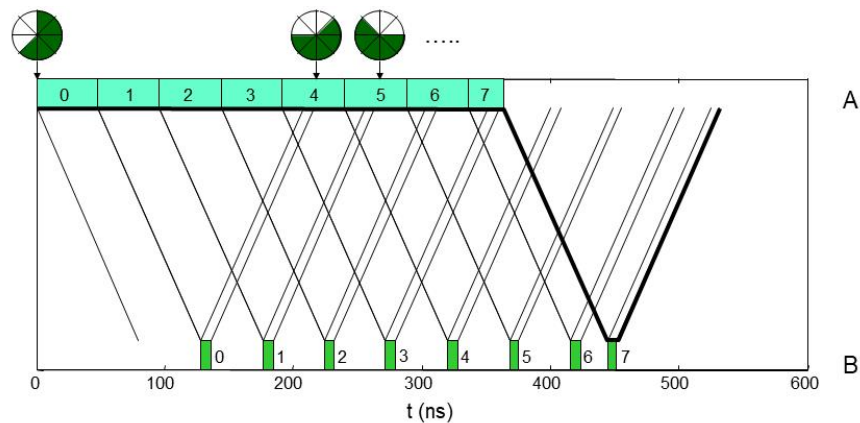
I tempi di trasmissione dei vari pacchetti e dei riscontri sono ottenuti come:

- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 48 \text{ ns}$ ;  $T_{flast} = L_{flast} / C_u = 28 \text{ ns}$ ;
- $T_a = L_a / C_d = 8 \text{ ns}$
- Ritardo di propagazione in fibra  $= \tau_U \cong 5 \mu\text{s/km} = 5 \text{ ns/m}$
- $l = 16 \text{ m} \Rightarrow \tau = l \cdot \tau_U = 80 \text{ ns}$



Go-back-n  $\Rightarrow W_s = 4$

- In questo caso la finestra di trasmissione blocca il ritmo di trasferimento in quanto:  
 $W_s \cdot T_{fmax} = 192 \text{ ns} < T_{fmax} + T_a + 2\tau = 216 \text{ ns}$
- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 3T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau = 4T_{fmax} + T_{flast} + 2T_a + 4\tau = 556 \text{ ns}$
- $THR_{GBN} = B / T_{GBN} = (375 \cdot 8 / 556) \text{ Gbit/s} = 5.4 \text{ Gbit/s}$
- $\eta_{GBN} = THR_{GBN} / C = 5.4 / 10 = 0.54 \Rightarrow \eta_{GBN\%} = 54 \%$



- Per avere la massima efficienza occorre che la finestra di trasmissione non “strozzi”:  
 $W'_s = \min \{W_s\} \mid W_s \cdot T_{fmax} > T_{fmax} + T_a + 2\tau = 216 \text{ ns} \Rightarrow$
- $W'_s = \lceil (T_{fmax} + T_a + 2\tau) / T_{fmax} \rceil = \lceil 216 / 48 \rceil = 5$
- $T'_{GB} = 7 T_{fmax} + T_{flast} + T_a + 2\tau = 532 \text{ ns}$
- $THR'_{GB} = (375 \cdot 8 / 532) \text{ Gbit/s} = 5.64 \text{ Gbit/s} \Rightarrow \eta_{max} = 0.564 \Rightarrow \eta_{max\%} = 56.4 \%$

### 3.8 - Esercizio

Due stazioni terrestri A e B sono collegate tramite un link in fibra ottica di capacità  $C = 160 \text{ Mb/s}$  e distanza tra A e B  $d = 4000 \text{ km}$ . A trasferisce un file a B utilizzando un protocollo di tipo *go-back-n*, con ampiezza della finestra di trasmissione  $W_s = 5$ .

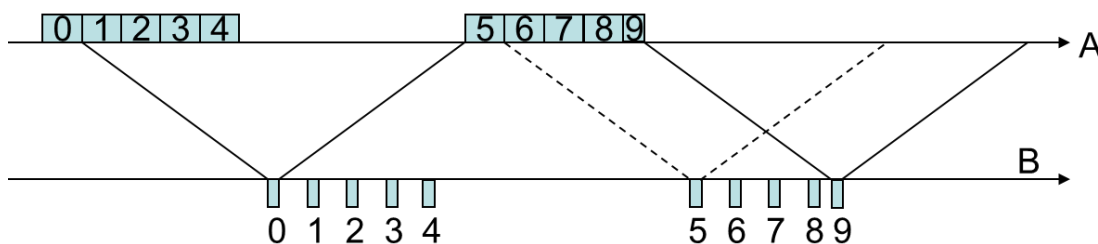
Il file inviato da A è costituito da 10 pacchetti in totale, di cui i primi 9 di dimensione  $L_{fmax} = 125.080 \text{ byte}$ , e l'ultimo di dimensione  $L_{flast} = 80.080 \text{ byte}$ . Gli ACK inviati da B ad A sono invece tutti di dimensione  $L_a = 80 \text{ byte}$ .

Si consideri trascurabile il tempo di elaborazione e si calcolino, in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

- il tempo di trasferimento  $T_{GBN}$  del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione del primo pacchetto al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
- il throughput dati effettivo  $THR_{GBN}$  della connessione (velocità media di trasferimento), misurato in [bit/s];
- la dimensione ottima della finestra di trasmissione  $W_{s-ott}$  che massimizza il throughput di questo collegamento.

### Soluzione

- $\tau = d \cdot v = (4000 \cdot 5) \mu\text{s} = 20 \text{ ms}$
- $L_{fmax} = 125.080 \text{ byte} = 1.000.640 \text{ bit}$
- $L_{flast} = 80.080 \text{ byte} = 640.640 \text{ bit}$
- $L_a = 80 \text{ byte} = 640 \text{ bit}$
- $T_x = L_x / C$
- $C = 160000 \text{ kbit/s}$
- $T_{fmax} = 6,25 \text{ ms}$ ;  $T_{flast} = 4,00 \text{ ms}$ ;  $T_a = 4,0 \mu\text{s}$



### Go-back-n senza errori

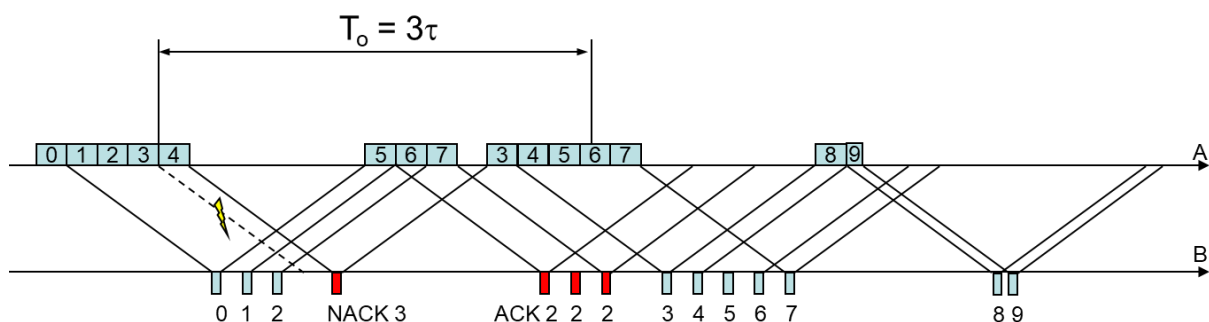
- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 4 T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau =$   
 $= 5 T_{fmax} + T_{flast} + 2 T_a + 4 \tau = 115,28 \text{ ms}$
- $THR_{GBN} = B / T_{GBN} = (1205800 \cdot 8 / 115,28) \text{ kbit/s} = 83,68 \text{ Mbit/s}$
- $\eta_{GBN} = THR_{GBN} / C = 83,68 / 160 = 0,523$
- $W_{s-ott-teorico} = \lceil (2 \tau + T_{fmax} + T_a) / T_{fmax} \rceil = \lceil 7,397 \rceil = 8$

### 3.9 - Esercizio

Con riferimento all'esercizio precedente, si calcoli il tempo di trasferimento  $T'_{GBN}$  del file (dall'inizio della trasmissione del primo pacchetti al termine della ricezione dell'ultimo ACK), nel caso in cui il quarto pacchetto trasmesso da A vada perso e non venga ricevuto da B, assumendo che B invii un NACK al primo pacchetto ricevuto fuori sequenza e che il timeout sia  $T_o = 60 \text{ ms}$ . Calcolare il numero totale  $N_{ftot}$  di pacchetti trasmessi, includendo anche quelli ritrasmessi.

#### Soluzione

##### Go-back-n con errori



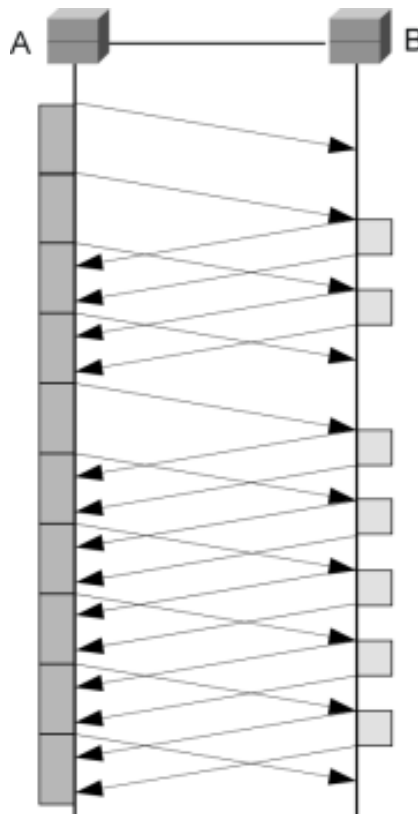
- Il quarto pacchetto (numero 3) trasmesso da A va perduto
- B si può accorgere dell'errore di trasmissione solo quando riceve il pacchetto successivo (numero 4). A questo punto B la scarta ed invia il NACK relativo (NACK 3).
- Per effetto della finestra di trasmissione, A si blocca dopo la trasmissione del pacchetto numero 4. Riprende appena riceve gli ACK delle 0, 1 e 2 e trasmette i pacchetti numero 5, 6 e 7.
- Quando A riceve il NACK 3 (prima che scada il timeout) inizia la ritrasmissione di tutti i pacchetti dal 3 in poi, fino alla 7, in quanto la finestra resta bloccata dalla 3 alla 7.
- Intanto B scarta i pacchetti 5, 6 e 7 e li riconferma ribadendo l'ultimo ACK valido (ACK 2).
- B inizia a ricevere pacchetti dal 3 al 7 senza errori ed invia i riscontri
- Appena A riceve l'ACK relativo alla trama numero 3 può far ruotare la finestra e trasmettere il pacchetto numero 8. Di seguito trasmette quello numero 9 (più corto)
- La trasmissione si conclude regolarmente con la ricezione da parte di A degli ultimi due ACK sulle trama numero 8 e 9
- $T'_{GBN} = 5 T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau = 7 T_{fmax} + 6 \tau + 3 T_a + T_{flast} = 167.794$
- $N_{ftot} = 15$

### 3.10 - Esercizio

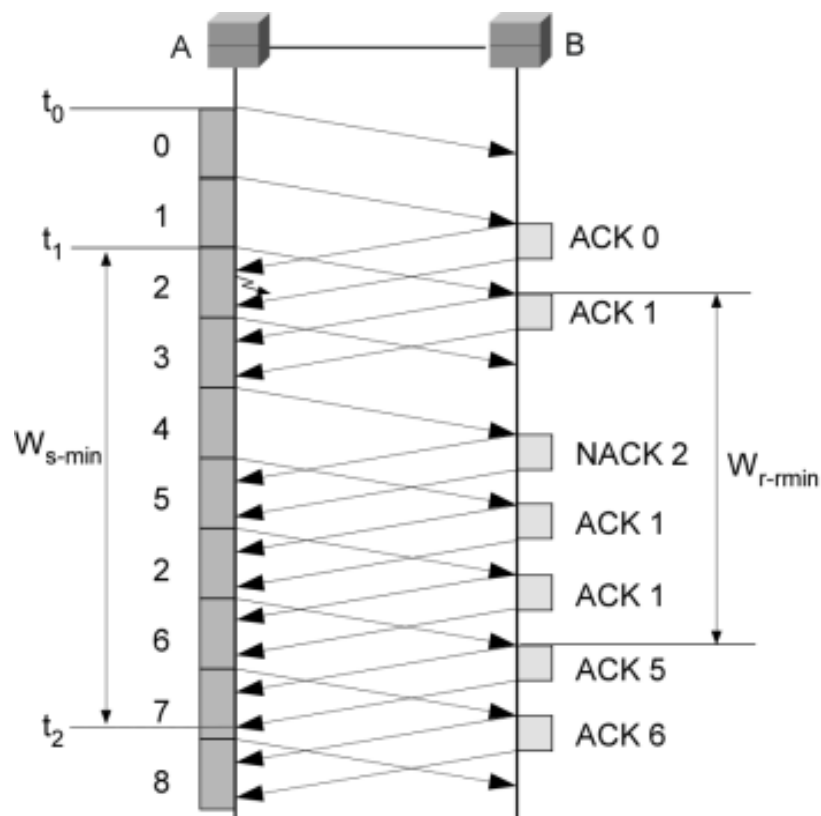
Due stazioni A e B sono collegate da un sistema di trasmissione dati bidirezionale. Il protocollo che controlla la trasmissione dei pacchetti su questo collegamento sia di tipo ARQ *Selective Repeat* (tipo TCP con *fast retransmit*, *memorizzazione fuori sequenza*, e *NACK alla ricezione del primo segmento fuori sequenza*). Nella figura seguente è rappresentato lo scambio di pacchetti tra le due stazioni A e B con queste caratteristiche: solo la stazione A invia pacchetti informativi (di lunghezza costante) alla stazione B e il buffer di trasmissione non è mai vuoto; la stazione B invia solo riscontri (ACK o NACK), si ipotizza che nella figura si verifichi un errore sul terzo pacchetto trasmesso; il tempo di elaborazione si considera nullo.

Si chiede di

- associare ad ogni pacchetto o riscontro la numerazione, sapendo che il primo pacchetto inviato dalla stazione A è il numero 0,
- quali sono i valori di finestra minima di trasmissione e di buffer di ricezione compatibili con l'esempio? (NB: risposta non univoca)



## Soluzione

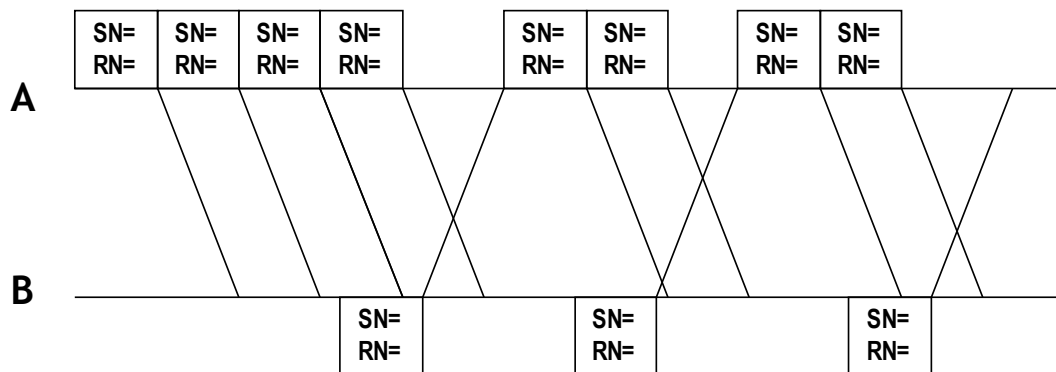


- $W_{s-min}$  si deduce dall'intervallo  $t_2 - t_1$  in cui A trasmette trama in sequenza che non vengono riscontrate;  $\rightarrow W_{s-min} = 6$
- $W_{r-min}$  si deduce dal più lungo intervallo di tempo in cui la finestra di ricezione è bloccata, quindi  $W_{s-min} = 4$

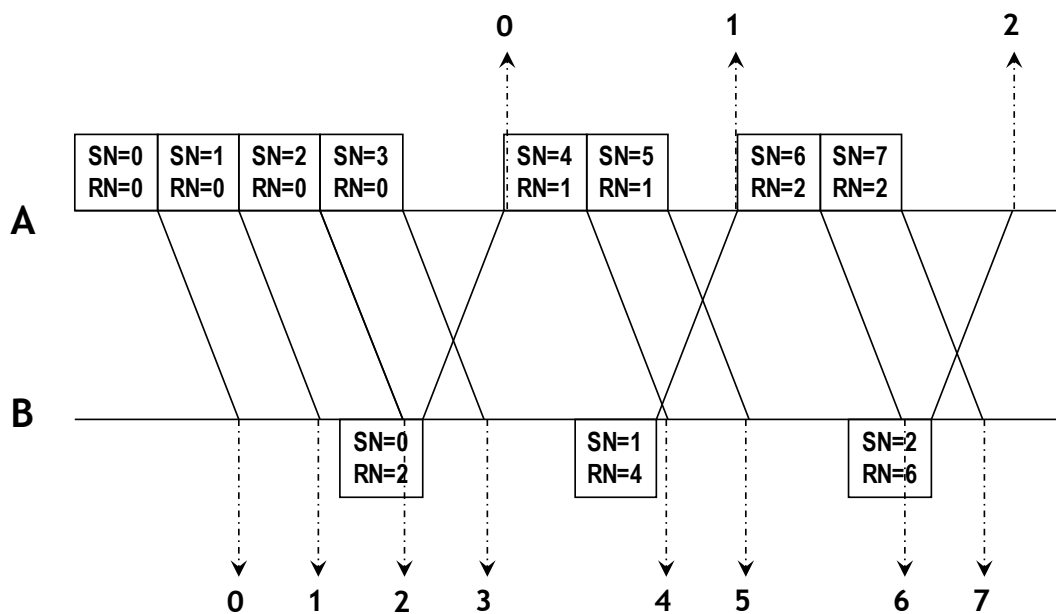


### 3.11 - Domanda

Si consideri il protocollo Go-BACK-N con  $N = 4$ . Si completi la figura in accordo alle regole del protocollo

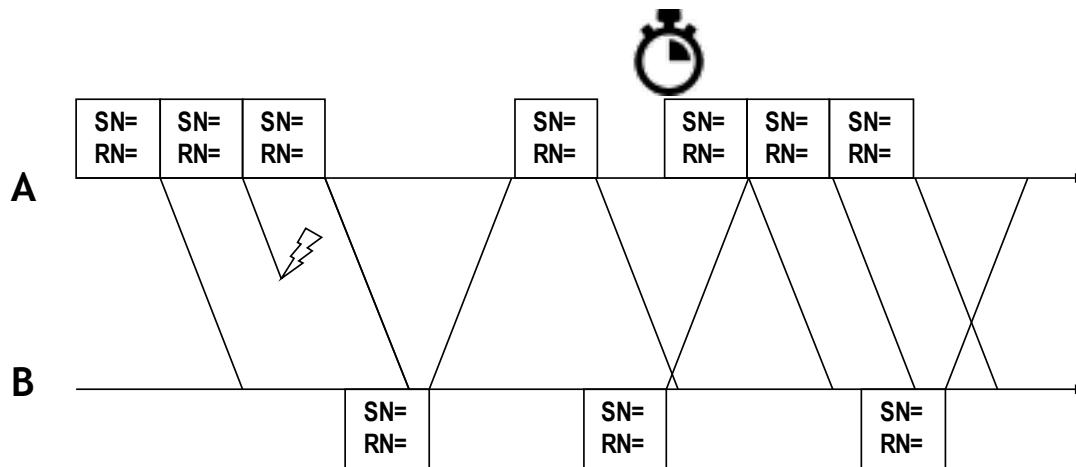


### Soluzione

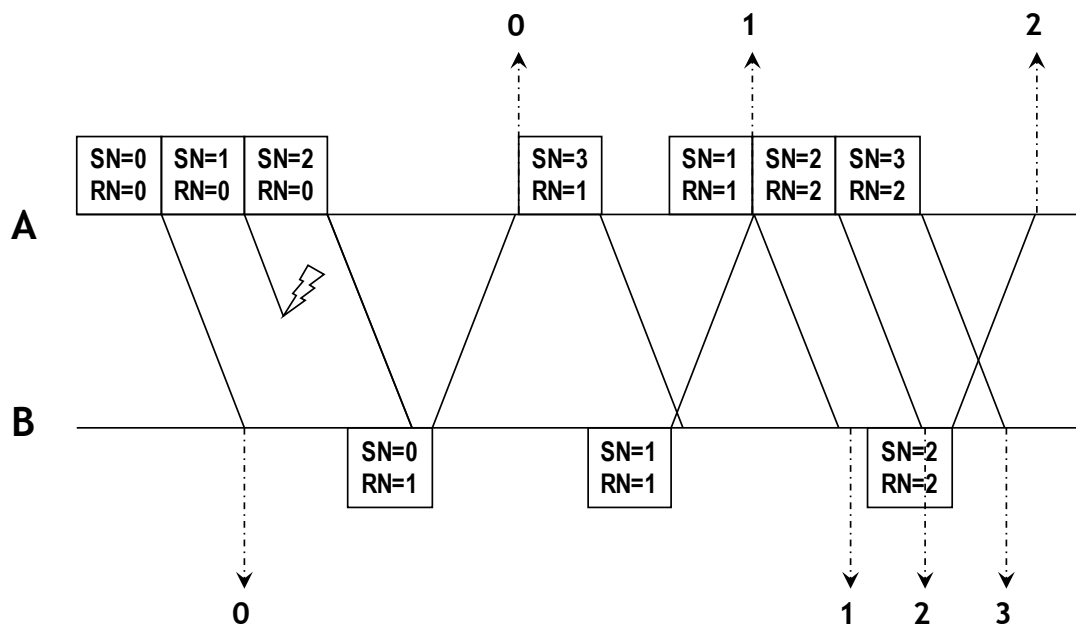


### 3.12 - Domanda

Si consideri il protocollo Go-BACK- $N$  con  $N = 3$ . Si completi la figura in accordo alle regole del protocollo

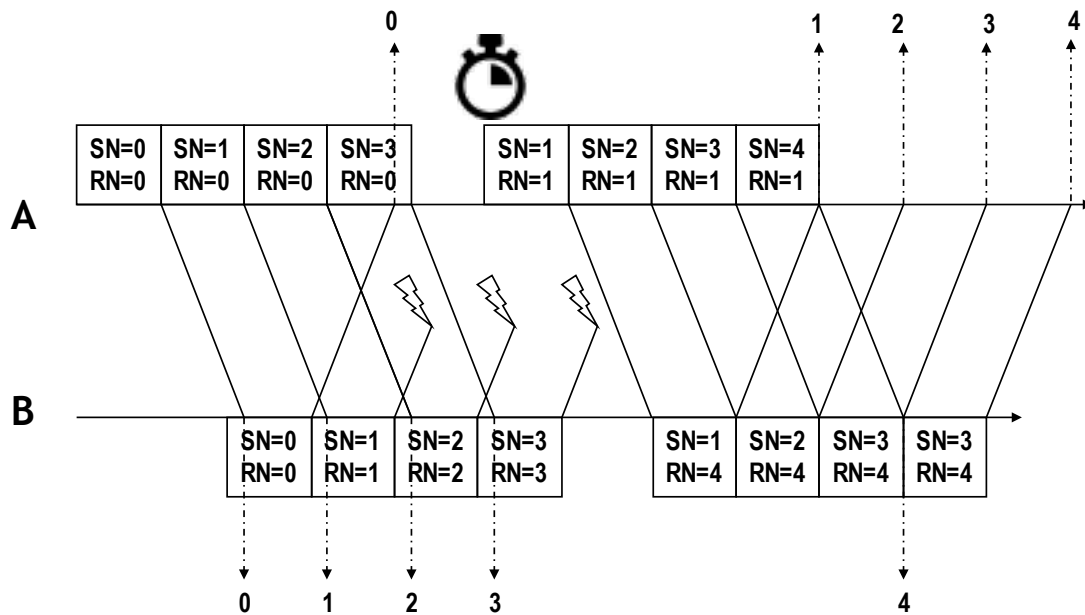


### Soluzione

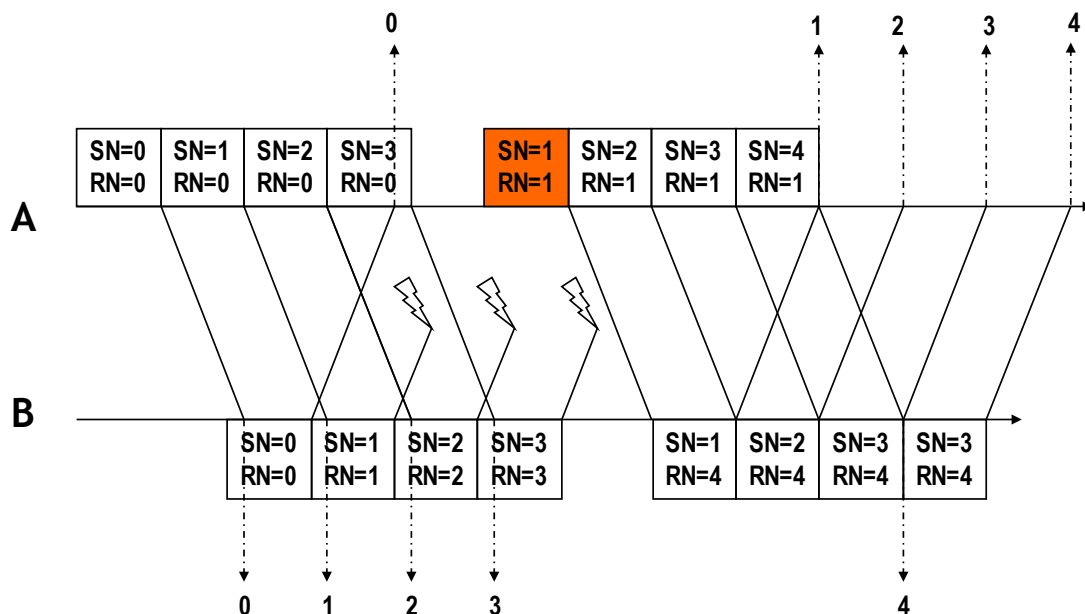


### 3.13 - Domanda

Si consideri il protocollo Go-BACK- $N$  con  $N = 4$ . L'esempio in figura è corretto? Se no perché?

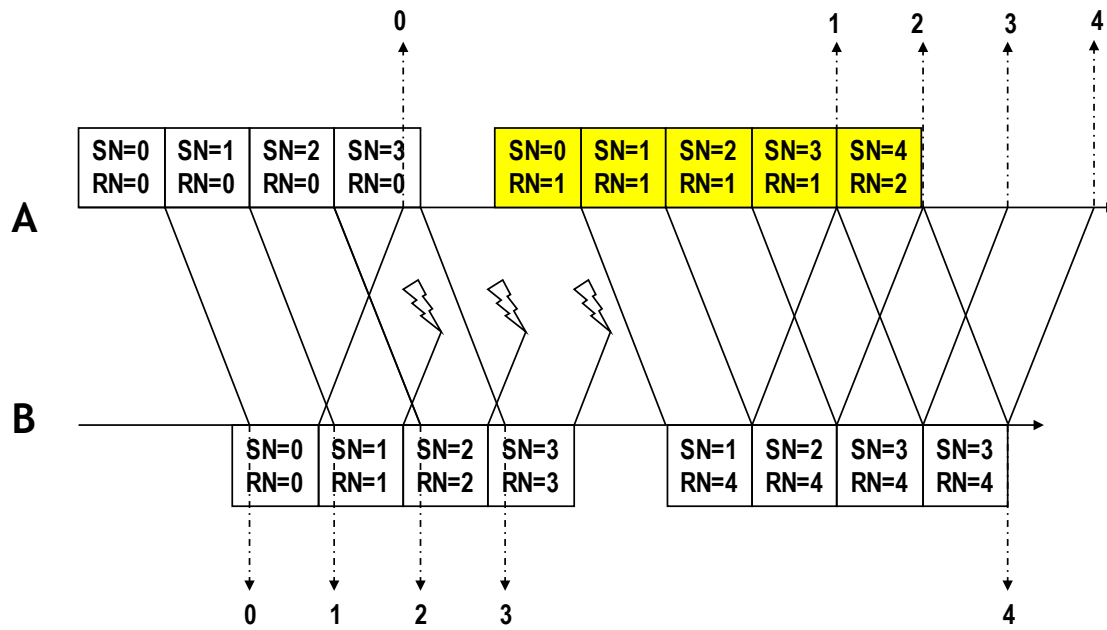


### Soluzione



L'esempio è errato l'SN = 0 ( $A \rightarrow B$ ) non è stato riscontrato, infatti l'unico ACK arrivato ha RN = 0 (il ricevitore si aspetta di ricevere SN = 0). Infatti, SN = 0 ( $A \rightarrow B$ ) è stato finito di ricevere dopo l'inizio della trasmissione dell'ACK RN = 0 ( $B \rightarrow A$ ).

L'esempio corretto è:

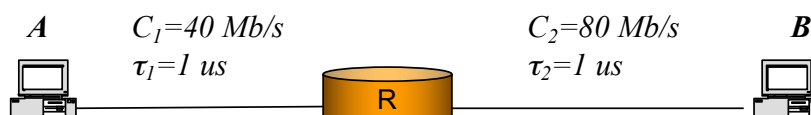


### 3.14 - Esercizio

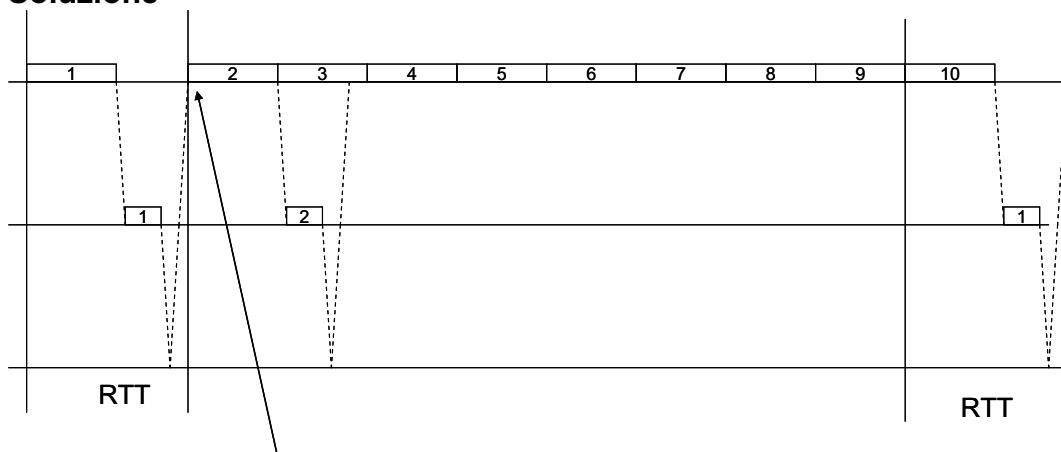
Si consideri la rete in figura in cui tra l'host A e l'host B sia attivata una connessione TCP. Si calcoli l'istante di tempo dall'attivazione della connessione oltre il quale la trasmissione sul link 1 risulta continua, supponendo

- header trascurabili
- link bidirezionali e simmetrici
- $RCWND = 4000 [byte]$  e  $SSTHRESH = 400 [byte]$
- dimensione segmenti  $MSS = 100 [byte]$
- dimensione ACK = dimensione segmenti per apertura della connessione = trascurabile

Quanto tempo occorre per trasferire un file da 1 [kbyte] sulla connessione TCP sopra specificata (dall'istante di trasmissione del primo segmento all'istante di ricezione dell'ACK dell'ultimo segmento)?



#### Soluzione



TX continua sul link 1

La trasmissione è continua sul link 1  $WT_1 > RTT$ , quindi  $W > RTT/T_1$

Quindi:

$$RTT = T_1 + T_2 + 4\tau = 20 [\mu s] + 10 [\mu s] + 4 [\mu s] = 34 [\mu s]$$

$$T_1 = 100 \cdot 8 [bit] / 40 [Mb/s] = 20 [\mu s]$$

$$\text{E dunque } W > RTT/T_1 = 1.7$$

La trasmissione risulta continua sul link 1 dopo un RTT, infatti dopo un RTT  $W = 2$ .

Il file è composto da  $1 [kbyte] / 100 [byte] = 10 MSS$

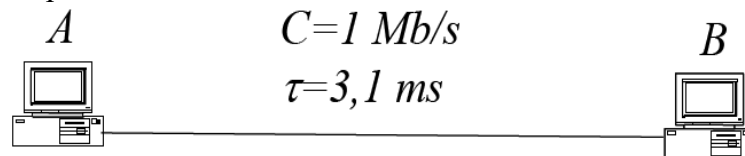
Dunque il tempo totale di trasferimento è:

$$RTT \text{ (Primo RTT)} + 8 T_1 \text{ (Segmenti in trasmissione continua)} \\ + RTT \text{ (Ultimo pacchetto e ritorno dell'ACK)} = 228 [\mu s]$$

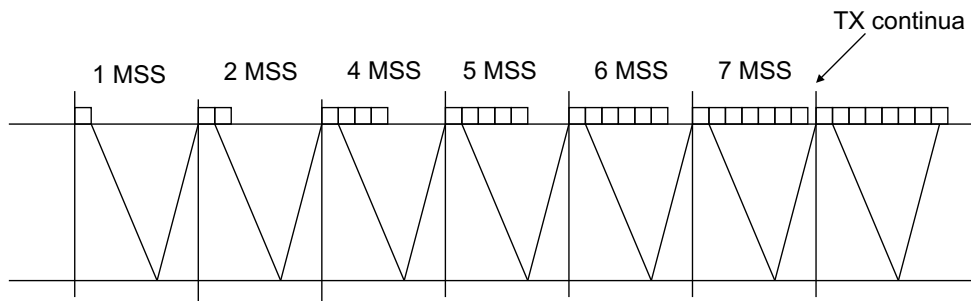
### 3.15 - Esercizio

Si consideri il collegamento in figura tra i due host A e B. A deve trasferire una sequenza di 100 segmenti di lunghezza massima usando TCP. Si calcoli il tempo necessario supponendo:

- $MSS = 1000 [bit]$
- lunghezza degli header di tutti i livelli trascurabile
- la connessione venga aperta da A e la lunghezza dei segmenti di apertura della connessione sia trascurabile
- la lunghezza degli ACK sia trascurabile
- Ssthresh sia pari a 5 MSS



### Soluzione



Il tempo di *trasmissione*  $T = 1000 [bit] / 1 [Mb/s] = 1 [ms]$ , mentre  $RTT = 6.2 [ms] + T = 7.2 [ms]$

La trasmissione è dunque discontinua fino a che  $WT < RTT$ , cioè fino a che  $W = 8$ .

Il tempo totale di trasferimento è pari a:

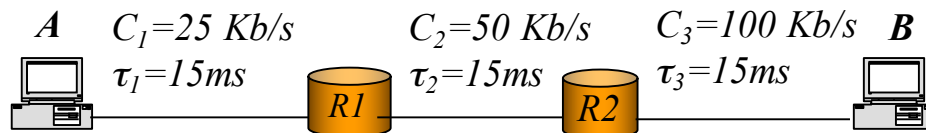
$$\begin{aligned}
 & 2 \tau (\text{setup connessione}) + 6 RTT (\text{Primi 25 MSS}) \\
 & \quad + 75 T (75 \text{ MSS in trasmissione continua}) \\
 & \quad + 2 \tau (\text{ritorno ACK dell'ultimo MSS}) = 130.6 [ms]
 \end{aligned}$$

### 3.16 - Esercizio

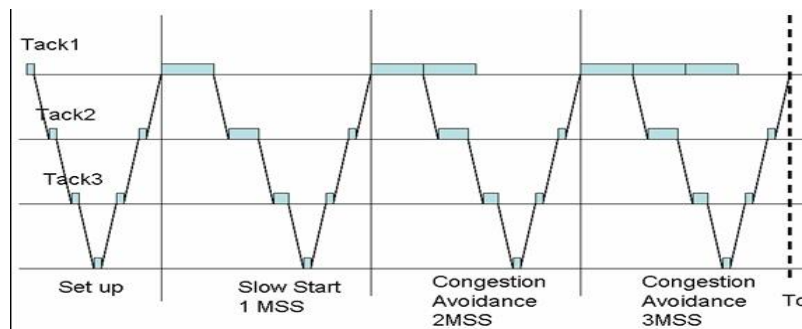
All'istante 0 viene attivata una connessione TCP tra l'host A e l'host B. Si calcoli l'istante di tempo oltre il quale la trasmissione sul link 1 risulta continua, supponendo

- header trascurabili
- link bidirezionali e simmetrici
- $RCWND = 4000$  [byte] e  $SSTHRESH = 400$  [byte]
- dimensione segmenti  $MSS = 200$  [byte]
- dimensione ACK = dimensione segmenti per apertura della connessione = 20 [byte]
- connessione aperta dal terminale A

Quanto tempo occorre per trasferire un file da 2 [kbyte] (dall'istante di trasmissione del primo segmento all'istante di ricezione dell'ACK dell'ultimo segmento)?



### Soluzione



Cominciamo calcolando i tempi di trasmissione sui vari link, il RTT end-to-end ed il tempo di setup:

$$T_1 = 200 \cdot 8 [\text{bit}] / 25 [\text{kb/s}] = 64 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{1}{2} T_1 = 32 \text{ ms}$$

$$T_3 = \frac{1}{2} T_2 = 16 \text{ ms}$$

$$RTT = T_1 + T_2 + T_3 + 2(\tau_2 + \tau_1 + \tau_3) + (Tack_1 + Tack_2 + Tack_3) = 213.2 [\text{ms}]$$

$$T_{\text{setup}} = 2(Tack_1 + Tack_2 + Tack_3) + 2(\tau_2 + \tau_1 + \tau_3) = 112.4 [\text{ms}]$$

Il link più lento è il link 1, che sarà il collo di bottiglia, cioè il primo a saturarsi. Dunque la trasmissione è continua sul link 1 quando:  $WT_1 > RTT$ . Vale a dire  $W > RTT/T_1 = 3.3$

L'istante in cui la trasmissione diventa continua è quando la finestra vale 4 MSS, cioè

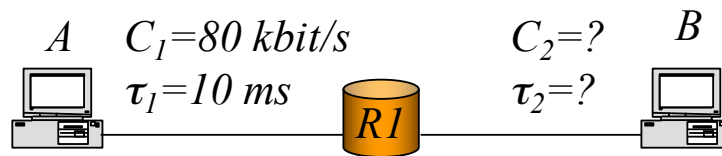
$$T_c = T_{\text{setup}} + 3 RTT = 112.4 [\text{ms}] + 639.6 [\text{ms}] = 752 [\text{ms}]$$

Il file da trasferire è di 2 [kbyte], equivalenti a 10 MSS. Il tempo per trasferire 10 MSS è:

$$T_{\text{tot}} = T_{\text{setup}} + 4 RTT + 3 T_1 = 1.15 [\text{s}]$$

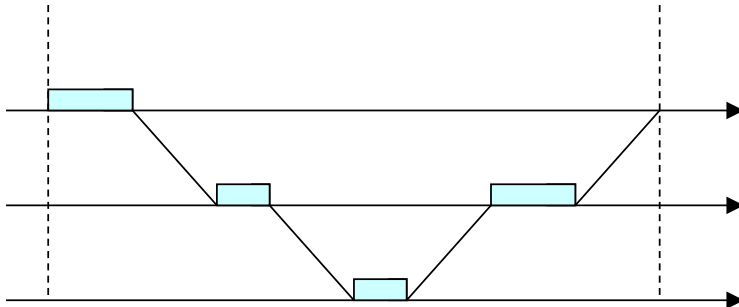
### 3.17 - Esercizio

Si consideri il collegamento in figura



A vuole conoscere la capacità e il ritardo di propagazione del link 2 e allo scopo invia a B due messaggi di echo:  $M_1$  di lunghezza  $l_1 = 1000$  [byte], ed  $M_2$  di lunghezza  $l_2 = 1500$  [byte]; per ognuno di essi misura un Round-Trip-Time (RTT) pari a  $780$  [ms] e  $1130$  [ms], rispettivamente. Nella risposta, B utilizza messaggi con le stesse lunghezze. Calcolare  $C_2$  e  $\tau_2$  nell'ipotesi che le lunghezze degli header siano trascurabili.

#### Soluzione



Secondo lo scambio in figura, impostiamo un sistema di due equazioni (una per pacchetto) in due incognite ( $C_2$  e  $\tau_2$ )

$$RTT_1 = 2 \left( \frac{m_1}{C_1} + \tau_1 + \frac{m_1}{C_2} + \tau_2 \right)$$

$$RTT_2 = 2 \left( \frac{m_2}{C_1} + \tau_1 + \frac{m_2}{C_2} + \tau_2 \right)$$

Inserendo i valori numerici abbiamo

$$780 = 2 \left( \frac{8000}{80} + 10 + \frac{8000}{C_2} + \tau_2 \right) = 220 + \frac{16000}{C_2} + 2\tau_2$$

$$1130 = 2 \left( \frac{12000}{80} + 10 + \frac{12000}{C_2} + \tau_2 \right) = 320 + \frac{24000}{C_2} + 2\tau_2$$

E risolvendo



$$\tau_2 = 280 - \frac{8000}{C_2}$$

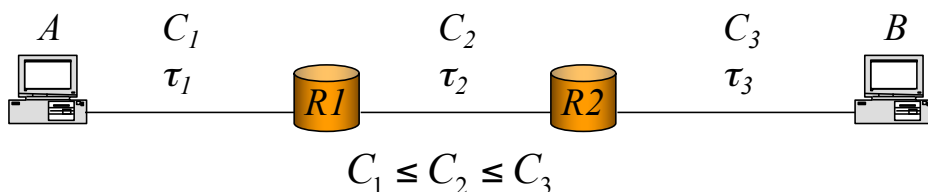
$$810 = \frac{24000}{C_2} + 2\left(280 - \frac{8000}{C_2}\right) = \frac{8000}{C_2} + 560;$$

$$C_2 = \frac{8000}{250} = 32 \text{ kbit/s}$$

$$\tau_2 = 280 - \frac{8000}{32} = 30 \text{ ms}$$

### 3.18 - Esercizio

Si consideri il collegamento in figura



Tra A e B è attiva una connessione TCP già a regime con  $MSS = 250$  [byte].

Definiti:

- Lunghezza Header IP:  $HIP$
- Lunghezza Header TCP:  $HTCP$
- Lunghezza Header livelli inferiori:  $HLL$

In caso di:

- RCVWND sia minore della CWND e pari a 4 segmenti.
- Assenza di errori
- Lunghezza degli ACK trascurabile

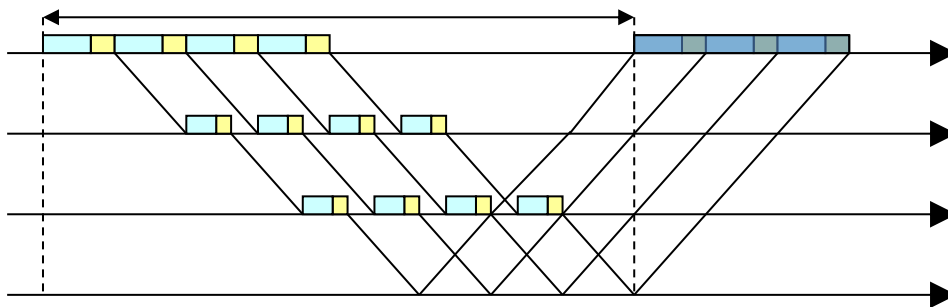
Si calcoli il tempo necessario a trasferire una sequenza di byte in arrivo dal livello applicativo lunga  $104$  [kbit] (dall'istante di trasmissione del primo segmento alla ricezione dell'ACK dell'ultimo). Qual è il valore della finestra che consentirebbe di avere una trasmissione continua di pacchetti sul link 1?

#### Soluzione

Una sequenza di  $104$  [kbit] equivale a  $13000$  [byte] che possono essere inviati in  $52$  segmenti da  $250$  [byte] ( $MSS$ ). Ciascun pacchetto (sul link) ha una lunghezza complessiva di  $L = MSS + HIP + HTCP + HLL$ .

Abbiamo due casi, a seconda della durata del RTT rispetto al tempo di trasmissione sul primo link

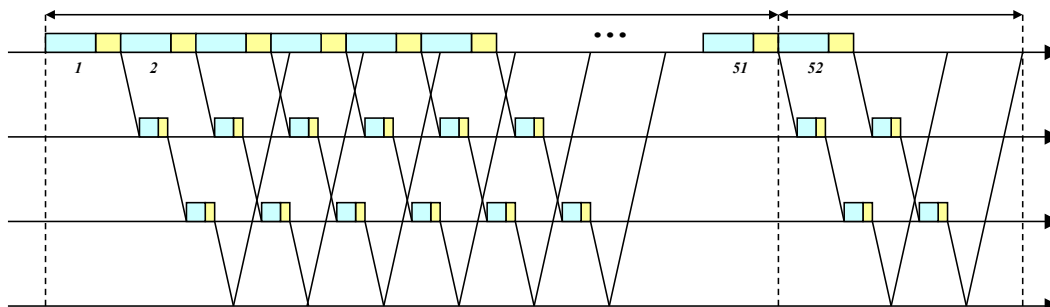
$$RTT = \frac{L}{C_1} + 2\tau_1 + \frac{L}{C_2} + 2\tau_2 + \frac{L}{C_3} + 2\tau_3$$



Se  $RTT > 4L / C_1$  la trasmissione non è continua

$$T_{tot} = (52 / 4) \cdot RTT + (4 - 1) \frac{L}{C_1} = 13RTT + 3 \frac{L}{C_1}$$

altrimenti la trasmissione è continua



$$T_{\text{tot}} = 51 \frac{L}{C_1} + \text{RTT}$$

Il valore minimo della finestra che consente una trasmissione continua si calcola imponendo che il tempo RTT sia minore o uguale del tempo di trasmissione dei segmenti della finestra:

$$\text{RTT} \leq w \frac{L}{C_1}$$

$$w = \left\lceil \frac{C_1}{L} \left( \frac{L}{C_1} + 2\tau_1 + \frac{L}{C_2} + 2\tau_2 + \frac{L}{C_3} + 2\tau_3 \right) \right\rceil$$

### 3.19 - Esercizio

Una connessione TCP è usata per trasmettere un file da  $39.5 \text{ [kbyte]}$  utilizzando i seguenti parametri:

- $MSS = 500 \text{ [byte]}$
- $RTT = 500 \text{ [ms]}$
- timeout pari a 2 RTT.

Si assuma che le condizioni iniziali delle finestre siano:

- $RCWND = 12 \text{ [kbyte]}$
- $SSTHRESH = 8 \text{ [kbyte]}$
- $CWND = 500 \text{ [byte]}$

E che inoltre:

- si verifichi un errore sulla connessione all'istante  $3 \text{ s}$  (tutti i segmenti in trasmissione vengano persi)
- al tempo  $4.5 \text{ [s]}$  il ricevitore segnali  $RCWND = 2 \text{ [kbyte]}$

Si tracci l'andamento nel tempo di:

- $CWND$
- $SSTHRESH$
- $RCWND$

Si calcoli il tempo di trasmissione del file utilizzando multipli di RTT come base temporale

### Soluzione

Conviene ragionare in numero di segmenti trasmessi

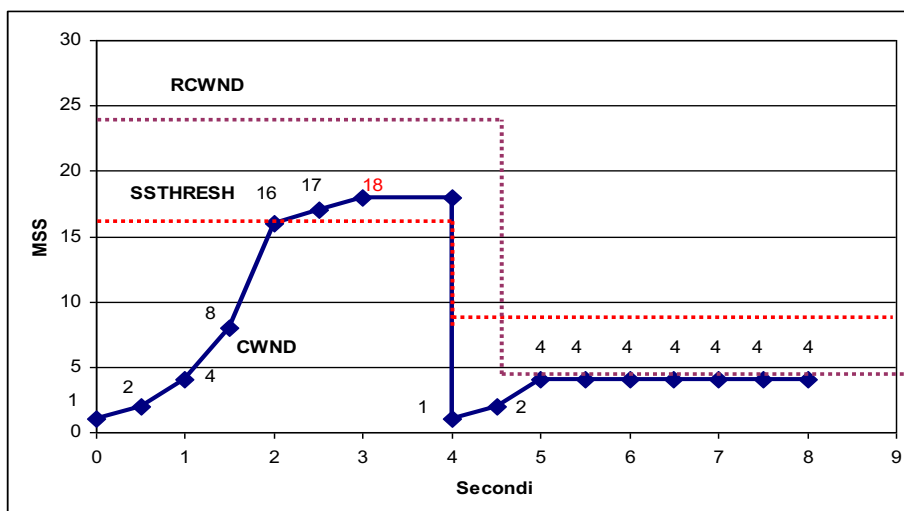
Dimensione File (in MSS) =  $39.5 \text{ [Kbyte]} / 500 \text{ [byte]} = 79 \text{ MSS}$

Dobbiamo trovare il tempo necessario per trasferire 79 MSS, possiamo farlo utilizzando il seguente grafico

$$RCWND = 12 \text{ [Kbyte]} / 500 \text{ [byte]} = 24 \text{ MSS}$$

$$SSTHRESH = 8 \text{ [Kbyte]} / 500 \text{ [byte]} = 16 \text{ MSS}$$

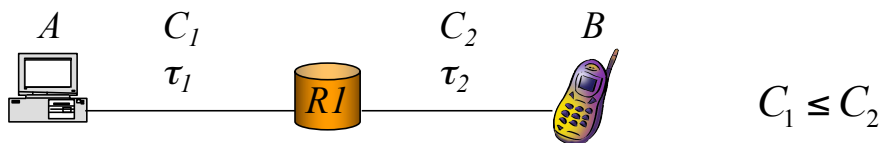
$$Timeout = 1 \text{ [s]}$$



Il tempo di trasferimento del file è  $T = 8.5 \text{ [s]}$ , alla fine dell'RTT che inizia a  $8 \text{ [s]}$ .

### 3.20 - Esercizio

Si consideri il collegamento in figura



A deve trasferire un messaggio applicativo di  $M$  [byte] verso B utilizzando UDP. Supponendo che la lunghezza massima dei segmenti UDP sia di  $m$  [byte] (dati), e indicando con  $HLL$ ,  $HIP$ ,  $HUDP$  gli header dei livelli inferiori, IP e UDP rispettivamente, si calcoli:

1. il tempo necessario a trasferire il messaggio.
2. il tempo necessario a trasferire il messaggio, ipotizzando che sul link 2 sia attivo un meccanismo ARQ di tipo Stop-and-Wait (lunghezza degli ACK trascurabile)

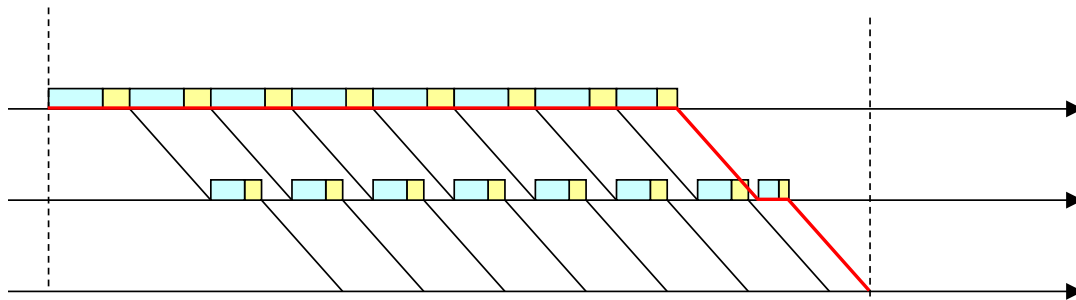
#### Soluzione

Il sistema deve trasferire  $n = \lfloor M/m \rfloor$  pacchetti di lunghezza massima, mentre l'ultimo pacchetto è lungo  $l = M - mn$

##### Punto 1

Abbiamo due casi

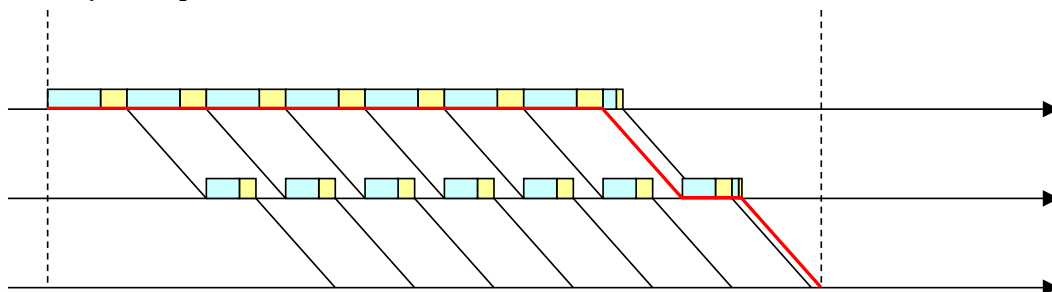
se  $\frac{l+h}{C_1} \geq \frac{m+h}{C_2}$



$$n \frac{m+h}{C_1} + \frac{l+h}{C_1} + \tau_1 + \frac{l+h}{C_2} + \tau_2$$

Invece

se  $\frac{l+h}{C_1} \leq \frac{m+h}{C_2}$

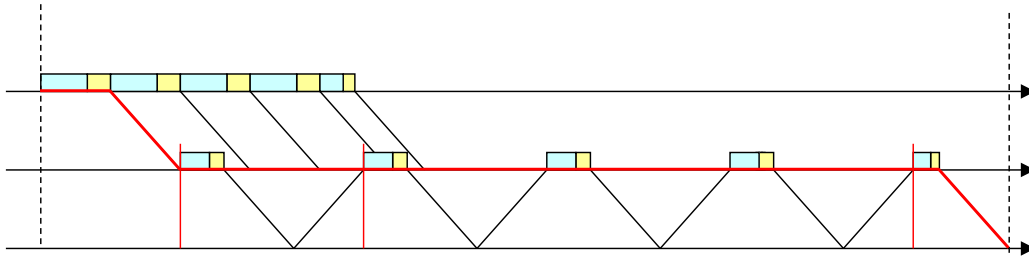


$$n \frac{m+h}{C_1} + \tau_1 + \frac{m+h}{C_2} + \frac{l+h}{C_2} + \tau_2$$

##### Punto 2

Anche qui abbiamo due casi

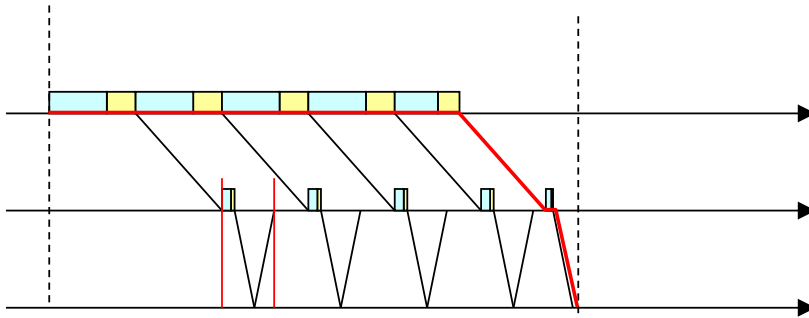
se  $\frac{m+h}{C_1} \leq 2\tau_2 + \frac{m+h}{C_2}$



$$\frac{m+h}{C_1} + \tau_1 + n \left( \frac{m+h}{C_2} + 2\tau_2 \right) + \frac{l+h}{C_2} + \tau_2$$

Invece

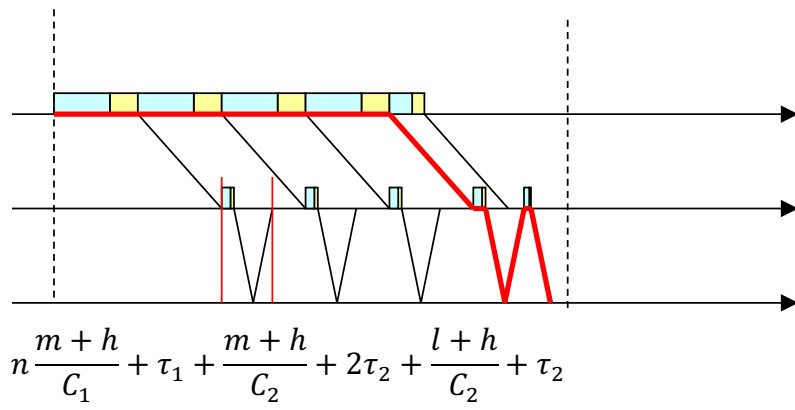
se  $\frac{m+h}{C_1} \geq 2\tau_2 + \frac{m+h}{C_2}$  e  $\frac{l+h}{C_1} \geq 2\tau_2 + \frac{m+h}{C_2}$



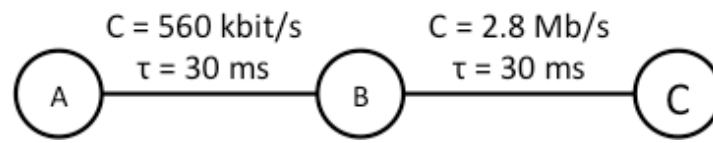
$$n \frac{m+h}{C_1} + \frac{l+h}{C_1} + \tau_1 + \frac{l+h}{C_2} + \tau_2$$

mentre

se  $\frac{m+h}{C_1} \geq 2\tau_2 + \frac{m+h}{C_2}$  e  $\frac{l+h}{C_1} < 2\tau_2 + \frac{m+h}{C_2}$



### 3.21 - Esercizio



Attraverso il collegamento in figura si vuole aprire una connessione TCP e trasferire un file da 60850 [byte]. La connessione è caratterizzata dai seguenti parametri:

- $MSS = 1200$  [byte]
- Lunghezza header TCP,  $H_{TCP} = 40$  [byte]
- Lunghezza totale header inferiori a TCP,  $H_{INF} = 160$  [byte]
- Lunghezza ACK,  $L_A = 350$  [byte] (inclusi tutti gli header)
- $SSTHRESH = 60000$  [byte],  $RCWND$  molto grande

Si chiede di indicare:

1. Se la trasmissione diventerà mai continua. Se sì, a partire da quale istante?
2. Il tempo totale di trasferimento del file in assenza di errori (fino alla ricezione dell'ultimo ACK alla sorgente).
3. Il tempo totale di trasferimento del file in assenza di errori, nel caso in cui il ricevitore comunichi  $RCWND = 6000$  [byte] all'istante 882 [ms] della sorgente.
4. Come al punto 3, ma con errore di trasmissione di entrambi gli ultimi due segmenti e timeout minimo.

#### Soluzione

Punto 1

Il file è composto da 50 MSS + 850 byte, dunque i segmenti di lunghezza massima sono lunghi

$$L = 1200 + 40 + 160 = 1400 \text{ [byte]} = 11200 \text{ [bit]}$$

mentre l'ultimo segmento è lungo

$$L' = 850 + 40 + 160 = 1050 \text{ [byte]} = 8400 \text{ [bit]}$$

I tempi di trasmissione sono

$$T_1 = \frac{L}{C_1} = 20 \text{ [ms]}$$

$$T_2 = \frac{L}{C_2} = 4 \text{ [ms]}$$

$$TACK_1 = \frac{ACK}{C_1} = 5 \text{ ms}$$

$$TACK_2 = \frac{ACK}{C_2} = 1 \text{ [ms]}$$

$$T'_1 = \frac{L'}{C_1} = 15 \text{ [ms]}$$

$$T'_2 = \frac{L'}{C_2} = 3 \text{ [ms]}$$

Abbiamo dunque

$$RTT = T_1 + T_2 + TACK_1 + TACK_2 + 4\tau = 150 \text{ [ms]}$$

La trasmissione è continua quando

$$W_c = \frac{RTT}{T_1} = 7.5 \implies 8 \text{ MSS} \quad (W=1, W=2, W=4, \text{ continua})$$

Considerando il tempo di setup

$$T_{open} = 2TACK_1 + 2TACK_2 + 4\tau = 132 \text{ [ms]}$$



L'istante in cui la trasmissione è continua

$$T_{continua} = T_{open} + 3RTT = 582 [ms]$$

*Punto 2*

Vengono inviati 7 MSS prima che la trasmissione diventi continua, dunque abbiamo  $50 - 7 = 43$  MSS in trasmissione continua + ultimo segmento più corto

Il RTT del segmento più corto è diverso dagli altri

$$RTT' = T'_1 + T'_2 + TACK_1 + TACK_2 + 4\tau = 144 [ms]$$

Dunque il tempo totale è

$$T_{tot} = T_{continua} + 43 T_1 + RTT' = 1586 [ms]$$

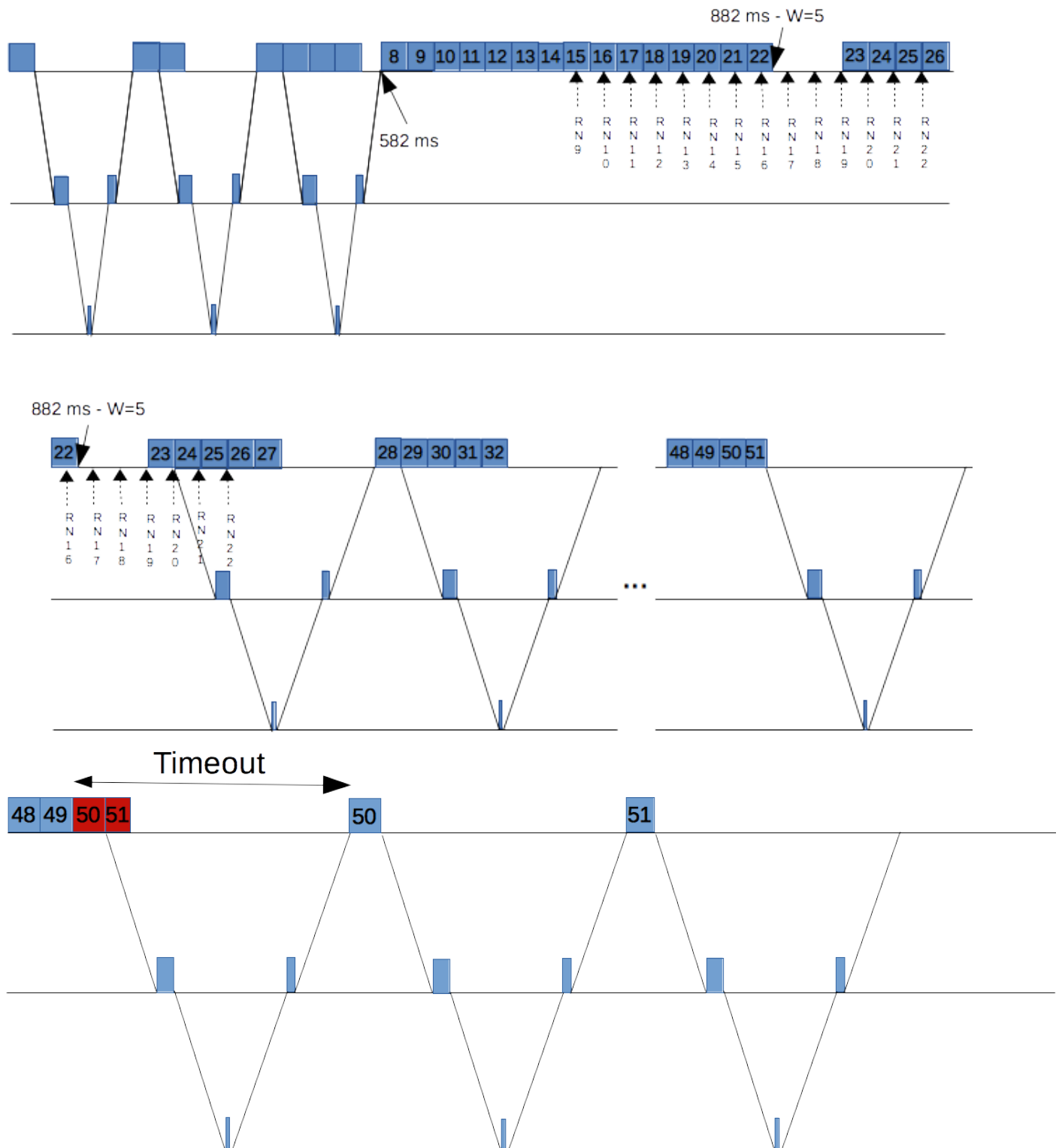
*Punto 3*

Vediamo la perdita dei segmenti sui diagrammi temporali

$$SSHRESH = 60000 [byte] / 1200 [byte] = 50 MSS$$

Quindi il tempo totale è

$$\begin{aligned} T_{tot} &= T_{open} + 3RTT + 15T_1 + 2.5T_1 + 5RTT + 3T_1 + RTT' = \\ &= 882 [ms] + 2.5T_1 + 5RTT + 3T_1 + RTT' = 1886 [ms] \end{aligned}$$

*Punto 4*

$$T_{tot} = 882 [ms] + 2.5T_1 + 5RTT + 2T_1 + RTT + RTT + RTT' = 2166 [ms]$$

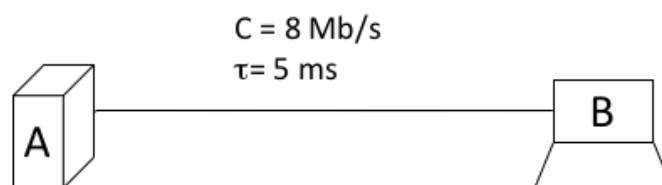
### 3.22 - Esercizio

Una connessione TCP tra l'host A e l'host B è caratterizzata dai seguenti parametri:

- Lunghezza di header, ack e segmenti di apertura trascurabile;
- link bidirezionali;
- $RCWND = 16 \text{ MSS}$
- $SSTHRESH = 8 \text{ MSS}$
- $MSS = 1 \text{ [kbyte]}$
- Ritardo di propagazione,  $\tau = 5 \text{ [ms]}$
- Valore iniziale del Time-Out =  $3 \text{ [s]}$

Supponendo che il 6° segmento inviato da A venga perso e che occorra trasferire un file di  $80 \text{ [kbyte]}$  da A a B:

- dire se la trasmissione sul link diventa mai continua; in caso affermativo, trovare il tempo oltre cui la trasmissione sul link diventa continua;
- trovare il tempo di trasferimento del file (dall'apertura della connessione alla ricezione dell'ultimo ACK);
- dire quanti segmenti vengono trasmessi inutilmente (errati o ricevuti corretti ma fuori sequenza).



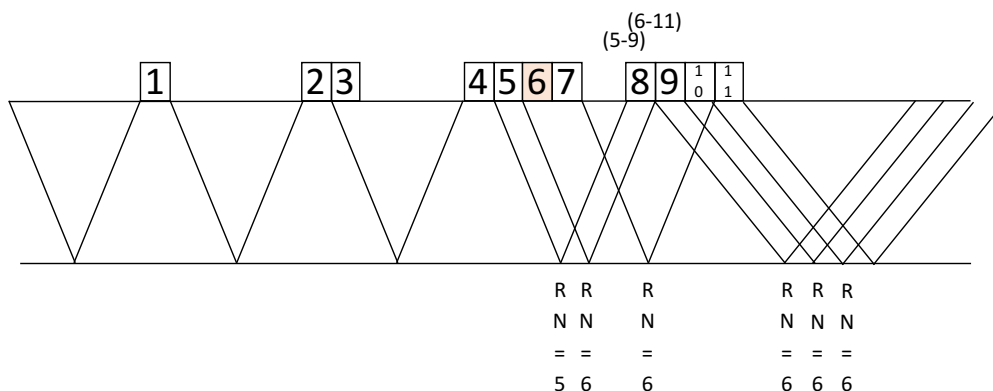
#### Soluzione

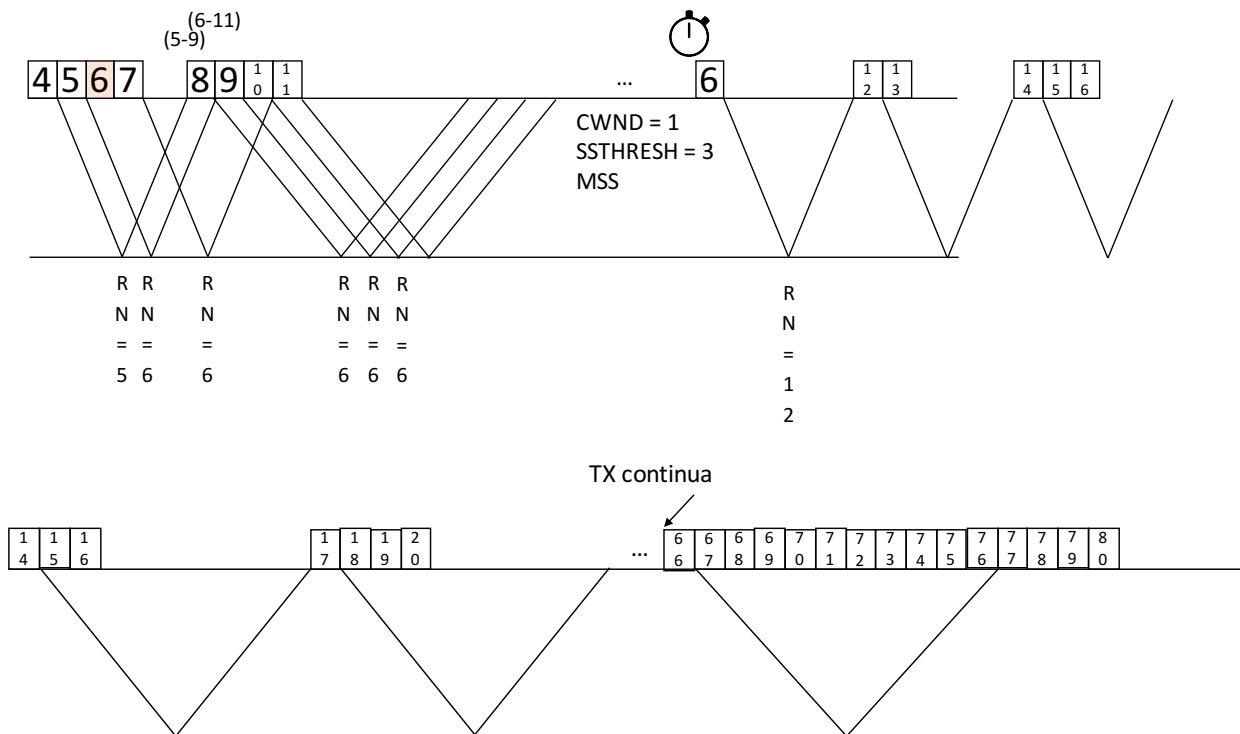
Il tempo di trasmissione di un MSS è pari a  $T = 1000 \cdot 8 \text{ [bit]} / 8 \text{ [Mbit/s]} = 1 \text{ [ms]}$ .

Il RTT è pari a  $RTT = T + 2\tau = 1 + 2 \cdot 5 = 11 \text{ [ms]}$

Punto a)

La dimensione di finestra continua è  $W_c = RTT/T = 11 / 1 = 11 \text{ MSS}$





Diventa continua dopo l'istante  $T_{cont} = T_{setup} + 2 RTT + 2T + Timeout + 10 RTT = 2\tau + Timeout + 12 RTT = 10 + 3000 + 12 \cdot 11 = 3.144 [s]$

Punto b)

Il tempo di trasferimento  $T = T_{cont} + 14T + RTT = 3144 + 14 + 11 = 3.169 [s]$

Punto c)

Viene ritrasmesso il solo sesto segmento perché TCP accetta segmenti fuori ordine.

### 3.23 - Domanda

Si calcoli il checksum secondo la modalità del protocollo UDP della seguente sequenza di bit:

```
1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0
1 0 0 0 1 0 1
```

#### Soluzione

Il primo passo consiste nello spezzare la sequenza in blocchi da 16 bit

```
1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0
1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1
1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1
```

Sommiamo i primi due blocchi

```
  1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 +
  1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 =
1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1
```

Il riporto viene aggiunto al risultato come bit meno significativo

```
  1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 +
                                1 =
  1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0
```

Sommiamo il terzo blocco

```
  1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 +
  1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 =
1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
```

Il riporto viene aggiunto al risultato come bit meno significativo

```
  0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 +
                                1 =
  0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
```

Eseguiamo il complemento a 1 e troviamo il valore del checksum

```
1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1
```

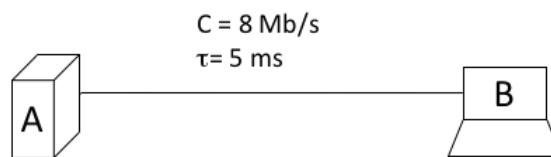
### 3.24 - Esercizio (Esempio prova in itinere)

Una connessione TCP tra l'host A e l'host B è caratterizzata dai seguenti parametri:

- Lunghezze di *header* e *ack* trascurabili;
- *link* bidirezionali;
- $RCWND = 16 \text{ MSS}$
- $SSTHRESH = 8 \text{ MSS}$
- $MSS = 1 \text{ [kbyte]}$
- Ritardo di propagazione,  $\tau = 5 \text{ [ms]}$
- Valore iniziale del *Time-Out* =  $3 \text{ [s]}$

Si risponda ai seguenti quesiti:

- Dire se la trasmissione sul link diventa mai continua; in caso affermativo, trovare il tempo oltre cui la trasmissione sul link diventa continua;
- Trovare il tempo di trasferimento di un file di  $80 \text{ [kbyte]}$  da A a B;
- Ipotizzando che l'ultimo segmento in trasmissione venga perso, ripetere il punto b)



#### Soluzione

$$T = \frac{MSS}{C} = \frac{8 \cdot 10^3 \text{ [bit]}}{8 \cdot 10^6 \text{ [b/s]}} = 1 \text{ [ms]}$$

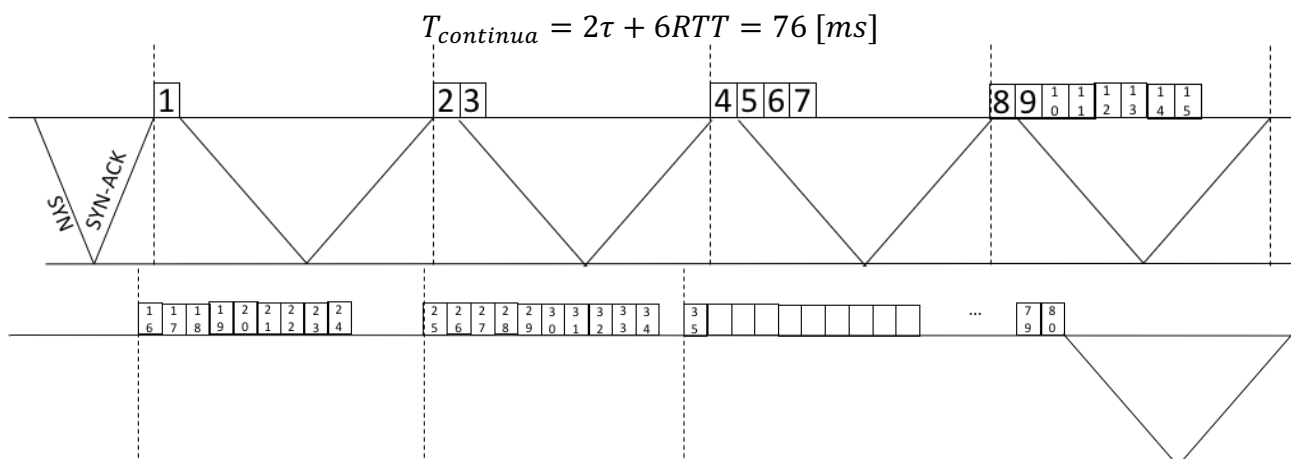
$$RTT = T + 2\tau = 11 \text{ ms}$$

$$\text{Finestra tx continua: } W_c = \frac{RTT}{T} = 11 \text{ MSS}$$

a)

- Apertura connessione:  $2\tau$
- Slow start: (1) – (2) – (4) – (8):  $4RTT$
- Congestion avoidance: (9) – (10):  $2RTT$

Poi trasmissione continua



b)

File = 80 MSS

- Apertura connessione:  $2\tau$
- Slow start: (1) – (2) – (4) – (8):  $4RTT$
- Congestion avoidance: (9) – (10):  $2RTT$

In totale 34 segmenti

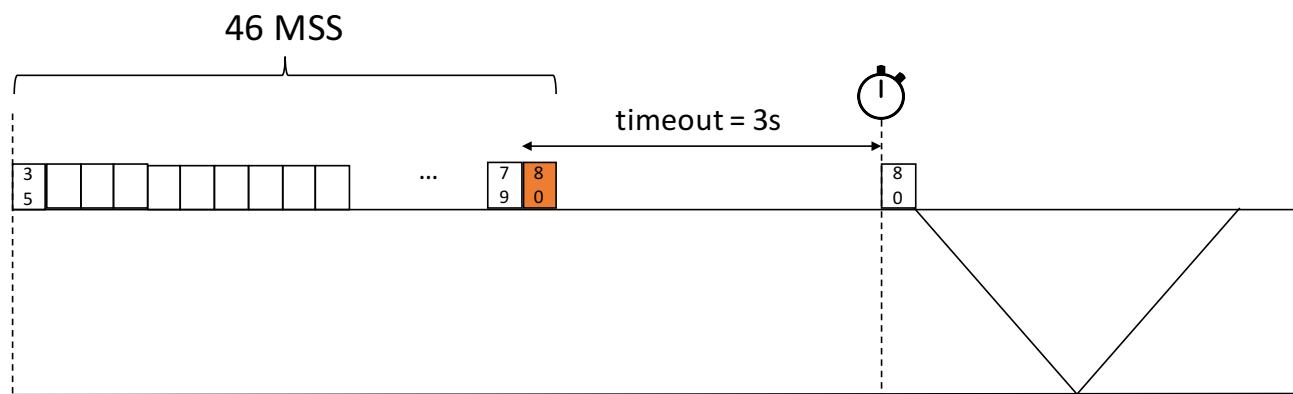
- Trasmissione continua dei restanti 46 segmenti:  $46T + 2\tau$

Tempo totale:

$$T_{tot} = 2\tau + 6RTT + 46T + 2\tau = 132 \text{ [ms]}$$

c)

L'ultimo segmento viene ritrasmesso dopo lo scadere del timeout.

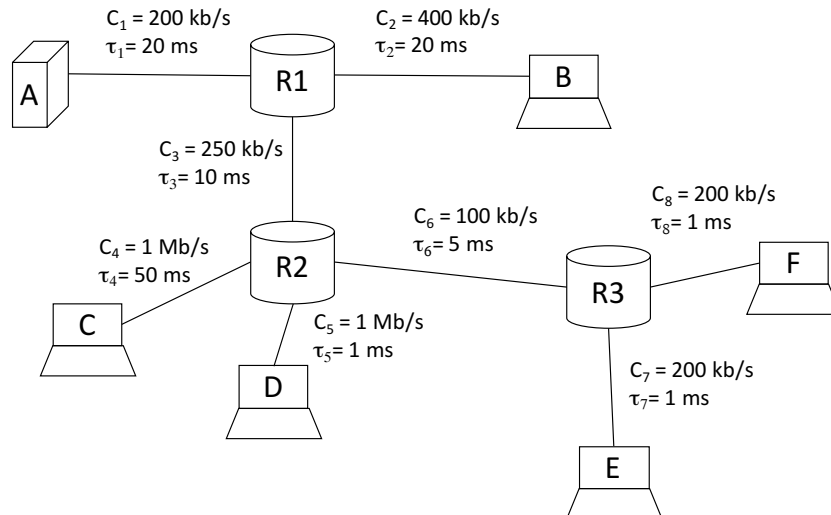


e quindi

$$T_{tot} = 2\tau + 6RTT + 45T + T_{out} + T + 2\tau = 3.132 \text{ [s]}$$



### 3.25 - Esercizio (Esempio prova in itinere)



a) Una connessione TCP tra l'host A e l'host B nella rete in figura è caratterizzata dai seguenti parametri:

- Link bidirezionali e simmetrici
- $MSS = 200 \text{ [byte]}$
- Lunghezza header complessivo (tutti i livelli),  $H = 50 \text{ [byte]}$
- Lunghezza ACK e segmenti di apertura,  $L_{ACK} = 250 \text{ [byte]}$
- $RCWND = 1000 \text{ byte}$ ,  $SSTHRESH = 1600 \text{ [byte]}$

a.1) Si *calcoli* il tempo necessario a trasferire un file di dimensione  $F = 5 \text{ [kbyte]}$  (dall'apertura della connessione alla ricezione dell'ultimo ACK)

a.2) Si *indichi* il rate medio di trasferimento del file da A a B

#### Soluzione

$$RCWND = 1000 \text{ [byte]} / 200 \text{ [byte]} = 5 \text{ MSS}$$

$$SSTHRESH = 1600 \text{ [byte]} / 200 \text{ [byte]} = 8 \text{ MSS}$$

$$File = 5000 \text{ [byte]} / 200 \text{ [byte]} = 25 \text{ MSS}$$

$$L = MSS + H = 250 \text{ [byte]}$$

$$T_1 = \frac{L}{C_1} = 250 \cdot 8 / 200000 = 10 \text{ [ms]}$$

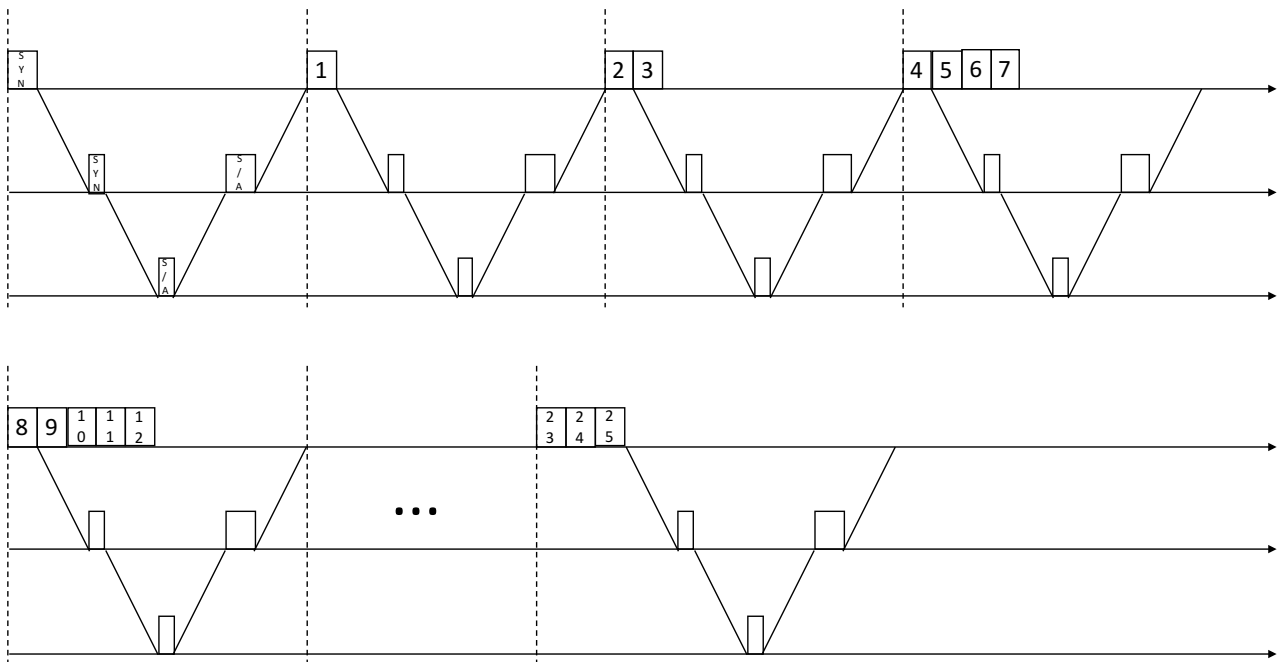
$$T_2 = \frac{L}{C_2} = 250 \cdot 8 / 400000 = 5 \text{ [ms]}$$

$$T_1^{ACK} = T_1; T_2^{ACK} = T_2$$

$$RTT = 2(T_1 + \tau_1 + T_2 + \tau_2) = 110 \text{ [ms]}$$

$$W_c = RTT / T_1 = 11 \text{ MSS}$$

$$T_{setup} = RTT = 110 \text{ [ms]}$$



Dopo i segmenti di apertura della connessione, il TCP parte in modalità Slow Start. Tuttavia, prima di raggiungere la Ssthresh, la finestra è limitata dalla RCWND a 5MSS. Quindi, una volta raggiunto tale valore, la finestra non aumenterà. Inoltre, dato che  $W_c > RCWND$ , la trasmissione non sarà mai continua.

Il tempo totale di trasferimento è dato da:

$$T_{tot} = T_{setup} + 6RTT + 2T_1 + RTT = 8RTT + 2T_1 = 900 [ms]$$

Il rate medio di trasferimento è dato da:

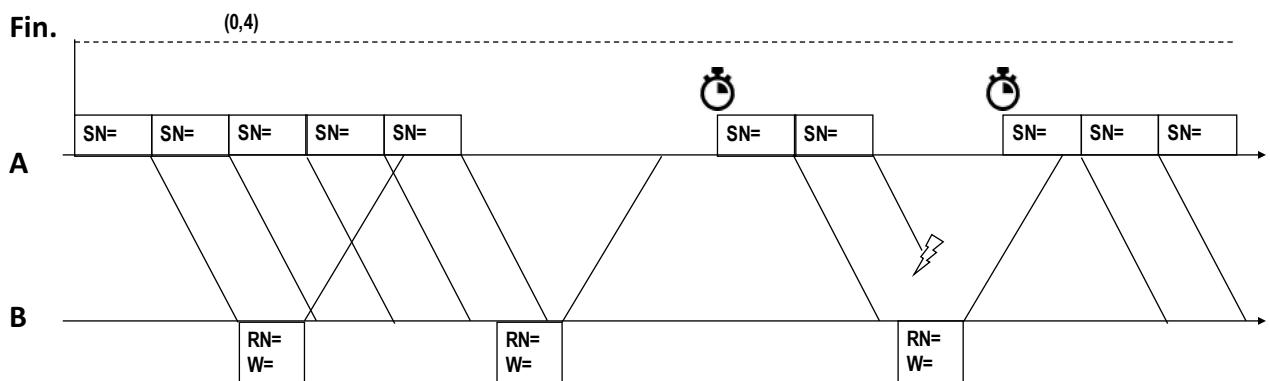
$$R_{medio} = \frac{F}{T_{tot}} = 5000 * \frac{8}{0.9} = 44,44 [kb/s]$$

### 3.26 - Esercizio (Esempio prova in itinere)

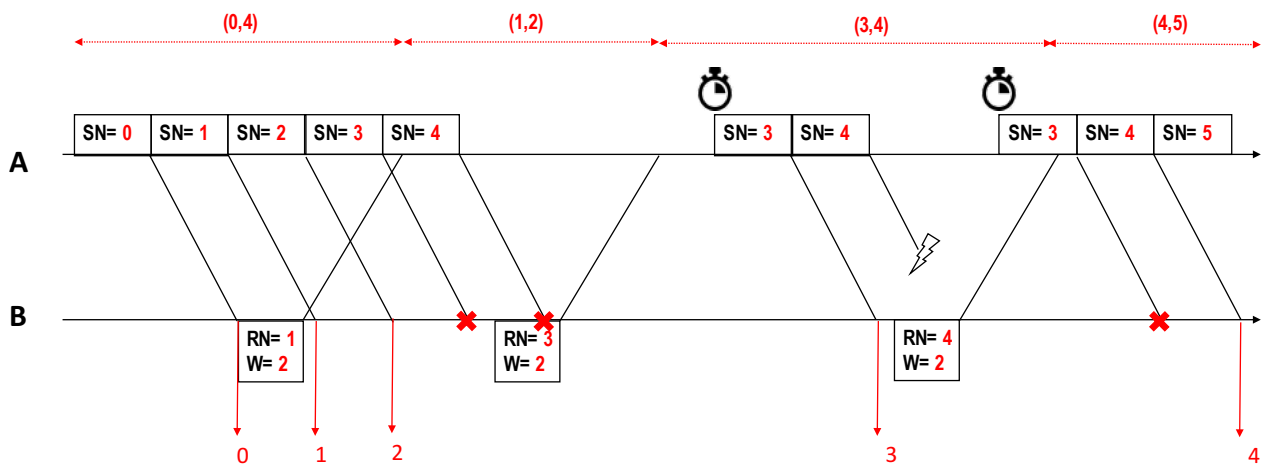
Si completi la figura in cui è rappresentato un colloquio governato dai meccanismi Go-Back-N e controllo di flusso con il campo W. Il buffer in ricezione ha una capacità massima di 2 pacchetti, l'applicazione svuota il buffer ad ogni lettura ed invia un ACK. Si assuma una finestra iniziale al trasmettitore di 5 pacchetti.

Nel completamento si indichino con chiarezza:

- i valori corretti di SN, RN e W,
- gli estremi della finestra al trasmettitore, precisando gli istanti in cui essi cambiano sulla linea tratteggiata,
- i pacchetti accettati ed eventuali pacchetti scartati



#### Soluzione



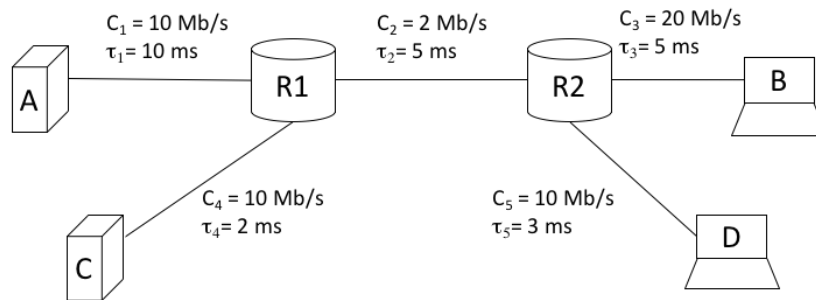
### 3.27 - Esercizio (Esempio prova in itinere)

Una connessione TCP tra l'host A e l'host B nelle rete in figura è caratterizzata dai seguenti parametri: lunghezze di *header* e *ack* trascurabili, *link* bidirezionali simmetrici,  $MSS = 1250 [byte]$ ,  $RCWND \gg CWND$ ,  $SSTHRESH = 8 MSS$ .

Si calcoli il tempo necessario a trasferire un file di 30 *kbyte*.

Si ripeta il calcolo assumendo un file di 55 *kbyte*.

(nota la soluzione è la stessa se si scambiano di posto il link 1 con il link 2)



#### Soluzione

$$MSS = 1250 \cdot 8 [bit] = 10.000 [bit]$$

$$T_1 = 1 [ms], T_2 = 5 [ms], T_3 = 0.5 [ms]$$

$$RTT = T_1 + T_2 + T_3 + 2\tau_1 + 2\tau_2 + 2\tau_3 = 46.5 [ms]$$

$$W_{cont} = \left\lceil \frac{RTT}{T_2} \right\rceil = \left\lceil \frac{46.5}{5} \right\rceil = 10$$

caso 1)

$$F = \frac{30 [kbyte]}{1.25 [kbyte]} = 24 MSS$$

slow start: (1) – (2) – (4) – (8)

cong. avoidance: (9)

$$T_{tot} = T_{open} + 5 RTT + 8T_2 = 40 [ms] + 5 \cdot 46.6 [ms] = 312.5 [ms]$$

caso 2)

$$F = \frac{55 [kbyte]}{1.25 [kbyte]} = 44 MSS$$

slow start: (1) – (2) – (4) – (8)

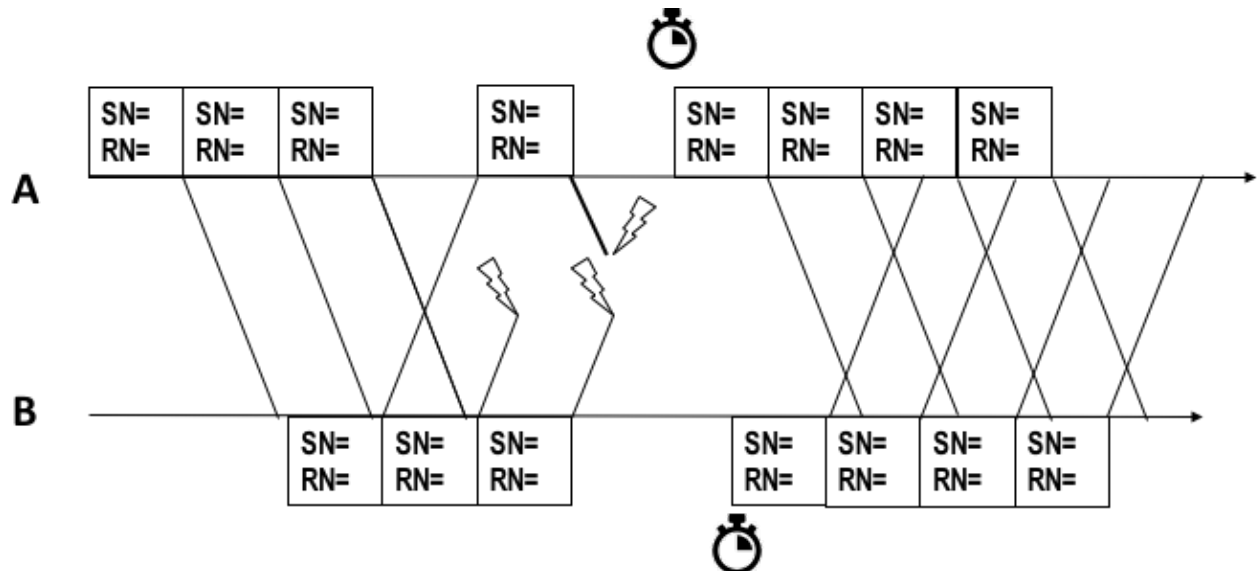
cong. avoidance: (9)

continua (link 2): (20)

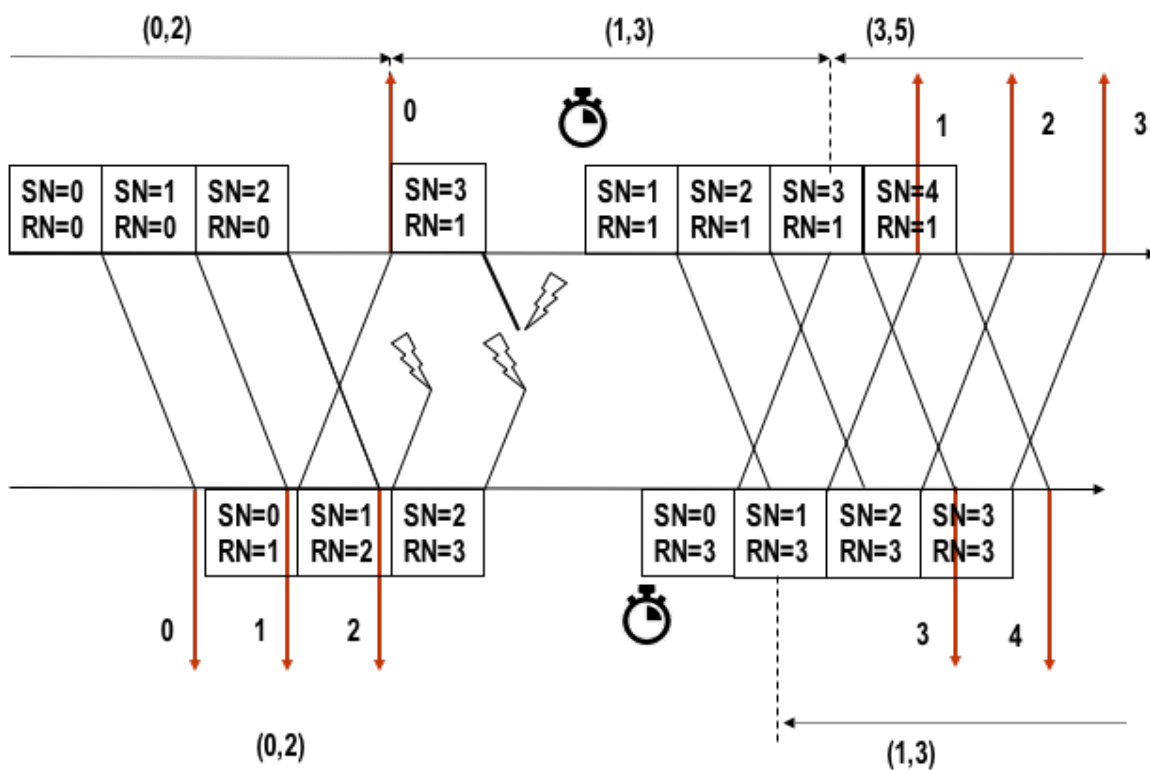
$$T_{tot} = T_{open} + 5 RTT + T_1 + 2\tau_1 + 20 T_2 + 2\tau_2 + T_3 + 2\tau_3 = 414 ms$$

### 3.28 - Esercizio (Esempio prova in itinere)

Si completi la figura in accordo alle regole del protocollo Go-back-N. Si inseriscano i valori di SN e RN, si indichino gli istati di accettazione delle trame corrette e in sequenza.



#### Soluzione



### 3.29 - Esercizio (Esempio appello)

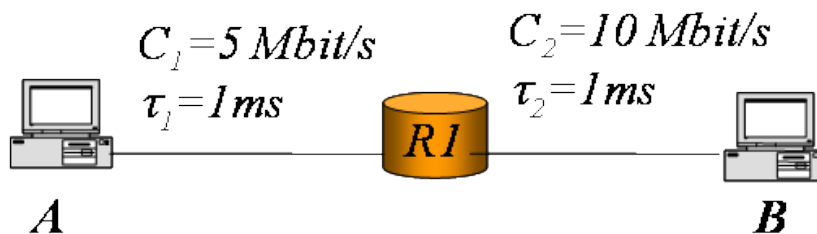
Nella rete sotto, il terminale A vuole stabilire una connessione TCP con il terminale B. Sapendo che:

- (i) gli *header* sono trascurabili ed i *link* sono bidirezionali
- (ii) I riscontri sono di dimensione trascurabile
- (iii)  $MSS = 100$  [byte],
- (iv)  $RCWND = 1200$  [byte]
- (v)  $SSTHRESH = 400$  [byte]
- (vi) Il terzo segmento in trasmissione viene perso. Si assuma un valore di time-out pari a  $3 RTT$ .

Rispondere ai seguenti quesiti:

1. La trasmissione diventa mai continua sul *link* 1? Se sì, trovare il tempo dopo cui la trasmissione diventa continua.
2. Trovare il tempo totale di trasferimento da A a B di un file di  $10$  [kbyte].
3. Disegnare un grafico che rappresenti l'andamento nel tempo del *data rate* della connessione TCP (usare l' $RTT$  come unità di misura temporale)
4. Trovare il *data rate* medio di trasferimento dell'informazione da A a B

(1 [byte] = 8 [bit], 1 [kbyte] = 1000 [byte] = 8000 [bit], 1[kb]=1000[bit])



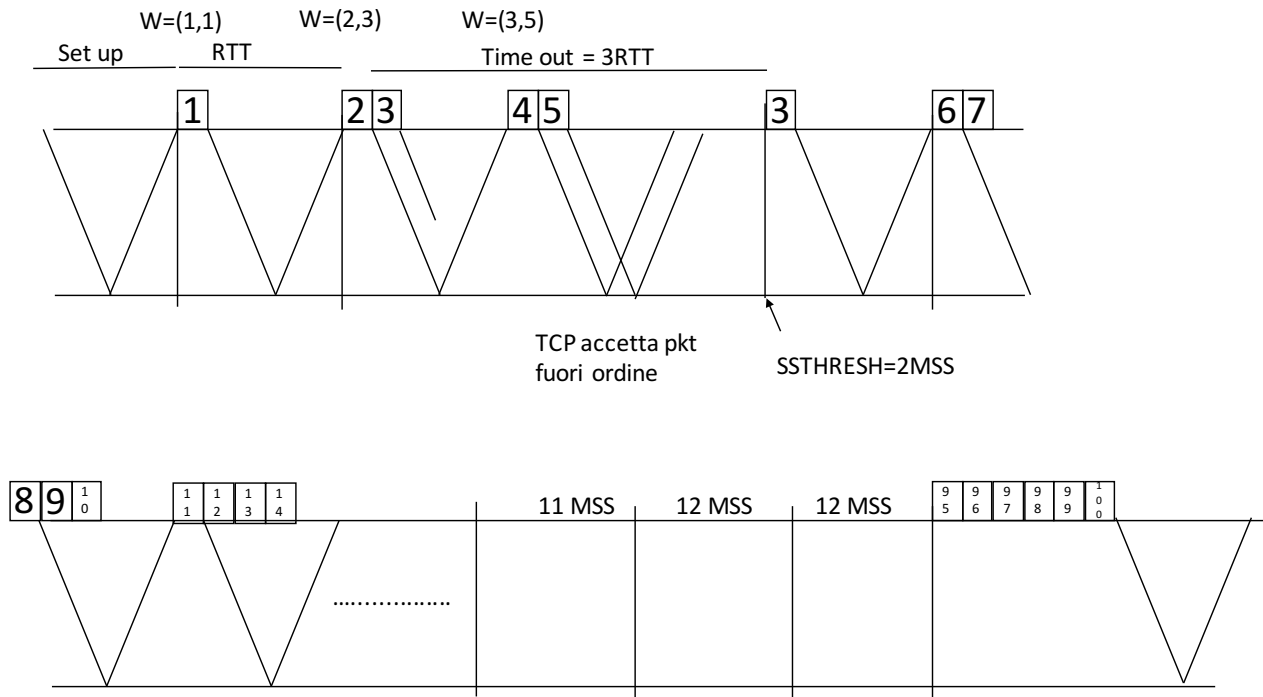
#### Soluzione

Troviamo prima di tutto il  $RTT$ .

$$RTT = MSS/C_1 + MSS/C_2 + 4\tau = 0.16 + 0.04 + 4 = 4.24[\text{ms}]$$

Il collegamento collo di bottiglia è il primo. La trasmissione diventa continua sul primo collegamento quando:  $W \cdot MSS/C_1 > RTT$ , da cui  $W > 26.5 [MSS]$ . La connessione TCP, in realtà, è limitata dalla  $RCWND = 12 [MSS]$ , quindi la trasmissione non sarà mai continua sul primo collegamento.

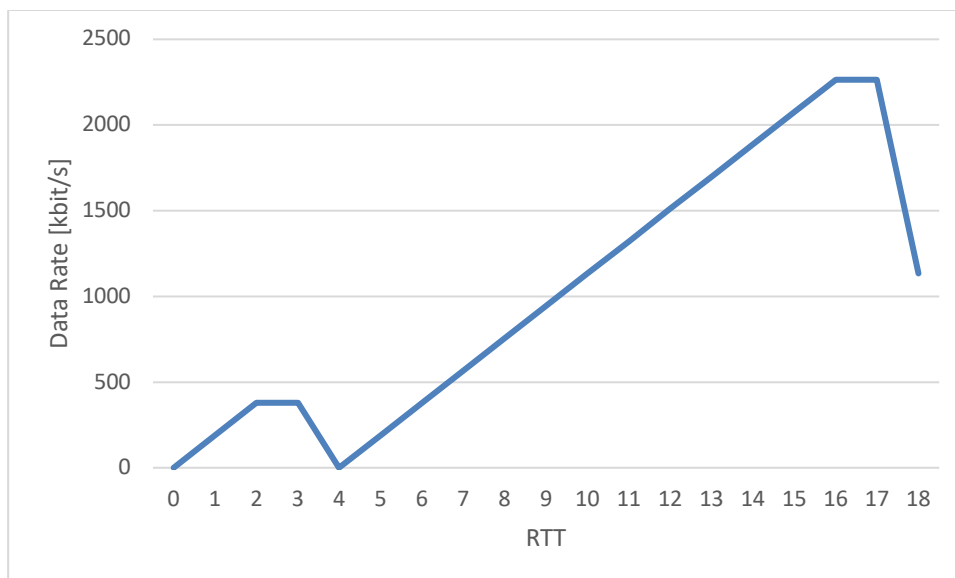
L'andamento temporale del trasferimento dati sulla connessione TCP è rappresentato in figura.



Il tempo complessivo per trasferire i 100 MSS del file è:

$$\begin{aligned}
 T_{tot} &= T_{setup} + RTT + MSS/C_1 + TimeOut + 11 RTT + 2 RTT + 5 MSS/C_1 + RTT \\
 &= 4[ms] + 4.24[ms] + 0.16[ms] + 12.72[ms] + 46.64 [ms] + 8.48 [ms] + 0.8 [ms] \\
 &\quad + 4.24 [ms] = 81.28 [ms]
 \end{aligned}$$

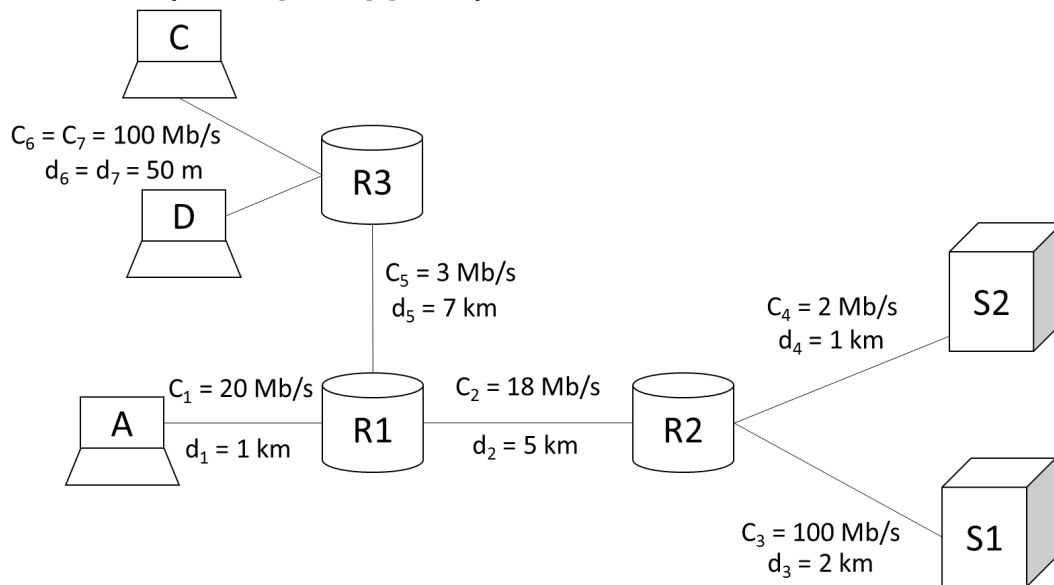
L'andamento del data rate è rappresentato nella seguente figura



Il data rate medio durante il trasferimento del file è:

$$R = 100[MSS]/T_{tot} = 984.25 [kb/s]$$

### 3.30 - Esercizio (Esempio appello)



Considerate la rete in figura in cui è presente unicamente la connessione a livello applicativo tra A ed S1. Si consideri il solo trasferimento di una pagina HTML (di dimensione  $L_{HTML} = 600 \text{ [byte]}$ ) dal server S1 al client A.

- Si assuma che il trasferimento del file avvenga utilizzando UDP e in ciascun segmento vengano trasportati  $L_s = 100 \text{ [byte]}$ . Trascurate qualunque overhead introdotto ai livelli di trasporto, rete e data-link. Rappresentare il trasferimento in un diagramma temporale.
- Scrivere l'espressione del tempo totale di trasferimento del file di cui al punto a) in modo simbolico e calcolare quindi il valore numerico
- Quanto sarebbe il ritardo di trasferimento se il file HTML intero venisse trasferito in un unico segmento?
- Si assuma ora che il trasferimento del file avvenga come al punto a) ma in presenza di un controllo di flusso end-to-end tra S1 e A di tipo sliding window con dimensione della finestra fissa  $W=4$  e in operante in modalità Go-Back-n con timeout minimo. Rappresentare il trasferimento in un diagramma temporale e calcolare il tempo totale di trasferimento (dall'invio del primo byte alla ricezione dell'ultimo ack). Si assuma che i riscontri viaggino in pacchetti di dimensione nulla.

#### Soluzione

Punto a)

L'esercizio richiede di descrivere la propagazione di pacchetti attraverso i link S1-R2, R2-R1, R1-A. Denotiamo 1, 2, 3 le interfacce di uscita rispettivamente dei nodi R1 (verso A), R2 (verso R1), S1 (verso R2).

$L_s = 100 \text{ [byte]} = 800 \text{ [bit]} \rightarrow$  Dato che  $L_{HTML} = 600 \text{ [byte]}$ , il trasferimento avviene con 6 pacchetti.

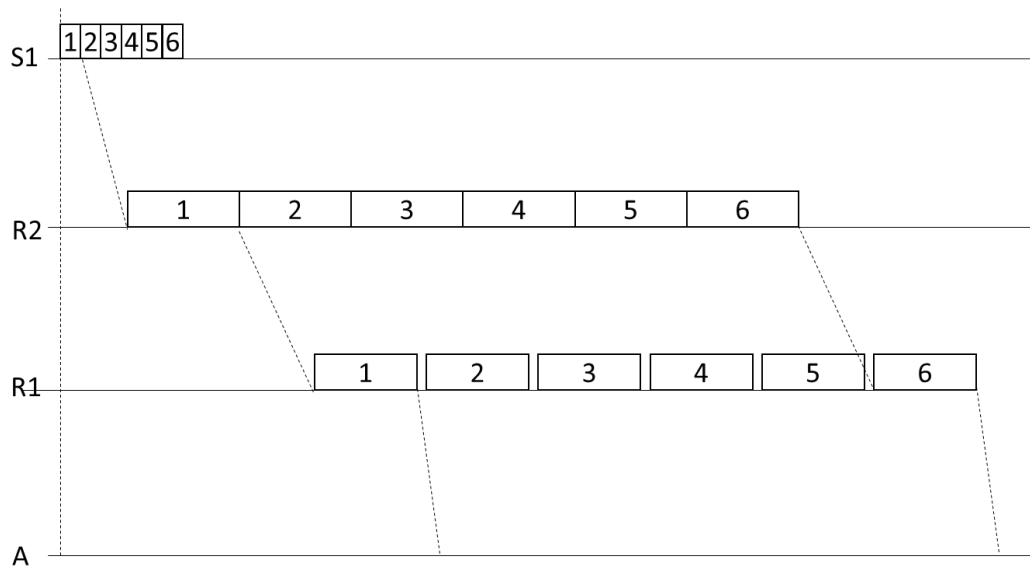
$$T_i = L_s / C_i$$

$$T_1 = 40 \text{ [us]}; T_2 = 44.4 \text{ [us]}; T_3 = 8 \text{ [us]};$$

$$\tau_1 = 5 \text{ [us]}; \tau_2 = 25 \text{ [us]}; \tau_3 = 10 \text{ [us]}$$

Diagramma temporale:





Punto b)

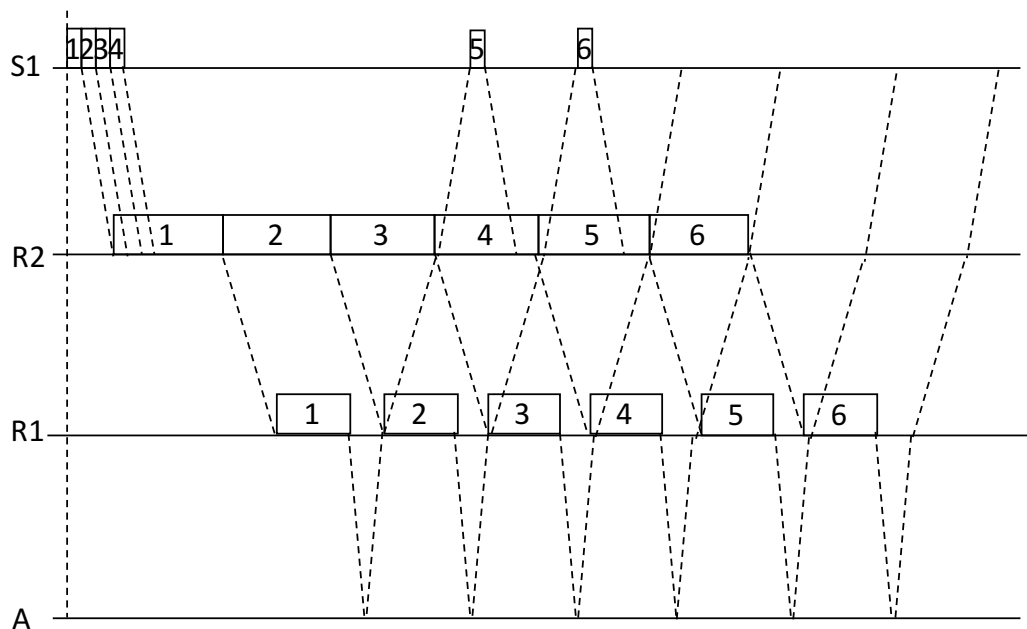
$$T = \tau_1 + T_1 + \tau_2 + 6 T_2 + \tau_3 + T_3 = 354.4 \text{ [us]}$$

Punto c)

$$T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 6 (T_1 + T_2 + T_3) = (40 + 554.4) \text{ [us]} = 594.4 \text{ [us]}$$

Punto d)

Diagramma temporale:



Ritardo di propagazione totale del riscontro:

$$\tau_A = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 40 \text{ [us]}$$

$$T = T_{al \text{ punto } b} + T_A = 394.4 \text{ [us]}$$

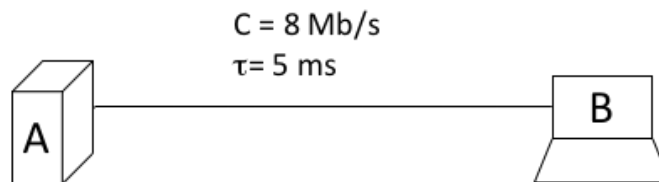
### 3.31 - Esercizio (Esempio appello)

Una connessione TCP tra l'host A e l'host B è caratterizzata dai seguenti parametri:

- Lunghezze di *header* e *ack* trascurabili;
- *link* bidirezionali;
- $RCWND = 9 MSS$
- $SSTHRESH = 8 MSS$
- $MSS = 1 [kbyte]$
- Ritardo di propagazione,  $\tau = 5 [ms]$
- Valore del *Time-Out* =  $2RTT$

Si risponda ai seguenti quesiti:

- Dire se la trasmissione sul link diventa mai continua; in caso affermativo, trovare il tempo oltre cui la trasmissione sul link diventa continua;
- Trovare il tempo di trasferimento di un file di  $60 [kbyte]$  da A a B;
- Ipotizzando che il penultimo segmento in trasmissione venga perso, ripetere il punto b)



#### Soluzione

a)

$$RTT = T + 2\tau = \frac{8000 [bit]}{8 \left[\frac{Mb}{s}\right]} + 10 [ms] = 11 [ms]$$

$$W_{cont} = \frac{RTT}{T} = \frac{11}{1} = 11 MSS$$

Ma abbiamo una  $RCWND$  di 9 MSS, dunque la trasmissione non sarà mai continua.

b)

$$T_{setup} = 2\tau = 10 [ms]$$

$$N_{MSS} = \frac{60 [kB]}{1 [kB]} = 60$$

$$T_{tot} = T_{setup} + 8 RTT(1 - 2 - 4 - 8 - 9 - 9 - 9 - 9) + 8 T = 117 [ms]$$

Tempo dall'apertura della connessione alla ricezione dell'ultimo ACK

c)

Il TCP accetta i segmenti fuori sequenza, dunque solo il penultimo viene ritrasmesso.

$$T_{tot} = T_{setup} + 8 RTT + 7 T + timeout + RTT = T_{setup} + 11 RTT + 7 T = 138 [ms]$$

### 3.32 - Esercizi aggiuntivi

Il più lungo collegamento sottomarino al mondo in fibra ottica è lungo  $d = 39.000$  km e si estende dal nord Europe all'estremo oriente. La velocità di uno dei canali disponibili è di  $C = 2$  Gb/s. Si assuma che tra i due estremi sia attivo un protocollo di ritrasmissione che utilizza pacchetti di  $L = 1500$  B e che la lunghezza dei pacchetti di ACK sia trascurabile.

- a) Si calcoli il tempo necessario a trasferire un file di  $F = 600$  kB e l'efficienza del protocollo (frazione di tempo usate per trasmettere pacchetti corretti) nel caso di Stop-and-wait.
- b) Si ripeta il calcolo nel caso di Go-back-N con finestra di  $N = 30$  pacchetti.
- c) Si calcoli il valore minimo della finestra  $N$  per avere una trasmissione continua in caso di assenza di errori e il tempo corrispondente al trasferimento del file.
- d) Si calcoli il tempo di trasferimento nel caso in cui il pacchetto numero 31 sia perso o errato, il time out si pari a  $T_o = 1$  s, e  $N = 30$  pacchetti.
- e) Si ripeta il calcolo del punto d) nel caso siano errati tutti i pacchetti dal 31 al 40.