

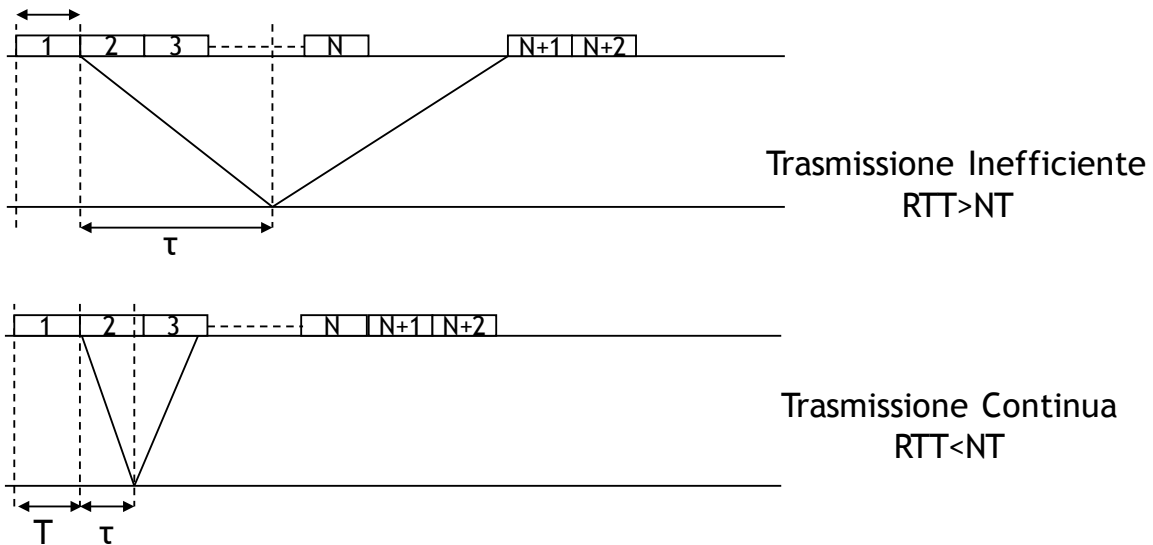
4. Esercizi sul LIVELLO di TRASPORTO – parte I

Esercizio 4.1

Si consideri un canale via satellite della capacità di 1 Mbit/s . Considerando che il tempo di propagazione attraverso un satellite geostazionario richiede 250 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 trasmessi segmenti di 2000 bit in assenza di errori. Si suppongano gli ACK di dimensione trascurabile.

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

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



Per avere la massima efficienza, il numero di segmenti N nella finestra deve essere tale che il loro tempo di trasmissione copra il tempo di andata e ritorno del primo segmento. Detti:

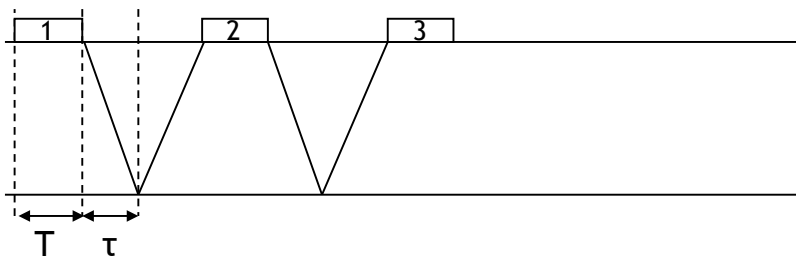
- $T = 2 \text{ [ms]} = 2000 \text{ [bit]} / 1 \text{ [Mb/s]}$, il tempo di trasmissione di un pacchetto
- $t = 250 \text{ [ms]}$, il tempo di propagazione

allora deve essere:

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

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 segmento (durata $T = 2 \text{ ms}$) ogni $T + 2t$, dunque l'efficienza: $\eta = T/(T + 2t) = 1/251$.

Esercizio 4.2

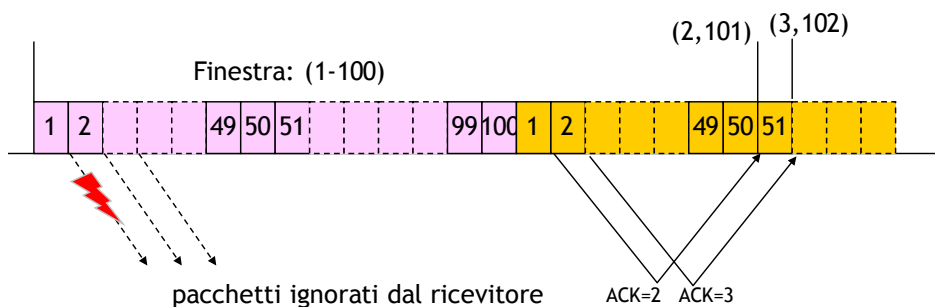
Un sistema GO-BACK-N presenta un ritardo di propagazione pari a 24 volte il tempo di trasmissione di un pacchetto e viene usato per inviare un file di 1000 pacchetti. Si assuma la durata del timeout pari al tempo di trasmissione dell'intera finestra di pacchetti (con inizio al primo bit del primo pacchetto di ogni finestra). 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:

1. si sbaglia il primo pacchetto del file
2. si sbagliano il primo e il 100-esimo pacchetto del file
3. si sbaglia l'ACK del primo pacchetto del file
4. si sbaglia l'ACK del primo e del 100-esimo pacchetto del file

Soluzione

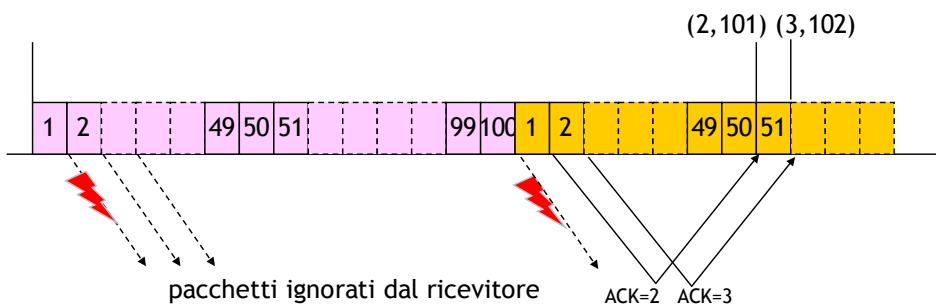
Tempo di ritorno dell'ACK, $RTT = T + 24T + T + 24T = 50T$

Caso 1



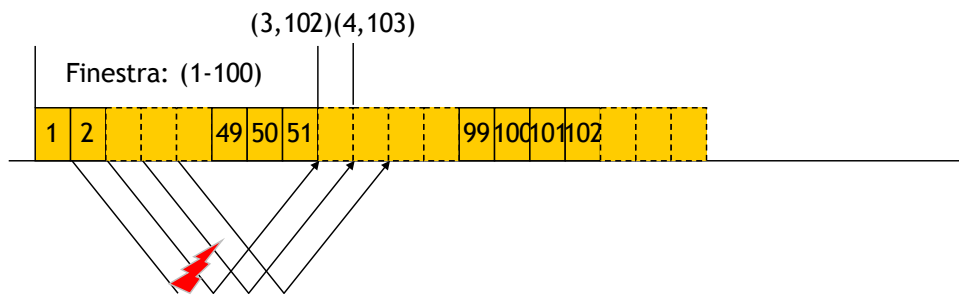
Trasmetto inutilmente i pacchetti dal 1 a 100

Caso 2



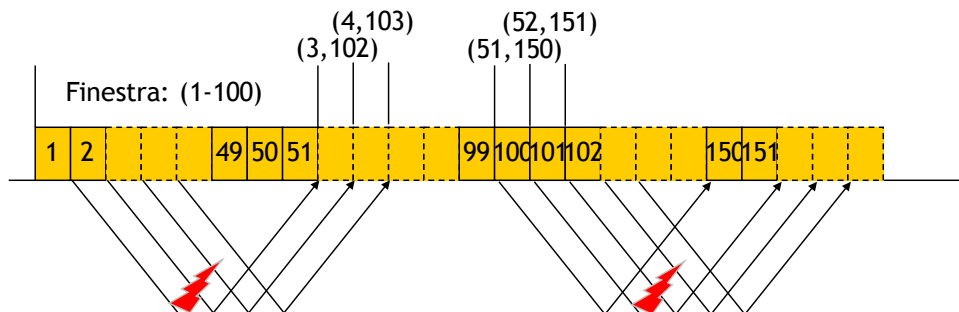
Come nel caso precedente trasmetto inutilmente i pacchetti dal 1 a 100

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.

Esercizio 4.3

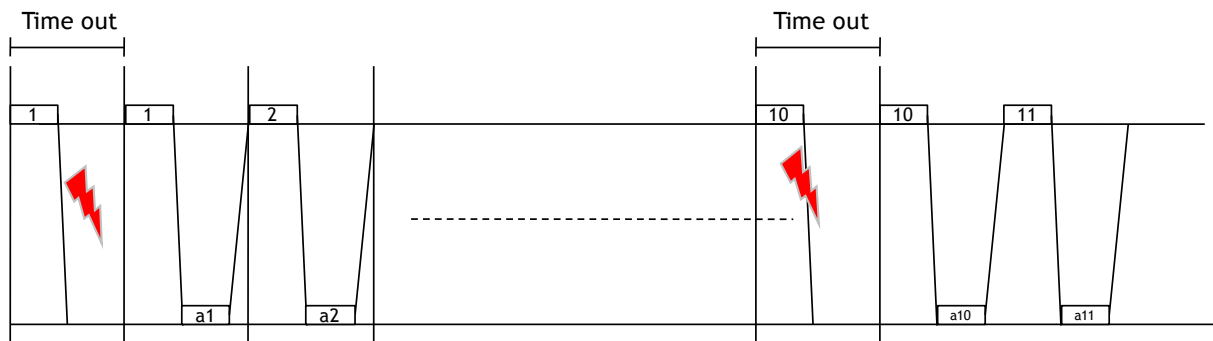
Un canale sbaglia la trasmissione di pacchetti in ragione di 1 ogni 10, mentre non sbaglia il ritorno degli ACK. Si sta usando un protocollo di tipo STOP and WAIT con tempo di propagazione pari a n volte il tempo di trasmissione di un pacchetto T e il tempo di trasmissione dell'ACK pari a T . Si consideri il time-out minimo pari a $T + T_{ACK} + 2\tau$ (con inizio al primo bit del pacchetto).

Si calcoli l'efficienza del meccanismo in termini di numero di pacchetti corretti / numero totale pacchetti trasmessi.

Si calcoli poi l'efficienza trasmissiva temporale totale (tempo usato per trasmettere pacchetti corretti/tempo totale).

Soluzione

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

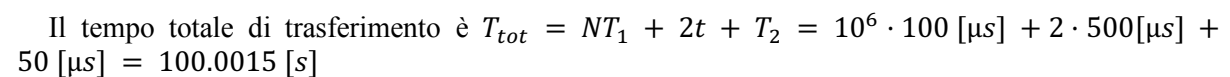


Per quanto visto prima si trasmettono 9 pacchetti corretti (durata $9T$) ogni 10 round trip time. Un round trip time è pari a $T + nT + T + nT$. Dunque: $\eta_{tot} = 9T / 10T(2 + 2n) = 9 / 20(1 + n)$

- 1) I segmenti vengano trasmessi sulle linee alla velocità massima
- 2) I segmenti vengano trasferiti attraverso un meccanismo di ritrasmissione *Stop and Wait* applicato end-to-end.
- 3) I segmenti vengano trasferiti attraverso un meccanismo di ritrasmissione *Stop and Wait* applicato su ciascuno dei due collegamenti separatamente

Il numero di segmenti da trasmettere è pari a $N = (1250 \cdot 8 \cdot 10^6) / 10000 = 1000000$ segmenti.

Caso 1



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

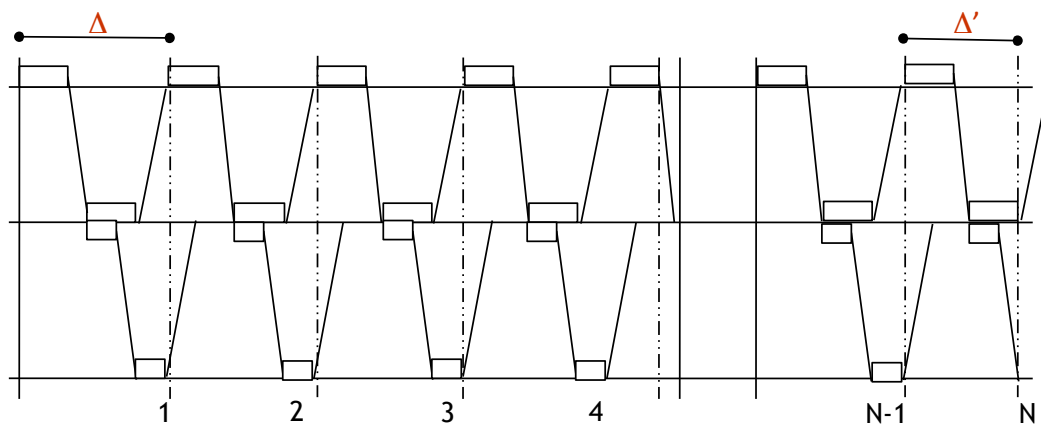
$$\Delta = T_1 + t + T_2 + t + T_2 + t + T_1 + t = 2T_1 + 2T_2 + 4t = 2.3 \text{ [ms]}$$

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

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

Caso 3

Il tempo fra due trasmissioni consecutive sul primo link è pari a $D_1 = 2T_1 + 2t = 1.2 \text{ [ms]}$, mentre il tempo fra due trasmissioni consecutive sul secondo link è pari a $D_2 = 2T_2 + 2t = 1.1 \text{ [ms]}$. Dunque i segmenti 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 segmento sul secondo link, le interfacce coinvolte sono diverse.

Il tempo totale di trasferimento è pari a

$$\begin{aligned} (N-1)\Delta + \Delta' &= (N-1)\Delta + \Delta/2 + T_2 + t = N\Delta - \Delta/2 + T_2 + t = \\ &= ND_1 - D_1/2 + T_2 + t = 1200000 \text{ [ms]} - 0.6 \text{ [ms]} + 0.05 \text{ [ms]} + 0.5 \text{ [ms]} \\ &= 1199.99995 \text{ s} \end{aligned}$$

Esercizio 4.5

Due navi **A** e **B** si trovano alla distanza $d = 30$ km. Il transponder di identificazione di **A**, ricevendo il segnale radar da **B**, si attiva per fornire a **B** l'identità e i dati di navigazione di **A**. Il transponder di **B** a sua volta si attiva per inviare ad **A** i necessari riscontri. Per inviare un insieme completo di informazioni, **A** deve trasferire a **B** un blocco di $B = 480$ byte.

Si supponga che durante il trasferimento del blocco le due navi si possano considerare ferme. Le velocità di trasmissione sul canale da **A** a **B** e sul canale di ritorno da **B** ad **A** sono, rispettivamente, $C_{AB} = 8$ Mbit/s, $C_{BA} = 1$ Mbit/s.

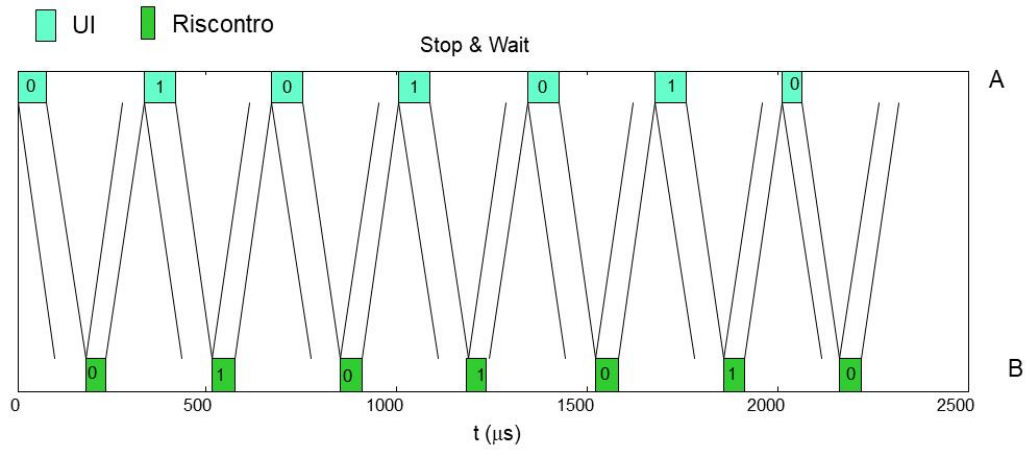
Le caratteristiche del protocollo *Stop&Wait* utilizzato per le trasmissioni sono le seguenti:

- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 7$ byte
- dimensione variabile dei segmenti, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima $L_{fmax} = 80$ byte dei quali 7 byte rappresentano l'overhead del segmento
- i segmenti utilizzati per trasferire da **A** a **B** il blocco B abbiano tutti lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultimo
- tempo di elaborazione nelle stazioni A e B di un segmento o di un riscontro trascurabile

Se il protocollo è di tipo *stop-and-wait*, si calcoli in assenza di errori sul collegamento:

- a) il tempo di trasferimento $T_{S\&W}$ del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione del primo segmento al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- b) il *throughput* dati di utente effettivo 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 $\eta_{S\&W}$).

-
- 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 $\Rightarrow 6 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
 - $L_{fmax} = [(7 + 73) \cdot 8] \text{ bit} = (80 \cdot 8) \text{ bit} = 640 \text{ bit}$
 - $L_{flast} = (7 + 42) \text{ byte} = 392 \text{ bit}$
 - $L_a = (7 \cdot 8) \text{ bit} = 56 \text{ bit}$
 - $C_{AB} = 8 \text{ Mbit/s}$
 - $T_{fmax} = L_{fmax} / C_{AB} = 80 \text{ } \mu\text{s}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_{AB} = 49 \text{ } \mu\text{s}$
 - $C_{BA} = 1 \text{ Mbit/s}$
 - $T_a = L_a / C_{BA} = (7 \cdot 8 / 1) \text{ } \mu\text{s} = 56 \text{ } \mu\text{s}$



Stop and wait

- $T_{S\&W} = 6 (T_{fmax} + T_a + 2 \tau) + (T_{flast} + T_a + 2 \tau) = [6 (80 + 56 + 200) + (49 + 56 + 200)] \mu s = 2.321 \text{ ms}$
- $THR_{S\&W} = B / T_{S\&W} = (480 \cdot 8 / 2.321) \text{ kbit/s} = 1.66 \text{ Mbit/s}$
- $\eta_{S\&W} = THR_{S\&W} / C = 1.66 / 8 = 0.21 \Rightarrow \eta_{S\&W\%} = 21.00 \%$

Esercizio 4.6

Un ricognitore “U2” (A) ad una quota di $h = 24860$ m sta sorvolando (sulla verticale) una postazione nemica che si trova a distanza $d = 86.5$ km da un mezzo terrestre d’attacco alleato B. Il velivolo deve inviare al mezzo B informazioni relative alla postazione contenute in un messaggio di 840 byte. Per determinare la quantità B di dati totale da trasmettere per inviare il messaggio si deve tener conto dell’operazione di cifratura dei messaggi che aggiunge un overhead del 20% all’informazione da criptare.

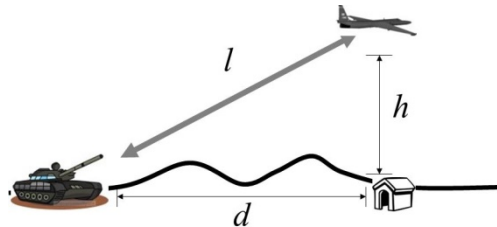
Si supponga che durante il trasferimento del blocco l’aereo sia fermo rispetto B. Le velocità di trasmissione sul canale da A a B e sul canale di ritorno da B ad A sono identiche e uguali a $C = 9.6$ Mbit/s

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

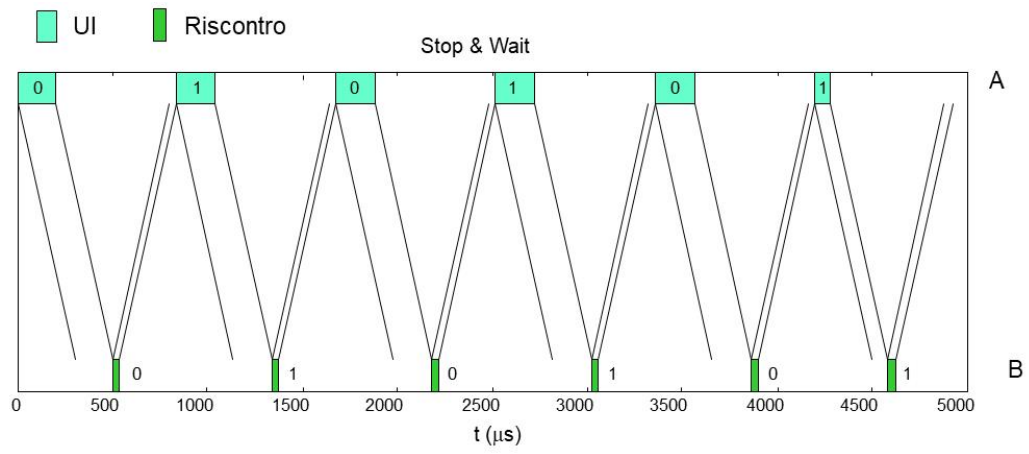
- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 48$ byte
- dimensione variabile delle unità informative (UI), che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{fmax} = 240$ byte dei quali 48 byte rappresentano l’overhead
- le UI informative utilizzate per trasferire da A a B il blocco B abbiano tutte lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell’ultima
- tempo di elaborazione nelle stazioni A e B di una UI o di un riscontro trascurabile

Se il protocollo è di tipo *stop-and-wait*, si calcoli in assenza di errori sul collegamento:

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



- Distanza A-B: $l = (d^2 + h^2)^{1/2} = 90$ km
- Ritardo di propagazione A-B (e B-A) ($c = 300000$ km/s):
 $\tau = l / c = (90 / 300000) \text{ s} = 300 \text{ } \mu\text{s}$
- $B = 840 \cdot (1 + 0.2) \text{ byte} = 1008 \text{ byte} \Rightarrow 5 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
- $L_{fmax} = [(192 + 48) \cdot 8] \text{ bit} = (240 \cdot 8) \text{ bit} = 1920 \text{ bit}$
- $L_{flast} = (48 + 48) \text{ byte} = 768 \text{ bit}$
- $L_a = (48 \cdot 8) \text{ bit} = 384 \text{ bit}$
- $C = 9.6 \text{ Mbit/s}$
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 200 \text{ } \mu\text{s}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_u = 80 \text{ } \mu\text{s}$;
- $T_a = L_a / C = 40 \text{ } \mu\text{s}$



Esercizio 4.7

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

Il rack A trasferisce un file a B utilizzando un protocollo di tipo Go-Back-N.

Le caratteristiche del protocollo GBN utilizzato sono le seguenti:

- dimensione fissa di riscontri: $L_a = 10 \text{ byte}$,
- dimensione variabile delle unità informative (UI), che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{fmax} = 60 \text{ byte}$ dei quali 10 byte rappresentano l'overhead
- tempo di elaborazione nelle stazioni A e B di una UI o di un riscontro trascurabile

Si supponga che il file da trasferire sia di lunghezza $F = 375 \text{ byte}$ e che le UI informative utilizzate abbiano tutte lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultima.

Si calcoli quanti pacchetti vengono trasmessi da A a B, indicando le dimensioni di ciascun pacchetto, nonché i tempi di trasmissione di ciascun pacchetto e di ciascun riscontro

-
- $L_{fmax} = (60 \cdot 8) \text{ bit} = 480 \text{ bit}$
 - $F = 375 \text{ byte} = (7 \cdot 50 + 1 \cdot 25) \text{ byte} \Rightarrow 7 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
 - $L_{flast} = (25 + 10) \text{ byte} = 280 \text{ bit}$

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:

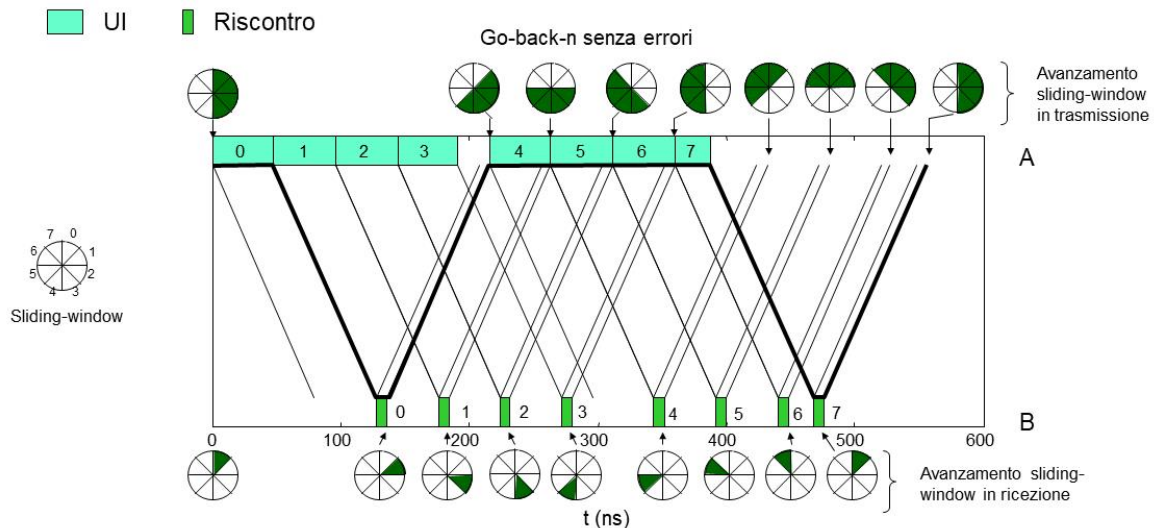
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 48 \text{ ns}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_u = 28 \text{ ns}$;
- $T_a = L_a / C_d = 8 \text{ ns}$

Esercizio 4.8

Con riferimento allo scambio di dati dell'esercizio precedente, si consideri il protocollo di tipo *go-back-n*, con ampiezza della finestra di trasmissione $W_s = 4$ UI, finestra di ricezione, W_r , di ampiezza pari a 1, modulo di numerazione delle UI pari a $N=8$, timeout $T_O = 3$ s. Dopo aver rappresentato lo scambio di UI su un diagramma temporale, indicando per ogni UI (sia da A a B che da B ad A) il relativo valore di numerazione, si calcolino, in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

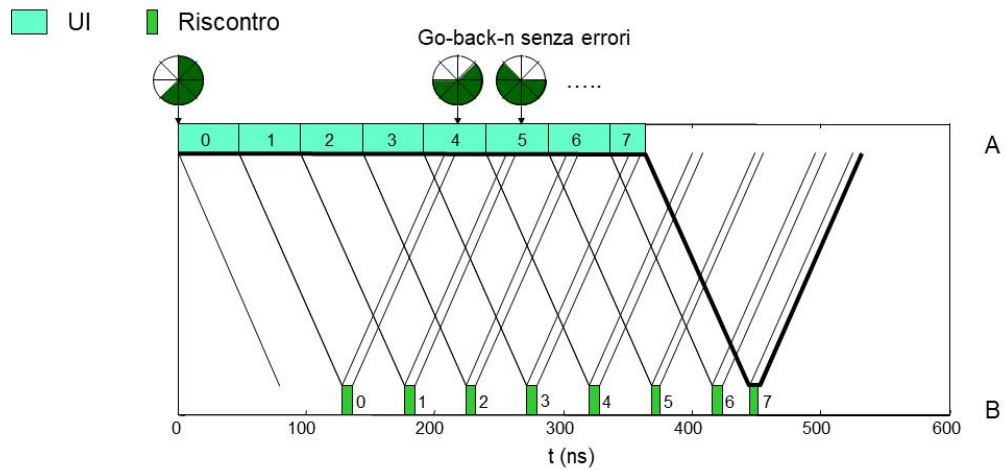
- il tempo di trasferimento T_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- il *throughput* dati effettivo THR_{GBN} della connessione, misurato in [bit/s], e l'efficienza η del collegamento $A \rightarrow B$;
- la dimensione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

- Ritardo di propagazione in fibra = $\tau_U \cong 5 \mu\text{s}/\text{km} = 5 \text{ ns}/\text{m}$
- $l = 16 \text{ m}$
 $\Rightarrow \tau = l \cdot \tau_U = 80 \text{ ns}$
- $L_{fmax} = (60 \cdot 8) \text{ bit} = 480 \text{ bit}$
- $B = 375 \text{ byte} = (7 \cdot 50 + 1 \cdot 25) \text{ byte} \Rightarrow 7 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
- $L_{flast} = (25 + 10) \text{ byte} = 280 \text{ bit}$
- $L_a = 80 \text{ bit}$
- $C = 10 \text{ Gbit/s}$
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 48 \text{ ns}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_u = 28 \text{ ns}$;
- $T_a = L_a / C_d = 8 \text{ ns}$



Go-back-n $\Rightarrow W_s = 4$; $W_r = 1$

- $W_s \cdot T_{fmax} = 192 \text{ ns} < T_{fmax} + T_a + 2 \tau = 216 \text{ ns}$
- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 3T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau = 4T_{fmax} + T_{flast} + 2T_a + 4\tau = 556 \text{ ns}$
- $THR_{GBN} = B / T_{GBN} = (375 \cdot 8 / 556) \text{ Gbit/s} = 5.4 \text{ Gbit/s}$
- $\eta_{GBN} = THR_{GBN} / C = 5.4 / 10 = 0.54 \Rightarrow \eta_{GBN\%} = 54 \%$



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

Esercizio 4.9

Due stazioni terrestri A e B sono collegate tramite una rete di trasmissione dati in fibra ottica che è così caratterizzata:

- distanza tra A e B $d = 4000$ km,
- velocità di propagazione del segnale $v = 5 \mu\text{s/km}$,
- capacità del collegamento $C = 160$ Mbit/s.

Il protocollo che controlla la trasmissione delle UI su questo collegamento sia così caratterizzato:

- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 80$ byte,
- dimensione variabile delle UI informative, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{\text{fmax}} = 125080$ byte dei quali 80 byte rappresentano l'overhead
- tempo di elaborazione di una UI o di un riscontro trascurabile

Si consideri il trasferimento da A a B di un segmento di dati di lunghezza 1205000 byte, imponendo che le UI utilizzate abbiano lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultima.

Si calcoli quanti pacchetti vengono trasmessi da A a B, indicando le dimensioni di ciascun pacchetto, nonché i tempi di trasmissione di ciascun pacchetto e di ciascun riscontro

-
- $L_{\text{fmax}} = (125080 \cdot 8) \text{ bit} = 1000640 \text{ bit}$
 - $B = 1205000 \text{ byte} = (9 \cdot 125000 + 1 \cdot 80000) \text{ byte} \Rightarrow 9 \text{ UI } L_{\text{fmax}} + 1 \text{ UI } L_{\text{flast}}$
 - $L_{\text{flast}} = (80000 + 80) \text{ byte} = 640640 \text{ bit}$

A invia a B 10 pacchetti in totale, di cui 9 di dimensione $L_{\text{fmax}} = 1000640 \text{ bit}$ ed 1 di dimensione $L_{\text{flast}} = 640640 \text{ bit}$.

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

- $T_{\text{fmax}} = 6.254 \text{ ms}$; $T_{\text{flast}} = 4.004 \text{ ms}$; $T_a = 4.0 \mu\text{s}$

Esercizio 4.10

Con riferimento allo scambio di dati dell'esercizio precedente, si consideri il protocollo di tipo *go-back-n* che opera con riscontri positivi ACK e negativi NACK, con dimensione della finestra di trasmissione $W_s=5$ UI, finestra di ricezione, W_r , di ampiezza pari a 1, modulo di numerazione delle UI pari a $N=8$, timeout $T_O=60$ ms. Si calcolino, in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

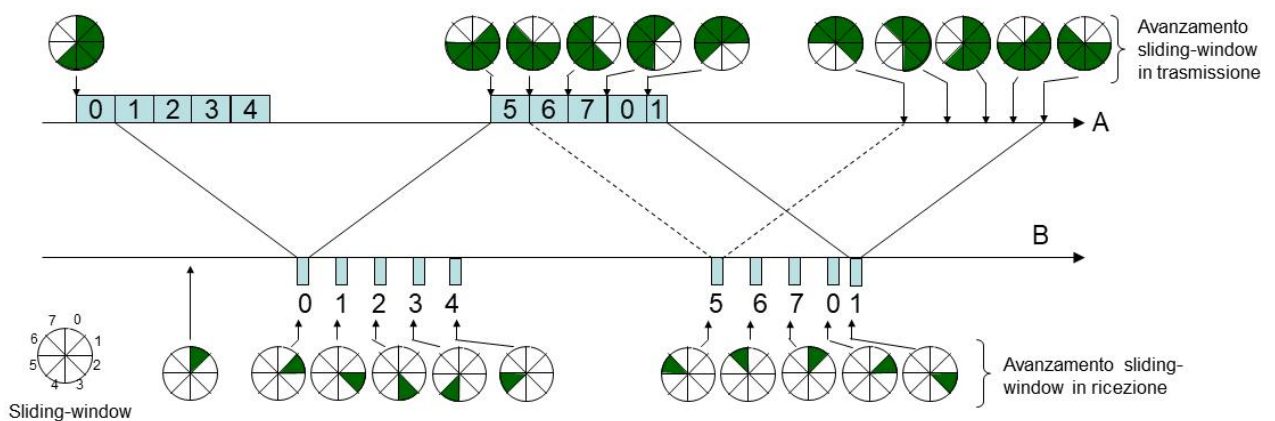
- il tempo di trasferimento T_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
- il *throughput* dati effettivo THR_{GBN} della connessione, misurato in [bit/s];

Sempre con protocollo di tipo *go-back-n*, ma nel caso il canale sia soggetto a errori, si calcoli

- il tempo di trasferimento T'_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI al termine della ricezione dell'ultimo ACK), nel caso la quarta UI trasmessa da A vada persa e non venga ricevuta da B;
- il numero totale N_{frot} di UI informative trasmesse, comprese quelle trasmesse due volte.

- $\tau = d \cdot v = (4000 \cdot 5) \mu s = 20 \text{ ms}$
- $L_{fmax} = (125080 \cdot 8) \text{ bit} = 1000640 \text{ bit}$
- $B = 1205000 \text{ byte} = (9 \cdot 125000 + 1 \cdot 80000) \text{ byte} \Rightarrow 9 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
- $L_{flast} = (80000 + 80) \text{ byte} = 640640 \text{ bit}$
- $L_a = 640 \text{ bit}$
- $T_x = L_x / C$
- $C = 160000 \text{ kbit/s}$
- $T_{fmax} = 6.254 \text{ ms}$; $T_{flast} = 4.004 \text{ ms}$; $T_a = 4.0 \mu s$

Go-back-n \Rightarrow

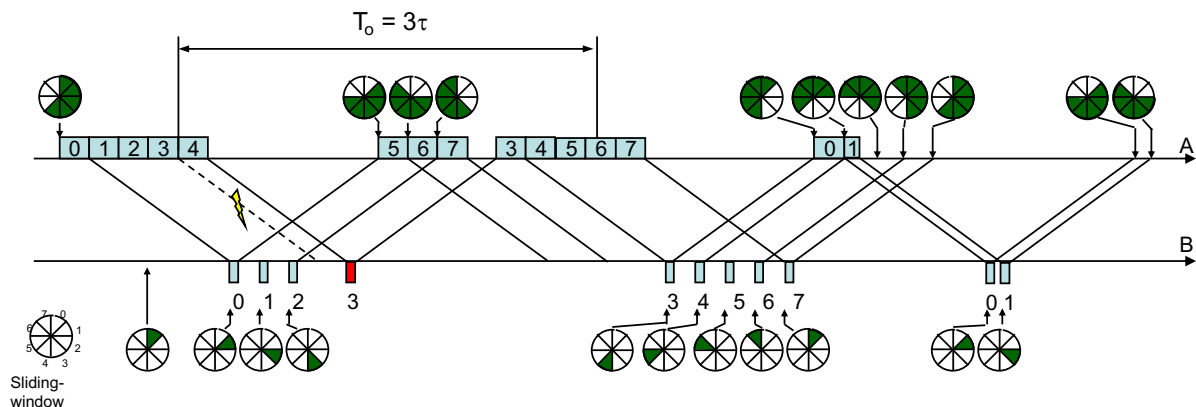


Go-back-n senza errori

- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 4 T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau =$
 $= 5 T_{fmax} + T_{flast} + 2 T_a + 4 \tau = 115.282 \text{ ms}$

- $\text{THR}_{\text{GBN}} = B / T_{\text{GBN}} = (1205000 \cdot 8 / 115.282) \text{ kbit/s} = 83.621 \text{ Mbit/s}$
- $\eta_{\text{GBN}} = \text{THR}_{\text{GBN}} / C = 83.621 / 160 = 0.523$

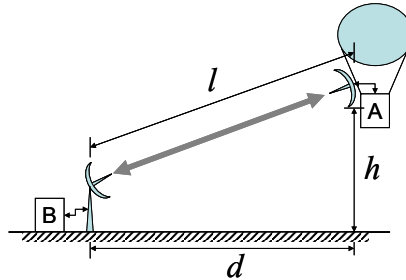
Go-back-n con errori



- La quarta UI (UI numero 3) trasmessa da A va perduta
- B si può accorgere dell'errore di trasmissione solo quando riceve la UI successiva (UI 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 della UI numero 4. Riprende appena riceve gli ACK delle 0, 1 e 2 e trasmette le UI numero 5, 6 e 7.
- Finalmente A riceve il NACK di 3 (prima che scada il timeout) e inizia la ritrasmissione di tutte le UI dalla 3 in poi, fino alla 7, in quanto la finestra resta bloccata dalla 3 alla 7.
- Intanto B scarta le UI 5, 6 e 7 e le riscontra rispondendo sempre col NACK relativo alla UI numero 3
- B inizia a ricevere UI dalla 3 alla 7 senza errori ed invia i riscontri
- Appena A riceve l'ACK relativo alla UI numero 4 può ruotare la finestra e trasmettere la UI numero 0. Di seguito trasmette la UI numero 1 (corta)
- La trasmissione si conclude regolarmente con la ricezione da parte di A degli ultimi due ACK sulle UI numero 0 e 1
- $T'_{\text{GBN}} = 5 T_{\text{fmax}} + \tau + T_a + \tau + T_{\text{fmax}} + \tau + T_a + \tau + T_{\text{fmax}} + T_{\text{flast}} + \tau + T_a + \tau = 7 T_{\text{fmax}} + 6 \tau + 3 T_a + T_{\text{flast}} = 167.794$
- $N_{\text{tot}} = 15$

Esercizio 4.11

Una stazione A a bordo di un pallone aerostatico deve trasmettere via radio alla stazione B di terra una sequenza di dati. Il pallone si trova ad una distanza $d = 12$ km (misurati al suolo) dalla stazione di terra e ad una quota $h = 9000$ m (si veda il disegno qui riportato). Nel calcolare la lunghezza l del collegamento si trascurino l'altezza dell'antenna della stazione di terra e le lunghezze dei collegamenti antenna-stazione e si supponga il pallone fermo rispetto alla stazione di terra almeno per tutta la durata del trasferimento dei dati.



Le velocità di trasmissione sono: $C_d = 16$ Mbit/s in direzione $A \rightarrow B$; $C_u = 4$ Mbit/s in direzione $B \rightarrow A$.

Il protocollo che controlla la trasmissione delle UI su questo collegamento sia così caratterizzato:

- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 8$ byte,
- dimensione variabile delle UI informative, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{fmax} = 56$ byte dei quali 8 byte rappresentano l'overhead
- tempo di elaborazione nelle stazioni A e B di una UI o di un riscontro trascurabile

Si consideri il trasferimento da A a B di un segmento di dati di lunghezza 350 byte, imponendo che le UI utilizzate abbiano lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultima.

Si calcoli quanti pacchetti vengono trasmessi da A a B, indicando le dimensioni di ciascun pacchetto, nonché i tempi di trasmissione di ciascun pacchetto e di ciascun riscontro

-
- $L_{fmax} = (56 \cdot 8) \text{ bit} = 448 \text{ bit}$
 - $B = 350 \text{ byte} = (7 \cdot 48 + 1 \cdot 14) \text{ byte} \Rightarrow 7 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
 - $L_{flast} = (14 + 8) \text{ byte} = 176 \text{ bit}$

A invia a B 8 pacchetti in totale, di cui 7 di dimensione $L_{fmax} = 448$ bit ed 1 di dimensione $L_{flast} = 176$ bit.

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

- $T_{fmax} = L_{fmax} / C_d = 28 \mu\text{s}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_d = 11 \mu\text{s}$;
- $T_a = L_a / C_u = 16 \mu\text{s}$

Esercizio 4.12

Con riferimento allo scambio di dati dell'esercizio precedente, si consideri il protocollo di tipo *go-back-n*, con dimensione della finestra di trasmissione $W_s = 4$ UI e finestra di ricezione, W_r , di ampiezza pari a 1, modulo di numerazione delle UI pari a $N=8$, timeout $T_O = 150 \mu s$. Dopo aver rappresentato lo scambio di UI su di un diagramma temporale, indicando per ogni UI (sia da A a B che da B ad A) il relativo valore di numerazione, si calcolino, sempre in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

- il tempo di trasferimento T_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- il *throughput* dati effettivo THR_{GBN} della connessione, misurato in [bit/s];

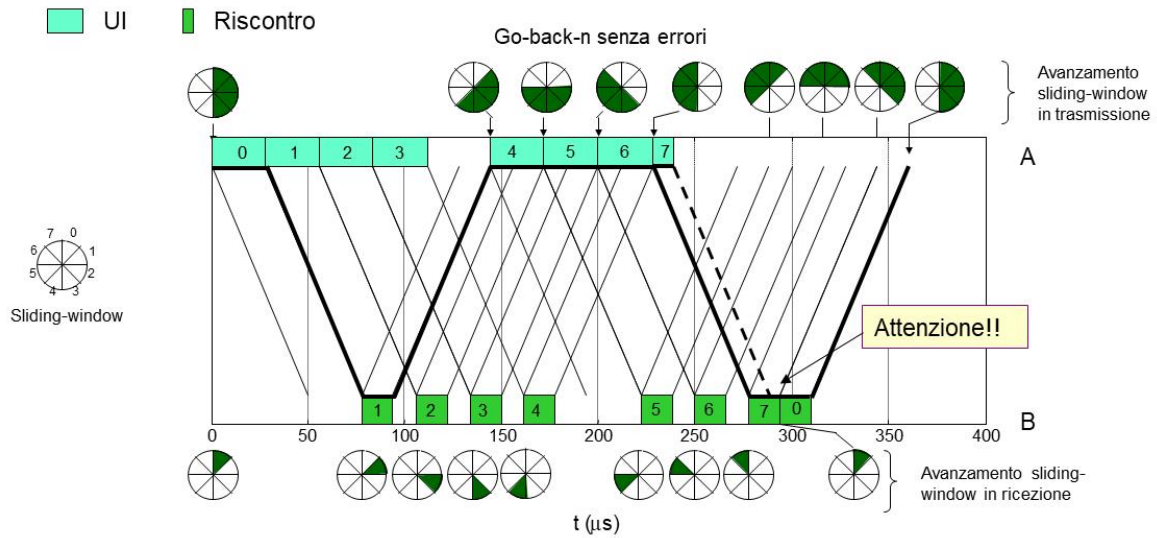
Sempre con protocollo di tipo *go-back-n*, i canali $B \rightarrow A$ e $A \rightarrow B$ siano ora soggetti ad errori. In particolare, si consideri il caso in cui il riscontro emesso da B relativo alla quinta UI trasmessa da A vada perso e non venga ricevuto da A; inoltre, la settima UI trasmessa da A vada perduta e non venga ricevuta da B. Rappresentare lo scambio di UI su di un diagramma temporale, indicando per ogni UI la relativa numerazione. Si calcoli

- il tempo di trasferimento T'_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI al termine della ricezione dell'ultimo riscontro);
- il numero totale N_{tot} di UI informative trasmesse, comprese quelle trasmesse due volte.

-
- Velocità propagazione \cong velocità luce vuoto $= v \cong 300000 \text{ km/s}$
 - $l = (h^2 + d^2)^{1/2} = (81 + 144)^{1/2} \text{ km} = 15 \text{ km}$
 - $\tau = l / v = (15 / 3 \cdot 10^5) \text{ s} = 50 \mu s$
 - $L_{fmax} = (56 \cdot 8) \text{ bit} = 448 \text{ bit}$
 - $B = 350 \text{ byte} = (7 \cdot 48 + 1 \cdot 14) \text{ byte} \Rightarrow 7 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
 - $L_{flast} = (14 + 8) \text{ byte} = 176 \text{ bit}$
 - $L_a = 64 \text{ bit}$
 - $C_u = 4 \text{ Mbit/s}; C_d = 16 \text{ Mbit/s}$
 - $T_{fmax} = L_{fmax} / C_d = 28 \mu s; T_{flast} = L_{flast} / C_d = 11 \mu s;$
 - $T_a = L_a / C_u = 16 \mu s$

Go-back-n \Rightarrow

- $W_s \cdot T_{fmax} = 112 \mu s < T_{fmax} + T_a + 2 \tau = 144 \mu s$

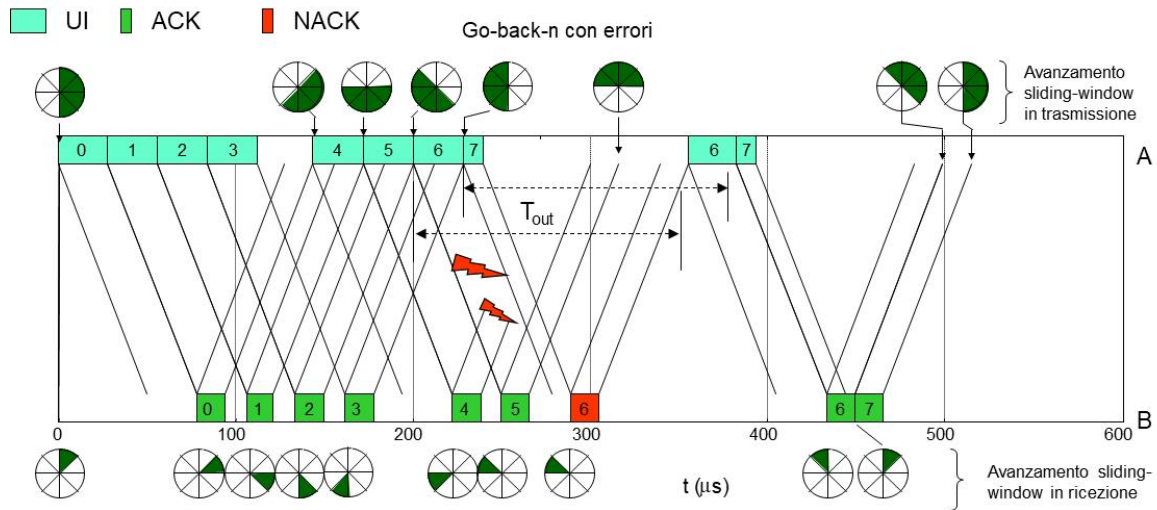


Go-back-n senza errori

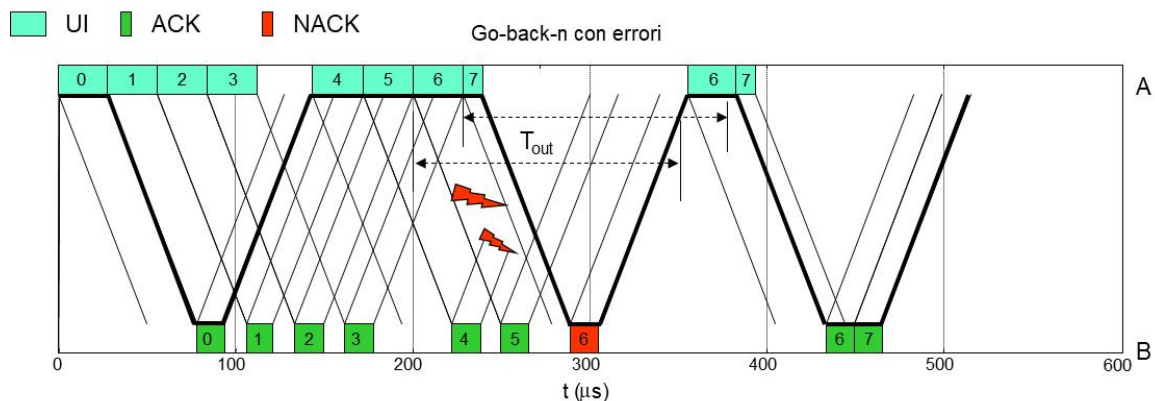
- Si nota una particolarità: la UI numero 7 viene interamente ricevuta da B prima che B abbia finito di trasmettere il riscontro della trama precedente (la 6). Dunque il riscontro della UI numero 7 viene trasmesso da B non appena terminata la trasmissione del riscontro della UI numero 6.
- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 3 T_{fmax} + \tau + 2T_a + \tau = 4T_{fmax} + 3T_a + 4\tau = 360 \mu s$
- $THR_{GBN} = B / T_{GBN} = (350 \cdot 8 / 360) \text{ Mbit/s} = 7.78 \text{ Mbit/s}$
- $\eta_{GBN} = THR_{GBN} / C_u = 7.78 / 16 = 0.486 \Rightarrow \eta_{GBN\%} = 48.6 \%$

Go-back-n con errori

- Errore sulla UI numero 6 e sul riscontro ACK 4



- La perdita del riscontro relativo alla UI 4 (la quinta) non ha alcuna influenza sulla trasmissione. Infatti prima dello scadere del T_{out} per tale UI (che scadrebbe a $t = 322 \mu s$) A ha già interamente ricevuto (a $t = 316 \mu s$) il riscontro ACK 6 relativa alla sesta UI. In virtù del valore cumulativo degli ACK in Go-back-n, A assume che tutte le UI fino alla UI numero 5 siano state correttamente ricevute da B
- Si noti che all'arrivo di ACK 5 la finestra di trasmissione scorre di due posizioni
- La UI numero 6 che va perduta (la settima) è la penultima trasmessa da A. Quando B riceve la UI successiva (fuori sequenza) invia un NACK 6.
- A si può accorgere dell'errore o allo scadere del T_{out} , ossia a $t = 378 \mu s$, o alla ricezione del NACK a $t = 355 \mu s$. Si verifica prima quest'ultimo evento
- Da questo istante inizia la ritrasmissione delle ultime due UI, seguita dalla trasmissione dei riscontri da parte di B (che avviene come in GBN senza errori)



- $T'_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 3 \cdot T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau + T_{fmax} + \tau + 2 \cdot T_a + \tau$
 $= 5T_{fmax} + 4T_a + T_{flast} + 6\tau = 515 \mu s$
- $N_{ftot} = 10$

Esercizio 4.13

Si consideri un collegamento (bidirezionale simmetrico) in fibra ottica tra due apparati A e B all'interno di una centrale di commutazione. La lunghezza l del collegamento è di 80 m.

La velocità di trasmissione in entrambe le direzioni ($A \rightarrow B$, $B \rightarrow A$) è: $C = 2.56$ Gbit/s.

Il protocollo che controlla la trasmissione su questo collegamento sia così caratterizzato:

- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 8$ byte,
- dimensione variabile delle UI informative, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{fmax} = 80$ byte dei quali 8 byte rappresentano l'overhead,
- tempo di elaborazione nelle stazioni A e B di una UI o di un riscontro trascurabile

Si consideri il trasferimento da A a B di un segmento di dati di lunghezza 392 byte, imponendo che le UI utilizzate abbiano lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultima.

Si calcoli quanti pacchetti vengono trasmessi da A a B, indicando le dimensioni di ciascun pacchetto, nonché i tempi di trasmissione di ciascun pacchetto e di ciascun riscontro.

-
- $L_{fmax} = (80 \cdot 8) \text{ bit} = 640 \text{ bit}$
 - $B = 392 \text{ byte} = (5 \cdot 72 + 1 \cdot 32) \text{ byte} \Rightarrow 5 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
 - $L_{flast} = (32 + 8) \text{ byte} = 320 \text{ bit}$

A invia a B 6 pacchetti in totale, di cui 5 di dimensione $L_{fmax} = 640 \text{ bit}$ ed 1 di dimensione $L_{flast} = 320 \text{ bit}$.

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

- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 250 \text{ ns}$; $T_{flast} = L_{flast} / C = 125 \text{ ns}$;
- $T_a = L_a / C = 25 \text{ ns}$

Esercizio 4.14

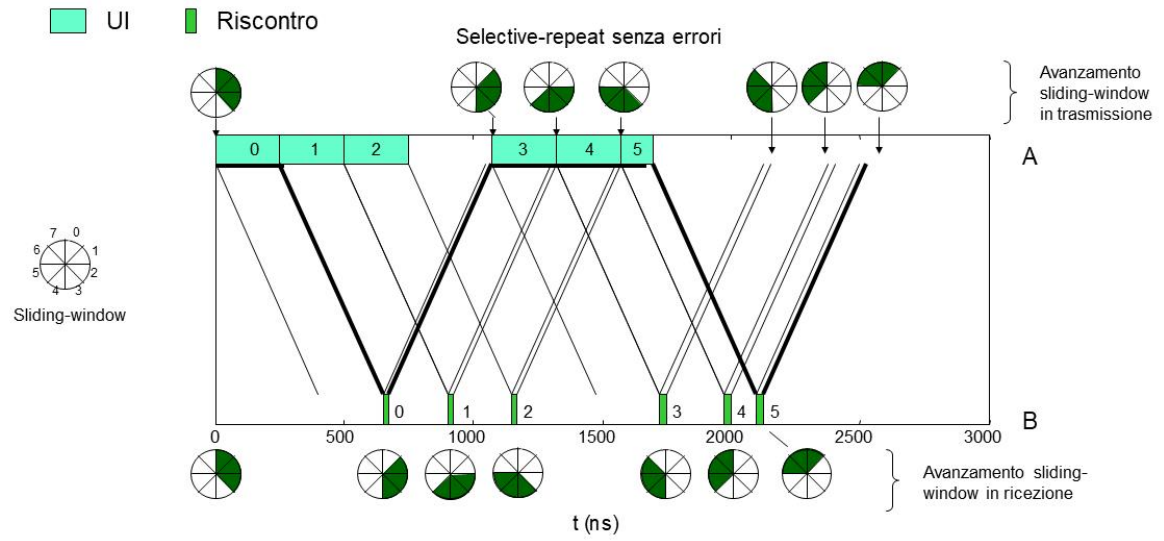
Con riferimento allo scambio di dati dell'esercizio precedente, si consideri il protocollo di tipo *selective-repeat*, con dimensione della finestra di trasmissione $W_s = 3$ UI e finestra di ricezione, W_r , di ampiezza pari a 3, modulo di numerazione delle UI pari a $N=8$, timeout $T_O = 2 \mu s$. Dopo aver rappresentato lo scambio di UI su di un diagramma temporale, indicando per ogni UI o riscontro la relativa numerazione, si calcolino, sempre in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

- il tempo di trasferimento T_{SR} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima trama I al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
- il *throughput* dati effettivo THR_{SR} della connessione, misurato in [bit/s], e l'efficienza η_{SR} del collegamento $A \rightarrow B$.

Sempre con protocollo di tipo *selective-repeat*, il canale $A \rightarrow B$ sia ora soggetto ad errori. In particolare, si consideri il caso in la quarta UI trasmessa da A vada perduta e non venga ricevuta da B. Rappresentare lo scambio di UI su di un diagramma temporale, indicando per ogni UI e per ogni riscontro la relativa numerazione. Si calcoli

- il tempo di trasferimento T'_{SR} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI I al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
- il *throughput* THR_{SR} conseguito in bit/s e l'efficienza η'_{SR} sul collegamento rispetto alla capacità disponibile.

-
- Ritardo di propagazione unitario in fibra = $\tau_U \cong 5 \mu s/km$
 - $l = 80 m = 0.08 km$
 - $\tau = l \cdot \tau_{pul_f} = 0.4 \mu s = 400 ns$
 - $L_{fmax} = (80 \cdot 8) bit = 640 bit$
 - $B = 392 byte = (5 \cdot 72 + 1 \cdot 32) byte \Rightarrow 5 UI L_{fmax} + 1 UI L_{flast}$
 - $L_{flast} = (32 + 8) byte = 320 bit$
 - $L_a = 64 bit$
 - $C = 2.56 Gbit/s$
 - $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 250 ns$; $T_{flast} = L_{flast} / C = 125 ns$;
 - $T_a = L_a / C = 25 ns$



Selective-repeat $\Rightarrow W_r = W_s = 3$

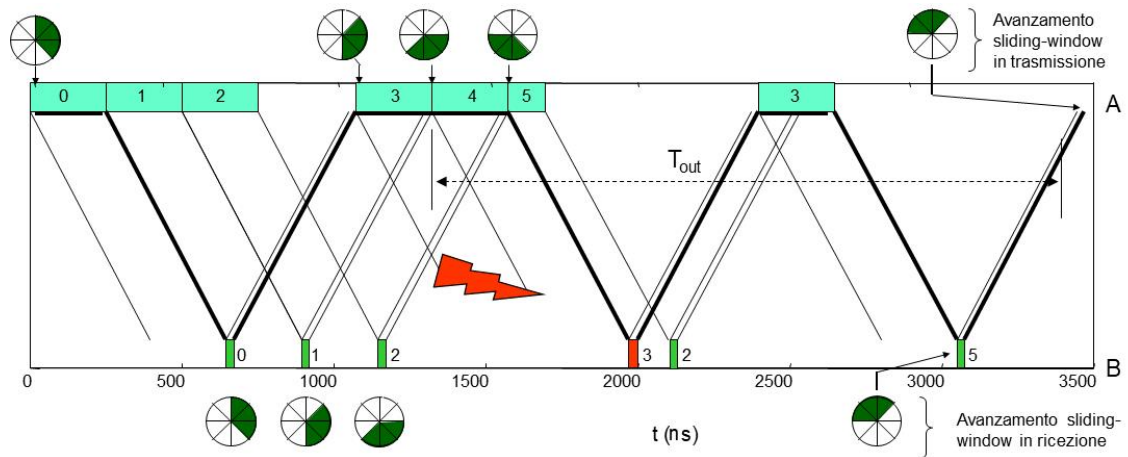
- $W_s \cdot T_{fmax} = 750 \text{ ns} < T_{fmax} + T_a + 2 \tau = 1075 \text{ ns}$

Selective-repeat senza errori

- $T_{sr} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 2 T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau = 3T_{fmax} + 2T_a + 4\tau + T_{flast} = 2525 \text{ ns}$
- $THR_{SR} = B / T_{SR} = (392 \cdot 8 / 2525) \text{ Gbit/s} = 1.242 \text{ Gbit/s}$
- $\eta_{SR} = THR_{SR} / C = 1.242 / 2.560 = 0.4852 \Rightarrow \eta_{SR\%} = 48.52 \%$

Selective-repeat con errori

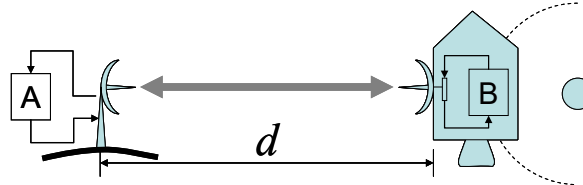
- Errore sulla quarta UI (UI numero 3)



- $T'_{SR} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 2 T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + T_{fmax} + \tau + T_a + \tau = 4T_{fmax} + 3T_a + 6\tau = 3475$ ns
- $THR'_{SR} = B / T'_{sr} = (392 \cdot 8 / 3475) \text{ Gbit/s} = 902.4 \text{ Mbit/s}$
- $\eta'_{SR} = THR'_{sr} / C = 902.4 / 2560 = 0.3525 \Rightarrow \eta_{SR\%} = 35.25 \%$

Esercizio 4.15

Il modulo orbitale di una missione di esplorazione lunare B si trova in orbita intorno al nostro satellite ad una distanza $d = 1.2$ secondi-luce dalla superficie terrestre. La stazione di controllo missione sulla Terra A trasferisce un blocco di dati a B utilizzando un protocollo di tipo ARQ. Si supponga che durante il trasferimento del blocco B sia fermo rispetto A.



Lo scambio di dati tra A e B è caratterizzato dai seguenti parametri:

- capacità del collegamento $A \rightarrow B$: $C_u = 1.2$ kbit/s
- capacità del collegamento $B \rightarrow A$: $C_d = 320$ bit/s

Le caratteristiche del protocollo ARQ utilizzato sono le seguenti:

- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 8$ byte,
- dimensione variabile delle UI informative, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{fmax} = 60$ byte dei quali 8 byte rappresentano l'overhead
- tempo di elaborazione nelle stazioni A e B di una UI o di un riscontro trascurabile

Si supponga che il blocco di dati di utente da trasferire sia di lunghezza 328 byte, e che le UI informative utilizzate abbiano tutte lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultima.

Si calcoli quanti pacchetti vengono trasmessi da A a B, indicando le dimensioni di ciascun pacchetto, nonché i tempi di trasmissione di ciascun pacchetto e di ciascun riscontro

- $L_{fmax} = (60 \cdot 8) \text{ bit} = 480 \text{ bit}$
- $B = 328 \text{ byte} = (6 \cdot 52 + 1 \cdot 16) \text{ byte} \Rightarrow 6 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
- $L_{flast} = (16 + 8) \text{ byte} = 192 \text{ bit}$

A invia a B 7 pacchetti in totale, di cui 6 di dimensione $L_{fmax} = 480$ bit ed 1 di dimensione $L_{flast} = 192$ bit.

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

- $T_{fmax} = L_{fmax} / C_u = 400 \text{ ms}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_u = 160 \text{ ms}$;
- $T_a = L_a / C_d = 200 \text{ ms}$

Esercizio 4.16

Con riferimento allo scambio di dati dell'esercizio precedente, si consideri il protocollo di tipo *selective repeat*, con dimensione della finestra di ricezione $W_r = 4$ UI, finestra di trasmissione, W_s , di ampiezza pari a 4, modulo di numerazione delle UI pari a $N=8$, timeout $T_O = 3$ s. Dopo aver rappresentato lo scambio di UI su di un diagramma temporale, indicando per ogni UI e riscontro la relativa numerazione, si calcolino, sempre in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

- il tempo di trasferimento T_{SR} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima UI al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
- il *throughput* dati effettivo THR_{SR} della connessione, misurato in [bit/s], e l'efficienza η del collegamento $A \rightarrow B$.

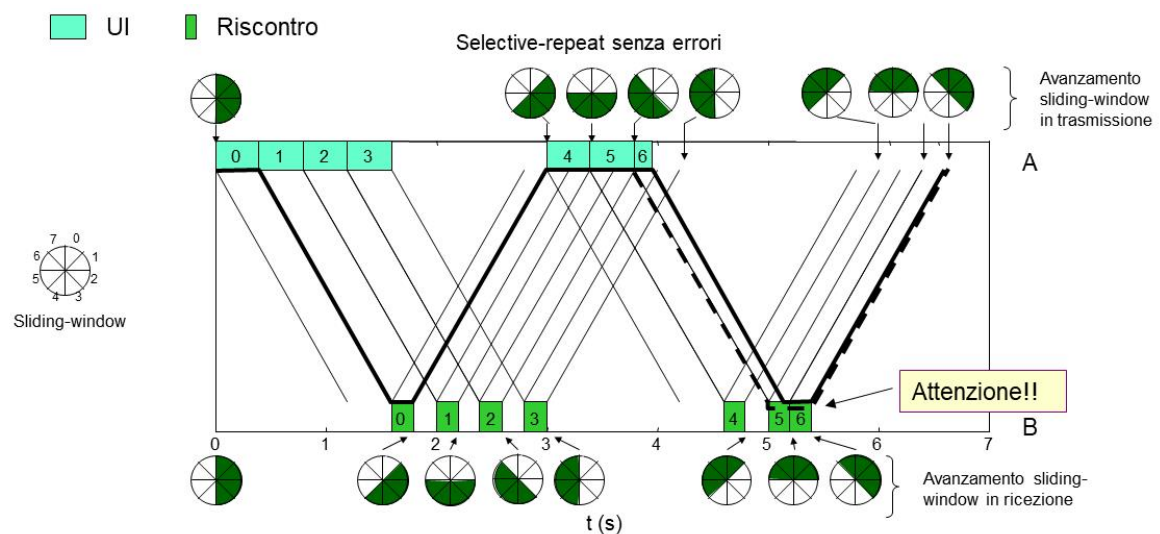
Sempre con protocollo di tipo *selective repeat*, il canale $A \rightarrow B$ sia ora soggetto ad errori. In particolare, si consideri il caso in cui la quarta UI trasmessa da A vada persa e non venga ricevuta da B. Rappresentare lo scambio di UI su di un diagramma temporale, indicando per ogni UI o riscontro la relativa numerazione. Si calcoli

- il tempo di trasferimento T'_{SR} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima trama I al termine della ricezione dell'ultimo ACK).

- Ritardo di propagazione A-B: $\tau_u = \tau_d = \tau = 1.2$ s
- $L_{fmax} = (60 \cdot 8) \text{ bit} = 480 \text{ bit}$
- $B = 328 \text{ byte} = (6 \cdot 52 + 1 \cdot 16) \text{ byte} \Rightarrow 6 \text{ UI } L_{fmax} + 1 \text{ UI } L_{flast}$
- $L_{flast} = (16 + 8) \text{ byte} = 192 \text{ bit}$
- $L_a = 64 \text{ bit}$
- $C_u = 1.2 \text{ kbit/s}$; $C_d = 0.32 \text{ kbit/s}$
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C_u = 400 \text{ ms}$; $T_{flast} = L_{flast} / C_u = 160 \text{ ms}$;
- $T_a = L_a / C_d = 200 \text{ ms}$

Selective-repeat \Rightarrow

- $W_s \cdot T_{fmax} = 1600 \text{ ms} < T_{fmax} + T_a + 2 \tau = 3000 \text{ ms}$



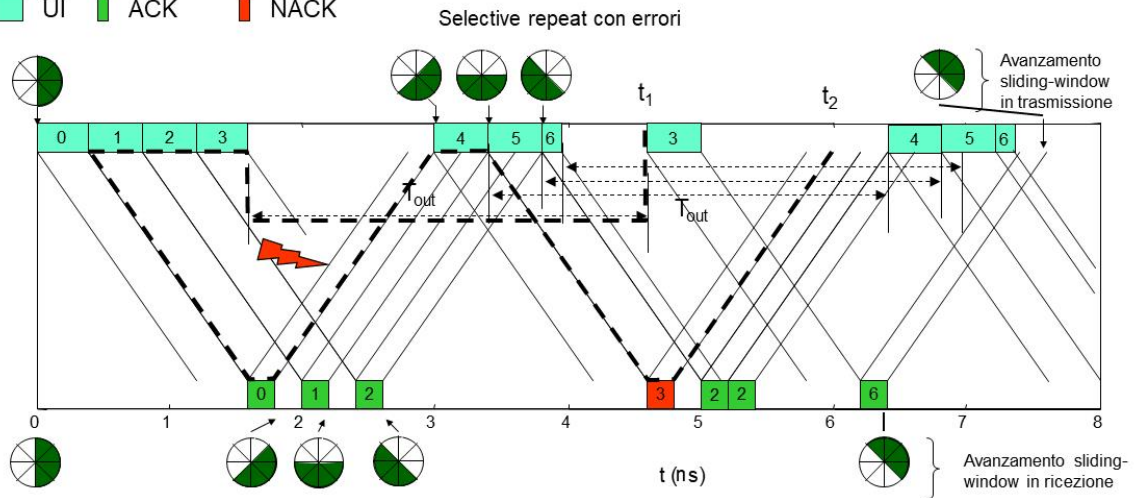
Selective-repeat senza errori

- $T_{SR} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 2T_{fmax} + \tau + 2T_a + \tau = 3T_{fmax} + 3T_a + 4\tau = 6600 \text{ ms} = 6.6 \text{ s}$
- $THR_{SR} = B / T_{SR} = (328 \cdot 8 / 6.6) \text{ bit/s} = 398 \text{ bit/s}$
- $\eta_{SR} = THR_{SR} / C_u = 398 / 1200 = 0.3313 \Rightarrow \eta_{SR\%} = 33.13 \%$
- La UI numero 6 viene ricevuta interamente da B prima che B abbia terminato la trasmissione del riscontro sulla UI numero 5. Quindi il riscontro della 6 non viene trasmesso immediatamente, ma solo al termine della trasmissione del riscontro precedente. Per facilitare il calcolo del ritardo totale di trasferimento conviene seguire allora la linea spezzata tratteggiata anzichè quella a tratto continuo.

Selective-repeat con errori

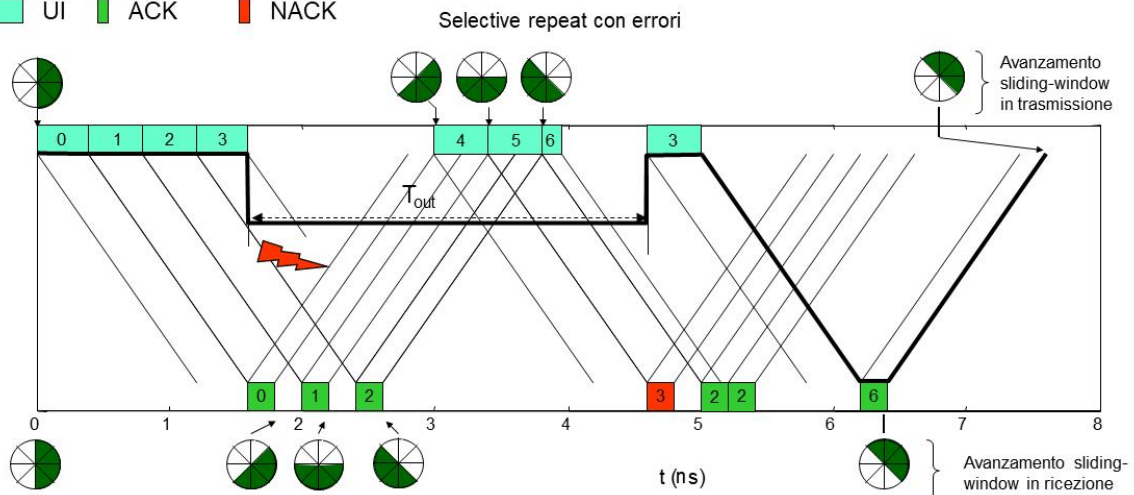
- Errore sulla quarta UI

UI ACK NACK



- B si accorge della perdita della quarta UI (UI numero 3) quando riceve correttamente la UI successiva, ossia dopo il primo scatto della finestra di trasmissione
- B invia ad A un NACK 3 (NACK selettivo che chiede la ritrasmissione della UI numero 3) che però giunge ad A al tempo $t_2 = 6$ s di molto superiore al tempo $t_1 = 4.4$ s in cui scade il time-out sulla UI numero 3. Quindi A ritrasmette la UI numero 3 per scadenza del timeout
- Le finestre sia in trasmissione che ricezione intanto restano bloccate a $L_s = L_r = 3$ e consentono ad A di inviare le 4, 5 e 6 e a B di riceverle
- B manda un ACK con valore cumulativo solo dopo aver ricevuto la UI numero 3 corretta. Le finestre “balzano” di conseguenza
- A ritrasmette per scadenza di time-out anche le UI numero 4, numero 5 e numero 6 (la 6 in ritardo rispetto la scadenza del proprio time-out per attendere che si liberi il canale da A a B). Tuttavia la ritrasmissione è ininfluente e le tre UI vengono eliminate da B in quanto già ricevute

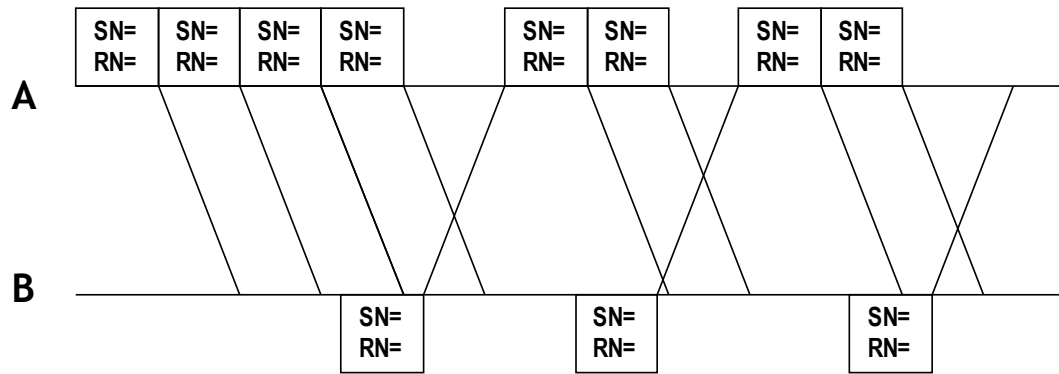
UI ACK NACK



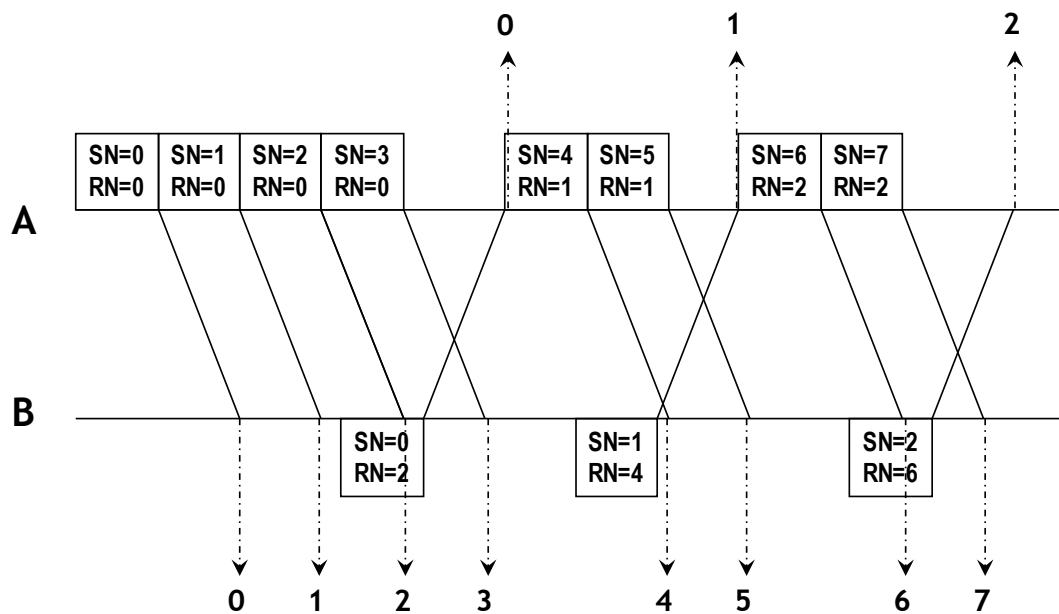
$$T'_{sr} = 4 T_{fmax} + T_O + T_{fmax} + \tau + T_a + \tau = 5 T_{fmax} + T_O + T_a + 2\tau = 7.6 \text{ s}$$

Esercizio 4.17

Si consideri il protocollo Go-BACK-N con $N = 4$ e time-out pari a 8 volte il tempo di trasmissione di un pacchetto (con inizio il primo bit del primo pacchetto della finestra). Si completi la figura in accordo alle regole del protocollo

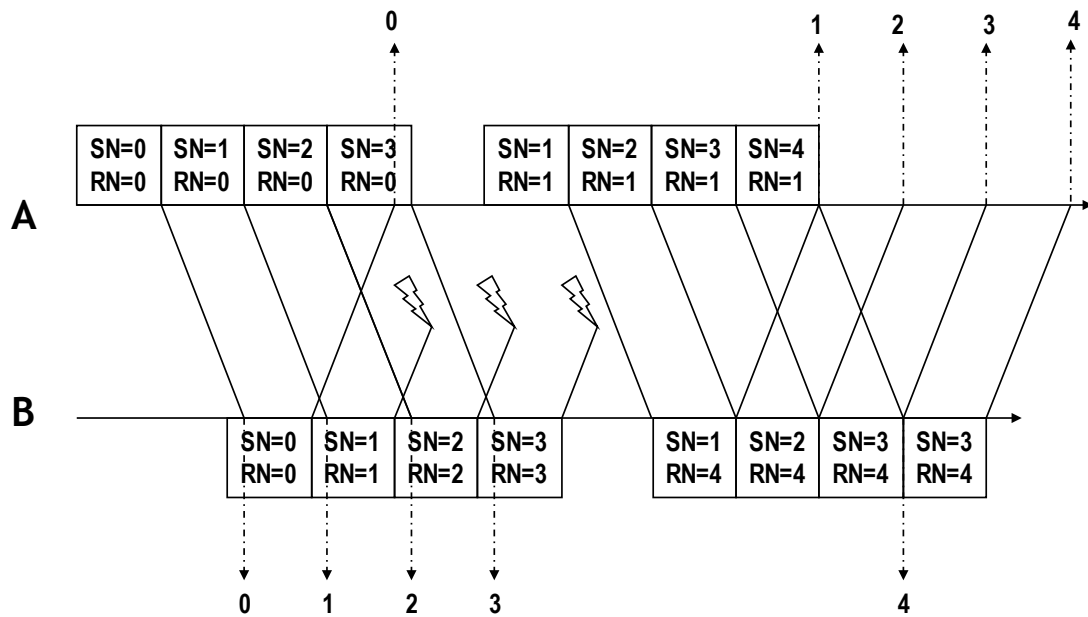


Soluzione

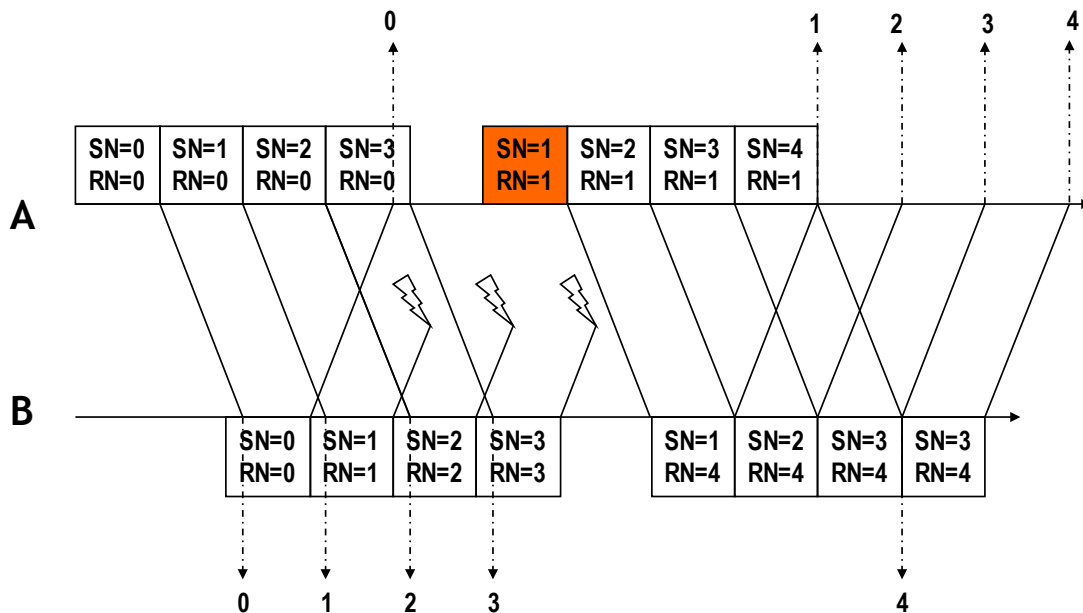


Esercizio 4.19

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

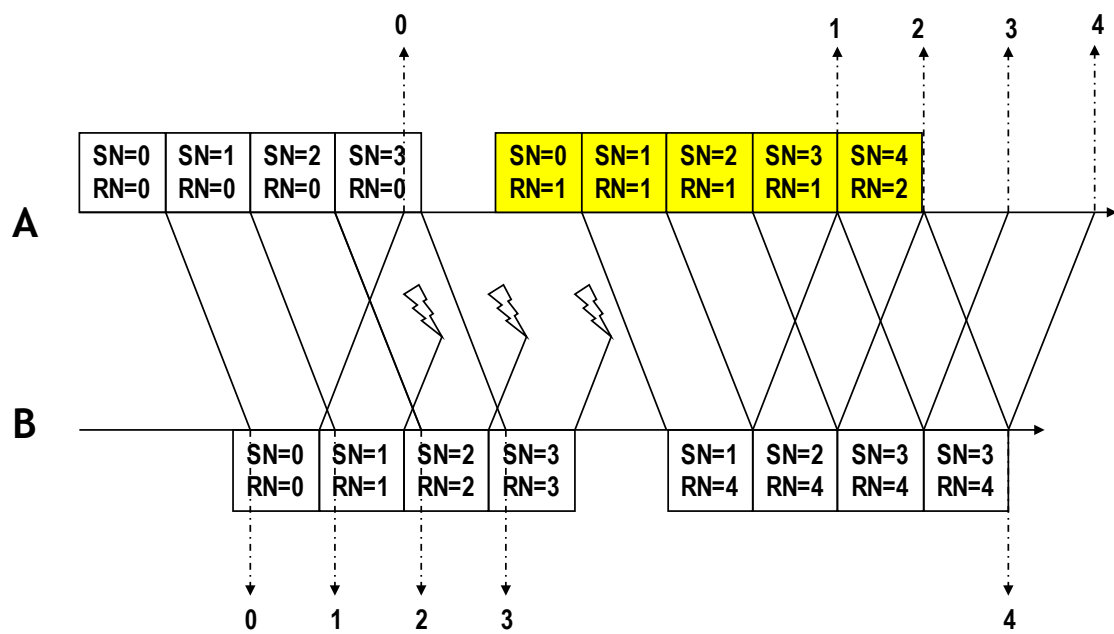


Soluzione



L'esempio è errato l'SN = 0 (A->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->B) è stato finito di ricevere dopo l'inizio della trasmissione dell'ACK RN = 0 (B->A).

L'esempio corretto è:



Esercizio 4.20

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 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1
0 0 0 1 0 1

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 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 0 0

Sommiamo il terzo blocco

1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 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 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

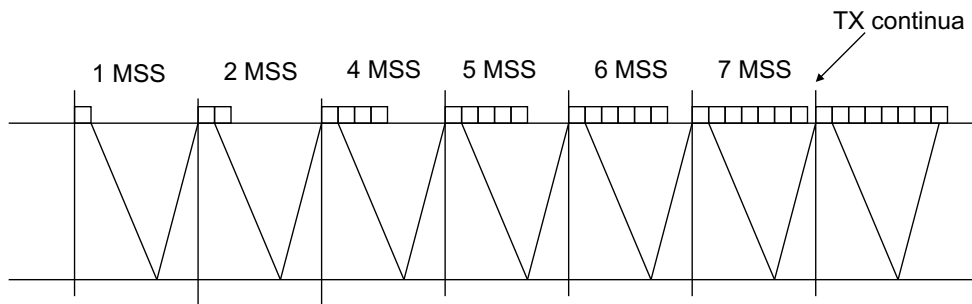
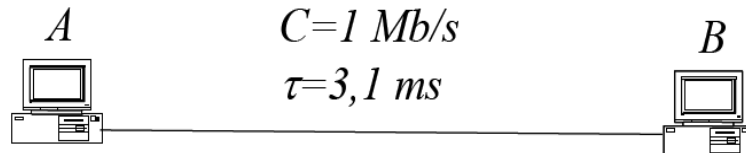
1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1

4.2 Esercizi sul LIVELLO di TRASPORTO – parte II

Esercizio 4.21

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



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:

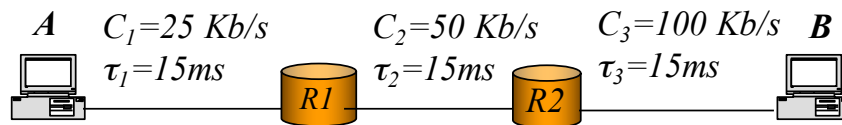
$$2 \tau(\text{setup connessione}) + 6 RTT (\text{Primi 25 MSS}) + 75 T (75 \text{ MSS in trasmissione continua}) + 2 \tau(\text{ritorno ACK dell'ultimo MSS}) = 130.6 [ms]$$

Esercizio 4.22

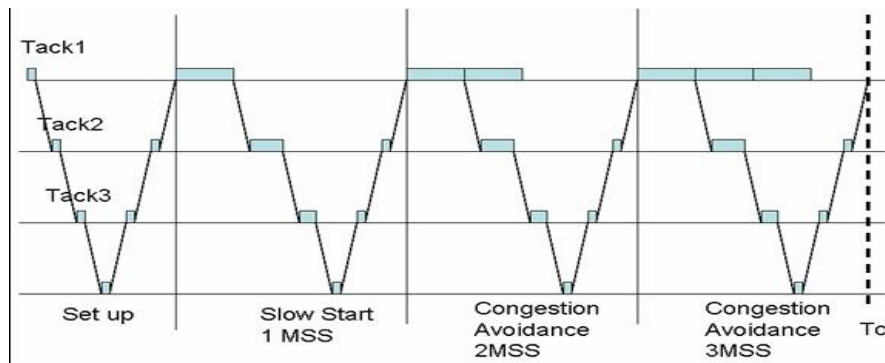
All'istante 0 viene attivata una connessione TCP tra l'host A e l'host B. Si calcoli l'istante di tempo oltre il quale la trasmissione sul link 1 risulta continua, supponendo

- header trascurabili
- link bidirezionali e simmetrici
- $SSTHRESH = 400$ [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 attivazione della connessione all'istante di ricezione dell'ACK dell'ultimo segmento) considerando il meccanismo di invio dei riscontri applicato end-to-end?



Soluzione



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

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

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

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

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

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

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

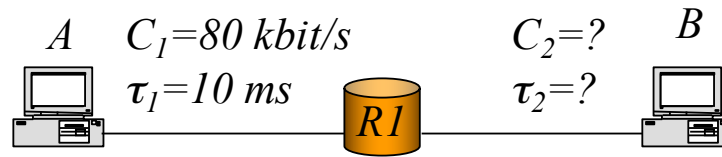
$$T_c = T_{setup} + 3 RTT = 112.4 [\text{ms}] + 639.6 [\text{ms}] = 752 [\text{ms}]$$

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

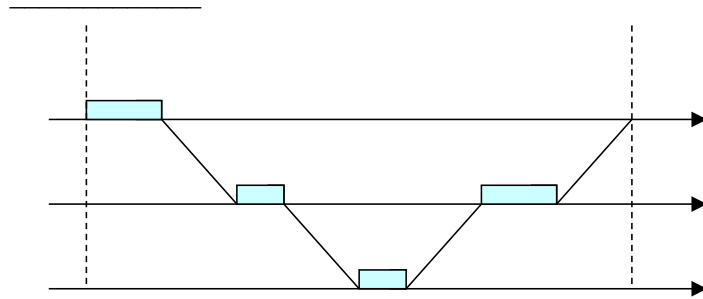
$$T_{tot} = T_{setup} + 4 RTT + 3 T_1 = 1.15 [\text{s}]$$

Esercizio 4.23

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 $m_1 = 1000$ byte, ed M_2 di lunghezza $m_2 = 1500$ 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 τ_2 nell'ipotesi che le lunghezze degli header siano trascurabili.



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

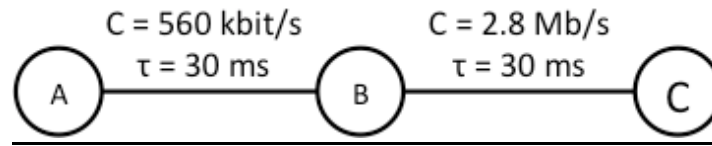
$$\tau_2 = 280 - \frac{8000}{C_2}$$

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

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

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

Esercizio 4.24



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:

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

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).

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

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

Considerando il tempo di setup

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

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

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

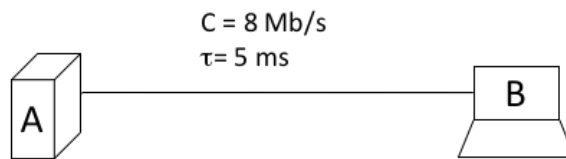
Esercizio 4.25

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

- Lunghezze di *header* e *ack* trascurabili;
- *link* bidirezionali;
- $SSTHRESH = 8 \text{ MSS}$
- $MSS = 1 \text{ kbyte}$
- Ritardo di propagazione, $\tau = 5 \text{ ms}$
- Valore iniziale del *Time-Out* = 3 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 kbyte da A a B;
- Ipotizzando che l'ultimo segmento in trasmissione venga perso, ripetere il punto b)



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

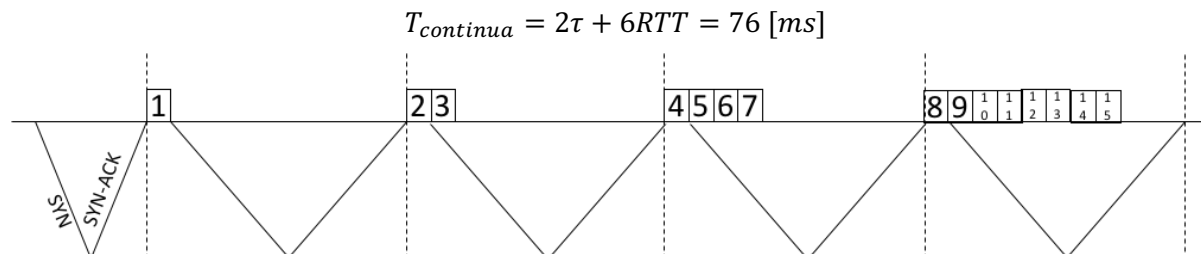
$$RTT = T + 2\tau = 11 \text{ ms}$$

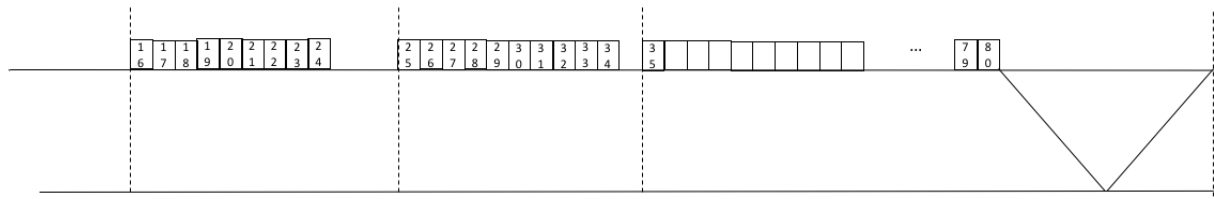
$$\text{Finestra tx continua: } W_c = \frac{RTT}{T} = 11 \text{ MSS}$$

a)

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

Poi trasmissione continua





b)

File = 80 MSS

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

In totale 34 segmenti

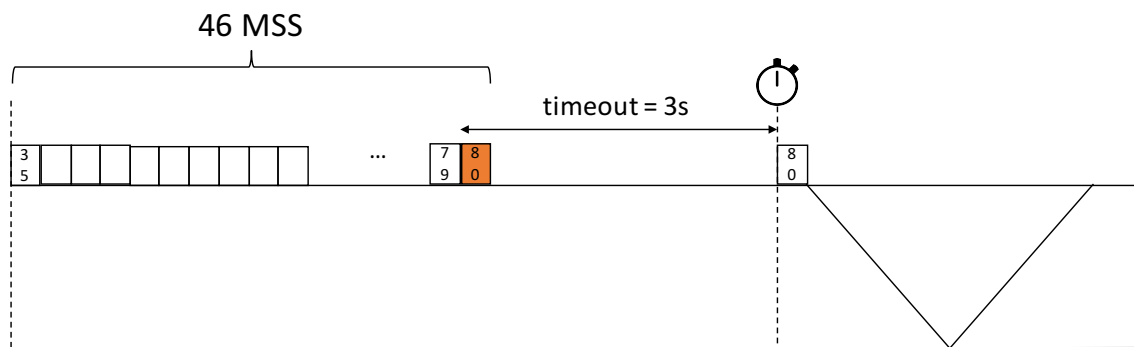
- Trasmissione continua dei restanti 46 segmenti: $46T + 2\tau$

Tempo totale:

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

c)

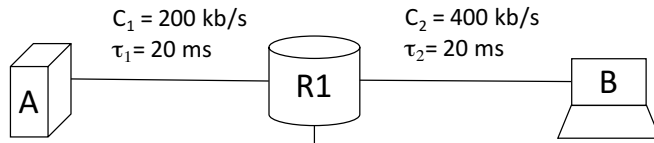
L'ultimo segmento viene ritrasmesso dopo lo scadere del timeout.



e quindi

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

Esercizio 4.26



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

b) Si indichi il rate medio di trasferimento del file da A a B

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

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

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

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

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

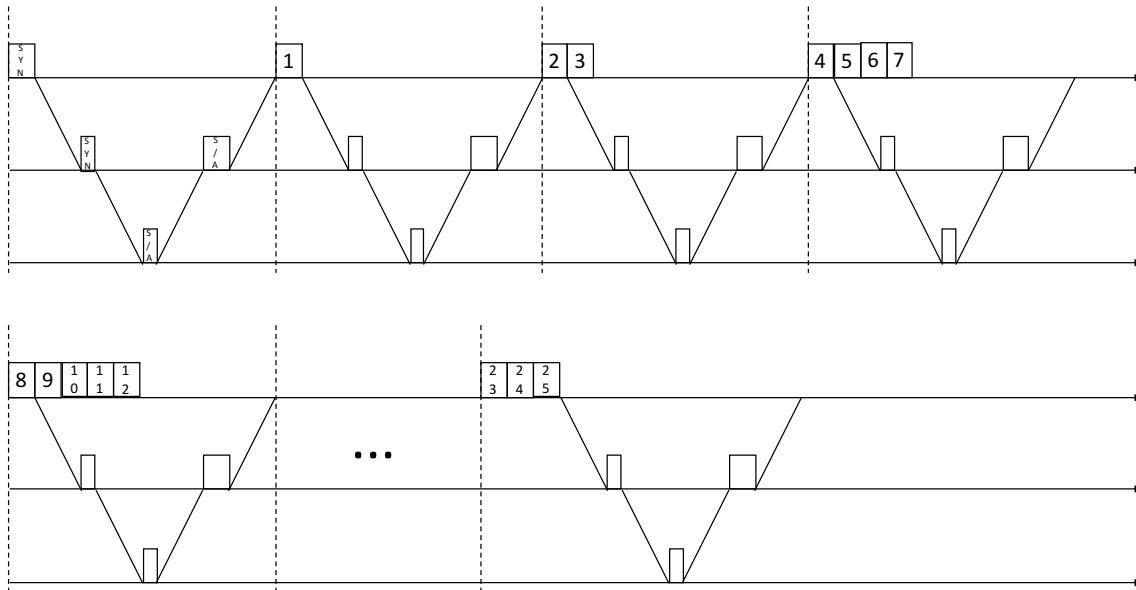
$$T_2 = \frac{L}{C_2} = 250 \cdot 8 / 400000 = 5 \text{ ms}$$

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

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

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

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



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:

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

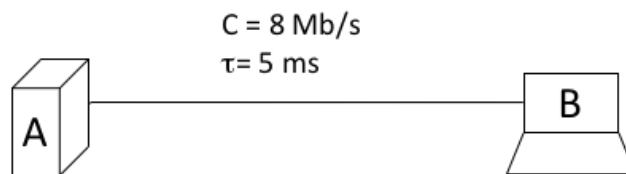
Esercizio 4.27

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* = $2RTT$ calcolato a partire dal primo bit di ogni UI inviata

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;
- Si consideri che il penultimo segmento in trasmissione venga perso. Ripetere il punto b) nel caso in cui il protocollo TCP accetti anche i pacchetti fuori sequenza.



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)

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

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

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

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

c)

All'invio del primo bit del 59° pacchetto, comincia il conteggio del timeout. Dopo $2RTT$, poiché non è arrivato il riscontro del 59° pacchetto, scatta il timeout. Se il TCP accetta anche i segmenti fuori sequenza, solo il penultimo pacchetto viene ritrasmesso.

$$T_{tot} = T_{setup} + 8 RTT + 7 T + timeout + RTT = T_{setup} + 12 RTT + 7 T = 138 [ms]$$

(per ipotesi il timeout viene avviato all'inizio della trasmissione di ogni UI).

Esercizio 4.28

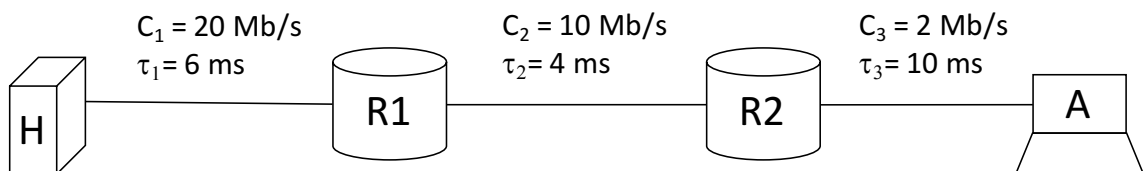
La connessione TCP tra l'host A e l'host H (riportata in figura) è caratterizzata dai seguenti parametri:

- lunghezze di header, ack e segmenti di apertura trascurabili;
- link bidirezionali simmetrici;
- MSS = 1250 Byte,;
- SSTHRESH = 10000 Byte.

a) Tenendo conto delle diverse velocità di trasmissione dei link in figura, si calcoli la lunghezza della finestra W_c (calcolata in numero di MSS) che permette la trasmissione continua.

b) Si calcoli il tempo necessario (dall'istante $t=0$ di inizio dell'apertura della connessione alla ricezione dell'ultimo ack da parte di A) per trasferire un file di 50 KByte da A a H, rappresentando chiaramente il trasferimento del file in un diagramma spazio/temporale (anche in modo sintetico).

c) Si ripeta il calcolo del tempo necessario per trasferire il file da A a H, assumendo che tutti i segmenti della quarta finestra vadano persi e il timeout corrispondente sia $T_{\text{timeout}}=100$ ms (si assuma che il conteggio del timeout inizi all'istante di invio del primo bit di ogni segmento e che i pacchetti fuori sequenza non vengano memorizzati).



Soluzione

$$MSS = 1250 \text{ Byte} = 10.000 \text{ bit} \quad SSTHRESH = 1000 \text{ Byte} = 8 \text{ MSS}$$

$$\text{File } F = 50 \text{ kByte} = 40 \text{ MSS}$$

$$T_l = 0,5 \text{ ms} \quad T_2 = 1 \text{ ms} \quad T_3 = 5 \text{ ms} \quad T_{\text{timeout}} = 100 \text{ ms}$$

$$RTT = 2T_l + 2T_2 + 2T_3 + 2\tau_l + 2\tau_2 + 2\tau_3 = 46,5 \text{ ms}$$

Il collo di bottiglia è rappresentato dal tratto più lento R2->A

a) $W_c = 10$ poiché $RTT / T_3 = 9,3$ trasmissione continua

$$b) \quad T_{\text{open}} = 2\tau_l + 2\tau_2 + 2\tau_3 = 40 \text{ ms}$$

$$T_{\text{tot}} = T_{\text{open}} + 5 RTT (1 - 2 - 4 - 8 - 9) + 15 T_3 + RTT = 395 \text{ ms}$$

Infatti File $F = 40 \text{ MSS}$

Apertura connessione: T_{open}

Slow start: (1) - (2) - (4) - (8): $4RTT$

Congestion avoidance: (9) + 16 MSS finali (continui) e riscontro -> quindi $RTT + 15T_3 + RTT$

d) Si perdono i pacchetti della quarta finestra, cioè 8,9,10,11,12,13,14 e 15. Finita la trasmissione degli 8 pacchetti della quarta finestra si attende l'ACK e trascorre tutto il time-

out. Scaduto il time-out si dimezza Ssthresh \rightarrow nuovo Ssthresh = $8MSS/2 = 4MSS$
e si riparte con la finestra dimensionata a 1MSS

Si hanno quindi 6RTT (per la trasmissione dei pacchetti 8-14 in modalità slow-start e dei pacchetti 15-32 in modalità congestion-avoidance) + 7T3 + RTT (per la trasmissione degli ultimi 8 pacchetti 33-40 + il riscontro)

$$\begin{aligned} T_{tot} &= \\ &= T_{open} + 3 RTT(1 - 2 - 4) + T_{timeout} + 6RTT(1 - 2 - 4 - 5 - 6 - 7) + 7 T3 + RTT = \\ &= 640 \text{ ms} \end{aligned}$$