

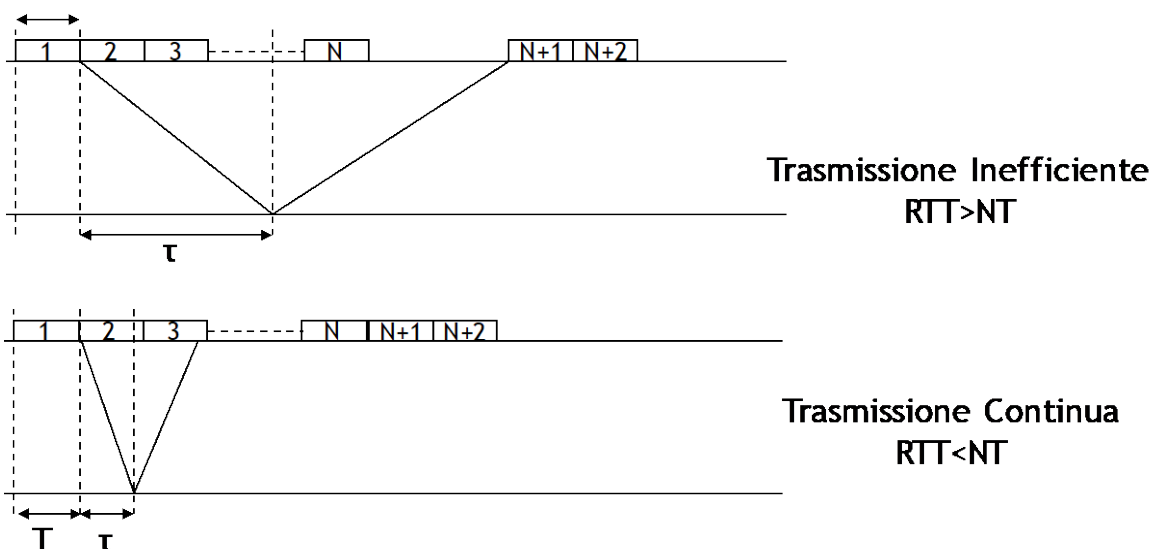
4 Strato di trasporto

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 soli riscontri positivi, ACK, no NACK) in modo che sia consentita la massima efficienza temporale del canale quando vengano trasmesse UI 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 UI N nella finestra deve essere tale che il loro tempo di trasmissione copra il tempo di andata e ritorno del primo pacchetto. Detti:

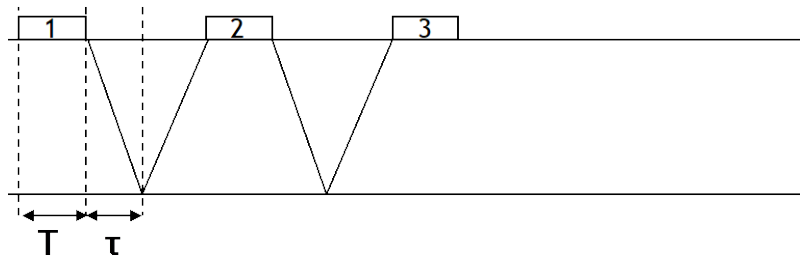
- $T = 2\text{ [ms]} = 2000\text{ [bit]} / 1\text{ [Mb/s]}$, il tempo di trasmissione di un pacchetto
- $t = 250\text{ [ms]}$, il tempo di propagazione

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

Esercizio 4.2

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

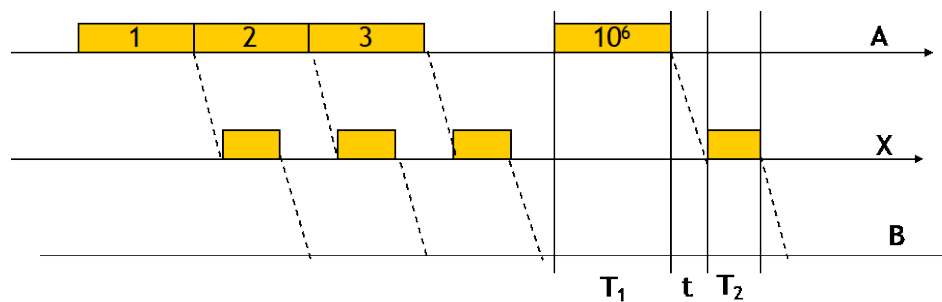
- 1) Le UI vengano trasmesse sulle linee alla velocità massima
- 2) Le UI vengano trasferite attraverso un meccanismo di ARQ *Stop and Wait* applicato end-to-end.
- 3) Le UI vengano trasferite attraverso un meccanismo di ARQ *Stop and Wait* applicato su ciascuno dei due collegamenti separatamente

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

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

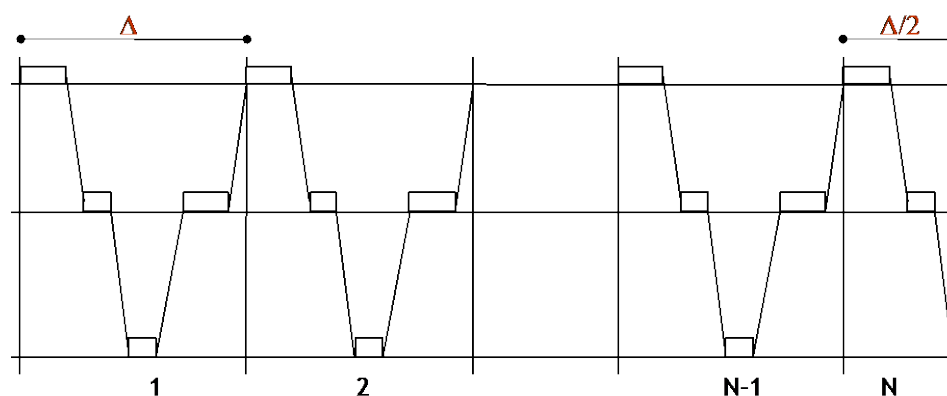
Il tempo di trasmissione sul primo link è $T_1 = 10000 \text{ [bit]} / 100 \text{ [Mbps]} = 100 \text{ } [\mu\text{s}]$, mentre sul secondo link è $T_2 = T_1/2 = 50 \text{ } [\mu\text{s}]$, infatti la velocità di trasmissione è doppia.

Caso 1



Il tempo totale di trasferimento è $T_{tot} = NT_1 + 2t + T_2 = 10^6 \cdot 100 \text{ } [\mu\text{s}] + 2 \cdot 500 \text{ } [\mu\text{s}] + 50 \text{ } [\mu\text{s}] = 100.00105 \text{ [s]}$

Caso 2



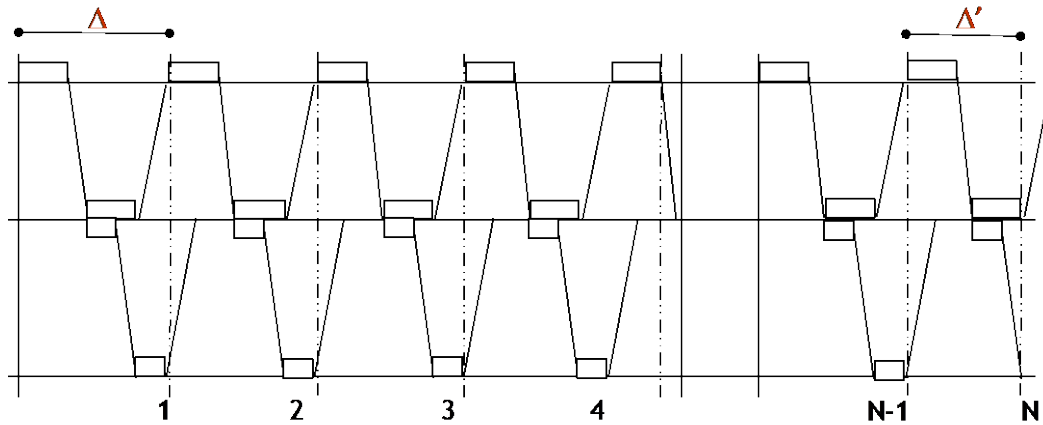
Il tempo fra due trasmissioni consecutive sul primo link è pari a $\Delta = T_1 + t + T_2 + t + T_2 + t + T_1 + t = 2T_1 + 2T_2 + 4t = 2.3 \text{ [ms]}$

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

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

Caso 3

Il tempo fra due trasmissioni consecutive sul primo link è pari a $D_1 = 2T_1 + 2t = 1.2 [ms]$, mentre il tempo fra due trasmissioni consecutive sul secondo link è pari a $D_2 = 2T_2 + 2t = 1.1 [ms]$. Dunque le UI 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, ed è anche arrivato il riscontro del primo pacchetto al nodo intermedio).



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

Il tempo totale di trasferimento è pari a

$$(N - 1)\Delta + \Delta' = (N - 1)D_1 + \Delta' = (N - 1)(2T_1 + 2t) + T_1 + T_2 + 2t = 1199.99995 s$$

Esercizio 4.3

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 $D = 480$ 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:

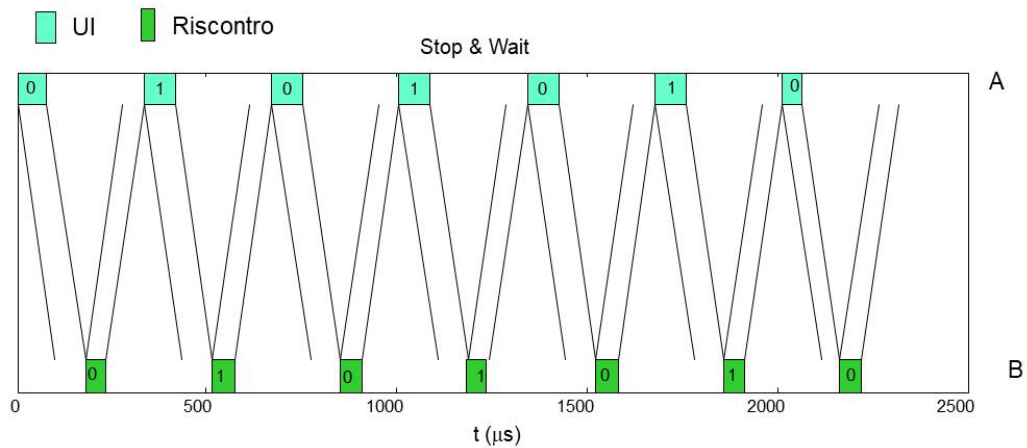
- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 7$ byte
- dimensione variabile delle UI dati, che dipende della dimensione dei dati trasportati, fino ad una lunghezza massima di UI $L_{fmax} = 80$ byte dei quali 7 byte rappresentano l'overhead di UI
- le UI informative utilizzate per trasferire da **A** a **B** 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* del collegamento $A \rightarrow B$ $THR_{S\&W}$, misurato in [bit/s], e quanto questo vale in percentuale rispetto alla capacità del canale $A \rightarrow B$ (efficienza $\eta_{S\&W}$).
- c) il *throughput dati di utente* (considerando solo il payload delle UI) 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 $\eta'_{S\&W}$).

a)-b)

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



- $T_{S\&W} = 6 (T_{fmax} + T_a + 2 \tau) + (T_{flast} + T_a + 2 \tau) = [6 (80 + 56 + 200) + (49 + 56 + 200)] \mu s = 2.321 \text{ ms}$
- $THR_{S\&W} = (6 L_{fmax} + L_{flast}) / T_{S\&W} = (529 \cdot 8 / 2.321) \text{ kbit/s} = 1.82 \text{ Mbit/s}$
- $\eta_{S\&W} = THR_{S\&W} / C = 1.82 / 8 = 0.2275 \Rightarrow \eta_{S\&W\%} = 22.75 \%$

c)

Considerando i soli dati d'utente si ha un throughput "effettivo" pari a:

- $THR'_{S\&W} = D / T_{S\&W} = (480 \cdot 8 / 2.321) \text{ kbit/s} = 1.66 \text{ Mbit/s}$
- $\eta'_{S\&W} = THR'_{S\&W} / C = 1.66 / 8 = 0.21 \Rightarrow \eta_{S\&W\%} = 21.00 \%$

Come noto, per la numerazione di UI e riscontri è sufficiente un bit

Esercizio 4.4

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 D 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

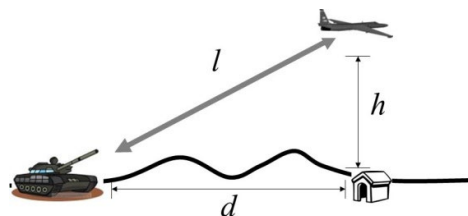
Le caratteristiche del protocollo *Stop&Wait* utilizzato per le trasmissioni sono le seguenti:

- dimensione fissa dei riscontri: $L_a = 48$ byte
- dimensione variabile delle UI informative, 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 D 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

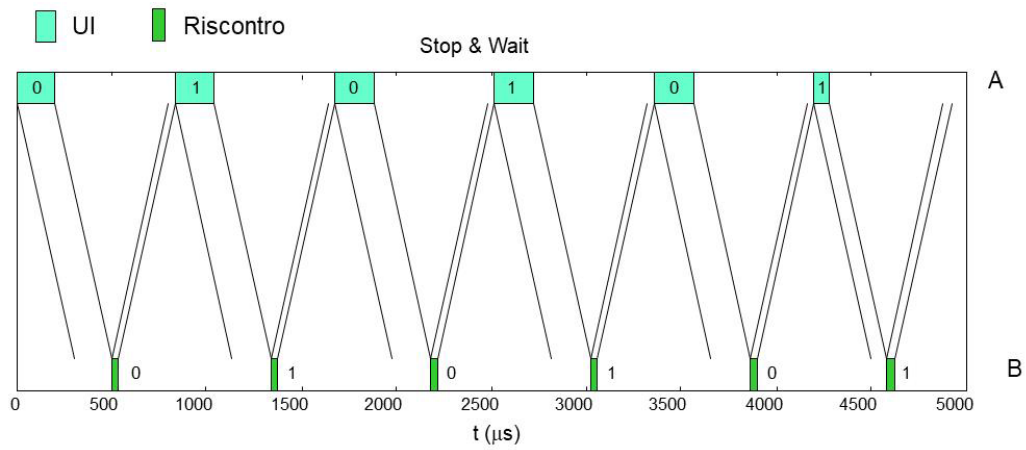
Se il protocollo è di tipo *stop-and-wait*, si calcoli in assenza di errori sul collegamento:

- 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* del collegamento $A \rightarrow B$ $THR_{S\&W}$, misurato in [bit/s], e quanto questo vale in percentuale rispetto alla capacità del canale $A \rightarrow B$ (efficienza $\eta_{S\&W}$).
- c) il *throughput dati di utente* (considerando solo il payload delle UI) 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 $\eta'_{S\&W}$).

a)-b)



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



- $T_{S\&W} = 5 (T_{fmax} + T_a + 2 \tau) + (T_{flast} + T_a + 2 \tau)$
- $THR_{S\&W} = (5 L_{fmax} + L_{flast}) / T_{S\&W}$

c)

Considerando i soli dati d'utente si ha un throughput "effettivo" pari a:

- $THR'_{S\&W} = D / T_{S\&W}$
- $\eta'_{S\&W} = THR'_{S\&W} / C$

Esercizio 4.5

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

Il rack A trasferisce un file a B utilizzando un protocollo di tipo *go-back-n*, con ampiezza della finestra di trasmissione $W_s = 4$ UI, timeout $T_O = 3$ s.

Il file inviato da A è costituito da 8 UI in totale, di cui le prime 7 di dimensione $L_{fmax} = 60$ byte, e l'ultima di dimensione $L_{flast} = 35$ byte. Gli ACK inviati da B ad A sono invece tutti di dimensione $L_a = 10$ byte.

Si consideri trascurabile il tempo di elaborazione di una UI o di un riscontro ed una numerazione delle UI non vincolante ($N=\infty$).

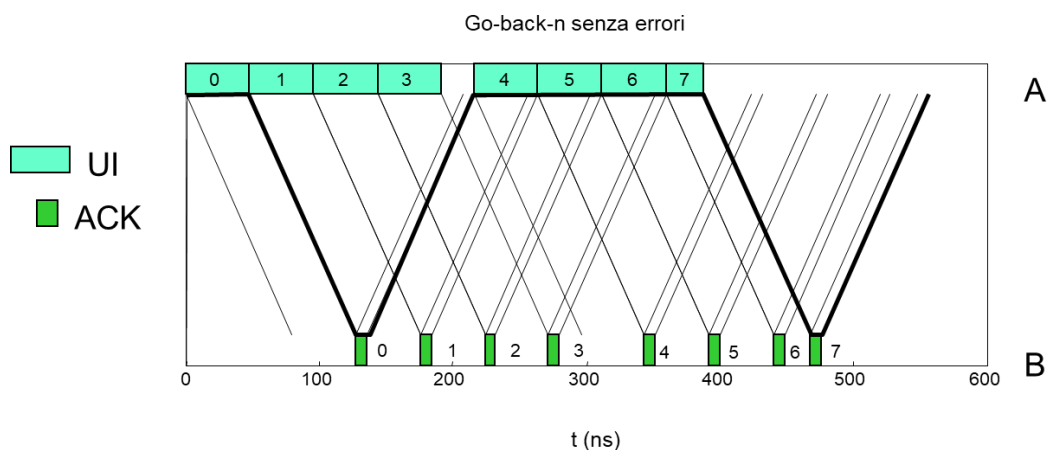
Dopo aver rappresentato lo scambio di UI su un diagramma temporale, indicando per ogni UI (sia da A a B che da B ad A) il relativo valore di numerazione, si calcolino, in assenza di errori sul collegamento, i seguenti parametri:

- 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* della connessione THR_{GBN} , 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} per la trasmissione delle 8 UI in esame.

- Ritardo di propagazione in fibra $= \tau_U \cong 5 \mu s/km = 5 ns/m$
- $d = 16 m \Rightarrow \tau = d \cdot \tau_U = 80 ns$
- $L_{fmax} = (60 \cdot 8) bit = 480 bit$
- $L_{flast} = 35 byte = 280 bit$
- $L_a = 10 byte = 80 bit$
- $C = 10 Gbit/s$
- $T_{fmax} = L_{fmax} / C = 48 ns$; $T_{flast} = L_{flast} / C = 28 ns$;
- $T_a = L_a / C = 8 ns$

a)-b)

- $W_s \cdot T_{fmax} = 192 ns < T_{fmax} + T_a + 2 \tau = 216 ns \rightarrow$ la finestra "strozza"

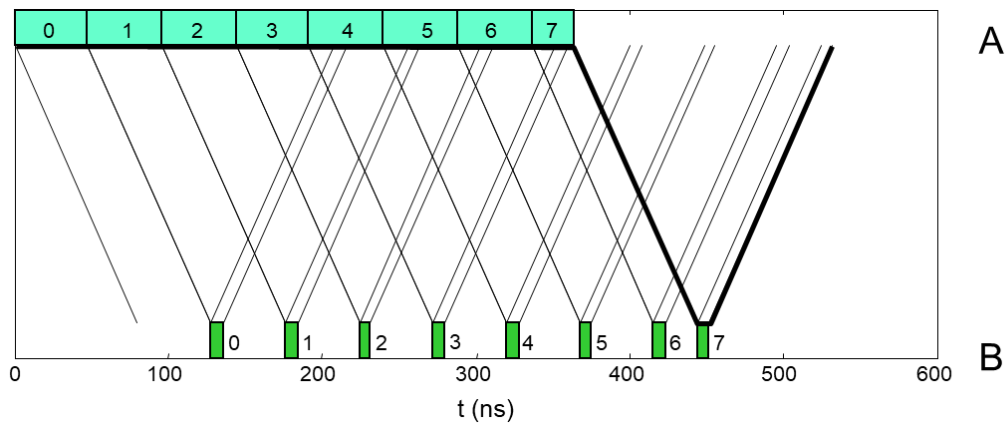


- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 3T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau = 4T_{fmax} + T_{flast} + 2T_a + 4\tau = 556 ns$

- $\text{THR}_{\text{GBN}} = (7 L_{\text{fmax}} + L_{\text{flast}}) / T_{\text{GBN}} = (455 \cdot 8 / 556) \text{ Gbit/s} = 6.55 \text{ Gbit/s}$
- $\eta_{\text{GBN}} = \text{THR}_{\text{GBN}} / C = 6.55 / 10 = 0.655$

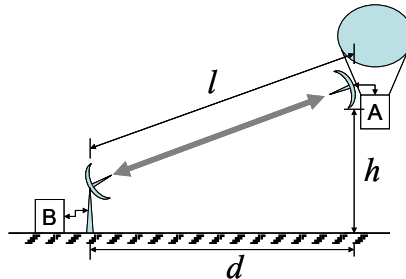
c)

- Per avere la massima efficienza occorre che la finestra di trasmissione non “strozzi”:
 $W'_s = \min \{W_s\} \mid W_s \cdot T_{\text{fmax}} > T_{\text{fmax}} + T_a + 2 \tau = 216 \text{ ns}$
- $\Rightarrow W'_s = \lceil (T_{\text{fmax}} + T_a + 2 \tau) / T_{\text{fmax}} \rceil = \lceil 216 / 48 \rceil = 5$
- $T'_{\text{GB}} = 7 T_{\text{fmax}} + T_{\text{flast}} + T_a + 2 \tau = 532 \text{ ns}$
- $\text{THR}'_{\text{GB}} = (455 \cdot 8 / 532) \text{ Gbit/s} = 6.84 \text{ Gbit/s}$
- $\eta'_{\text{max}} = \text{THR}'_{\text{GBN}} / C = 6.84 / 10 = 0.684$



Esercizio 4.6

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 $B \rightarrow A$.

A trasferisce un file a B utilizzando un protocollo di tipo *go-back-n*, con ampiezza della finestra di trasmissione $W_s = 4$ UI, timeout $T_O = 150$ μ s.

Il file inviato da A è costituito da 8 UI in totale, di cui le prime 7 di dimensione $L_{fmax} = 56$ byte, e l'ultima di dimensione $L_{flast} = 22$ byte. Gli ACK/NACK inviati da B ad A sono invece tutti di dimensione $L_a = 8$ byte.

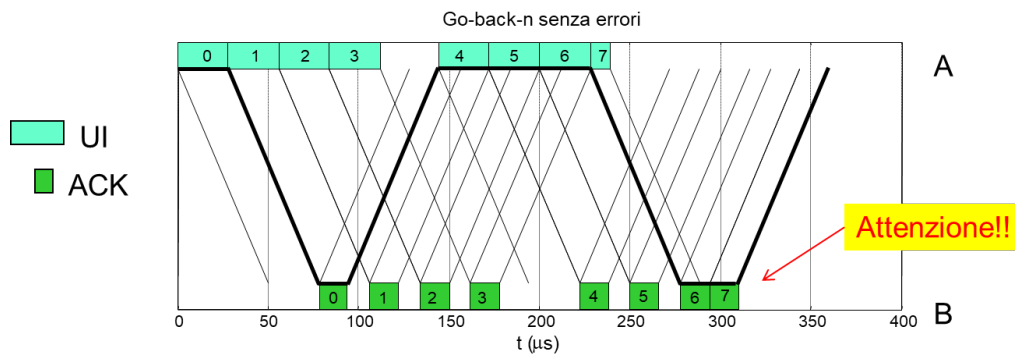
Si consideri trascurabile il tempo di elaborazione di una UI o di un riscontro ed una numerazione delle UI non vincolante ($N=\infty$).

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* della connessione THR_{GBN} , misurato in [bit/s].

-
- Velocità propagazione \cong velocità luce vuoto $= v \cong 300000$ km/s
 - $l = (h^2 + d^2)^{1/2} = (81 + 144)^{1/2}$ km = 15 km
 - $\tau = l / v = (15 / 3 \cdot 10^5)$ s = 50 μ s
 - $L_{fmax} = (56 \cdot 8)$ bit = 448 bit
 - $L_{flast} = (14 + 8)$ byte = 176 bit
 - $L_a = 8$ byte = 64 bit
 - $C_u = 4$ Mbit/s; $C_d = 16$ Mbit/s
 - $T_{fmax} = L_{fmax} / C_d = 28$ μ s; $T_{flast} = L_{flast} / C_d = 11$ μ s;
 - $T_a = L_a / C_u = 16$ μ s
 - $W_s \cdot T_{fmax} = 112$ μ s $< T_{fmax} + T_a + 2 \tau = 144$ μ s \rightarrow la finestra "strozza"

Go-back-n senza errori

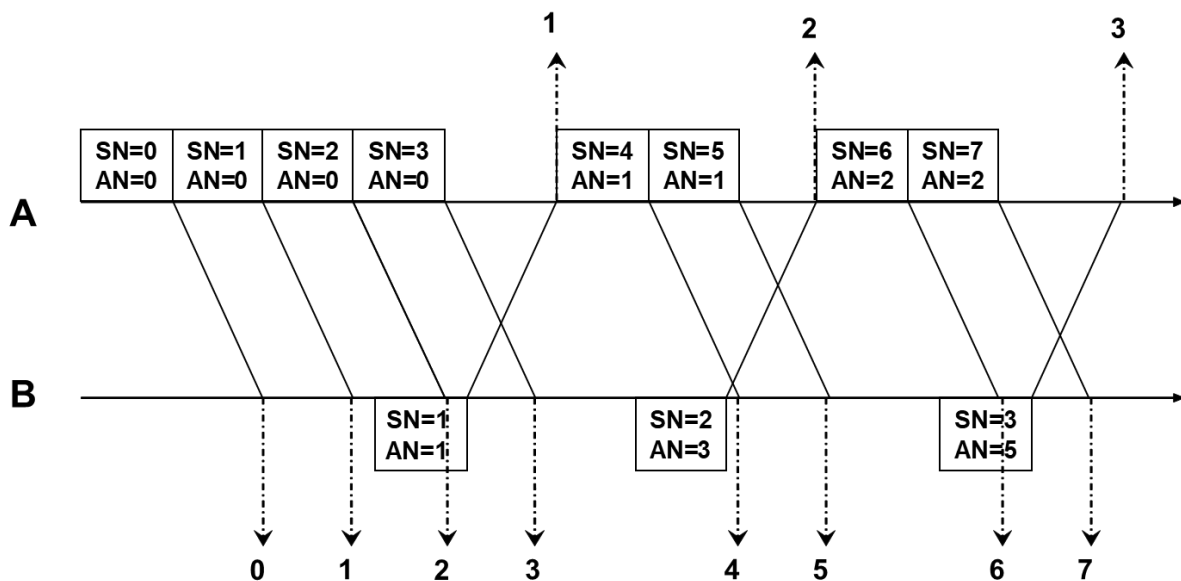
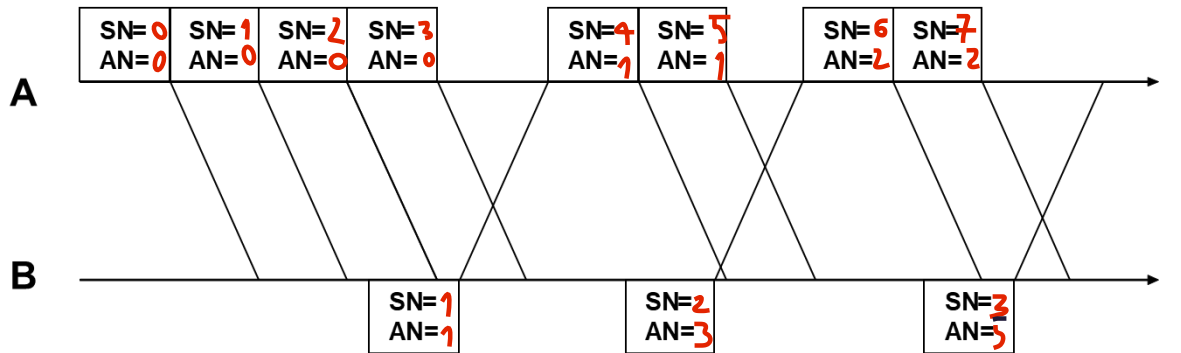


- Si nota una particolarità: la UI numero 7 viene interamente ricevuta da B prima che B abbia finito di trasmettere il riscontro della trama precedente (la 6). Dunque il riscontro della UI numero 7 viene trasmesso da B non appena terminata la trasmissione del riscontro della UI numero 6.
- $T_{GBN} = T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + 3 T_{fmax} + \tau + 2T_a + \tau = 4T_{fmax} + 3T_a + 4\tau = 360 \mu s$
- $THR_{GBN} = (7 L_{fmax} + L_{flast}) / T_{GBN} = (414 \cdot 8 / 360) \text{ Mbit/s} = 9.2 \text{ Mbit/s}$
- $\eta_{GBN} = THR_{GBN} / C_d = 9.2 / 16 = 0.575$

Esercizio 4.7

Si consideri lo scambio di dati bidirezionale in figura tra due utenti A e B che usano il protocollo Go-BACK-N con finestra di trasmissione di dimensione $W_s = 4$. In figura non si è verificato alcun errore di trasmissione. Assumendo che il protocollo sia con soli riscontri positivi (AN e SN, quindi senza NACK esplicito), si completi la figura in accordo alle regole del protocollo.

N.B. Il significato di “AN=i” sia quello di un riscontro positivo sul pacchetto i-esimo già ricevuto.

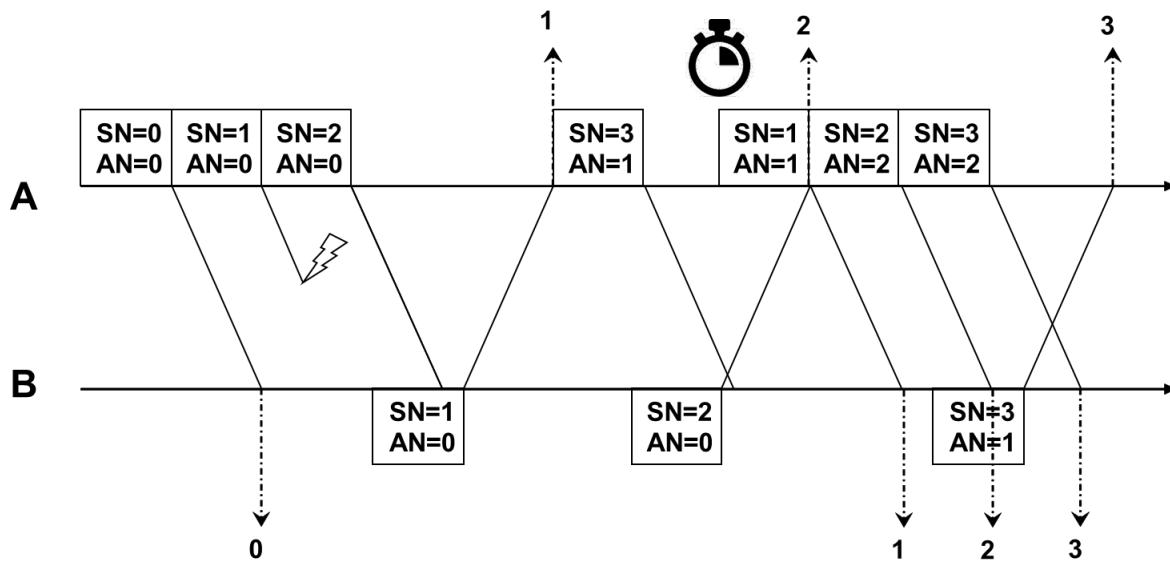
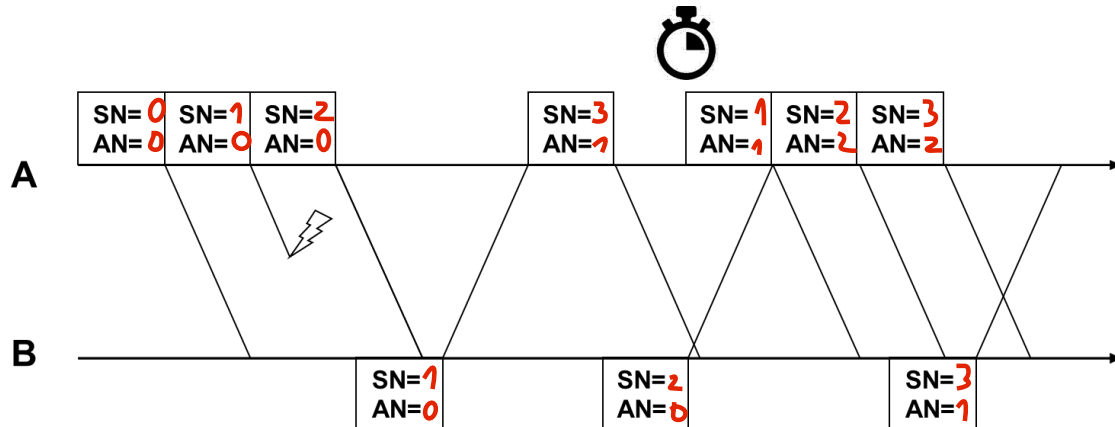


Si noti che il primo SN emesso da B è SN=1, in quanto B ha già ricevuto da A i riscontri sul pacchetto “0” (AN=0).

Esercizio 4.8

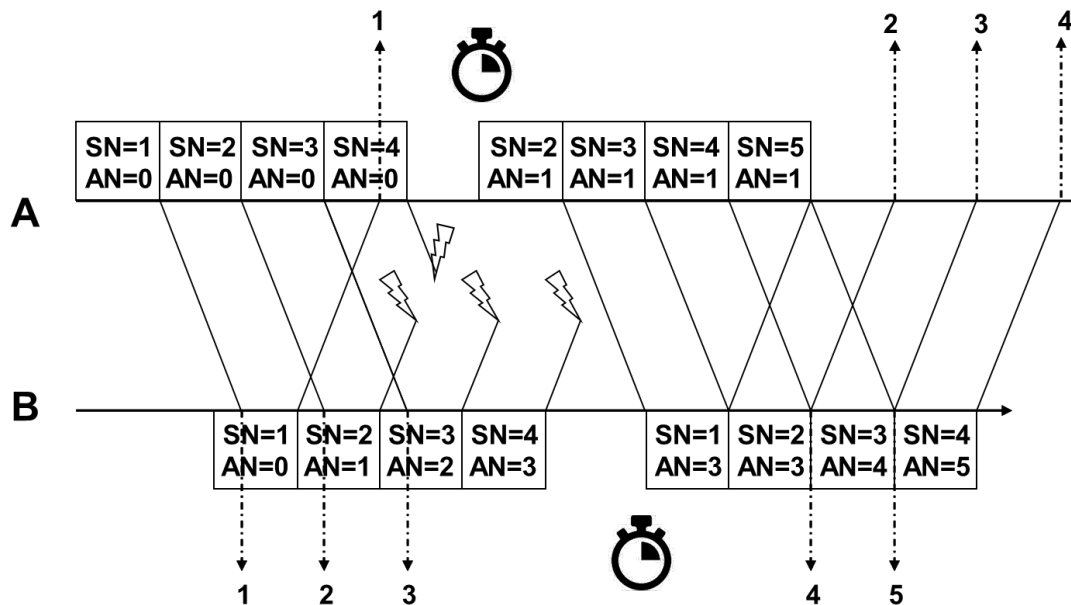
Si consideri lo scambio di dati bidirezionale in figura tra due utenti A e B che usano il protocollo Go-BACK-N con finestra di trasmissione di dimension $W_s = 3$. In figura è mostrato un errore di trasmissione che colpisce il secondo pacchetto trasmesso da A, e la scadenza di un timeout in A. Assumendo che il protocollo sia con soli riscontri positivi (AN e SN, quindi senza NACK esplicito), si completi la figura in accordo alle regole del protocollo.

N.B. Il significato di “AN=i” sia quello di un riscontro positivo sul pacchetto i-esimo già ricevuto.

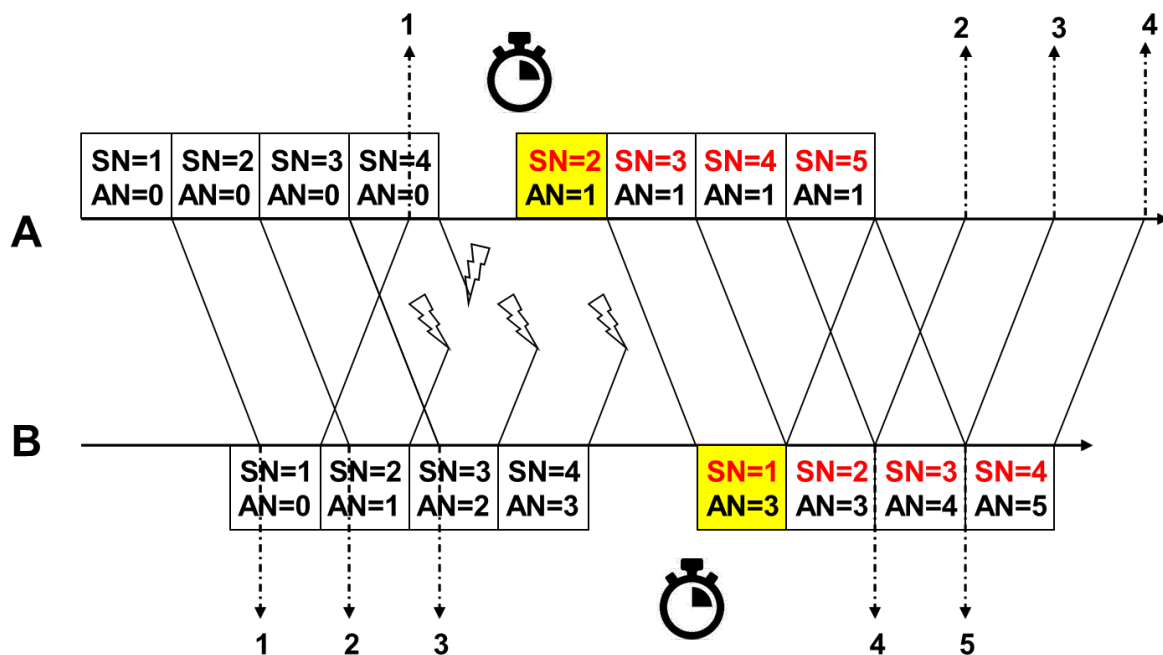


Si consideri lo scambio di dati bidirezionale in figura tra due utenti A e B che usano il protocollo Go-BACK-N con finestra di trasmissione di dimension $W_s = 4$. In figura sono mostrati degli errori di trasmissione e la scadenza di due timeout (uno in A e uno in B). Assumendo che il protocollo sia con soli riscontri positivi (AN e SN, quindi senza NACK esplicito), si indichi se l'esempio mostra una inconsistenza rispetto alle regole del protocollo. Si motivi la risposta.

N.B. Il significato di “AN=i” sia quello di un riscontro positivo sul pacchetto i-esimo già ricevuto.

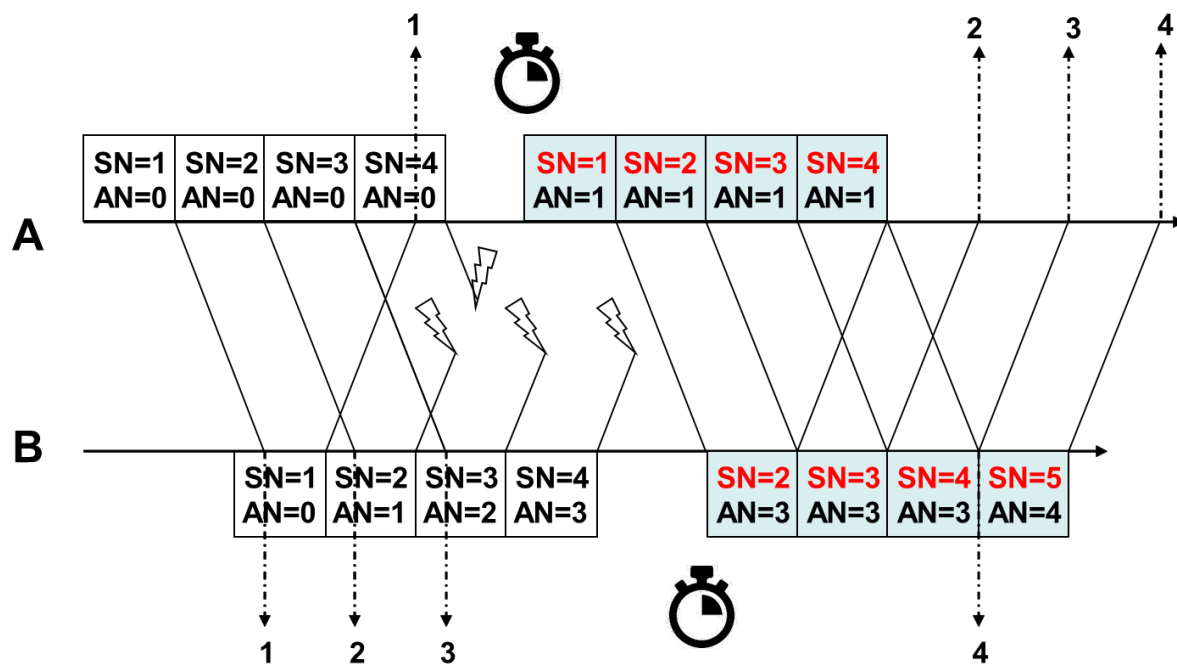


1) Una prima inconsistenza è dovuta al pacchetto evidenziato e trasmesso da A. Il timeout è scaduto per il pacchetto trasmesso da A e con SN=1, in quanto A non ha mai ricevuto da B il relativo riscontro (AN=1), nè ha ricevuto riscontri successivi. Pertanto la ritrasmissione avviene a partire dal pacchetto con SN=1.



2) Una seconda inconsistenza sta nel pacchetto evidenziato e trasmesso da B. Nella figura si vede che “contemporaneamente” B vede scadere un timeout e riceve da A un pacchetto con AN=1. Pertanto, il timeout non può essere riferito al pacchetto inviato da B con SN=1 (appena riscontrato). Di conseguenza, il timeout non può che essere riferito al successivo pacchetto inviato, ovvero quello con SN=2, pertanto B dovrebbe effettuare ritrasmissione a partire da SN=2 e quindi anche nei pacchetti successivi dovrebbero essere inviati dei SN diversi.

Un esempio consistente sarebbe come nel seguito



Esercizio 4.10

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

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

Passi:

- somma (Sum);
- riporto al bit meno significativo (SwC);
- complemento a 1 (Checksum)

	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

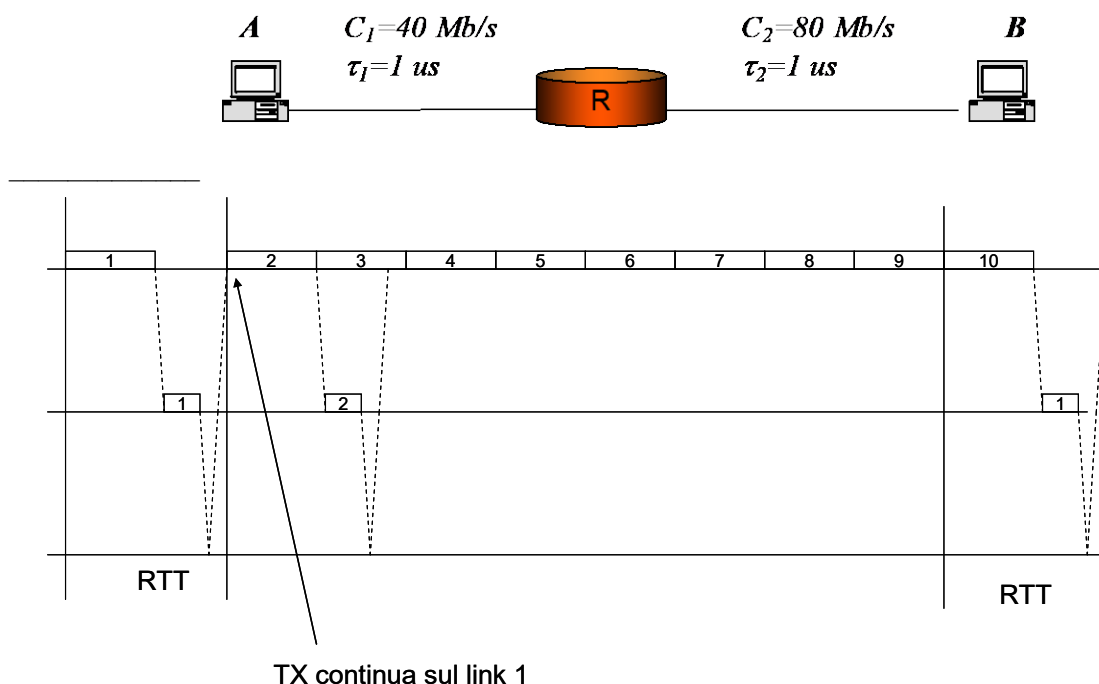
Sum	1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	1 0
SwC	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
Checksum	1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1

Esercizio 4.11

Si consideri la rete in figura in cui tra l'host A e l'host B sia appena stata 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
- $RWND = 4000 \text{ byte}$ e $SSTHRESH = 400 \text{ byte}$
- dimensione segmenti $MSS = 100 \text{ byte}$
- dimensione ACK trascurabile

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



La trasmissione è continua sul link 1 non appena l'ampiezza della finestra di trasmissione W soddisfa la seguente relazione: $WT_1 \geq RTT$, quindi $W \geq RTT/T_1$

Quindi:

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

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

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

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

Il file è composto da $1000/100 = 10 \text{ MSS}$

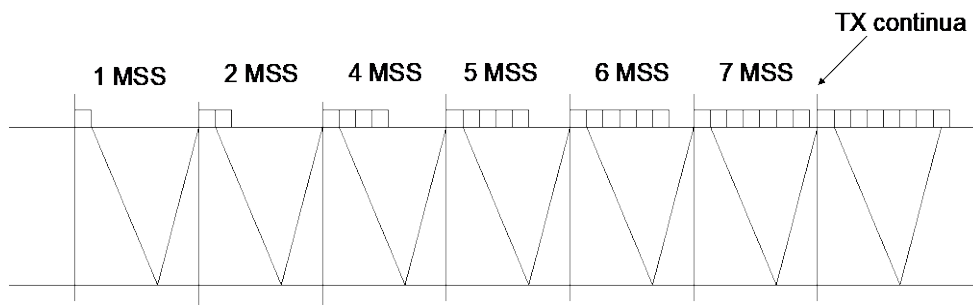
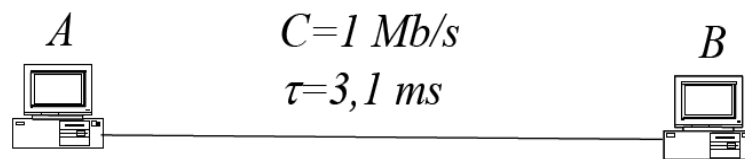
Dunque il tempo totale di trasferimento è:

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

Esercizio 4.12

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 a trasmettere l'intera sequenza (dall'istante di invio del messaggio di apertura connessione fino alla ricezione dell'ultimo riscontro). Si supponga che:

- $MSS = 1000 [bit]$
- la lunghezza degli header di tutti i livelli sia 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 4 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:

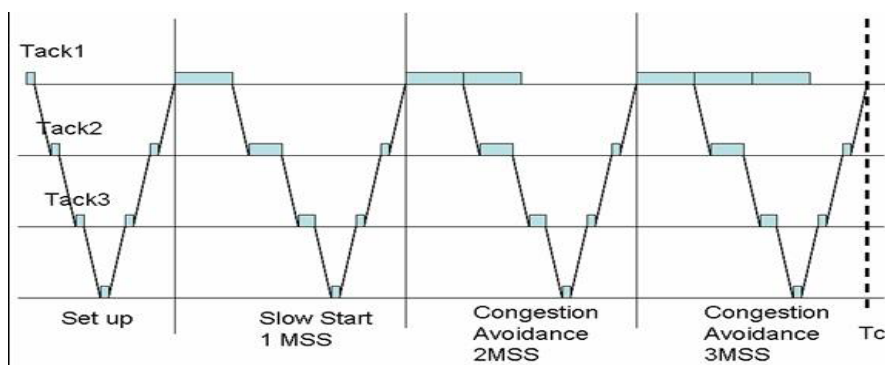
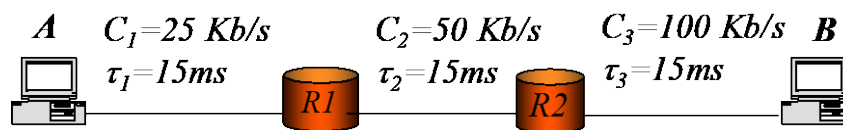
$$2 \tau (\text{setup connessione}) + 6 RTT (\text{Primi 25 MSS}) + 75 T (75 \text{ MSS in trasmissione continua}) + 2 \tau (\text{ritorno ACK dell'ultimo MSS}) = 130.6 [ms]$$

Esercizio 4.13

All'istante 0 viene l'host A invia una richiesta di apertura connessione TCP all'host B per inviare dei segmenti TCP. Si calcoli l'istante di tempo oltre il quale la trasmissione sul link 1 risulta continua, supponendo

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

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)?



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

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

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

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

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

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

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

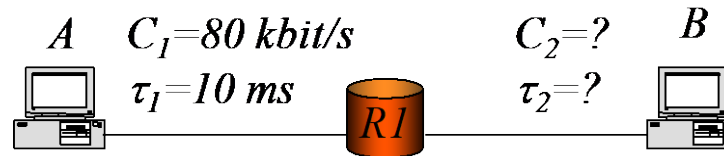
$$Tc = T_{setup} + 3 RTT = 112.4 [ms] + 639.6 [ms] = 752 [ms]$$

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

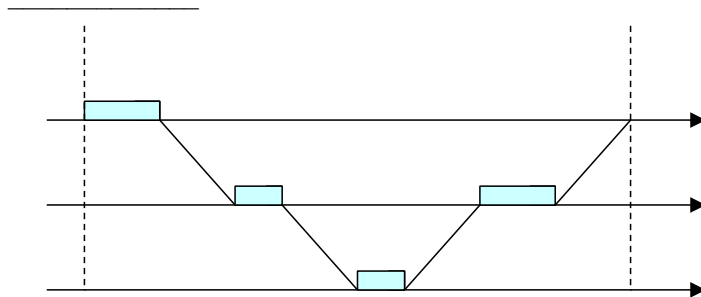
$$T_{tot} = T_{setup} + 4 RTT + 3 T_1 = 1.15 [s]$$

Esercizio 4.14

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

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

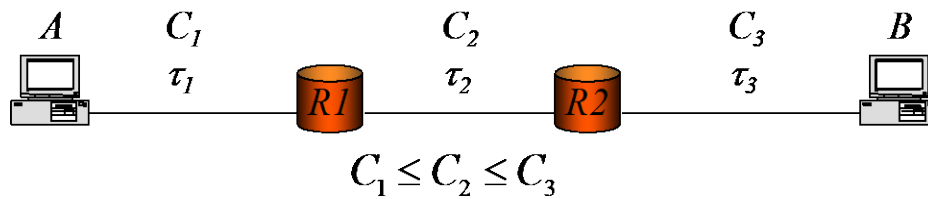
$$810 = \frac{24000}{C_2} + 2 \left(280 - \frac{8000}{C_2} \right) = \frac{8000}{C_2} + 560;$$

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

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

Esercizio 4.15

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:

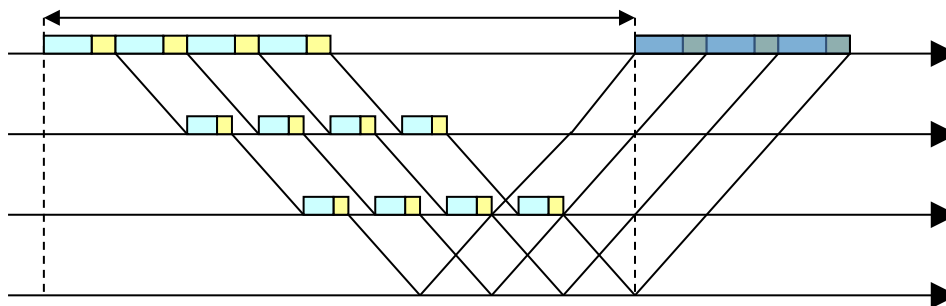
- RWND sia minore della CWND e pari a 4 segmenti.
- Assenza di errori
- Lunghezza degli ACK trascurabile

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?

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

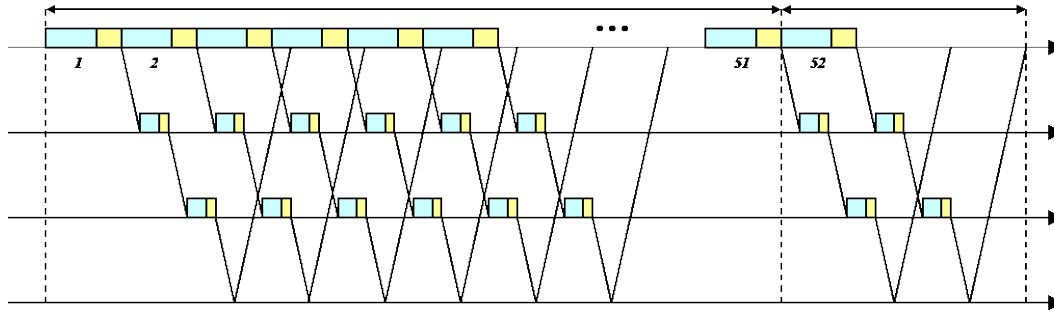
$$RTT = \frac{L}{C_1} + 2\tau_1 + \frac{L}{C_2} + 2\tau_2 + \frac{L}{C_3} + 2\tau_3$$



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



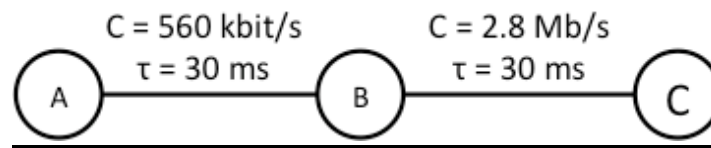
$$T_{\text{tot}} = 51 \frac{L}{C_1} + \text{RTT}$$

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:

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

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

Esercizio 4.16



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 = Lunghezza segmenti per apertura connessione TCP, $L_A = 350 \text{ byte}$ (inclusi tutti gli header)
- $SSTHRESH = 60000 \text{ [byte]}$, $RWND$ 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 all'istante 882 ms nella sorgente A si riceva (dal ricevitore C) un aggiornamento del campo *window* e si imposti di conseguenza $RWND = 6000 \text{ byte}$.

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

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

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

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

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

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

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

Abbiamo dunque

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

La trasmissione è continua quando

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

ovvero, la trasmissione diventa continua dopo 3RTT dall'apertura della connessione TCP.

Considerando il tempo di setup

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

L'istante in cui la trasmissione è continua

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

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

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

Dunque il tempo totale è

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

Punto 3

$$RWND = 6000 \text{ [byte]} / 1200 \text{ [byte]} = 5 \text{ MSS}$$

Poiché $RTT=7.5 T_1$, non appena si riceve la notifica che impone di settare $W=5$, la trasmissione sarà bloccata per un tempo pari a $(7.5-5) T_1$ (si veda la figura).

Quindi il tempo totale necessario a trasmettere l'intera sequenza di segmenti è

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

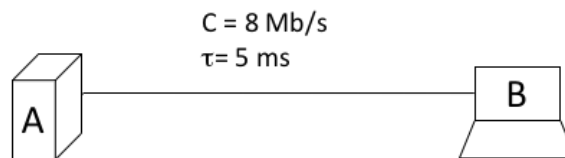
Esercizio 4.17 (I)

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

- Lunghezze di *header*, *ack* e segmenti di apertura connessione TCP trascurabili;
- *link* bidirezionali;
- $RWND = 16 \text{ MSS}$
- $SSTHRESH = 8 \text{ MSS}$
- $MSS = 1 \text{ kbyte}$
- Ritardo di propagazione, $\tau = 5 \text{ ms}$
- Valore iniziale del *Time-Out* = 3 s (si ipotizza che il timeout sia avviato da A all'inizio della trasmissione di ciascun pacchetto)

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 (dall'apertura della connessione fino alla ricezione dell'ultimo riscontro);
- Ipotizzando che l'ultimo segmento in trasmissione venga perso, ripetere il punto b)



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

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

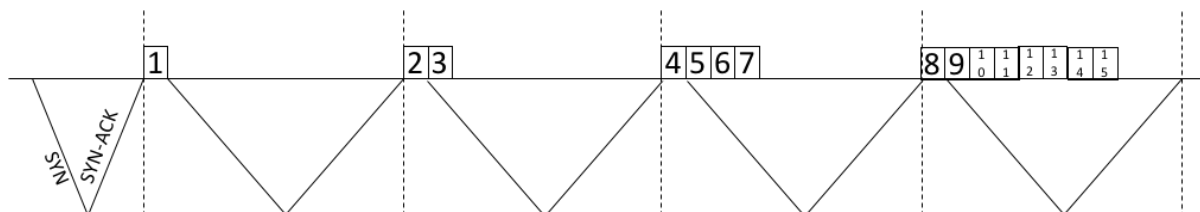
$$\text{Finestra tx continua: } W_c = \frac{RTT}{T} = 11 \text{ MSS}$$

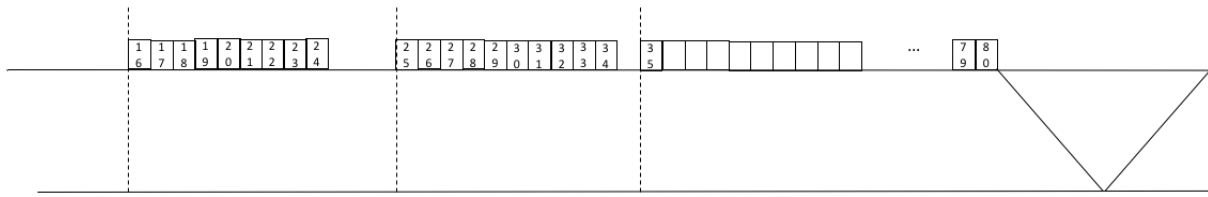
a)

- Apertura connessione: 2τ
- Slow start: $(1) \rightarrow (2) \rightarrow (4) \rightarrow (8)$: $3RTT$
- Congestion avoidance: $(8) \rightarrow (9) \rightarrow (10) \rightarrow (11)$: $3RTT$

Poi trasmissione continua

$$T_{\text{continua}} = 2\tau + 6RTT = 76 \text{ [ms]}$$





b)

File = 80 MSS

- Apertura connessione: 2τ
- Slow start: (1) \rightarrow (2) \rightarrow (4) \rightarrow (8): $3RTT$
- Congestion avoidance: (8) \rightarrow (9) \rightarrow (10) \rightarrow (11): $3RTT$

In totale 34 segmenti

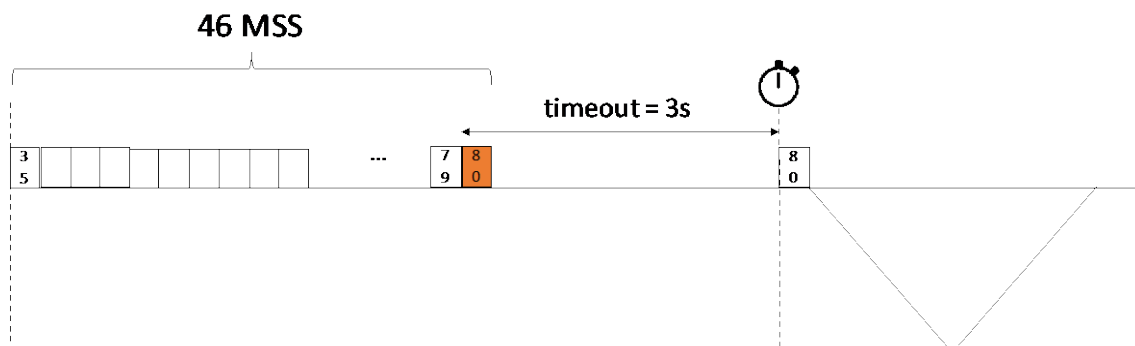
- Trasmissione continua dei restanti 46 segmenti: $46T + 2\tau$

Tempo totale:

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

c)

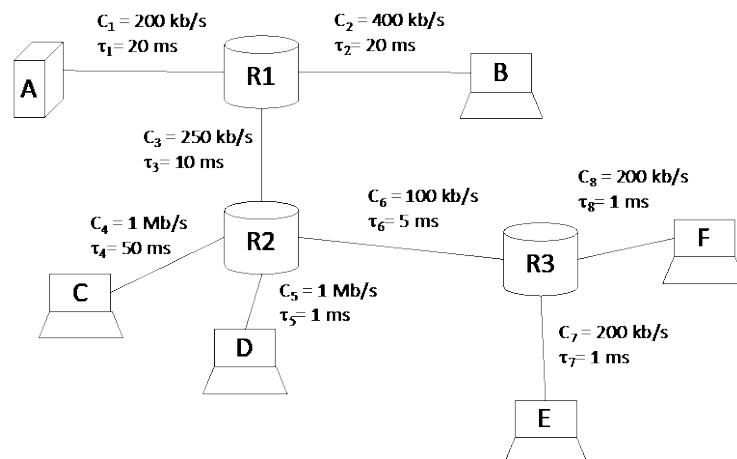
L'ultimo segmento viene ritrasmesso dopo lo scadere del timeout.



e quindi

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

Esercizio 4.18 (I)



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, $L_{ACK} = 250 \text{ byte}$
- $RWND = 1000 \text{ byte}$, $SSTHRESH = 1600 \text{ byte}$

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

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

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

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

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

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

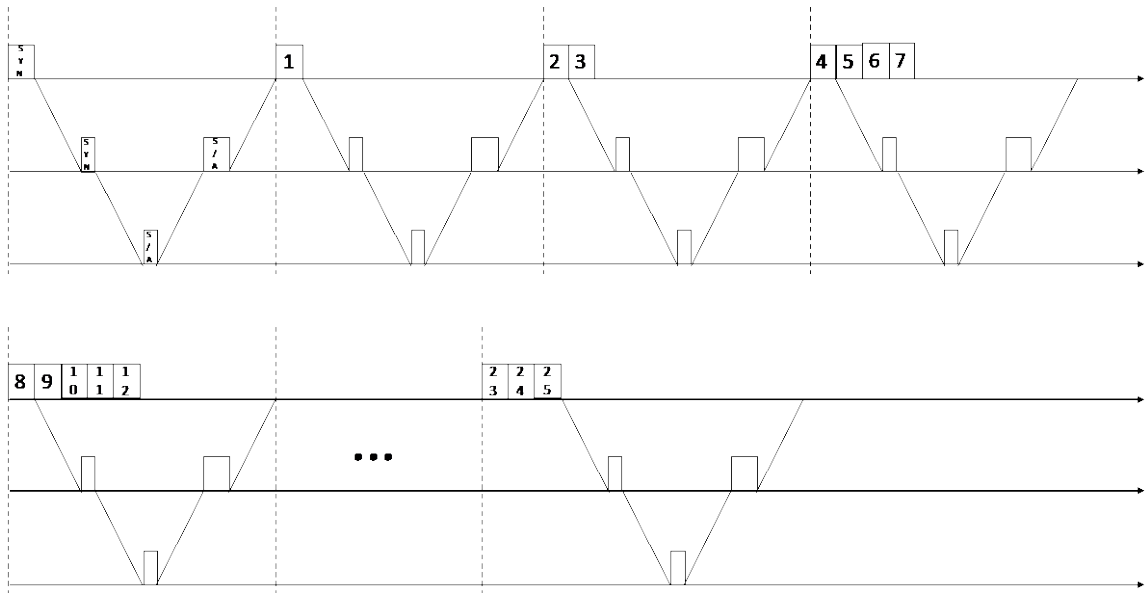
$$T_2 = \frac{L}{C_2} = 250 \cdot 8 / 400000 = 5 \text{ ms}$$

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

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

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

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



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 RWND a 5MSS. Quindi, una volta raggiunto tale valore, la finestra non aumenterà. Inoltre, dato che $Wc > RWND$, 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:

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

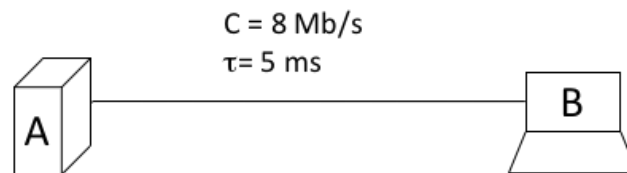
Esercizio 4.19 (E)

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

- Lunghezze di *header* e *ack* trascurabili;
- *link* bidirezionali;
- $RWND = 9 MSS$
- $SSTHRESH = 8 MSS$
- $MSS = 1 [kbyte]$
- Ritardo di propagazione, $\tau = 5 [ms]$
- Valore del *Time-Out* = $2RTT$ (si ipotizza che il timeout venga avviato da A all'inizio della trasmissione di ciascun pacchetto).

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)



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 $RWND$ 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)

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

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

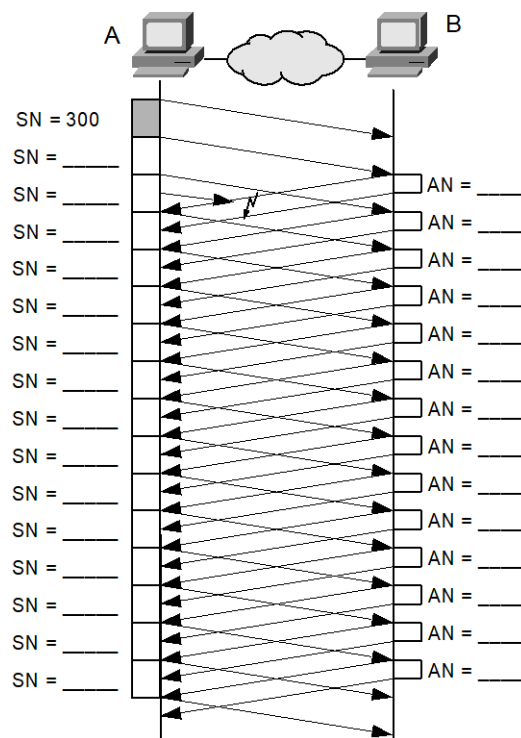
Esercizio 4.20

Si consideri il caso di due terminali A e B che si scambiano dati tramite protocollo TCP. Si ipotizza che la connessione TCP sia già in atto. La trasmissione dei dati è in questo caso unidirezionale, da A verso B, con segmenti dati di lunghezza costante $MSS=300$. B invia riscontri ad A con segmenti privi di campo informativo. Si ipotizza

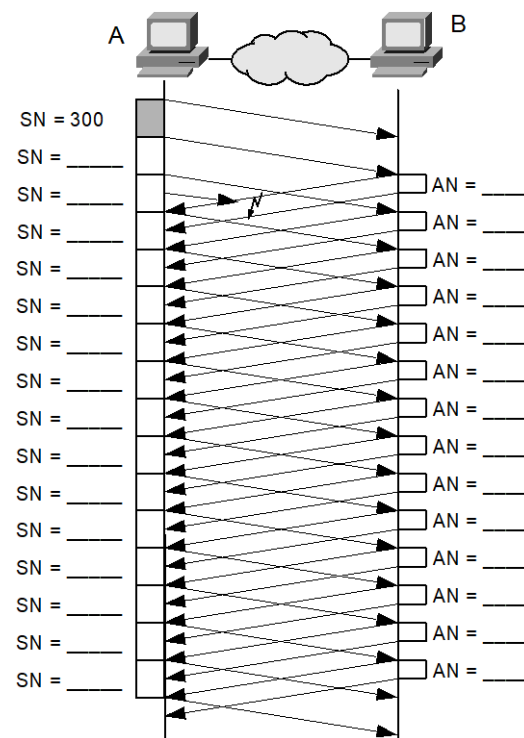
1. Ampiezza della finestra di ricezione in B: $W_B = 1200$
2. Timeout di ritrasmissione: $T_O = 8T_t$ (T_t è il tempo di trasmissione di un segmento informativo da A a B). Si assuma che il timeout per un segmento venga avviato **alla fine** della sua trasmissione.
3. Numero di sequenza del primo segmento da A a B: $SN_A = 300$.

Si chiede di scrivere il numero di sequenza SN_A e il numero di riscontro AN_B dei segmenti emessi da A e B, rispettivamente, per tutti i segmenti che vengono inviati secondo il protocollo TCP base (disegno sulla sinistra) e secondo il protocollo TCP con Fast retransmit (disegno sulla destra). Si ipotizza che il terzo segmento trasmesso da A non venga ricevuto da B. Per ogni segmento inviato riempire in nero (o blu) il rispettivo rettangolo, indicando il valore di SN_A per un segmento dati e di AN_B per un segmento di riscontro. Se un segmento di quelli disegnati non viene inviato secondo il funzionamento del protocollo TCP adottato, lasciare il segmento senza riempimento e omettere di scrivere il valore di SN_A e di AN_B .

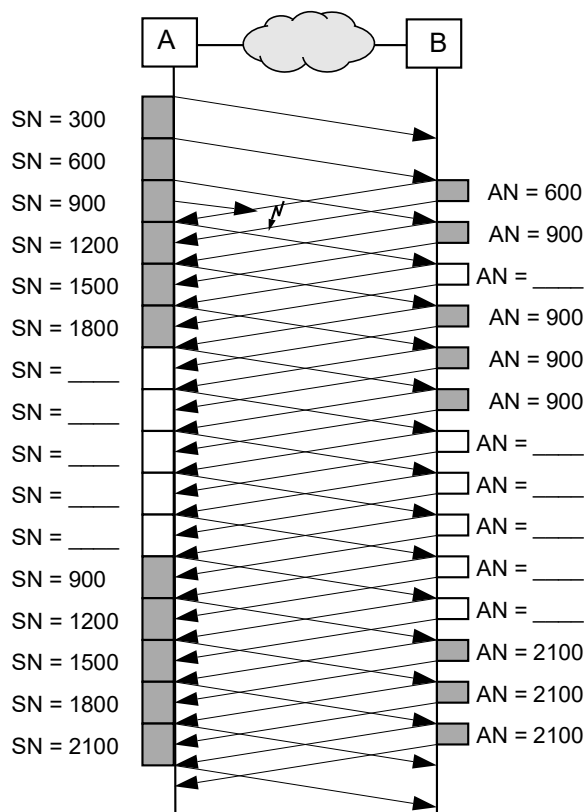
N.B. Il significato di “AN=i” sia quello di “i è il prossimo byte atteso” (come effettivamente accade in TCP).



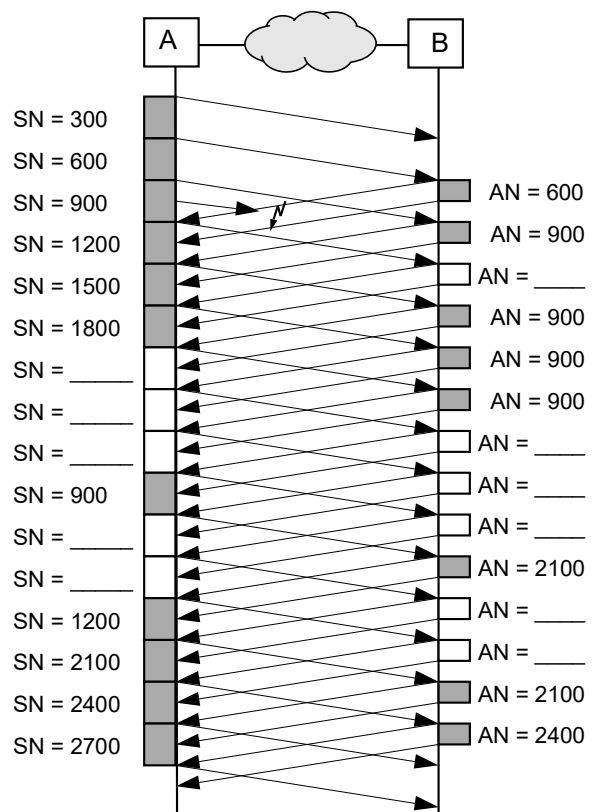
Basic TCP



TCP with Fast retransmit



Basic TCP



TCP with Fast retransmit

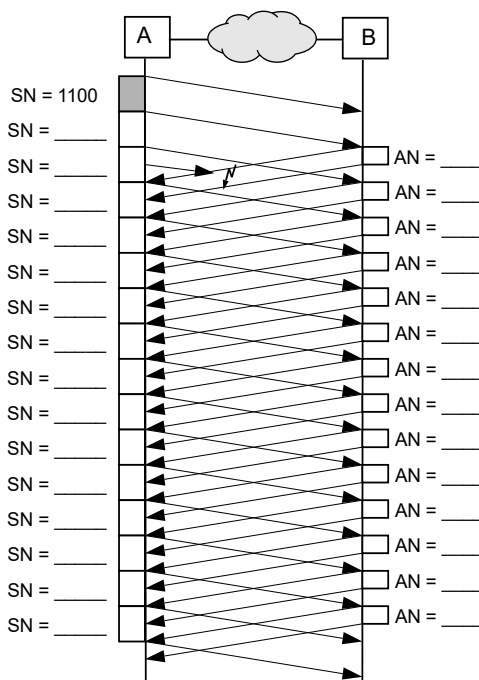
Esercizio 4.21

Si consideri il caso di due terminali A e B che si scambiano dati tramite protocollo TCP. Si ipotizza che la connessione TCP sia già in atto. La trasmissione dei dati è in questo caso unidirezionale, da A verso B, con segmenti dati di lunghezza costante $MSS = 400$. B invia riscontri ad A con segmenti privi di campo informativo. Si ipotizza

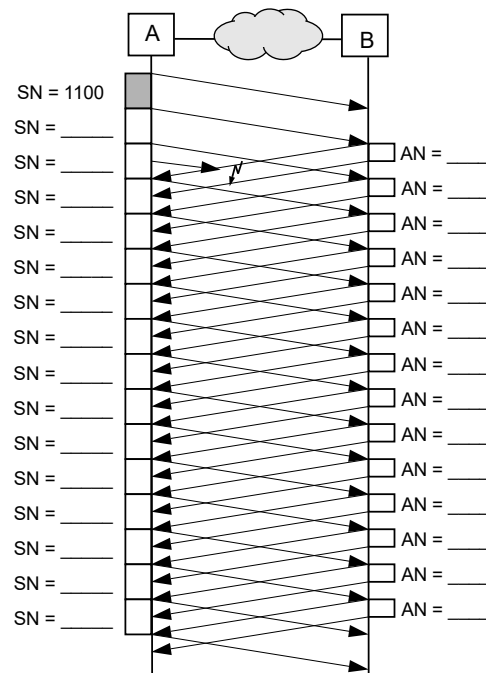
1. Ampiezza della finestra di ricezione in B: $W_B = 1600$
2. Timeout di ritrasmissione: $T_O = 7T_t$ (T_t è il tempo di trasmissione di un segmento informativo da A a B). Si assuma che il timeout per un segmento venga avviato **alla fine** della sua trasmissione.
3. Numero di sequenza del primo segmento da A a B: $SN_A = 1100$.

Si chiede di scrivere il numero di sequenza SN_A e il numero di riscontro AN_B dei segmenti emessi da A e B, rispettivamente, per tutti i segmenti che vengono inviati secondo il protocollo TCP base (disegno sulla sinistra) e secondo il protocollo TCP con Fast retransmit (disegno sulla destra). Si ipotizza che il terzo segmento trasmesso da A non venga ricevuto da B. Per ogni segmento inviato riempire in nero (o blu) il rispettivo rettangolo, indicando il valore di SN_A per un segmento dati e di AN_B per un segmento di riscontro. Se un segmento di quelli disegnati non viene inviato secondo il funzionamento del protocollo TCP adottato, lasciare il segmento senza riempimento e omettere di scrivere il valore di SN_A e di AN_B .

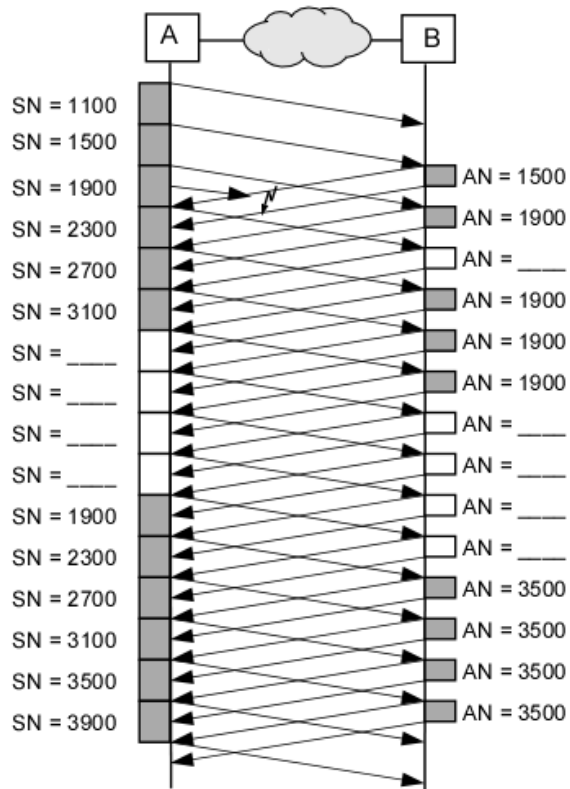
N.B. Il significato di “AN=i” sia quello di “i è il prossimo **byte** atteso” (come effettivamente accade in TCP).



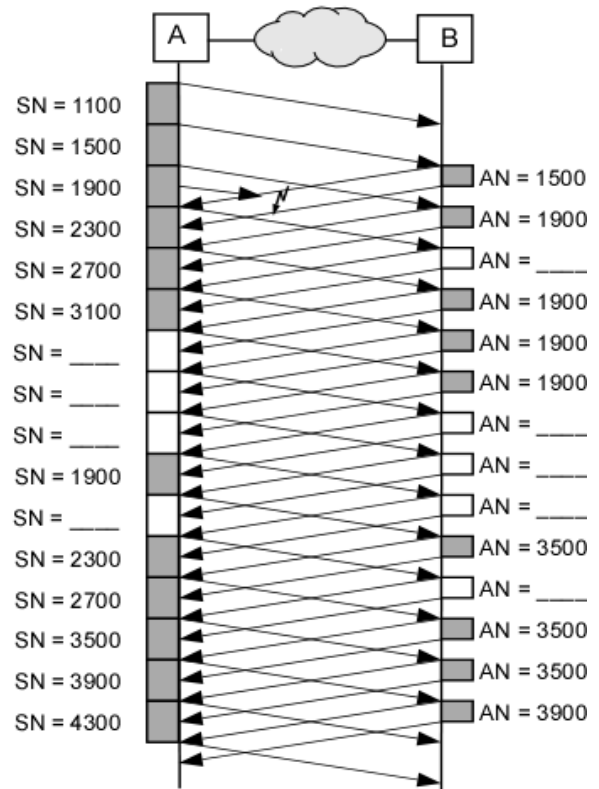
Basic TCP



TCP with Fast retransmit



Basic TCP



TCP with Fast retransmit

Esercizio 4.22 (I)

Durante una sessione TCP, l'algoritmo di Jacobson stima valor medio e deviazione standard del RTT iniziando l'algoritmo con i parametri $RTT_{av}^0 = 10$ ms e $RTT_{dev}^0 = 2$ ms.

I due segmenti successivi registrano RTT pari a $RTT^1 = 16$ ms e $RTT^2 = 32$ ms. Si indichino nella tabella i valori di RTT_{av} , RTT_{dev} e del Timeout alla ricezione di ciascuno dei due segmenti considerando $(1 - \alpha) = 7/8$ come peso della stima precedente di RTT e $(1 - \beta) = 3/4$ come peso della stima precedente di RTT_{dev} e $n=4$ come parametro per il peso di RTT_{dev} nel dimensionamento del timeout.

Si usi la tabella per indicare i risultati finali e lo spazio sottostante per mostrare i conti fatti.

$RTT_{av}^0 = 10$ $RTT_{dev}^0 = 2$	RTT	RTT_{av}	RTT_{dev}	Timeout
	$RTT^1 = 16$	$RTT_{av}^1 =$	$RTT_{dev}^1 =$	$T^1 =$
	$RTT^2 = 32$	$RTT_{av}^2 =$	$RTT_{dev}^2 =$	$T^2 =$

$RTT_{av}^0 = 10$ $RTT_{dev}^0 = 2$	RTT	RTT_{av}	RTT_{dev}	Timeout
	$RTT^1 = 16$	$RTT_{av}^1 = 10.75$	$RTT_{dev}^1 = 3$	$T^1 = 22.75$
	$RTT^2 = 32$	$RTT_{av}^2 = 13.40625$	$RTT_{dev}^2 = 7.5625$	$T^2 = 43.65625$

Alla ricezione di RTT^1 ottengo:

$$RTT_{av}^1 = \frac{7}{8}RTT_{av}^0 + \frac{1}{8}RTT^1 = 10.75$$

$$RTT_{dev}^1 = \frac{3}{4}RTT_{dev}^0 + \frac{1}{4}|RTT^1 - RTT_{av}^0| = 3$$

quindi

$$T^1 = RTT_{av}^1 + 4RTT_{dev}^1 = 22.75$$

Alla ricezione di RTT^2 ottengo:

$$RTT_{av}^2 = \frac{7}{8}RTT_{av}^1 + \frac{1}{8}RTT^2 = 13.40625$$

$$RTT_{dev}^2 = \frac{3}{4}RTT_{dev}^1 + \frac{1}{4}|RTT^2 - RTT_{av}^1| = 7.5625$$

quindi

$$T^2 = RTT_{av}^2 + 4RTT_{dev}^2 = 43.65625$$

Esercizio 4.23

Una connessione TCP è usata per trasmettere un file da 39.5 [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:

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

E che inoltre:

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

Si tracci l'andamento nel tempo di:

- $CWND$
- $SSTHRESH$
- $RWND$

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

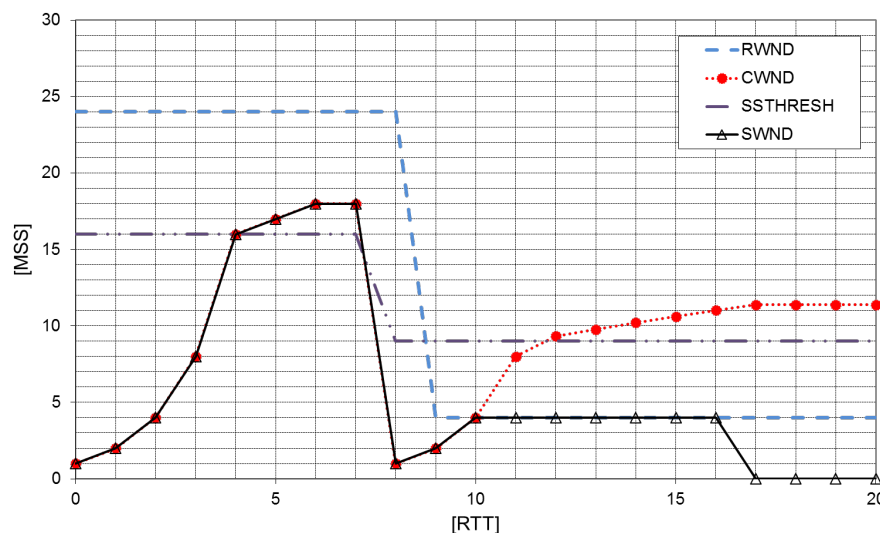
Conviene ragionare in numero di segmenti trasmessi

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

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

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

$Timeout = 1 \text{ [s]} = 2RTT$



Il tempo di trasferimento del file è $T = 8.5 \text{ [s]}$, alle fine del 16° RTT, che inizia a 8 [s] .

N.B. La finestra di congestione (CWND), dopo $t=5 \text{ s}$ ($=10 \text{ RTT}$) continua a crescere per via degli ack ricevuti.