

ESERCIZIO 2: Si considerino due elaboratori S e R in comunicazione tramite una rete di calcolatori utilizzando il protocollo di trasporto TCP con le seguenti caratteristiche:

- Il meccanismo di controllo della congestione e' basato su una combinazione di *Slow start* e *Fast retransmit*. Si ignori la presenza del *Fast recovery*. Il timeout di ritrasmissione con *Slot start* sia pari al doppio del *round trip time (RTT)* stimato.
- L'algoritmo di stima dell'RTT alla ricezione del riscontro del segmento  $k$  sia il seguente:

$$RTT(k) = \alpha RTT(k-1) + (1 - \alpha)S(k)$$

ove  $S(k)$  e' il valore dell'RTT campionato per il segmento  $k$  e  $\alpha = 0.5$ . I segmenti siano numerati a partire da 1 e sia  $RTT(0) = 1$  s. Si supponga che  $S(k)$  venga calcolato come la differenza tra l'istante di arrivo di un riscontro non duplicato e l'istante di invio del segmento con indice inferiore tra quelli in attesa di riscontro nella *effective window*. Nota: si supponga dunque che il TCP *sender* non effettui l'aggiornamento della stima del RTT alla ricezione di riscontri duplicati (DUP-ACK).

- Il TCP *receiver* invia un riscontro immediato alla ricezione di ogni segmento. Eventuali segmenti fuori ordine vengono mantenuti in un apposito *reorder buffer* di capacita' infinita. La *advertised window* e' infinita.

Per semplicita' si supponga che la dimensione di tutti i segmenti sia costante e pari ad 1 unita', il cui tempo di trasmissione sia trascurabile rispetto all'RTT. Inizialmente siano la *congestion window (CW)* pari ad un segmento e la *slow start threshold (CT)* pari a 10 segmenti. **L'RTT sperimentato da ciascun segmento sia da considerarsi equipartito nella tratta dal TCP sender al TCP receiver e viceversa.**

Il candidato risponda ai seguenti quesiti:

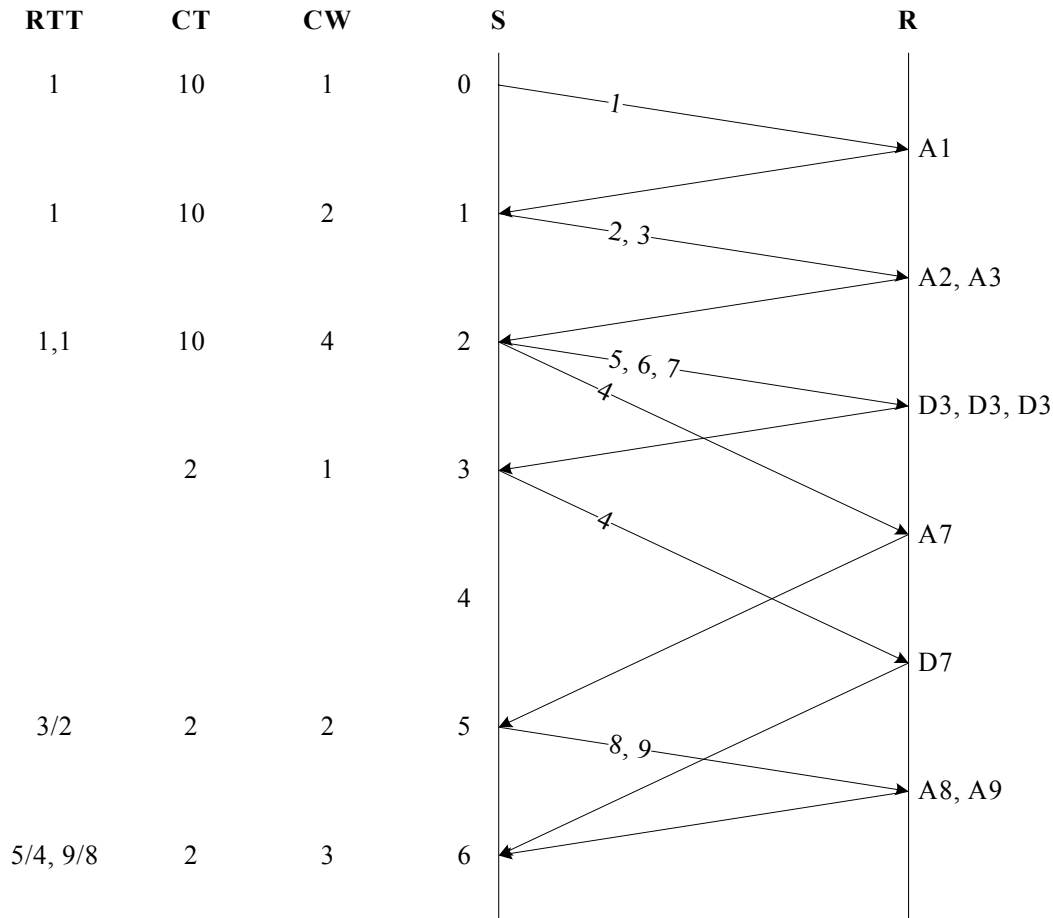
1. Si illustri il diagramma temporale dei segmenti inviati da S e dei riscontri inviati da R almeno relativamente ai segmenti numerati da 1 a 9. Per ciascun riscontro si indichi se si tratta di un duplicato. Si evidenzi, inoltre, il valore di CW, CT e dell'RTT stimato ad ogni istante. Si assuma che l'RTT sperimentato da tutti i segmenti, tranne il 4, sia pari ad 1 s, e l'RTT sperimentato dal segmento 4 sia pari a 3 s. Ciascun segmento sperimenti il medesimo RTT anche per le eventuali ritrasmissioni.

2. Nelle ipotesi di cui al punto 1 esiste un istante in cui la stima dell'RTT viene alterata dal valore iniziale. A partire da tale istante, si specifichi dopo quanti segmenti la differenza tra la stima dell'RTT e il valore iniziale è inferiore ad  $1/100$  dello stesso.
3. Si considerino le ipotesi del punto 1 con le seguenti variazioni: il segmento 4 sperimenti un RTT pari ad 4 s; la prima trasmissione del segmento 6 fallisca. Si illustri quindi il diagramma temporale risultante da queste ipotesi, almeno relativamente ai segmenti numerati da 1 a 10.

## RISOLUZIONE ESERCIZIO

1. Il diagramma temporale richiesto e' riportato in Figura 1.

Figura 1 Diagramma temporale relativo alle ipotesi del punto 1.



Si noti che al tempo  $t = 3$  la stima dell'RTT non viene effettuata, in quanto il TCP *sender* riceve solo segmenti duplicati. Questi ultimi, tuttavia, sono sufficienti a far scattare il meccanismo del *Fast Retransmit*, per cui la CW viene reimpostata al valore iniziale, cioè un segmento, e il segmento 4 e' immediatamente ritrasmesso. Successivamente, all'istante  $t = 5$ , viene ricevuto il riscontro non duplicato dei segmenti fino al 7, per cui l'RTT viene aggiornato al valore di 1.5 s, in quanto l'RTT campionato per il segmento 4 e' pari a 2 s. Tale riscontro provoca inoltre l'incremento della CW a 2 segmenti, pari alla CT. Dunque, il TCP *sender* entra nella fase di *Congestion Avoidance*, nella quale la CW viene incrementata di un segmento ogni RTT.

2. A partire dalla seguente formula

$$RTT(k) = \alpha RTT(k-1) + (1 - \alpha)S(k)$$

e' possibile ottenere in forma chiusa il valore della stima dell'RTT al passo  $k$ :

$$RTT(k) = \alpha^k RTT(0) + (1 - \alpha) \sum_{j=0}^{k-1} \alpha^j S(k-j)$$

in funzione dei valori di RTT campionato e del valore iniziale dell'RTT stimato. Dalla risoluzione in Figura 1 si evince che l'RTT stimato si discosta dal valore iniziale, pari ad 1 s, all'istante 5 s. Sostituendo nella formula precedente  $RTT(0) = 3/2$  e  $\alpha = 1/2$  otteniamo i valori delle stime successive dopo semplici passaggi algebrici:

$$RTT(k) = 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^{k+1}$$

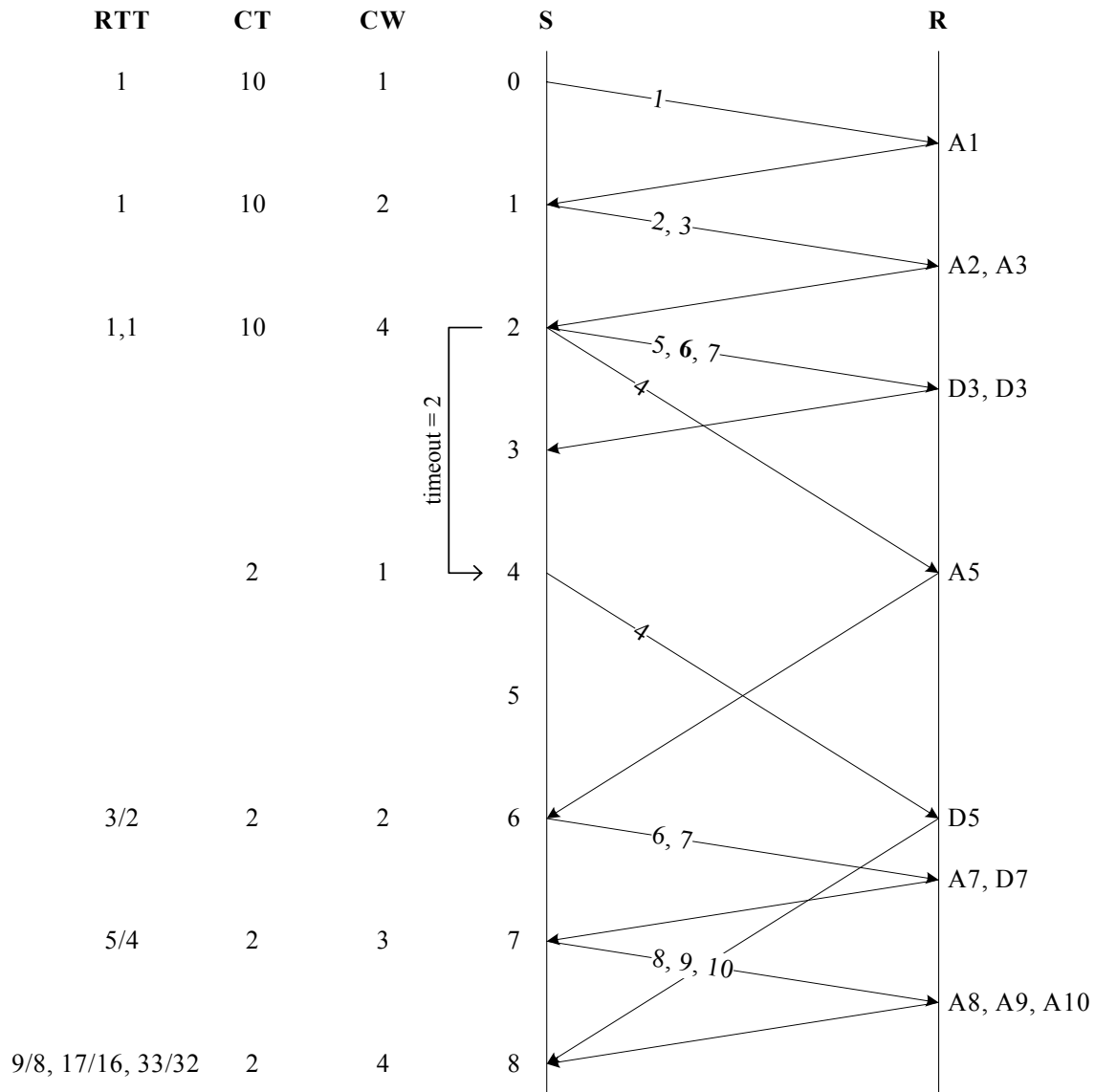
Il valore minimo di  $k$  che soddisfa la seguente disequazione

$$1 + \left(\frac{1}{2}\right)^{k+1} - 1 > \frac{1}{100}$$

e'  $k = 6$ . In conclusione, a partire dal sesto segmento successivo a quello ricevuto all'istante 5 s la stima dell'RTT si avvicina al valore iniziale a meno di 1/100.

3. Il diagramma temporale richiesto e' illustrato in Figura 2.

Figura 2 Diagramma temporale relativo alle ipotesi del punto 3.



A differenza del punto 1, all'istante  $t = 3$  s la ricezione di due riscontri duplicati *non* causa il *Fast retransmit*. Dunque la mancata ricezione del segmento 4 viene erroneamente assunta tramite timeout all'istante  $t = 4$  s. Si noti che il segmento 7, benché ricevuto correttamente nella sua prima trasmissione, viene comunque reinviato dal TCP *sender* all'istante  $t = 6$  s, provocando l'invio di un riscontro duplicato da parte del TCP *receiver*.