

ESERCIZIO 3: Si considerino due stazioni, denominate $S1$ e $S2$, in comunicazione tramite un mezzo comune a trasmissione *half-duplex*, utilizzando un protocollo di tipo *stop-and-wait*. La latenza di propagazione del mezzo è trascurabile rispetto agli altri tempi del sistema. Il protocollo prevede che:

- Il ricevitore invia una trama di riscontro, di durata pari a H secondi, immediatamente dopo la ricezione dell'ultimo bit della trama dati inviata dal trasmettitore, nel caso quest'ultima sia stata ricevuta correttamente. Altrimenti non invia alcun messaggio.
- Il trasmettitore, dopo avere trasmesso l'ultimo bit della trama dati, attende un timeout pari a H secondi: nel caso esso riceva in questo intervallo una trama di riscontro, allora considera la trama inviata ricevuta con successo dal ricevitore; altrimenti esso procede alla ri-trasmissione della medesima trama data inviata precedentemente.

Ciascuna trama dati trasporti una quantità di dati utente pari (*payload*) pari a B bits, e sia preceduta da un'intestazione di durata costante pari a H secondi. Si supponga che $S1$ debba inviare a $S2$ una quantità di dati grande a piacere. Il rate trasmissivo del canale sia R bits/s.

1. Supponendo che il canale trasmissivo sia esente da errori, si determini il throughput di $S1$.
2. Nelle condizioni di cui al punto precedente, si determini l'efficienza del protocollo in funzione di B , R e H . Si discuta qualitativamente l'andamento dell'efficienza per $H \rightarrow \infty$ e $R \rightarrow 0$.
3. Si consideri ora un mezzo trasmissivo con errore. Si indichi con e la probabilità di errore di bit. Si assuma che una trama con almeno un bit erroneo non possa essere decodificata dalla stazione ricevitore. Siano l'intestazione e i riscontri esenti da errori di trasmissione. Si determini il throughput di $S1$ in queste condizioni.
4. Nelle condizioni di cui al punto precedente si determini il valore di B , in funzione degli altri parametri di sistema, che massimizza il throughput di $S1$.
5. Si consideri nuovamente il canale trasmissivo esente da errori. Si supponga di utilizzare un protocollo di tipo *go-back-N* invece di *stop-and-wait*. Si determini il throughput di $S1$ in funzione della dimensione della finestra di controllo N e degli altri parametri di sistema.

6. Nelle condizioni di cui al punto precedente, e con $H = 1$ ms, $R = 1$ Mb/s, $B = 500$ bytes, si calcoli il throughput di S1 per i tre casi $N = 1$, $N = 5$, e $N \rightarrow \infty$.

Siano le stazioni S1 e S2 in comunicazione tramite il protocollo di trasporto TCP, versione Tahoe, con le seguenti ipotesi:

- La Maximum Segment Size è 500 bytes.
- Lo stato della connessione già aperto.
- La finestra di congestione è 2,00 bytes, come la *slow start threshold*.
- La *advertised window* è 5,000 bytes.
- Il ricevitore TCP attende H secondi prima di accedere al mezzo per inviare il riscontro.
- Il canale trasmissivo è esente da errori.

Il candidato:

7. Specifichi il minimo valore di timeout per il trasmettitore TCP che consente al sistema di funzionare in maniera corretta.
8. Illustri la dinamica del sistema, comprendente l'invio da parte di S1 di almeno 3,000 bytes, tramite un diagramma temporale dettagliata, che riporti anche il valore della finestra di congestione.
9. Si determini il tempo complessivo richiesto per completare l'invio dei 3,000 bytes da parte del trasmettitore TCP, da quando il primo bit viene trasmesso sul mezzo a quando viene ricevuto l'ultimo bit dal ricevitore TCP.

RISOLUZIONE ESERCIZIO

1. In assenza di errore, il sistema evolve come illustrato in Figura 1.

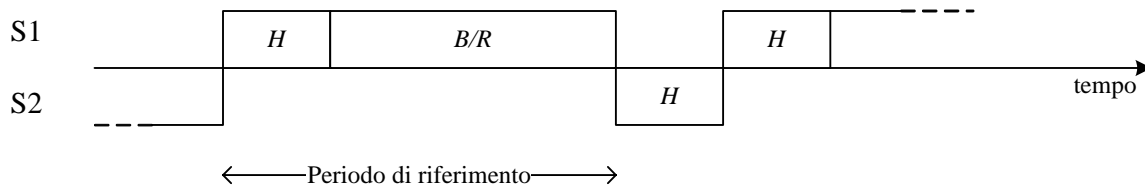


Figura 1 Evoluzione del sistema con canale esente da errore.

Il throughput, calcolato nel periodo di riferimento come il rapporto tra la quantità di dati utili trasportati e la durata temporale del periodo stesso, è:

$$tpt = \frac{B}{2H + B/R}$$

2. L'efficienza è invece data dal rapporto tra il tempo trascorso per inviare dati utili e la durata del periodo di riferimento, cioè:

$$\rho = \frac{B/R}{2H + B/R}$$

Per valori molto grandi di H rispetto agli altri parametri, l'efficienza tende a valori molto piccoli, in quanto gli overhead di sistema, cioè intestazione di trama e messaggio di riscontro, diventano grandi rispetto alla trasmissione utile. Per valori molto piccoli di R , al contrario, l'efficienza tende a valori molto vicini a 1, in quanto il tempo trascorso per inviare dati utili cresce in maniera inversamente proporzionale a rate trasmissivo.

3. Data la probabilità di errore di bit e , indichiamo con E la probabilità di errore di una trama dati, ove:

$$E = 1 - (1 - e)^B$$

Nel caso di protocollo *stop-and-wait*, il throughput decresce di un fattore pari alla probabilità di trasmissione con successo di una trama, cioè:

$$tpt = \frac{B}{2H + B/R} \cdot (1 - E)$$

Questo è dovuto al fatto che il tempo di trasmissione o ri-trasmissione è costante. Sostituendo E con la funzione di e si ottiene:

$$tpt = \frac{B \cdot (1 - e)^B}{2H + B/R}$$

4. Per determinare il valore di B che rende massimo il throughput, bisogna studiare la funzione $tpt(B)$. Considerando che

$$\lim_{B \rightarrow \infty} tpt(B) = 0$$

mentre

$$tpt(0) = 0$$

e che

$$\frac{\partial}{\partial B} tpt(B) = \frac{(1 - e)^B}{(2H + B/R)^2} \cdot \left[\frac{\ln(1 - e)}{R} B^2 + 2H \ln(1 - e) B + 2H \right]$$

Possiamo dedurre che la funzione $tpt(B)$ possiede un massimo per:

$$\bar{B} = HR \cdot \left(\sqrt{1 - \frac{2}{HR \ln(1 - e)}} - 1 \right)$$

5. Con protocollo *go-back-N* un esempio di evoluzione del sistema nel periodo di riferimento e` illustrato in Figura 2.

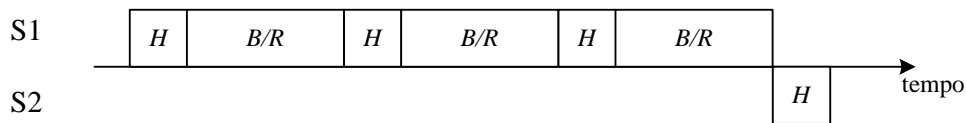


Figura 2 Evoluzione del sistema nel periodo di riferimento con $N = 3$.

Il throughput in questo caso e`:

$$tpt = \frac{NB}{(N+1)H + N \cdot B/R}$$

6. Con i valori specificati si ottiene, rispettivamente:

- $N = 1$: $tpt = 2/3$ Mb/s
- $N = 5$: $tpt = 10/13$ Mb/s
- $N \rightarrow \infty$: $tpt = 4/5$ Mb/s

7. Il valore minimo di timeout TCP che consente al sistema di funzionare e` dato dal tempo richiesto dal ricevitore per trasmettere una trama contenente un riscontro TCP, piu` i tempi di propagazione sul mezzo. Essendo questi ultimi trascurabili, il minimo timeout deve essere:

$$H + \frac{40 \cdot 8}{R}$$

Essendo il payload di un riscontro TCP pari a 40 bytes, inclusi i 20 bytes di header IPv4.

8. La dinamica del sistema e` illustrata in Figura 3.

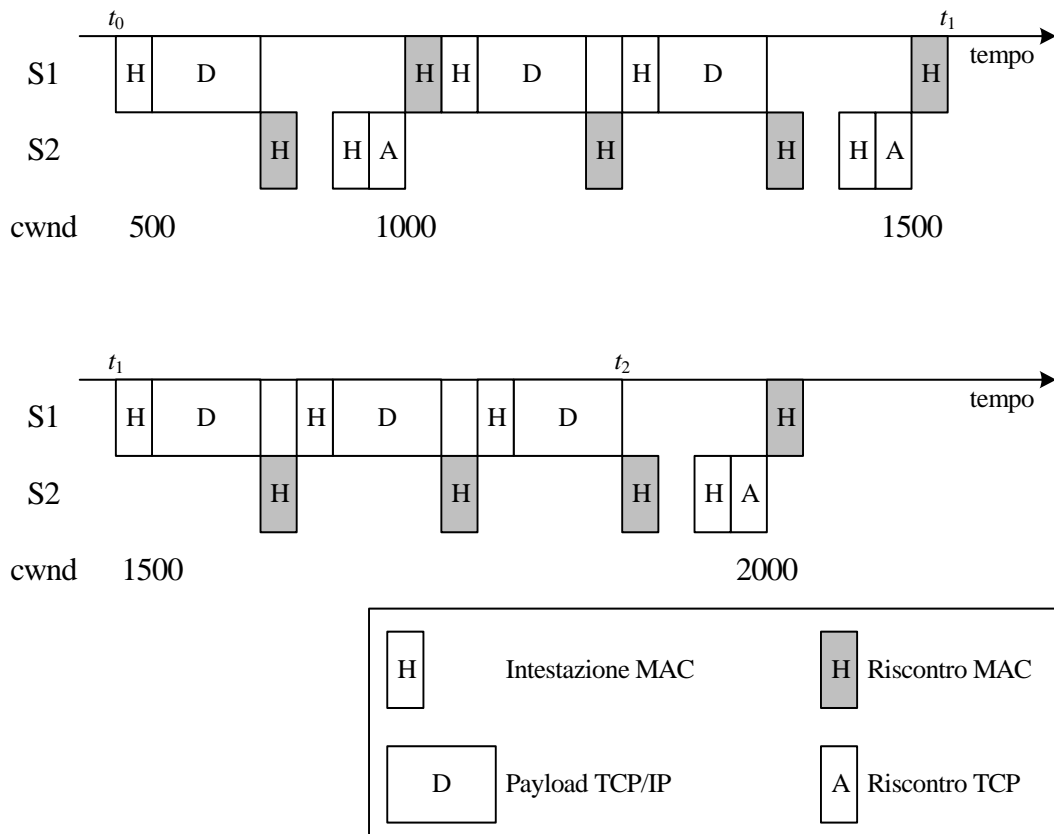


Figura 3 Dinamica del sistema per l'invio di 6 segmenti da S1.

Si noti come la *congestion window* non raggiunge la *slow start threshold* nell'intervallo temporale considerato, durante il quale quindi il trasmettitore TCP rimane quindi in fase *slow start*.

9. Dalla Figura 3 si puo` facilmente determinare il tempo richiesto, pari a:

$$t_2 - t_0 = \left[6 \cdot \left(2H + \frac{540 \cdot 8}{R} \right) - H \right] + 2 \cdot \left(2H + \frac{40 \cdot 8}{R} \right) + 2H$$

Ove il primo termine e` il tempo cumulativo di trasmissione delle trame dati, opportunamente decurtato dell'ultimo riscontro MAC, il secondo termine e` il tempo cumulativo di trasmissione dei due riscontri TCP, e infine il terzo termine e` la somma dei due tempi di attesa da parte del ricevitore TCP prima di accedere al mezzo per inviare i riscontri.