



Corso di

***FONDAMENTI DI
TELECOMUNICAZIONI***

a.a. 2009-2010

Livello di Trasporto: esercizi

Slow start: Esempio 1



Quesito

Si consideri la procedura di Slow Start in una connessione TCP caratterizzata dai seguenti parametri: i) maximum segment size = 1000 byte; ii) $RTT = 15$ ms; iii) ampiezza finestra di ricezione comunicata dal ricevitore = 12000 byte.

Si chiede di determinare (1) l'intervallo di tempo necessario affinché lato sorgente sia raggiunta l'ampiezza massima della finestra di emissione a seguito dell'applicazione della procedura di slow start all'inizio della connessione; (2) il numero di byte trasmessi dopo 75 ms (estremo compreso)

Si considerino le seguenti ipotesi: a) nessun segmento è perso, b) i riscontri sono emessi immediatamente, c) i tempi di trasmissione dei segmenti e dei riscontri sono trascurabili.

Slow start: Esempio 1



(1) La finestra comunicata dal ricevitore RW:

$$RW = m * MSS = 12 * MSS \text{ byte} = 12000 \text{ byte}$$

- La Congestion Window (CW) raggiunge il valore di regime dopo $n * RTT$, con $n > \log_2 m$, cioè dopo 4 $RTT = 60 \text{ ms}$

(2) $75 \text{ ms} = 5 * RTT$, quindi include sia la fase di slow start che di regime

- Definiamo $n^\#$ il numero intero immediatamente inferiore a $\log_2 m$:

$$n^\# = \lfloor \log_2 m \rfloor = \lfloor \log_2 12 \rfloor = 3$$

- Il numero di byte trasmessi nella fase di slow start è:

$$\begin{aligned} MSS * (2^{n^\# + 1} - 1) &= MSS * (2^{\lfloor \log_2 m \rfloor + 1} - 1) = \\ 1000 * (2^4 - 1) &= 15000 \text{ byte} \end{aligned}$$

Slow start: Esempio 1



- Il numero di byte trasmessi nella fase di regime è:

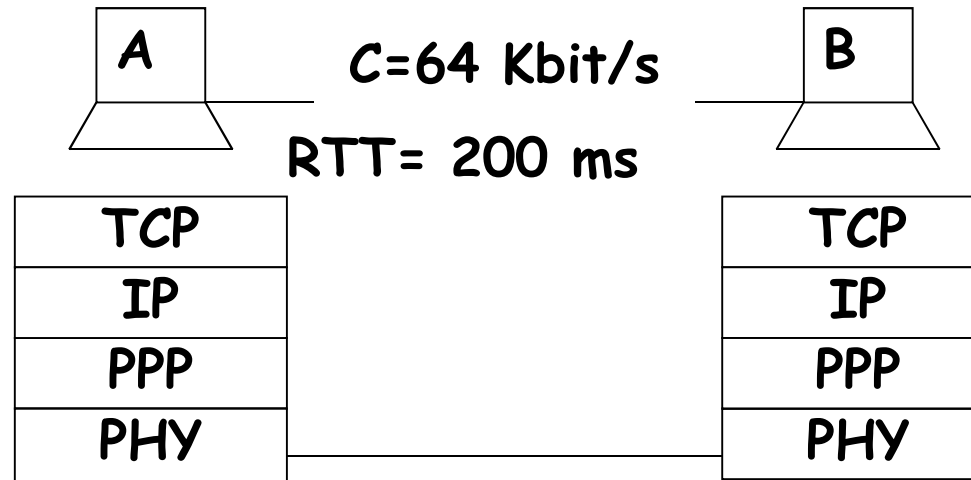
$$(5-n^{\#}) * m * MSS = (5-3) * 12 * 1000 = 24000 \text{ byte}$$

- Quindi in totale in 75 ms vengono trasmessi 15000 + 24000 byte = 39000 byte

$$MSS * (2^{\lfloor \log_2 m \rfloor + 1} - 1) + (5-n^{\#}) * m * MSS$$

Slow start: Esempio 1

- La stazione A trasferisce byte verso la stazione B su un link di capacità $C=64$ Kbit/sec, con $RTT=200$ msec



- MSS è 512 byte. Per trasmettere un segmento TCP da 512 byte bisogna aggiungere un header TCP di 20 byte, un header IP di 20 byte (se non si hanno opzioni) e un header PPP di 8 byte, per cui al livello fisico è inviata una trama di 560 byte; a causa dell'overhead si ha un fattore di merito pari a:

$$\eta = 512/560 = 0.914$$

TCP: Esempio 1



- Il tempo di trasmissione di un segmento t_f è uguale a:

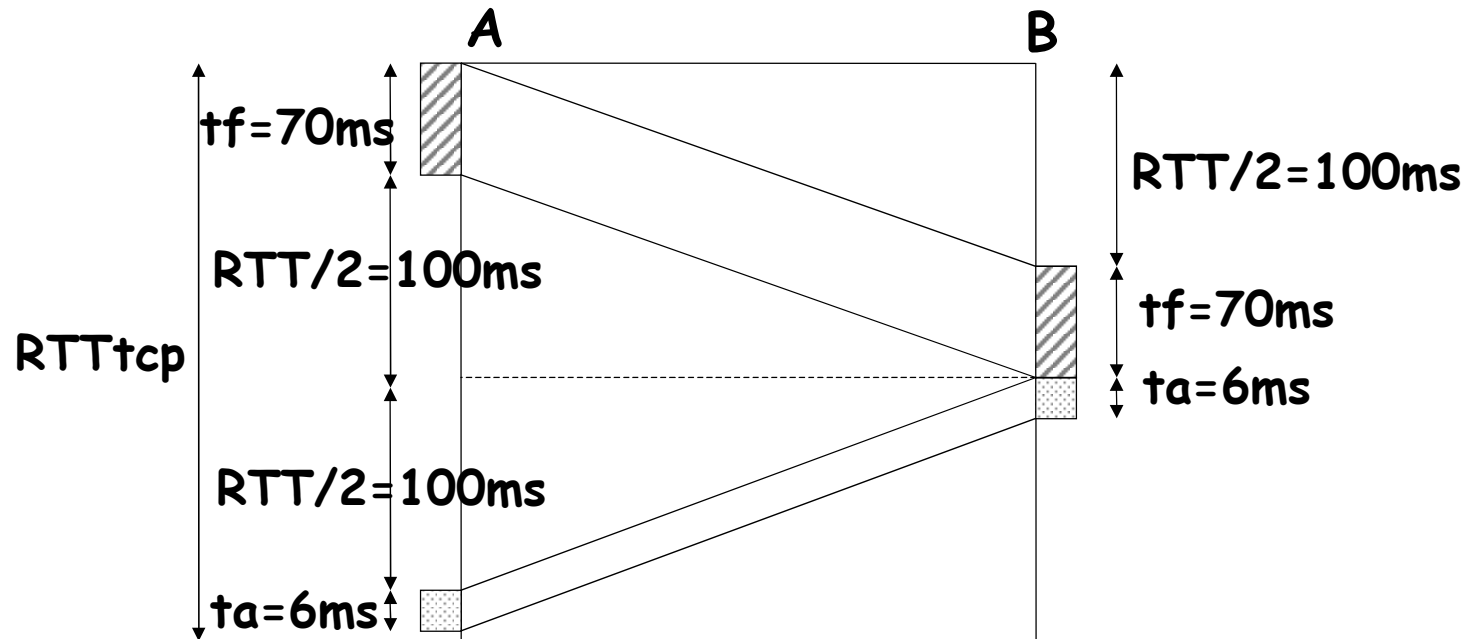
$$t_f = (MSS + h) / C = (560 * 8) \text{ [bit]} / 64.000 \text{ [bit/s]} = 70 \text{ ms}$$

- Il tempo di trasmissione t_a di un Ack, costituito solo dall'header TCP di 20 byte (più header IP e PPP), cioè una trama di 48 byte a livello fisico, è uguale a:

$$t_a = 48 * 8 \text{ bit} / (64.000 \text{ bit/s}) = 6 \text{ ms}$$

- Se si trascura il tempo di processamento e si suppone che gli ACK vengano inviati per ogni trama, che la rete sia scarica e il collegamento dedicato, si ha il diagramma temporale mostrato in figura

TCP: Esempio 1



- RTT per il TCP è il tempo che intercorre dall'invio del 1° bit del segmento alla ricezione dell'ultimo bit dell'ACK:

$$RTT_{TCP} = t_f + RTT/2 + t_a + RTT/2 = 276 \text{ msec}$$

- $RTT_{TCP} > RTT$ tiene conto dei tempi di propagazione e di trasmissione (RTT_{TCP} deve tener conto anche dei tempi di elaborazione negli host e dei ritardi di accodamento nella rete)

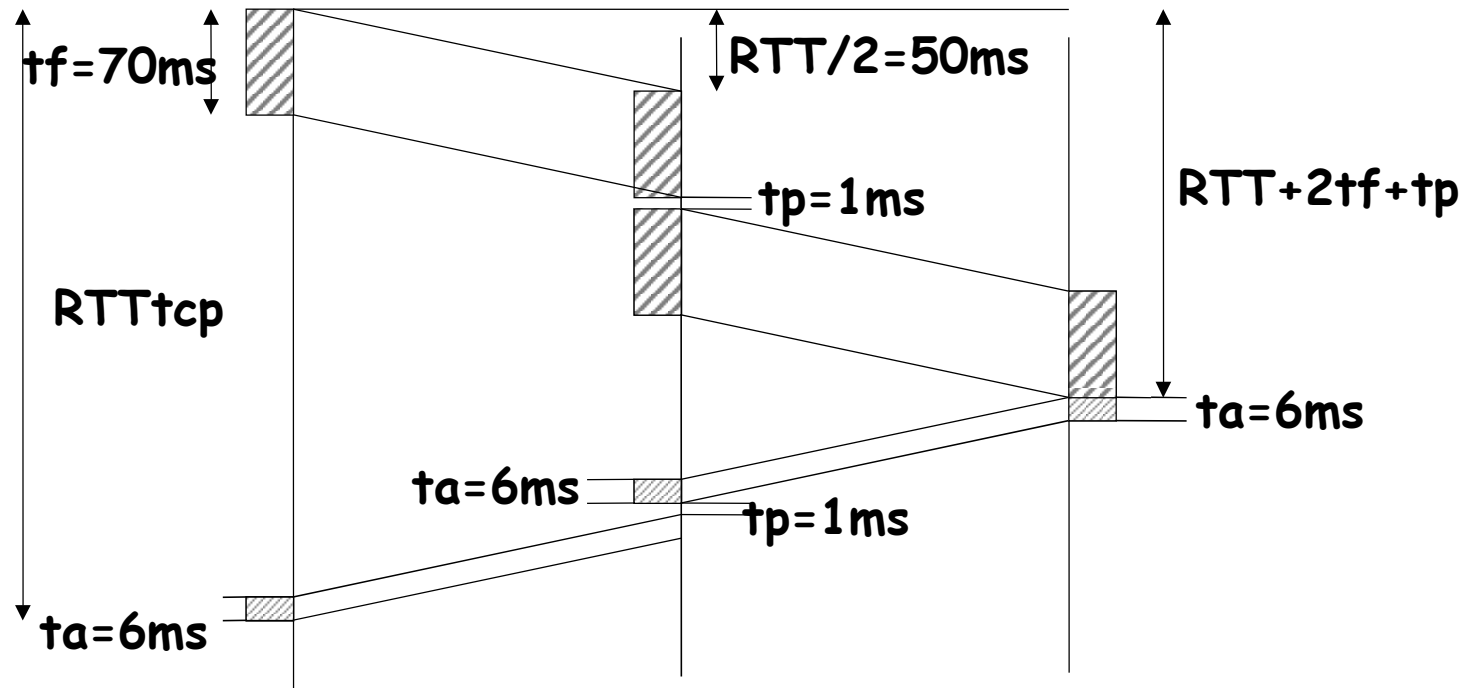
TCP: Esempio 2



- Se fra gli host A e B c'è un router, la situazione cambia; ipotizziamo che il router sia posto esattamente in mezzo ai due nodi, per cui RTT si dimezza rispetto al caso precedente.
- I router possono essere di due tipi:
 - Store & Forward
 - Cut-Through
- Il router Store & Forward spedisce un pacchetto, dopo averlo interamente ricevuto ed elaborato (supponiamo un tempo di processamento t_p di 1 ms)
- Il router Cut-Through elabora soltanto gli header IP e PPP (supponiamo un tempo di processamento t_p 1 ms)

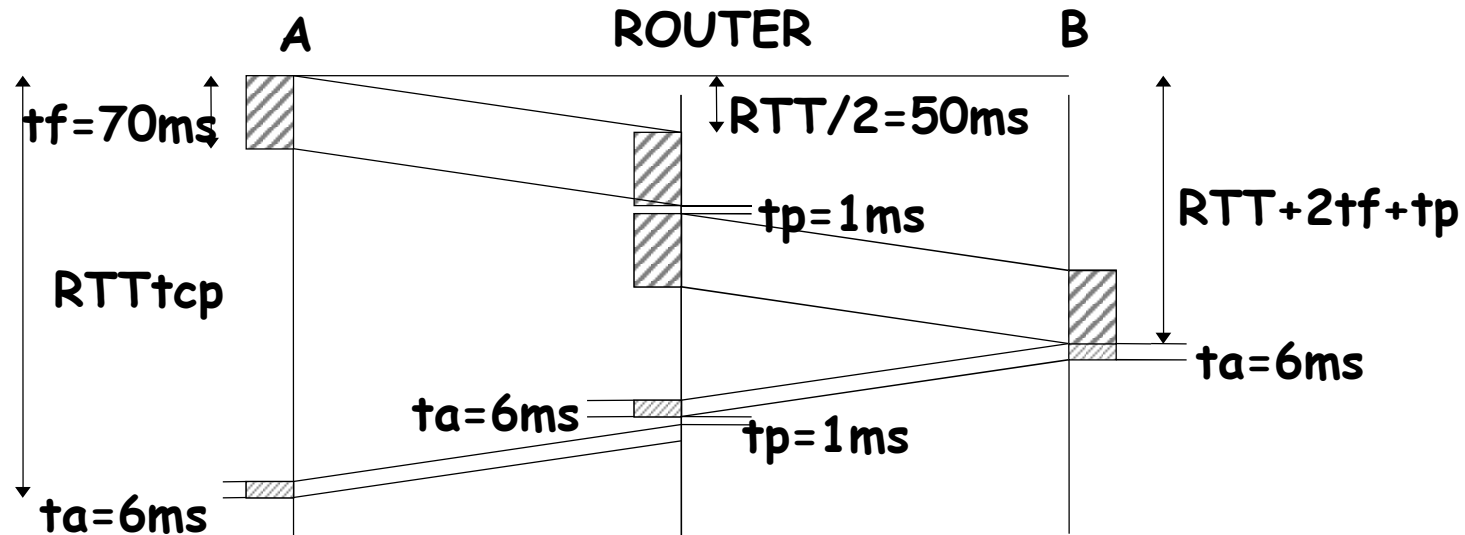
TCP: Esempio 2

A ROUTER STORE&FORWARD B



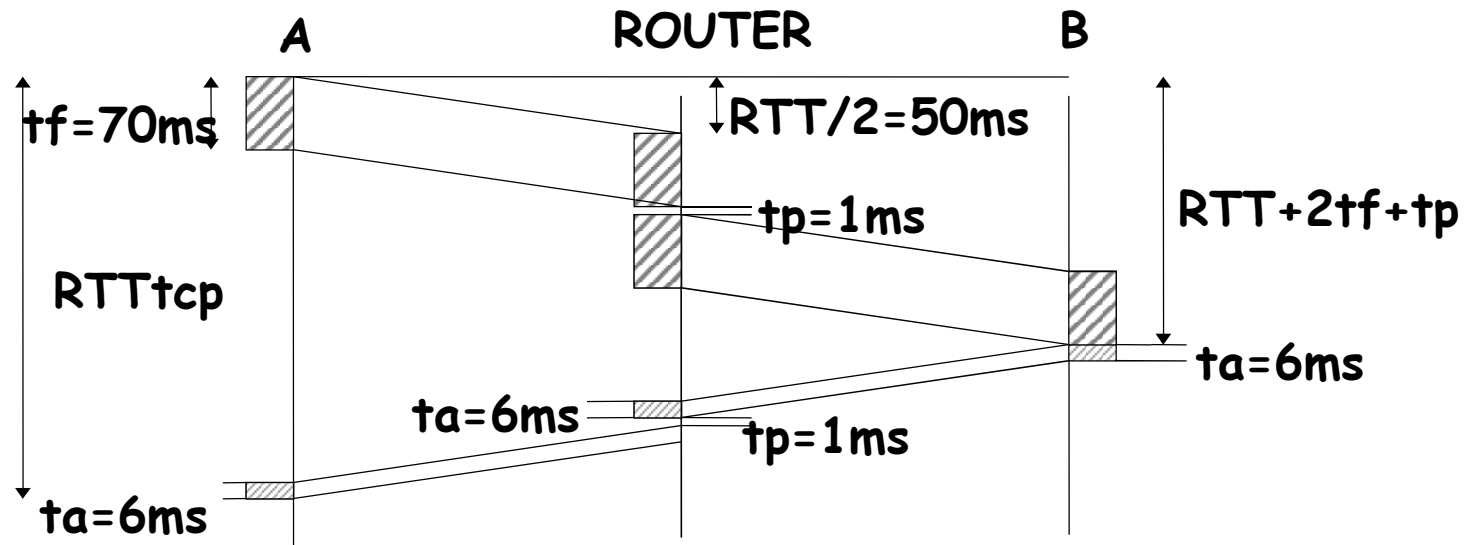
$$RTT_{TCP} = (70 + 50 + 1 + 70 + 50 + 6 + 50 + 1 + 50 + 6)ms = 354ms$$

TCP: Esempio 2



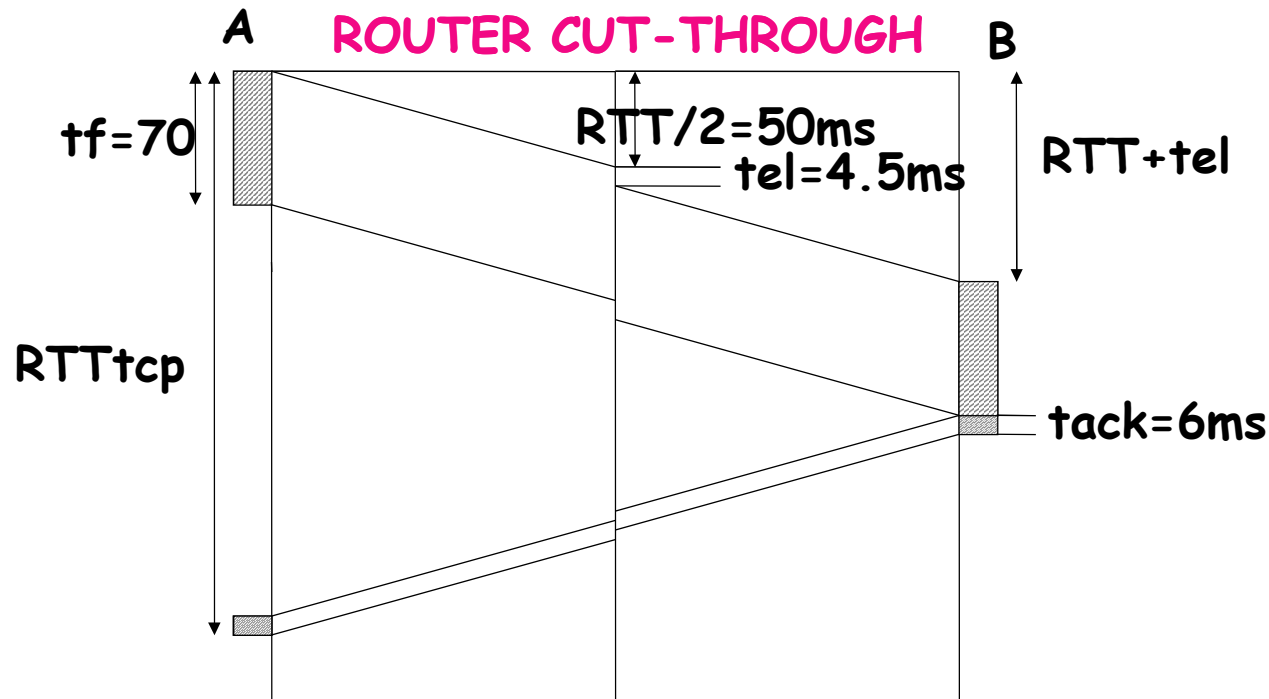
1. $t=0$ ms \rightarrow A inizia la trasmissione della trama
2. $t=50$ ms \rightarrow Il router riceve il 1° bit della trama
3. $t=70$ ms \rightarrow A trasmette l'ultimo bit della trama
4. $t=120$ ms \rightarrow Il router riceve l'ultimo bit della trama
5. $t=121$ ms \rightarrow Il router, finito il processamento, invia il 1° bit della trama a B
6. $t=171$ ms \rightarrow B riceve il 1° bit della trama
7. $t=191$ ms \rightarrow Il router invia a B l'ultimo bit della trama
8. $t=241$ ms \rightarrow B riceve l'ultimo bit della trama e invia l'ACK ($t_{P,ACK}=0$)

TCP: Esempio 2



9. $t=247\text{ ms} \rightarrow$ B ha trasmesso l'ultimo bit dell'ACK al router
10. $t=291\text{ ms} \rightarrow$ Il router riceve il 1° bit dell'ACK
11. $t=297\text{ ms} \rightarrow$ Il router riceve l'ultimo bit dell'ACK
12. $t=298\text{ ms} \rightarrow$ Dopo $t_{\text{PACK}}=1\text{ms}$ il router inizia a mandare l'ACK ad A
13. $t=304\text{ ms} \rightarrow$ Il router invia l'ultimo bit dell'ACK ad A
14. $t=348\text{ ms} \rightarrow$ A riceve il 1° bit dell'ACK
15. $t=354\text{ ms} \rightarrow$ A riceve l'ultimo bit dell'ACK

TCP: Esempio 2

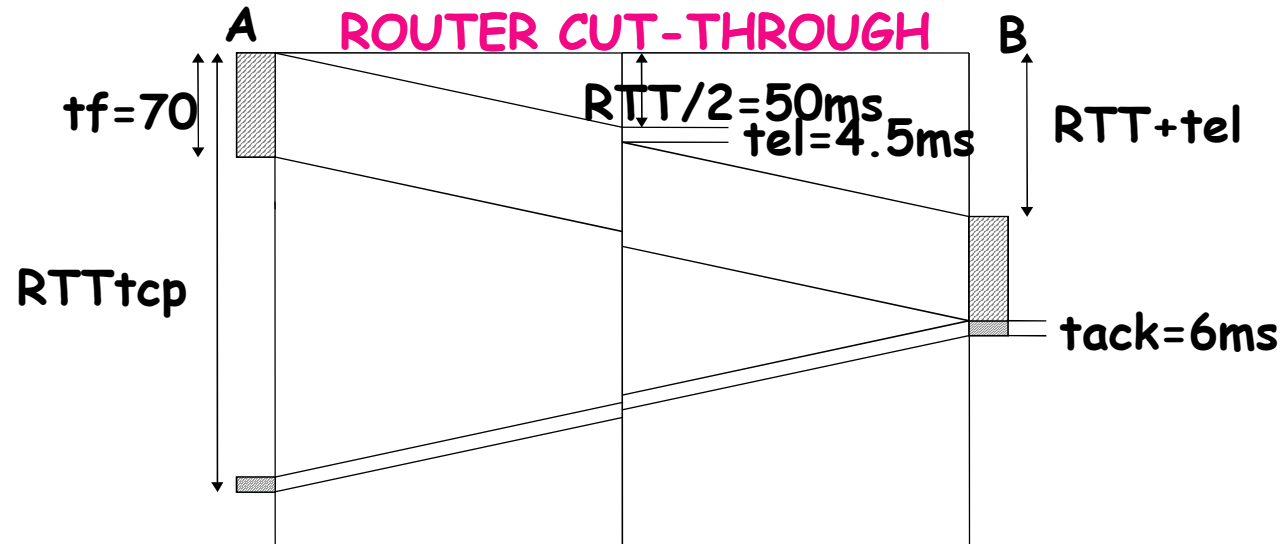


- Il router Cut-Through elabora gli header IP – PPP e dopo un tempo di processamento t_p di 1 ms, inoltra il pacchetto; poiché esamina 28 byte, il tempo totale di processamento è:

$$t_{el} = t_p + 28 \cdot 8 \text{ bit} / 64.000 \text{ bit/s} = 4,5 \text{ ms}$$

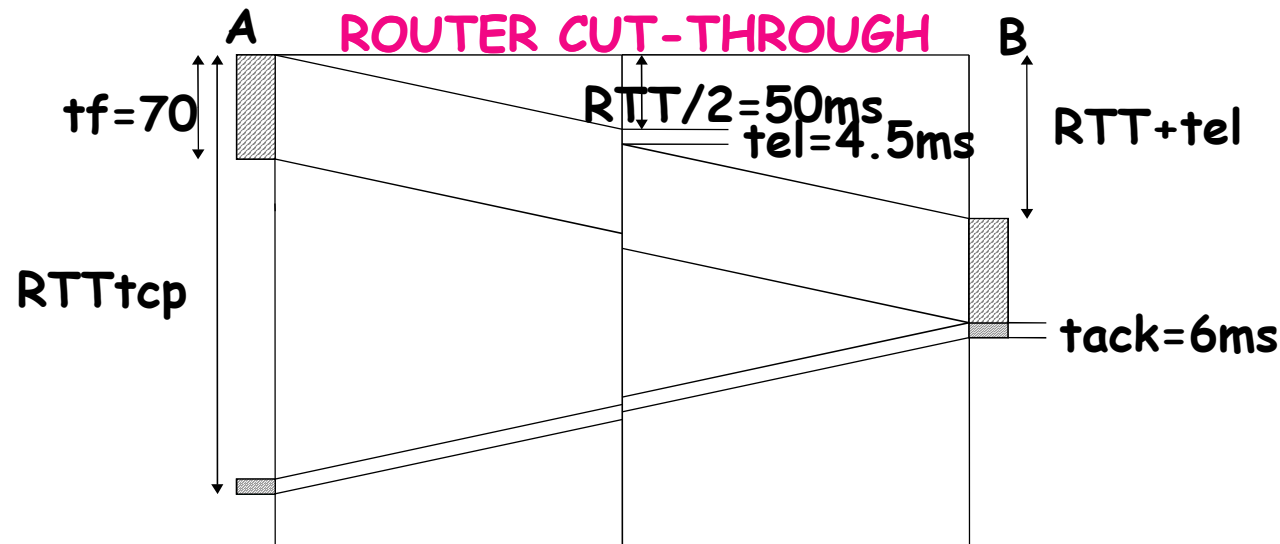
- Si consideri $t_f = 70 \text{ ms}$, $t_{ACK} = 6 \text{ ms}$ e $RTT = 100 \text{ ms}$

TCP: Esempio 2



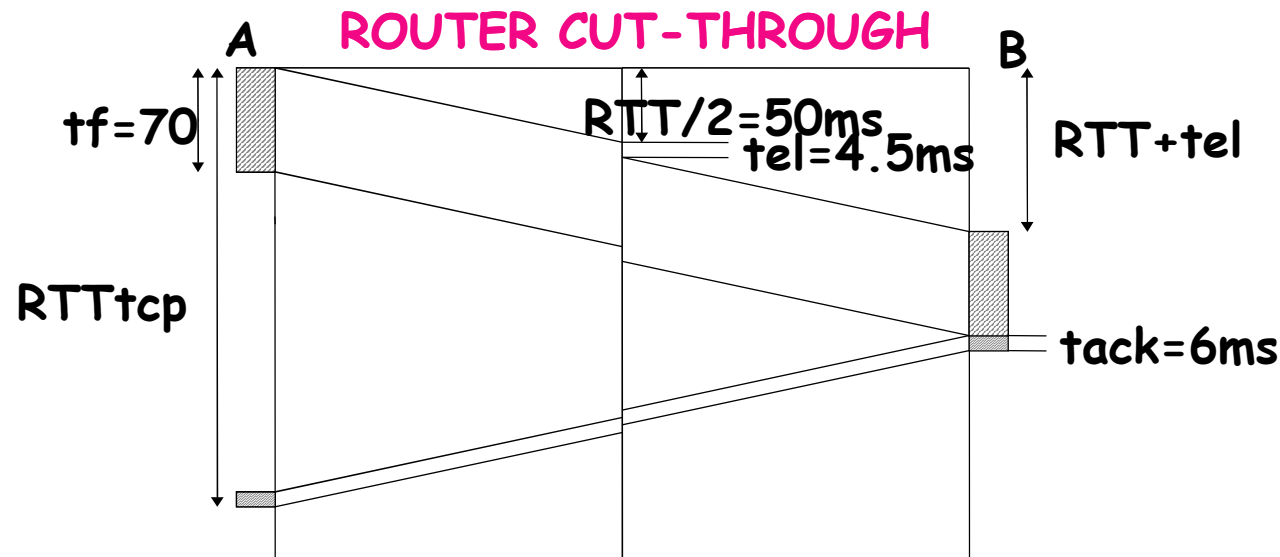
1. $t=0$ ms \rightarrow A trasmette il 1° bit della trama al router
2. $t=50$ ms \rightarrow Il router riceve il 1° bit spedito da A
3. $t=54,5$ ms \rightarrow Il router trasmette il 1° bit a B
4. $t=70$ ms \rightarrow A trasmette l'ultimo bit della trama al router
5. $t=104,5$ ms \rightarrow B riceve il 1° bit della trama spedita dal router
6. $t=120$ ms \rightarrow Il router riceve l' ultimo bit della trama spedita da A

TCP: Esempio 2



7. $t = 124,5$ ms \rightarrow Il router trasmette l'ultimo bit della trama a B
8. $t = 174,5$ ms \rightarrow B riceve l'ultimo bit dal router e spedisce il 1° bit dell'ACK
9. $t = 180,5$ ms \rightarrow B trasmette l'ultimo bit dell'ACK
10. $t = 224,5$ ms \rightarrow Il router riceve il 1° bit dell'ACK
11. $t = 229$ ms \rightarrow Il router invia il 1° bit dell'ACK ad A
12. $t = 230,5$ ms \rightarrow Il router riceve l'ultimo bit dell'ACK da B
13. $t = 235$ ms \rightarrow Il router invia l'ultimo bit dell'ACK ad A

TCP: Esempio 2



14. $t = 279\text{ ms}$ → A riceve il 1° bit dell'ACK dal router

15. $t = 285\text{ ms}$ → A riceve l'ultimo bit dell'ACK dal router

- L'RTT visto dal TCP risulta essere:

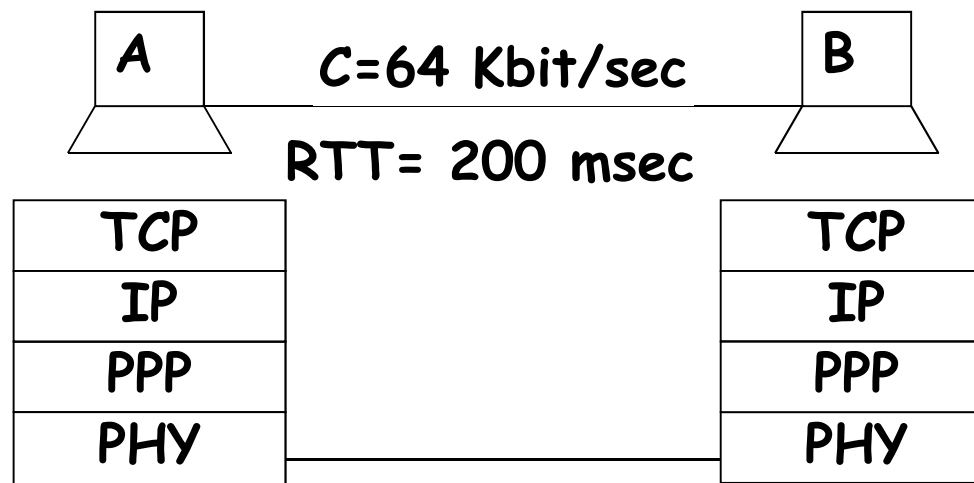
$$RTT_{TCP} = (70 + 200 + 6 + 4.5 + 4.5) \text{ msec} = 285 \text{ ms}$$

- Quindi un router Cut-Through ritarda meno la trasmissione rispetto ad un router Store & Forward, tuttavia Store & Forward è il più usato perché è più semplice da implementare

TCP: Esempio 3

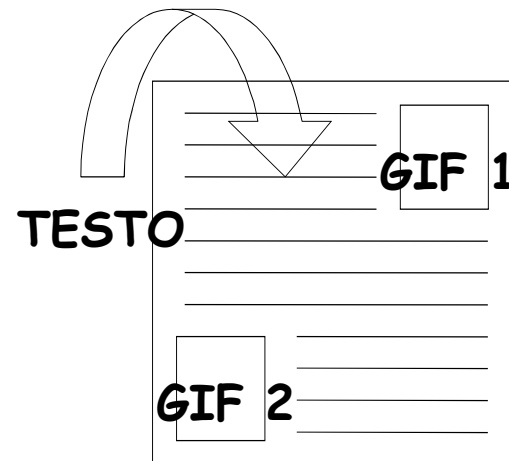


La stazione A trasferisce byte verso la stazione B su un link di capacità $C=64$ Kbit/sec, con $RTT=200$ msec



- Si supponga che A richieda a B il trasferimento di una pagina HTML costituita da testo e immagini
- Viene stabilita una finestra di trasmissione (e di ricezione) pari a $W = 5 \cdot MSS = 5 \cdot 512 = 2560$ byte

TCP: Esempio 3



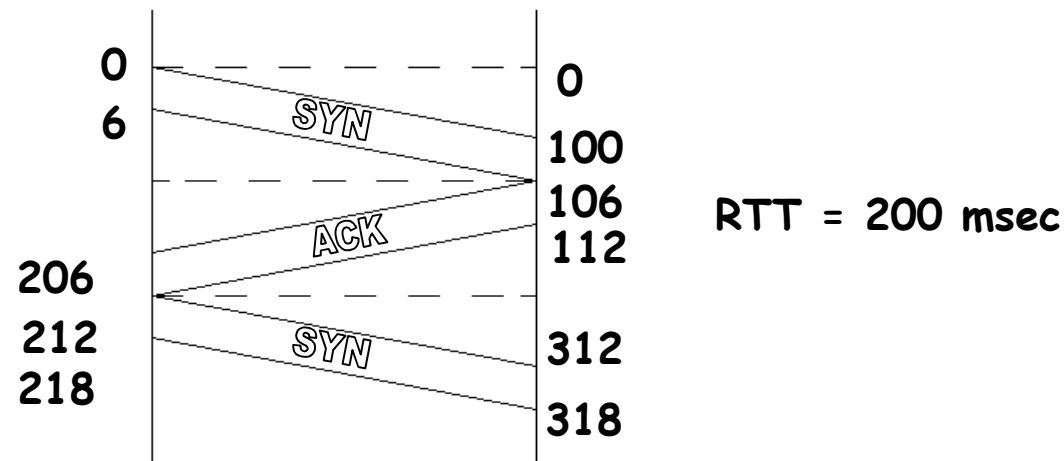
Il testo è costituito da 3584 byte

GIF 1 è un'immagine da 1024 byte

GIF 2 è un'immagine da 1536 byte

- **L'UPPER LAYER PROTOCOL** considerato è HTTP v1.0; in questo caso si aprono (e chiudono) 3 connessioni TCP, una per ogni porzione delle pagina (testo, Gif 1 e Gif2);
- Si assume che B invii un Ack per ogni segmento; dopo aver instaurato la connessione la trasmissione dei segmenti avviene in regime di Slow Start

TCP: Esempio 3



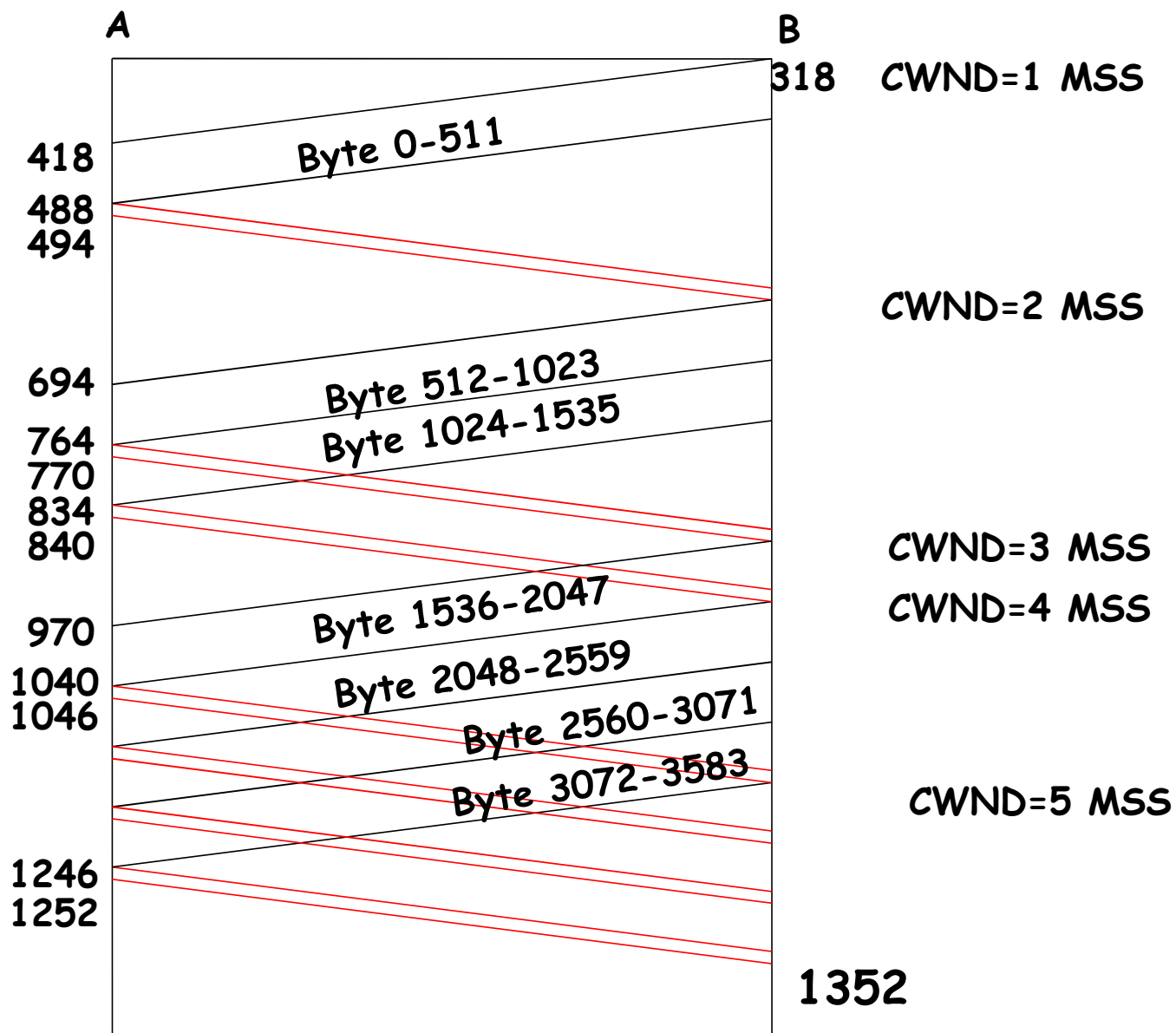
- Per semplicità si separa la parte relativa all'instaurazione della connessione; i segmenti di tipo SYN e ACK sono costituiti dal solo header TCP di 20 byte, per cui:

$$t_{\text{ack}} = t_{\text{syn}} = 6 \text{ ms}$$

- Per instaurare la connessione in modalità *Three Way Handshake* servono 318 ms (trascurando i tempi di processamento)
- A questo punto, si invia la parte di testo iniziando la trasmissione in regime di Slow Start, con una finestra di congestione iniziale di 1 MSS (MSS=512 byte e $t_f=70$ ms); ogni volta che B riceve un ACK aumenta CWND di 1MSS



TCP: Esempio 3



TCP: Esempio 3



- Dopo aver trasmesso il testo in 1,352s, viene chiusa la connessione (si trascuri il tempo di chiusura)
- Per trasmettere la prima immagine “Gif1” da 1024 byte viene aperta una nuova connessione in 0,318s e vengono trasmessi 1024 byte (corrispondenti a 2 MSS) in un tempo complessivo di 0,870s
- Lo stesso vale per la seconda immagine “Gif2” da 1536 byte (a cui corrispondono 3 MSS) che viene trasmessa in 0,94s
- Il tempo totale per trasferire l'intera pagina HTML è:

$$t_{\text{TOTALE}} = (1,352 + 0,87 + 0,94) \text{ s} = 3,162 \text{ s}$$

- A riceve completamente l'intera pagina HTML (senza considerare il tempo di ritorno dell'Ack) dopo un tempo globale di ricezione:

$$(1,25 + 0,764 + 0,834) \text{ sec} = 2,848 \text{ sec}$$



Esercizio 5):

si supponga che al tempo $t=t_0=340\text{ s}$ si disponga della stima del RTT pari a 100 ms , determinato dall'osservazione di 15 campioni. Quindi $\text{SRTT}(15) = 100 = \text{RTT}$ (ipotesi).

Si ipotizzi che tra l'host A e l'host B ci sia lo scambio dei seguenti segmenti e che l'host A (mittente) riceva i seguenti valori di RTT. Si supponga di usare lo smoothing factor $\alpha = 0.8$ e il delay variance factor $\beta = 2.0$.

#SEG	RTT (ms)
16	99.5
17	100.2
18	98.7
19	101.00
20	100.50
21	100.2
22	99.8

Rappresentare l'andamento del valore stimato di RTT, secondo la media e secondo la tecnica smoothed. Valutare per ogni osservazione lo scarto quadratico medio e l'RTO (calcolato secondo l'RFC 793), e gli upperbound e lowerbound, rispettivamente, 60s e 10ms.

$$\overline{\text{RTT}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \text{RTT}_i$$

$$\text{SRTT}(k+1) = \alpha \text{SRTT}(k) + (1-\alpha) \text{RTT}(k) \quad \text{SQM} = (\bar{X} - X)^2$$

Per la prima osservazione considero
 dato (#16) $\text{RTT} = \frac{8 \cdot 100 + 99.5}{15+1} = 99.96875$

oss	RTT	$\overline{\text{RTT}}$	SRTT	SQM	RTO
#16	99.5	99.96875	99.9	0.16	199.8
#17	100.2	99.9823	99.96	0.0576	199.92
#18	98.7	99.911	99.708	1.016	199.416
...

$$\text{SRTT}(16) = 0.8 \cdot 100 + 0.2 \cdot 99.5 = 99.9 \text{ ms}$$

$$\text{SQM}_{16} = (99.9 - 99.5)^2 = 0.16 \text{ ms}$$

$$\text{RTO}_{16} = 2 \cdot 99.9 = 199.8 \text{ ms}$$

$$\#17 \quad \text{RTT} = 100.2 \text{ ms}$$

$$\overline{\text{RTT}} = \frac{16 \cdot 99.96875 + 100.2}{17} = 99.9823 \text{ ms}$$

$$\text{SRTT}(17) = 0.8 \cdot 99.9 + 0.2 \cdot 100.2 = 99.96 \text{ ms}$$

$$\text{SQM}(17) = (99.96 - 100.2)^2 = 0.0576 \text{ ms}$$

$$\#18 \quad \text{RTT} = 98.7 \text{ ms} \quad \overline{\text{RTT}} = \frac{17 \cdot 99.9823 + 98.7}{18} = 99.911 \text{ ms}$$

$$\text{SRTT}(18) = 0.8 \cdot 99.96 + 0.2 \cdot 98.7 = 99.708 \text{ ms} \quad \text{SQM}(18) = (99.708 - 98.7)^2 = 1.016 \text{ ms}$$

$$\text{RTO}(18) = 2 \cdot \text{SRTT}(18) = 199.416 \text{ ms}$$