

Esercizi Capitolo 1 (con soluzioni)

4 Ottobre 2022

n.1

Si ipotizzi di volere effettuare il trasferimento di un file di L byte dalla Francia agli Stati Uniti.

Assumere che il collegamento abbia capacità $C=10$ Gbit/s e sia realizzato attraverso un cavo transatlantico in fibra ottica di lunghezza $d=5000$ km

? Quale deve essere la dimensione del file affinché quando il primo bit del file giunge alla destinazione negli Stati Uniti l'ultimo bit del file viene trasmesso dal mittente in Francia?

Soluzione

Data la velocità di propagazione dei segnali sul cavo di $v = 2 \cdot 10^8$ m/s, il tempo di propagazione del segnale lungo il collegamento è dato da:

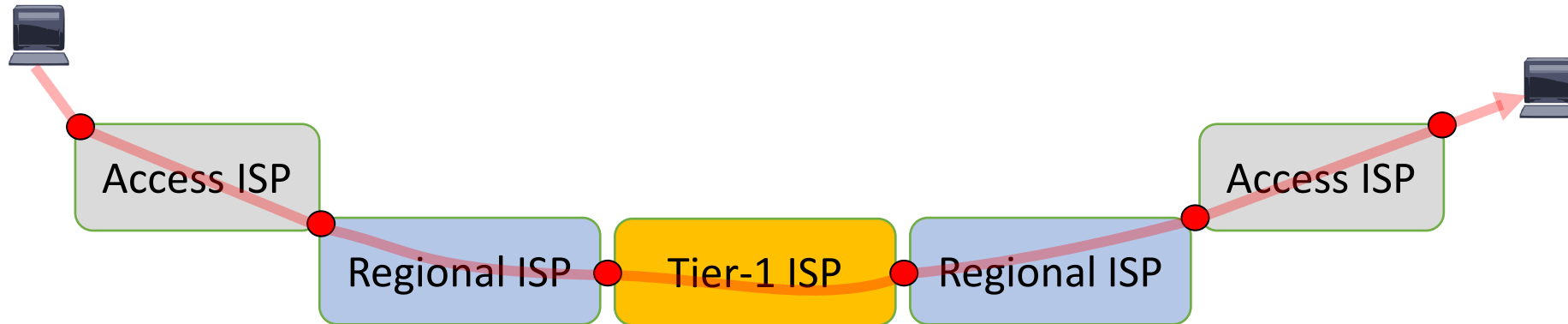
$$\tau = \frac{d}{v} = \frac{5000}{2 \cdot 10^8} = 25 \text{ ns}$$

Allora il tempo di trasmissione T del file deve essere uguale a quello fornito dall'espressione precedente, in modo che la fine della trasmissione coincida con l'istante di arrivo del primo bit del file a destinazione. Quindi:

$$L = \tau \cdot C = \frac{25 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^9}{8} = 31,25 \text{ Mbyte}$$

n. 2

Due host connessi alla rete Internet attraverso i rispettivi access ISP interagiscono grazie alla connettività resa disponibile da due regional ISP (differenti), uno per ognuna delle due regioni dove si trovano gli host, e un ISP Tier 1.



Assumendo che non più di due router vengono attraversati in ogni ISP, determinare il numero di volte N_i (con $i = 1, \dots, 4$) in cui vengono svolte le operazioni relative a ognuno dei 4 livelli protocollari (Application, Transport, Network, Network Access) del modello a strati (lo strato di applicazione viene indicato convenzionalmente come il numero 4).

Soluzione

Dato che gli strati di applicazione e di trasporto risiedono solo nei sistemi terminali, le operazioni relative ai questi livelli protocollari sono attuate solo due volte, quindi, $N_5 = N_4 = 2$. Le funzionalità dei tre strati inferiori sono svolte nei sistemi terminali e in tutti i router attraversati. Dato che il servizio fornito da ogni ISP comporta l'attraversamento di almeno un router, ma non più di due, allora il numero richiesto può variare da $N_3 = N_2 = N_1 = 2 + 5 \cdot 1 = 7$ a $N_3 = N_2 = N_1 = 2 + 5 \cdot 2 = 12$.

n. 3

Due stazioni terminali A e B siano in connessione mediante collegamenti che attraversano due nodi X e Z a commutazione di pacchetto (store and forward) con i seguenti valori numerici:



- capacità dei due collegamenti di accesso A-X e Z-B, $f_a = 1$ Mbit/s,
- capacità del collegamento X-Z, $f_i = 5$ Mbit/s,
- lunghezza dei due collegamenti di accesso A-X e Z-B, $d_a = 1$ km, lunghezza del collegamento X-Z, $d_i = 100$ km,
- velocità di propagazione del segnale su tutti i collegamenti, $v = 200.000$ km/s.
- tempi di elaborazione nei nodi X e Z, $T_{pX} = 10$ ms e $T_{pZ} = 30$ ms.

Assumendo una capacità infinita di memorizzazione nei nodi, si vuole calcolare il ritardo totale end-to-end T_{tot} richiesto per la trasmissione da A a B di una unità dati di 10.000 byte che viene spezzata in due pacchetti di uguale lunghezza con un header di pacchetto $L_h = 100$ byte (nessun'altra unità dati attraversa i nodi X e Z).

Soluzione

Ognuno dei due pacchetti è caratterizzato da un payload di $L_p = 5000$ byte e un header di $L_h = 100$ byte.

Indicando con T_{ta} e T_{ti} i tempi di trasmissione di ogni pacchetto sulle linee di accesso e internodo in cavo (dato il valore della velocità di propagazione assegnata), con τ_a e τ_i i rispettivi tempi di propagazione, allora i valori numerici dei ritardi che ne scaturiscono sono:

$$\tau_a = d_a/v = 5 \mu s$$

$$T_{ta} = (L_p + L_h)/f_a = 40,8 \text{ ms}$$

$$\tau_i = d_i/v = 0,5 \text{ ms}$$

$$T_{ti} = (L_p + L_h)/f_i = 8,16 \text{ ms}$$

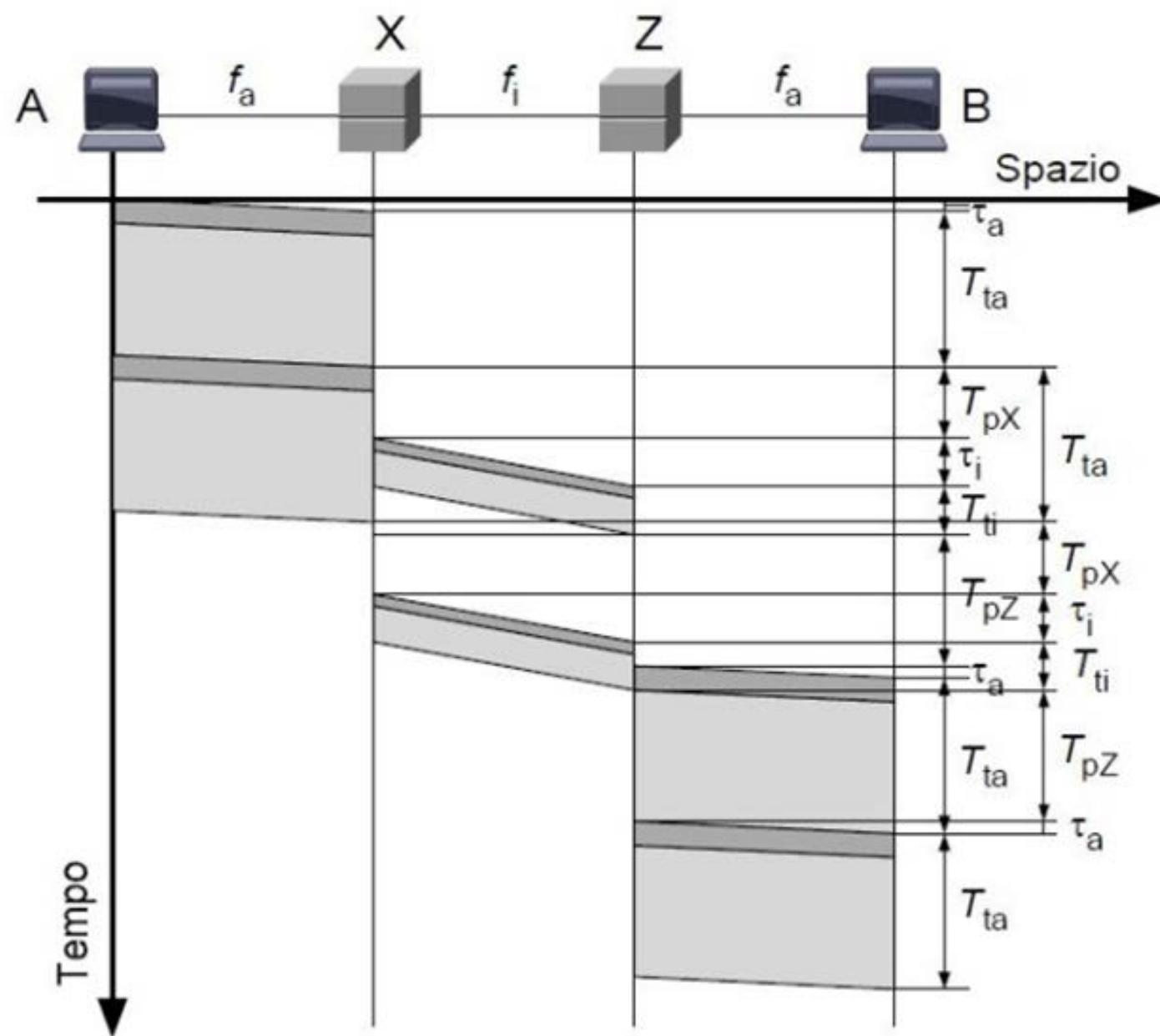
I due pacchetti vengono trasmessi senza soluzione di continuità dalla stazione A Ognuno di questi, una volta ricevuto, viene ritrasmesso dopo un tempo di elaborazione T_{pX} , richiedendo un tempo di trasmissione T_{ti} inferiore a quello T_{ta} impiegato per la ricezione, poiché $f_i < f_a$. Come in ogni trasmissione di più unità dati in reti a commutazione di pacchetto da una sorgente a una destinazione, i tempi di trasmissione, di propagazione e di elaborazione richiesti dalle diverse unità sono parzialmente sovrapposti in quanto interessano diversi elementi di rete (nodi e/o collegamenti). Si noti che, dato che il tempo di elaborazione T_{pX} è costante, non si crea accodamento nel nodo X essendo $T_{ti} < T_{ta}$. Inoltre T_{ta} indica non solo il tempo di ricezione del primo pacchetto nel nodo X ma anche il tempo che intercorre tra gli istanti di inizio trasmissione dei due pacchetti nel nodo X e tra gli istanti di fine ricezione nel nodo Z. Dato che anche il tempo di elaborazione T_{pZ} è costante, allora non si crea accodamento neanche nel nodo Z dato che il primo pacchetto richiede proprio un tempo di trasmissione T_{ta} . La valutazione del tempo totale di ritardo richiede dunque di porre attenzione ai tempi globalmente richiesti dalla trasmissione e completa ricezione della prima unità dati, cui si aggiungono i tempi richiesti per ricevere alla destinazione tutte le altre unità. Ciò dà luogo alla seguente espressione

$$T_{tot} = \tau_a + T_{ta} + T_{pX} + \tau_i + T_{ti} + T_{pZ} + \tau_a + T_{ta} + T_{ta} = 3T_{ta} + T_{ti} + T_{pX} + T_{pZ} + 2\tau_a + \tau_i$$

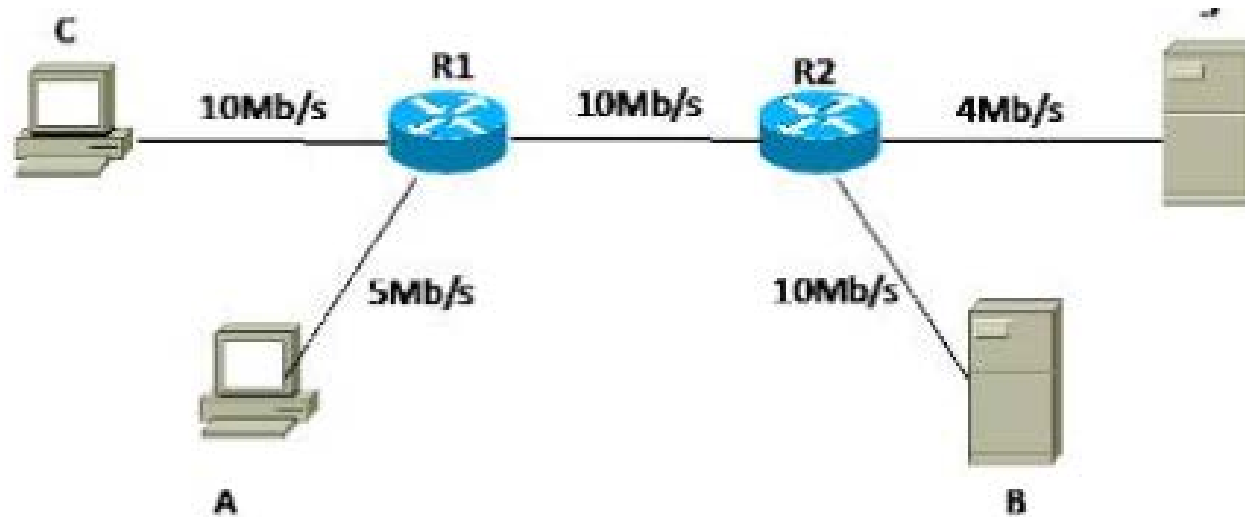
In alternativa si può valutare il tempo richiesto alla sorgente per trasmettere tutte le unità eccetto l'ultima, cui si sommano tutti i tempi richiesti per il completo trasferimento dell'ultima unità dati, dando luogo alla seguente espressione, che naturalmente coincide con la precedente

$$T_{tot} = \tau_a + 2T_{ta} + T_{pX} + \tau_i + T_{ti} + T_{pZ} + \tau_a + T_{ta} = 3T_{ta} + T_{ti} + T_{pX} + T_{pZ} + 2\tau_a + \tau_i$$

Quindi il ritardo totale è dato da $T_{tot} = 171,07 \text{ ms}$.



n. 4



- Quale è la capacità (throughput massimo) effettiva di trasferimento per un flusso http tra C e S sapendo che esistono due flussi interferenti tra A e B?
- Quale capacità è disponibile per ciascuno dei due flussi tra A e B?
- Quale link determina il collo di bottiglia tra A e B?
- E per quale per le connessioni tra C e S?

Soluzione

SOLUZIONE

C-S: $C_{eq}=4\text{Mb/s}$; A-B: $C_{eq}=2.5\text{Mb/s}$ per flusso; Collo di bottiglia per A-B: A-R1; collo di bottiglia per C-S: R2-S

n. 6

Si consideri la topologia evidenziata dalla figura



Il nodo S deve trasmettere un file di 9500 byte verso il nodo D. Si ipotizzi che:

- non vi siano errori di trasmissione;
- Il tempo di propagazione sul canale sia pari a 5 ms
- la dimensione massima dei pacchetti trasmessi sul canale sia pari a 1500 byte (si trascurino gli header)

Si determini il tempo necessario affinché il nodo D riceva completamente il file.

- Il tempo che intercorre dall'inizio della trasmissione di un pacchetto di dimensione pari a b bit fino all'avvenuta completa ricezione al nodo successivo considerando la trasmissione su un solo canale di lunghezza l m, con una velocità di trasmissione pari a r bit/s e pari a: $t_x = T_{Tx} + T_P = b/r + l/c$, dove c rappresenta la velocità di propagazione del segnale elettromagnetico nel mezzo fisico ($2/3$ della velocità della luce).
- Il file è diviso in 6 pacchetti di dimensione 1500 byte ciascuno ed uno di dimensione di 500 byte. I tempi di trasmissione (b/r) sono 12 e 4 ms il file comincia ad essere trasmesso e dopo 76 ms l'ultimo bit lascia l'host S
- Dopo 5 ms l'ultimo bit arriva all'host D. Totale 81 ms.

n. 7

Supponete che alcuni utenti condividano un collegamento da 3 Mbps, e che ciascuno richieda 150 kbps quando trasmette, ma ogni utente trasmette solo per il 10% del tempo

- a) Quando si usa la commutazione di circuito quanti utenti possono essere supportati ?
- b) Determinare la probabilità che un certo utente stia trasmettendo
- c) Si ipotizzi che ci siano 120 utenti. Determinare la probabilità che, ad ogni dato istante, esattamente n utenti stiano trasmettendo contemporaneamente (usate la distribuzione binomiale)

Soluzione

- a) Quando si usa la commutazione di circuito quanti utenti possono essere supportati ?

R: $3000 / 150 = 20$

- b) Determinare la probabilità che un certo utente stia trasmettendo

R: 0,1

- c) Si ipotizzi che ci siano 120 utenti. Determinare la probabilità che, ad ogni dato istante, esattamente n utenti stiano trasmettendo contemporaneamente

R: La probabilità di avere una qualunque configurazione in cui ci sono n utenti attivi e $120-n$ non attivi è uguale a $p^n \cdot (1-p)^{120-n}$. Il tutto moltiplicato per quanti sono i modi di scegliere n attivi su un totale di 120 utenti, e questo è uguale al binomiale(120, n)

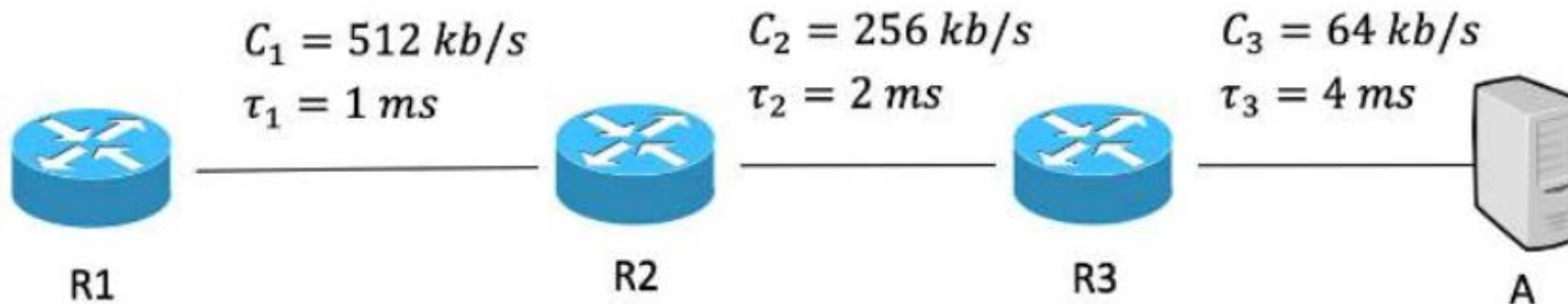
n. 8

Si consideri la rete in figura.

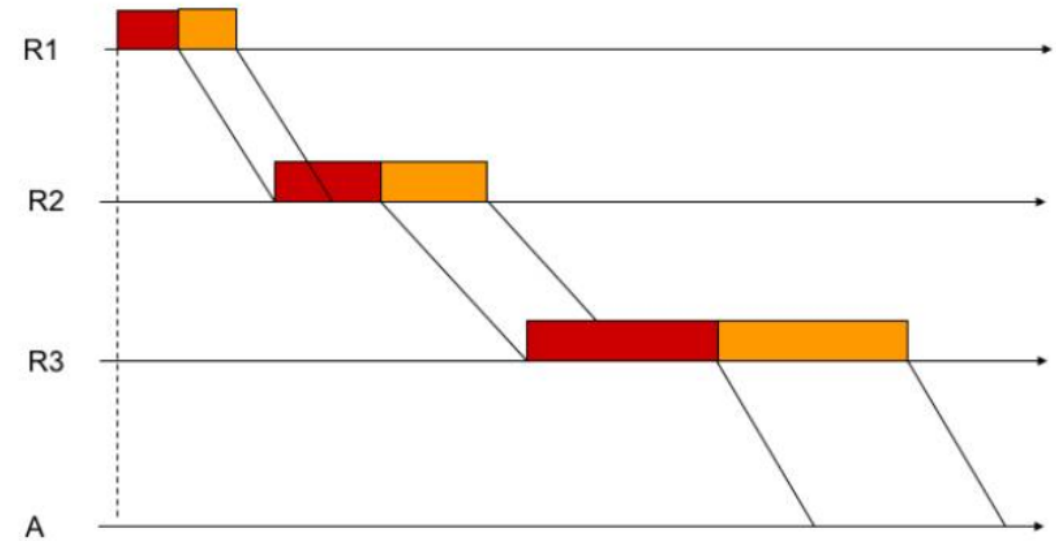
Al tempo $t=0$ la coda di uscita di R1 ha 2 pacchetti diretti ad A.

Assumendo che la lunghezza dei pacchetti sia di $L=512$ bits, si indichi per ciascun pacchetto l'istante in cui venga completamente ricevuto a destinazione.

Si derivi la formula simbolica dell'istante di ricezione dell'ultimo pacchetto nel caso in cui in R1 siano presenti n pacchetti.



Soluzione



Il link tra R2 e R3 ha una velocità (rate) trasmissiva minore del link tra R1 e R2, dunque il secondo pacchetto finisce la propria ricezione nel nodo R2 mentre il primo pacchetto è ancora in trasmissione da R2 a R3. Il secondo pacchetto non può essere immediatamente ritrasmesso verso R3, ma deve attendere la fine della trasmissione del primo pacchetto, che sta occupando l'interfaccia trasmissiva tra R2 e R3. Il secondo pacchetto viene dunque accodato in attesa che l'interfaccia si liberi. Lo stesso accade nel collegamento successivo.

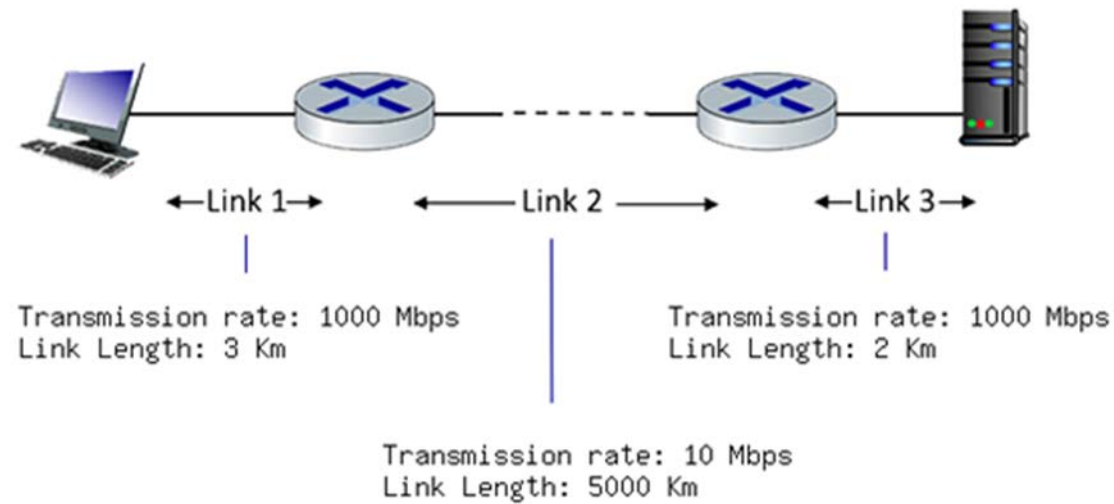
$$T_1 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{L}{C_3} = 1 + 1 + 2 + 2 + 8 + 4 = 18 \text{ [ms]}$$

$$T_2 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{2L}{C_3} = T_1 + \frac{L}{C_3} = 26 \text{ [ms]}$$

Nel caso di n pacchetti:

$$T_2 = \frac{L}{C_1} + \tau_1 + \frac{L}{C_2} + \tau_2 + \frac{nL}{C_3}$$

n. 9



Considerate la figura seguente, con tre collegamenti, ciascuno con la velocità di trasmissione e la lunghezza del collegamento specificate. Assumete che la dimensione del pacchetto sia pari a 8000 bits, la velocità di propagazione per ciascun link è pari a 3×10^8 m/sec (\sim velocità della luce). Rispondere alle domande seguenti (numerare le risposte per permettere la correzione):

- Quale è il transmission delay del link 1?
- Quale è il propagation delay del link 1?
- Quale è il total delay del link 1?
- Quale è il transmission delay del link 2?
- Quale è il propagation delay del link 2?
- Quale è il total delay del link 2?
- Quale è il transmission delay del link 3?
- Quale è il propagation delay del link 3?
- Quale è il total delay del link 3?
- Quale è il total delay (dal client che si trova sulla parte sinistra della figura al server, che si trova sulla parte destra)

n. 10

Si consideri lo scenario di rete mostrato in figura, dove i numeri segnati accanto ai collegamenti ne indicano la velocità in Mbit/s.

Qual è il massimo throughput (in Mbit/s) tra il server e ciascun client?

R: 10/3 Mbit/s

