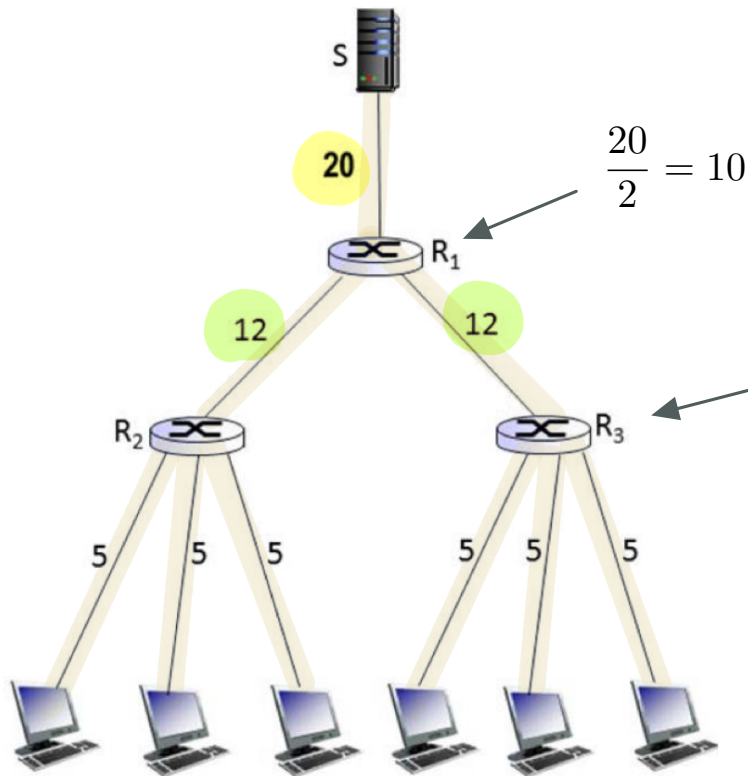




## Esercizio 1

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?



$$\frac{10}{3} \text{ Mb/s} = 3,33$$

Questo poiché la “strozzatura” gialla viene suddivisa per le due strozzature verdi. A loro volta, il risultato delle strozzature verdi viene suddiviso per le tre strozzature per ogni client



## Esercizio 2.1

- Cosa si intende per **ritardo di trasmissione**?
  - Questo ritardo dipende dalla dimensione del pacchetto?
  - Questo ritardo dipende dalla distanza che deve percorrere il pacchetto?
  - In generale, da cosa dipende il ritardo di trasmissione?

Il ritardo di trasmissione è il tempo che impiega un nodo ad immettere sul link un pacchetto è questo dipende in generale da:

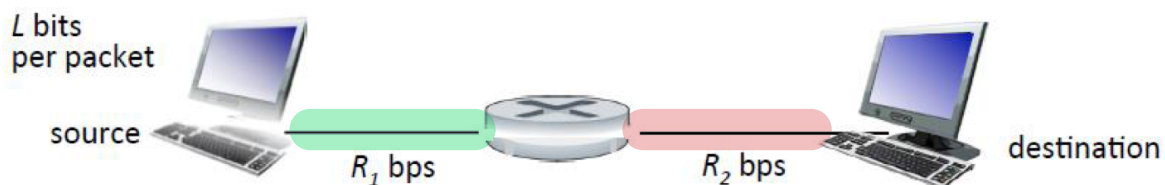
$$\text{Ritardo di trasmissione} = \frac{L}{R}$$

$L$  ← Dimensione del pacchetto  
 $R$  ← Velocità di trasmissione



## Esercizio 2.2

- La velocità di trasmissione tra l'host sorgente ed il commutatore è  $R_1$
- La velocità di trasmissione tra il commutatore e l'host destinazione è  $R_2$
- Si adotti la commutazione di pacchetto con store-and-forward



1. Quale è il ritardo totale (tra sorgente e destinazione) per inviare un pacchetto di lunghezza  $L$  (in bit), ignorando i ritardi di accodamento, di propagazione e di elaborazione?

$$\left( \frac{L}{R_1} \right) + \left( \frac{L}{R_2} \right)$$

2. Quale è il throughput medio massimo teorico ottenibile?

$$\min(R_1, R_2)$$

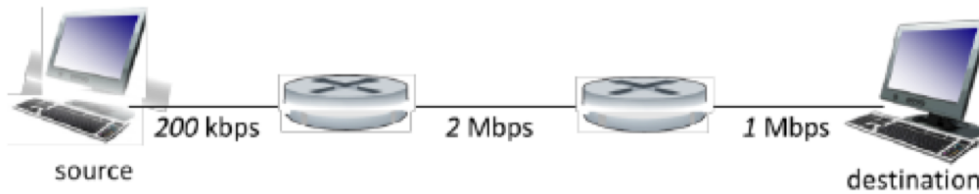
3. Perché tale throughput è "teorico"?

Perché stiamo ignorando tutte le altre forme di ritardo e le perdite di pacchetti che possono avvenire



### Esercizio 2.3

Supponete che la sorgente debba spedire un file di grandi dimensioni alla destinazione. Il percorso tra sorgente e destinazione è formato da 3 link le cui capacità sono specificate nella figura seguente:



- Assumendo che nella porzione di rete evidenziata dalla figura non vi sia altro traffico quale è il throughput per trasferimento di file ?

**200kbps**

Determinato dal link più lento

- Supponete che si voglia trasferire un file sia di 4 milioni di Byte. Quale è il limite inferiore per il tempo necessario per trasferire il file tra la sorgente e la destinazione ?

$$\frac{4 \cdot 10^6 B}{200 kbps} = 160 sec$$



### Esercizio 2.4

- Cosa si intende per **tempo di propagazione**?
  - Questo ritardo dipende dalla dimensione del pacchetto?
  - Questo ritardo dipende dalla velocità di trasmissione?
  - In generale, da cosa dipende il tempo di propagazione ?

Il tempo di propagazione è il tempo che impiega un segnale a propagarsi da un punto all'altro all'interno di un link e questo dipende in generale da:

$$\text{Tempo di propagazione} = \frac{D}{V}$$

← Lunghezza collegamento

← Velocità di propagazione

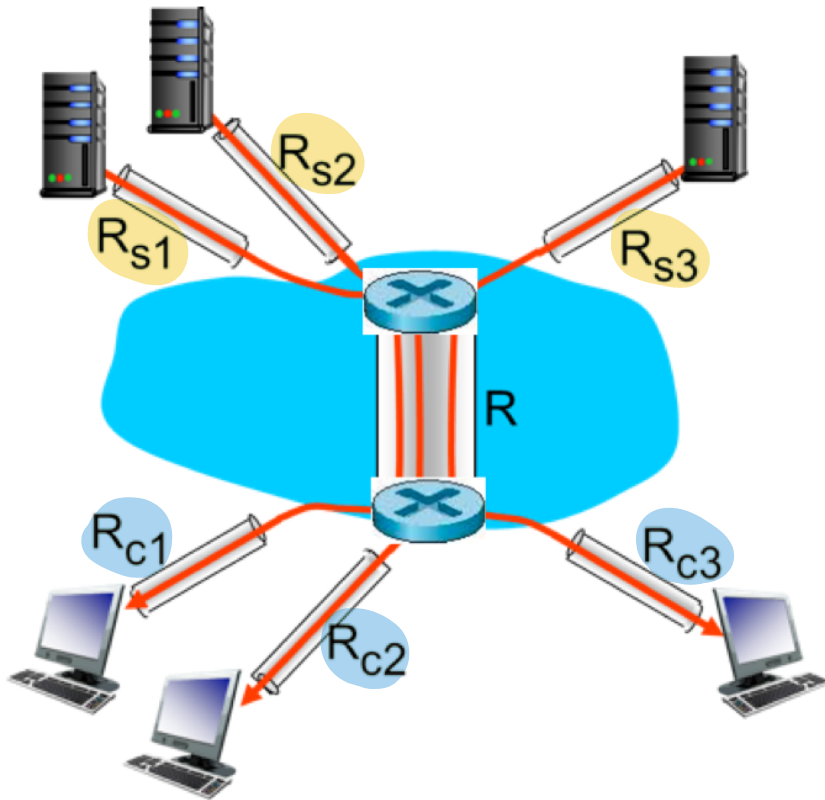
Generalmente è circa 2/3 della velocità della luce (nel caso del rame)



### Esercizio 3.1

Sia data la seguente configurazione, dove le velocità dei link sono:

- $R_{s1}=R_{s2}=R_{s3}=5\text{Mbps}$ ,
- $R_{c1}=R_{c2}=R_{c3}=4\text{Mbps}$ ,
- $R=10\text{Mbps}$ .



- I router sono connection-less.
- Ognuno dei client ci ha una connessione con il server  $s_i$  (con  $i=1,2,3$ ).

- Quale è il valore del throughput massimo teorico per ciascuna delle tre connessioni  $c_i-s_i$ ?

$$\frac{10\text{Mbps}}{3}$$

$10\text{Mbps}$

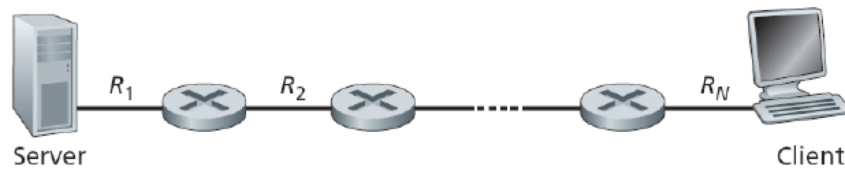
- Quale è il valore del throughput massimo teorico aggregato (cioè complessivo)?



### Esercizio 3.2

Si supponga che ci siano  $M$  percorsi tra il server ed il client (nella figura viene evidenziato uno di essi). Non ci sono collegamenti condivisi tra i percorsi.

Il percorso  $k$  ( $k = 1, \dots, M$ ) consiste di  $N$  collegamenti con velocità  $R_{k1}, R_{k2}, \dots, R_{kN}$



- Se il server può usare solo il percorso  $k$  per inviare i dati quale è il massimo throughput raggiungibile dal server ?

$$\min (R_1^k, R_2^k, \dots, R_N^k)$$

- Se il server potesse scegliere il percorso per trasmettere i dati, quale sarebbe il massimo throughput?

$$\max \{ \min \{ R_1^1, R_2^1, \dots \}, \min \{ R_1^2, R_2^2, \dots \}, \dots \}$$

- Se il server potesse usare contemporaneamente gli  $M$  percorsi per trasmettere i dati, quale sarebbe il massimo throughput?

$$\sum_{k=1}^M \min \{ R_1^k, R_2^k, \dots \}$$

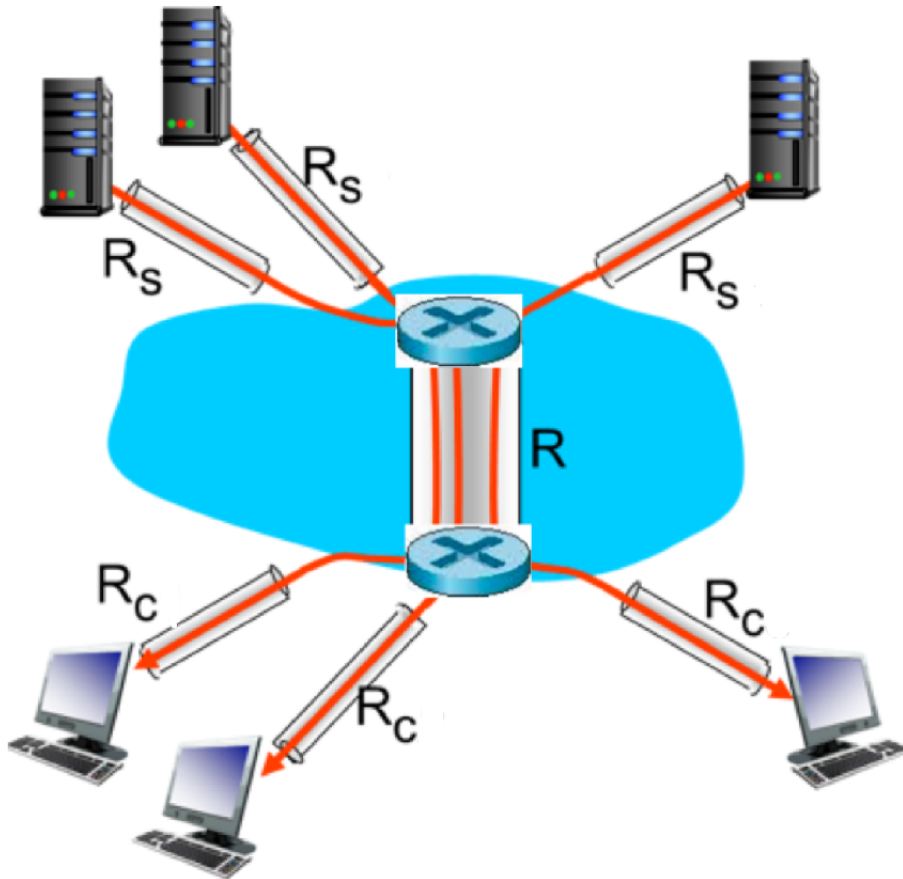




## Esercizio 4

Si faccia riferimento alla topologia di rete descritta dalla figura in cui 3 connessioni condividono equamente un link con velocità  $R$  bit/sec.

Si assuma che  $R_c = R_s = 100 \text{ Kb/s}$  e  $R = 200 \text{ Kb/s}$ .



Quale è il throughput per trasferimento di un file?

Assumete che il traffico generato dai tre host sia tale da poter saturare completamente il link comune e che la capacità trasmissiva su tale link venga divisa equamente tra tutti e tre gli host.

$$\frac{200 \text{ kbps}}{3} = 66,66 \text{ kbps}$$

Supponete che l'host A debba spedire un file di 4 milioni di Byte all'host B.  
Quanto tempo occorrerà per trasferire il file tra A e B ?

Sarebbe dunque il ritardo di trasmissione:

$$\frac{4 \cdot 10^6 \cdot 8b}{66,66 \text{ kbps}} = 480,04 \text{ sec}$$

in bit



## Esercizio 5

Si consideri la topologia evidenziata dalla figura.

Il nodo S deve trasmettere un file di 12000 Byte verso il nodo D. Si ipotizzi che:

- La velocità di propagazione del segnale sul link sia di  $2,8 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$ .
- Si utilizzi un protocollo di trasmissione che richiede che la destinazione invii un pacchetto di ACK tutte le volte che riceve un pacchetto di dati dalla sorgente, e che la sorgente debba attendere la ricezione del pacchetto di ACK prima di poter spedire il pacchetto successivo a quello precedentemente spedito;
- Non vi siano errori di trasmissione;
- Il tempo di elaborazione sui due nodi sia nullo;
- Il mittente spedisca pacchetti trasmessi di 1000 Byte, mentre la dimensione dei pacchetti di ACK sia di 40 Byte (si trascurino gli header)

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



12000 Byte  $\rightarrow$  12 pacchetti da 1000 Byte  
(8000 bit)

1° pacchetto  $\rightarrow$  Rit.Trasmissione + Rit.Propagazione

$$= \frac{8000b}{1Mbps} + \frac{2800km}{2,8 \cdot 10^8}$$

2° pacchetto affinché sia inviato deve attendere arrivò ACK  
pacchetto precedente  $\rightarrow$  Rit.Trasmissione + Rit.Propagazione

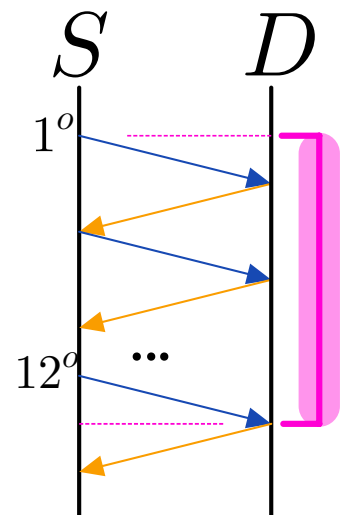
$$= \frac{40Byte}{1Mbps} + \frac{2800km}{2,8 \cdot 10^8}$$

... e così via ...

Segue che devo:

- Sommare i due valori precedenti e moltiplicarli x11
- Sommare al risultato il tempo di trasmissione del 12esimo pacchetto (non necessario tempo riscontro ACK)

$$11 \cdot \left( \text{blue box} + \text{yellow box} \right) + \text{blue box}$$





## Esercizio 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 5ms
- Il mittente spedisca pacchetti trasmessi di 1500 Byte (si trascurino gli header)

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



9500 Byte  $\rightarrow$  6 pacchetti da 1500 Byte e  
1 pacchetto da 500Byte

$$1^{\circ} \text{ pacchetto} \rightarrow \text{Rit. Trasmissione} \quad \frac{1500B}{1Mb/s} = \dots = 12ms$$

$$6^{\circ} \text{ pacchetto termina dopo} \rightarrow 6 \cdot 12ms = 72ms$$

$$\text{Il } 7^{\circ} \text{ pacchetto termina dopo altri} \rightarrow \frac{500B}{1Mb/s} = 4ms$$

$$\text{Quindi, in conclusione: } 5ms + 72ms + 4ms = 81ms$$

↑  
É come se assumessimo che  
tutti i pacchetti vengono  
inviati contemporaneamente  
(nella stessa finestra)...per  
cui lo sommo solo una volta!





## Esercizio 7

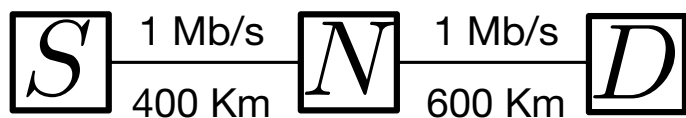
Si consideri la seguente topologia di rete composta da una sequenza di due canali con velocità di trasmissione pari a  $1 \text{ Mbit/s}$ .

Il nodo S deve trasmettere un file di dimensioni pari a  $9500 \text{ Byte}$  verso il nodo D attraverso il nodo intermedio N che opera in modalità store-and-forward.

Assunzioni:

- Non vi sono errori di trasmissione
- I tempi di elaborazione del nodo N sono trascurabili
- Il nodo N ha capacità di memorizzazione infinita
- La lunghezza del primo canale è pari a  $400 \text{ Km}$ ,
- La lunghezza del secondo canale è pari a  $600 \text{ Km}$
- Dimensione max dei pacchetti trasmessi sul canale pari a  $1500 \text{ Byte}$  (si trascurino gli header).

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



$9500 \text{ Byte} \rightarrow 6 \text{ pacchetti da } 1500 \text{ Byte e } 1 \text{ pacchetto da } 500 \text{ Byte}$

### Calcolo tempo di Propagazione :

Canale S-N:

$$\frac{400 \text{ km}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2 \text{ ms}$$

Canale N-D:

$$\frac{600 \text{ km}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 3 \text{ ms}$$

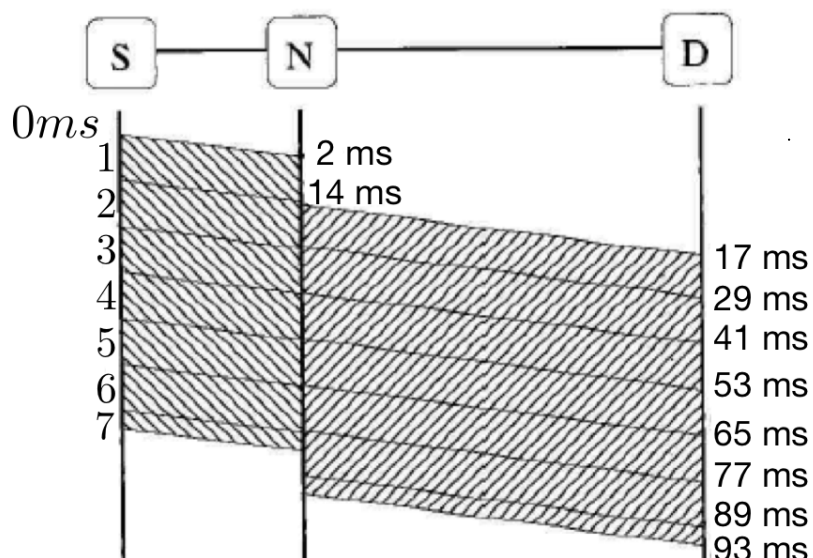
$\rightarrow$  2/3 velocità della luce

### Calcolo tempo di Trasmissione:

Per i 6 pacchetto da 1500B:  $\frac{1500 \text{ Byte}}{1 \text{ Mbps}} = 12 \text{ ms}$

Per l'ultimo pacchetto di 500B:  $\frac{500 \text{ Byte}}{1 \text{ Mbps}} = 4 \text{ ms}$

Il diagramma temporale del trasferimento dei pacchetti tra i vari nodi è:



- Dopo 2ms il primo bit raggiunge N
- Dopo 14ms (2+12) il primo pacchetto raggiunge N
- Dopo 17ms (14+3) il primo bit raggiunge D
- Dopo 29ms (17+12) il primo pacchetto raggiunge D

...

Quindi:

Al  $17 \text{ ms} + (6 \cdot 12) \text{ ms} + 4 \text{ ms}$  l'ultimo bit dell'ultimo pacchetto arriva a D



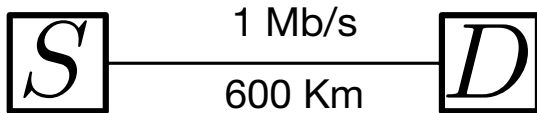
## Esercizio 8

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

Assumere che:

- Il collegamento abbia capacità  $C = 10 \text{ Gbit/s}$  e
- sia realizzato attraverso un cavo transatlantico in fibra ottica di lunghezza  $d = 5000 \text{ Km}$ .

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?



**Calcolo tempo di Propagazione :** 
$$\frac{5000 \text{ km}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 25 \text{ ms}$$

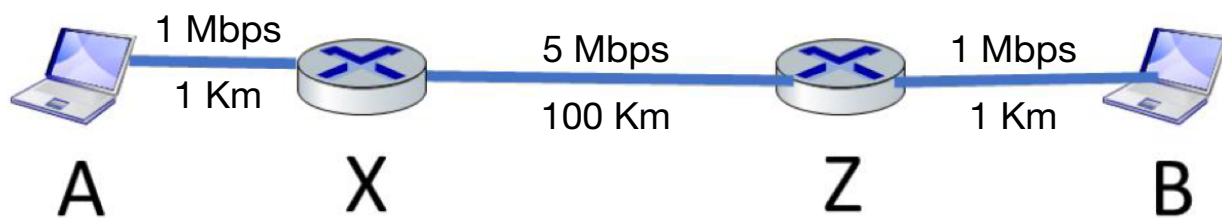
Segue che, affinché quanto richiesto dalla traccia sia vero, il tempo di trasmissione del file deve essere UGUALE al tempo di propagazione:

$$\begin{aligned} \frac{x}{10 \text{ Gbps}} &= 25 \text{ ms} \Rightarrow x = 25 \text{ ms} \cdot 10 \text{ Gb/s} \\ &\Rightarrow x = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^9}{8} \\ &= 31,25 \text{ MB} \end{aligned}$$

In Byte

## Esercizio 9

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 mostrati in figura:



Si assuma inoltre che:

- Velocità di propagazione del segnale su tutti i collegamenti,  $v = 200.000 \text{ km/s}$ .
- Tempo di elaborazione nodo X:  $T_{pX} = 10 \text{ ms}$
- Tempo di elaborazione nodo Z:  $T_{pZ} = 30 \text{ ms}$
- I nodi hanno capacità infinita di memorizzazione

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

Ognuno dei due pacchetti è caratterizzato da:

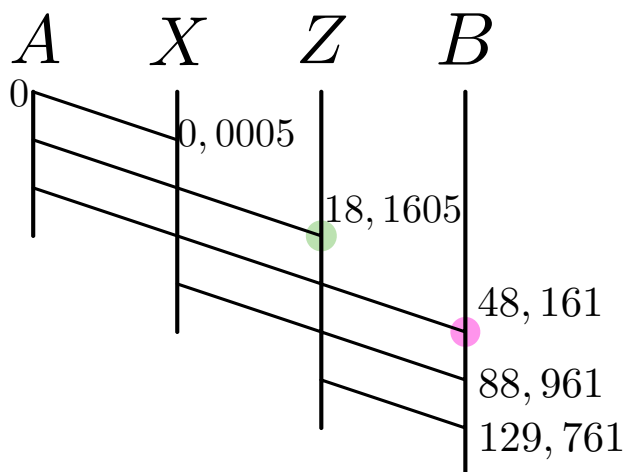
- Un header  $L_h = 100 \text{ Byte}$
  - Un payload  $L_p = 5000 \text{ Byte}$
- } → Totale: 5100 Byte

### Calcolo Tempo di Propagazione:

Nodo A - X Nodo Z - B	Nodo X - Z
$\frac{1 \text{ Km}}{200000 \text{ km/s}} = 5 \mu\text{s}$	$\frac{100 \text{ Km}}{200000 \text{ km/s}} = 0,5 \text{ ms}$

### Calcolo Tempo di Trasmissione:

Nodo A - X Nodo Z - B	Nodo X - Z
$\frac{5100 \text{ B}}{1 \text{ Mb}} = 40,8 \text{ ms}$	$\frac{5100 \text{ B}}{5 \text{ Mb}} = 8,16 \text{ ms}$



$$0,0005 + 10 + 8,16$$

$$18,1605 + 30 + 0,0005$$

Ogni pacchetto:

- Viene trasmesso sul primo link (A - X),
- Viene ricevuto e poi ritrasmesso dopo un tempo di elaborazione  $T_{pX}$  sul secondo link (X - Z)
  - Osservazione: essendo  $T_{pX}$  costante ed inferiore del tempo di trasmissione A - X, non si creano accodamenti
- Viene ricevuto e poi ritrasmesso dopo un tempo di elaborazione  $T_{pZ}$  sul terzo link (Z - B)
  - Osservazione: essendo  $T_{pZ}$  costante ed inferiore del tempo di trasmissione X - Z, non si creano accodamenti
- Viene ricevuto alla destinazione



## Esercizio 10

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.

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

$$\frac{30Mb/s}{150Kb/s} = 20$$

- Determinare la probabilità che un certo utente stia trasmettendo

$$10\% = \frac{10}{100} = 0,1$$

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

La probabilità di avere una qualunque configurazione, in cui ci sono  $n$  utenti attivi e  $120-n$  non attivi, è:

$$p^n \cdot (1 - p)^{120-n}$$

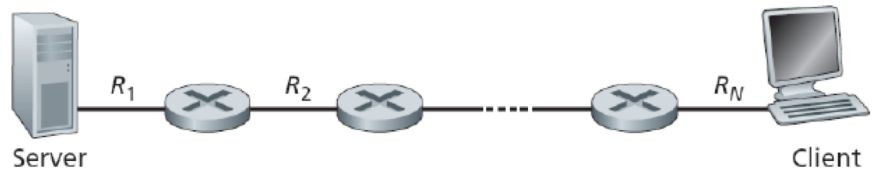
Il tutto moltiplicato per quanti sono i modi di scegliere  $n$  nodi attivi su un totale di 120 utenti:

$$\text{Binomiale}(120, n)$$



## Esercizio 11

Si supponga che tutti i collegamenti tra il server e il client abbiano una probabilità di perdita dei pacchetti pari a  $p$  e che tali probabilità siano tra di loro indipendenti.



- Si calcoli la probabilità che un pacchetto inviato dal server venga ricevuto dal destinatario.

$$P_s = (1 - p)^N$$

- Se il pacchetto viene perso durante il percorso dal server al client, il server ritrasmette il pacchetto. Si calcoli quante ritrasmissioni del pacchetto in media il server deve effettuare affinché il pacchetto venga ricevuto con successo dal server

Il numero di trasmissioni necessarie segue una variabile geometrica con probabilità di successo  $P_s$ .

Quindi il numero medio di trasmissioni è dato da  $1/P_s$ .

Segue che il numero di ritrasmissioni è:

$$1/P_s - 1$$